

<https://doi.org/10.15407/frg2023.04.355>

УДК 581.143:577.175.1.05:661.152'1

ВПЛИВ СУЛЬФАТУ АМОНІЮ НА РЕТАРДАНТНУ АКТИВНІСТЬ ТРИНЕКСАПАКЕТИЛУ НА ПШЕНИЦІ

Л.М. МИХАЛЬСЬКА, Т.І. МАКОВЕЙЧУК, В.О. ТРЕТЯКОВ, В.В. ШВАРТАУ

*Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України
03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17
e-mail: Mykhalskaya_L@ukr.net*

Контроль вилягання посівів зернових та інших культур є важливою складовою досягнення високої продуктивності та рентабельності агровиробництва. Ретарданти класу циклогександіонів (ЦГД) широко застосовують у сучасному рослинництві. Досліджували вплив відомого ад'юванту сульфату амонію на ефективність ЦГД-похідного тринексапакетилу (ТЕ) на рослинах пшениці-дворучки (*Triticum aestivum* L.) сорту Зимоярка за позакореневого внесення. Показано, що висота рослин пшениці за дії регулятора росту (ретардант модус, 0,6 л/га) у фазу ВВСН 37 була на 26 % меншою від контролю, а також на 18,8 см нижчою порівняно з рослинами, обробленими сульфатом амонію. Сумісне застосування сульфату амонію з тринексапакетилем на пшениці зменшувало висоту рослин на 35,8 % (23,7 см) порівняно з контрольним варіантом, обробленим водою. Зменшення висоти рослин відбувалось внаслідок укорочення довжини 4- та 5-го міжвузлів до 53–57 % щодо контролю без обробки. Встановлено, що обробка рослин пшениці сорту Зимоярка ретардантом у поєднанні з сульфатом амонію поліпшувала асиміляційну здатність листків через підвищення вмісту хлорофілу та подовження періоду вегетації й збільшувала масу 1000 зерен. Маса 1000 зерен за обробки тринексапакетил+сульфат амонію становила 35,5 г, у контролі — 31,3 г. Таким чином, композицію тринексапакетил+сульфат амонію можна використовувати для підвищення рівня контролю вилягання і продуктивності пшениці за обмежених рівнів мінерального живлення. Високі дози тринексапакетилу можуть негативно вплинути на продуктивність, а застосування сульфату амонію дає можливість досягати потрібних рівнів контролю вилягання за помірних доз ретарданту. Водночас позакореневе внесення амонію може бути складовою азотного живлення посіву впродовж вегетації.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L., тринексапакетил, сульфат амонію.

У сучасному рослинництві ретарданти класу похідних циклогександіонів (ЦГД), наприклад тринексапакетил (ТЕ) та інші доволі швидко заміщують застосування відомих ретардантів класу етилен-продуцентів, зокрема етефону.

Діючими речовинами похідних ЦГД є вільні кислоти, наприклад кислота тринексапаку, що утворюється після деетерифікації етилу. Якщо погодні умови і стан рослин обмежують гідролітичну актив-

Цитування: Михальська Л.М., Маковейчук Т.І., Третяков В.О., Швартау В.В. Вплив сульфату амонію на ретардантну активність тринексапакетилу на пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*. 2023. 55, № 4. С. 355–367. <https://doi.org/10.15407/frg2023.04.355>

ність їхніх тканин, утворення біологічно активного метаболіту — кислоти тринексапаку — й, відповідно, прояв ретардантної активності може бути відтерміновано у часі. За внесення композицій ЦГД з мікроелементами активність ретарданту може знижуватись за інгібувальної дії дво- і тривалентних металів на надходження пестициду у формі кислоти.

Недостатньо розвинена коренева система може обмежувати здатність рослин поглинати воду та поживні речовини, а також підвищує ризик їх вилягання незадовго до збирання врожаю. За дії похідних класу ЦГД посилюється галуження кореневої системи [1]. Регулятори росту та інгібітори утворення гіберелінів сприяють кращому вкоріненню й закріпленню рослин у ґрунті, збільшенню їх кореневої системи лише за рахунок інгібування подовження клітин, без втручання у мітотичний процес, стимулюючи кушіння і уникнення вилягання [2]. За використання похідних ЦГД ліпше розвивається коренева система пшениці, що підвищує ефективність поглинання води та елементів живлення.

ТЕ [3] використовують для зміцнення структури стебла пшениці через зменшення висоти рослин і збільшення діаметра стінки [4, 5], що сприяє поліпшенню продуктивності рослин [6—8]. Своєчасне застосування ретардантів підвищує врожайність пшениці внаслідок перерозподілу сухої речовини за помірних рівнів вилягання [9]. Збільшення врожайності зерна є результатом морфологічних змін архітектури рослин [10, 11], які стають дедалі пристосованішими для ефективнішого використання ресурсів навколишнього середовища внаслідок збільшення кількості клітин і вмісту хлорофілу в прапорцевих листках [12, 13] і подовження функціонування фотосинтетичного апарату.

Тринексапакетил [(4-циклопропіл- α -гідроксиметил)-3,5-діоксициклогексанметиловий ефір карбонової кислоти] відкрито у 1982 р. Він затримує видовження клітин, інгібуючи гідроксилювання ГК₂₀ до фізіологічно активної ГК₁ наприкінці шляху мевалонової кислоти та регуляторний фермент 3- β -гідроксилазу [14—16]. ТЕ знижує рівень активності гіберелінів, зокрема ГК₁, за рахунок зниження активності ферменту ГК₂₀-3 β -гідроксилази, що запобігає видовженню клітин, вкорочує міжвузля, збільшує діаметр стебла та зменшує вилягання [17]. Пригнічення активності цього ферменту, ймовірно, зумовлене конкуренцією між регулятором росту і 2-оксоглутаратом за ко-субстрат Fe²⁺/аскорбатзалежної діоксигенази [18].

Діючу речовину ТЕ, яка входить до складу комерційних препаратів ретардантів, використовують у сільському господарстві для протидії вилягання зернових культур у широкому діапазоні фаз розвитку від початку кушіння до формування прапорцевого листка. Ефір ТЕ легко поглинається рослиною крізь листову поверхню, де гідролізується до активної форми — похідної кислоти, що переміщується до меристем рослин, у тому числі кореня. За використання ТЕ ріст коренів корелює з ефектом уповільненого росту пагонів. Завдяки естеразній активності тканин рослини, що потребує часу, величина якої залежить від температури і освітлення, утво-

роється активна тринексапак кислота. Вона взаємодіє з GA_{12} -альдегідом і блокує біосинтез гіберелової кислоти. Відомо, що обробка рослин ТЕ може зберігати чи підвищувати врожайність як за рахунок зменшення чи уникнення вилягання сільськогосподарських культур [3, 5], так і розвитку кореневої системи, забезпечуючи краще вкорінення, що дає змогу ефективніше поглинати поживні речовини і воду [19] та робить рослини менш чутливими до стресів, спричинених високими температурами, посухою [20–24] чи засоленням [25]. Вплив ТЕ на розвиток кореневої системи має значення також за умов застосування ретарданту восени. При цьому спостерігається ліпша перезимівля високочутливих сортів, зокрема зимоярих, а також озимих.

Застосування ТЕ зменшує пошкодження проростків пшениці за сольового стресу, імовірно, через покращення ростових процесів, водного балансу, вмісту хлорофілу, антиоксидантної активності та вмісту осмопротекторів. З посиленням сольового стресу активність ферментів знижується, але пошкодження клітин АФК зростає. У проростків пшениці, оброблених ТЕ, виявлено вищу активність СОД, КТ, ПОД та АПХ, кращі показники водного балансу, вмісту хлорофілу та осмопротекторів. Таким чином, обробка проростків ТЕ є ефективною стратегією, яка може бути використана для підвищення солестійкості пшениці [25]

Внесення азоту (N) впливає на врожайність пшениці та концентрацію білка в зерні, проте неправильне його використання може призвести до посилення вилягання рослин. Встановлено, що підвищення норм N до 120 кг/га збільшило вилягання рослин на 26,4 % для сорту WT 15025. ТЕ погіршував деякі ознаки фізіологічної якості насіння. Обприскування рослин 100 г/га ТЕ зменшило довжину проростків на 9,4 % з насіння WT 15008 порівняно з контролем. Суха речовина проростків зменшилася на 7,2 % внаслідок застосування 100 г/га ТЕ порівняно з контролем. Однак нижча норма ТЕ (50 г/га) може бути достатньою для мінімізації вилягання рослин без погіршення фізіологічної якості насіння залежно від норми внесення азотних добрив. Таким чином, підвищення дози внесення ретарданту може знижувати продуктивність та якість зерна, тому застосування ТЕ разом із сульфатом амонію може мати значення для підвищення ефективності внесення низьких і помірних доз ретарданту та забезпечення посівів азотом за його низьких рівнів під час осовного внесення [26].

У дослідженнях останніх років встановлено, що ТЕ також є активним засобом захисту від стресу, що може збільшити його значення в найближчі роки. ТЕ належить до класу циклогександіонів, а отже, структурно подібний звичайним грамініцидам, які часто використовуються з ад'ювантами. Польові дослідження виявили можливість застосування ТЕ з ад'ювантами (лимонна кислота, кремнійорганічна ПАР, сульфат амонію) на яром у ячмені. Вивчали вкорочення стебла, компоненти врожаю та якість зерна. Результати дослідження підтвердили можливість зменшення дози ТЕ комбінованим застосуванням з лимонною кислотою, яка знижує рН робочої рідини, або сульфатом амонію. Найбільше зниження висоти стебла

спостерігали після застосування повної дози ТЕ та його зменшеної дози в суміші з лимонною кислотою або сульфатом амонію. Залежно від року дослідження ефективність речовин щодо зменшення висоти стеблостою становила від 5,6 до 16,5 %. Досліджувані суміші неістотно впливали на розвиток рослин [27].

Похідні ЦГД поліпшують мінеральне живлення, оптимізують водний, світловий і повітряний режими у посівах та підвищують їх фотосинтетичну продуктивність, що у результаті сприяє формуванню вищого врожаю з якіснішими показниками.

У дослідженнях [26, 28, 29] високі дози ТЕ дещо знижували урожайність і якість зерна чи енергію проростання насіння. У поєднанні з азотом ТЕ може збільшувати врожай (кількість зерен у волоті рису) та знижувати висоту рослини [30]. Також розглядаються питання ефективності доз внесення ТЕ та вплив азотного живлення на його ретардантну активність.

Метою нашої роботи було визначення впливу сульфату амонію на активність ТЕ за позакореневого застосування на пшениці-дворучці сорту Зимоярка.

Методика

Вегетаційні досліди проводили у 2021—2022 рр. на пшениці зимоярїй (*Triticum aestivum* L.) сорту Зимоярка у вегетаційному будиночку Інституту фізіології рослин і генетики НАН України (м. Київ, Україна) на сірому опідзоленому ґрунті. Рослини обробляли одноразово, навесні у фазу ВВСН 37, розчинами: сульфату амонію $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (21 % N в амонійній формі, 24 % S у вигляді сульфату, Yara Sulfan, виробник Yara), у дозі 1,0 кг/га; регулятора росту рослин тринексапакетилу 150 г/га (модус 250 ЕС к. е., Syngenta, Швейцарія/Китай), 0,6 л/га; сульфату амонію, 1,0 кг/га + модус, 0,6 л/га. Контрольні рослини поливали водою. Протягом вегетації рослини обробляли фунгіцидами та інсектицидами у фази кушіння, цвітіння та по прапорцевому листку. Рослини підживлювали та проводили фенологічні спостереження. Фон — $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$. Повторність варіантів п'ятиразова.

Вміст хлорофілу (показники SPAD) у прапорцевих листках рослин пшениці визначали у фазу цвітіння фотооптичним методом за допомогою портативного хлорофілометра SPAD-502 (Konica Minolta Sensing 2003, Осака, Японія) [31, 32]. Показники реєстрували по 10—15 разів випадково вибраних рослин із кожного варіанта, 30 вимірювань на кожну точку.

Проводили біометричні вимірювання та оцінювали структуру врожаю.

Отримані результати оброблено статистично з використанням програми Microsoft Excel 2019 з StatPlus від Analyst Soft Inc. Version v.7 (<https://www.analystsoft.com/en/>).

Результати та обговорення

Вміст пігментів у тканинах, які активно фотосинтезують, є важливим показником стану рослин. Основну роль у фотосинтезі рослин, як відомо, відіграють пігментні системи, що виконують функції первин-

них акцепторів світлової енергії, яку перетворюють у хімічну. Вміст хлорофілу в листках є показником їх старіння та азотного статусу рослин [32], визначає потенційні можливості фотосинтетичного апарату в формуванні загальної біологічної продуктивності рослин.

Застосування ТЕ на посівах пшениці у фазу подовження стебла [33] сприяє інтенсивнішому зеленому забарвленню листків з індексом SPAD від 48,4 до 50,4 за рахунок перехоплення сонячного світла листками у вертикальній структурі посіву. Повідомлялося також [34], що максимальний вміст хлорофілу в різних частинах рослин спостерігався наприкінці фази цвітіння.

Визначення нами вмісту пігментів у фазу цвітіння в листках досліджуваного сорту пшениці показало, що після позакореневої обробки у фазу ВВСН 37 ТЕ, а також у композиції з сульфатом амонію вміст хлорофілу збільшувався (табл. 1). Показник вмісту хлорофілу у фазу цвітіння в прапорцевих листках пшениці сорту Зимоярка за обробки ретардантом, амонійним добривом та їх сумісним застосуванням був у межах 51,6—51,9 ум. од. SPAD. Підпрапорцеві листки в цих варіантах мали показники 44,0—45,5, 3-ті листки — 35,6—38,1 ум. од. та продовжували фотосинтезувати, тоді як у контрольному варіанті значення були дещо нижчими — 42,7 та 32,6 ум. од. відповідно.

Таким чином, спостерігали позитивний вплив діючої речовини ТЕ на вміст хлорофілу в листках рослин пшениці. Додавання у бакову суміш до регулятора росту сульфату амонію (1,0 кг/га) під час обробки збільшувало вміст хлорофілу в прапорцевих листках пшениці сорту Зимоярка. У контрольному варіанті (обробка водою) вміст хлорофілу був меншим, ніж у варіанті застосування ретарданту.

Раніше [19, 35, 36] було доведено стимулювальний вплив ТЕ на збільшення вмісту хлорофілу, інтенсивність азотного обміну, розвиток кореневої системи, подовження періоду вегетації, а також затримку цвітіння рослин тощо. Подібне зростання, ймовірно, пов'язане зі збільшенням вмісту хлорофілу на одиницю площі і/або об'єму тканини листка, що може позитивно впливати на врожай через збільшення ефективності фотосинтезу рослин під час вегетації.

Встановлено, що обробка рослин пшениці сорту Зимоярка ретардантом у поєднанні з сульфатом амонію поліпшувала асиміляцій-

ТАБЛИЦЯ 1. Вплив сульфату амонію та тринексапакетилу на вміст хлорофілу в листках рослин пшениці-дворучки сорту Зимоярка

Варіант	SPAD-індекс, ум. од.		
	Прапорцевий листок	Підпрапорцевий листок	3-й листок
Контроль (вода)	51,2±2,1 ^a	42,3±1,7 ^a	32,6±2,0 ^a
Сульфат амонію, 1,0 кг/га	51,8±1,9 ^a	44,1±1,8 ^a	35,6±1,8 ^a
Моддус, 0,6 л/га	51,6±1,8 ^a	44,0±1,9 ^a	38,4±2,1 ^б
Сульфат амонію, 1,0 кг/га + моддус, 0,6 л/га	51,9±1,9 ^a	45,5±1,6 ^{аб}	38,1±1,9 ^б

Примітка. Тут і у табл. 2 однаковими літерами позначено варіанти без статистично значущих відмінностей (критерій Тьюкі, $p < 0,05$). Досліджували агрохімікати, зареєстровані для використання в Україні.

ну здатність листків, що може сприяти збільшенню ефективності засвоєння ними вуглецю і поживних речовин за рахунок підвищення вмісту хлорофілу та подовження періоду вегетації.

Ефективність використання ретардантів на посівах пшениці озимої значною мірою залежить як від особливостей сорту, забезпечення мінеральними поживними компонентами агрофітоценозу, так і від погодно-кліматичних умов. Їх можна застосовувати за дефіциту вологи з метою оптимізації водного режиму культурних рослин [37]. Проте за несприятливих умов вирощування використання ретардантів у виробництві часто не сприяє підвищенню врожаю зернових колосових культур.

Вплив окремих чинників та їх взаємозв'язок на формування продуктивності пшениці визначають біометричні показники сільськогосподарської культури. Вони показують який вплив чинить використання певних речовин або системи живлення та слугують критерієм оцінки застосування того чи іншого препарату або його вдосконалення.

Дія ретардантів виявляється в укороченні осьових органів, завдяки чому рослини формують вкорочене, але потовщене стебло. При цьому міжвузля у рослин зернових коротшають, а механічна тканина і провідна система краще розвиваються.

Відомо, що ТЕ зменшує висоту рослин (на 5—10 %) за рахунок укорочення міжвузлів і сприяє збільшенню врожайності зерна (на 3—8 %) залежно від культури та сорту [38].

Показано, що висота рослин сорту Зимоярка за позакореневої обробки регулятором росту (ретардант моддус, 0,6 л/га) у фазу ВВСН 37 була на 26 % меншою порівняно з необробленим контрольним варіантом, та на 18,8 см нижчою від рослин, оброблених сульфатом амонію. Застосування регуляторів росту для зниження висоти пшениці обговорюється й в інших дослідженнях [5, 39—41].

Застосування сульфату амонію у композиціях з ТЕ на пшениці сорту Зимоярка привело до істотного зменшення висоти рослин майже на 35,8 % (23,7 см) порівняно з контрольним варіантом, обробленим водою (табл. 2). Зменшення висоти рослин відбувалось за рахунок укорочення довжини 4- і 5-го міжвузлів, до 53—57 % відносно контролю без обробки.

Як відомо, найбільшу масу 1000 зерен формують рослини, вирощені за сприятливих метеорологічних умов упродовж періоду наливання і досягання зерна. За рівної кількості стебел і озерненості колоса врожай вищий там, де більша маса 1000 зерен [1, 42]. Інгібітори росту по-різному впливають на кількість насінин у колосі та масу 1000 зерен (збільшуючи або зменшуючи), якість зерна і продуктивність зернових колосових культур залежно від дози й часу їх застосування [5, 28, 35, 43].

Застосування на рослинах пшениці сорту Зимоярка регулятора росту (ретарданту) моддус окремо або у поєднанні з сульфатом амонію сприяло позитивним змінам за різними елементами структури врожаю. Обробка рослин пшениці композицією ретарданту з сульфатом амонію позитивно вплинула на формування зернівки, тому маса 1000 зерен у досліджуваному варіанті була на 13,4 % вищою,

ТАБЛИЦЯ 2. Вплив сульфату амонію і тринексапакетиду на біометричні показники головної нагони рослини пшениці-дворучки сорту Зимоярка

Варіант	Висота стебла, см	Довжина міжвузлів, см					Довжина колоса, см	Кількість колосків, шт.	Маса зерен з колоса, г	Кількість зерен, шт.	Маса 1000 зерен, г
		1	2	3	4	5 (підколосове)					
Контроль	66,2±3,5 ^a	2,4±0,2 ^a	5,6±1,1 ^a	8,5±1,4 ^a	11,7±0,6 ^a	28,9±1,4 ^a	7,4±0,4 ^a	13,5±0,7 ^a	0,7±0,1 ^a	22,8±1,2 ^a	34,3±1,7 ^a
Сульфат амонію, 1,0 кг/га	67,7±3,4 ^a	2,6±0,2 ^a	5,7±0,9 ^a	8,9±1,1 ^a	12,8±0,7 ^a	29,8±1,5 ^a	7,7±0,3 ^a	13,7±0,8 ^a	0,9±0,2 ^a	25,3±1,3 ^b	37,7±1,7 ^b
Молдус, 0,6 л/га	48,9±2,5 ^b	2,5±0,1 ^a	6,0±0,7 ^a	9,1±1,3 ^a	8,0±0,4 ^b	15,4±0,8 ^b	7,9±0,4 ^a	14,3±0,7 ^a	0,8±0,1 ^a	25,7±1,3 ^b	34,3±1,6 ^b
Сульфат амонію, 1,0 кг/га + молдус, 0,6 л/га	42,5±2,1 ^b	2,5±0,1 ^a	5,9±0,9 ^a	8,5±1,5 ^a	5,5±0,3 ^b	12,4±0,6 ^b	8,4±0,4 ^a	14,7±0,8 ^a	0,8±0,1 ^a	22,9±1,1 ^a	38,5±1,8 ^b

ніж у контролі без обробки. Разом із тим маса 1000 зерен у варіанті з обробкою лише ретардантом була майже на рівні контролю, а застосування сульфату амонію сприяло збільшенню маси на 10,8 %, що узгоджується з результатами інших дослідників [44–46].

Отже, обробка рослин пшениці сорту Зимоярка ретардантом у поєднанні з сульфатом амонію поліпшувала асиміляційну здатність листків за рахунок підвищення вмісту хлорофілу та подовження періоду вегетації й збільшувала масу 1000 зерен. Маса 1000 зерен за сумісного застосування ТЕ + сульфату амонію становила 35,5 г, тоді як у контролі — 31,3 г.

Таким чином, контроль вилягання посівів зернових та інших культур є важливою складовою досягнення високої продуктивності й рентабельності агровиробництва. Зважаючи на можливу негативну дію високих доз ТЕ на продуктивність, застосування сульфату амонію може дати можливість досягти потрібних рівнів контролю вилягання за помірних доз ретарданту. ТЕ у композиції з сульфатом амонію можна використовувати для підвищення продуктивності пшениці за обмежених рівнів мінерального живлення. Водночас позакоренева обробка амонієм може бути складовою азотного живлення посіву протягом вегетації.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Моргун В.В., Швартау В.В., Киризий Д.А. Физиологические основы формирования высокой продуктивности зерновых злаков. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2010. **42**, № 5. С. 371–392.
2. March S.R., Martins D., McElroy J.S. Growth inhibitors in turfgrass. *Planta Daninha*. 2013. **31**, N 3. P. 733–747.
3. Matysiak K. Influence of trinexapac-ethyl on growth and development of winter wheat. *J. Plant Protect. Res.* 2006. **46**. P. 133–143.

4. Simmons D.B., Grey T.L., Faircloth W., Vencill W.K., Webster T.M. Trinexapac-ethyl winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar evaluations with variable rates of nitrogen. *J. Exp. Agr. Int.* 2017. **16**, N 5. P. 1–9. <https://doi.org/10.9734/jEAI/2017/33647>
5. Benetoli da Silva T.R., Schmidt R., Tavares da Silva C.A., Nolla A., Favero F., Polettine J.P. Effect of trinexapac-ethyl and nitrogen fertilization on wheat growth and yield. *J. Food, Agr. and Environ.* 2011. **9**. P. 596–598.
6. Koch F., Aisenberg G., Monteiro M., Pedo T., Zimmer P., Villela F., Aumonde T. Growth of wheat plants submitted to the application of the growth regulator trinexapac-ethyl and vigor of the produced seeds. *Agrociencia Uruguay.* 2017. **21**, N 1. P. 24–32. <https://doi.org/10.31285/AGRO.21.1.4>
7. Pricinotto L.F., Zucareli C., Fonseca I.C.B., Oliveira M.A., Ferreira A.S., Spolaor L.T. Trinexapac-ethyl in the vegetative and reproductive performance of corn. *Afr. J. Agr. Res.* 2015. **10**, N 14. P. 1735–1742. <https://doi.org/10.5897/AJAR2014.8613>
8. Trethewey J.A.K., Rolston M.P., McCloy B.L., Chynoweth R.J. The plant growth regulator, trinexapac-ethyl, increases seed yield in annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.). *New Zealand J. Agr. Res.* 2016. **59**, N 2. P. 113–121. <https://doi.org/10.1080/00288233.2015.1134590>
9. Shekoofa A., Emam Y. Effects of Nitrogen fertilization and plant growth regulators (PGRs) on yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Shiraz. *J. Agr. Sci. Technol.* 2008. **10**. P. 101–108.
10. Kong E., Liu D., Guo X., Yang W., Sun J., Li X., Zhan K., Cui D., Lin J., Zhang A. Anatomical and chemical characteristics associated with lodging resistance in wheat. *The Crop Journal.* 2013. **1**. P. 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2013.07.012>
11. Wang D., Ding W.H., Feng S.W., Hu T.Z., Li G., Li X.H., Yang Y.Y., Ru Z.G. Stem characteristics of different wheat varieties and its relationship with lodging-resistance. *The J. Appl. Ecol.* 2016. **27**. P.1496–1502.
12. Ervin E.H., Koski A.J. Trinexapac-ethyl increases kentucky bluegrass leaf cell density and chlorophyll concentration. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 2001. **36**, N 4. P. 787–789. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.36.4.787>
13. Zagonel J., Fernandes E.C. Rates and application times of growth reducer affecting wheat cultivars at two nitrogen rates. *Planta Daninha.* 2007. **25**. P. 331–339. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582007000200013>
14. Rademacher W. Prohexadione-Ca and trinexapac-ethyl: similarities in structure but differences in biological action. *Acta Hort.* 2014. **1042**. P. 33–41. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1042.3>
15. Hedden P., Thomas S.G. Gibberellin biosynthesis and its regulation. *Biochem. J.* 2012. **444**, N 1. P.11–25.
16. Mykhalska L.M., Makoveychuk T.I., Schwartau V.V. Mode of physiological activity of acylcyclohexadione retardants. *Biosystems Diversity.* 2020. **28**, N 4. P. 411–418. <https://doi.org/10.15421/012053>
17. Chastain T.G., Young III, W.C., Silberstein T.B., Garbacik C.J. Performance of trinexapac-ethyl on *Lolium perenne* seed crops in diverse lodging environments. *Field Crops Res.* 2014. **157**. P. 65–70. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.12.002>
18. Adams R., Kerber E., Pfister K., Weiler E.W. Studies on the action of the new growth retardant CGA163'935 (Primo). Progress in plant growth regulations. Karssen C.M., van Loon L.C., Vreugdenhil D. (eds). Amsterdam: Kluwer Academics. 1992. P. 818–827.
19. Beasley J.S., Branham B.E., Ortiz-Ribbing L.M. Trinexapac-ethyl affects Kentucky bluegrass root architecture. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 2005. **40**, N 5. P. 1539–1542.
20. Heckman N.L., Horst G.L., Gaussoin R.E. Influence of trinexapac-ethyl specific leaf weight and chlorophyll content of *Poa pratensis*. *Int. Turfgrass Soc. Res. J.* 2001. **9**. P. 287–290.
21. Heckman N.L., Horst G.L., Gaussoin R.E., Tavener B.T. Trinexapac-ethyl influence on cell membrane thermostability of Kentucky bluegrass leaf tissue. *Sci. Hort.* 2002. **92**, N 2. P. 183–186.
22. Elansarya H.O., Salem M.Z.M. Morphological and physiological responses and drought resistance enhancement of ornamental shrubs by trinexapac-ethyl application. *Sci. Hort.* 2015. **189**. P. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.033>

23. McCann S.E., Huang B. Effects of trinexapac-ethyl foliar application on creeping bentgrass responses to combined drought and heat stress. *Crop Sci.* 2007. **47**, N 5. P. 2121–2128.
24. Xu C., Huang B. Proteins and metabolites regulated by trinexapac-ethyl in relation to drought tolerance in Kentucky bluegrass. *J. Plant Growth Regul.* 2011. **31**. P. 25–37.
25. Sattar A., Cheema M.A., Sher A., Abbas T., Ijaz M., Ul-Allah S., Butt M., Qayyum A., Hussain M. Exogenously applied trinexapac-ethyl improves photosynthetic pigments, water relations, osmoregulation and antioxidants defense mechanism in wheat under salt stress. *Cer. Res. Commun.* 2019. **47**, N 3. P. 430–441. <https://doi.org/10.1556/0806.47.2019.20>
26. Faria L., Silva S., Lollato R. Nitrogen and trinexapac-ethyl effects on wheat grain yield, lodging and seed physiological quality in southern Brazil. *Exp. Agr.* 2022. **58**. E21. <https://doi.org/10.1017/S0014479722000217>
27. Miziniak W., Matysiak K., Kaczmarek S. Studies on trinexapac-ethyl dose reduction by combined application with adjuvants in spring barley. *J. Plant Protect. Res.* 2017. **5**, N 1. P. 36–42. <https://doi.org/10.1515/jppr-2017-0005>
28. Fernandes C.H. dos S., Arruda K.M.A., Couto A.P.S., Zucareli C., Fonseca I.C. de B. Doses and application times of trinexapac-ethyl on the industrial quality of white oat grains. *Semina: Ciências Agrárias Londrina.* 2022. **43**, N 6. P. 2691–2706. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n6p2691>
29. Bender A. Effect of plant growth regulator and additional nitrogen fertilization in spring on the seed yield and seed quality of timothy (*Phleum pratense* L.). *Agraarteadus.* 2021. **32**, N 1. P. 17–24. <https://doi.org/10.15159/jas.21.02>
30. Ferrari S., do Valle Polycarpo G., Vargas P.F., Fernandes, A.M., Luis Oliveira Cunha M., Pagliari P. Mix of trinexapac-ethyl and nitrogen application to reduce upland rice plant height and increase yield. *Plant Growth Regul.* 2022. **96**, N 1. P. 209–219. <https://doi.org/10.1007/s10725-021-00770-0>
31. Udding J., Gelang-Alfredson J., Pieijel H. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynthesis Res.* 2007. **91**. P. 37–46.
32. Fiorentini M., Zenobi S., Giorgini E., Basili D., Conti C., Pro C., Monaci E., Orsini R. Nitrogen and chlorophyll status determination in durum wheat as influenced by fertilization and soil management: Preliminary results. *PLoS One.* 2019. **14**, N 11. e0225126. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225126>
33. Fioreze S.L., Rodrigues J.D. Efeito da densidade de semeadura e de reguladores vegetais sobre os caracteres morfofisiológicos da folha bandeira do trigo. *Rev. Bras. Cienc. Agrar.* 2012. **7**, N 1. P. 89–96.
34. Skudra I., Ruza A. Effect of nitrogen and sulphur fertilization on chlorophyll content in winter wheat tea. *Rural Sust. Res.* 2017. **37**, N 332. P. 29–37. <https://doi.org/10.1515/plua-2017-0004>
35. Espindula M.C., Rocha V.C., Fontes P.S.R., Silva L.T. Effect of nitrogen and trinexapac-ethyl rates on the SPAD index of wheat leaves. *J. Plant Nutrition.* 2009. **32**, N 11. P. 1956–1964.
36. Kupke B.M., Tucker M.R., Able J.A., Porker K.D. Manipulation of barley development and flowering time by exogenous application of plant growth regulators. *Front. Plant Sci.* 2022. **12**. 694424. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.694424>
37. Rokhafrooz K., Emam Y., Pirasteh-Anosheh H. The effect of chlormequat chloride on yield and components of three wheat cultivars under drought stress conditions. *J. Crop Produc. Proc.* 2016. **6**. N 20. P. 111–123.
38. Subedi M., Karimi R., Wang Z., Graf R. J., Mohr R.M., O'Donovan J.T., Brandt S., Beres B.L. Winter cereal responses to dose and application timing of trinexapac-ethyl. *Crop Sci.* 2021. **61**, N 4. P. 2722–2732. <https://doi.org/10.1002/csc2.20472>
39. Spolidorio F.D., Lollato R.P. Plant growth regulators to decrease wheat height in high fertility scenarios. *Kansas Agr. Exp. Stn. Res. Rep.* 2019. **5**, N 6. P. 1–6. <https://doi.org/10.4148/2378-5977.7789>
40. Zhang Y., Su Sh., Tabori M., Yu J., Chabot D., Baninasab B., Wang X., Ma B.L., Li C., Khanizadeh S. Effect of selected plant growth regulators on yield and stem height of spring wheat in Ontario. *J. Agr. Sci.* 2017. **9**, N 12. P. 30–42. <https://doi.org/10.5539/jas.v9n12p30>

41. Qin R., Noulas C., Wysocki D., Liang X., Wang G., Lukas S. Application of plant growth regulators on soft white winter wheat under different nitrogen fertilizer scenarios in irrigated fields. *Agriculture*. 2020. **10**, N 7. 305. <https://doi.org/10.3390/agriculture10070305>
42. Harasim E., Weselowski M., Kwiatkowski C., Harasim P., Staniak M., Feledyn-Szewczyk B. The contribution of yield components in determining the productivity of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Acta Agrobotanica*. 2016. **69**, N 3. 1675. <https://doi.org/10.5586/aa.1675>
43. Grijalva-Contreras R.L., Macias-Duarte R., Martinez-Diaz G., Robles-Contreras F., Nunez-Ramirez F. Effects of trinexapac-ethyl on different wheat varieties under desert conditions of Mexico. *Agr. Sci.* 2012. **3**. P. 658–662. <https://doi.org/10.4236/as.2012.35079>
44. Hayat Y., Hussain Z., Khalil S.K., Khan Z.K., Ikramullah, Ali M., Shah T., Shah F. Effects of nitrogen and foliar sulphur applications on the growth and yield of two wheat varieties grown in Northern Pakistan. *J. Agr. Biol. Sci.* 2015. **10**, N 4. P. 139–145.
45. Klikocka H., Cybulska M., Barczak B., Narolski B., Szostak B., Kobialka A., Nowak A., Wojcik E. The effect of sulphur and nitrogen fertilization on grain yield and technological quality of spring wheat. *Plant, Soil and Environ.* 2016. **62**, N 5. P. 230–236. <https://doi.org/10.17221/18/2016-PSE>
46. Peake A.S., Bell K.L., Fischer R.A., Gardner M., Das B.T., Poole N., Mumford M. Cultivar × management interaction to reduce lodging and improve grain yield of irrigated spring wheat: Optimising plant growth regulator use, N application timing, row spacing and sowing date. *Front. Plant Sci.* 2020. **11**. 401. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00401>

Отримано 10.07.2023

REFERENCES

1. Morgun, V.V., Schwartau, V.V. & Kiriziy, D.A. (2010). Physiological bases of formation of high productivity of grain cereals. *Fyzyolohiya y byokhymiya kulturnukh rastenyi*, 42, No. 5, pp. 371-392 [in Russian].
2. March, S.R., Martins, D. & McElroy, J.S. (2013). Growth inhibitors in turfgrass. *Planta Daninha*, 31 (3), pp. 733-747.
3. Matsyjak, K. (2006). Influence of trinexapac-ethyl on growth and development of winter wheat. *J. Plant Protect. Res.*, 46, pp. 133-143.
4. Simmons, D.B., Grey, T.L., Faircloth, W., Vencill, W.K. & Webster, T.M. (2017). Trinexapac-ethyl winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar evaluations with variable rates of nitrogen. *J. Exp. Agr. Int.*, 16 (5), pp. 1-9.
5. Benetoli da Silva, T.R., Schmidt, R., Tavares da Silva, C.A., Nolla, A., Favero, F. & Poletine, J.P. (2011). Effect of trinexapac-ethyl and nitrogen fertilization on wheat growth and yield. *J. Food, Agr. and Environ.*, 9, pp. 596-598.
6. Koch, F., Aisenberg, G., Monteiro, M., Pedro, T., Zimmer, P., Villela, F. & Aumonde, T. (2017). Growth of wheat plants submitted to the application of the growth regulator trinexapac-ethyl and vigor of the produced seeds. *Agrociencia Uruguay*, 21 (1), pp. 24-32.
7. Pricinotto, L.F., Zucareli, C., Fonseca, I.C.B., Oliveira, M.A., Ferreira, A.S. & Spolaor, L.T. (2015). Trinexapac-ethyl in the vegetative and reproductive performance of corn. *Afr. J. Agr. Res.*, 10 (14), pp. 1735-1742.
8. Trethewey, J.A.K., Rolston, M.P., McCloy, B.L. & Chynoweth, R.J. (2016). The plant growth regulator, trinexapac-ethyl, increases seed yield in annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.). *New Zealand J. Agr. Res.*, 59 (2), pp. 113-121.
9. Shekoofa, A. & Emam, Y. (2008). Effects of nitrogen fertilization and plant growth regulators (PGRs) on yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Shiraz. *J. Agr. Sci. and Technol.*, 10, pp. 101-108.
10. Kong, E., Liu, D., Guo, X., Yang, W., Sun, J., Li, X., Zhan, K., Cui, D., Lin, J. & Zhang, A. (2013). Anatomical and chemical characteristics associated with lodging resistance in wheat. *Crop J.*, 1, pp. 43-49.

11. Wang, D., Ding, W.H., Feng, S.W., Hu, T.Z., Li, G., Li, X.H., Yang, Y.Y. & Ru, Z.G. (2016). Stem characteristics of different wheat varieties and its relationship with lodging-resistance. *The J. Appl. Ecol.*, 27, pp. 1496-1502.
12. Ervin, E.H. & Koski, A.J. (2001). Trinexapac-ethyl increases kentucky bluegrass leaf cell density and chlorophyll concentration. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 36 (4), pp. 787-789.
13. Zagonel, J. & Fernandes, E.C. (2007). Rates and application times of growth reducer affecting wheat cultivars at two nitrogen rates. *Planta Daninha*, 25, pp. 331-339. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582007000200013>
14. Rademacher, W. (2014). Prohexadione-Ca and trinexapac-ethyl: similarities in structure but differences in biological action. *Acta Hort.*, 1042, pp. 33-41. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1042.3>.
15. Hedden, P. & Thomas, S.G. (2012). Gibberellin biosynthesis and its regulation. *Biochem. J.*, 444 (1), pp. 11-25.
16. Mykhalska, L.M., Makoveychuk, T.I. & Schwartau, V.V. (2020). Mode of physiological activity of acylcyclohexadione retardants. *Biosystems Diversity*, 28 (4), pp. 411-418. <https://doi.org/10.15421/012053>
17. Chastain, T.G., Young III, W.C., Silberstein, T.B. & Garbacik, C.J. (2014). Performance of trinexapac-ethyl on *Lolium perenne* seed crops in diverse lodging environments. *Field Crops Res.*, 157, pp. 65-70.
18. Adams, R., Kerber, E., Pfister, K. & Weiler, E.W. (1992). Studies on the action of the new growth retardant CGA163'935 (Primo). In *Progress in plant growth regulations*. Karssen, C.M., van Loon, L.C. & Vreugdenhil, D. (Eds). (pp. 818-827). Amsterdam: Kluwer Academics.
19. Beasley, J.S., Branham, B.E. & Ortiz-Ribbing, L.M. (2005). Trinexapac-ethyl affects Kentucky bluegrass root architecture. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 40 (5), pp. 1539-1542.
20. Heckman, N.L., Horst, G.L. & Gaussoin, R.E. (2001). Trinexapac-ethyl influences specific leaf weight and chlorophyll content of *Poa pratensis*. *Int. Turfgrass Soc. Res. J.*, 9, pp. 287-290.
21. Heckman, N.L., Horst, G.L., Gaussoin, R.E. & Tavener, B.T. (2002). Trinexapac-ethyl influence on cell membrane thermostability of Kentucky bluegrass leaf tissue. *Sci. Hort.*, 92 (2), pp. 183-186.
22. Elansarya, H.O. & Salem, M.Z.M. (2015). Morphological and physiological responses and drought resistance enhancement of ornamental shrubs by trinexapac-ethyl application. *Sci. Hort.*, 189, pp. 1-11.
23. McCann, S.E. & Huang, B. (2007). Effects of trinexapac-ethyl foliar application on creeping bentgrass responses to combined drought and heat stress. *Crop Sci.*, 47 (5), pp. 2121-2128.
24. Xu, C. & Huang, B. (2011). Proteins and metabolites regulated by trinexapac-ethyl in relation to drought tolerance in Kentucky bluegrass. *J. Plant Growth Regul.*, 31, pp. 25-37.
25. Sattar, A., Cheema, M.A., Sher, A., Abbas, T., Ijaz, M., Ul-Allah, S., Butt, M., Qayyum, A. & Hussain, M. (2019). Exogenously applied trinexapac-ethyl improves photosynthetic pigments, water relations, osmoregulation and antioxidants defense mechanism in wheat under salt stress. *Cereal Res. Commun.*, 47, pp. 430-441. <https://doi.org/10.1556/0806.47.2019.20>
26. Faria, L., Silva, S. & Lollato, R. (2022). Nitrogen and trinexapac-ethyl effects on wheat grain yield, lodging and seed physiological quality in southern Brazil. *Exp. Agr.*, 58, E21. <https://doi.org/10.1017/S0014479722000217>
27. Miziniak, W., Matysiak, K. & Kaczmarek, S. (2017). Studies on trinexapac-ethyl dose reduction by combined application with adjuvants in spring barley. *J. Plant Protect. Res.*, 5 (1), pp. 36-42. <https://doi.org/10.1515/jppr-2017-0005>
28. Fernandes, C.H. dos S., Arruda, K.M.A., Couto, A.P.S., Zucareli, C. & Fonseca, I.C. de B. (2022). Doses and application times of trinexapac-ethyl on the industrial quality of white oat grains. *Semina: Cienc. Agrar. Londrina*, 43 (6), pp. 2691-2706. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n6p2691>
29. Bender, A. (2021). Effect of plant growth regulator and additional nitrogen fertilization in spring on the seed yield and seed quality of timothy (*Phleum pratense* L.). *Agraarteadus*, 32 (1), pp. 17-24. <https://doi.org/10.15159/jas.21.02>
30. Ferrari, S., do Valle Polycarpo, G., Vargas, P.F., Fernandes, A.M., Luis Oliveira Cunha, M. & Pagliari, P. (2022). Mix of trinexapac-ethyl and nitrogen application to reduce

- upland rice plant height and increase yield. *Plant Growth Regul.*, 96 (1), 209-219. <https://doi.org/10.1007/s10725-021-00770-0>
31. Udding, J., Gelang-Alfredson, J. & Piejfel, H. (2007). Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynthesis Res.*, 91, pp. 37-46.
 32. Fiorentini, M., Zenobi, S., Giorgini, E., Basili, D., Conti, C., Pro, C., Monaci, E. & Orsini, R. (2019). Nitrogen and chlorophyll status determination in durum wheat as influenced by fertilization and soil management: Preliminary results. *PLoS One*, 14 (11), e0225126. doi: 10.1371/journal.pone.0225126.
 33. Fioreze, S.L. & Rodrigues, J.D. (2012) Efeito da densidade de semeadura e de reguladores vegetais sobre os caracteres morfofisiologicos da folha bandeira do trigo. *Rev. Bras. Cienc. Agrar.*, 7 (1), pp. 89-96.
 34. Skudra, I. & Ruza, A. (2017). Effect of nitrogen and sulphur fertilization on chlorophyll content in winter wheat tea. *Rural. Sustain. Res.*, 37 (332), pp. 29-37. <https://doi.org/10.1515/plua-2017-0004>
 35. Espindula, M.C., Rocha, V.C., Fontes, P.S.R. & Silva, L.T. (2009). Effect of Nitrogen and Trinexapac-Ethyl Rates on the SPAD index of wheat leaves. *J. Plant Nutr.*, 32, pp. 1956-1964.
 36. Kupke, B.M., Tucker, M.R., Able, J.A. & Porker, K.D. (2022). Manipulation of Barley Development and Flowering Time by Exogenous Application of Plant Growth Regulators. *Front. Plant Sci.*, 12, 694424. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.694424>
 37. Rokhafrooz, K., Emam, Y. & Pirasteh-Anosheh, H. (2016). The effect of chlormequat chloride on yield and components of three wheat cultivars under drought stress conditions. *J. of Crop Produktion and Processing.*, 6 (20), pp. 111-123 [In Persian].
 38. Subedi, M., Karimi, R., Wang, Z., Graf, R.J., Mohr, R.M., O'Donovan, J.T., Brandt, S. & Beres, B.L. (2021). Winter cereal responses to dose and application timing of trinexapac-ethyl. *Crop Sci.*, 61 (4), pp. 2722-2732. <https://doi.org/10.1002/csc2.20472>
 39. Spolidorio, F. & Lollato, R. (2019). Plant growth regulators to decrease wheat height in high fertility scenarios. *Kans. Agric. Exp. Stn. Res. Rep.*, 5 (6), pp. 1-6. <https://doi.org/10.4148/2378-5977.7789>
 40. Zhang, Y., Su, Sh., Tabori, M., Yu, J., Chabot, D., Baninasab, B., Wang, X., Ma, B.L., Li, C. & Khanizadeh, S. (2017). Effect of selected plant growth regulators on yield and stem height of spring wheat in Ontario. *J. Agr. Sci.*, 9 (12), pp. 30-42. <https://doi.org/10.5539/jas.v9n12p30>
 41. 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>
 42. Harasim, E., Weselowski, M., Kwiatkowski, C., Harasim, P., Staniak, M. & Feledyn-Szewczyk, B. (2016). The contribution of yield components in determining the productivity of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Acta Agrobot.*, 69, 3, 1675. <https://doi.org/10.5586/aa.1675>
 43. Grijalva-Contreras, R.L., Macias-Duarte, R., Martinez-Diaz, G., Robles-Contreras, F. & Nunez-Ramirez, F. (2012). Effects of trinexapac-ethyl on different wheat varieties under desert conditions of Mexico. *Agric. Sci.*, 3, pp. 658-662. <https://doi.org/10.4236/as.2012.35079>
 44. Hayat, Y., Hussain, Z., Khalil, S.K., Khan, Z.K., Ikramullah, Ali M., Shah T. & Shah, F. (2015). Effects of nitrogen and foliar sulphur applications on the growth and yield of two wheat varieties grown in Northern Pakistan. *Res. J. Agr. Biol. Sci.*, 10 (4), pp. 139-145.
 45. Klikocka, H., Cybulska, M., Barczak, B., Narolski, B., Szostak, B., Kobialka, A., Nowak, A. & Wojcik, E. (2016). The effect of sulphur and nitrogen fertilization on grain yield and technological quality of spring wheat. *Plant Soil Environ.*, 62 (5), pp. 230-236. <https://doi.org/10.17221/18/2016-PSE>
 46. Peake, A.S., Bell, K.L., Fischer, R.A., Gardner, M., Das, B.T., Poole, N. & Mumford, M. (2020). Cultivar × management interaction to reduce lodging and improve grain yield of irrigated spring wheat: Optimising plant growth regulator use, N application timing, row spacing and sowing date. *Front. Plant Sci.*, 11, 401. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00401>

Received 10.07.2023

THE INFLUENCE OF SULFATE AMMONIUM ON THE RETARDANT ACTIVITY OF TRINEXAPAC-ETHYL ON WHEAT

L.M. Mykhalska, T.I. Makoveychuk, V.O. Tretiakov, V.V. Schwartau

Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine
31/17 Vasylkivska St., Kyiv, 03022, Ukraine
e-mail: Mykhalskaya_L@ukr.net

Controlling lodging in cereals and other crops with retardants is an important part of achieving high productivity and profitability in agricultural production. In addition to their retardant activity and numerous morphological and physiological effects, their research in the area of xenobiotic metabolism regulation is promising, especially when used in formulations with other pesticides and agrochemicals. However, the effect of cyclohexanedione derivatives on stem shortening, particularly on the reduction of upper internodes from the spike, can reduce carbon pools that are redistributed to generative organs with a corresponding reduction in productivity. This effect can be particularly pronounced with high doses of retardant and moisture deficit in the second half of the growing season. The effect of the well-known adjuvant ammonium sulphate on the efficacy of trinexapac-ethyl on durum wheat (*Triticum aestivum* L.) plants of the Zymoyarka variety under foliar application was studied. It was shown that the height of wheat plants under the effect of a growth regulator (retardant Moddus, 0.6 l/ha) in the BBCH 37 stage was 26 % lower than the untreated control and 18.8 cm lower than plants treated with ammonium sulphate. Combined application of ammonium sulphate with trinexapac-ethyl on wheat variety Zymoyarka reduced plant height by 35.8 % (23.7 cm) compared to the water-treated control. The reduction in plant height was due to shortening of the length of the 4th and 5th internodes, up to 53–57 % compared to the untreated control. It was found that treatment of wheat plants of the Zymoyarka variety with the retardant in combination with ammonium sulphate led to some improvement in the assimilative capacity of the leaves by increasing the chlorophyll content and prolonging the growing season, and increasing the weight of 1000 grains. The weight of 1000 grains in the combined application of trinexapac-ethyl + ammonium sulphate was 35.5 g, in the control — 31.3 g. Thus, trinexapac-ethyl in combination with ammonium sulphate can be used to increase wheat productivity under limited mineral nutrition. Taking into account the possible negative effect of high doses of TE on productivity, the use of ammonium sulphate allows the necessary levels of lodging control to be achieved at moderate doses of the retardant. In addition, foliar application of ammonium can be part of the nitrogen nutrition of the crop during the growing season.

Key words: wheat (*Triticum aestivum* L.), trinexapac-ethyl, ammonium sulphate.

ORCID

Л.М. МИХАЛЬСЬКА — Liudmyla Mykhalska <https://orcid.org/0000-0002-0677-5574>

Т.І. МАКОВЕЙЧУК — Tetyana Makoveychuk <https://orcid.org/0000-0001-6950-0239>

В.О. ТРЕТЯКОВ — Vadym Tretiakov <https://orcid.org/0000-0002-1047-095X>

В.В. ШВАРТАУ — Victor Schwartau <https://orcid.org/0000-0001-7402-5559>