

<https://doi.org/10.15407/frg2018.06.474>

УДК 581.192+631.811.98

ВМІСТ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У РОСЛИНАХ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ЗА ДІЇ РЕТАРДАНТІВ

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

*Институт фізіології рослин і генетики Національної академії наук України
03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17
e-mail: VictorSchwartau@gmail.com*

Досліджували вплив ретардантів класу ацилциклогександіонів (циклогексанкарбоксилатів) на рослини озимої пшениці (*Triticum aestivum* L.) сортів Смуглянка і Подолянка. Встановлено, що обробка ретардантами — інгібіторами синтезу гіберелової кислоти — призводила до зростання в прапорцевих листках пшениці сорту Подолянка вмісту неорганічних складових редокс-систем рослин — мангану, цинку і міді, а в рослинах сорту Смуглянка — цинку і міді. За обробки рослин озимої пшениці сорту Смуглянка мепікватхлоридом + етефоном (терпалом) у її зерні містилось більше магнію і цинку, а за обробки прогексадіоном кальцію + мепікватхлоридом (медакс топом) — мангану, цинку і міді. У разі застосування добрива з амінокислотами у композиціях з ретардантами вміст мікроелементів у прапорцевих листках озимої пшениці підвищувався. За мікроелементним складом рослин можна оцінити перерозподіл неорганічних елементів у системі ґрунт—рослина, уточнити системи живлення рослин за застосування ретардантів та ідентифікувати чинники, які впливають на нестачу чи надлишок елементів. Ретарданти класу ацилциклогександіонів істотно не знижували вміст окремих мікроелементів. Проте позакореневі підживлення бором і мікроелементами редокс-гомеостазу у фази ВВСН 21-32 можуть бути важливими за високого рівня азотного живлення й для контролю вилягання похідними циклогександіонів з метою отримання високого врожаю.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L., ретарданти, ICP-MS, мікроелементи.

Пшениця — важлива стратегічна культура, яку вирощують в Україні. Вона займає найбільші посівні площі, є первинною харчовою ланкою забезпечення людини і тварин біологічно важливими елементами. Незбалансований вміст мікроелементів може спричинити захворювання як рослин, тварин, так і людини [2].

Мікроелементний склад сільськогосподарських культур — важливий показник їх біологічної цінності. Відхилення вмісту мікроелементів у рослинах і зерні від оптимального негативно впливає на здоров'я людини й тварин, порушує баланс неорганічних елементів в організмі [12].

Вміст мікроелементів у рослинах залежить від їхніх фізіологічних потреб та екологічних умов вирощування. Оптимальне живлення озимої пшениці макро- і мікроелементами не тільки підви-

щує врожайність, а й впливає на якість зернової продукції. Включення в метаболізм рослин озимої пшениці мікроелементів, пов'язаних з азотним обміном — Cu, Mo і Zn — підвищує вміст білка і сирого клейковини в зерні, поліпшує хлібопекарські властивості борошна [7, 14].

Технології вирощування зернових злаків передбачають використання мінеральних добрив, пестицидів, регуляторів росту та інших речовин, які розкривають генетичний потенціал рослин, захищають їх від шкідливих впливів, несприятливих чинників навколишнього середовища [10].

Важливим елементом сучасних технологій вирощування зернових є запобігання їх виляганню, яке значно знижує продуктивність і якість зерна. Необхідність таких заходів зумовлена застосуванням високих доз азотних добрив для максимального розкриття потенціалу продуктивності сортів [1, 2], адже за таких умов стебло злаків витягується і втрачає механічну міцність [9]. Вилягання зернових культур, у тому числі й пшениці, є одним з основних чинників, які обмежують отримання високих урожаїв та якісного зерна. Втрати врожаю пшениці при цьому можуть становити 10–80 % [6, 17], погіршуються технологічні й посівні якості зерна, посилюється розвиток грибних захворювань, ускладнюється процес збору врожаю [4, 6].

Щоб запобігти виляганню посівів, використовують ретарданти — синтетичні регулятори росту різної хімічної природи [1, 2, 8, 11]. Більшість сучасних ретардантів є інгібіторами біосинтезу гіберелінів. Передусім це онієві сполуки: хлормекватхлорид, мепікватхлорид тощо, які інгібують перетворення геранілгеранілпірофосфату до ent-каурену. Наступне перетворення до ent-кауренату каталізується цитохром-Р₄₅₀-залежними монооксигеназами. Високоєфективними є ацилциклогександіони (ЦГД): тринексапакетил, прогексадіон кальцію, дамінозид, які інгібують переважно 3β-гідроксилування та утворення високоактивних гіберелінів з неактивних похідних [1, 2, 13, 16, 18]. Засоби цих класів домінують у посівах зернових колосових культур, важливою їх особливістю є можливість застосування за помірної посухи.

За допомогою інгібіторів росту контролюють вилягання рослин пшениці. Проте ще бракує інформації щодо впливу цих речовин на фізіологічні якості насіння. З літератури [15] відомо, що застосування на посівах таких інгібіторів росту, як хлормекват, паклобутразол, тринексапакетил, у подальшому не впливало на проростання і життєздатність насіння пшениці.

Похідні ЦГД інгібують подовження міжвузлів, сприяють розвитку кореневої системи. Це може посилювати надходження неорганічних елементів, впливати на перерозподіл іонів у системі вегетативні органи—колос.

Метою нашої роботи було дослідження вмісту неорганічних мікроелементів у рослинах озимої пшениці за позакореневої обробки сучасними ретардантами класу ЦГД.

Методика

Посіви озимої пшениці (*Triticum aestivum* L.) сортів Смуглянка і Подольянка селекції Інституту фізіології рослин і генетики НАН України

(сmt Глеваха Васильківського р-ну Київської обл., облікові ділянки — 10 м², повторність шестиразова) обробляли один раз навесні у фазу ВВСН 37 такими регуляторами росту рослин: тринексапакетил (модус 250 ЕС, Syngenta, Швейцарія), мепікватхлорид + етефон (терпал), прогексадіон кальцію + мепікватхлорид (медакс топ) — обидва виробництва BASF (Німеччина) у дозах відповідно 0,6, 1,5 і 1,0 л/га, а також комплексом макро- та мікроелементів на основі амінокислот гідролізатів рослин — мегафол, 1,5 л/га (Valagro, Італія). Протягом вегетації рослини обробляли фунгіцидами та інсектицидами у фази кушіння, цвітіння та по прапорцевому листку. Загальний фон живлення рослин становив N₁₃₀P₁₀₀K₁₄₀S₂₀.

Дослідження виконано в період 2015—2018 рр. У таблицях наведено середні дані 2016—2018 рр.

Вміст неорганічних елементів у рослинному матеріалі (прапорцевий листок, зерно озимої пшениці) визначали на мас-спектрометрі з індуктивно зв'язаною плазмою (ICP-MS) Agilent 7700x (Agilent Technologies, США). Зразки відбирали у фази початку цвітіння та повної стиглості, висушували їх до сталої маси, гомогенізували, наважку 0,400 г озолували в азотній кислоті (ос.ч.) у мікрохвильовій системі пробопідготовки Milestone Start D (Milestone, США). Після охолодження зразки розчиняли, коефіцієнт розбавлення 250×. Усі розчини готували на воді 1-го класу (18 МОм), підготовленій в системі очищення води Scholar-UV Nex Up 1000 (Human Corporation, Корея).

Калібрувальним стандартом слугував ICP-MS Complete Standard IV-ICP-MS-71A (Inorganic Ventures, США). Визначення проводили в режимі продування гелієм, що ефективно видаляє матричні та елементні інтерференції. Як внутрішній стандарт використовували 1 ppb розчин Sc фірми Inorganic Ventures, США.

Результати оброблено в програмному забезпеченні ICP-MS MassHunter Software та MS Excel 2014.

Результати та обговорення

Мікроелементи є невід'ємною частиною живлення рослин, без яких неможливі їх розвиток і формування врожаю. Кількість мікроелементів, необхідних рослинам, відносно невелика порівняно з кількістю необхідних макроелементів. Однак навіть невеликий дефіцит цих речовин може порушувати метаболізм, унеможливити засвоєння основних елементів живлення і навіть призводити до загибелі рослин. Надходження до фотосинтезуючих органів достатньої кількості елементів живлення забезпечує належний перебіг фотосинтетичних процесів [8].

У рослинах пшениці концентрація Fe, Mn, Zn і Cu вища за вміст інших мікроелементів. Вони належать до елементів редокс-гомеостазу, їх фізіологічна роль пов'язана з участю в ключових метаболічних процесах (фотосинтез, дихання, вуглеводний і білковий обмін тощо).

Манган регулює фотосинтез, дихання, вуглеводний і білковий обмін, активує ферменти [5]. Його вміст у рослинах змінюється від

15 до 400 мг/кг сухої речовини [10]. Вміст мангану понад 200 мг/кг маси сухої речовини прийнято вважати високим, мінімальна кількість мікроелемента для основних сільськогосподарських культур, нижче від якої порушується їх ріст — 20—15 мг/кг сухої речовини.

За позакореневої обробки рослин озимої пшениці ретардантами ТЕ (моддус, 0,6 л/га) і мепікватхлорид + етефон (терпал, 1,5 л/га) вміст мангану в прапорцевих листках рослин сорту Подолянка підвищувався відповідно на 13 і 44 %, тоді як прогексадіон кальцію + мепікватхлорид (медакс топ, 1,0 л/га) сприяв збільшенню накопичення мангану і цинку на 14 і 18 % порівняно з контролем (табл. 1). Композиція терпал + мегафол підвищувала вміст мангану на 16,9 %, моддус + мегафол — на 50,7 %, вміст цинку — на 12,8 %. Цей сорт пшениці більше накопичував у прапорцевих листках і міді майже в усіх варіантах за винятком варіанта з медакс топ + мегафол (див. табл. 1).

У прапорцевих листках рослин озимої пшениці сорту Смуглянка збільшувався лише вміст цинку в усіх варіантах за винятком обробки медакс топ + мегафол. Моддус (0,6 л/га) збільшував вміст міді у листках пшениці на 18 % порівняно з контролем. За всіх варіантів позакореневої обробки рослин пшениці сорту Смуглянка вміст мангану в її листках зменшувався.

Залізо входить до складу окисно-відновних ферментів, бере участь у синтезі хлорофілу, процесах дихання, обміну речовин тощо. Середній вміст заліза в рослинах становить 20—80 мг/кг сухої речовини [10]. Дефіцит заліза на ріст листків впливає менше. Лише за гострої нестачі заліза уповільнюються ріст й поділ клітин. Найзначніші зміни відбуваються в пластидному апараті листків, вони зменшуються в розмірі, пригнічується синтез білка в цитоплазмі й особливо у хлоропластах. За гострої нестачі заліза в рослинах гальмується синтез ауксинів, листки втрачають зелене забарвлення, біліють і передчасно відмирають.

Нестача заліза позначається на зменшенні вмісту в листках хлорофілу, пригніченні активності фотосистем. Зміни фотосинтезу відбиваються на вуглеводному обміні рослин, що призводить до зниження вмісту цукрів і крохмалю в листках.

За обробки рослин озимої пшениці обох сортів інгібіторами росту та їх композиціями з мегафолом вміст заліза у них зменшується, але в листках пшениці сорту Смуглянка був дещо вищим, ніж у пшениці сорту Подолянка. Відомо, що у ґрунтах України вміст заліза доволі високий за винятком деяких ґрунтових відмін південного регіону. Відносне зниження вмісту заліза за впливу регуляторів росту може бути пов'язано як з активуванням метаболізму в прапорцевому листку, так і змінами в його надходженні з кореневої системи за перебігу процесів інгібування росту стебла.

Бор бере участь у багатьох фізіологічних і біохімічних процесах, що забезпечують фертильність рослин: у регуляції росту, метаболізмі фенолів, вуглеводів, ауксинів, нуклеїнових кислот, транспортуванні цукрів, диханні, в процесах синтезу і лігніфікації клітинних стінок. Нестача бору може призводити до порушення функцій мембран.

Застосування на посівах мегафолу (1,5 л/га) сприяло підвищен-

ТАБЛИЦЯ 1. Вміст мікроелементів у пророщених листках рослини озимої пшениці за дії ретардантів класу ацициклоксандіонів

№	Варіант	Смулянка								Подольнка															
		Вміст, мг/кг								Вміст, мг/кг															
		Mn	Fe	Cu	Zn	Mo	B	Mn	Fe	Cu	Zn	Mo	B	Mn	Fe	Cu	Zn	Mo	B						
1.	Контроль	129,2 ^a	150,0 ^a	4,3 ^a	11,6 ^a	141 ^a	7,3 ^a	103,3 ^a	94,1 ^a	3,7 ^a	11,9 ^a	182 ^a	8,3 ^a	126,3 ^a	114,8 ^b	5,1 ^b	14,4 ^b	286 ^b	5,5 ^b	116,8 ^a	92,0 ^a	4,0 ^a	11,6 ^a	212 ^b	4,1 ^b
2.	Модус, 0,6 л/га	105,1 ^a	114,3 ^b	3,5 ^b	15,5 ^b	213 ^b	6,3 ^a	149,4 ^f	75,8 ^b	5,4 ^b	10,9 ^a	227 ^b	4,6 ^b	122,0 ^a	113,1 ^b	3,2 ^b	16,9 ^a	213 ^b	5,1 ^b	117,8 ^a	72,0 ^b	4,3 ^a	14,0 ^b	204 ^a	6,7 ^b
3.	Терпал, 1,5 л/га	126,8 ^a	113,6 ^b	3,9 ^a	14,7 ^b	218 ^b	9,7 ^b	86,2 ^b	78,6 ^b	4,9 ^b	16,0 ^b	142 ^b	9,3 ^a	104,2 ^b	83,0 ^a	3,5 ^b	15,2 ^b	199 ^b	6,5 ^a	155,6 ^f	74,3 ^b	4,6 ^b	13,4 ^b	187 ^a	8,8 ^a
4.	Медакс топ, 1,0 л/га	116,3 ^a	94,8 ^a	4,1 ^a	12,0 ^a	199 ^b	4,3 ^b	120,8 ^a	74,6 ^b	4,0 ^a	10,3 ^a	136 ^a	4,5 ^b	126,8 ^a	113,6 ^b	3,9 ^a	14,7 ^b	218 ^b	9,7 ^b	86,2 ^b	78,6 ^b	4,9 ^b	16,0 ^b	142 ^b	9,3 ^a
5.	Мегафол, 1,5 л/га	104,2 ^b	83,0 ^a	3,5 ^b	15,2 ^b	199 ^b	6,5 ^a	155,6 ^f	74,3 ^b	4,6 ^b	13,4 ^b	187 ^a	8,8 ^a	116,3 ^a	94,8 ^a	4,1 ^a	12,0 ^a	199 ^b	4,3 ^b	120,8 ^a	74,6 ^b	4,0 ^a	10,3 ^a	136 ^a	4,5 ^b
6.	Модус, 0,6 л/га + мегафол, 1,5 л/га	95,4 ^b	89,0 ^b	4,5 ^b	11,4 ^a	173 ^b	4,9 ^b	92,5 ^c	62,7 ^b	3,1 ^a	9,8 ^a	168 ^b	5,0 ^b	104,2 ^b	83,0 ^a	3,5 ^b	15,2 ^b	199 ^b	6,5 ^a	155,6 ^f	74,3 ^b	4,6 ^b	13,4 ^b	187 ^a	8,8 ^a
7.	Терпал, 1,5 л/га + мегафол, 1,5 л/га	116,3 ^a	94,8 ^a	4,1 ^a	12,0 ^a	199 ^b	4,3 ^b	120,8 ^a	74,6 ^b	4,0 ^a	10,3 ^a	136 ^a	4,5 ^b	126,8 ^a	113,6 ^b	3,9 ^a	14,7 ^b	218 ^b	9,7 ^b	86,2 ^b	78,6 ^b	4,9 ^b	16,0 ^b	142 ^b	9,3 ^a
8.	Медакс топ, 1,0 л/га + мегафол, 1,5 л/га	95,4 ^b	89,0 ^b	4,5 ^b	11,4 ^a	173 ^b	4,9 ^b	92,5 ^c	62,7 ^b	3,1 ^a	9,8 ^a	168 ^b	5,0 ^b	104,2 ^b	83,0 ^a	3,5 ^b	15,2 ^b	199 ^b	6,5 ^a	155,6 ^f	74,3 ^b	4,6 ^b	13,4 ^b	187 ^a	8,8 ^a

Примітка. Тут і в табл. 2 однаковими буквами позначені варіанти, що не відрізняються за рівня значущості $p \leq 0,05$.

ню вмісту бору в прапорцевих листках озимої пшениці сортів Подолянка і Смуглянка до 9,3 і 9,7 мг/га, що становило відповідно 12 і 32,8 % відносно контролів, оброблених водою. В усіх інших варіантах обробки рослин пшениці вміст бору в прапорцевих листках знижувався.

Зміни вмісту металів у прапорцевих листках пшениці можуть бути пов'язані з перерозподілом пластичних речовин за дії ретардантів.

Вміст мікроелементів у зрілому зерні і варіабельність мікроелементного складу рослин в основному визначаються генотипними особливостями культур, віком рослин та екологічними чинниками. Надмірному накопиченню неорганічних елементів у насінні і плодах запобігають бар'єрні функції вегетативних органів, наприклад концентрування металів у апопласті коренів.

Достатня кількість мангану — необхідна умова нормального фізіологічного розвитку рослин та отримання високих урожаїв доброї якості. Накопичення мангану рослиною зумовлене не тільки чинниками, які впливають на його кількість і доступність для рослин у ґрунті, а й ефективністю поглинання мікроелемента рослиною.

Відомо, що вміст міді в зерні озимої пшениці має не перевищувати 30 мг/кг, цинку — 50, заліза — 100 мг/кг. Добова потреба людини в мангані становить 4 мг, залізі — 10—20, міді — 3, цинку — 15, кобальті (вітамін В₁₂) — 3 мг/кг маси тіла [10, 14].

Позакоренева обробка ретардантами (терпал, медакс топ) приводила до незначного підвищення в зерні вмісту мангану в сорту Смуглянка і на 54,9—60,4 % — у сорту Подолянка порівняно з контролем (табл. 2).

Вміст заліза в зерні пшениці змінюється від 20 до 60 мг/кг сухої речовини, середня кількість — 37 мг/кг [10]. Залізо бере активну участь у процесі кровотворення, є складовою частиною гемоглобіну. За його нестачі швидко розвиваються анемії, порушується обмін речовин, втрачаються сили. Дефіцит заліза в харчуванні відбивається на стані шкіри людини, її волоссі та нігтях тощо.

За обробки рослин пшениці ретардантами та їх композиціями з мегафолом накопичення заліза в зерні обох сортів зростало до 31—38 мг/кг. У зерні рослин сорту Смуглянка, оброблених препаратом на основі амінокислот гідролікатів рослин мегафол, 1,5 л/га, вміст заліза підвищувався до 45,5 мг/кг сухої речовини.

Середній вміст цинку в зерні пшениці становить 22—33 мг/кг сухої речовини [10]. Вміст його в зерні зростав у всіх варіантах обробки рослин, окрім моддус, 0,6 л/га, в обох сортів пшениці, але більш виражено у сорту Подолянка.

Комбінація діючих речовин прогексадіон кальцію + мепікватхлорид (медакс топ) зумовлювала підвищення майже в 2 рази вмісту міді в зерні озимої пшениці сорту Смуглянка порівняно з контролем, що не перевищувало допустимих меж для цього елемента [3].

Підвищений вміст міді й цинку в зерні озимої пшениці у відносно посушливі роки можливо пов'язаний з накопиченням цих мікроелементів у генеративних органах унаслідок атракції із вегетативних органів.

ТАБЛИЦЯ 2. Вміст мікроелементів у зерні озимої пшениці за дії ретардантів класу ацициклоксандіонів

№	Варіант	Смуглянка					Полюшка						
		Вміст, мг/кг					Вміст, мг/кг						
		Mn	Fe	Cu	Zn	Mo	B	Mn	Fe	Cu	Zn	Mo	B
1.	Контроль	36,9 ^а	37,7 ^а	1,8 ^а	13,6 ^а	22,6 ^а	0,7 ^а	24,3 ^а	21,1 ^а	1,4 ^а	8,5 ^а	32,6 ^а	0,3 ^а
2.	Модус, 0,6 л/га	28,6 ^б	36,3 ^а	1,8 ^а	9,7 ^б	22,0 ^а	0,4 ^а	16,5 ^б	14,9 ^б	1,1 ^а	5,2 ^а	48,1 ^б	0,3 ^а
3.	Терпал, 1,5 л/га	38,1 ^а	29,4 ^б	1,7 ^а	18,4 ^а	23,4 ^а	0,5 ^а	37,7 ^а	33,1 ^а	2,1 ^б	14,6 ^б	36,6 ^а	1,0 ^а
4.	Медакс топ, 1,0 л/га	38,9 ^а	32,5 ^а	2,5 ^б	14,2 ^а	30,9 ^б	0,5 ^а	39,0 ^а	36,0 ^а	2,3 ^б	12,6 ^б	39,0 ^а	0,6 ^а
5.	Мегафол, 1,5 л/га	45,5 ^а	34,8 ^а	2,0 ^а	19,4 ^а	34,2 ^б	0,5 ^а	41,5 ^а	36,1 ^а	2,1 ^б	14,8 ^б	30,0 ^а	0,5 ^а
6.	Модус, 0,6 л/га + мегафол, 1,5 л/га	33,7 ^а	28,2 ^б	1,8 ^а	14,4 ^а	28,6 ^а	0,5 ^а	40,7 ^а	35,1 ^а	2,4 ^б	15,8 ^б	42,0 ^г	0,4 ^а
7.	Терпал, 1,5 л/га + мегафол, 1,5 л/га	33,2 ^а	34,3 ^а	2,1 ^а	13,9 ^а	32,7 ^б	0,5 ^а	35,3 ^а	31,1 ^а	1,9 ^б	13,1 ^б	27,0 ^а	0,3 ^а
8.	Медакс топ, 1,0 л/га + мегафол 1,5 л/га	36,1 ^а	32,7 ^а	2,0 ^а	16,3 ^а	37,5 ^б	0,4 ^а	33,7 ^а	33,3 ^а	2,0 ^б	12,2 ^б	25,2 ^а	0,4 ^а

Позакоренева обробка рослин озимої пшениці сорту Подолянка регуляторами росту рослин інгібіторного типу — ретардантами (терпал, медакс топ) у поєднанні з біостимулятором (мегафол, 1,5 л/га) позитивно впливала на накопичення мангану, заліза, міді та цинку в зерні, що може бути пов'язано зі збільшенням надходження пластичних речовин від вегетативних частин рослини до генеративного органа за дії ЦГД.

Вміст бору в зерні змінюється від 0,3 до 1,0 мг/кг маси сухої речовини [10]. Він дещо знижувався в усіх варіантах обробки рослин обох сортів пшениці й знаходився нижче від контрольного рівня, крім незначного зростання вмісту бору в зерні сорту Подолянка у варіанті з терпалом.

За результатами визначення вмісту неорганічних елементів методом мас-спектрометрії у зразках рослин озимої пшениці сортів Смуглянка і Подолянка встановлено, що за вирощування пшениці на ґрунтах Полісся легкого гранулометричного складу сучасні композиційні ретарданти впливають на елементний склад рослин протягом вегетації, а також змінюють вміст неорганічних елементів у зерні.

Озима м'яка пшениця середньорослого сорту Подолянка інтенсивного типу чутливіше реагувала на обробку комплексним біостимулятором та ретардантами, ніж короткостебловий високоінтенсивний сорт Смуглянка. Вміст елементів живлення в зерні озимої пшениці сорту Подолянка зростав. У зерні пшениці сорту Смуглянка контрольного варіанта пул макро- і мікроелементів був вищим, ніж у зерні сорту Подолянка.

Обробка рослин озимої пшениці сорту Подолянка композицією мепікватхлорид + етефон (терпал, 1,5 л/га) позитивно впливала на накопичення мангану, заліза, міді та цинку в зерні. Композиція ретардантів з похідним ЦГД (медакс топ) також істотно впливала на вміст неорганічних елементів у рослинах і зерні.

Отже, за позакореневої обробки рослин озимої пшениці сорту Подолянка композицією мепікватхлорид + етефон (терпал) вміст мангану і цинку в зерні зростав. Прогексадіон кальцію + мепікватхлорид (медакс топ) сприяв підвищенню вмісту таких елементів живлення, як манган, цинк і мідь. Позакореневе застосування композицій на основі комплексного біостимулятора одночасно з ретардантами може ослаблювати інгібувальну дію регуляторів росту, впливати на збереження складу неорганічних елементів у зерні.

Застосування ретардантів класу ЦКД не приводило до істотного зниження вмісту окремих мікроелементів. Проте позакореневе підживлення бором, а також мікроелементами редокс-гомеостазу у фази ВВСН 21-32 може бути важливим за умов високих рівнів азотного живлення, а також для контролю вилягання похідними ЦГД з метою отримання високого врожаю.

REFERENCES

1. Morgun, V.V., Sanin, Ye. V. & Schwartz, V.V. (2015). Club 100 centner. Kyiv: Logos [in Ukrainian].

2. Morgun, V.V., Schwartau, V.V. & Kiriziy, D.A. (2010). Physiological basis of the formation of high productivity of cereals. *Fiziologiya i biokhimiya kult. rasteniy*, 42, No. 5, pp. 371-392 [in Russian].
3. DSTU 3768:2010 National standard of Ukraine. Wheat. Specification, Kyiv: Derzhspozhivstandart Ukraine, 2010 [in Ukrainian].
4. Acreche, M.M. & Slafer, G.A. (2011). Lodging yield penalties as affected by breeding in Mediterranean wheats. *Field Crops Res.*, 122, pp. 40-48.
5. Barman, A., Pandey, R. N., Singh, B. & Das, B. (2017). Manganese deficiency in wheat genotypes: Physiological responses and manganese deficiency tolerance index. *J. Plant Nutr.*, 40, No. 19, pp. 2691-2708. doi: <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1381717>
6. Berry, P.M. & Spink, J. (2012). Predicting yield losses caused by lodging in wheat *Field Crops Res.*, 137, pp. 19-26.
7. Cakmak, I. & Kutman, B. (2018). Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. *Eur. J. Soil Sci.*, 69, pp. 172-180.
8. Espindula, M.C., Rocha, V.S., Fontes, P.C.R., Silva, R.C.C. & Souza, L.T. (2009). Effect of nitrogen and trinexapac-ethyl rates on the SPAD index of wheat leaves. *J. Plant Nutr.*, 32 (11), pp. 1956-1964. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/01904160903245113>
9. Kong, E.Y., Liu, D.C., Guo, X.L., Yang, W.L., Sun, J.Z., Li, X., Zhan, K., Cui, D., Lin, J. & Zhang, A. (2013). Anatomical and chemical characteristics associated with lodging resistance in wheat. *The Crop Journal*, 1 (1), pp. 43-49.
10. Marschner, H. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. 3rd edn. London, U.K.: Academic Press, 672 p.
11. Merry, A.M., Carev, A.L., Leith, P., Nelson, R. & Botwright Acuna, T. (2015). Agronomist use of PGR — A survey. *Agricultural Science*, 27 (2), pp. 24-32.
12. Nieder, R., Benbi, D.K. & Reichl, F.X. (2018). Microelements and their role in human health. In: *Soil Components and Human Health*. Dordrecht: Springer, pp. 317-374.
13. Rademacher, W. (2010). Control of lodging in intense European cereal production. In *Proceedings of the 36th Annual Meeting of the Plant Growth Regulation Society of America* (ed. B. Whipker). The Plant Growth Regulation Society of America (pp. 61-69), La Grande.
14. Rengel, Z. (1998). *Nutrient use in crop production*. London: CRC.
15. Souza, L.T.D., Espindula, M.C., Rocha, V.S., Dias, D.C.F.D.S. & Souza, M.A.D. (2010). Growth retardants in wheat and its effect in physiological quality of seeds. *Ciencia Rural.*, 40 (6), pp. 1431-1434. doi: <http://sci-hub.tw/10.1590/S0103-84782010000600031>
16. Srivastava, L.V. (2002). *Plant growth and development: Hormones and environment*. San Diego: Academic.
17. Tripathi, S.C., Sayre, K.D. & Kaul, J.N. (2005). Planting systems on lodging behavior yield components, and yield of irrigated spring bread wheat. *Crop Sci.*, 45, pp. 1448-1455. doi: <http://doi.org/10.2135/cropsci2003-714>
18. Zagonel, J. & Fernandes, E.C. (2007). Rates and application times of growth reducer affecting wheat cultivars at two nitrogen rates. *Planta Daninha*, 25 (2), pp. 331-339.

Received 07.12.2018

СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РЕТАРДАНТОВ

В.В. Швартау, Л.Н. Михальская, Т.И. Маковейчук

Институт физиологии растений и генетики Национальной академии наук Украины, Киев

Исследовали влияние ретардантов класса ациклогександионов (циклогексанкарбоксилатов) на растения озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сортов Смуглянка и Подолянка. Установлено, что обработка ретардантами — ингибиторами синтеза гибберелловой кислоты — приводила к повышению во флаговых листьях пшеницы сорта Подолянка содержания неорганических составляющих редокс-систем растений — марганца, цинка и меди, а в растениях сорта Смуглянка — цинка и меди. При обра-

ботке растений озимой пшеницы сорта Смуглянка мепикватхлоридом + этефоном (терпалом) в ее зерне содержалось больше магния и цинка, а при обработке растений прогексадионом кальция + мепикватхлоридом (медакс топом) — магния, цинка и меди. При применении удобрения с аминокислотами в композициях с ретардантами содержание микроэлементов во флаговых листьях озимой пшеницы повышалось. По микроэлементному составу растений можно оценить перераспределение неорганических элементов в системе почва—растение, уточнить системы питания растений при применении ретардантов и идентифицировать факторы, влияющие на недостаток или избыток элементов. Ретарданты класса ацилциклогександионов существенно не снижали содержание отдельных микроэлементов. Однако внекорневые подкормки бором и микроэлементами редокс-гомеостаза в фазы BBCH 21-32 могут быть важными при высоком уровне азотного питания и для контроля полегания производными циклогександионов с целью получения высокого урожая.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., ретарданты, ICP-MS, микроэлементы.

THE CONTENT OF MICROELEMENTS IN WINTER WHEAT PLANTS AT RETARDANT ACTION

V.V. Schwartau, L.M. Mikhalska, T.I. Makoveychuk

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

The effect of retardants of the class of cyclohexanediones (cyclohexanecarboxylates) on winter wheat plants (*Triticum aestivum* L.) of the varieties Smuglyanka and Podolyanka was investigated. It was shown that treatment with retardants — inhibitors of the gibberellic acid synthesis, led to an increase of the content of inorganic components of the plant redox systems — manganese, zinc, and copper, in the flag leaves of Podolyanka variety, and in plants of the Smuglyanka variety — zinc and copper. It was established that the grain of winter wheat variety Smuglyanka contained in its composition more Mg and Zn when plants were treated with mepiquatchloride + ethephon (terpal), and under treatment with proheksadione Ca + mepiquatchloride (medax top) — Mn, Zn and Cu. The use of fertilizer with the content of amino acids in compositions with retardants increased the content of trace elements in the flag leaves of winter wheat. Determination of the microelement composition of plants informs about the redistribution of inorganic elements in the soil—plant system, and allows us to clarify plant nutrition systems under the application of retardants, and to identify factors that affect lack or excess of elements. The application of retardants of the class acylcyclohexanediones did not lead to a significant decrease in the content of individual trace elements. However, foliar nutrition with boron, as well as microelements of redox homeostasis in the BBCH 21-32 phases, may be important at the presence of high levels of nitrogen nutrition, as well as to control the lodging with acylcyclohexanediones derivatives in order to obtain high yields.

Key words: *Triticum aestivum* L., retardants, ICP-MS, microelements.