

УДК 633.11.631.811.94:816.1-3

КРИВЕНКО¹ А.І., БУРИКІНА² С.І.

Одеська державна сільськогосподарська дослідна станція НААН

¹ kryvenko35@ukr.net, ² burykina@ukr.net**ЕФЕКТИВНІСТЬ ФОРМ І СТРОКІВ ВНЕСЕННЯ
ЦИНКУ НА ПОСІВАХ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ**

У статті висвітлено вплив форм, способів внесення цинку на формування врожаю та якості зерна пшениці озимої м'якої. Використано польові, лабораторні та статистичні методи.

За внесення $N_{90}P_{60}K_{40}$ у складі якого суперфосфат модифіковано комплексонатом цинку на основі ОЕДФ, приріст урожаю склав 20,2 % проти варіанту без добрив, у тому числі 6,4 % – за рахунок цинку. Доцільно вносити мікроелемент цинк у вигляді його комплексонату з ОЕДФ, приріст урожаю у порівнянні з сульфатом цинку – 0,16 т/га, а загальна частка впливу цього фактора – 14,0 %. Внесення комплексонату цинку під передпосівну культивування в дозі 2,0 кг/га не мало переваги перед одноразовим обробітком рослин у фазу кушіння дозою 250 г/га, але перенесення цього заходу на фазу стеблуння забезпечило суттєвий приріст урожаю (0,20 т/га при $HR_{0,95} = 0,18$).

Позакореневе підживлення розчином комплексонату цинку (250 г/га) підвищує урожай зерна пшениці озимої з найбільшим ефектом від двократного обробітку у фазі кушіння та стеблуння; приріст складає від 0,20 до 0,54 т/га. Ефективність використання Zn в посушливих умовах Півдня України на 75,7–96,0 % визначається гідротермічними умовами весняної вегетації, але при цьому мікроелемент сприяє розвитку стійкості рослин пшениці озимої до температурного стресу. Концентрація цинку в зерні дослідних варіантів коливалася в межах від 18,4 до 22,1 мг/кг (на контролі – 14,5 мг/кг).

Ключові слова: цинк, пшениця озима, фази вегетації, якість, чорнозем південний.

doi: 10.33245/2310-9270-2018-142-2-25-33

Постановка проблеми. На порядок денний удосконалення технологій вирощування пшениці озимої виходить питання поліпшення мікроелементного живлення рослин, що особливо актуально при внесенні мінеральних добрив дозою, вищою за зонально прийнятну. Чорноземи загалом, зокрема чорноземи південні, мають нейтральну чи слабо лужну реакцію, при якій більшість мікроелементів малорухомі і тому практично недоступні рослинам [1–4].

На ефективність застосування мікроелементів, у першу чергу, впливає форма, в якій вони знаходяться. Дослідами останніх років показано, що найбільш ефективною формою транспортування мікроелементів до рослин є комплексні сполуки металів з органічними лігандами – хелати [1, 2].

Найбільш поширеними хелаторами є органічні кислоти з карбоксильними групами: етилендіамінтетраоцтова (ЕДТА), діетилентріамінпентаоцтова (ДТПА), дігідроксібутілендіамінтетраоцтова (ДБТА), етилендіаміндіантарна (ЕДДЯ); фосфонові кислоти – оксіетилендендіфосфонові (ОЕДФ) та нітрілтриметіленфосфонові (НТФ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо [3], що більша частина ґрунтів Степу характеризуються дуже низьким (0,2–0,3 мг/кг) вмістом рухомого цинку. У той же час цинк, який є компонентом 800 ферментів, впливає на білковий, вуглеводний і фосфорний обмін рослин. Він входить до складу таких ферментів як протеази, амінопептидази, карбоксипептидази, дегідрогенази, ізомерази, альдолази, РНК- та ДНК-полімерази.

Численні дослідження, проведені в ґрунтово-кліматичних зонах різних країн, свідчать про негативний вплив дефіциту цинку на процеси росту і врожай рослин та про пріоритетність використання комплексонатів цинку або добрив, модифікованих ними [4–10]. Але щодо термінів внесення, думки авторів неоднозначні.

Так, на дерново-підзолистих середньокультурених ґрунтах комплексне використання ($NPK+Zn$) на посівах ярої пшениці забезпечило, у порівнянні з фоном NPK, приріст урожайності від цинку 0,59–0,75 т/га, причому комплексонат цинку на основі ЕДТА дав більші прирости за сульфат цинку. Найбільший ефект від обох форм цинку отримано при їх внесенні в ґрунт у дозі 3–5 кг/га, різниця між приростами складала 0,35 т/га – по комплексонату цинку і 0,28 т/га – сульфату цинку [5].

У дослідях М.М. Богдана [11] на чорноземах типових і сірих лісових ґрунтах Лісостепової зони України, найбільш ефективним було дворазове підживлення озимої пшениці у фазі початок виходу в трубку і колосіння комплексними добривами, до складу яких входив і цинк: зростання урожайності коливалася за роками досліджень від 10,9 до 25,0 % при збільшенні концентрації білка в зерні від 0,9 до 1,13 %. Цієї ж думки дотримується О.М. Генгало зі співавторами [7].

Інші дослідники відмічають перевагу допосівного обробітку насіння цинком та іншими мікроелементами, оскільки активуються початкові етапи проростання, що впливає на подальший ріст і розвиток рослин [8–10].

При всій кількості досліджень, не можна дати однозначної відповіді про ефективність впливу форм і термінів внесення цинку на продуктивність рослин та якість продукції, яка залежить як від складу хелатних речовин, ґрунтово-кліматичних умов, рівня родючості ґрунту, погодних умов конкретного року [12–28].

Мета дослідження – вивчити вплив форм, способів внесення цинку на формування врожаю та якості зерна пшениці озимої м'якої на чорноземах південних.

Матеріал і методика дослідження. Дослідження проводили на чорноземах південних малогумусних важкосуглинистих добре окультурених. Вихідна агрохімічна характеристика орного (0–20 см) та підорного (20–40 см) шарів ґрунту наведена в таблиці 1.

Таблиця 1 – Агрохімічна характеристика ґрунту

Показник	Одиниця виміру	Шар ґрунту, см		
		0-20	20-40	
Гумус за Тюрнімом	%	3,11	3,06	
Валові	азот	0,21	0,20	
	P ₂ O ₅	0,14	0,12	
	K ₂ O	1,11	1,11	
Сума вібраних основ	мг на 100 г ґрунту	32,0	31,2	
рН	водне	6,8	6,7	
	сольове	6,1	6,1	
N-NO ₃ за Кравковим	мг на 100 г ґрунту	0,62	0,55	
P ₂ O ₅		за Чириковим	17,5	17,0
K ₂ O		10,0	9,5	
Zn, амонійно-ацетатний буфер	мг на 1кг ґрунту	0,57	0,47	

Розмір посівної ділянки 120 м², облікової – 50 м², повторність – 4- разова. Добрива вносили у вигляді аміачної селітри, гранульованого суперфосфату та калійної солі, а також суперфосфату з включенням комплексонату цинку (0,75 %). Розчинами солей цинку обробляли вегетуючі посіви пшениці озимої ручним оприскувачем. Схема досліду наведена при викладанні результатів. Попередник пшениці озимої сорту Кнопа – пар чорний.

Вивчали ефективність мікроелементу при його внесенні у вигляді сульфату цинку, хелатної форми, де в якості ліганду використана оксіетилдендіфосфоновна (ОЕДФ), суперфосфат з хелатом цинку на основі ОЕДФ (0,75 %).

Супутні спостереження та аналізу виконували загальноприйнятими методами відповідно до стандартних методик. Статистичну обробку отриманих результатів виконували з використанням пакета прикладних програм Excel та Statistika, методами дисперсійного, кореляційного та регресійного аналізу.

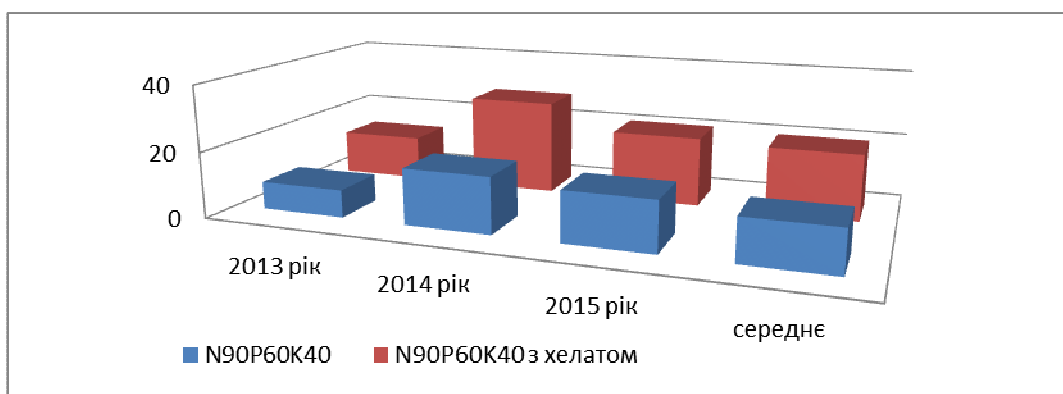
Основні результати дослідження. Результати досліджень (табл. 2, рис. 1, 2) показали, що при внесенні цинку в ґрунт прирости зерна відносно абсолютного контролю (фон 1) досягали, залежно від форми внесення, 0,21 т/га (4,9 %) при використанні сульфату цинку, 0,41 т/га (9,5 %) – комплексонату цинку і 0,87 т/га (20,2 %) при використанні хелатованого суперфосфату у складі повного мінерального добрива, різниця склала 0,20 та 0,66 т/га на користь хелату цинку.

При позакореновому використанні спостерігалася перевага комплексонату цинку над мінеральною сіллю: рівень приростів урожаю зерна при одноразовому використанні коливався в інтервалі 7,9–9,3 % залежно від фази розвитку рослин пшениці озимої, дворазовому – 12,4 %, якщо використовували звичайну сіль цинку та 11,9–14,9 % і 17,5 %, відповідно, при використанні комплексонату цинку.

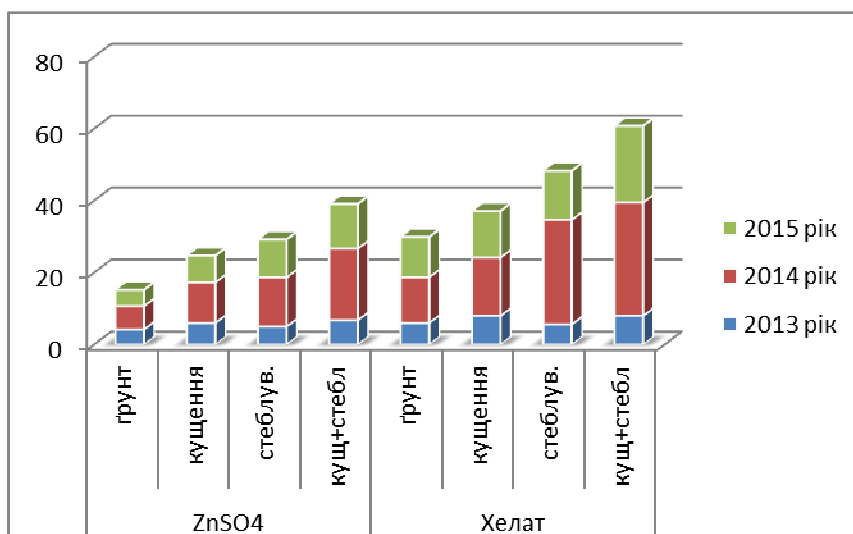
Якщо порівняти підвищення урожайності проти фону 1 за роками досліджень, то максимальними вони були у 2014, а мінімальними – у 2013 році (рис. 1 а, б). Так, при внесенні N₉₀P₆₀K₄₀ з хелатованим суперфосфатом приріст урожаю зерна у 2014 році склав 28,6 %, а у 2013 – 13,6, при використанні звичайного суперфосфату у складі N₉₀P₆₀K₄₀ – 17,0 та 8,4 % відповідно. Порівняння варіантів із внесенням сульфату цинку та його комплексонату також показало більші прирости у 2014 (від 6,5 до 31,5 %) проти 2013 року (4,2–8,%).

Таблиця 2 – Урожай зерна пшениці озимої за різних форм і термінів внесення цинку, т/га

№ вар	Зміст варіанта	Доза	Термін та спосіб внесення	Роки досліджень			Середнє	± до фону 1	
				2013	2014	2015		т/га	%
1.	Без добрив		Фон 1	5,00	3,71	4,18	4,30	-	-
2.	N ₉₀ P ₆₀ K ₄₀		Фон 2	5,42	4,34	4,82	4,86	0,56	13,0
3.	N ₉₀ P ₆₀ K ₄₀		суперфосфат з хелатом	5,68	4,77	5,06	5,17	0,87	20,2
Фон 1									
4.	ZnSO ₄	2 кг/га	грунт	5,21	3,95	4,37	4,51	0,21	4,9
5.		250 г/га	кущіння	5,30	4,13	4,49	4,64	0,34	7,9
6.		250 г/га	стеблуння	5,25	4,22	4,62	4,70	0,40	9,3
7.		250 г/га	кущіння +стеблуння	5,34	4,45	4,70	4,83	0,53	12,4
8.	Хелат	2 кг/га	грунт	5,30	4,18	4,65	4,71	0,41	9,5
9.		250 г/га	кущіння	5,40	4,31	4,72	4,81	0,51	11,9
10.		250 г/га	стеблуння	5,28	4,79	4,75	4,94	0,64	14,9
11.		250 г/га	кущіння +стеблуння	5,40	4,88	5,07	5,05	0,75	17,5
Фон 2									
12.	ZnSO ₄	2 кг/га	грунт	5,51	4,48	4,77	4,92	0,62	14,4
13.		250 г/га	кущіння	5,44	4,62	5,01	5,02	0,72	16,7
14.		250 г/га	стеблуння	5,47	4,79	5,25	5,17	0,87	20,2
15.		250 г/га	кущіння +стеблуння	5,47	4,94	5,37	5,26	0,96	22,3
16.	Хелат	2 кг/га	грунт	5,59	4,94	5,01	5,18	0,88	20,5
17.		250 г/га	кущіння	5,47	5,12	5,17	5,25	0,95	22,1
18.		250 г/га	стеблуння	5,50	5,08	5,33	5,30	1,00	23,2
19.		250 г/га	кущіння +стеблуння	5,65	5,15	5,40	5,40	1,10	25,6
НСР _{0,95}				0,22	0,30	0,25		-	



а-варіанти з внесенням повного мінерального добрива



б – залежно від форми і строку внесення цинку

Рис.1. Прирости врожаю у відсотках до контролю без внесення добрив.

Аналогічна тенденція спостерігається і при порівнянні врожайності за варіантами з фоном 2 (рис. 2). Прибавки 2014 року: при внесенні $ZnSO_4$ – 3,2–13,8 %, хелату цинку – 13,8–18,7 % та $N_{90}P_{60}K_{40}$ з хелатованим суперфосфатом 9,9 %; прирости 2013 року: 1,7–0,9 %, 0,9–4,2 % та 4,8 % відповідно вказаним формам внесення цинку.

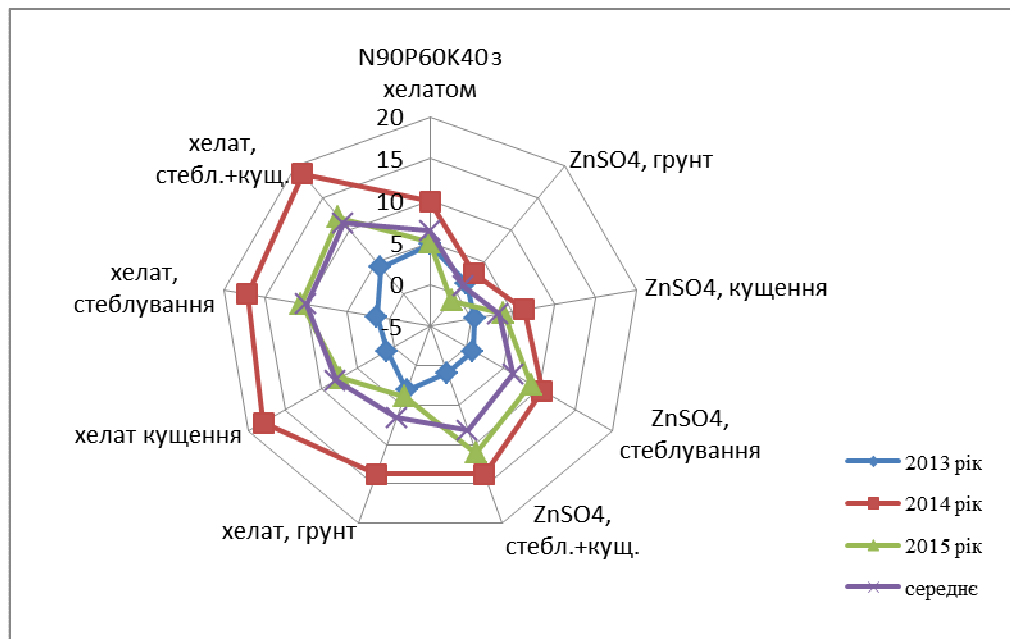


Рис. 2. Прирости врожаю зерна пшениці озимої, залежно від форми і терміну внесення цинку, % до фону 2 ($N_{90}P_{60}K_{40}$).

На наш погляд, різна ефективність цинку за роками досліджень пояснюється гідротермічними умовами періоду весняно-літньої вегетації років дослідження: ГТК 2013 року –1,56; 2014 – 0,0 та 2015 року – 0,63.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу ефективність цинку на 75,7–96,0 % залежала від гідротермічних умов: коефіцієнт кореляції коливався в інтервалі від (-0,87) до (-0,98), тобто чим більш посушливі умови весняно-літньої вегетації рослин озимої пшениці, тим вище ефективність мікроелемента цинк. При внесенні цинку в ґрунт його ефективність обумовлена запасами продуктивної вологи в шарі 0–20 см при сівбі та відновленні вегетації весною: $r = 0,99–0,92$ (дуже сильний зв'язок) при використанні сульфату цинку, $r = 0,67–0,50$ (середній зв'язок) при внесенні хелату цинку та $r = 0,87–0,69$ (сильний зв'язок) – хелатованого суперфосфату. Таким чином очевидно, що ступінь впливу вологості ґрунту ранніх стадій вегетації на ефективність цинку при внесенні в ґрунт визначалася формою внесення мікроелемента: максимальна залежність (на 98,0–84,6 %) спостерігалася при використанні простої солі, мінімальна (44,9–25,0 %) – комплексонату цинку, а хелатований суперфосфат займав проміжне місце: його ефективність залежала від запасів вологи при сівбі на 75,7 %, а ранньою весною – на 47,6 %.

Результати трирічних досліджень були піддані математичному обробітку за схемою трифакторного дослідження, де фактор А – фони живлення: перший без внесення добрив і другий – $N_{90}P_{60}K_{40}$; фактор В – форми внесення мікроелемента: звичайна сіль і хелатована та фактор С – строки внесення мікроелемента. З обробітку виключено варіант $N_{90}P_{60}K_{40}$ з хелатованим суперфосфатом, оскільки по цьому фоні живлення не вносили додатково цинк. Отримані результати наведені в таблиці 3.

Середній урожай на неудобреному фоні склав 4,68 т/га, що суттєво менше за удобрений фон, різниця складає 0,44 т/га при $НСР_{0,95} = 0,12$; порівняння різниці складових фактора В (0,16 т/га) з величиною найменшої суттєвої різниці по ньому (0,12 т/га) також свідчить про достовірність впливу форм внесення мікроелемента цинк на користь комплексонату при формуванні врожаю озимої пшениці. Між строками внесення математично істотну перевагу має вне-

сення мікроелемента цинк у фазу стеблуння та дворазове обприскування посіву у порівнянні з внесенням у ґрунт. Обробіток вегетуючих рослин у фазу кущіння не має переваги перед внесенням цинку в ґрунт під передпосівну культивування та обробітком у фазу стеблуння, оскільки різниця у врожайності дорівнює 0,09 і 0,11 т/га при НСР_{0,95} по фактору С 0,18. При одноразовому обприскуванні рослин у фазу кущіння формується суттєво менший урожай (на 0,23 т/га при НСР_{0,95} = 0,18), ніж при дворазовому.

Таблиця 3 – Результати дисперсійного аналізу трифакторного дослідження

Середній урожай по факторам, т/га					
Фактор А		Фактор В		Фактор С	
Контроль без добрив	4,68	ZnSO ₄	4,82	ґрунт	4,83
N ₉₀ P ₆₀ K ₄₀	5,12	хелат Zn	4,98	кущіння	4,92
				стеблуння	5,03
				кущіння + стеблуння	5,15
НСР _{0,95}	0,12	0,12		0,18	
F _{факт.}	57,3	8,0		11,4	
Сила впливу фактору, %	20,0	14,0		16,0	
Точність дослідження, %	2,6				
Загальна варіація даних, %	10,1				

Результати вивчення структури колосу представлені в таблиці 4.

Таблиця 4 – Структура колосу за варіантами і формами внесення цинку (середнє за три роки)

Варіант	Довжина колоса, см	Кількість у колосі, шт		Маса зерна з 1 колоса, мг
		колосків	зерен	
N ₉₀ P ₆₀ K ₄₀ суперфосфат з хелатом	7,65	17,4	49,1	1,73
Без добрив – фон 1	7,50	16,7	44,5	1,61
ZnSO ₄ кущіння	7,75	16,9	45,6	1,64
ZnSO ₄ кущіння + стеблуння	7,80	17,1	48,2	1,66
Хелат, кущіння	7,80	17,0	50,1	1,68
Хелат, кущіння + стеблуння	7,80	17,1	52,3	1,70
N ₉₀ P ₆₀ K ₄₀ – фон 2	7,75	17,3	47,2	1,72
ZnSO ₄ кущіння	7,80	16,9	49,3	1,74
ZnSO ₄ кущіння + стеблуння	7,82	17,3	54,2	1,77
Хелат, кущіння	7,85	17,2	54,9	1,79
Хелат, кущіння + стеблуння	7,87	17,3	56,2	1,82

Кількість колосків у колосі головного стебла, в середньому за роками досліджень, на чистому контролі була мінімальна і дорівнювала 16,7 шт. та збільшувалася на 0,1–0,7 шт., залежно від форми і строку внесення мікроелемента. Водночас найбільше підвищення цього показника було у випадку внесення N₉₀P₆₀K₄₀, де суперфосфат модифіковано хелатом цинку, – на 0,7 шт./колоса.

Більша озерненість (52,3 зерен) забезпечувалася на неодобреному фоні дворазовим обробітком посівів пшениці озимої комплексонатом цинку, а по фону повного мінерального добрива – при використанні сульфату цинку двічі по вегетації (54,2 шт.) і на варіантах обробітку хелатом у кущіння (54,9 зерен) і кущіння + стеблуння (56,2 зерен, або 26,3 % до чистого контролю і 19,1 % – до фону 2).

Варіанти використання мікроелемента цинк закономірно вплинули на вагу зерна з одного колосу, яка разом зі щільністю стеблостою визначає рівень урожайності колосової культури. Так, за варіантами форм і строків використання цинку по фону без внесення добрив, маса зерна з одного колосу головного стебла коливалася в інтервалі 1,64–1,70 мг, що на 1,9–5,6 % вище контролю. На фоні внесення мінеральних добрив маса зерна з 1 колосу перевищувала фон 2 на 1,2–5,8 %, а фон 1 – на 6,8–13,0 %, причому при використанні комплексонату цинку вихід зерна з 1 колосу суттєво (на 11,1–13,0 %) перевищував чистий контроль.

Використання цинку в технології вирощування озимої пшениці вплинуло на якісні показники зерна (табл. 5) і, якщо параметри фізичних показників перевищували фони живлення в межах достовірності, то концентрація білка та клейковини в зерні суттєво збільшувалася на всіх варіантах фону 2 по відношенню до чистого контролю, а у порівнянні з удобреним фоном – спостерігали тенденцію до збільшення.

Таблиця 5 – Якість зерна пшениці озимої в досліді з цинком, середнє за три роки

№ вар	Зміст варіанта	Доза	Термін та спосіб внесення	Маса, грам		%		Zn
				1 л	1000 зерен	білок	клейковина	мг/кг
1.	Без добрив		Фон 1	773,7	39,47	11,68	19,9	14,5
2.	N ₉₀ P ₆₀ K ₄₀		Фон 2	772,4	40,43	13,46	23,8	17,7
3.	N ₉₀ P ₆₀ K ₄₀	суперфосфат з хелатом		779,3	40,53	13,57	24,2	19,3
Фон 1								
4.	ZnSO ₄	2 кг/га	грунт	778,5	40,05	11,96	20,8	20,2
5.		250 г/га	кущіння	789,3	41,23	12,02	21,0	18,4
6.		250 г/га	стеблуння	780,3	41,31	12,45	22,6*	18,6
7.		250 г/га	кущіння +стеблуння	779,0	42,02	12,38	22,3*	18,6
8.	Хелат	2 кг/га	грунт	779,3	40,22	12,26	21,4	21,8
9.		250 г/га	кущіння	792,1	42,25	12,24	22,0*	19,3
10.		250 г/га	стеблуння	785,2	42,15	13,02*	23,5*	19,8
11.		250 г/га	кущіння +стеблуння	783,4	43,01	12,95*	23,0*	19,5
Фон 2								
12.	ZnSO ₄	2 кг/га	грунт	774,7	39,92	12,90	23,1	22,1
13.		250 г/га	кущіння	781,9	40,45	13,79	24,0	20,3
14.		250 г/га	стеблуння	789,4	40,38	13,62	25,3	20,5
15.		250 г/га	кущіння +стеблуння	789,0	41,21	13,28	23,8	20,5
16.	Хелат	2 кг/га	грунт	779,1	40,52	13,45	24,4	22,6
17.		250 г/га	кущіння	784,1	41,77	13,95	25,0	21,8
18.		250 г/га	стеблуння	783,2	41,16	13,74	25,7	22,0
19.		250 г/га	кущіння +стеблуння	784,3	42,03	13,61	24,5	21,5

Примітка: *- збільшення показника суттєво по відношенню до фону 1.

Одноразове внесення цинку у формі його комплексної солі з ОЕДФ у фазу стеблуння та двократний обробіток посівів пшениці озимої по неудобреному фоні привели до суттєвого зростання вмісту білка на 1,34–1,27 і вмісту клейковини на 3,1–3,6 абсолютних відсотка. Використання сульфату цинку у ці фази достовірно позначилося лише на вмісті клейковини (+2,4–2,7 %).

Концентрація цинку в зерні пшениці озимої значно зросла у порівнянні з неудобреним фоном на 22,1–55,9 %, та з фоном внесення повного мінерального фоні – на 14,7–27,7 %, але не перевищувала ГДК для зерна.

Висновки. 1. Встановлено, що позакореневе підживлення розчином комплексонату цинку (250 г/га) підвищує урожай зерна пшениці озимої з найбільшим ефектом від двократного обробітку у фази кущіння та стеблуння. Приріст складає від 0,20 до 0,54 т/га, залежно від фоні основного живлення.

2. Ефективність використання Zn в посушливих умовах Півдня України на 75,7–96,0 % визначається гідротермічними умовами весняної вегетації, але при цьому мікроелемент сприяє розвитку стійкості рослин пшениці озимої до температурного стресу.

3. Концентрація цинку в зерні дослідних варіантів коливалася в межах від 18,4 до 22,1 мг/кг (на контролі – 14,5 мг/кг) при ГДК = 50 мг/кг.

З метою підвищення урожайності пшениці озимої м'якої в умовах Причорноморського Степу України на чорноземах південних, на фоні внесення N₉₀P₆₀K₄₀, доцільно проводити двократне позакореневе підживлення рослин мікроелементом цинк у вигляді комплексонату Zn з ОЕДФ у нормі 250 г/га.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Микроэлементы в сельском хозяйстве; 3-е изд., перераб. и доп. / под ред. докт. с.-х. наук, проф., чл.-кор. УААН С.Ю. Булыгина. Днепропетровск: «Січ», 2007. 100 с.
2. Вильдфлауш И.Р. Применение микроудобрений и регуляторов роста в интенсивном земледелии: рекомендации. Горки: БГСХА, 2015. 48 с.
3. Фатеев А.И., Захарова М.А Основы применения микроудобрений. Харьков: Изд-во КП «Типография № 13», 2015. 134 с.
4. Фатеев А.И., Полянчиков С.П. Значение микроэлементов в ферментативных процессах в растении. URL: <https://reacom.kiev.ua/a192494-znachenie-mikroelementov-fermentativnyh.html>.
5. Волков А.В. Эффективность применения различных способов, форм и доз цинковых удобрений под яровую пшеницу на дерново-подзолистых почвах: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.01.04-агрохимия. М., 2015. 24 с.
6. Аристархов А.Н., Бушуев Н.Н., Сафонова К.Г. Приоритеты применения различных видов, способов и доз микроудобрений под озимые и яровые сорта пшеницы в основных природно-сельскохозяйственных зонах России. Агрохимия, 2012, № 9. С. 26–40.
7. Генгало О.М., Павлюк С.Д., Чумак А.А., Кішчак В.М. Позакореневе підживлення водорозчинними добривами з мікроелементами як спосіб оптимізації умов живлення пшениці озимої. Науковий вісник Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. 2010. № 149. С. 65–73.
8. Genc Y., McDonald G. K., Graham R.D. Critical deficiency concentration of zinc in barley genotypes differing in zinc efficiency and its relation to growth responses. J. Plant Nutr. 2002. 25, № 3. P. 545–560.
9. Kenbaev B., Sade B. Response of field-grown baley cultivars grown on zinc-deficient soil to zinc application. Commun. Soil Sci. and Plant Anal. 2002. 33, № 3–4. P. 533–544.
10. Vázquez M.D., Barcelo J., Poschenrieder Ch. Localization of zinc and cadmium: *Thlaspi caerulescens* (Brassicaceae), a metallophyte that can hyperaccumulate both metals. J. Plant Physiol. 1992. 140, № 3. P. 350–355.
11. Богдан М.М. Фізіологічне обґрунтування використання комплексних добрив у посівах пшениці озимої: дис. ... канд. с.-г. наук: 03.00.12- фізіологія рослин. К., 2016. 191 с.
12. Корсунская В.М. Великий натуралист Чарлз Дарвин. Л.: «Гоз. Изд-во детской литературы», 1959. С. 121.
13. Кочубей С.М., Шевченко В.В., Бондаренко О.Ю., Панас И.Д. Динамика изменений функциональной активности фотосинтетического аппарата растений гороха, вызываемых высокотемпературным стрессом. Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine. 2013. № 6. С. 152–156.
14. Лебедева Т.С., Сытник К.М. Пигменты растительного мира. Киев: Наук. думка, 1986. 87 с.
15. Рожков А.О. Вміст пігментів фотосинтезу в листках рослин пшениці твердої ярої за дії підживлень посівів сечовиною та мікродобривами. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Agronomija/article/viewFile/1131/1085>.
16. Мальцева Н.М., Гаєвський А.П., Дерев'яно К.П. Вплив біологічно активних речовин та їх композицій на вміст фотосинтетичних пігментів в листках озимої пшениці в умовах дефіциту фосфору. Физиология и биохимия культ. растений. 2011. Т. 43. № 5. С. 403–411.
17. Казнина Н.М., Батова Ю.В., Лайдинен Г.Ф., Титов А.Ф. Влияние цинка на рост и фотосинтетический аппарат растений пшеницы в условиях оптимума и гипотермии. Тр. Карельского научного центра РАН. 2017. № 12. С. 118–124.
18. Шадчина Т.М., Гуляев Б.І., Кірізій Д.А. Регуляція фотосинтезу і продуктивність рослин: фізіологічні та екологічні аспекти. Фітосоціоцентр, 2006. 384 с.
19. Минайчев В.В., Сиголаева Т.Е., Кузнецов Д.А., Иванищев В.В. Влияние инов цинка и никеля на водообеспеченность проростков гороха и образование пигментов фотосинтеза. Известия ТулГУ. Естественные науки. 2016. Вып. 1. С. 77–89.
20. Sairam R.K., Srivastava C. Induction of oxidative stress and antioxidant activity by hydrogen peroxide treatment in tolerant and susceptible wheat genotypes. Biol. Plant. 2000. Vol. 43. No 3. P. 381–386.
21. Vijayarangan P. Growth and biochemical variations in radish under zinc application. International Journal of Research in Plant Science. 2012. V. 2 (3). P. 43–49.
22. Rastgoor R., Alemzadeh A., Tale A.M. Effects of copper, nickel and zinc on biochemical parameters and metal accumulation in gouan, *Aeluropus littoralis*. Plant Knowledge Journal. 2014. V. 3 (1). P. 31–38.
23. Kösesakal T., Ünal M. Effects of zinc toxicity on seed germination and plant growth in tomato. Fresenius Environmental Bulletin. 2012. V. 21. No 2. P. 315–324.
24. Ничипорович А.А., Строганова Л.Е., Власова М.П. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах. М.: АН СССР, 1969. С. 37–53.
25. Подпратов Г.І., Войцехівський В.І., Мацейко Д.М. Основи стандартизації, управління якістю та сертифікація продукції рослинництва: посібник. К.: Арістей, 2004. 552 с.
26. Семина С. А., Мачнева В.В. Урожай и качество зерна яровой мягкой пшеницы в зависимости от сорта. Зерновое хозяйство. 2005. № 3. С. 23–24.
27. Уваров Г.И., Смирнова В.В., Смуров С.И. Роль сорта и предшественника в повышении урожая и качества зерна озимой пшеницы. Зерновое хозяйство. 2006. № 6. С. 15–17.
28. Кір'ян В.М. Оцінка вихідного матеріалу пшениці озимої м'якої за ознаками якості зерна. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2010. № 2. С. 35–40.

REFERENCES

1. Bulygina, S.Ju. (2007). Mikrojelementy v sel'skom hozjajstve (Izdanie tret'e, pererabotannoe i dopolnennoe) [Trace elements in agriculture (Third Edition, revised and enlarged)]. Dnipropetrovs'k, Sich, 2007, 100 p.
2. Vil'dflaush, I.R. Primenenie mikroudobrenij i reguljatorov rosta v intensivnom zemledelii [Application of microfertilizers and growth regulators in intensive agriculture]. Gorki, BSASA, 2015, 48 p.

3. Fateev, A.I., Zaharova, M.A. Osnovy primenenija mikroudobrenij [Basics of the application of micronutrients]. Kharkov, Publishing house No 13, 2015, 134 p.
4. Fateev, A.I., Poljanchikov, S.P. Znachenie mikrojelementov v fermentativnih procesah v rastenii [The Significance of trace elements in fermentating processes in the plant]. Available at: <https://reacom.kiev.ua/a192494-znachenie-mikroelementov-fermentativnyh.html>.
5. Volkov, A.V. (2015). Jeffektivnost' primenenija razlichnyh sposobov, form i doz cinkovyh udobrenij pod jarovuju pshenicu na dernovo-podzolistyh pochvah: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk: 06.01.04-agrohimija [Efficiency of application of various methods, forms and doses of zinc fertilizers for spring wheat on sod-podzolic soils: Avtoref. disser. ... cand. biol sciences: 06.01.04-Agrochemistry]. Moscow, 24 p.
6. Aristarhov, A.N., Bushuev, N.N., Safonova, K.G. Prioritety primenenija razlichnyh vidov, sposobov i doz mikroudobrenij pod ozimye i jarovye sorta pshenicy v osnovnyh prirodno-sel'skohozjajstvennyh zonah Rossii [Priorities of application of different types, methods and doses of micronutrients for winter and spring wheat varieties in the main natural and agricultural areas of Russia]. Agrohimija [Agrochemistry], 2012, no. 9, pp. 26–40.
7. Gengalo, O.M., Pavljuk, S.D., Chumak, A.A., Kishhak, V.M. Pozakoreneve pidzhyvlennja vodorozchynnymy do-bryvamy z mikroelementamy jak sposib optymizacii' umov zhyvlennja pshenyci ozymoi' [Foliar feeding with water soluble fertilizers with micronutrients as a way of optimizing nutritional conditions, winter wheat]. Naukovyj visnyk Nac. un-tu bio-resursiv i pryrodokorystuvannja Ukraïny [Scientific Bulletin of the NAT. University of life and environmental Sciences of Ukraine], 2010, no. 149, pp. 65–73.
8. Genc, Y., McDonald, G.K., Graham, R.D. Critical deficiency concentration of zinc in barley genotypes differing in zinc efficiency and its relation to growth responses. J. Plant Nutr. 2002, 25, no. 3, pp. 545–560.
9. Kenbaev, B., Sade, B. Response of field- grown baley cultivars grown on zinc-deficient soil to zinc application. Commun. Soil Sci. and Plant Anal. 2002. 33, no. 3–4, pp. 533–544.
10. Vázquez, M.D., Barcelo, J., Poschenrieder, Ch. Localization of zinc and cadmium: *Thlaspi caerulescens* (Brassicaceae), a metallophyte that can hyperaccumulate both metals. J. Plant Physiol. 1992, 140, no. 3, pp. 350–355.
11. Bogdan, M.M. (2016). Fiziologichne obgruntuвання vykorystannja kompleksnyh do-bryv u posivah pshenyci ozymoi': dys. ... kand. s.-g. nauk: 03.00.12 – fiziologija Roslyn [Physiological substantiation of the use of complex fertilizers in winter wheat crops: dis. ... Candidate of Agricultural Sciences: 03.00.12 – plant physiology]. Kyiv, 191 p.
12. Korsunskaja, V.M. Velikij naturalist Charlz Darvin [The great naturalist Charles Darwin]. Leningrad, Publishing House of Children's Literature, 1959, 121 p.
13. Kochubej, S.M., Shevchenko, V.V., Bondarenko, O.Ju., Panas, I.D. Dinamika izmenenij funkcional'noj aktivnosti fotosinteticheskogo aparata rastenij goroha, vyzvaemyh vysokotemperaturnym stressom [Dynamics of changes in the functional activity of the photosynthetic apparatus of pea plants, caused by high temperature stress]. Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2013, no. 6, pp. 152–156.
14. Lebedeva, T.S., Sytnik, K.M. Pigmenty rastitel'nogo mira [Pigments of the plant world]. Kyiv, Scientific thought, 1986, 87 p.
15. Rozhkov, A.O. Vmist pigmentiv fotosyntezy v lystkah roslyn pshenyci tvrdoj' jarij' za dii' pidzhyvlen' posiviv sechovynuju ta mikroudobryvamy [Content of photosynthesis pigments in leaves of hard wheat plants under the influence of crops of urea and micronutrient fertilizers]. Available at: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Agromija/article/viewFile/1131/1085>.
16. Mal'ceva, N.M., Gajevs'kyj, A.P., Derev'janko, K.P. Vplyv biologichno aktyvnyh rečovyn ta i'h kompozycij na vmist fotosyntetichnyh pigmentiv v lystkah ozymoi' pshenyci v umovah defycytu fosforu [Effect of biologically active substances and their compositions on the content of photosynthetic pigments in leaves of winter wheat under conditions of phosphorus deficiency]. Fyziologija y byohymija kul't. rastenij [Physiology and biochemistry of the cult. plants], 2011, Vol. 43, no. 5, pp. 403–411.
17. Kaznina, N.M., Batova, Ju.V., Lajdinen, G.F., Titov, A.F. Vlijanie cinka na rost i fotosinteticheskij aparat rastenij pshenicy v uslovijah optimuma i gipotermii [Influence of zinc on growth and photosynthetic apparatus of wheat plants under conditions of optimum and hypothermia]. Tr. Karelskogo nauchnogo centra RAN [Works Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2017, no. 12, pp. 118–124.
18. Shadchyna, T.M., Guljajev, B.I., Kirizij, D.A. (2006). Reguljacija fotosyntezy i produktyvnost' roslyn: fiziologichni ta ekologichni aspekty [Regulation of photosynthesis and plant productivity: physiological and environmental aspects]. Fitosociocentr, 384 p.
19. Minajchev, V.V., Sigolaeva, T.E., Kuznecov, D.A., Ivanishhev, V.V. Vlijanie inov cinka i nikelja na vodoobespechennost' prorostkov goroha i obrazovanie pigmentov fotosinteza [The influence of zinc and nickel on the water availability of pea seedlings and the formation of photosynthesis pigments]. Izvestija TulGU. Estestvennye nauki [News of TSU. Natural Sciences], 2016, Issue 1, pp. 77–89.
20. Sairam, R.K., Srivastavag, C. Induction of oxidative stress and antioxidant activity by hydrogen peroxide treatment in tolerant and susceptible wheat genotypes. Biol. Plant. 2000, Vol. 43, no. 3, pp. 381–386.
21. Vijayarengan, P. Growth and biochemical variations in radish under zinc application. International Journal of Research in Plant Science. 2012, V. 2 (3), pp. 43–49.
22. Rastgoo, R., Alemzadeh, A., Tale, A.M. Effects of copper, nickel and zinc on biochemical parameters and metal accumulation in gouan, *Aeluropus litoralis*. Plant Knowledge Journal. 2014, V. 3 (1), pp. 31–38.
23. Kösesakal, T., Ünal, M. Effects of zinc toxicity on seed germination and plant growth in tomato. Fresenius Environmental Bulletin. 2012, V. 21, no. 2, pp. 315–324.
24. Nichiporovich, A.A., Stroganova, L.E., Vlasova, M.P. Fotosinteticheskaja dejatel'nost' rastenij v posevah [Photosynthetic activity of plants in crops]. Moscow, AN SSSR, 1969, pp. 37–53.
25. Podprjatov, G.I., Vojcehiv's'kyj, V.I., Macejko, D.M. (2004). Osnovy standartyzacii', upravlinnja jakistju ta sertyfikaciija produkcii' roslynnyctva [Basics of standardization, quality management and certification of crop production]. Kyiv, Aristej, 552p.
26. Semina, S.A., Machneva, V.V. Urozhaj i kachestvo zerna jarovoj mjagkoj pshenicy v zavisimosti ot sorta [Harvest and grain quality of spring soft wheat depending on the variety]. Zernovoe hazjajstvo [Grain farm], 2005, no. 3, pp. 23–24.

27. Uvarov, G.I., Smirnova, V.V., Smurov, S.I. Rol' sorta i predshestvennika v povyshenii urozhaja i kachestva zerna ozimoi pshenicy [The role of the variety and its predecessor in increasing the yield and grain quality of winter wheat]. Zernovoe hazhajstvo [Grain farm], 2006, no. 6, pp. 15–17.

28. Kir'jan, V.M. Ocinka vyhidnogo materialu pshenyci ozimoi' m'jakoi' za oznakamy jakosti zerna [Estimation of the source material of wheat of winter soft on the basis of grain quality]. Visnyk Poltav'skoi' derzhavnoi' agrarnoi' akademii' [Herald Poltava State Agrarian Academy], 2010, no. 2, pp. 35–40.

Эффективность форм и сроков внесения цинка на посевах озимой пшеницы

А.И. Кривенко, С.И. Бурькина

В статье освещено влияние форм, способов внесения цинка на формирование урожая и качества зерна пшеницы озимой мягкой. Используются полевые, лабораторные и статистические методы.

При внесении $N_{90}P_{60}K_{40}$, в составе которого суперфосфат модифицировано комплексоном цинка на основе ОЭДФ, прирост урожая составил 20,2 % против варианта без удобрений, в том числе 6,4 % – за счет цинка. Целесообразно вносить микроэлемент цинк в виде его комплексоноата с ОЭДФ, прирост урожая по сравнению с сульфатом цинка – 0,16 т/га, а общая доля влияния этого фактора – 14,0 %. Внесение комплексоноата цинка под предпосевную культивацию в дозе 2,0 кг/га не имело преимуществ перед однократной обработкой растений в фазу кущения дозой 250 г/га, но перенос этого мероприятия на фазу стеблевания обеспечил существенный прирост урожая (0,20 т/га при $HCP_{0,95} = 0,18$).

Внекорневая подкормка раствором комплексоноата цинка (250 г/га) повышает урожай зерна озимой пшеницы с наибольшим эффектом от двукратной обработки в фазы кущения и стеблевания; прирост составляет от 0,20 до 0,54 т/га. Эффективность использования Zn в засушливых условиях Юга Украины на 75,7–96,0 % определяется гидротермическими условиями весенней вегетации, но при этом микроэлемент способствует развитию устойчивости растений озимой пшеницы к температурному стрессу. Концентрация цинка в зерне опытных вариантов колебалась в пределах от 18,4 до 22,1 мг/кг (на контроле – 14,5 мг/кг).

Ключевые слова: цинк, пшеница озимая, фазы вегетации, качество, чернозем южный.

Efficiency of forms and terms of zinc application in the winter wheat fields

A. Kryvenko, S. Burykina

To improve the technology of winter wheat cultivation it becomes more relevant to discuss the issue of enhancing crop microelement nutrition, which is very important when mineral fertilizers are applied at a higher rate than the one accepted in the zone. Chornozem (black) soils in general, and southern ones in particular, have a neutral or slight alkaline response, i.e. most of the microelements are slow movable and in fact are not available for the plants.

The efficiency of the microelement application uppermost affected by the form they are in. Recent experiments prove that the most efficient form of microelement transportation to the plants is complex compounds of metals with organic ligands – chelates. The most common chelators are organic acids with carboxyl groups: ethylenediaminetetraacetic (EDTA), diethylenetriaminopentaacetic (DTPA), dihydroxybutylenediaminetetraacetic (DBTA), ethylenediamindisuccinic (EDDA); phosphonic acids – oxyethylenediphosphonic (OEDF) and nityltrymetylenphosphonic (NTF).

The research aims to study the effect of forms and ways of zinc application on the yield formation and grain quality of soft winter wheat on the southern chornozems (black soils).

The experiments were carried out on southern chornozems, low-humus heavy loamy well-cultivated.

The size of a sown plot is 120 m², that of a record one is 50 m², replication is fourfold. Fertilizers were applied in a form of ammonium nitrate, granulated superphosphate and potassium salt, and also superphosphate with zinc complexonate (0.75 %). Vegetative winter wheat fields were treated with the solutions of zinc salts with help of a manual sprayer. An experiment scheme was given when the results were presented. Black fallow was the predecessor of winter wheat, cv. Кнопа.

The efficiency of microelement was studied when it was applied in the form of zinc sulfate, chelate form, where oxyethylenediphosphonic (OEDF) oxyethylenediphosphonic (OEDF), superphosphate with zinc chelate on OEDF basis were used as ligand (0.75 %)

Monitoring and analyzing were done according to the conventional methods in compliance with a standard technique. Statistical processing of the received results was done using a package of applied software Excel and Statistika, the methods of dispersive, correlative and regressive analyses.

When $N_{90}P_{60}K_{40}$, which contained superphosphate modified with zinc complexonate based on OEDF, was applied, the yield increase was 20.2 % as compared with the variant without fertilizers, including 6.4 % – due to zinc. It is advisable to apply zinc in the form of its complexonate with OEDF, the yield increase is 0.15 cwt/ha, as compared with zinc sulfate, and a share of the effect of this factor is 14.0 %. The application of zinc complexonate under pre-sowing cultivation at a rate of 2.0 kg/ha had no benefit over one-time treatment of the plants at the phase of tillering at a rate 250 g/ha, but doing this treatment at a phase of shooting resulted in a serious yield increase (0.20 t/ha at $SSD_{0.95} = 0.18$).

Foliar application with the solution of zinc complexonate (250 g/ha) increases the grain yield of winter wheat with the highest effect from a two-time treatment at tillering and shooting phases; the increase ranges from 0.20 to 0.54 t/ha. The efficiency of Zn application by 75.7-96.0% in arid conditions of the south of Ukraine is defined by hydrothermal conditions of spring vegetation, and a microelement helps winter wheat plants develop resistance to a temperature stress. A grain zinc concentration in the experimental variants ranged from 18.4 to 22.1 mg/kg (in the control it was 14.5 mg/kg).

Key words: zinc, winter wheat, vegetation phases, quality, southern chornozem.

Надійшла 23.10.2018 р.