

ЕФЕКТИВНІСТЬ РІЗНИХ ФОРМ І СПОСОБІВ ВНЕСЕННЯ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У ТЕХНОЛОГІЯХ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

***І.В. ЛОГІНОВА, кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Н.М. БІЛЄРА, кандидат сільськогосподарських наук,
старший викладач***

Наведено результати аналізу впливу різних форм (неорганічні солі, хелати металів, розчин наноцинку) і способів внесення мікроелементів (у ґрунт в складі основного добрива та у позакореневе підживлення) в посівах кукурудзи на зерно і пшениці ярої. Доведено, що на лучно-чорноземному карбонатному ґрунті хелатна форма мікроелементів має значні переваги порівняно з неорганічними солями за внесення як у ґрунт, так і в позакореневе підживлення. Розчин наноцинку був ефективнішим, ніж інші форми мікродобрив, проте для його широкого застосування необхідне проведення подальших досліджень.

Мікродобрива, хелати, неорганічні солі, розчин наноцинку, Кеміра, кукурудза, пшениця яра.

Питанню місця мікродобрив у технологіях вирощування сільськогосподарських культур приділяється значна увага впродовж тривалого часу [1, 12]. В останні десятиріччя проблема забезпечення зростаючих урожаїв сільськогосподарських культур мікроелементами викликає особливий інтерес як у вчених, так і в сільгоспвиробників [3, 9]. Поряд з усвідомленням фізіологічної ролі мікроелементів це пов'язано з розумінням економічної доцільності їх внесення: мікроелементи дають змогу підвищити коефіцієнти використання внесених макроелементів, зумовлюючи зростання економічної ефективності застосування добрив [13].

Проблема мікроелементів у світі загострюється в результаті переходу на інтенсивніші технології вирощування сільськогосподарських культур, зменшення можливостей ґрунту забезпечувати рослини мікроелементами внаслідок ерозії, вимивання, інтенсивного вапнування і внесення промислових добрив, зменшення частки органічних добрив у технологіях тощо [5].

Ефективність використання мікроелементів під сільськогосподарські культури великою мірою залежить від двох факторів: - форми мікроелемента та способу його внесення. Крім того на ефективність застосування мікродобрив впливає чутливість культури до їхньої нестачі [10].

Серед форм мікроелементів, які рекомендуються для використання у сільськогосподарській практиці, можна виділити наступні: неорганічні сполуки (частіше оксиди й солі металів, відходи промисловості); синтетичні хелати; фрити (сплави скла і мікроелементів) і нанопрепарати.

Поряд із нижчою вартістю неорганічних солей і доведеною ефективністю внесення їх у ґрунт призводить до швидкої взаємодії з компонентами ґрунтового розчину та зменшення доступності рослинам. Проблема відходів промисловості полягає в неконтрольованому темпі розчинення їх у ґрунті,

низькій концентрації мікроелемента, а отже, у високих нормах внесення, наявності значної кількості баластних речовин.

Синтетичні хелати нині є найбільш вживаною формою внесення мікроелементів-металів. До переваг порівняно з першою групою можна віднести меншу здатність до ретроградації при внесенні в ґрунт, кращу засвоюваність рослинами через листок у результаті спорідненості органічного компонента сполук до складових листових покривів, зменшення небезпеки фітотоксичності [6].

Фрити – найменш представлена на ринку форма. Їх найширше застосовують на піщаних ґрунтах у районах із високим рівнем опадів і значною схильністю до вимивання. Вони ефективніші не в коригуванні дефіциту, а в підтриманні оптимальної концентрації елементів у ґрунті [7].

Нанопрепарати є новою формою мікродобрих, яка вже довела свою ефективність [11]. Однак на теперішній час ще недостатньо зрозумілими залишаються питання поглинання рослинами наночастинок та їхній можливий вплив на інші організми і довкілля. До того ж нині майже не існує аналітичних методів, які б давали змогу провести адекватний аналіз [8].

Серед способів використання мікроелементів виділяють: внесення у ґрунт; позакореневе підживлення; збагачення насіння, та фертигацію. Мікроелементи можуть бути внесені як окремо, так і в складі інших добрив (уведені до склад рідких чи твердих добрив або нанесені на поверхню гранул). При внесенні у ґрунт мікроелементи підлягають трансформації внаслідок взаємодії з компонентами ґрунту, чого можна уникнути позакореневим підживленням [14].

Мета дослідження - вивчити вплив різних форм і способів внесення мікроелементів на врожай зерна кукурудзи й пшениці ярої.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження були проведені на дослідних полях кафедри агрохімії та якості продукції рослинництва НУБіП України на лучно-чорноземному карбонатному ґрунті. Ділянка розміщена в Київській області (50°05' північної широти й 30°12' східної довготи) у зоні Лісостепу України, що характеризується зволоженням 570 мм на рік і середньорічною температурою 7,5 °С. В орному шарі ґрунту гумусу містилося 4,22%, pH_{H_2O} – 8,0, $CaCO_3$ – 1,20%, вміст доступних форм N, P_2O_5 , K_2O становив відповідно 72,5; 27,0; 89,3 мг/кг, а доступних форм Zn та Cu – середній (відповідно 2,31 й 2,24 мг/кг).

Урожай кукурудзи на зерно та пшениці ярої збирали поділянково й перераховували на 14% -ву вологість. Вміст білка та сирого протеїну у зерні визначали методом інфрачервоної спектрометрії на приладі Infratek 1225.

Схеми досліду. Дослід 1. Ефективність внесення комплексних гранульованих і змішаних добрив порівнювали в посівах пшениці ярої сорту Соната (2004–2005 рр.). Кеміра (виробник: Кеміра Гроу Хау, Фінляндія) є комплексним добривом (табл. 1). Мікроелементи-метали представлені у хелатній формі. Еквівалентна суміш (ЕС) складалася з аміачної селітри, простого суперфосфату й калію хлористого. Для забезпечення такого ж самого рівня мікроелементів, як у Кеміри додавали солі $CuSO_4$; $FeSO_4$; $MgSO_4$; $MnSO_4$; H_3BO_3 . Добрива були внесені в основне удобрення восени. Схема досліду включала такі варіанти: 1. Контроль (без добрив); 2. Кеміра 45 кг/га; 3. ЕС 45 кг/га; 4. Кеміра 90 кг/га; 5. ЕС 90 кг/га. Повторність досліду - триразова, площа облікової ділянки - 100 м².

Дослід 2. Ефективність комплексних мікродобрив для позакореневого підживлення вивчали у посівах кукурудзи на зерно (2003–2004 рр.) та пшениці ярої (2004–2005 рр.) в дрібноділянкових дослідах. Для дослідження були взяті акварин 5 (А5) (Виробник: Буйський хімічний комбінат, Росія) і кристалон особливий (КОс) (Виробник: Яра Гідро, Норвегія). Вміст елементів в обох добривах наведено у таблиці 1. Добрива вносили за допомогою ручного обприскувача, норма внесення – 3 кг/га для кукурудзи й 2 кг/га для пшениці ярої; об'єм робочого розчину - 250 л/га. Повторність - чотириразова, площа облікової ділянки - 25 м² для кукурудзи та 10 м² для пшениці ярої.

1. Характеристика добрив

Доб-риво	Вміст елементів, %											
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO	CaO	Fe	Cu	Zn	Mn	B	Mo
Кеміра	10	19	20	11	4,2	1,0	0,1	0,1	0,1	0,7	0,15	0,01
А5	18	18	18	1,5	2,0		ДТПА 0,054	ЕДТА 0,01	ЕДТА 0,014	ЕДТА 0,042	0,02	0,004
КОс	18	18	18	5 SO ₃	3 Mg		ДТПА 0,07	ЕДТА 0,01	ЕДТА 0,025	ЕДТА 0,04	0,025	0,004

Під посіви кукурудзи вносили аміачну селітру, суперфосфат простий і калій хлористий в основне удобрення у нормі N₉₀P₉₀K₁₃₅. Комплексні добрива застосовували позакоренево в три етапи органогенезу початка за Куперман [2]: IV етап (закладання квіткових горбків, визначення кількості зерен в початку); VI етап (формування фертильних квіток), і X етап (формування зародків і насіння). Схема досліду: 1. Н₂O; 2. КОс (або А5) на IV етапі; 3. IV та VI етапи; 4. IV та X етапи; 5. VI етап; 6. X етап.

Під пшеницю яру сорту Соната восени в основне удобрення були внесені кеміра й еквівалентна суміш (ЕС). Позакореневе підживлення комплексними добривами проведено двічі – на IV та X етапах органогенезу за Куперман [2], що відповідають фазам виходу в трубку й молочної стиглості. Схема досліду: 1. Кеміра 45 кг/га + Н₂O; 2. Кеміра 45 кг/га + А5; 3. Кеміра 45 кг/га + КОс; 4. ЕС 45 кг/га + Н₂O; 5. ЕС 45 кг/га + А5; 6. ЕС 45 кг/га + КОс; 7. Кеміра 90 кг/га + Н₂O; 8. Кеміра 90 кг/га + А5; 9. Кеміра 90 кг/га + КОс.

Ранні етапи органогенезу для культур визначали з допомогою мікроскопа, пізні – візуально.

Дослід 3. Ефективність різних цинкових добрив вивчали у дрібноділянковому польовому досліді, закладеному в посівах кукурудзи на зерно. Під кукурудзу були внесені такі добрива у позакореневе підживлення (витрата робочого розчину – 300 л/га): 1) Н₂O; 2) ZnSO₄ (у вигляді ZnSO₄·7H₂O в нормі 200 г/га); 3) хелат Zn (фірма «Реаком», Україна, хелатуючий агент 1-гідроксиетилідендифосфонова кислота (ОЕДФ), норма внесення 3 л/га); 4) розчин нано Zn (водний нанорозчин із концентрацією цинку 50 мг/л, норма внесення 1 л/га, вироблений методом об'ємної електроіскрової ерозії [4] на кафедрі технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства НУБіП України).

Норми добрив вибрані на основі рекомендацій виробників ґрунтувались на попередньому досвіді. Ми вважали за недоцільне приводити кількості внесеного цинку до одного значення, бо форми мікроелемента в добривах були різними, що унеможливорює їхнє порівняння на кількісній основі.

Добрива вносили ручним обприскувачем дворазово у фазу 5–6 та 9–10 листків Підживлення проводили на фоні внесення в основне удобрення восени

простих мінеральних добрив (аміачна селітра, суперфосфат простий і калій хлористий) у нормі $N_{90}P_{90}K_{135}$. Вирощувані гібриди кукурудзи: в 2011 році – Сандрина F1 (оригіатор Піонер, FAO 220), у 2012- му році – Матеус F1 (оригіатор – Заатен Юніон, FAO 190), густота стояння на момент збирання – 80 тис. рослин. Повторність досліду – чотири разова, площа облікової ділянки - 15 м².

В усіх дослідах догляд за посівами здійснювали відповідно до стандартних рекомендацій для даної зони вирощування. Контроль за хворобами та шкідниками вели згідно з рекомендаціями вирощування згаданих культур.

Результати дослідження та їхній аналіз. Внесення мікроелементів у ґрунт в складі основного макродобрива дає змогу створити пул мікроелементів у ґрунті на період вегетації культури і є економічно доцільним заходом. Проте таким способом неможливо виправити ситуацію дефіциту елементів, яка може мати місце в певні критичні періоди розвитку культури. До того ж потрібно врахувати їхню взаємодію з ґрунтом.

За результатами наших експериментів (дослід 1), внесення 45 кг/га кеміри (табл. 2) забезпечувало значне підвищення врожайності пшениці ярої порівняно як із контролем (на 1,46 т/га, або 64%) так і з внесенням 45 кг/га ЕС (0,31 кг/га, або 8%). Підвищення норми добрива до 90 кг/га виявилось економічно недоцільним.

2. Вплив добрив на врожайність пшениці ярої та якість зерна

Варіант удобрєння	Урожай зерна			Показники якості зерна		Клас якості зерна
	т/га	± до контролю		вміст білка, %	вміст «сирого» протеїну, %	
		т/га	%			
Без добрив - контроль	2,69	—	—	10,3	24,9	Фураж
Кеміра 45 кг/га	4,15	1,46	64	11,2	25,4	IV
ЕС 45 кг/га	3,84	1,15	50	11,2	25,8	IV
Кеміра 90 кг/га	4,55	1,86	82	10,7	26,9	Фураж
ЕС 90 кг/га	4,56	1,87	82	11,2	25,4	IV
<i>HIP₀₅</i>	0,20			0,4		

Поряд із наведеним, було встановлено позитивний вплив добрив на показники якості зерна пшениці незалежно від форми внесених мікроелементів: як у формі хелатів у складі складнозмішаного добрива кеміра, так і в формі неорганічних солей у складі змішаного. Однак за підвищення норми внесення до 90 кг/га застосування складнозмішаного добрива кеміра поступалося еквівалентній суміші за вмістом білка у зерні – внаслідок чого одержано фуражне зерно. Це свідчить про те, що для забезпечення вищої якості зерна необхідно додатково вносити мікроелементи впродовж періоду вегетації культури.

Внесення мікроелементів у позакореневе підживлення дає можливість оперативно поповнити нестачу елементів, яка виникає протягом періоду вегетації культури, а також підтримати їхню достатню кількість у найкритичніші для формування врожаю фази росту і розвитку.

У наших експериментах (дослід 2) застосування комплексних мікродобрив у позакореневе підживлення кукурудзи та пшениці ярої виявилось ефективним заходом і забезпечило приріст урожаю зерна. Проте в

дослідженнях із кукурудзою їхня ефективність значною мірою залежала від часу внесення.

Найкращі результати одержано за дворазового внесення мікродобрих на IV і VI етапах органогенезу початка кукурудзи (табл. 3). Це підтверджує важливе значення вказаних етапів у формуванні врожаю зерна кукурудзи. Проведення позакореневих підживлень на IV і VI етапах сприяло закладанню більшої кількості зерен у початку із більшою масою 1000 зерен. Подібну тенденцію виявлено в обох добрив (приріст до контролю становив 29% для КОс та 27% – для А5). Одноразове внесення добрив на IV і VI етапах було менш ефективним.

3. Вплив комплексних мікродобрих на врожайність кукурудзи

Варіант	Етап органогенезу початка	Урожай зерна, т/га	± до контролю	
			т/га	%
H ₂ O -контроль	–	6,24	–	–
	IV	6,91	0,66	11
	IV та VI	7,89	1,65	29
КОс	IV та X	6,84	0,59	10
	VI	6,65	0,41	11
	X	6,38	0,13	2
	IV	6,71	0,67	11
	IV та VI	7,66	1,62	27
A5	IV та X	7,10	1,06	18
	VI	6,65	0,61	10
	X	6,21	0,18	3
	HIP ₀₅	0,23		

Разом з тим, нами встановлено тенденцію до підвищення вмісту білка в зерні при дворазовому позакореновому підживленні на IV і VI етапах (від 8,17 на контролі до 9,21%). Одноразове застосування добрив на X етапі не вплинуло на врожай та якість зерна (вміст білка становив 8,21%).

У досліді з пшеницею ярою внесення комплексних мікродобрих у позакореневе підживлення забезпечило додатково 4,2-12,5% урожаю зерна (табл. 4). Крім того, поліпшилися і його якість: у варіанті з ЕС вміст білка підвищився від 10,2 на контролі з водою до 12,2 і 12,3% відповідно у варіантах застосування А5 та КОс, що дало змогу змінити клас зерна з фуражного на III клас.

Слід зазначити, що кристалон особливий і акварин 5 виявилися ефективнішими на фоні еквівалентної суміші, ніж добриво кеміра. Це може бути зумовлено різницею у формі мікроелементів, що входять до складу основних добрив.

4. Вплив комплексних мікродобрих на врожайність пшениці ярої і якість зерна

Варіант		Урожай зерна			Вміст, %		Клас зерна
					білка	«сирого» протеїну	
		т/га	± до контролю				
т/га	%						
Кеміра 45 кг/га	H ₂ O	4,10	—	—	11,1	24,4	IV
	A5	4,27	0,17	4,2	11,9	25,4	IV
	KOC	4,42	0,32	7,9	11,9	25,7	IV
	HIP ₀₅	0,18			0,4	—	—

	H ₂ O	3,96	–	–	10,2	24,0	Фураж
EC	A5	4,41	0,45	11,4	12,2	25,8	III
45 кг/га	KOc	4,46	0,50	12,5	12,3	26,3	III
	HIP ₀₅	0,19			0,5	–	–

Спосіб застосування й ефективність мікродобрих прямо залежать від форми мікроелемента, яка впливає на його поведінку в ґрунті та інтенсивність поглинання рослинами. Результати наших експериментів (дослід 3) підтвердили різницю у дії різних форм цинкових добрив на врожайність кукурудзи на зерно (табл. 5). Цинк у формі неорганічної солі (сульфат цинку) виявився найменш ефективним. Хелат цинку позитивно впливав на врожайність кукурудзи в обидва роки.

5. Вплив різних форм цинкових добрив на врожайність кукурудзи на зерно

Варіант	Врожайність, т/га	
	2011 рік	2012 рік
H ₂ O	10,1	6,0
ZnSO ₄	10,2	6,5
Хелат Zn	10,7	7,0
Розчин нано Zn	11,1	8,0
HIP ₀₅	0,5	0,4

Перевага хелатної форми мікроелементів порівняно з неорганічними солями при внесенні позакоренево є результатом спорідненості органічного комплексонату і структур листка, через які цинк проникає всередину клітини. Розчин нанозинку відрізнявся за ефективністю від сульфату і хелату цинку в обидва роки. Проте, не зовсім зрозумілий шлях надходження і поглинання нанозинку рослинами, що потребує подальших досліджень.

Щодо показників якості зерна кукурудзи, то нами не було виявлено суттєвих змін у вмісті білка в зерні кукурудзи за внесення всіх форм цинку порівняно з контролем.

Висновки. Для ефективного застосування мікродобрих необхідно у системі удобрення приділяти увагу формі мікроелемента в добриві та способу його внесення.

Використання мікроелементів у складі комплексного добрива кеміра мало переваги над еквівалентною за вмістом головних елементів тукоsumішшю, оскільки хелатна форма мікроелементів у добриві дещо попереджувала їхню взаємодію з компонентами карбонатного ґрунту. При підвищенні норми до 90 кг/га різниця між добривами була незначною, що свідчить про наявність лімітуючого фактора і необхідність додаткового внесення мікроелементів у позакореневе підживлення.

Ефективність позакореневого підживлення кукурудзи та пшениці ярої комплексними мікродобривами кристалон особливий і акварин 5 залежала від строку внесення. Найбільшого ефекту в посівах кукурудзи досягнуто за їх дворазового застосування на IV та VI етапах органогенезу початка. Загалом використання кристалону особливого забезпечило 10 і 29% приросту врожаю зерна кукурудзи та 7,9 і 12,5% зерна пшениці ярої, а акварину 5 відповідно 10 і 27 та 4,2 й 11,4%. Внесення мікроелементів у хелатній формі в складі комплексних мікродобрих на фоні еквівалентної суміші дало змогу підвищити

класність зерна до III класу (порівняно з фуражним на контролі), що підтверджує переваги хелатів при внесенні їх на карбонатному ґрунті.

Розчин наноцинку був ефективнішим ніж сульфат цинку та хелат цинку, оскільки сприяв значному приросту врожаю зерна кукурудзи. Щоправда, залишається не зовсім зрозумілим шлях утилізації наноцинку рослинами і можлива небезпека цієї форми мікроелемента для довкілля та здоров'я людини, що потребує подальших досліджень.

Список літератури

1. Биологические элементы в жизнедеятельности растений. Власюк П.А.. – К. : Н. думка, 1969. – 516 с.
2. Куперман Ф.М. Морфофизиология растений. Морфофизиологический анализ этапов органогенеза различных жизненных форм покрытосеменных растений: учеб. Пособ. для студ. биол. спец. ун-тов. Куперман Ф.М. – М. : Высш. шк., 1984. – 240 с.
3. Минеев В.Г. Агрохимия: Учебник В.Г. Минеев– М. : Изд-во МГУ, Изд-во Колос, 2004. – 720 с.
4. Разрядно-импульсные системы производства нанокolloидных растворов биологически активных металлов методом ОЭИД / [А.А. Щерба, С.Н. Захарченко., К.Г. Лопатько и др.] // Праці інституту електродинаміки НАН України. – 2010. – Вип. 26. – С.152-160.
5. Fageria N.K. Micronutrients in Crop Production / N.K. Fageria, V.C. Baligar, R.B. Clark // Adv. in Agr. – 2002. – Vol. 77. – P. 185–268.
6. Leaching and efficiency of six organic zinc fertilizers applied to navy bean crop grown in a weakly acidic soil of Spain / [D. Gonzalez, J. Novillo, M.I. Rico, J.M. Alvarez] // J. Agric. Food Chem. – 2008. – May 14; Vol. 56(9). – P. 3214-3221.
7. Kessler J.R. Fertilizing greenhouse crops in Alabama [Internet]. - Режим доступу: <http://www.ag.auburn.edu/hort/landscape/greenhousefert.html>
8. Knauer K. Nano-materials – the need for research in agriculture / K. Knauer, T. Bucheli// AGRAR Forschung. – 2009. – Vol. 16 (10). – P. 390 - 395.
9. Lasso E. Nutrient limitation restricts growth and reproductive output in a tropical montane cloud forest bromeliad: findings from a long-term forest fertilization experiment / E. Lasso, J.D. Ackerman // Oecologia. – 2013. – Vol. 171(1). – P. 165-74.
10. Marton L. Crop demand of manganese / L. Marton // Environ Geochem Health. – 2012. – 34, Suppl. 1. – P. 123-34.
11. Dissolution kinetics of macronutrient fertilizers coated with manufactured zinc oxide nanoparticles / [N. Milani, M.J. McLaughlin, S.P. Stacey, et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2012. – Vol. 25; 60(16). – P. 3991-3998.
12. Tisdale S.L Soil fertility and fertilizers / [S.L. Tisdale, W.L. Nelson, J.D. Beaton] – New York: Macmillan Publishing Company, 1985. – 754 p.
13. Changes in soil properties and the availability of soil micronutrients after 18 years of cropping and fertilization // [X. Wei, H. Mingde, S. Mingan, W.J. Gale]// Soil and Tillage Res. – 2006. – Vol. 91(1-2). – P. 120–130.
14. Fertilisation and pesticides affect mandarin orange nutrient composition / [X. Zhang, A.P. Breksa, D.O. Mishchuk, et al.] // Food Chem. – 2012. – Vol. 134(2). P. 1020-1024.

The data on the influence of different forms of microfertilizers (inorganic salts, chelates, nano Zn) and ways of their application (soil and foliar application) to corn and spring wheat are showed. It was studied, that chelats are better on meadow-chernozemic calcareous soil if compared to inorganic salts. Both ways of application are effective. Nano Zn performed was more effective than the other microfertilizers, but further experiments are necessary for its recommendation.

Microfertilizers, chelates ,inorganic salts, nano Zn, Kemira, corn, spring wheat.

Приведены результаты анализа влияния разных форм (неорганические соли, хелаты металлов, раствор наноцинка) и способов внесения микроэлементов (в почву в составе основного удобрения и во внекорневую подкормку) в посевах кукурузы на зерно и пшеницы ярой. Доказано, что на лугово-черноземной карбонатной почве хелатная форма микроэлементов имеет значительное преимущество по сравнению с неорганическими солями при внесении как в почву, так и во внекорневую подкормку. Раствор наноцинка был более эффективен чем с другие формы микроудобрений, однако для его широкого использования необходимо проведение дальнейших исследований.

Микроудобрения, хелаты, неорганические соли, наноцинк, кемира, кукуруза, пшеница ярая.