

УДК 631.482.1

Рухомі форми заліза в мікроелементному режимі алювіально-лучного ґрунту

Р.С. Трускавецький*, Н.Ю. Паламарь**

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»,
Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 04.02.2020 Отримано після доопрацювання 08.03.2020 Затверджено до друку 16.03.2020 Доступно онлайн 01.06.2020</p> <p><i>Ключові слова:</i></p> <p>алювіально-лучний ґрунт; антагонізм; ґрунтовий розчин; мікроелемент; рухомі форми заліза; синергізм.</p>	<p>Представлено результати лабораторно-модельного дослідження з вивчення ролі рухомих форм заліза в мікроелементному режимі алювіально-лучного легкосуглинкового ґрунту. Мета роботи - виявити характер взаємодії (антагоністичної і/або синергетичної) між рухомими формами заліза та іншими мікроелементами (мідь, цинк та молібден), внесеними в ґрунт для поліпшення умов мікроелементного живлення бобових трав. У модельному лабораторному експерименті (вегетаційні посудини об'ємом 500 мл) дослідили вплив різних окремо та сукупно внесених мікроелементів на їх уміст у ґрунті і в рослинах пелюшки польової (<i>Pisum arvense</i> L.). Мікроелементи вносили на фоні мінерального удобрення (N₆₀P₆₀K₆₀) у вигляді сірчано-кислих солей у таких дозах: заліза – 200, міді – 132, цинку – 220 мг/кг ґрунту; молібден вносили у вигляді молібдату амонію у дозі 2 мг/кг ґрунту. Проби ґрунту і рослин відбирали, коли рослини були у фазі бутонізації. Застосовано аналітичний, модельний та статистично-математичний методи досліджень. Доведено, що рухоме залізо, яке є типоморфним елементом для гідроморфних ґрунтів, істотно впливає на надходження мікроелементів у бобову рослину. Показано, що антагонізм між залізом і цинком призводить до зниження доступності обох біогенних елементів рослинам пелюшки, маса яких на варіанті з парним внесенням цих елементів була найнижчою. Сукупне застосування молібдену, міді й цинку блокує негативний вплив рухомого заліза і позитивно впливає на зростання пелюшки; рослини відрізнялись найкращими біометричними показниками. Для ефективного вирощування пелюшки на лучних ґрунтах рекомендовано внесення молібденових добрив. Поліпшення мікроелементного режиму в лучних ґрунтах вимагає зниження концентрації закисних сполук заліза, як антагоністів інших мікроелементів, наприклад, шляхом аерації кореневмісного шару ґрунту.</p>

E-mail: *truskavetsky@ukr.net; **palamar@ukr.net

Форма цитування: Трускавецький Р.С., Паламарь Н.Ю. Рухомі форми заліза в мікроелементному режимі алювіально-лучного ґрунту. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 89. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 28-33. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-03>.

1. Вступ

Забезпеченість рослин і насиченість кормових трав мікроелементами залежить не тільки від їх умісту у ґрунті, але й від наявності та взаємодії з іншими біогенними елементами в ґрунтового середовищі. Нестача того чи іншого мікроелементу в рослинах часто обумовлена явищами антагонізму, наявність якого між окремими біогенними елементами встановлено багатьма дослідниками [1-4]. Зокрема, латвійський учений Г.Я. Рінькіс [5] експериментально довів залежність поглинання рослинами мікроелементів від співвідношення їх концентрацій у ґрунтового розчині. Встановлено, що синергетичний ефект має місце за низького та оптимального вмісту біогенного елемента. Протилежний процес (антагонізм) найчастіше настає за високої концентрації в ґрунті елемента, який перетворюється на елемент-конкурент. Залізо, яке є типоморфним елементом гідроморфних і напівгідроморфних ґрунтів, чинить помітний вплив на поведінку інших елементів та умови мікроелементного живлення лучних бобових трав. Вони, як відомо, для формування білків потребують більше заліза порівняно зі злаковими культурами, що сприяє симбіотичній фіксації молекулярного азоту, локалізованого в кореневих бульбочках [6, 7]. Зі зміною режиму зволоження і переважання у ґрунті анаеробних умов окисні форми заліза легко переходять в активну, добре розчинну закисну форму, що призводить до його надлишку в ґрунтового розчині і погіршення умов мікроелементного живлення рослин. Водночас порушується баланс біогенних елементів у рослинному організмі [8-10]. Як зазначають деякі вчені [3, 11] симптоми залізистої токсичності проявляються по-різному, залежно від виду та стадії розвитку рослини. Питанням токсичної дії заліза на фізіологію і толерантність рослин присвячена оглядова робота С.Д. Фоу [12], де автор стверджує, що у разі, коли рослини добре забезпечені поживними речовинами, особливо Са, та SiO₂, вони здатні витримувати вплив дуже високих концентрацій заліза.

Пізнання закономірностей взаємодії між біогенними елементами дає можливість оцінити умови мінерального живлення рослин не тільки через уміст їх у ґрунтового

середовищі, але й у зв'язку з явищами антагонізму чи синергізму між ними. Відсутність знань з питань антагонізму/синергізму, передусім на ґрунтах, що зазнають періодичного перезволоження та накопичення закисних сполук, не дозволяє ефективно використовувати мікроелементний потенціал ґрунту та мікроелементні добрива. Виходячи з цього, предметом наших досліджень є встановлення антагоністичної і/або синергетичної взаємодії між рухомими формами заліза й окремими мікроелементами, які гостро необхідні для живлення рослин і, зокрема, гороху польового (*Pisum arvense* L.) або пелюшки. Вибір цієї культури як дослідної, обумовлено високою адаптацією її до алювіально-лучних ґрунтів, що є перспективним для вирощування високобілкового злаково-бобового трав'яного корму за розробленою нами раніше смужною технологією [13].

Мета досліджень – встановити характер взаємодії (антагоністичної і/або синергетичної) між рухомими формами заліза та іншими мікроелементами, внесеними в алювіально-лучний ґрунт для поліпшення умов мікроелементного живлення бобових трав.

2. Матеріали та методи досліджень

Виявлення антагонізму/синергізму між мікроелементами залізом, міддю, цинком та молібденом здійснювали шляхом проведення лабораторно-модельного дослідження. Для досліджень взято ґрунтову масу алювіально-лучного легкосуглинкового ґрунту з шару 0-30 см у заплаві річки Мерла у Краснокутському районі Харківської області. Для досліджуваного ґрунту виявлено такі параметри агрохімічних показників: $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ – 7,4 (ГОСТ 26423-85); вміст рухомих форм елементів живлення: N-NH_4^+ 12,3 мг/кг; N-NO_3^- сліди (ДСТУ 4729-2007); P_2O_5 – 21,3 мг/кг; K_2O – 110,9 мг/кг (за Чиріковим, ДСТУ 4115-2003); вміст гумусу 6,0 % (за Тюрніним, ДСТУ 4289-2004). Середній вміст фізичної глини (часток менше 0,01 мм) – 28,74 %. Ґрунт, за національними критеріями, містить достатньо макроелементів живлення рослин, але має низький рівень забезпеченості сільськогосподарських рослин рухомими формами мікроелементів.

Мікроелементи вносили у ґрунтову масу у вигляді сірчано-кислих солей у таких дозах: заліза – 200, міді – 132, цинку – 220 мг/кг. Молібден вносили у вигляді молібдату амонію у дозі 2 мг/кг ґрунту. Для фонового удобрення використовували аміачну селітру, суперфосфат та калійну сіль, норми яких у перерахунок на вказану масу ґрунту становили відповідно 60, 100, 50 мг, що адекватно дозі $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ на 1 га, в розрахунок на 12-ти см шар ґрунту. Схему дослідження наведено в усіх таблицях з результатами.

Ґрунтовий субстрат з добавками мікроелементів та мінеральних добрив у трикратному повторенні поміщали в скляні посудини об'ємом 500 мл. Як тест-рослини використано горох польовий або пелюшку (*Pisum arvense* L.) сорту "Флора". У кожній посудині вирощували по 3 рослини; фенологічні спостереження і біометричні вимірювання продовжували від сходів до настання фази бутонізації.

Вміст рухомих сполук мікроелементів у ґрунті визначали на момент, коли рослини досягали стадії бутонізації, з використанням буферної амонійно-ацетатної витяжки з pH 4,8 за такими стандартизованими методиками: заліза – ДСТУ 4724:2007; міді – ДСТУ 4726:2007, цинку – ДСТУ 4722:2007.

У пробах рослин, відібраних одночасно з ґрунтовими, визначали вміст мікроелементів (Fe, Zn, Cu) після спалювання рослинної маси і розчинення у 10 % соляній кислоті атомно-абсорбційним методом на спектрофотометрі Сатурн-4 [14]. Визначити вміст Mo в ґрунті і рослинах не було можливості. Проте ця обставина не стала завадою для вирішення поставленої цільової задачі. Ефективність Mo було виявлено непрямыми методами – за станом розвитку бульбочкових бактерій та за результатами фенологічних спостережень за рослинами пелюшки від сходів до фази бутонізації.

3. Результати досліджень та їх обговорення

3.1. Дія окремого внесення мікроелементів

Залізо. Вміст Fe у ґрунті контрольного варіанту дослідження (без будь-яких добавок) на момент, коли рослини досягли фази розвитку «бутонізація», становив 32,4 мг/кг (Табл. 1). На варіанті, де було внесено тільки сульфат заліза (в. 3) вміст заліза в досліджуваному ґрунті після закінчення експерименту підвищився, порівняно з контролем, на 10,9 мг/кг ґрунту, а в рослинах пелюшки його визначено на рівні 1247 мг/кг сухої маси, що на 35 % більше порівняно з контролем (Табл. 2).

Таблиця 1
Вміст рухомих форм мікроелементів у ґрунті

Варіант досліді	Вміст мікроелементів, мг/кг ґрунту		
	Fe	Cu	Zn
1. Контроль (без добрив)	32,40	1,10	1,35
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (фон)	31,70	0,84	1,40
3. Фон+Fe	43,30	0,85	2,30
4. Фон+Mo	30,10	0,89	1,70
5. Фон+Zn	31,90	0,90	8,60
6. Фон+Cu	32,10	7,90	2,20
7. Фон+Mo+Fe	40,20	0,81	1,80
8. Фон+Zn+Fe	39,10	0,86	7,70
9. Фон+Cu+Fe	45,40	10,20	1,90
10. Фон+Mo+Cu+Zn+Fe	46,40	9,10	4,20

Таблиця 2
Вміст рухомих форм мікроелементів у біомасі пелюшки

Варіант досліді	Вміст мікроелементів, мг/кг сухої маси		
	Fe	Cu	Zn
1. Контроль (без добрив)	980	24,5	58,6
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (фон)	923	25,3	59,3
3. Фон+Fe	1247	18,7	61,2
4. Фон+Mo	919	11,1	80,0
5. Фон+Zn	917	23,3	89,1
6. Фон+Cu	920	29,7	39,7
7. Фон+Mo+Fe	1035	18,3	67,6
8. Фон+Zn+Fe	1144	19,3	56,1
9. Фон+Cu+Fe	1050	28,4	79,6
10. Фон+Mo+Cu+Zn+Fe	1249	30,1	43,7

Спостереженнями за ростом і розвитком пелюшки на цьому варіанті досліді (в. 3) виявлено явище скручування листків, а висота рослин була на 2,8 см меншою, ніж на контролі (Табл. 3). Причиною пригнічення рослин може вважатися акумуляція Fe понад 1000 мг/кг сухої маси, на що вказують роботи різних дослідників [3, 11]. Зазначимо, що природний вміст заліза в кормових рослинах може змінюватись від 18 до 1000 мг/кг сухої маси залежно від виду рослин та умов їх зростання [3].

Таблиця 3
Висота та надземна біомаса рослин пелюшки

Варіант досліді	Висота рослин, см	Біомаса, г/ посудину	
		зелена маса	суха маса
1. Контроль (без добрив)	18,5	1,28	0,22
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (фон)	21,0	1,31	0,27
3. Фон+Fe	15,7	1,17	0,16
4. Фон+Mo	20,5	1,38	0,18
5. Фон+Zn	19,9	1,49	0,17
6. Фон+Cu	19,8	1,33	0,21
7. Фон+Mo+Fe	15,6	1,16	0,14
8. Фон+Zn+Fe	18,3	1,23	0,29
9. Фон+Cu+Fe	14,6	0,77	0,18
10. Фон+Mo+Cu+Zn+Fe	26,4	1,62	0,34
НІР ₀₅	-	0,04	0,02

Цинк. Вміст цинку у ґрунті контрольного варіанту становить 1,35 мг/кг, отже, за національними критеріями, є достатнім. На варіанті №5, з внесенням сульфату цинку, констатували істотне підвищення вмісту рухомих форм Zn у ґрунті, що свідчить про низьку іммобілізаційну здатність дослідженого лучного ґрунту відносно цього мікроелементу. У надземній масі пелюшки його вміст також підвищився, але за зовнішнім виглядом рослини майже не відрізнялися від контролю. І цим підтверджуються висновки деяких вчених [15,16] стосовно того, що надходження цинку в рослини не завжди є адекватним його вмісту в ґрунті.

Мідь. Вміст міді у ґрунті контрольного варіанту становить 1,1 мг/кг (низький рівень забезпеченості, <1,5 мг/кг). Наші дослідження показали, що внесення міді в алювіально-лучний ґрунт сприяло збільшенню її вмісту в ґрунті порівняно з контрольним варіантом у декілька разів. Рослини також відреагували збільшенням вмісту рухомої міді на 5,2 мг/кг сухої маси. Спостереженнями за розвитком рослин на цьому варіанті не виявлено суттєвої різниці з контролем. Мідь є одним із малорухомих мікроелементів у ґрунтах, передусім карбонатних, та з нейтральною реакцією ґрунтового розчину, яким і є досліджуваний алювіально-лучний ґрунт. Її рухомість, тобто доступність рослинам, багато в чому залежить від процесів адсорбції і комплексоутворення.

Молібден. Позитивний вплив мікроелемента молібдену на продуктивність та якість бобових рослин неодноразово підтверджено. За нашими біометричними спостереженнями рослини пелюшки були добре розвинуті і мали здоровий вигляд, що

видно з таблиці 3, де на варіанті з окремим внесенням молібдену (в. 4) висота рослин помітно більша. Загалом відомо, що молібден сприяє активній діяльності азотобактера і бульбочкових бактерій, які засвоюють вільний азот з повітря і роблять його доступним для рослин. Тому бобові культури, в першу чергу, потребують внесення молібденових добрив, приріст урожаю від яких може досягати 3-4 ц/га, що є адекватним приросту від внесення 30 кг/га д. р. азоту. Таким чином, завдяки більш ефективній азотфіксації під впливом молібденових добрив, можна повністю відмовитись від внесення азотних добрив під бобові трави на добре гумусованих лучних ґрунтах.

3.2. Дія одночасного внесення двох і більше мікроелементів

Попарне внесення мікроелементів дало такі результати.

Mo+Fe. Внесення молібдену разом із залізом (в. 7) дещо знизило вміст рухомого заліза в ґрунті (40,2 мг/кг) порівняно з окремим внесенням заліза (43,3 мг/кг). Тенденція зниження вмісту Fe в ґрунті зберігалась і в зеленій масі пелюшки. Спостереженнями за станом рослин виявлено наявність плямистості на окремих листях, що, як доведено [3] є прямою ознакою нестачі в ґрунті молібдену. Висота рослин була меншою, ніж на варіанті з застосуванням окремо Mo. Отже, результати проведеного нами лабораторно-модельного дослідження свідчать, що підвищений вміст рухомого заліза антагоністично впливає на молібденове живлення бобових трав і призводить до затримки росту і розвитку.

Zn+Fe. Внесення цинку разом з залізом (в. 8) дещо знизило вміст рухомого заліза в ґрунті (39,1 мг/кг) порівняно з окремим його внесенням (43,3 мг/кг). Звертає на себе увагу, що вміст Zn, при цьому, також знизився з 8,6 до 7,7 мг/кг ґрунту. Вміст як цинку, так і заліза в зеленій масі пелюшки на цьому варіанті є помітно нижчим, ніж за внесення кожного мікроелементу окремо. У рослин спостерігалось в'янення і пожовтіння окремих листків. Висота рослин була меншою на 1,6 см, ніж за внесення цинку окремо. Комбінована дія двох мікроелементів-металів Zn+Fe призвела також до зниження надземної маси пелюшки на 0,26 г/посудину порівняно з окремим застосуванням цинку. І ми маємо погодитися з висновками Пулфорда [17], що взаємодія між залізом і цинком, вірогідно, призводить до осадження їх у вигляді мінералу франклініту ($ZnFe_2O_4$), через що різко знижується доступність обох металів для рослин. Результати наших досліджень певною мірою підтверджують цю гіпотезу.

Cu+Fe. Внесення міді разом із залізом (в. 9) незначно підвищило вміст їх рухомих форм у лучному ґрунті: Fe – до 45,4 мг/кг і Cu – до 10,2 мг/кг. Вміст цих мікроелементів у рослинах, навпаки, знизився. Так вміст міді в надземній біомасі пелюшки зменшився на 1,3 мг/кг сухої маси. За зовнішнім виглядом рослини пелюшки були більш дрібними і нерозвинутими, спостерігалось усихання і скручування листків. Надземна біомаса була найменшою серед досліджених варіантів (0,77 г на посудину) і висота рослин також була найменшою з усіх варіантів (14,6 см). Ці спостереження чітко показують, що надлишок рухомого заліза в ґрунтового середовищі явно гальмує надходження інших мікроелементів у рослину.

Mo+Cu+Zn+Fe. На варіанті сукупного внесення всіх мікроелементів (в.10) у ґрунті помічено підвищення вмісту рухомих форм заліза та міді й зниження вмісту рухомого цинку порівняно із варіантами застосування мікроелементів окремо. Комбінована дія мікроелементів відобразилася деяким підвищенням їх вмісту в рослинах пелюшки порівняно з окремим застосуванням кожного елемента. В даному випадку проявився синергізм між мікроелементами. Висота рослин гороху в фазі бутонізації коливалася по всіх варіантах дослідження від 14,6 до 26,4 см (Табл. 3) і найбільш високими були рослини за сукупного внесення усіх досліджуваних мікроелементів (в. 10). Однак, слід відмітити, що хоча на варіанті з внесенням окремо молібдену рослини пелюшки були дещо нижчими, ніж на варіанті 10, але вони були товстішими та зеленішими.

3.3. Реакція кореневої системи рослин на внесені мікроелементи

Звертають на себе увагу помічені зміни в морфології та забарвленні корневих систем. Корені рослин на варіанті, де вносились молібден, відрізнялися за потужністю розвитку – довжиною і розгалуженістю. На коренях сформувалися бульбочки яскравого жовтувато-молочного кольору. На варіанті з унесенням цинку, навпаки, корені були дуже слабо розвинуті (короткі з невеликим розгалуженням). Корені рослин на варіанті з унесенням міді відрізнялись жорсткістю, крихкістю і коричневим відтінком. На варіанті з унесенням заліза вони мало відрізнялися зовнішньо від коренів контрольних рослин.

laboratory experiment (500 ml vegetation vessels) investigated the effect of various trace elements, either alone or in a mixture, on their content in the soil and in the field diaper plants (*Pisum arvense L.*). The trace elements were used on the background of mineral fertilizer (N60P60K60) in the form of sulfuric acid salts in the following doses: iron - 200, copper - 132, zinc - 220 mg / kg of soil; molybdenum was made in the form of ammonium molybdate at a dose of 2 mg / kg soil. Samples of soil and plants were taken when the plants were in the budding phase. Analytical, model and statistical-mathematical research methods were applied. It was proved that movable iron, which is a typomorphic element for hydromorphic soils, significantly influences the input of trace elements into the legume. It was shown that the antagonism between iron and zinc leads to a decrease in the availability of both biogenic elements to the plants of diapers, the mass of which, in the variant with the pair introduction of these elements was the lowest. The combined use of molybdenum, copper and zinc blocks the negative effects of mobile iron and has a positive effect on the growth of diapers; the plants had the best biometrics. The use of these trace elements will thus contribute to the formation of high yields of legumes grown on iron-saturated hydromorphic and semi-hydromorphic floodplain soils.

Keywords: alluvial-meadow soil; antagonism; iron movable forms; soil solution; synergism; trace element.

Citing: Truskavetskyi R.S., Palamar N.Yu. Movable forms of iron in the trace element mode of alluvial meadow soil.. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 89. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 28-33. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-03>.