

УДК 631.445.4:631.416.9

ИЗМЕНЕНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА ЦИНКА В ЧЕРНОЗЕМЕ ТИПИЧНОМ ПРИ ВНЕСЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ ФОСФОРА И МЕДИ

В. К. КУКУШКИН, В. Д. НАУМОВ, В. М. ТАРАСОВ, А. Д. ФОКИН

(Кафедра почвоведения)

Изучался характер распределения в черноземе типичном внесенного и почвенного цинка. Установлено увеличение содержания подвижных форм цинка в почве в вариантах с повышенными дозами фосфора и меди при одновременном ингибировании поступления его в растения.

Проявление цинковой недостаточности у ряда культур обусловлено высоким содержанием в почве свободных карбонатов и гидрокарбонатов, уплотненностью и грубой структурой почв, низкими температурами в начале вегетационного периода [6] и т. д. В условиях интенсификации сельского хозяйства цинковая недостаточность усиливается в результате влияния некоторых антропогенных факторов, главным образом высокого содержания фосфора и в некоторых случаях (на плодовых плантациях и виноградниках) существенного увеличения содержания меди в корнеобитаемом слое почвы, связанного с широким применением медьсодержащих фунгицидов. Общая потребность большинства культур в меди составляет 20—100 г/га, а в цинке — 200—300 г/га [5]. Но цинк как удобрение практически не применяется, между тем обработка плодовых растений медьсодержащими препаратами производится от 3 до 6—7 раз за сезон. В связи с этим в почвах под садами количество меди в 5—8 раз превышает ее кларковое содержание.

Повышение содержания меди приводит к вытеснению прочносвязанного цинка и образованию хелатной и ионообменной его форм, что обусловлено значительно большими для меди значением максимальной адсорбции и константами энергии связи [7, 9]. Токсичность меди не свя-

зана с физиологическим стрессом растений. Этот элемент является антагонистом цинка в процессе корневого поглощения [11].

Существует зависимость между развитием функциональных заболеваний у растений, вызванных недостатком цинка, и повышенным содержанием фосфора в почве [4, 6]. Остается неясным характер взаимодействия этих элементов в системе почва — растение. Одни исследователи [8, 10] указывают на снижение подвижности цинка в связи с образованием труднорастворимых фосфатов цинка $Zn_3(PO_4)_2$, $PP = 9,1 \cdot 10^{-33}$, другие [1, 2, 12] — на наличие значительного солибилизирующего эффекта фосфора по отношению к почвенному цинку и уменьшение сорбции внесенного цинка при увеличении доз фосфора. Противоречивость имеющихся мнений по этому вопросу позволяет предположить сложность взаимодействия цинка с фосфором и медью в разных средах, которое зависит от содержания данных элементов в почве, физико-химических свойств и характера агроценоза.

Нами изучалось изменение фракционного состава цинка в черноземе типичном при внесении различных доз фосфора и меди в модельном опыте.

Методика

Для анализа был взят смешанный образец почв из пахотного горизонта на участке под плодовых садом в поселке Ставчены Молдавской ССР. По механическому составу почвы представляют собой средний суглинок, содержание гумуса — 4,7%, емкость поглощения — 27 мг-экв/100 г, рНвод — 6,9. Варианты опыта: 1) контроль I; 2) контроль II (Zn, 10 мг/кг); 3) Си (от 5 до 40 мг/кг)+Zn (10 мг/кг); 4) P_2O_5 (от 40 до 1000 мг/кг)+Zn (10 мг/кг).

Фосфор вносили в виде KH_2PO_4 (дозы рассчитаны на P_2O_5), медь — в виде $CuSO_4 \cdot 5H_2O$. Во всех вариантах (за исключением контроля I) вносили цинк (в форме $ZnCl_2$), меченный ^{65}Zn , в количестве 10 мг/кг. Влажность почвы поддерживали на уровне 60 % ППВ, температура —

на уровне 20°.

Параллельно был заложен аналогичный опыт, где выращивали люцерну до состояния проростков.

Через 35 сут в вариантах опыта определяли фракционный состав цинка в следующей последовательности: обменный — 1 н. $Ca(NO_3)_2$; органический — H_2O_2 + $Ca(NO_3)_2$; доступный — NH_4Ac с рН 4,8; потенциально доступный — 1 н. HCl ; недоступный — 6 н. HCl . Содержание цинка в почве устанавливали при использовании ААС фирмы Перкин — Элмер, а ^{65}Zn — с помощью гамма-счетчика «ЛКВ». В проростках люцерны определяли только поглощенную активность ^{65}Zn . Применение радиоактивного изотопа позволило непосредственно разделять почвенный и внесенный цинк в каждом варианте.

Результаты

Данные о распределении внесенного и почвенного цинка представлены в табл. 1. Максимум почвенного цинка приходится на фракцию 6 н. HCl (66,4%). Его количество увеличивается от обменной формы (0,05 мг/кг) до недоступной (37,6 мг/кг).

Распределение внесенного цинка по фракциям значительно отличается от распределения почвенного цинка. Минимальное количество внесенного цинка связывается органическим веществом (0,51 мг/кг), а максимальное переходит в потенциально доступную форму (5,18 мг/кг, или 64 % внесенного). Количество доступных форм цинка фракции 1 н.

Таблица 1

Распределение внесенного и почвенного цинка по фракциям в черноземе типичном (мг/кг)

| Форма Zn | Контроль | Экстрагировано Zn | |
|------------------------|------------|-------------------|------------|
| | | всего | внесенного |
| Обменный | 0,05±0,00 | 0,60±0,05 | 0,56±0,01 |
| 2ПОВ | 0,90±0,03 | 1,53±0,08 | 0,51±0,02 |
| Доступный | 3,00±0,05 | 3,95±0,05 | 0,68±0,03 |
| Потенциально доступный | 15,10±0,35 | 20,55±0,88 | 5,18±0,05 |
| Недоступный | 37,62±0,02 | 39,00±0,9 | 1,16±0,03 |
| 2 фракций | 56,67 | 65,63 | 8,09 |

Распределение внесенного и почвенного цинка по фракциям в вариантах с медью (мг/кг)

| Форма Zn | Контроль Zn ₁₀ | С, мг/кг | | | |
|------------------------|------------------------------|------------|------------|------------|-------------|
| | | 5 | 10 | 20 | 40 |
| Внесенный Zn | | | | | |
| Обменный | 0,56±0,01 | 0,58±0,02 | 0,63±0,02 | 0,69±0,02 | 0,74±0,01 |
| Z _{пов} | 0,51±0,02 | 0,58±0,02 | 0,59±0,01 | 0,49±0,03 | 0,50±0,03 |
| Доступный | 0,68±0,03 | 0,76±0,01 | 0,88±0,05 | 1,02±0,01 | 1,15±0,05 |
| Потенциально доступный | 5,18±0,05 | 5,5±0,07 | 5,70±0,10 | 5,14±0,07 | 5,09±0,03 |
| Недоступный | 1,16±0,03 | 1,18±0,01 | 1,26±0,02 | 1,00±0,02 | 1,01±0,01 |
| Почвенный Zn | | | | | |
| Обменный | 0,04±0,01 | — | — | 0,09±0,02 | 0,13±0,02 |
| Z _{пов} | 1,02±0,06 | 1,05±0,03 | 0,86±0,04 | 0,91±0,04 | 0,90±0,07 |
| Доступный | 3,27±0,04 | 3,29±0,08 | 3,02±0,30 | 4,18±0,10 | 3,98±0,06 |
| Потенциально доступный | 15,37±0,62 | 15,30±0,40 | 15,30±0,08 | 15,16±0,50 | 14,61 ±0,28 |
| Недоступный | 37,84±0,63 | 37,32±0,04 | 37,14±0,24 | 35,45±0,07 | 35,00±0,01 |

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{NH}_4\text{Ac}$ увеличивается на 35,7 % по сравнению с контролем.

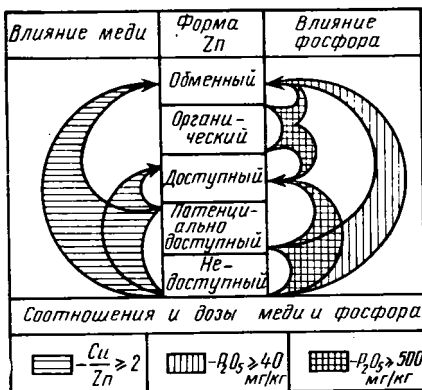
Как показал анализ данных о распределении внесенного и почвенного цинка по фракциям в вариантах с различным дозами меди (табл. 2 и рисунок), при соотношении внесенных меди и цинка ≥ 2 количество обменной и доступной форм внесенного цинка существенно возрастает (соответственно на 1,8 и 5,2 %), а потенциально доступных и недоступных уменьшается (на 3,8 и 2,3 %). При трансформации почвенного цинка часть недоступных форм ($-1,7$ %) переходит в доступные (1,6%). Медь не оказывает существенного влияния на содержание цинка, связанного с органическим веществом.

Таким образом, при определенном соотношении меди и цинка (в нашем случае ≥ 2) медь препятствует закреплению внесенного цинка, при этом некоторое количество прочносорбированного почвенного цинка переходит в более доступные формы.

Что же касается влияния фосфорных удобрений на распределение внесенного и почвенного цинка (табл. 3 и рисунок), то можно отметить следующее. Все дозы фосфора способствуют увеличению содержания обменных форм внесенного цинка (на 1,5—2,3 %), а доза ≥ 500 мг/кг — и его доступных форм (на 2 %). При всех дозах фосфора соответственно снижается количество недоступных форм внесенного цинка (на 1 — 1,7 % при увеличении дозы фосфора), при дозе ≥ 500 мг/кг уменьша-

ется также содержание цинка, связанного с органическим веществом (на 0,7—1,2%). Существенных изменений в распределении почвенного цинка не происходит, и лишь при дозе фосфора 1000 мг/кг заметно снижается количество органических форм (на 0,6 %) и увеличивается содержание недоступных форм (на 1,3 %) почвенного цинка. Все дозы фосфора не оказывают влияния на содержание потенциально доступных форм цинка.

Итак, внесение фосфорных удобрений способствует переходу внесенного цинка в более подвижные формы, что, вероятно, связано с образованием устойчивых водорастворимых ассоциатов Zn с фосфатными анионами, таких как $\text{ZnH}_2\text{PO}_4^+$, ZnHPO_4^0 , $\text{Zn}(\text{HPO}_4)_2^{2-}$ [3].



Схематическое изображение влияния фосфора и меди на трансформацию внесенного цинка в черноземе типичном.

**Распределение внесенного и почвенного цинка по фракциям
в вариантах с фосфором (мг/кг)**

| Форма | Контроль (Zn ₁₅) | P ₂ O ₅ мг/кг | | | |
|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|------------|-------------|------------|
| | | 40 | 100 | 500 | 1000 |
| Внесенный Zn | | | | | |
| Обменный | 0,56±0,01 | 0,78±0,00 | 0,80±0,01 | 0,73±0,02 | 0,7±0,07 |
| Zn _{пов} Доступный | 0,51±0,02 | 0,51 ±0,02 | 0,55±0,03 | 0,41±0,03 | 0,45±0,01 |
| Потенциально доступ- ный | 0,68±0,03 | 0,65±0,05 | 0,68±0,08 | 0,87 ±0,0,2 | 0,86±0,04 |
| Недоступный | 5,18±0,05 | 5,42±0,12 | 5,43±0,05 | 5,18±0,02 | 5,25±0,20 |
| | 1,16±0,03 | 1,16±0,04 | 1,13±0,02 | 1,04±0,03 | 1,06±0,04 |
| Почвенный Zn | | | | | |
| Обменный | 0,04±0,01 | | | 0,05±0,05 | |
| Zn _{пов} Доступный | 1,02±0,06 | 0,97±0,05 | 1,18±0,09 | 1,12±0,06 | 0,73±0,02 |
| Потенциально доступ- ный | 3,27±Q,04 | 2,88±0,20 | 3,17±0,20 | 3,53±0,12 | 3,44±0,06 |
| Недоступный | 15,37±0,62 | 15,53±0,09 | 14,77±0,56 | 15,77±0,01 | 16,18±0,24 |
| | 37,84±0,63 | 37,76±0,03 | 36,87±0,40 | 40,06±0,50 | 41,54±0,06 |

Как отмечалось выше, во всех вариантах опыта в качестве индикаторов выращивали проростки люцерны. Измеряли общую активность растительной массы по вариантам с последующим перерасчетом количества поглощенного цинка в мг/100 г (табл. 4). При внесении 10 мг меди на 1 кг (соотношение меди и цинка ≥1) поступление в растения меченого цинка снижается на 8 %, а при внесении 40 кг меди — уже на 25 %. Фосфорное удобрение действует в двух направлениях: во-первых, при внесении фосфора до 500 мг на 1 кг активизируется поступление цинка, причем по мере увеличения дозы этот эффект снижается (с 50 % ДО 0); во-вторых, если доза фосфора превышает 500 мг/кг (1000 мг/кг), проявляется его ингибирующее действие, в результате количество поступившего фосфора уменьшается на 33 % по сравнению с контролем.

Повышенное содержание в почве меди и фосфора ингибирует поступление цинка в надземную массу растений, что, вероятно, связано с нарушением физиологических процессов поглощения и передвижения данного элемента в растении.

Выводы

1. Максимальное количество цинка в черноземе типичном приходится на фракцию б н. НС1. При внесении цинка увеличивается содержание доступных его форм, однако большая часть этого элемента переходит в потенциально доступную форму (1 н. НС1).
2. За счет большей энергии поглощения медь, занимая сорбционные места, препятствует закреплению внесенного цинка, а также способствует переходу части почвенного цинка в более подвижные формы при соотношении меди и цинка ≥2.
3. В результате внесения фосфорных удобрений увеличивается содержание в почве обменных форм внесенного цинка, вероятно, за счет образования растворимых моно- и дифосфатов. В вариантах с дозами фосфора ≥500 мг/кг возрастает также содержание доступных форм внесенного цинка.

Т а б л и ц а 4

**Изменение количества ⁶⁵Zn,
поглощенного проростками люцерны
(мг/100 г), в зависимости от доз меди
и фосфора**

| Доза Си, мг/кг | Количе- ство ⁶⁵ Zn | Доза P ₂ O ₅ , мг/кг | Количе- ство ⁶⁵ Zn |
|-------------------|----------------------------------|--|----------------------------------|
| 5 | 1,3 | 40 | 1,8 |
| 10 | 1,1 | 100 | 1,5 |
| 20 | 1,1 | 500 | 1,2 |
| 40 | 0,9 | 1000 | 0,8 |

Примечание. В контроле (Zn₁₀) при внесении меди и фосфора количество ⁶⁵Zn, поглощенное проростками люцерны, составило 1,2 мг/100 г.

4. При повышенных дозах фосфора и меди наблюдается ингибирование поступления цинка в растения.

5. Полученные данные о повышении содержания доступных форм цинка в почве и одновременном снижении его поступления в растения при высоких уровнях фосфора и меди позволяют предположить физиологическую природу недостаточности цинка — нарушение биопроцессов поступления его в растение и передвижения в нем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гапонюк Э. И., Бобовникова Ц. И., Кремленков А. Н. П. Фосфорные удобрения как возможный источник химического загрязнения почв. — Химия в сельск. хоз-ве, 1982, № 12, с. 40—42. — 2. Кудеярова А. Д., Манаенкова И. П., Кварацхелия М. З. К вопросу об экологических последствиях применения полифосфорных удобрений. — Экологические последствия применения агрохимикатов: удобрения. Тез. докл. Всес. раб. совещ. по Международной проблеме ЮНЕСКО. Пушино, 1982, с. 85—86. — 3. Орлов Д. С. Химия почв. — М.: Изд-во МГУ, 1985, с. 345—348. — 4. Парибок Т. А. Взаимодействие цинка и фосфора в минеральном питании растений. — Агрохимия, 1970, № 2, с. 153—166. — 5. Vol-land D. — Soil Sci. Soc. America J., 1985, vol. 49, p. 323—328. — 6. Loue A. — Bull. Assoc. etude Sol., 1983, N 2, p. 89—108. — 7. Mathur S. P., Levesque M. P. — Soil Sci., 1983, N 3, p. 166—176. — 8. Naik K., Babu G. — Plant Sci. Soil. 1985, N 3, p. 517—536. — 9. Nasseem M. G., Roszyk E. — Pol. J. Soil. Sci., 1978, N 1, p. 43—48. — 10. Patil D. S., Somawanshi R. B. — J. Maharashtra Agr. Univ., 1982, N 3, p. 255—256. — 11. Rachid M. — Pakistan J. Sci. a. Ind. Res., 1978, vol. 21, p. 145—146. — 12. Rayar A. J. — Madras, Agr. J., 1981, N10, p. 680—682.

Статья поступила 23 сентября 1986 г.

SUMMARY

The nature of distribution of applied and soil zinc in typical chernozem was studied. It is found that the amount of mobile forms of zinc in the soil increases when higher doses of phosphorus and cuprum are applied and at the same time the movement of zinc into plants is inhibited.