

6. van Genuchten M.Th. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1980. – Vol. 44 (5). – P. 892-898.

7. Глобус А.М. Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических математических моделей. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 428 с.

8. Воронин А.Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв. – М.: Изд-во МГУ, 1984.

9. Assouline S., Tavares-Filho J., Tessier D. Effect of compaction on soil physical and hydraulic properties: Experimental results and modeling // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1997. – Vol. 61. – P. 390-398.

#### References

1. Kudryavtsev A.E., Kudryavtseva N.F. Agroekologicheskaya otsenka plodorodiya pakhotnykh pochv kolochnoi stepi Altaiskogo Priob'ya // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2013. – № 10. – S. 6-9.

2. Smagin A.V., Sadovnikova N.B., Mizuri Maauia Ben-Ali. Opredelenie osnovnoi gidrofizicheskoi kharakteristiki pochv metodom tsentrifugirovaniya // Pochvovedenie. – 1998. – № 11. – S. 1362-1370.

3. Smagin A.V., Sadovnikova N.B. Vliyanie sil'nonabukhayushchikh polimernykh gidrogelei na fizicheskoe sostoyanie pochv legkogo granulometricheskogo sostava. – М.: MAKSPress, 2009. – S. 208.

4. Shein E.V. Kurs fiziki pochv. – М.: Izd-vo MGU, 2005. – 432 s.

5. Brooks R.H., Corey A.T. Hydraulic Properties of Porous Media // Hydrology Papers. – Civil Engineering Dept., Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado. – 1964. – № 3. – 37 pp.

6. van Genuchten M.Th. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1980. – Vol. 44 (5). – P. 892-898.

7. Globus A.M. Pochvenno-gidrofizicheskoe obespechenie agroekologicheskikh matematicheskikh modelei. – Л.: Gidrometeoizdat, 1987. – 428 s.

8. Voronin A.D. Strukturno-funktsional'naya gidrofizika pochv. – М.: Izd-vo MGU, 1984.

9. Assouline S., Tavares-Filho J., Tessier D. Effect of compaction on soil physical and hydraulic properties: Experimental results and modeling // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1997. – Vol. 61. – P. 390-398.



УДК 636:631.416.9 (571.15)

С.Ф. Спицына, А.А. Томаровский, Г.В. Оствальд  
S.F. Spitsyna, A.A. Tomarovskiy, G.V. Ostwald

### ПРОЯВЛЕНИЕ СИНЕРГИЗМА И АНТАГОНИЗМА МЕЖДУ ИОНАМИ МЕДИ, ЦИНКА И МАРГАНЦА ПРИ ПОСТУПЛЕНИИ ИХ В РАСТЕНИЯ

#### SYNERGISM AND ANTAGONISM OF COPPER, ZINC AND MANGANESE IONS AT THEIR UPTAKE BY PLANTS

**Ключевые слова:** элементы-конкуренты, синергизм и антагонизм между ионами, валовое содержание элементов в почве, марганец, медь, цинк, микроэлементы, удобрения.

Изучены взаимодействия между элементами при поступлении их в растения в конкретных условиях, что дает возможность установить факт недостаточности для растений и кормов элемента не только в связи с низким его содержанием в почве, но и в связи с антагонистическим воздействием на него других ионов-конкурентов. При сопоставлении сопряженных данных о содержании пар элементов в растениях Алтайского края установлена криволинейная зависимость между их содержанием в растениях. Прямая зависимость (синергизм) между содержанием в растениях элементов-конкурентов наблюдается при содержании каждого в растениях: меди < 8 мг/кг; цинка < 40; марганца < 100 мг/кг; обратная зависимость (антагонизм) между содержанием в растениях эле-

ментов-конкурентов наблюдается при содержании в растениях меди > 8 мг/кг; марганца > 100 мг/кг. Антагонизм между ионами и уменьшение содержания элементов в растениях проявляются при валовом содержании элементов-конкурентов в почве: марганца > 1000 мг/кг; цинка > 80 мг/кг; меди > 35 мг/кг. Полученные результаты дают возможность правильного подбора удобрений, содержащих микроэлементы, исключая применение тех элементов, которые при определенных обстоятельствах могут быть антагонистами по отношению к биологически важным элементам.

**Keywords:** competitor elements, synergism and antagonism of ions, total element content in soil, manganese, copper, zinc, trace elements, fertilizers.

The interaction between the elements at their uptake by plants under specific conditions is studied;

that enables revealing element deficiency for the plants and forages not only due to the element low content in soil, but also due to an antagonistic effect on the element produced by other competitor ions. When comparing the associated data on the content of element pairs in plants in the Altai Region, curvilinear relation between their content in plants is revealed. It is found that direct dependence (synergism) between the content of competitor elements in plants is observed with the following content of each elements in plants: copper < 8 mg kg; zinc < 40 mg kg; manganese > 100 mg kg; inverse dependence

(antagonism) between the content of competitor elements in plants is observed with the following content in plants: copper > 8 mg kg; manganese > 100 mg kg. The antagonism between the ions and the reduction of element content in plants is observed with the following total content of competitor elements in the soil: manganese > 1000 mg kg; zinc > 80 mg kg; copper > 35 mg kg. The obtained results enable proper selection of fertilizers containing trace elements avoiding those elements which under certain circumstances may be antagonists to biologically important elements.

**Спицына Светлана Федоровна**, д.с.-х.н., проф., Алтайский государственный аграрный университет. Тел. (3852) 62-84-09. E-mail: agau@asau.ru.

**Томаровский Алексей Анатольевич**, к.с.-х.н., доцент, Алтайский государственный аграрный университет. Тел. (3852) 62-84-12. E-mail: tom486@yandex.ru.

**Оствальд Галина Викторовна**, к.х.н., доцент, зав. каф. химии, Алтайский государственный аграрный университет. Тел. (3852) 62-84-09. E-mail: ostvaldgv@mail.ru.

**Spitsyna Svetlana Fyodorovna**, Dr. Agr. Sci., Prof., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-84-09. E-mail: agau@asau.ru.

**Tomarovskiy Aleksey Anatolyevich**, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-84-12. E-mail: tom486@yandex.ru.

**Ostwald Galina Viktorovna**, Cand. Chem. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Chemistry, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-84-09. E-mail: ostvaldgv@mail.ru.

### Введение

Обеспеченность растений и растительных кормов тем или иным элементом зависит не только от его содержания в материнской породе и почве, но и от его взаимоотношений с другими элементами. Недостаток элемента в растениях может быть обусловлен антагонистическим воздействием на него других элементов-конкурентов, чья концентрация в почве достаточно велика.

Изучение взаимодействия между элементами при поступлении их в растения в конкретных условиях дает возможность установить факт недостаточности для растений и кормов элемента не только в связи с низким его содержанием в почве, но и в связи с антагонистическим воздействием на него других ионов-конкурентов.

Недостаточные знания по этому вопросу исключают экологическую безопасность применения удобрений, содержащих микроэлементы, способные быть антагонистами к другим наиболее дефицитным элементам. Вопрос о наличии антагонистических взаимодействий между ионами при поступлении их в растения на территории Алтайского края изучен недостаточно. Выявление этого факта будет способствовать изысканию средств устранения или недопущения антагонизма между ионами и восполнению этого недостатка для растений и кормов с помощью микроудобрений и микроподкормок для животных.

**Цель исследования:** изучение вопроса обеспечит правильность оценки необходимости применения удобрений, содержащих микроэлементы, исключая применение тех

элементов, которые при определенных обстоятельствах могут быть антагонистами по отношению к биологически важным элементам. Выявление этого факта может способствовать изысканию способов устранения или недопущения антагонизма между ионами с целью повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

### Объекты и методы исследований

Объектами исследований послужили растения и почвы в различных почвенно-климатических зонах Алтайского края. Наличие антагонистических проявлений при поступлении элементов в растения мы выявили с помощью информационно-логического метода, специфических и сопряженных данных по содержанию в растениях пар элементов:  $I^{Cu}$  и  $I^{Zn}$ ,  $I^{Mn}$  и  $I^{Zn}$ ,  $I^{Cu}$  и  $I^{Mn}$  [1]. Также была установлена зависимость проявления антагонизма при поступлении элементов в растения от содержания в почве элементов-конкурентов (N, мг/кг – валовое содержание; n, мг/кг – содержание в почве подвижных форм).

### Результаты исследований

Наличие антагонистического взаимодействия между ионами наблюдали различные ученые [2-8]. Например, Г.Я. Ринькис [7] установил, что поглощение элементов растениями зависит от содержания в почве элемента-конкурента. Эта связь является прямой пропорциональной при низком содержании элемента-конкурента в почве (синергизм) и превращается в обратную (антагонизм) при высоком содержании в почве элементов-конкурентов.

Наши исследования показали, что при сопоставлении сопряженных данных о содержании пар элементов (Cu, Mn, Zn) в растениях Алтайского края была установлена криволинейная связь, левая часть кривой соответствует прямой пропорциональной зависимости (рис. 1).

Например, увеличение содержания в растениях цинка от < 20 до > 40 мг/кг наблюдается на фоне увеличения содержания в них меди – от < 6 до 8 мг/кг, марганца – от 50 до 100 мг/кг. Увеличение содержания в растениях меди от < 6 до 8 мг/кг наблюдается на фоне увеличения содержания в них цинка – от < 20 до 40 мг/кг, марганца – от < 50 до 100 мг/кг. Увеличение содержания в растениях марганца от < 50 до > 100 мг/кг наблюдается при увеличении содержания в них цинка от < 20 до 40 мг/кг и меди – от < 6 до 8 мг/кг. Увеличение содержания в растениях одного элемента на фоне увеличения содержания в почве другого является следствием синергизма, который продуктивирован необходимостью растений сформировать оптимальное соотношение пар элементов в частности и химического состава растений в целом. Было установлено, что самое высокое содержание в растениях микроэлементов ( $I^{Zn} > 40$  мг/кг;  $I^{Cu} > 8$ ;  $I^{Mn} > 100$  мг/кг) наблюдается при среднем содержании в растениях элементов антагонистов ( $I^{Cu} - 6-8$  мг/кг;  $I^{Mn} - 50-100$ ;  $I^{Zn} - 20-40$  мг/кг) (рис. 1). После достижения этих пределов наблюдается снижение содержания в растениях цинка, меди и марганца на фоне повышения содержания элементов-конкурентов.

Снижение содержания цинка в растениях до < 40 мг/кг наблюдается на фоне увеличения содержания в них меди > 8 мг/кг и марганца > 100 мг/кг. Снижение содержания меди в растениях до < 8 мг/кг наблюдается на фоне увеличения содержания в них цинка > 40 мг/кг и марганца > 100 мг/кг.

Проявление антагонистических эффектов можно проследить, сочетая данные о содержании элементов в растениях с валовым содержанием элементов-конкурентов в почве.

Синхронное увеличение содержания в растениях элементов-конкурентов связано с относительно низким их содержанием в почве и продолжается вплоть до максимума, который сопряжен с оптимальным содержанием элемента в почве. На рисунке 2 представлена зависимость содержания элемента в растениях ( $I$ , мг/кг) от его валового содержания в почве ( $N$ , мг/кг). По этим данным максимальное содержание в растениях цинка > 40 мг/кг сопряжено с валовым содержанием в почве 50-80 мг/кг; меди > 8 мг/кг – с ее валовым содержанием в почве 30-35 мг/кг; марганца > 100 мг/кг – с его валовым содержанием в почве 600-1000 мг/кг.

Исходя из данных, представленных на рисунке 2, можно утверждать, что антагонизм по отношению к цинку, меди и марганцу в растениях начинает проявляться при валовом содержании в почве марганца > 1000 мг/кг, меди – > 35, цинка – > 80 мг/кг.

При более низких концентрациях содержаний элементов-конкурентов в почве наблюдается синергические взаимодействия ионов при поступлении их в растения из почвы.

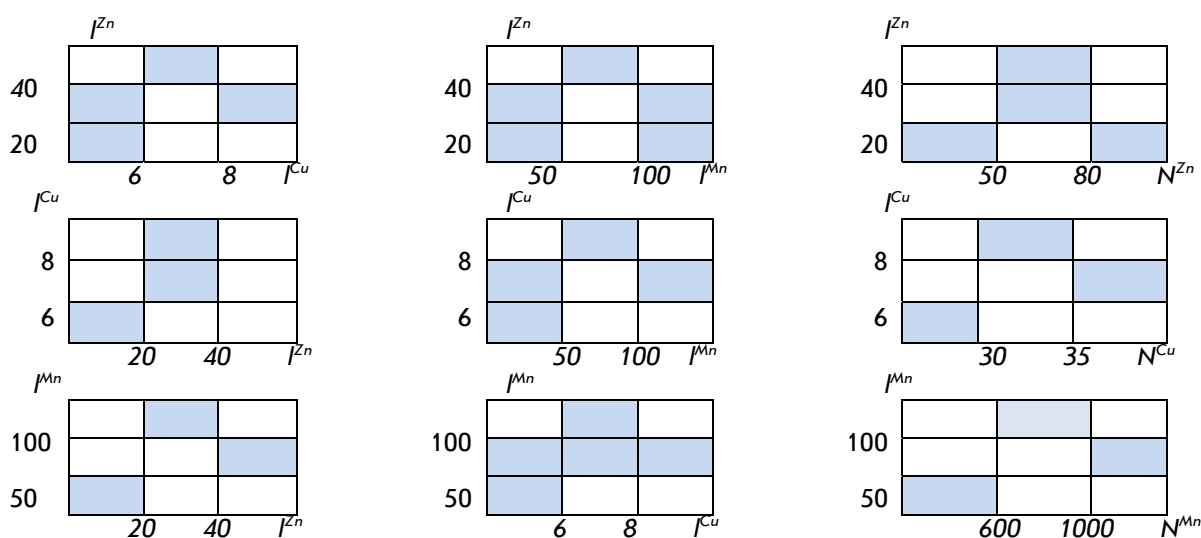


Рис. 1. Зависимость содержания в растениях цинка, меди, марганца ( $I^{Zn}$ ;  $I^{Cu}$ ;  $I^{Mn}$  мг/кг) от содержания в растениях ионов-антагонистов ( $I^{Zn}$ ;  $I^{Cu}$ ;  $I^{Mn}$  мг/кг) и валового содержания их в почве ( $N^{Zn}$ ;  $N^{Cu}$ ;  $N^{Mn}$  мг/кг)

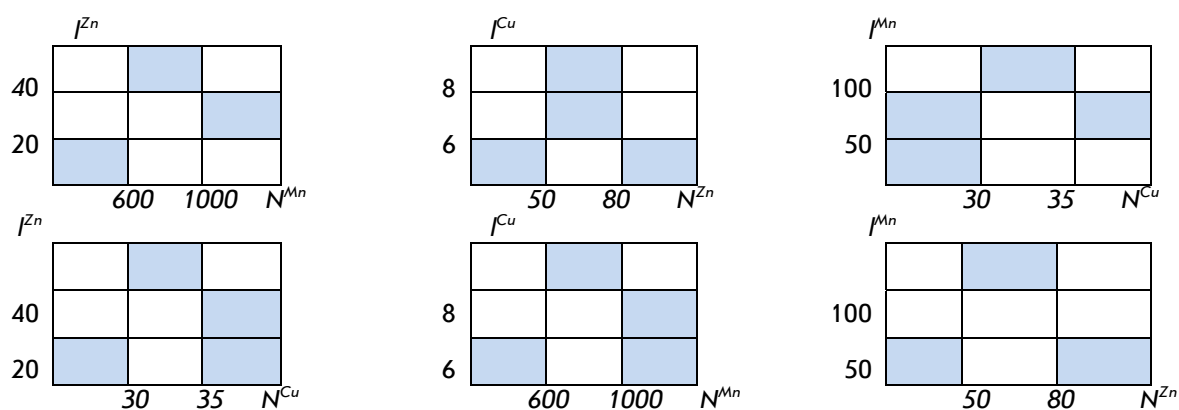


Рис. 2. Зависимость содержания в растениях (I, мг/кг) цинка, меди и марганца от их валового содержания в почве (N, мг/кг)

**Выводы**

1. Прямая зависимость (синергизм) между содержанием в растениях элементов-конкурентов наблюдается при содержании каждого в растениях: меди < 8 мг/кг; цинка < 40; марганца < 100 мг/кг.

2. Обратная зависимость (антагонизм) между содержанием в растениях элементов-конкурентов наблюдается при содержании в растениях: меди > 8 мг/кг; цинка > 40; марганца > 100 мг/кг.

3. Антагонизм между ионами и уменьшение содержания элементов в растениях наблюдается при валовом содержании элементов-конкурентов в почве: марганца > 1000 мг/кг; цинка > 80; меди > 35 мг/кг.

**Библиографический список**

1. Пузаченко Ю.Г., Мошкин А.В. Информационно-логический анализ в медико-географических исследованиях // Итоги науки (Сер. мед. география) / ВИНТИ. – М., 1969. – Вып. 3. – С. 5-71.

2. Токовой Н.А., Майборода Р.М. Действие удобрений на накопление микроэлементов в зерне и кормовых растениях // Биологическая роль микроэлементов в организме человека и животных Восточной Сибири и Дальнего Востока. – Улан-Удэ, 1963. – С. 51.

3. Скрипченко К.Г. Микроэлементный состав луговых и пастбищных растений Дальнего Востока // Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве. – Улан-Удэ, 1964. – С. 206-208.

4. Bowen H.J.M. Trace elements in biochemistry. – Academic Press, London, New York, 1966. – 241 p.

5. Магницкий К.П. Химический состав листьев – показатель условий питания растений // Физиологическое обоснование системы питания растений. – М., 1964. – С. 8.

6. Федоренко И.В. Влияние микроэлементов цинка на химический состав винограда. – Одесса, 1967. – С. 5.

7. Ринькис Г.Я. Оптимизация минерального питания растений. – Рига, 1972. – 355 с.

8. Ткаченко Т.Н. Поведение и взаимодействие микроэлементов в системе почва-растение на территории Приобского плато Алтайского края: канд. дис. – Барнаул, 2000. – 206 с.

**References**

1. Puzachenko Yu.G., Moshkin A.V. Informatsionno-logicheskii analiz v mediko-geograficheskikh issledovaniyakh // Itogi nauki. Ser. Med. Geografiya / VINITI. – M., 1969. – Vyp. 3 – S. 5-71.

2. Tokovoi N.A., Maiboroda R.M. Deistvie udobrenii na nakoplenie mikroelementov v zerne i kormovykh rasteniyakh // Biologicheskaya rol' mikroelementov v organizme cheloveka i zhivotnykh Vostochnoi Sibiri i Dal'nego Vostoka. – Ulan-Ude, 1963. – S. 51.

3. Skripchenko K.G. Mikroelementnyi sostav lugovykh i pastbishchnykh rastenii Dal'nego Vostoka // Mikroelementy v biosfere i ikh primeneniye v sel'skom khozyaistve. – Ulan-Ude, 1964. – S. 206-208.

4. Bowen H.J.M. Trace elements in biochemistry. – Academic Press, London, New York, 1966. – 241 p.

5. Magnitskii K.P. Khimicheskii sostav list'ev – pokazatel' uslovii pitaniya rastenii // Fiziologicheskoe obosnovanie sistemy pitaniya rastenii. – M., 1964. – S. 8.

6. Fedorenko I.V. Vliyanie mikroelementa tsinka na khimicheskii sostav vinograda. – Odessa, 1967. – S. 5.

7. Rin'kis G.Ya. Optimizatsiya mineral'nogo pitaniya rastenii. – Riga, 1972. – 355 s.

8. Tkachenko T.N. Povedeniye i vzaimodeistvie mikroelementov v sisteme pochva - rasteniye na territorii Priobskogo plato Altaiskogo kraya. – kand. dissertatsiya. – Barnaul, 2000. – 206 s.

