

## EFFICIENCY OF MICROFERTILIZERS IN CULTIVATION OF OIL FLAX ON SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY SOIL

E.N. Pukalova

### Summary

Based on the research findings it was established, that higher efficiency (yield increase of flax seeds by 4,5 c/ha with profitability of 202 and 217 %) was provided by foliar application of microfertilizers MikroSil-Boron, Copper in a dose of 0.075 kg/ha a.s and MikroSil-Boron in a dose of 0.10 kg/ha a.s.

*Поступила 29.11.16*

УДК 631.416.9:631.81.095

## ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ НА БИОДОСТУПНОСТЬ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

А.М. Шемет, А.И. Фатеев

*Институт почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского,  
г. Харьков, Украина*

### ВВЕДЕНИЕ

Биологическая доступность микроэлементов растениям является одним из главных факторов, определяющих урожай и качество растительной продукции. Поэтому прогнозирование обеспеченности растений микроэлементами является одним из ключевых вопросов сельскохозяйственной науки.

Однако в данное время нет однозначного понимания термина биодоступность. Доступность элементов питания растений часто связывают с их подвижностью в почве. Подвижными формами считаются микроэлементы, которые экстрагируют определенной вытяжкой. Чаще всего в качестве экстрагентов используют растворы солей, кислот, щелочей и комплексообразующих веществ. К преимуществам почвенной диагностики следует отнести относительную легкость и быстрое выполнение, а также, в некоторой степени, обеспеченность растений микроэлементами. Недостатком этого метода является невозможность воспроизведения сложных процессов взаимодействия растения и почвы, а также невозможность учета влияния видовых и сортовых особенностей культур, специфических особенностей почв (рН, гранулометрический состав, емкость поглощения и др.) [1, 2].

Одними из основных показателей почв, определяющими подвижность микроэлементов, являются рН и значения окислительно-восстановительного потенциала. Со снижением этих показателей доступность большинства микроэлементов для растений увеличивается. Высокобуферные почвы тяжелого гранулометрического состава с нейтральной или щелочной реакцией среды хорошо удерживают микроэлементы, что способствует снижению темпов их поступления в растения и может стать причиной их недостатка. Почвы легкого гранулометрического состава, могут быть источником легкодоступных элементов, но за счет меньшей

буферности, в этих почвах будут быстро снижаться запасы доступных соединений микроэлементов [3, 4].

Подвижность микроэлементов также зависит от количественных и качественных показателей органического вещества почвы. Большинство растворимых микроэлементов, связанных органическим веществом почвы, находится в составе фракции фульвокислот. Гуминовые кислоты характеризуются большей способностью к образованию нерастворимых комплексов с медью и цинком [5, 6].

Цель исследований – изучить особенности поступления микроэлементов в разные сельскохозяйственные растения из почв, которые отличаются содержанием гумуса, подвижных соединений микроэлементов, рН и гранулометрическим составом.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования по изучению влияния свойств почв на накопление микроэлементов растениями проводились в условиях вегетационного опыта. Для опыта были отобраны почвы, которые существенно отличаются между собой как по содержанию подвижных соединений микроэлементов, так и по основным показателям (содержанию гумуса, гранулометрическому составу и рН). Объектами исследований являлись: чернозем типичный легкоглинистый (рН – 7,2, содержание гумуса – 5,6 %, физической глины – 67 %), чернозем оподзоленный тяжелосуглинистый (рН – 5,59, содержание гумуса – 3,9%, физической глины – 56 %), чернозем оподзоленный среднесуглинистый (рН – 6,0, содержание гумуса – 3,3 %, физической глины – 37 %), дерново-подзолистая супесчаная почва (рН – 5,3, содержание гумуса – 0,93 %, физической глины – 19 %). В опыте выращивали горох, ячмень, гречиху и кукурузу. Учет урожая растений проводили в следующие фазы развития растений: ячмень – начало колошения, горох – бутонизации – начала цветения, гречиха – цветение, кукуруза – фаза 9 листа. Емкость вегетационных сосудов 5 литров.

Повторность вариантов в опыте – четырехкратная.

Анализ почв проводили по аттестованным методикам: общий гумус – по Тюрину (ДСТУ 4289:2004), рН – водной вытяжки (ДСТУ ISO 10390:2007), гранулометрический состав – по методу пипетки в модификации Качинского (ДСТУ 4730:2007). Определение в почве подвижных соединений микроэлементов – в ацетатно-амонийной вытяжке рН – 4,8: меди – ДСТУ 4770:6:2007, железа – ДСТУ 4770:4:2007, марганца – ДСТУ 4770:1:2007, цинка – ДСТУ 4770:2:2007. Определение содержания микроэлементов в растениях – в 10 % HCl после минерализации образцов.

Содержание микроэлементов определяли атомно-абсорбционным методом в пламени ацетилен-воздух на спектрофотометре Сатурн-4. Обработка результатов анализа проводили с помощью методики Доспехова в программе Excel.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Среди исследуемых сельскохозяйственных культур более высоким содержанием меди отмечено в горохе и гречихе, а самое низкое – ячмене. На изучаемых почвах содержание меди в растениях сильно изменялось, но определенной зависимости этих значений от содержания подвижной меди в почвах не выявлено (табл. 1).

Содержание меди в растениях и почвах

Вариант	Содержание в почве, мг/кг	мг/кг сухой массы			
		горох	ячмень	гречиха	кукуруза
Чернозем типичный легкогоглинистый	0,14	3,93	2,51	4,21	3,51
Чернозем оподзоленный тяжелосуглинистый	0,48	4,09	2,41	5,12	4,08
Чернозем оподзоленный среднесуглинистый	0,29	7,20	4,94	5,93	5,06
Дерново-подзолистая супесчаная почва	0,55	6,47	3,91	5,77	4,40
НСП <sub>05</sub>		0,74	0,29	0,54	0,44

Содержание меди в растениях гороха, на черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом и черноземе типичном легкогоглинистом, было практически одинаковым, несмотря на трехкратную разницу содержания этого микроэлемента в почвах. В то же время содержание меди в растениях, выращенных на черноземе оподзоленном среднесуглинистом, выше в 1,8 раза в сравнении с тяжелосуглинистым аналогом при более низком содержании меди в данной почве. Подобная закономерность наблюдалась и на растениях ячменя. Содержание меди в растениях, выращенных на черноземе оподзоленном среднесуглинистом и дерново-подзолистой супесчаной почве, было выше в 2 и 1,6 раза, чем на черноземе типичном легкогоглинистом и оподзоленном тяжелосуглинистом.

В растениях гречихи наблюдались другие особенности накопления меди. Несмотря на значительное отличие по содержанию подвижных соединений меди в почве, растения, выращенные на черноземе оподзоленном среднесуглинистом и дерново-подзолистой супесчаной почве, по содержанию данного микроэлемента существенно не отличались. При этом на черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом содержание меди в растениях гречихи было значительно ниже в сравнении с менее обеспеченным подвижными соединениями меди черноземом оподзоленным среднесуглинистым. В растениях, выращенных на черноземе типичном легкогоглинистом, содержание меди было в 1,2 и 1,4 раза ниже, чем на черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом и дерново-подзолистой супесчаной почве.

Содержание меди в растениях кукурузы на изучаемых почвах значительно отличалось. Самое низкое содержание меди было в растениях, выращенных на черноземе типичном, а самое высокое в растениях, выращенных на черноземе оподзоленном среднесуглинистом и было в 1,5 раза выше соответствующих показателей на черноземе типичном и в 1,2 раза – чем на дерново-подзолистой супесчаной почве. В растениях кукурузы, выращенных на черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом и дерново-подзолистой супесчаной почве, содержание меди было близким.

Более высокое содержание железа характерно для растений кукурузы по сравнению с другими культурами, эта закономерность наблюдалась на всех изучаемых почвах. При максимуме на дерново-подзолистой почве (213,2 мг/кг) и минимуме – на черноземе типичном легкогоглинистом (79,66 мг/кг). В горохе,

ячмене и гречихе содержание железа изменялось в зависимости от типа почвы и биологических особенностей культуры (табл. 2).

Минимальное содержание железа наблюдалось в растениях гороха, выращенного на черноземе типичном. Повышение содержания подвижных соединений железа в черноземах оподзоленных (тяжело- и среднесуглинистом) привело к более высокому накоплению железа в растениях. На дерново-подзолистой супесчаной почве содержание железа в горохе превышало соответствующие показатели чернозема типичного и черноземов оподзоленных в 3,3 и 1,5 раза соответственно.

Подобная закономерность содержания железа на разных почвах была характерна и для растений кукурузы. Для растений гороха и кукурузы можно говорить лишь о тенденции увеличения накопления железа растениями на фоне повышения содержания подвижных соединений этого элемента в почвах. Коэффициенты парной корреляции для гороха ( $r = 0,91$ ), для кукурузы ( $r = 0,92$ ) при доверительных значениях данной выборки  $r_{0,05} = 0,95$ . В то же время выявлена тесная отрицательная корреляционная связь между содержанием физической глины в почвах и накоплением железа в растениях кукурузы ( $r = -0,95$ ).

Таблица 2

**Содержание железа в растениях и почвах**

Вариант	Содержание в почве, мг/кг	мг/кг сухой массы			
		горох	ячмень	гречиха	кукуруза
Чернозем типичный легкоглинистый	0,71	39,11	41,94	33,14	79,66
Чернозем оподзоленный тяжелосуглинистый	2,70	84,94	87,91	40,97	126,46
Чернозем оподзоленный среднесуглинистый	1,42	74,79	67,72	128,25	138,11
Дерново-подзолистая супесчаная почва	13,68	131,10	82,91	98,66	213,20
НСР <sub>05</sub>		11,50	7,34	12,21	18,81

Для растений ячменя отмечена взаимосвязь между содержанием подвижных соединений железа в отдельных почвах и накоплением в растениях. Растения, выращенные на черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом и дерново-подзолистой супесчаной почве, существенно не отличались между собой по содержанию железа. Содержание железа в растениях, выращенных на черноземе оподзоленном среднесуглинистом, было ниже в 1,2 раза, а на черноземе типичном – в 2 раза. В данном случае можно предположить, что при содержании подвижных соединений железа выше 2,7 мг/кг почвы в растениях ячменя включаются барьерные функции, что препятствует чрезмерному накоплению железа.

В отличие от ячменя уровень содержания железа в растениях гречихи не всегда зависели от содержания этого элемента в почве. На черноземах типичном и черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом содержание железа в растениях гречихи существенно не отличалось несмотря на почти четырехкратную разницу в содержании подвижных соединений железа в этих почвах. В то же время содержание железа в растениях, выращенных на черноземе оподзоленном среднесуглинистом, было выше аналогичных показателей на черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом в 3 раза и дерново-подзолистой почве – в 1,3 раза.

В данном случае особенности накопления железа растениями гречихи можно объяснить биологическими особенностями этой сельскохозяйственной культуры, а именно, высокой активностью корневой системы способной переводить нерастворимые соединения питательных веществ в почве в доступные растению. На поступление железа в растения гречихи косвенно влияли также и свойства почв, чернозем оподзоленный среднесуглинистый, за счет меньшего содержания физической глины по сравнению с тяжелосуглинистым аналогом, обладал меньшей буферностью, то есть из этой почвы растениям было значительно легче поглощать железо [7].

Следует также отметить, что меньшее содержание данного микроэлемента в растениях гречихи на дерново-подзолистой супесчаной почве может быть вызвано антагонизмом железа и марганца, вследствие высокого содержания в растениях марганца на этой почве, что будет отмечено ниже.

Среди исследуемых растений, наиболее высоким содержанием марганца отмечались растения гречихи по сравнению с другими культурами на аналогичных почвах. На содержание марганца в других растениях существенно влияли свойства почв, на которых они выращивались (табл. 3)

Содержание марганца в растениях не всегда зависело от его содержания в почвах. В частности, при содержании этого элемента в количестве 10,21 мг/кг почвы в черноземе оподзоленном среднесуглинистом его содержание в горохе и ячмене было выше, чем на фоне 49,69 мг/кг почвы чернозема оподзоленного тяжелосуглинистого. При содержании марганца в дерново-подзолистой почве 24,46 мг/кг почвы его содержание в горохе и ячмене было самым высоким. Необходимо отметить и то, что все растения значительно больше поглощают из почвы железа и марганца по сравнению с другими микроэлементами и в некоторой степени между ними можно проследить проявление антагонизма, особенно на примере гречихи и кукурузы. Так, на фоне высокого содержания в кукурузе железа значительно уменьшается содержание марганца, а на фоне высокого содержания марганца в гречихе снижается поступление железа.

Таблица 3

### Содержание марганца в растениях и почвах

Вариант	Содержание в почве, мг/кг	мг/кг сухой массы			
		горох	ячмень	гречиха	кукуруза
Чернозем типичный легкоглинистый	14,96	46,61	67,00	79,89	39,17
Чернозем оподзоленный тяжелосуглинистый	49,69	64,60	57,40	136,51	62,05
Чернозем оподзоленный среднесуглинистый	10,21	71,48	69,18	78,17	44,23
Дерново-подзолистая супесчаная почва	24,46	168,79	80,16	312,01	47,10
НСР <sub>05</sub>		9,67	7,21	24,11	6,45

В отличие от других микроэлементов по поступлению цинка все растения существенно отличались между собой, их можно разместить в следующем порядке: гречиха > горох > ячмень > кукуруза. Данная последовательность соблюдалась независимо от почвы на которой выращивалось растение (табл. 4).

В опыте с горохом наблюдалась определенная взаимосвязь между содержанием микроэлементов в почве и их накоплением растениями. Минимальное содержание цинка выявлено в черноземе типичном, с увеличением содержания подвижного цинка в черноземах оподзоленных в 2,5–3 раза, наблюдалось повышение накопления цинка растениями гороха в 1,5 раза. В растениях, выращенных на дерново-подзолистой почве, повышение содержания цинка в почве относительно чернозема типичного в 4,6 раза, привело к увеличению накопления цинка растениями гороха в 2 раза.

Таблица 4

**Содержание цинка в растениях и почвах**

Вариант	Содержание в почве, мг/кг	мг/кг сухой массы			
		горох	ячмень	гречиха	кукуруза
Чернозем типичный легкоголинистый	0,10	25,17	17,31	26,83	15,44
Чернозем оподзоленный тяжелосуглинистый	0,32	37,79	30,98	44,52	24,36
Чернозем оподзоленный среднесуглинистый	0,24	35,25	26,3	38,8	21,71
Дерново-подзолистая супесчаная почва	0,48	46,93	26,10	75,31	23,90
НСР <sub>05</sub>		4,27	3,10	5,36	3,11

Расчет коэффициентов парной корреляции, отдельных показателей почв и содержания цинка в растениях гороха показал тесную положительную корреляционную связь содержания элемента с его содержанием в почвах ( $r = 0,99$ ), и обратную корреляционную зависимость относительно показателей pH почв ( $r = -0,95$ ).

Подобные закономерности накопления цинка были характерны и для растений гречихи. Повышение содержания подвижных соединений цинка в тяжелосуглинистых и среднесуглинистых черноземах оподзоленных сопровождалось повышением содержания данного микроэлемента в растениях гречихи в 1,6–1,7 раз соответственно. На дерново-подзолистой почве содержание цинка в гречихе относительно черноземов оподзоленных было выше в 1,7–2 раза, а относительно чернозема типичного – в 2,8 раза.

В гречихе также выявлена тесная корреляционная связь между содержанием цинка в почве и накоплением в растениях ( $r = 0,97$ ).

Накопление микроэлементов растениями ячменя мало зависело от содержания цинка в почвах за исключением чернозема типичного. На дерново-подзолистой почве в которой содержание подвижных соединений цинка было самым высоким среди исследуемых почв, содержание данного микроэлемента в растениях было выше в 1,5 раза только относительно аналогичных показателей на черноземе типичном. В то же время содержание цинка в растениях, выращенных на черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом, было выше по сравнению с дерново-подзолистой супесчаной почвой и черноземом оподзоленным среднесуглинистым в 1,2 раза, а относительно аналогичных показателей на черноземе типичном – в 1,8 раза.

Содержание цинка в растениях кукурузы существенно не изменялось на большинстве почв. На черноземах оподзоленных и дерново-подзолистой почве,

которые значительно отличались по содержанию цинка, поступление данного элемента в растения изменялось несущественно. В растениях, выращенных на черноземе типичном, содержалось в 1,5 раза меньше цинка.

Следует отметить, что относительно накопления цинка растениями кукурузы выявлена тесная обратная корреляционная связь с показателями рН почв на которых она выращивалась ( $r = -0,98$ ).

## ВЫВОДЫ

Между содержанием подвижных соединений меди, железа и марганца в почвах и поступлением данных элементов в растения прямой взаимосвязи не обнаружено. Содержание этих элементов в растениях очевидно было обусловлено биологическими особенностями сельскохозяйственных культур на фоне изменения гранулометрического состава и реакции почвенного раствора.

Из приведенных почвенных показателей тесная обратная корреляционная связь установлена только между содержанием физической глины в почвах и поступлением железа в растения кукурузы.

Отмечено проявление антагонизма между содержанием железа и марганца в растениях гречихи и кукурузы при высоком содержании одного из этих микроэлементов.

Содержание цинка было обусловлено, в первую очередь, видовыми особенностями культур. В горохе и гречихе установлена тесная взаимосвязь между поступлением цинка в растения и его содержанием в почве. Между содержанием цинка в растениях гороха и кукурузы и рН почвы установлена обратная корреляционная зависимость.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Битюцкий, Н.П.* Микроэлементы и растения / Н.П. Битюцкий – СПб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 1999. – 232 с.
2. *Мотузова, Г.В.* Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг / Г.В. Мотузова – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 168 с.
3. *Ильин, В.Б.* Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам / В.Б. Ильин // Агрохимия. – № 10. – 1995. – С. 109–113.
4. *Кабата-Пендиас, А.* Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир. – 1987. – 439 с.
5. *Добровольский, В.В.* Роль гуминовых кислот в формировании миграции тяжелых металлов / В.В. Добровольский // Почвоведение. – 2004. – № 1. – С. 32–39.
6. *Fateev, A.I.* Influence of humus acids on mobility and biological availability of Iron, Zinc and Copper / A.I. Fateev, D.O. Semenov, K.B. Smirnova // Agricultural Science and Practice. – 2015. – Vol. 2, № 1. – P. 73–78.
7. *Шемет, А.М.* Вплив сільськогосподарських культур на зміну рН і вмісту рухомих сполук мікроелементів у ґрунтах / А.М. Шемет // Вісник Львівського національного аграрного університету. – 2013 – №17(1). – С. 148–153.

**THE INFLUENCE OF PHYSICAL AND PHYSICO-CHEMICAL  
PROPERTIES OF SOIL ON THE BIOAVAILABILITY OF TRACE  
ELEMENTS**

**A.M. Shemet, A.I. Fateev**

**Summary**

In the conditions of a glasshouse experiment, the authors revealed some regularities of trace elements uptake by plants of pea, barley, buckwheat and corn from soils with different basic indicators. A close correlation relationship between the trace elements uptake by plants and the content of their mobile forms in soil, soil texture and pH was determined.

*Поступила 27.10.16*

УДК 633.112.9:631.445.2:631.438

**ПОСТУПЛЕНИЕ  $^{137}\text{Cs}$  В РАСТЕНИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ  
И МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ НА ТОРФЯНО-ГЛЕЕВОЙ ПОЧВЕ  
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЕЙ КАЛИЙНОГО ПИТАНИЯ**

**Н.Н. Цыбулько<sup>1</sup>, А.В. Шашко<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Департамент по ликвидации последствий катастрофы  
на Чернобыльской АЭС,  
г. Минск, Беларусь*

*<sup>2</sup>Брестский филиал института радиологии,  
г. Пинск, Беларусь*

**ВВЕДЕНИЕ**

Генетические особенности почв оказывают существенное влияние на процессы сорбции радионуклидов и интенсивность перехода их в растения. В зависимости от свойств почв содержание обменной формы радионуклидов варьирует от 9 до 40 % для  $^{137}\text{Cs}$  и от 64 до 93 % – для  $^{90}\text{Sr}$  [1].

На территории радиоактивного загрязнения в составе сельскохозяйственных земель значительный удельный вес занимают торфяные почвы. В настоящее время площади торфяных почв с разной мощностью торфа и деградированных торфяно-минеральных почв в наиболее загрязненных радионуклидами Гомельской, Могилевской и Брестской областях составляют около 500 тыс. га [2, 3].

Органогенные почвы отличаются от минеральных более высоким поступлением радионуклидов в растения и являются критичными для получения нормативно чистой сельскохозяйственной продукции. Высокие показатели миграции радионуклидов в растения на этих почвах обусловлены особенностями их морфологического и генетического строения, водно-физическими и агрохимическими свойствами. Из-за повышенной адсорбционной способности органического вещества и емкости катионного обмена, низкого отрицательного поверхностного заряда этих