

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ ЖЕЛЕЗА НА РОСТ ЯЧМЕНЯ

К.В. Белоусова, Р.А. Афанасьев, д.с.-х.н., ВНИИА, В.Г. Мамонтов, д.б.н., Л.П. Родионова, к.с.-х.н., РГАУ-МСХА

Изучено в условиях вегетационного опыта влияние различных форм железа на рост и развитие растений ячменя. Установлено, что закисное железо, начиная с дозы 100 мг/100 г почвы, вызывает угнетение растений. При этом под влиянием закисного железа уменьшается поступление в растения цинка, фосфора, железа, кальция, меди и возрастает – марганца; на поступление азота, магния и свинца закисное железо не влияло.

Ключевые слова: формы железа, окисное железо, закисное железо, ячмень, угнетение растений.

Железо относится к числу необходимых элементов питания растений. Без него не образуется хлорофилл, так как железо является необходимой составной частью системы ферментов, участвующих в его синтезе. Железо регулирует процессы окисления и восстановления сложных органических соединений в растениях, его недостаток вызывает хлороз и распад ростовых веществ. Поэтому железо активно вовлекается в биогеохимический круговорот веществ и для многих почв является типоморфным элементом.

Состояние железа в почвах изучено довольно подробно, что отражено в ряде специальных публикаций [2, 3, 5]. В меньшей степени разработаны вопросы, касающиеся доступности железа растениями и его токсичности по отношению к сельскохозяйственным культурам. Хорошо известно, что подвижность железа, а, следовательно, и его доступность растениям, возрастает от почв с щелочной реакцией среды к нейтральным и далее к почвам с кислой реакцией среды. Подвижность железа снижается под влиянием фосфатов, гидрокарбонатов и карбонатов, образования нерастворимых сульфидов, за счет связывания железа органоминеральными адсорбционными комплексами. Избыток меди, цинка, молибдена и других микроэлементов вызывает осаждение железа и снижает его поступление в растения. Подвижность железа существенно возрастает при смене аэробных условий анаэробными из-за перехода его окисных форм в закисные. В связи с этим при переувлажнении почв с кислой реакцией среды содержание подвижного железа может достигать токсичного для растений уровня. По имеющимся данным, при содержании в водных культурах 4-5 мг/л закисного железа происходит угнетение овса и яровой пшеницы, а при 10 мг/л наблюдается их гибель [4]. Высказывается мнение, что содержание железа на уровне 500 мг/кг почвы является критическим для растений [6]. Однако в целом конкретные количественные уровни содержания подвижного железа в почвах, при которых в той или иной мере начинается выраженное негативное влияние его на растения не разработаны. Отсутствуют и надежные методы определения доступного железа в почвах, которые могли бы служить в качестве стандартных [7].

Цель исследований – установить влияние различных форм железа на рост ячменя и поступление различных макро- и микроэлементов в надземную массу растений.

**Методика.** При закладке вегетационных опытов по изучению влияния различных форм железа на рост ячменя использовали пахотный горизонт дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы, отобранной на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА. Почва имела следующие агрохимические показатели: содержание гумуса – 2,1%,  $pH_{KCl}$  – 5,95, сумма обменных оснований – 10,8 мг-экв/100 г, гидролитическая кислотность – 1,87 мг-экв/100 г, степень насыщенности основаниями – 85%, содержание фракции физической глины – 26,3%, содержание подвижного фосфора – 133 мг/кг, подвижного калия – 73 мг/кг почвы. Данная почва была выбрана в

качестве объекта исследования, так как подвижность железа на фоне промывного водного режима и кислой реакции среды этого типа почвы может оказывать токсичное действие на выращиваемые растения. Опыт с использованием окисного железа в виде железоаммонийных квасцов проводили в вегетационного домика кафедры агрохимии РГАУ-МСХА в 2009 г. Схема опыта: 1. Абсолютный контроль, 2. Контроль: 0 мг Fe/100 г, 3. 10 мг Fe/100 г, 4. 20 мг Fe/100 г, 5. 30 мг Fe/100 г, 6. 40 мг Fe/100 г почвы. При этом в вариантах 2-5 вносили аммиачную селитру в различных дозах, обеспечивающих одинаковое содержание азота во всех вариантах по причине того, что железоаммонийные квасцы содержат аммонийный азот. Повторность опыта трехкратная, продолжительность 1 мес. Рекогносцировочный опыт с использованием окисного железа в виде  $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$  включал следующие варианты: 1. Контроль (фон): 6 мг N/100 г почвы; 2. 100 мг Fe/100 г; 3. 300 мг Fe/100 г; 4. 700 мг Fe/100 г почвы. Продолжительность опыта 2 нед.

Опыт с закисным железом в виде  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  проводили с использованием светового стола и ламп марки ДРЛФ-400. Схема опыта: 1. Контроль (фон): 1,5 мг N/100 г почвы; 2. 25 мг Fe/100 г; 3. 50 мг Fe/100 г; 4. 100 мг Fe/100 г; 5. 150 мг Fe/100 г; 6. 200 мг Fe/100 г почвы. Продолжительность опыта 1 мес, повторность – трехкратная. Азот вносили в качестве фона в виде аммиачной селитры, чтобы оказать поддерживающий эффект растениям.

В опытах использовали семена ячменя сорта Михайловский. После окончания опытов проводили учет надземной и корневой массы растений. Образовавшуюся после проведения вегетационного опыта с закисным железом надземную воздушно-сухую массу растений подвергали мокрому озолению [1]. В полученной после озоления вытяжке определяли азот по Кьельдалю, фосфор калориметрическим методом, железо, марганец, медь, цинк, свинец, магний, кальций, калий на атомно-абсорбционном спектрофотометре ААС-30. Результаты опыта представлены в таблицах 1-3.

**Результаты и их обсуждение.** Согласно данным, представленным в таблице 1, внесение окисного железа в дозах от 10 до 100 мг/100 г почвы не оказывало отрицательного влияния на развитие ячменя.

## 1. Влияние окисного железа на рост ячменя

Вариант опыта	Сырая надземная масса		Масса корней	
	г/сосуд	% от контроля	г/сосуд	% от контроля
<i>Вегетационный опыт</i>				
Абсолютный контроль	5,92	-	0,16	-
Контроль	10,59	-	0,33	-
10 мг Fe/100 г почвы	11,51	109	0,36	109
20 мг Fe/100 г почвы	15,35	145	0,43	130
30 мг Fe/100 г почвы	17,39	164	0,40	121
40 мг Fe/100 г почвы	15,04	142	0,39	118
НСР <sub>05</sub>	4,37	-	0,11	-
<i>Рекогносцировочный опыт</i>				
Контроль	1,52	-	29*	-
100 мг Fe/100 г почвы	1,62	107	28*	96
300 мг Fe/100 г почвы	0,86	57	23*	79
700 мг Fe/100 г почвы	0,05	3	Зачатки	-

\*Содержание в мг.

При этом в варианте с дозой железа 10 мг/100 г почвы существенные различия с контрольным вариантом отсутствовали, при дозах железа 20-40 мг/100 г почвы произошло достоверное увеличение надземной массы ячменя, которая возросла по сравнению с контрольным вариантом в 1,4-1,6 раза. При этом на корневую систему растений окисное железо не влияло. При внесении окисного железа в дозе 300 мг/100 г почвы отмечается выраженное ухудшение развития ячменя. По сравнению с контролем надземная биомасса уменьшилась на 40%, корневая – на 20%. При дозе окисного железа 700 мг/100 г почвы растения практически не развивались. Однако осталось не выясненным, что оказало негативное влияние на рост ячменя: избыточное содержание окисного железа или избыточная концентрация сульфат-ионов и обусловленное ими подкисление среды. Большая разница в урожаях, полученных в контрольных вариантах вегетационного и рекогносцировочного опытов, объясняется длительностью проведения исследований. Рекогносцировочный опыт длился 2 нед, а вегетационный – 1 мес.

Полученные данные о влиянии закисного железа на рост ячменя (табл. 2) в определенной мере подтвердили результаты опыта с окисным железом.

## 2. Влияние закисного железа на рост ячменя

Вариант опыта	Сырая надземная масса		Масса корней	
	г/сосуд	% к контролю	г/сосуд	% к контролю
Контроль	6,86	-	62,2	-
25 мг /100 г почвы	7,52	110	70,1	113
50 мг/100 г почвы	6,54	95	54,5	88
100 мг/100 г почвы	5,01	73	68,4	110
150 мг/100 г почвы	5,21	76	61,4	99
200 мг/100 г почвы	4,50	66	62,1	100
НСР <sub>05</sub>	0,98	-	-	-

Низкие дозы закисного железа – до 50 мг/100 г почвы – не оказали влияния на развитие ячменя, причем в варианте с дозой закисного железа 25 мг/100 г почвы наблюдалась тенденция к более интенсивному развитию растений по сравнению с контрольным вариантом. При внесении в почву закисного железа в дозах от 100 мг/100 г почвы и более происходит достоверное ухудшение развития ячменя. В этих вариантах величина надземной биомассы растений уменьшилась по сравнению с контрольным вариантом на 24-34%, или в 1,3-1,5 раза, при этом на развитие корневой системы растений закисное железо не влияло. Ухудшение развития ячменя при определенных дозах закисного железа может быть связано с неблагоприятным изменением условий минерального питания или нарушением физиологических процессов в растениях под влиянием избыточного количества подвижного железа.

Как видно из данных таблицы 3, внесение в почву закисного железа по – разному отразилось на содержании в надземной массе ячменя макро- и микроэлементов. Закисное железо в дозах до 200 мг/100 г почвы не повлияло на содержание в растениях азота, магния и свинца. На поступление в растения других элементов закисное железо влияло негативно. Уже при дозе закисного железа 25 мг/100 г почвы в растениях яч-

меня снижается содержание цинка в 1,3 раза, при более высоких дозах – в 1,4-2 раза. Начиная с дозы закисного железа 50 мг/100 г почвы, количество фосфора в растениях уменьшилось в 1,4 раза, железа – в 1,3-1,6 раза. Дозы закисного железа 100-200 мг/100 г почвы привели к снижению содержания в растениях ячменя кальция в 1,2-1,4 раза, меди в 3-6 раз. В то же время, начиная с дозы закисного железа 50 мг/100 г почвы, в растениях ячменя заметно возросло содержание марганца. Особенно это касается интервала доз закисного железа 100-200 мг/100 г почвы, при которых количество марганца в растениях увеличилось в 7-11 раз.

## 3. Влияние закисного железа на содержание химических элементов в абсолютно сухой надземной массе ячменя

Вариант опыта	N	P	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb
	%					мг/100 г			
Контроль	2,5	0,7	0,6	0,79	5,2	4,1	0,6	22,8	19,0
25 мг /100 г почвы	2,4	0,6	0,56	0,74	6,0	7,5	0,5	17,6	16,7
50 мг/100 г почвы	2,7	0,5	0,53	0,76	3,9	12,5	0,4	16,7	19,4
100 мг/100 г почвы	2,7	0,5	0,49	0,7	3,3	32,6	0,2	16,4	27,3
150 мг/100 г почвы	2,7	0,5	0,47	0,66	-	29,5	0,2	11,2	24,7
200 мг/100 г почвы	2,8	0,5	0,44	0,7	3,3	44,6	0,1	-	22,7
НСР <sub>05</sub>	0,3	0,1	0,09	0,08	-	8,3	0,2	-	8,2

**Вывод.** Согласно полученным данным, низкие дозы окисного железа (до 100 мг/100 г почвы) не оказывают отрицательного влияния на рост и развитие ячменя. При этом под влиянием окисного железа, внесенного в дозах 20-40 мг/100 г почвы, происходит более интенсивное развитие ячменя и увеличение надземной биомассы растений в 1,4-1,6 раза. Под влиянием закисного железа изменяется характер поступления в растения макро- и микроэлементов. В надземной биомассе ячменя снижается содержание фосфора, кальция, железа, цинка и меди и существенно возрастает содержание марганца. При низких дозах закисного железа (до 50 мг/100 г почвы) это не отражается на развитии растений, при более высоких дозах закисного железа (100 мг/100 г почвы и более) происходит угнетение ячменя, в результате чего величина надземной биомассы растений уменьшается в 1,3-1,5 раза.

## Литература

1. *Агрохимические методы исследования почв.* - М.: Наука, 1975. - С. 491-493.
2. *Водяницкий Ю.Н.* Химия и минералогия почвенного железа. - М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2005. - 238 с.
3. *Зонн С.В.* Железо в почвах. - М.: Наука, 1982. - 207 с.
4. *Кураев В.Н.* Влияние различных концентраций закисного железа в водной культуре на рост и развитие сельскохозяйственных растений // *Агрохимия.* - 1966. - №6. - С. 45-53.
5. *Brennan E.W., Lindsay W.L.* Reduction and oxidation effect on the solubility and transformation of iron oxides Soil Science Society of America. 1998. Vol. 62. P. 930-937.
6. *Foy C.D., Chaney R.L., White M.C.* //The physiology of metal toxicity in plants Annual Review Physiology. 1978. №29, Vol. 511.
7. *Loeppert R.H., Iskeep W.P.* Iron. //Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. Book series 5 SSSA and ASA. Madison. 1996. P. 639-664.

## EFFECT OF DIFFERENT IRON FORMS ON BARLEY GROWTH

K.V. Belousova<sup>1</sup>, R.A. Afanasyev<sup>1</sup>, V.G. Mamontov<sup>2</sup>, L.P. Rodionova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry, Russian Academy of Agricultural Sciences, ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia

<sup>2</sup>Russian State Agricultural University – Moscow Agricultural Academy, Russian Academy of Sciences, ul. Timiryazeva 49, Moscow, 127550 Russia

*The effect of different iron forms on the growth and development of barley plants has been studied in a pot experiment. Iron (II) oxide has been found to have an adverse effect on plant development beginning from a rate of 100 mg per 100 g of soil. At the same time, under the influence of iron (II) oxide, the amounts of zinc, phosphorus, iron, calcium, and copper coming into a plant decreased, and that of manganese increased, while the amounts of nitrogen, magnesium, and lead coming into a plant were not affected by the iron (II) oxide.*

*Keywords: iron forms, iron (III) oxide, iron (II) oxide, barley, suppression of plant development*