

УДК 631.811:633.11

ПОГЛОЩЕНИЕ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЕЙ РАЗЛИЧНЫХ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА

А. И. КАРПУХИН, Л. В. ШУВАЕВА, К. ВАДКЕРТИ

(Кафедра почвоведения)

Изучали поглощение яровой пшеницей различных железосульфатных комплексов и их влияние на фотосинтетическую активность растений. Установлено, что наиболее доступны растениям положительно заряженные железосульфатные комплексные соединения с низкой молекулярной массой. При увеличении последней поступление в растения углерода и железа снижается. Выявлено достоверное влияние различных форм железа на фотосинтетическую активность растений.

Комплексные соединения органических веществ почвы с такими элементами, как Mn, Fe, Cu, Zn, Ca, Mg, выполняют огромную биологическую роль. С одной стороны, образование в почве комплексных соединений способствует переводу металлов в доступное для растений состояние, с другой — органические лиганды образуют неподвижные соединения, и эти металлы выводятся из биологического круговорота. Об этом можно судить по количеству железа, связанного в комплексы, которое составляет более 50 % общего количества данного элемента, перемещающегося в почве [6]; содержание железа в листьях растений достигает сотых долей процента [8].

Органические соединения, в состав которых входит железо, являются участниками биохимических процессов, происходящих, например, при дыхании и фотосинтезе. При низком содержании железа в среде заметно снижается активность дегидрогеназы [3]. Железо принимает участие в биосинтезе хлорофилла [12]. Его доступность растениям зависит как от химического состава комплексного соединения, так и от физиологических и морфологических особенностей корней растений, взаимодействия на поверхности соприкосновения «корни — почва» [1, 13].

Роль железосульфатных соединений в питании растений мало изучена. Недостаточно данных о разнозаряженных железосульфатных комплексах.

Нами в модельных опытах изучалось поступление в яровую пшеницу (сорт Московская 35) железосульфатных соединений с различными молекулярными массами (ММ) и неодинаковыми зарядами. Определялось также влияние комплексов на фотосинтетическую активность растений.

Препараты фульвокислот были выделены по методике Д. С. Орлова из горизонта A_0A_1 подзолистой почвы стационара «Белый Раст», очищены по Форситу от неспецифических органических соединений и минеральных примесей.

Для получения разнозаряженных железосульфатных комплексов к очищенным и упаренным при 40°C фульвокислотам добавляли $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (соотношение углерода и железа должно составлять 3:1).

Разделение по заряду проводили с помощью электролиза с ионообменными мембранами марки МФА-5 и МФК-5. В качестве электродов использовали покрытые тонким слоем платины алюминиевые пластинки размером 6×10 см. Боковые электролитические камеры заподняли водой. Электролиз проводили в течение 4 ч при напряжении 30 В. Этим методом были выделены отрицательно заряженные и нейтральные соединения.

Для получения положительно заряженных железосульфатных соединений использовали гель марки QAE-A-25 (анионит). В 1 л водного раствора элюента (боратный буфер с pH 8,3) содержалось 6 г трис и 28,8 г глицина. Катионитом служил гель SM-50 элюент — ацетатный

Таблица 1

Поглощение растениями углерода и железа из состава железосульфатных комплексов

Форма железа	Содержание в растворе, мг/мл		Поглощено растениями, % к исходному	
	C	Fe	C	Fe
Молекулярно-массовые фракции фульвокислот:				
<700	0,165 0,044	—	73,3	—
~2000	0,167 0,046	—	72,4	—
~5000	0,175 0,062	—	64,6	—
>10000	0,180 0,090	—	50,0	—
Смесь	0,170 0,102	—	40,0	
Железосульфатные комплексы:				
с различными ММ:				
<700	0,165 0,058	0,057 0,018	64,8	67,9
~2000	0,167 0,065	0,060 0,022	61,1	63,9
~5000	0,175 0,080	0,062 0,026	54,3	58,1
>10000	0,180 0,101	0,065 0,032	43,9	51,3
смесь	0,170 0,102	0,066 0,040	40,0	39,4
заряженные отрицательно	0,200 0,024	0,072 0,018	88,0	88,9
заряженные положительно	0,204 Нет	0,072 0,008	100,0	94,0
нейтральные	0,200 0,053	0,070 0,004	73,5	73,8
ионное железо	—	0,070 0,023	—	66,7
		F _{факт}	49,0	
		F _{теор}	2,2	
		НСР ₀₅	17,0%	

Примечание. В числителе — исходное, в знаменателе — после поглощения растениями.

результаты опыта представлены в табл. 1.

Наблюдались достоверные различия в использовании железосульфатных комплексов растениями ($F_{\text{факт}} = 49$, $F_{\text{теор}} = 2,16$).

Растения способны поглощать из состава комплексов от 40 до 100 % углерода (НСР₀₅ 17%). Наименьшее количество углерода поглощало растениями в варианте с использованием смеси железосульфатных соединений, наибольшее — в варианте, в котором использовали положительно заряженные железосульфатные комплексы.

Из табл. 1 видно, что к концу опыта отношение C : Fe практически

буфер (рН 9,8). Через колонку с анионитом пропускали раствор железосульфатного соединения. В элюате находились нейтральные и положительно заряженные комплексы. Адсорбированные анионитом отрицательно заряженные соединения снимали путем промывания колонки 0,1 н. NaOH, анионит регенерировали 0,1 н. HCl.

Для разделения нейтральных и положительно заряженных соединений элюат концентрировали при температуре 40°C и пропускали через колонку с катионитом. В элюате содержались только нейтральные комплексы, так как положительно заряженные адсорбировались на катионите.

При получении железосульфатных комплексов с различными ММ (4 фракции) использовали метод систематизированной гелевой фильтрации. Фульвокислоты пропускали через систему гелей с G-10 и G-50.

В опыте, в котором изучали поступление железа в растения из состава железосульфатных комплексов с неодинаковыми зарядами и ММ, контролем служил вариант с ионной формой этого элемента (0,07 мг/мл). Повторность опыта 4-кратная. Пшеницу предварительно выращивали на кварцевом песке с смеси Кнопа. Затем 10-дневные проростки помещали в стеклянные стаканчики, содержащие по 30 мл железосульфатных соединений. Продолжительность опыта 3 дня. О поглощении железа и углерода судили по их содержанию в растворе к концу опыта. Содержание углерода определяли микрометодом, железа — на атомно-адсорбционном спектрофотометре. Математическую обработку данных о содержании углерода проводили методом однофакторного дисперсионного анализа. Ре-

не изменилось. Это свидетельствует о том, что железосульфатные соединения поглощались растениями в комплексном виде.

Наиболее доступны растениям заряженные железосульфатные комплексы. Лучше других растения использовали положительно заряженные комплексы, несколько хуже отрицательно заряженные и нейтральные — поглощено соответственно 88 и 73 % общего количества углерода. Большая доступность растениям положительно заряженных комплексов, вероятно, объясняется тем, что поверхность корня заряжена отрицательно, благодаря этому создаются предпосылки для лучшего проникновения данных соединений через мембрану.

Железосульфатные соединения с различными ММ поглощались достоверно хуже, чем заряженные. При увеличении ММ количество железа и углерода, поступившее в растения, уменьшалось. Так, если из низкомолекулярной фракции растения использовали углерода 64,8 % и железа 67,9 %, то из высокомолекулярной — соответственно 43,9 и 51,3 %.

Изучению железогумусовых комплексов посвящены многие исследования [2—5, 11]. Установлены высокая доступность железа железосульфатных комплексов и их положительное действие на рост и развитие проростков подсолнечника и кукурузы.

В вегетационных опытах, в которых применяли радиоактивный изотоп ^{59}Fe , выявлена различная доступность ионов железа из состава железосульфатных соединений растениям фасоли и подсолнечника. По мере повышения ММ исходных фракций фульвокислот количество железа, поступившего в растения, уменьшалось [5]. Гуматы железа со средней ММ поступали в подсолнечник быстрее, чем гуматы с высокой ММ [11].

В наших исследованиях количество углерода, поступившее в растения из исходных фракций фульвокислот, было несколько больше, чем из их органо-минеральных производных.

Мы не получили подтверждения результатов опытов [2, 9, 10, 14, 15], свидетельствующих о том, что ионные формы железа менее доступны растениям (для корневого и некорневого питания), чем комплексные. В наших исследованиях количество поглощенного ионного железа составило 66,7 % исходного содержания в растворе, а количество железа из состава молекулярно-массовых железосульфатных комплексов — 51,3—67,9 %. Достоверные различия получены только по отношению к положительно и отрицательно заряженным комплексам, количество использованного растениями железа составило соответственно 94 и 88,9 %.

Влияние железа железосульфатных комплексов на фотосинтетическую активность определяли по методике, разработанной А. С. Плешковым и Б. А. Ягодиным [7]. Часть растений предварительно в течение 14 дней выращивали на чистом кварцевом песке (контроль), другую — на кварцевом песке с $1/4$ смеси Кнопа, лишенной железа. Повторность опыта 6-кратная. О действии соединений железа на пшеницу судили по изменению светопоглощения хлоропластов. Математическую обра-

Таблица 2
Фотосинтетическая активность растений в зависимости от используемых ими форм железа в составе железосульфатных комплексов

Железосульфатные комплексы	ΔT, %*	
	Контроль	Смесь Кнопа
ММ<700	0,67	0,58
ММ~2 000	1,42	1,08
ММ~5 000	—	0,58
ММ>10000	0,42	0,67
Смесь	1,17	0,67
Заряженные отрицательно	2,08	1,92
Заряженные положительно	2,50	1,92
Нейтральные	1,08	1,50
Ионное Fe^{3+}	2,50	2,16
Контроль	0,75	0,83
Рфакт	10,1	0,2
Ртеор ₀₅	2,0	3,9
НСР ₀₅	0,9	

* ΔT — изменение светопоглощения хлоропластов при добавлении соединений железа.

ботку результатов проводили по методу двухфакторного дисперсионного анализа. Схема и результаты опыта приведены в табл. 2.

Установлено достоверное влияние различных форм железа на фотосинтетическую активность растений ($P_{\text{факт}}=10,1$, $F_{\text{теор}}=1,97$). Достоверного влияния уровня питания растений на их фотосинтетическую активность не обнаружено, хотя прослеживалась тенденция к ее увеличению у растений, выращенных на чистом кварцевом песке. Не доказана связь и между взаимодействием факторов и фотосинтетической активностью.

Наибольший эффект получен при использовании ионной формы железа, в этом варианте ΔT составляет 2,16 и 2,50 %, тогда как в контрольном варианте — всего 0,83 и 0,75 % (HCP_{05} 0,9). На фотосинтез также активно влияют положительно и отрицательно заряженные железозульватные комплексы, причем первые в большей степени, чем вторые. Полученные различия по сравнению с контролем превышают значение HCP_{05} .

При использовании молекулярно-массовых фракций железозульватных соединений фотосинтетическая активность растений несколько уменьшается. Это особенно четко проявляется в варианте с железозульватным соединением с $MM > 10\ 000$, где значение ΔT у растений, выращенных на песке, почти в 2 раза меньше, чем в контроле.

Выводы

1. Обнаружены достоверные различия в поглощении пшеницей железозульватных комплексов в зависимости от их MM и зарядов. Наибольшей доступностью растениям отличались положительно заряженные железозульватные комплексные соединения, из которых поглощалось до 100 % углерода и 94 % железа.

2. Из всех молекулярно-массовых железозульватных фракций в наибольшем количестве поглощались растениями соединения с низким значением MM , количество использованного из них углерода составляло 64,8 %, железа — 69,7 %. При увеличении MM фракции количество углерода и железа, поступающих в растения, уменьшалось.

3. Установлено достоверное влияние различных форм железа на фотосинтетическую активность растений. Наибольший эффект получен в варианте с применением ионного железа, где значения ΔT составляли 2,16 и 2,5 %, в контрольном — 0,83 и 0,75 % (HCP_{05} 0,9). Активно влияли на фотосинтез положительно заряженные железозульватные соединения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агапкина Г. И., Беркетова Л. В., Тихомиров Ф. А. Роль железоорганических соединений почвенных растворов в доступности железа растениям на почвах разных типов. — *Агрохимия*, 1988, № 3, с. 69—72. — 2. Дьяконова К. В. Железогумусовые комплексы и их роль в питании растений. — *Почвоведение*, 1962, № 7, с. 19—25. — 3. Карпухин А. И., Аронштейн Б. Н. Влияние фульвокислот и их органо-минеральных соединений на уровень дыхательного метаболизма растений. — *Докл. ТСХА*, 1979, вып. 259, с. 85—91. — 4. Карпухин А. И. Использование растений железа из железоорганических комплексов. — *Изв. ТСХА*, 1980, вып. 3, с. 89—95. — 5. Карпухин А. И. Влияние фульвокислот и их органо-минеральных производных на рост и развитие сельскохозяйственных растений. — *Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения*. Днепропетровск, 1983, т. 9, с. 65—67. — 6. Кауричев И. С., Карпухин А. И., Степанова Л. П. О природе водорастворимых легко-лесной зоны. — *Почвоведение*, 1977, № 12, с. 10—19. — 7. Плешков А. С., Ягодин Б. А. Способ определения потребности растений в элементах минерального питания. — *Авт. свид. № 952 168*, 1982. — 8. Островская Л. К., Макарова Г. М., Яковенко Г. М. Карбонатный хлороз и хелатные удобрения. — Киев: Урожай, 1973. — 9. Hsu Hsin-Hung, Ashmead H. D., Graff D. Y. — *J. Plant Nutr.*, 1982, vol. 5, N 4—7, p. 969—974. — 10. Navrot J., Banin A. — *Agron. J.*, 1976, vol. 68, N 2, p. 358—361. — 11. Patricion M. Y., Iobartini J. C., Orioli J. A. — *Cienc. suelo.*, 1987, 5, N 1, 31—35. — Р. ж.: *Почвоведение и агрохимия*, 1988, 8, 57, с. 285. — 12. Pushnik J. C., Miller J. W., Manwaring J. H. — *J. Plant Nutr.*, 1984, vol. 7, N 1—5, p. 733—758. — 13. Uren N. C. — *J. Plant Nutr.*, 1984, vol. 7, N 1—5, p. 165—176. —

14. Wallace A., Wallace J. A., — J. Zamzam A. M. — J. Plant Nutr., 1984, Plant Nutr., 1983, vol. 6, N 6, p. 551—557,— vol. 7, N 1—5, p. 211—222.
15. Wallace A., Wallace J. A., Abou- *Статья поступила 9 февраля 1989 г.*

SUMMARY

Absorption of different ferrofulvate complexes by spring wheat and their effect on photosynthetic plant activity were studied. It has been found that positively charged ferrofulvate complex compounds with low molecular weight are most available to plants. With higher molecular weight lower amounts of carbon and ferrum come into plants. Reliable effect of different forms of ferrum on photosynthetic plant activity has been detected.