

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

М. Я. ШКОЛЬНИК и Н. А. МАКАРОВА

**ОБ АНТАГОНИЗМЕ ЖЕЛЕЗА И МЕДИ**

(Представлено академиком Н. А. Максимовым 9 XI 1949)

В предыдущей работе <sup>(1)</sup> сообщалось о выявленном нами антагонизме бора и меди. Эти опыты, а также некоторые имевшиеся в литературе данные об антагонизме макро- и микроэлементов привели нас к заключению о большом значении микроэлементов в явлениях антагонизма ионов и в создании уравновешенных растворов. Мы обратили внимание на известный факт сильного страдания льна от хлороза на молодых этапах развития в водных культурах, особенно резко появляющегося в жаркие дни. В старых опытах Т. Т. Демиденко <sup>(2)</sup> хлороз льна удавалось устранять дополнительным внесением в питательный раствор цитрата железа.

В нашей предыдущей работе <sup>(1)</sup> выявилось, что причиной хлороза у льна в водных культурах является не недостаток железа, а токсичность содержащейся в дистиллированной воде меди. Мы предположили, что полученное в опытах Демиденко устранение хлороза льна дополнительным внесением железа является результатом того, что железо способно оказать антагонистическое действие в отношении меди.

Чтобы проверить это предположение, нами был поставлен опыт с водными культурами льна и подсолнечника на не содержащей меди дистиллированной воде из стеклянного дистиллятора \*. К питательному раствору Кнопа, содержащему 25 мг/л железа, добавлялись различные количества меди с дополнительным внесением 200 мг/л железа и без его дополнительного внесения. Позже, когда выяснилось, что доза в 200 мг/л железа является слишком высокой, она была снижена при смене питательного раствора до 100 мг/л.

Очень скоро после перенесения растений на питательный раствор стала наблюдаться поразительная картина антагонистического действия железа в отношении меди. Железо оказалось значительно более сильным антагонистом, чем бор. На дозе 0,5 мг/л меди растения сильно страдали от хлороза, причем особенно сильно страдание проявилось на корневой системе — боковые корешки совершенно не развивались и имели утолщенную форму, их длина равнялась 2—8 мм. Получившие же дополнительное железо растения отличались здоровым видом, имели темнозеленые листья и развивали мощную корневую систему с тонкими и длинными боковыми корешками, достигавшими до 50 мм в длину. Это хорошо иллюстрируется рис. 1. В табл. 1 приведены данные по урожаю этих опытов. Подсолнечник был убран в возрасте 34 дней, лен — 33 дней.

Из табл. 1 видно, что медь в дозе 0,5 мг снизила урожай надземной массы подсолнечника, но особенно сильно — в 4 раза — снизила урожай корней. Дополнительное внесение железа в дозе 100 мг/л не только пол-

\* В постановке опытов принимала участие Л. З. Ветрова.

№№ парашитов	Схема опыта	Подсолнечник				Лен		
		воздушно-сухой вес в г			Длина боковых корешков в мм	воздушно-сухой вес в г		
		стеблей и листьев	корней	всего растения		стеблей и листьев	корней	всего растения
1	Раствор Кнопса на воде из стекл. дистиллятора без внесения бо- ра (контроль) . . . . .	0,25	0,08	0,33	15—50	0,53	0,13	0,66
2	То же + медь 0,1 мг/л . . . . .	0,24	0,03	0,27	—	—	—	—
3	То же + медь 0,5 мг/л . . . . .	0,22	0,02	0,24	2—8	0,19	0,04	0,23
4	То же + медь 0,5 мг/л + железо 100 мг/л . . . . .	0,49	0,13	0,62	15—50	0,26	0,08	0,34

ностью устранило токсическое действие меди, но еще удвоило урожай надземной части и корней по сравнению с контролем, выращенным на

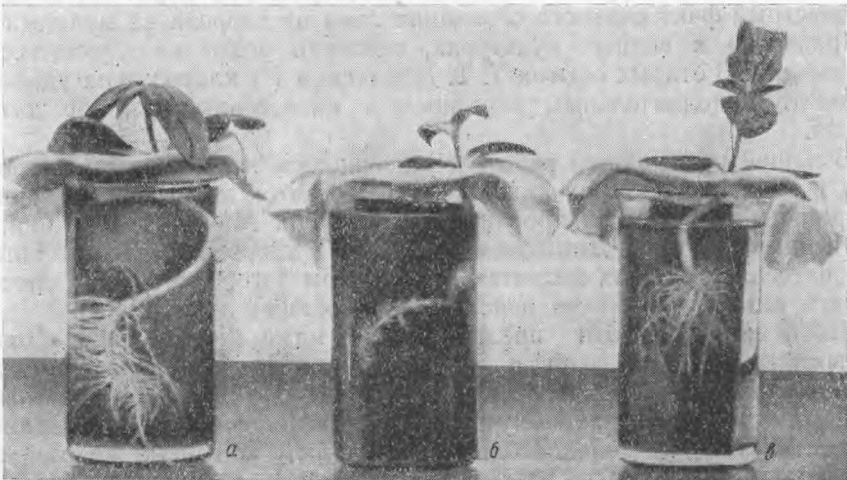


Рис. 1. Антагонизм железа и меди в опытах с подсолнечником. *а* — раствор Кнопса на воде из стеклянного дистиллятора без внесения бора, *б* — то же + медь 0,5 мг/л, *в* — то же + медь 0,5 мг/л + железо 100 мг/л

не содержащей меди питательной смеси. Урожай корней на варианте с железом на фоне меди был в 6,5 раз выше по сравнению с вариантом, где была одна медь. В опыте со льном доза в 0,5 мг меди снизила урожай как надземной массы, так и корней в 3 раза. Железо устранило токсичность меди, удвоив урожай корней и почти в 1,5 раза увеличив урожай надземной массы. Менее резкие результаты в отношении антагонистического действия железа получились у льна по сравнению с подсолнечником потому, что лен значительно сильнее подсолнечника пострадал от первоначально внесенной высокой дозы железа (200 мг/л).

Чтобы проверить полученные результаты и показать, что и у льна железо способно полностью устранить токсическое действие меди, нами был поставлен новый опыт со льном. Опыт был начат 26 июля и закончен 17 сентября. В табл. 2 и на рис. 2 приведены результаты этого опыта.

№№ пере- антов	Схема опыта	Воздушно-сухой вес в г			Содержа- ние воды в листьях в %
		стеблей и листьев	корней	всего растения	
1	Раствор Кнопса на воде из стекл. де- стиллятора без внесения бора (кон- троль) . . . . .	0,96	0,22	1,18	87,1
2	То же + бор 0,5 мг/л . . . . .	1,86	0,30	2,16	86,3
3	То же + медь 0,5 мг/л . . . . .	0,56	0,13	0,69	86,8
4	То же + медь 0,5 мг/л + бор 0,5 мг/л	0,69	0,17	0,86	88,5
5	То же + медь 0,5 мг/л + железо 100 мг/л . . . . .	1,91	0,31	2,22	89,7
6	То же + медь + железо + бор . . . . .	1,90	0,34	2,24	85,8

Из табл. 2 видно, что медь в дозе 0,5 мг/л значительно снижает урожай льна, однако страдание растений на этой дозе меди из-за наступившего во время опыта похолодания было менее резко выражено, чем

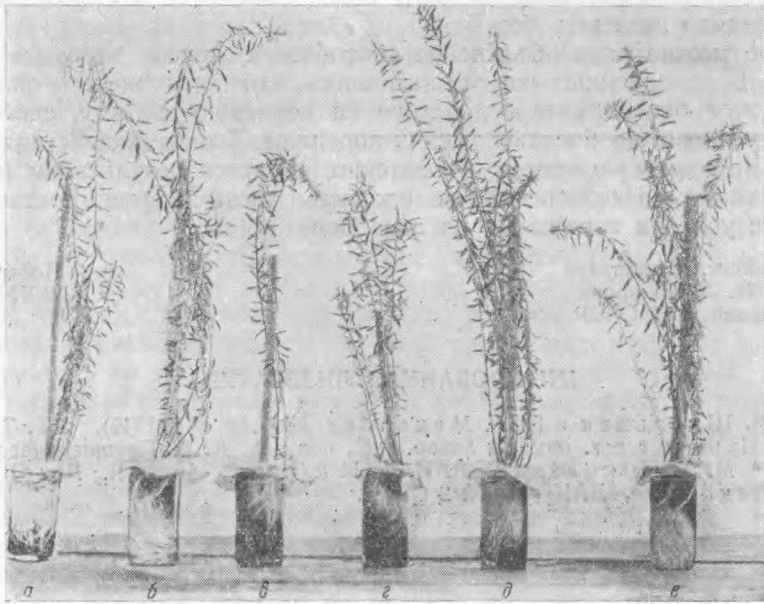


Рис. 2. Антагонизм железа и меди в опытах со льном. *а* — раствор Кнопса на воде из стеклянного дистиллятора без внесения бора, *б* — то же + бор 0,5 мг/л, *в* — то же + медь 0,5 мг/л без внесения бора, *г* — то же + медь 0,5 мг/л + бор 0,5 мг/л, *д* — то же + медь 0,5 мг/л + железо 100 мг/л, *е* — то же + медь 0,5 мг/л + железо 100 мг/л + бор 0,5 мг/л

обычно. Бор обнаружил некоторое, правда, сравнительно небольшое, антагонистическое действие, железо же показало себя исключительно сильным антагонистом в отношении меди. Из данных по содержанию воды в листьях видно, что бор один или в комбинации с железом и медью снижает содержание воды, в комбинации же с одной медью, наоборот, повышает. Железо в комбинации с медью значительно повышает содержание воды в листьях.

Необходимо обратить внимание на неожиданный, интересный факт, обнаружившийся в этих опытах. В наших прежних исследованиях (1, 4),

проведенных в 1948 г., лен и подсолнечник на воде из стеклянного дистиллятора совершенно не нуждались в дополнительном внесении бора, так как он поступал в достаточном количестве в воду из стекла при перегонке. Дополнительное внесение бора не давало никакого повышения урожайности. Длительная перегонка воды в стеклянном дистилляторе привела к тому, что постепенно значительная часть бора выщелачивалась из стекла и в воду стало поступать значительно меньше бора, чем это необходимо растениям для нормального роста. Дополнительное внесение бора в опытах 1949 г. вело поэтому к удвоению урожая (табл. 2). Внесение железа на фоне токсических доз меди без дополнительного внесения бора в питательную смесь (5-й вариант) привело не только к устранению токсичности меди, но и к замене железом нехватавших растениям количеств бора. Урожай растений этого варианта не только вдвое выше контроля, но даже несколько выше урожая растений 2-го варианта, получивших дополнительно бор. Добавление бора к железу (6-й вариант) не смогло уже существенно отразиться на урожае: при некотором повышении урожая корней наблюдалось вместе с тем небольшое снижение урожая стеблей и листьев. Отмеченное при разборе табл. 1 удвоение урожая подсолнечника на варианте с железом (4-й вариант) по сравнению с урожаем растений 1-го варианта, не получивших дополнительно бора, тоже находит свое объяснение в способности железа частично заменить бор.

Какое можно дать объяснение способности железа заменить частично бор? В приведенных опытах выявилось, что бор и железо оказывают аналогичное благоприятное действие на корневую систему, способствуя мощному развитию боковых тонких корешков. Близость действия бора и железа на корневую систему, возможно, является результатом их сходного влияния на окислительные процессы клеток корня, поставленных в плохие условия аэрации, и на адсорбцию ионов.

Ботанический институт  
им. В. Л. Комарова  
Академии наук СССР

Поступило  
9 XI 1949

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> М. Я. Школьник и Н. А. Макарова, ДАН, 68, № 1 (1949). <sup>2</sup> Т. Т. Демиденко, Из результ. вег. опыт. и лабор. раб., под ред. Д. Н. Прянишникова, 15, 459 (1930). <sup>3</sup> М. Я. Школьник, ДАН, 2, № 2 (1934). <sup>4</sup> М. Я. Школьник и Н. А. Макарова, ДАН, 68, № 2 (1949).