

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

М. Я. ШКОЛЬНИК и Н. А. МАКАРОВА

ОБ АНТАГОНИЗМЕ БОРА И МЕДИ

(Представлено академиком Н. А. Максимовым 28 VI 1949)

В наших опытах было обнаружено, что на дистиллированной воде из медного дистиллятора, в отличие от водопроводной воды, совершенно не может происходить укоренение проростков картофеля и что причиной этого является присутствующая в дистиллированной воде медь. Эти факты навели нас на предположение, что причиной наблюдавшейся в прежних опытах М. Я. Школьника (<sup>1, 2</sup>) полной невозможности развития корневой системы у резко нуждающихся в боре растений (лен, подсолнечник и др.) при выращивании их на приготовленном на дистиллированной воде питательном растворе без бора является находящаяся в этой воде медь и что одной из важных функций бора, возможно, является его способность уменьшать токсическое действие меди. Можно было также предположить, что наблюдающееся положительное действие водопроводной воды на корневую систему вызвано не только наличием в ней бора, как это раньше представлялось, но и отсутствием в ней меди.

Чтобы проверить эти предположения, нами были поставлены специальные опыты по выращиванию льна-долгунца (сорт Псковский кряж) на питательной смеси Кноп, приготовленной на воде из медного дистиллятора с внесением бора и без него, и на питательной смеси, приготовленной на не содержащей меди воде из стеклянного дистиллятора также с внесением бора и без него. Кроме того, в опыт был включен вариант с питательной смесью, приготовленной на водопроводной воде. Опыт был заложен 21 июня и снят 14 июля. Результаты опыта приведены в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1

Различия в росте льна в водных культурах на фоне бора и без него в зависимости от наличия меди в дистиллированной воде

№ варианта	Схема опыта	Высота растений в см	Сухой вес в г		
			надземная часть	корни	все растение
1	Кноп, дистиллир. вода из медного дистиллятора . . . . .	7—9	0,064	0,018	0,082
2	То же + 0,5 мг бора . . . . .	13—15,5	0,105	0,015	0,120
3	Кноп, дистиллир. вода из стеклянного дистиллятора . . . . .	19—20	0,353	0,081	0,434
4	То же + 0,5 мг бора . . . . .	17	0,332	0,084	0,416
5	Кноп, водопроводная вода . . . . .	19—20	0,341	0,060	0,401

Из данных табл. 1 видно, что урожай надземной массы растений 3-го варианта, выращенных на свободной от меди питательной смеси, в три с половиной раза больше, а урожай корней даже в 5 раз больше по сравнению с соответственным урожаем растений 2-го варианта, получивших медь из дистиллированной воды, хотя растения 2-го варианта получали бор, и примерно одинаков с урожаем растений 5-го варианта, выращенных на водопроводной воде. Способность сильно нуждающихся в боре растений льна из 3-го варианта совершенно нормально развиваться, несмотря на то, что бор не вносился в питательную смесь, объясняется тем, что в воде из стеклянного дистиллятора всегда должен содержаться бор, попадающий при перегонке из стекла в воду, так как стекло, как известно, содержит бор.

Вместе с тем значительно лучший рост растений 3-го варианта, получивших бор из стекла дистиллятора, по сравнению с растениями 2-го, тоже получавшими в достаточном количестве бор, является результатом того, что в 3-м варианте, в отличие от 2-го, среда не содержала меди.

Эти опыты показали, что бор способен, повидимому, уменьшать токсичность меди и что причиной хорошего развития растений на водопроводной воде является не только наличие в ней бора, как это предполагалось нами и многими исследователями раньше, но и отсутствие в ней токсических доз меди.

В данных опытах со льном нам удалось также вскрыть причину хлороза, наблюдавшегося в наших прежних опытах со льном в водной культуре. Исследованиями одного из нас (2) было показано, что в отсутствие бора у льна наблюдается сильный хлороз; бор повышает содержание хлорофилла в листьях, однако в молодом возрасте растений он не способен полностью устранить хлороз, и для устранения последнего приходится часто менять питательный раствор или добавлять железо. Причиной этого хлороза, как удалось выяснить, является имевшаяся в дистиллированной воде медь. В табл. 2 приведены данные по содержанию хлорофилла, каротина и ксантофилла у растений из опыта со льном, урожайные данные которого приведены в табл. 1.

Таблица 2

Содержание пигментов в листьях льна в зависимости от содержания меди и бора в питательной среде (24-дневные растения)

№ варианта	Схема опыта	В гаммах на 1 г			
		хлорофилл	каротин	ксантофилл	сумма каротиноидов
1	Кноп, дистиллир. вода из медного дистиллятора . . . . .	291	24,6	204,7	229,3
2	То же + 0,5 мг бора . . . . .	535	26,5	137,5	164,0
3	Кноп, дистиллир. вода из стеклянного дистиллятора . . . . .	1750	92,2	363,3	455,5
4	То же + 0,5 мг бора . . . . .	1746	92,8	227,7	320,5
5	Кноп, водопроводная вода . . . . .	1267	96,0	119,2	215,2

Из табл. 2 видно, что содержание хлорофилла у растений 3-го, 4-го и 5-го вариантов, где отсутствовала медь, в 2,5—3,5 раза больше, чем у растений 2-го варианта, росших в среде, содержащей медь, несмотря на наличие бора; содержание каротина у них еще больше — примерно в 3,5—4 раза выше, чем в 1-м и 2-м вариантах. Наблюдается также некоторое, правда, значительно менее выраженное, превосходство и в содержании ксантофилла. При сравнении между собой 1-го—2-го и 3-го—4-го вариантов выясняется, что бор как при наличии меди, так и

в ее отсутствие, не изменяя содержания каротина, снижает содержание ксантофилла.

Из табл. 2 видно также, что бор при наличии меди в среде (2-й вариант) повышает почти вдвое содержание хлорофилла по сравнению с контролем (1-й вариант), однако содержание последнего в этом варианте остается все же в 3—3,5 раза ниже, чем в случае, когда отсутствует медь (3-й, 4-й и 5-й варианты).

Чтобы получить прямой ответ на вопрос, может ли бор снижать токсичность меди, необходимо было поставить опыты, в которых к питательной смеси, приготовленной на воде из стеклянного дистиллятора, содержащей достаточные количества бора, обеспечивающие, как мы видели, нормальный рост растений, прибавить медь в токсических дозировках и дополнительным внесением бора выяснить, способен ли бор сни-

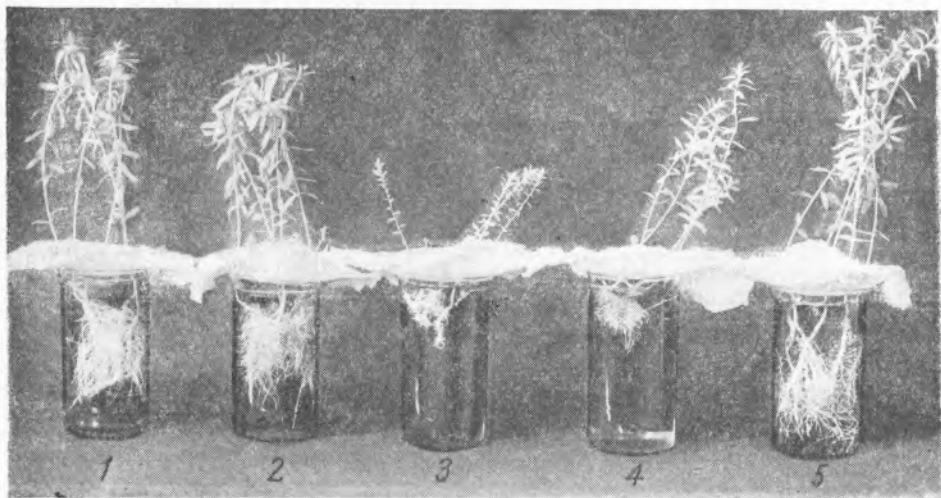


Рис. 1. Лен в водных культурах. 1—дистиллированная вода из стеклянного дистиллятора без бора; 2—то же, с бором; 3—дистиллированная вода из медного дистиллятора без бора; 4—то же, с бором; 5—водопроводная вода

жать токсическое действие меди. Если в этом случае будет получен положительный эффект от бора, то он сможет быть отнесен только за счет его антитоксического действия. Такие опыты нами были проведены на нескольких сильно нуждающихся в боре растениях: льне, конском бобе и подсолнечнике. Результаты опытов с конскими бобами и подсолнечником приведены в табл. 3.

Данные табл. 3 показывают, что бор действительно способен в некоторой степени снижать токсичность меди. В опытах с конскими бобами антитоксическое действие бора выявилось только на более высокой дозировке меди, в опытах же с подсолнечником — на обеих дозировках меди.

Итак, мы видим, что все описанные здесь опыты выявили очень интересную сторону физиологической роли бора — его способность оказывать антагонистическое действие в отношении меди.

В литературе накопилось большое количество фактов, показывающих антагонизм макро- и микроэлементов и антагонизм между разными микроэлементами. Интересно, что в опытах Лормана (3) вред, причинявшийся некоторым грибам высокими дозами сернокислого магния, снимался внесением ртути и бора, и наоборот, вредное действие высоких доз ртути и бора снималось внесением магния.

Выявленные нами факты токсического действия на растения дистиллированной воды, полученной из медных дистилляторов, имеют, помимо

Таблица 3

## Влияние бора на снижение токсичности меди

№ варианта	Схема опыта	Конские бобы				Подсолнечник		
		Высота растений в см	Сухой вес в г			Сырой вес в г		
			надземная часть	корни	все растение	надземная часть	корни	все растение
1	Кноп, дистиллир. вода из медного дистиллятора . . . . .	7	1,379	0,1564	1,5354	1,060	0,310	1,370
2	Кноп, дистиллир. вода из стеклянного дистиллятора + 0,25 мг меди без бора . . . . .	10,5	1,422	0,1524	1,5744	2,740	0,870	3,610
3	То же + 0,25 мг меди + 0,5 мг бора . . . . .	10,0	1,1786	0,1356	1,3142	4,130	1,435	5,565
4	То же + 0,5 мг меди без бора . . . . .	5,5	0,979	0,106	1,085	2,980	0,570	3,550
5	То же + 0,5 мг меди + 0,5 мг бора . . . . .	10,0	1,7274	0,2136	1,9410	5,560	2,480	8,040

всего, также большое методическое значение. Они говорят о малой пригодности такой дистиллированной воды для физиологических исследований в водных, песчаных и почвенных культурах.

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

Поступило  
18 VI 1949

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> М. Я. Школьник, Изв. АН СССР, сер. отд. матем. и естеств. наук, 8, 1163 (1933). <sup>2</sup> М. Я. Школьник, Роль и значение бора и других микроэлементов в жизни растений, изд. АН СССР, 1939. <sup>3</sup> W. Lohmann, Arch. Mikrobiol., 11 (4), 329 (1940).