

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

М. Я. ШКОЛЬНИК и М. М. СТЕКЛОВА

**К ВОПРОСУ О ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ РОЛИ БОРА У РАСТЕНИЙ**

(Представлено академиком Н. А. Максимовым 30 XII 1950)

Одним из нас <sup>(1)</sup> было показано, что в отсутствие бора в водной культуре совершенно не развивается корневая система у сильно нуждающихся в боре растений и что симптомы страдания при недостатке бора прежде всего проявляются в корневой системе, а потом уже в надземной части. Можно было предположить, что причиной этого является затруднение в кислородном снабжении клеток корней или страдания из-за неуравновешенности питательного раствора и токсического его действия. В прежних наших исследованиях, на основании имевшихся данных о влиянии бора на уменьшение поступления некоторых элементов, мы склонны были искать объяснение указанным выше фактам в способности бора регулировать поступление минеральных элементов. Новейшие же наши данные <sup>(2)</sup> убедили нас, что хотя бор и оказывает влияние на поступление минеральных элементов, однако он не способен существенно изменить их соотношение в тканях. Эти факты, а также полученные одним из нас совместно с Н. А. Макаровой <sup>(3)</sup> данные о некотором сходстве в действии бора и играющего большую роль в окислительных процессах железа, особенно на корневую систему в условиях водных культур при затрудненной аэрации, привели нас к предположению, что бор каким-то образом улучшает кислородное снабжение корней.

Чтобы проверить эти предположения, нами были поставлены опыты в водных культурах с внесением в не содержащую бора питательную смесь перекиси водорода. Известно, что перекись водорода способна производить окисление биологически важных соединений в присутствии катализатора окисления или же разлагаться на воду и молекулярный кислород посредством каталазы. Сейчас имеется много фактов, подтверждающих высказанное много лет назад А. Н. Бахом предположение, что в качестве промежуточных перекисей при аутоокислации могут появляться как органические перекиси, так и перекись водорода.

Опыты были поставлены 6 VIII со льном в водной культуре в полулитровых сосудах. Изучалось действие разных концентраций перекиси водорода. Схема опыта видна из табл. 1. В вариантах с перекисью ежедневно в каждый сосуд вносилось по 3 капли перекиси водорода указанной для каждого варианта концентрации. В каждом сосуде выращивалось по 9 растений. Для сравнения был поставлен 17 VIII дополнительный опыт, в котором, наряду с вариантами с перекисью водорода, был вариант с ежедневным продуванием питательного раствора. Продувание производилось три раза в день по 5 мин. В остальных вариантах как основного, так и дополнительного опытов продувания не производилось.

Вскоре после посадки проросших семян на питательную смесь выявилось совершенно поразительное влияние перекиси водорода в отсутствие

бора на рост корневой системы, а затем и на надземную часть растений, что хорошо иллюстрируется рис. 1. Особенно положительным было влияние средних дозировок. Наблюдалась интересная картина постепенного улучшения роста растений и их корневой системы с повышением концентрации перекиси водорода. Начиная с концентрации 3 капель 8% перекиси водорода на сосуд, уже наблюдалось некоторое угнетение растений. Хотя растения на вариантах с перекисью водорода без бора несколько отставали в росте по сравнению с получившими бор растениями, однако они имели вполне здоровый вид. На более поздних этапах развития у растений из вариантов с 4 и 5% перекисью водорода эти различия, особенно в росте корневой системы, почти совершенно сгладились.

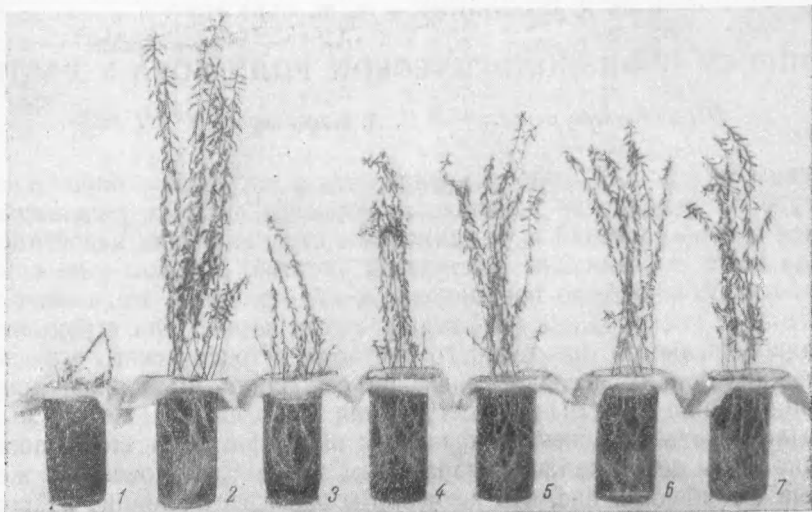


Рис. 1. Действие перекиси водорода в отсутствие бора в питательной смеси на рост льна. Слева направо: 1 — контроль без бора, 2 + бор, 3 — без бора + 3 капли 1%  $H_2O_2$ , 4 — без бора + 3 капли 2%  $H_2O_2$ , 5 — без бора + 3 капли 3%  $H_2O_2$ , 6 — без бора + 3 капли 4%  $H_2O_2$ , 7 — без бора + 3 капли 5%  $H_2O_2$

Боковые корешки этих растений были такими же тонкими, длинными и здоровыми, как у растений из вариантов с бором. У контрольных же растений все точки роста очень скоро отмерли, а корневая система совершенно не развивалась.

30 IX, когда растения сильно подросли, было убрано по 4 растения каждого варианта (1-я уборка). Оставшиеся 5 растений были пересажены в 2-литровые сосуды и убраны 9 XI (2-я уборка). То же было сделано с растениями дополнительного опыта. Перекись водорода соответствующей концентрации давалась в первую неделю после пересадки растений по 3 капли на 2 л питательного раствора ежедневно, а начиная с 6 X давалось по 6 капель. К сожалению, из-за поздней посадки мы не смогли довести растения до цветения и плодоношения. К моменту уборки получившие перекись водорода и бор растения достигли высоты 47—52 см.

Приведенные в табл. 1 и 2 данные показывают яркую картину положительного влияния перекиси водорода в отсутствие бора и очень незначительного положительного влияния продувания воздухом в этом случае.

Из табл. 1 видно, что растения, не получившие бора, но получившие перекись водорода, дали огромное повышение общего урожая сухой массы по сравнению с контрольными. У растений 2-й уборки на вариантах

Таблица 1

Действие перекиси водорода на лен в отсутствие бора

Варианты опыта	1-я уборка				2-я уборка					
	Урожай сухой массы в г на сосуд			Урожай всего растения в % к контролю	Урожай сухой массы в г на сосуд			Урожай в % к контролю		
	надзем. части	корней	всего растения		надзем. части	корней	всего растения	надзем. части	корней	всего растения
Контроль без бора	0,0466	0,0040	0,0506	100,0	0,0680	0,0069	0,0749	100,0	100,0	100,0
То же + 3 капли										
1 % $H_2O_2$ . . .	0,0804	0,0112	0,0916	181,0	0,1701	0,0230	0,1931	250,1	333,3	257,8
2 % $H_2O_2$ . . .	0,1054	0,0128	0,1182	233,6	0,2625	0,0305	0,2930	386,0	442,0	391,2
3 % $H_2O_2$ . . .	0,1644	0,0196	0,1840	363,6	0,4444	0,0543	0,4987	653,5	786,9	665,8
4 % $H_2O_2$ . . .	0,1442	0,0176	0,1618	319,8	0,4651	0,0687	0,5338	684,0	995,6	712,7
5 % $H_2O_2$ . . .	0,1584	0,0246	0,1830	361,7	0,4610	0,0680	0,5290	677,9	985,5	706,3
6 % $H_2O_2$ . . .	0,1355	0,0206	0,1561	303,5	0,4202	0,0619	0,4821	617,9	897,1	643,6
7 % $H_2O_2$ . . .	0,1480	0,0250	0,1730	341,9	0,3692	0,0556	0,4248	542,9	805,8	567,1
8 % $H_2O_2$ . . .	0,1023	0,0174	0,1197	236,6	0,3478	0,0555	0,4033	511,5	804,3	538,4
9 % $H_2O_2$ . . .	0,0822	0,0161	0,0983	194,3	0,3390	0,0630	0,4020	488,5	913,0	536,7
10 % $H_2O_2$ . . .	0,1249	0,0269	0,1518	300,0	0,3972	0,0730	0,4702	584,1	1057,9	627,8
То же + бор 0,5 мг/л	0,2648	0,0341	0,2989	590,7	0,6297	0,0794	0,7091	926,0	1150,7	946,7

с ежедневным внесением в питательный раствор 3 капель 4 и 5% перекиси урожай повысился до 712,7 и 706,3% и был близок к урожаю у растений, получивших бор (946,7%). Еще более близкие к варианту с бором величины повышения урожая были получены по корневой системе: на указанных вариантах с перекисью водорода урожай равнялся 995,6 и 985,5%, на варианте с бором 1150%.

Таблица 2

Сравнительное действие перекиси водорода и продувания питательного раствора воздухом на урожай льна

Варианты опыта	1-я уборка				2-я уборка					
	Урожай сухой массы в г на сосуд			Урожай всего растения в % к контролю	Урожай сухой массы в г на сосуд			Урожай в % к контролю		
	надзем. части	корней	всего растения		надзем. части	корней	всего растения	надзем. части	корней	всего растения
Контроль без бора	0,0626	0,0090	0,0716	100,0	0,0743	0,0090	0,0833	100,0	100,0	100,0
То же с продуванием . . . . .	0,0768	0,0105	0,0873	121,9	0,1200	0,0100	0,1300	161,5	111,1	156,1
То же + 3 капли										
6 % $H_2O_2$ . . .	0,1240	0,0201	0,1441	201,2	0,3530	0,0594	0,4124	475,1	660,0	495,1
7 % $H_2O_2$ . . .	0,1302	0,0204	0,1506	210,3	0,3440	0,0629	0,4069	463,0	698,9	488,5
8 % $H_2O_2$ . . .	0,1240	0,0210	0,1450	202,5	0,3388	0,0609	0,3997	456,0	676,7	479,8
То же + бор 0,5 мг/л	0,2224	0,0366	0,2590	361,7	0,5130	0,0680	0,5810	690,4	755,5	697,5

Как видно из данных табл. 2, растения варианта с продуванием показали незначительное улучшение роста надземной массы. У этих растений скоро отмерли точки роста, их корневая система оставалась такой же утолщенной и ненормальной, как у контрольных, не получивших бора растений, выращенных на непродувавшейся питательной смеси. Внесение

же перекиси водорода повело к прекрасному росту растений и особенно их корневой системы.

Чем объяснить, что, в отличие от растений вариантов с перекисью водорода, растения на варианте с продуванием так плохо развивались? Это может быть объяснено или тем, что ежедневное трехкратное продувание питательного раствора не может обеспечить достаточного снабжения растений кислородом, или, что более вероятно, тем, что перекисная форма кислорода является более усвояемой формой.

Полученные нами данные дают возможность разобраться в важнейшей стороне физиологической роли бора. Тот факт, что в отсутствие бора при внесении перекиси водорода в питательную смесь можно получить нормальную и почти такую же мощную корневую систему и вполне здоровые растения, как и при внесении бора, указывает, что важнейшей и, видимо, главной стороной физиологической роли бора является его способность улучшать кислородное снабжение растений и, в первую очередь, их корневой системы.

Требуется специальные исследования для раскрытия механизма улучшения бором кислородного снабжения корневой системы. Можно предположить, что бор, благодаря своей способности легко взаимодействовать с гидроксилсодержащими веществами — спиртами, оксикислотами, сахарами и другими органическими соединениями, способен образовывать органические перекиси, снабжающие необходимым им кислородом корни, к которым доступ кислорода затруднен, особенно в водных культурах. Известна созданная А. Н. Бахом теория медленного биологического окисления. Работами (5-8) и другими авторами установлена способность растительных тканей образовывать соединения перекисного типа. В появившейся недавно работе Е. В. Арциховской и Б. А. Рубина (9) показано, что образование органических перекисей может служить одним из действенных путей снабжения кислородом тех растительных тканей, к которым затруднен доступ кислорода.

Поступило  
30 XII 1950

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> М. Я. Школьник, ДАН, 2, № 2 (1934). <sup>2</sup> М. Я. Школьник, Н. А. Макарова и М. М. Стеклова, Экспер. бот., 8 (1951). <sup>3</sup> М. Я. Школьник и Н. А. Макарова, ДАН, 71, № 2 (1950). <sup>4</sup> В. Ф. Портянко, Природа, 5 (1948). <sup>5</sup> А. Н. Бах, Сборн. избр. тр., 1937. <sup>6</sup> Д. М. Михлин, и К. В. Пшеннова, Биохимия, 2, № 5 (1946). <sup>7</sup> П. А. Колесников, ДАН, 64, № 1 (1949). <sup>8</sup> А. М. Кузин и Р. Я. Школьник, ДАН, 65, № 5 (1949). <sup>9</sup> Е. В. Арциховская и Б. А. Рубин, ДАН, 74, № 1 (1950). <sup>10</sup> Д. М. Михлин, Пероксиды и пероксидазы, изд. АН СССР, 1948. <sup>11</sup> Я. В. Пейве, Химиз. соц. земл., 4 (1938). <sup>12</sup> Л. И. Петрова, Рефер. докл. конф. по микроэл., 1950. <sup>13</sup> М. Я. Школьник, Роль и значение бора и других микроэлементов в жизни растений, изд. АН СССР, 1939. <sup>14</sup> Е. Березова и Л. Судакова, Химиз. соц. земл., 6 (1941). <sup>15</sup> H. S. Reed, Hilgardia, 17, No. 11 (1947).