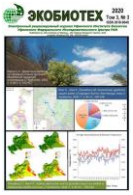
ЭКОБИОТЕХ
ISSN 2618-964X http://ecobiotech-journal.ru



ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ К ТОКСИЧЕСКИМ КОНЦЕНТРАЦИЯМ БОРА И СВИНЦА

Злобина Ю.А., Товстик Е.В.*, Козвонин В.А., Сазанов А.В.

Вятский государственный университет, Киров (Россия)
*E-mail: usr12172@vyatsu.ru; tovstik@inbox.ru

В лабораторном опыте изучали особенности роста и развития двудольных и однодольных растений на примере редиса и ячменя соответственно, в почве, содержащей бор в дозе 0, 8, 80, 800, 8000 мг/кг. Оценивали возможность снижения токсичности бора в почве путем краткосрочного выращивания растений. Согласно стандартной методике определения токсичности почв по изменению всхожести семян высших растений на ранних стадиях их развития (ФР.1.39.2006.02264), почва с концентрацией бора 8000 мг/кг отнесена к категории умеренно токсичных. Редис (двудольные), по сравнению с ячменем (однодольные), на стадии прорастания семян оказался более чувствительным к высокому содержанию бора в почве. Угнетение линейного роста побегов редиса и ячменя под действием бора в дозе 8000 мг/кг составляет соответственно 44 и 69% относительно контроля и вызывает пожелтение побегов. Бор в дозе 8000 мг/кг вызывает снижение каталазной активности почвы. При этом ингибирующее действие бора невозможно устранить путем краткосрочного выращивания, предложенных двудольных и однодольных растений. В отдельном лабораторном эксперименте исследовали влияние бора на накопление свинца проростками ячменя, и их метаболический отклик при выращивании в почве с различными дозами бора и свинца. Роль бора в накоплении свинца корнями ячменя не установлена. В отношении побегов выявлена положительная роль бора в снижении токсического эффекта свинца в почве за счет снижения его накопления надземной биомассой.

Ключевые слова: бор, свинец, ячмень, редис, длина побегов, биомасса, содержание хлорофиллов, накопление свинца

ASSESSMENT OF THE RESISTANCE OF PLANTS TO TOXIC CONCENTRATIONS OF BORON AND LEAD

Zlobina Yu.A., Tovstik E.V.*, Kozvonin V.A., Sazanov A.V.

Vyatka State University, Kirov (Russia)
*E-mail: usr12172@vyatsu.ru; tovstik@inbox.ru

In the laboratory experiment, we studied the growth and development of dicotyledonous and monocotyledonous plants on the example of radish and barley, respectively, in soil containing boron at a dose of 0, 8, 80, 800, 8000 mg/kg. We evaluated the possibility of reducing boron toxicity in the soil by short-term cultivation of plants. According to the standard method for determining soil toxicity by changing the germination of seeds of higher plants at the early stages of their development (FR.1.39.2006.02264), soil with a boron concentration of 8000 mg/kg is classified as moderately toxic. Radish (dicotyledonous), in comparison with barley (monocotyledonous), at the stage of seed germination was more sensitive to the high content of boron in the soil. Inhibition of linear growth of radish and barley shoots under the action of boron at a dose of 8000 mg/kg is 44 and 69%, respectively, relative to the control and causes yellowing of the shoots. Boron at a dose of 8000 mg/kg causes a decrease in the catalase activity of the soil. At the same time, the inhibitory effect of boron cannot be eliminated by short-term cultivation of dicotyledonous and monocotyledonous plants. In a separate laboratory experiment, the effect of boron on the accumulation of lead by barley seedlings and their metabolic response when grown in soil with different doses of boron and lead was studied. The role of boron in the accumulation of lead by barley roots has not been established. In relation to shoots, a positive role of boron in reducing the toxic effect of lead in the soil by reducing its accumulation by aboveground biomass was revealed.

Keywords: boron, lead, barley, radish, shoot length, biomass, chlorophyll content, lead accumulation

Поступила в редакцию: 17.07.2020

DOI: 10.31163/2618-964X-2020-3-3-318-323

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время все большую актуальность приобретают вопросы, касающиеся последствий загрязнения различных объектов окружающей среды, в том числе почвы. Известно, что бор (B) – один из необходимых для растений микроэлементов. В растениях он принимает участие в синтезе широкого спектра метаболитов. Его дефицит или избыток

вызывает множественные физиологические и биохимические изменения в растениях. Среди них нарушение структуры клеточной стенки, целостности мембраны и ее функционирования; изменение активности ферментов углеводного и фенольного обменов [Пашкевич, Суворова, Верховцева, 2011]. Виды растений, а также генотипы внутри видов резко различаются с точки зрения потребности в боре; таким образом, имеющийся в почве бор, дефицитный для одной культуры, может оказывать токсическое воздействие на другую [Brdar-Jokanović, 2020]. Дефицит бора в почве в основном зависит от преобладающей химической формы (борная кислота), которая легко вымывается дождевой водой из-за ее высокой растворимости [Hua, Zhang, Sun, Liu, 2020]. Имеются сведения о том, что дефицит или избыток бора в почве не только влияет на поглощение растениями элементов питания, но и изменяет баланс между некоторыми элементами в растениях, вызывая либо увеличение, либо уменьшение их биомассы. Особое опасение вызывает и то, что бор может быть токсичен не только для растений, но и для человека, в связи с чем, его содержание в окружающей среде должно контролироваться [Tariq, Mott, 2007]. В зависимости от типа почвы и выращиваемых на ней культур токсичными считают концентрации водорастворимого бора в почве от 5 до 300 мг/кг [Hayes, 1989; Ходяков, 2008]. При этом четкого определения токсичных и оптимальных концентраций этого элемента, как в почвах, так и в растениях, не существует.

В связи с этим целью работы явилось определение токсичных концентраций бора в почве, а также влияние дозы бора 80 мг/кг на поглощение свинца растениями.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В модельном опыте объектами исследования служили однодольные и двудольные растения (соответственно ячмень сорта «Белгородский 100» и редис сорта «Жара»). Для исследований использовали универсальный грунт на основе торфа (азот 240–350, фосфор 290–410, калий 330–470 мг/кг; pH от 5,4 до 6,6). В опытах со свинцом использовали образцы почв, отобранные в городской черте. Обеспеченность почвы азотом, фосфором и калием составила соответственно 51–105; 5,8–7,0 и 37–41 мг/кг; pH=6. Опыты проводили в 3-кратной повторности.

Опыт по определению токсичных концентраций бора в отношении однодольных и двудольных растений проводили в лабораторных условиях в пластиковых контейнерах. Для этого в универсальный грунт на основе торфа вносили бор в виде раствора борной кислоты (H_3BO_3) в концентрациях 8, 80, 800, 8000 мг/кг. Контролем служил грунт, увлажненный дистиллированной водой. В каждый контейнер высаживали с заглублением по 30 семян ячменя и редиса по отдельности. Выращивание растений осуществляли при комнатной температуре и естественной освещенности в течение 7-и суток. В ходе проведения опыта отмечали всхожесть семян. По окончанию опыта растения извлекали из грунта, измеряли высоту побегов; после высушивания определяли биомассу. В почвенных образцах определяли каталазную активность газометрическим методом [Мелехова, Егорова, Евсеева, 2007].

Исследование влияния бора на накопление свинца в проростках ячменя, и их метаболический отклик при выращивании в почве с различными дозами бора и свинца проводили в лабораторных условиях в чашках Петри. Для этого в почву вносили бор в виде раствора борной кислоты в концентрациях 80 и 800 мг/кг в перерасчете на сухую массу

почвы. Свинец вносили в виде раствора $Pb(CH_3COO)_2$ в дозе 10 ПДК, что соответствовало концентрации свинца 60 мг/кг почвы. В каждую чашку помещали по 25 семян ячменя.

По завершению экспозиции (6 сут.) проводили количественное определение пигментов в растительных тканях спектрофотометрическим методом. Метод основан на извлечении хлорофиллов и каротиноидов из растительного материала ацетоном (C_3H_6O), очистке экстракта и определении оптической плотности растворов в диапазоне длин волн 400–700 нм [Фокина, Скугорева, Товстик, 2018].

Определение содержания свинца в растительных тканях проводили методом инверсионной вольтамперометрии. Предварительную подготовку растительных проб осуществляли путем сухой минерализации [Сборник методик … , 2004].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Известно, что изменение интенсивности ростовых процессов растений может давать информативную картину воздействия различных токсикантов на растения как класса однодольных, так и двудольных. В связи этим, оценивали всхожесть семян и интенсивность линейного роста проростков редиса и ячменя под действием бора.

По результатам проведенных исследований было установлено, что по мере повышения концентрации бора в почве происходит снижение всхожести семян и замедление линейного роста проростков. Причем интенсивность снижения данных параметров зависит как от дозы бора в почве, так и от принадлежности растений к тому или иному классу.

Бор в диапазоне исследуемых концентраций, за исключением самой высокой в опыте дозы (8000 мг/кг), не оказал значимого влияния на всхожесть семян (табл. 1).

Таблица 1. Всхожесть семян в зависимости от дозы бора в почве

Бор, мг/кг	Всхожесть семян, %	
	Редис	Ячмень
0	91.1	96.6
8	92.2	91.1
80	97.8	86.7
800	97.8	85.6
8000	42.2	68.9

Угнетающее действие бора на всхожесть семян, как редиса, так и ячменя отмечали в случае наибольшей его концентрации. Если в контроле всхожесть семян редиса составила 91,1%, то под действием бора в дозе 8000 мг/кг – 42,2%. В опыте с ячменем в контроле всхожесть семян составила 96,6%, тогда как под действием бора в дозе 8000 мг/кг – 68,9%. Согласно включенной в Федеральный реестр РФ стандартной методике ФР.1.39.2006.02264 определения токсичности почв по изменению всхожести семян высших растений на ранних стадиях их развития, почву с дозой бора 8000 мг/кг следует отнести к категории умеренно токсичных (40–60%) по показателям всхожести двудольных растений.

Наибольшее снижение всхожести семян растений, относящихся к классу двудольных, по сравнению с однодольными, может свидетельствовать о том, что на стадии прорастания семян они более чувствительны к высокому содержанию бора в почве. Однако следует сказать, что степень толерантности растений к бору, по данным литературы, может значительно различаться как на межвидовом, так и внутривидовом уровне [Landi, Margaritopoulou, Papadakis, Araniti, 2019].

В отличие от всхожести семян, линейный рост проростков, относящихся к классу двудольных растений, замедлялся уже под действием дозы бора 800 мг/кг. А в случае однодольных растений бор оказывал угнетающее действие на линейный рост их проростков в более высокой дозе (8000 мг/кг) (табл. 2).

Таблица 2. Морфометрические показатели роста проростков в зависимости от дозы бора в почве

Бор, мг/кг	Высота побега, см	
	Редис	Ячмень
0	7.3 ± 0.3	14.4 ± 0.7
8	7.4 ± 0.3	14.8 ± 0.7
80	7.3 ± 0.3	14.8 ± 0.8
800	5.2 ± 0.3	14.8 ± 0.8
8000	3.8 ± 0.6	4.5 ± 0.8

Примечание: после «±» указано значение стандартного отклонения.

Наибольшая исследуемая в опыте доза бора (8000 мг/кг) привела к снижению высоты побегов редиса и ячменя, соответственно на 44 и 69% относительно контрольного варианта.

Угнетающее действие бора было зафиксировано не только по всхожести семян и линейному росту проростков, но и визуально по окраске их листьев. Если в вариантах опыта с дозой бора 8 и 80 мг/кг цвет листьев редиса был ярко зеленым, то в варианте опыта с 800 мг/кг бора – некоторые листья были желтого цвета. В случае ячменя подобный эффект прослеживался только в случае наибольшей исследуемой в опыте дозы бора (8000 мг/кг).

Значительных изменений в биомассе проростков под действием бора в дозе 8, 80, 800 мг/кг не установлено. В случае наибольшей исследуемой в опыте концентрации бора (8000 мг/кг) снижение биомассы проростков редиса и ячменя составило соответственно в 30 и 29 раз по сравнению с контролем (табл. 3).

Таблица 3. Биомасса проростков в зависимости от дозы бора в почве

Бор, мг/кг	Биомасса проростков, мг	
	Редис	Ячмень
0	283.5 ± 23.7	358.8 ± 49.9
8	278.3 ± 12.9	342.8 ± 15.5
80	279.4 ± 1.0	321.2 ± 36.7
800	232.3 ± 32.4	320.4 ± 59.6
8000	9.4 ± 0.4	12.2 ± 5.7

Примечание: после «±» указано значение стандартного отклонения.

Известно, что ферментативная активность почв определяет интенсивность и направленность биохимических процессов, от которых зависит плодородие почвы, и является одним из важных показателей ее биологической активности. На активность ферментов в почве влияют различные факторы, в том числе факторы антропогенной природы. Изменение активности такого фермента как каталаза, относящейся к группе окислительно-восстановительных ферментов, может являться сигналом о начале неблагоприятных процессов в почве, связанных, в том числе, с ее загрязнением.

Исследование каталазной активности почвы, при внесении в нее бора позволило отнести ее к категории «средняя». Внесение бора в почву не оказало значимого влияния на каталазную активность почвы, за исключением наибольшей исследуемой в опыте дозы бора

(8000 мг/кг). В этом случае отмечали угнетение каталазной активности почвы, и классифицировали ее в категорию «очень бедная» (рис.).

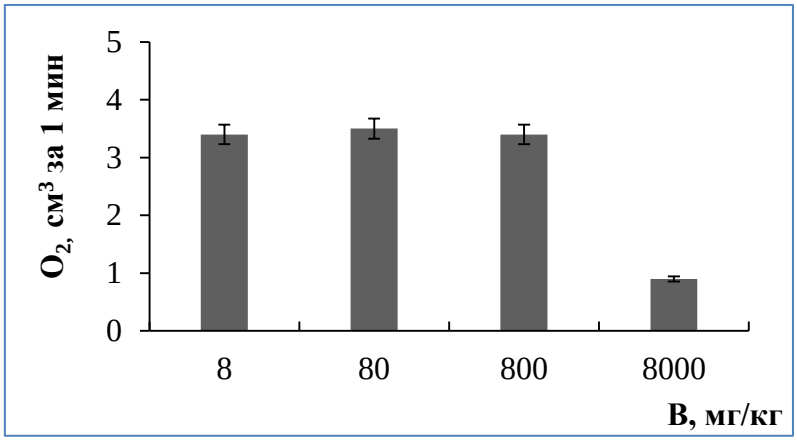


Рис. Обеспеченность почвы каталазой

К настоящему времени влияние, как микроэлементов, так и тяжелых металлов на основные физиолого-биохимические процессы растений в целом достаточно хорошо изучены. При этом вопрос их совместного влияния на развитие растений остается открытым. С этой целью проводили исследование влияния бора на всхожесть ячменя в присутствии свинца.

В ходе эксперимента было установлено, что внесение бора в виде борной кислоты в почву, содержащей свинец, приводит к снижению всхожести семян ячменя. В случае дозы бора, равной 80 мг/кг, снижение всхожести семян ячменя составило 9%; при дозе 800 мг/кг – 100%. Согласно классификации (ФР.1.39.2006.02264), почву данного варианта следует отнести к категории высоко опасно токсичных (угнетение 80–100%).

Анализ содержания свинца в тканях растений показал, что его концентрация в корнях растений независимо от наличия бора в почве варьирует в пределах одного порядка и достоверно не отличается от контроля. Внесение бора в почву способствовало снижению накопления свинца в надземной массе растений, и не влияло на его накопление в корнях (табл. 4).

Таблица 4. Накопление ионов свинца(II) в проростках ячменя

Бор, мг/кг	Концентрация Pb, мкг/г	
	Побеги	Корни
0	15.0±6.0	34.2±10.3
80	3.8±1.5	44.6±17.9

Примечание: после «±» указаны границы, в которых находится погрешность методики, %.

Согласно расчетным значениям коэффициентов накопления, корни растений, по сравнению с побегами обладали большей накопительной способностью в отношении свинца, что согласуется с общеизвестными данными о способности корней задерживать большую часть тяжелых металлов, обеспечивая нормальный рост и развитие растений в условиях высокого содержания этих элементов в почве.

Известно, что компоненты фотосинтетического аппарата имеют ключевое значение в жизни растения в стрессовых условиях роста. С целью установления роли бора в формировании устойчивости растений к свинцу проводили модельный опыт, в ходе которого было установлено, что содержание хлорофилла a, суммы хлорофиллов a и b в листьях ячменя снижается при внесении в почву бора (табл. 5).

Таблица 5. Содержание хлорофиллов a, b и каротиноидов в листьях ячменя

Бор, мг/кг	Содержание пигментов, мг/г			Сумма хлорофиллов (a+b), мг/г
	Хлорофилл a	Хлорофилл b	Каротиноиды	
0	2.23 ± 0.68	0.97 ± 0.36	0.06 ± 0.02	3.21 ± 1.04
80	0.82 ± 0.47	0.53 ± 0.52	0.03 ± 0.02	1.35 ± 0.98

Примечание: после «±» указано значение стандартного отклонения.

При этом достоверных изменений в содержании хлорофилла b и каротиноидов не установлено.

Согласно данным литературы, высокое содержание хлорофилла a характерно для здоровых растений, так как связано с большей интенсивностью процесса фотосинтеза. В связи с этим обнаруживаемое нами более низкое содержание хлорофилла a в листьях ячменя и накопление свинца в присутствии бора в дозе 80 мг/кг, может свидетельствовать о том, что бор способен снижать токсический эффект свинца в почве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, можно заключить, что бор в дозе 8000 мг/кг почвы оказывает угнетающее действие на каталазную активность почвы и вызывает токсический эффект у растений. Это проявляется в нарушении метаболических процессов в проростках и угнетении их линейного роста. Положительная роль более низких концентраций бора (80 мг/кг) заключается в снижении токсического действия свинца (10 ПДК) за счет снижения его накопления в побегах растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brdar-Jokanović M. Boron toxicity and deficiency in agricultural plants // International Journal of Molecular Sciences. 2020. V. 21. № 4. P. 1424.
2. Hayes P.F. Boron deficiency of grapevines // Austral. Grapegrower Winemaker. 1989. V. 304. P. 51–54.
3. Hua T., Zhang R., Sun H., Liu C. Alleviation of boron toxicity in plants: Mechanisms and approaches // Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 2020. P. 1–41.
4. Landi M., Margaritopoulou T., Papadakis I.E., Araniti F. Boron toxicity in higher plants: an update // Planta. 2019. V. 250. P. 1011–1032.
5. Tariq M., Mott C.J.B. Effect of Boron on the Behavior of Nutrients in Soil–Plant Systems–A Review // Asian Journal of Plant Sciences. 2007. V. 6. Jss. 1. P. 195–202.
6. Мелехова О.П., Егорова Е.И., Евсеева Т.И. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: уч. пособие для вузов. М.: Академия, 2007. 288 с.
7. Пашкевич Е.Б., Суворова Е.Е., Верховцева Н.В. Физиолого-биохимические функции бора в растении // Агрохимия. 2011. № 11. С. 85–96.
8. Сборник методик измерений массовой концентрации ионов меди, свинца, кадмия, цинка, висмута, марганца, никеля и кобальта методом вольтамперометрии на вольтамперометрическом анализаторе «Экотест–ВА». М.: ООО «Эконикс–Эксперт», 2004. 61 с.
9. Фокина А.И., Скугорева С.Г., Товстик Е.В. Химические основы токсикологии (лабораторный практикум): учебно–методическое пособие. Киров: ВятГУ, 2018. 81 с.
10. Ходяков С.Ф. Изменение содержания цинка и бора в растениях льна–долгунца в зависимости от форм и доз микроудобрений // Агрохимический вестник. 2008. № 1. С. 25–26.