

23. Мурашев С.В., Белова А.Ю., Вержук В.Г. Стимуляция роста и повышение эффективности холодильного хранения ягод жимолости (*Lonicera L.*) и облепихи (*Hippophae L.*) после обработки растений аминокислотным препаратом БКА // Сельскохозяйственная биология, 2010. № 1. С. 90-95.

24. Укоренение растений можно стимулировать / <http://nashausadba.com.ua/helpful-hint/75.html>

25. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 1985. 351 с.

26. Кулаичев А.П. Методы и средства комплексного анализа данных. М.: ФОРУМ: ИНФА-М, 2006. 512 с.

ENVIRONMENTALLY SAFE GROWTH STIMULATORS FOR THE PRE-SOWING SEED TREATMENT HIPPOPHAE RHAMNOIDES L.

© 2015 T.V.Baranova

Voronezh State University, Voronezh (Russia)

Annotation: The study was made about the influence of a pre-sowing seed treatment with a solution of a hydrogen peroxide and a potassium permanganate for the germination of *Hippophae rhamnoides*. It has been found an increase of the seed germination.

Keywords: pre-sowing seed treatment, growth stimulators, germination, seedling growth.

* * *

ВЛИЯНИЕ СВИНЦА НА РОСТ И НЕКОТОРЫЕ ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЙ ПЫРЕЯ ПОЛЗУЧЕГО

© 2015 Ю.В.Батова, Н.М.Казнина, Г.Ф.Лайдинен, А.Ф.Титов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт биологии Карельского научного центра РАН,

Петрозаводск (Россия)

Аннотация: в условиях вегетационного опыта изучено влияние свинца (400 мг/кг субстрата) на рост, содержание фотосинтетических пигментов и активность антиоксидантных ферментов у растений пырея ползучего (*Elytrigia repens (L.) Nevski.*). Установлено, что в присутствии свинца у растений тормозится рост корневой системы, но усиливается рост побегов и повышается содержание хлорофиллов. При этом в корнях пырея значительно возрастает активность супероксиддисмутазы, катала-

зы и гваяколовой пероксидазы, предотвращая развитие в клетках окислительного стресса вследствие накопления большого количества ионов металла. Сделан вывод о высокой устойчивости пырея ползучего к свинцу и о возможности использования растений данного вида для фитостабилизации почв, загрязненных этим металлом.

Ключевые слова: пырей ползучий, свинец, антиоксидантные ферменты.

Загрязнение почв тяжелыми металлами, наблюдаемое во многих странах мира, является одной из наиболее острых экологических проблем современности. В условиях сильного загрязнения нередко наблюдается частичная или даже полная деградация растительности и растительного покрова, что значительно усиливает распространение поллютантов за счет процессов выветривания или вымывания из почвенного слоя. Предотвратить подобные негативные явления можно путем создания искусственного растительного покрова, используя виды, участвующие в естественном зарастании нарушенных территорий. Одним из таких видов является пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski.) – многолетний корневищный злак, широко распространенный на территории России. В немногочисленных работах показано, что пырей может расти в присутствии высоких концентраций тяжелых металлов [1; 2]. Кроме того, он способен к интенсивному вегетативному размножению, что важно при восстановлении растительного покрова на загрязненных территориях. Однако механизмы, обеспечивающие высокую устойчивость растений данного вида к тяжелым металлам, практически не изучены. Поэтому целью данного исследования явилось изучение влияния свинца, как одного из наиболее распространенных и опасных загрязнителей почвы, на рост и ряд физиолого-биохимических показателей растений пырея.

С этой целью семена пырея ползучего проращивали в чашках Петри в лабораторных условиях при температуре воздуха 22° в течение 7 дней. Затем проростки высаживали в сосуды с песком объемом 1 дм³ и выращивали в условиях вегетационного опыта. Полив растений осуществляли половинным раствором Кнопа. При закладке опыта в сосуды добавляли нитрат свинца в концентрации (по элементу) 400 мг/кг субстрата. Данная концентрация, как следует из литературы [3], вызывает существенное ингибирование роста у многих видов растений. Спустя 40 дней оценивали влияние свинца на растения по ряду ростовых показателей (длина наиболее развитого корня, высота главного побега, сырая биомасса подземных и надземных органов), а также по содержанию фотосинтетических пигментов и активности антиоксидантных ферментов. Количество хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов определяли, экстрагируя их из листьев 80%-ным ацетоном [4] на спектрофотометре СФ-2000 (Россия). Параллельно спектрофотометрически определяли общую ак-

тивность супероксиддисмутазы (СОД) [5], каталазы (КАТ) [6] и гваяковой пероксидазы (ГВПО) [7]. Содержание белка анализировали по Bradford [8]. Содержание металла в органах измеряли методом инверсионной вольтамперометрии на полярографе АВС-1.1 (Россия). Биологическая повторность во всех вариантах опыта составляла не менее 10 растений, аналитическая повторность 3-5 кратная. В таблицах приведены средние арифметические значения и их стандартные ошибки по двум независимым опытам. Достоверность различий между опытом и контролем оценивали с помощью критерия Стьюдента ($P \leq 0.05$).

Анализ содержания в растениях пырея свинца показал, что с увеличением концентрации металла во внешней среде его содержание в корнях возрастает в 334 раза, в побегах – в 178 раз и достигает соответственно 174 и 3.6 мг/кг сырого веса.

Исследование также выявило, что в присутствии свинца тормозится рост корневой системы растений, тогда как высота побега и прирост надземной биомассы, наоборот, увеличиваются по сравнению с растениями контрольного варианта (табл. 1).

Таблица 1

Влияние свинца на рост и содержание фотосинтетических пигментов в растениях пырея ползучего

Показатель	Контроль	Pb ²⁺
Длина корня, см	17.7±1.2	10.5±0.3*
Высота побега, см	30.6±2.0	38.2±1.6*
Сырая биомасса корня, мг/растение	497.5±72.5	325.0±30.2*
Сырая биомасса побега, мг/растение	489.7±61.5	849.6±78.4*
Хлорофиллы (a + b), мг/г сырой массы	2.13±0.05	3.08±0.02*
Каротиноиды, мг/г сырой массы	0.63±0.03	0.59±0.02

* – различия с контролем достоверны при $P \leq 0.05$.

Кроме того, свинец вызывал повышение содержания хлорофиллов (на 45% по отношению к контролю). В литературе имеются сведения о стимулирующем влиянии свинца на рост и содержание фотосинтетических пигментов у некоторых видов растений [9; 10], причем у более устойчивых видов подобный эффект наблюдается при использовании более высоких концентраций металла. Используемая нами концентрация свинца превышает ПДК этого металла в почве в 13 раз и является токсичной для большинства растений [3]. Поэтому обнаруженное увеличение биомассы побега и содержания зеленых пигментов у опытных растений свидетельствует о высокой устойчивости пырея к свинцу.

Известно, что тяжелые металлы вызывают усиление образования активных форм кислорода (АФК) в клетках растений и развитию в них окислительного стресса. Важную роль в нейтрализации АФК играют антиоксидантные ферменты, поэтому от эффективности их действия во много зависит металлоустойчивость растений [11].

Нами установлено, что в присутствии свинца у растений пырея ползучего происходят значительные изменения в активности ферментов, участвующих в ликвидации АФК, причем характер этих изменений в подземных и надземных органах заметно различался (табл. 2). В корнях значительно возрастала активность всех изученных ферментов, в частности активность ГвПО повышалась в 2.7 раза, КАТ – в 5.0, а СОД – в 6.5 раз, соответственно.

Таблица 2

Влияние свинца на активность антиоксидантных ферментов в побегах и корнях растений пырея ползучего

Фермент	Контроль	Pb ²⁺
	Побег	
СОД	8.0±1.2	1.1±0.5*
КАТ	21.1±2.4	19.5±0.6
ГвПО	1.2±0.03	4.2±0.08*
	Корень	
СОД	4.2±2.1	27.8±3.6*
КАТ	18.1±0.9	97.0±9.5*
ГвПО	12.7±0.4	34.0±1.1*

* – различия с контролем достоверны при $P \leq 0.05$; СОД – активность супероксиддисмутазы в усл. ед./мг белка·мин, КАТ и ГвПО – активность каталазы и гваяколовой пероксидазы в мкМ/мг белка·мин.

Известно, что в условиях благоприятных для роста и развития растений уровень СОД в побегах, как правило, выше, чем в корнях. Это связано с тем, что в фотосинтезирующих клетках процессы образования АФК происходят более активно [11]. Значительное увеличение активности СОД в корнях, обнаруженное нами у пырея при действии свинца, говорит об усилении образования свободных радикалов и, очевидно, связано с накоплением большого количества ионов металла в клетках корня, поскольку высокая активность этого фермента является важным фактором защиты клетки от окислительного стресса [12]. Помимо активизации СОД нами обнаружено также существенное увеличение активности КАТ и ГвПО в корнях.

Известно, что СОД функционирует только на первом этапе антиоксидантной защиты, нейтрализуя супероксидрадикал с образованием перекиси водорода. Детоксикация же пероксида, который также облада-

ет высоким окислительным потенциалом, осуществляется благодаря КАТ и ГвПО [11]. Поэтому, обнаруженное нами согласованное повышение активности всех трех антиоксидантных ферментов в корнях пырея можно рассматривать как важный элемент защиты клеток от избытка АФК, обеспечивающий успешную адаптацию растений к росту в условиях повышенного содержания свинца в окружающей среде.

В побегах изменения активности этих ферментов носили иной характер, в частности было обнаружено увеличение активности ГвПО, активность КАТ не изменялась, а активность СОД существенно снижалась. Низкий уровень СОД в побегах говорит об отсутствии усиления окислительных процессов, что согласуется с полученными нами данными об усилении роста побегов и увеличении содержания фотосинтетических пигментов в листьях у пырея в присутствии свинца. Отметим также, что под влиянием свинца и в корнях, и в побегах пырея увеличивалась активность ГвПО. Возможно, это связано с участием данного фермента в биосинтеза лигнина [11]. Известно, что при воздействии тяжелых металлов у растений активизируются процессы лигнификации клеточных стенок, что позволяет защищать клетки от проникновения токсичных ионов [13]. Особенно это важно для так называемых растений-исключателей [1], к числу которых относится и пырей.

В целом, результаты исследования позволяют заключить, что пырей ползучий способен успешно расти в условиях загрязнения почвы высокими концентрациями свинца. При этом он накапливает в значительном количестве свинец в корнях, что говорит о возможности использования растений данного вида для фитостабилизации почв, загрязненных этим металлом. Судя по полученным данным важную роль в обеспечении высокой устойчивости пырея к свинцу играют ферменты антиоксидантной системы, осуществляющие защиту клеток от окислительного стресса, вызываемого действием токсичных ионов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РГНФ (грант 13-06-00414) и РФФИ (р_север_а 13-05-98817).

Литература

1. Титов А.Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск, 2007. 172 с.
2. Атабаева С.Д. Физиолого-биохимические основы действия тяжелых металлов на растения. Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Алматы. 2007. 38 с.
3. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М. 1989. 439 с.
4. Шлык А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биологические методы в физиологии растений. М., 1971. С. 154-170.

5. Beauchamp C., Fridovich I. Superoxide dismutase improved assays and an assay applicable to acrylamide gels // *Analytical Biochemistry*. 1971. V. 44. P. 276-287.
6. Aebi H. Catalase in vitro // *Method. Enzymol.* 1984. V. 105. P. 121-126.
7. Maehly A. C., Chance B. The assay of catalase and peroxidase // *Meth. Biochem. Anal.* 1954. V. 1. P. 357-424.
8. Bradford M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // *Anal. Biochem.* 1976. V. 72. P. 248-254.
9. Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф., Титов А.Ф., Таланов А.В. Влияние свинца на фотосинтетический аппарат однолетних злаков // *Известия РАН. Сер. биологическая*. 2005, № 2. С. 184-188.
10. Tang Y.T., Qiu R.L., Zeng X.W., Ying R.R., Yu F.M., Zhou X.Y. Lead, zinc, cadmium hyperaccumulation and growth stimulation in *Arabia paniculata* Franch // *Environ. Experiment. Bot.* 2009. V. 66. P. 126-134.
11. Полеская О.Г. Растительная клетка и активные формы кислорода / Под ред. И.П.Ермакова. М., 2007. 140 с.
12. Мерзляк М.Н. Активированный кислород и жизнедеятельность растений // *Соросовский образовательный журнал*. 1999. Т. 5. № 9. С. 20-26.
13. Lux A., Martinka M., Vaculík M., White P.J. Root responses to cadmium in the rizosphere: a review // *J. Exp. Bot.* 2011. V. 62, № 1. P. 21-37.

**EFFECT OF LEAD ON GROWTH AND SOME PHYSIOLOGICAL
AND BIOCHEMICAL PARAMETERS OF PLANTS
ELYTRIGIA REPENS (L.) NEVSKI.**

© 2015 Yu.V.Batova, N.M.Kaznina, G.F.Laydinen, A.F.Titov
*Federal State Institution of Science Institute of Biology, Karelian Research
Center, Petrozavodsk (Russia)*

Annotation: In a pot experiment to study the effect of lead (400 mg / kg of substrate) on the growth, photosynthetic pigments content and activity of antioxidant enzymes in plants *Elytrigia repens* (L.) Nevski. It was found that in the presence of lead in plants is inhibited root growth, but enhanced shoot growth and increases the content of chlorophyll. In the roots repens significantly increases the activity of superoxide dismutase, catalase and peroxidase gvyakolovoy, preventing the development of oxidative stress in the cells due to the accumulation of large amounts of metal ions. It is concluded that high resistance *Elytrigia repens* (L.) Nevski. to lead and the possibility of using this type of plant for fitostabilizatsii soils contaminated with these metals.

Keywords: *Elytrigia repens* (L.) Nevski., lead, antioxidant enzymes.