

УДК 633.13:57.044

ВЛИЯНИЕ Pb И Cd НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ *AVENA SATIVA* (POACEAE, LILIOPSIDA)

А. С. Петухов, Н. А. Хритохин, Г. А. Петухова, Т. А. Кремлева

*Тюменский государственный университет
Россия, 625003, Тюмень, Володарского, 6
E-mail: revo251@mail.ru*

Поступила в редакцию 26.10.2017 г., принята 27.11.2017 г.

Петухов А. С., Хритохин Н. А., Петухова Г. А., Кремлева Т. А. Влияние Pb и Cd на биохимические показатели *Avena sativa* (Poaceae, Liliopsida) // Поволжский экологический журнал. 2018. № 1. С. 49 – 59. DOI: 10.18500/1684-7318-2018-1-49-59.

Работа посвящена изучению изменения качества растительного сырья при транслокации Pb и Cd в ткани овса, выращенного в торфяной и песчаной почве при модельном загрязнении, а также влиянию накопления Pb и Cd на биохимический статус растений. Проростки овса активно аккумулировали внесенные металлы; при комбинированном действии Pb и Cd в органогенной почве был обнаружен синергизм элементов, а в минеральной – антагонизм. Выращивание овса посевного на равнозагрязненной органогенной и минеральной почве привело к большему накоплению исследуемых металлов в тканях растений в эксперименте с минеральной почвой. Особенно высокое содержание Pb и Cd было обнаружено в подземной части растений, находящейся в непосредственном контакте с токсикантами. Внесение Cd привело к стимуляции пигментов фотосинтеза и антиоксидантов, в то время как Pb вызвал повреждение клеточных мембран, снижение уровня флавоноидов и активности пероксидазы. В эксперименте с органогенной почвой наиболее эффективными антиоксидантами являлись флавоноиды и каталаза, а в эксперименте с минеральной почвой – пероксидаза и каротиноиды.

Ключевые слова: *Avena sativa*, транслокация, свинец, кадмий, антиоксиданты, перекисное окисление липидов.

DOI: 10.18500/1684-7318-2018-1-49-59

ВВЕДЕНИЕ

Качество растительного сырья зависит от условий, в которых оно выращивается. Загрязнение среды тяжелыми металлами является одним из основных источников накопления в растениях загрязнителей. Пути миграции тяжелых металлов в окружающей среде могут быть различны, но, как правило, они загрязняют почву и затем поступают в растительные ткани (Биоиндикация..., 1988). Одним из широко используемых в сельском хозяйстве растений является овёс посевной (*Avena sativa* L., 1753). Его используют как на корм животным, так и для производства продуктов питания, особенно детского и диетического. В связи с этим оценить степень накопления тяжелых металлов в овсе является одной из важных задач. Угнетение жизнедеятельности растений тяжелыми металлами связано с теми эффектами, которые они проявляют на клеточном уровне, оказывая влияние на различные биохимические показатели (Чеснокова и др., 2007).

Тяжелые металлы вызывают у растений сильный окислительный стресс, связанный с резким повышением уровня активных форм кислорода (АФК) в клетке (Blokina et al., 2003). Однако эффективная работа антиоксидантной системы, которая включает в себя целый ряд ферментов и низкомолекулярных соединений, в значительной степени инактивирует негативное действие тяжелых металлов на растения. Поэтому увеличение активности компонентов антиоксидантной системы является важным механизмом защиты клеток растений от влияния тяжелых металлов. Высокие концентрации тяжелых металлов приводят к потере способности антиоксидантов контролировать уровень АФК, что, в конечном счете, может привести к гибели клеток и растения в целом (Blokina et al., 2003; Shahid et al., 2014).

Целью работы стало изучение влияния транслокации Pb и Cd на биохимические параметры овса посевного.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для исследований стали проростки овса посевного как часто используемый в биотестировании объект. Среди тяжелых металлов было решено выбрать свинец и кадмий, поскольку они являются распространёнными и высокотоксичными поллютантами, поэтому исследование их транслокации является актуальной экологической задачей. Приведенные металлы взяли в виде ацетата свинца: $Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$ и сульфата кадмия: $3CdSO_4 \cdot 8H_2O$. Этот выбор обусловлен тем, что ацетат свинца растворим в воде, поэтому его использование должно гарантировать переход металла в ткани растений. Сульфат ионы в отличие от хлоридов и нитратов являются более инертными и не вызывают существенных пагубных или стимулирующих эффектов.

Для выращивания растений использовалась органогенная почва (торфосодержащий грунт) и минеральная почва (отмытый речной песок). Такой выбор был обусловлен различными механизмами удерживания ионов металлов в толще грунта. Уровень загрязнения почв марганцем был выбран на отметке в две ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) по валовому содержанию этого металла в почве (260 мг/кг для свинца и 4 мг/кг для кадмия) (Ориентировочно-допустимые концентрации, 2006). Выбор ориентировочно допустимой концентрации обусловлен тем, что фоновые содержания свинца в почвах часто превышают установленное значение ПДК в 30 мг/кг (Каббата-Пендиас, Пендиас, 1989), а значение ПДК для кадмия не установлено. Навески сульфатов (в пересчете на количество элемента) в виде порошка тщательно перемешивали с почвой, а затем помещали в нее семена овса.

В эксперименте было поставлено четыре варианта опыта:

1) контроль – семена овса были посажены в почву без внесения тяжелых металлов;

2) O1 – овёс находился в почве, загрязненной свинцом, в содержании, соответствующему 2 ОДК (260 мг/кг);

3) O2 – овёс находился в почве, загрязненной кадмием, в содержании, соответствующему 2 ОДК (4 мг/кг);

4) O3 – овёс находился в почве, загрязненной свинцом (260 мг/кг) и кадмием (4 мг/кг).

Каждый вариант опыта ставился в 10 параллелях, в каждой параллели использовалось для посева 30 семян овса. Объем емкости для выращивания растений составлял около 0.4 дм³.

Элементный анализ тканей овса на содержание свинца и кадмия (электротермическая и пламенная атомизация) проводился с использованием атомно-абсорбционного спектрофотометра «ContrAA 700» (Analytic Jena, Германия) (Методика определения, 1990). Содержание пигментов фотосинтеза, продуктов перекисного окисления липидов, флавоноидов, активность пероксидазы и каталазы определяли фотометрически с использованием прибора SmartSpec Plus (Bio-Rad, США), работающего в УФ- и видимом диапазоне (Шульгин, Ничипорович, 1974; Ермаков и др., 1987; Королук и др., 1988; Шведова, Полянский, 1992; Третьяков и др., 2000).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание свинца в проростках овса, выращенных на незагрязненной почве, находилось в пределах 3 – 6 мг/кг сухой массы (рис. 1), что согласуется с результатами, полученными другими авторами (Каббата-Пендиас, Пендиас, 1989). Загрязнение почвы ацетатом свинца в количестве 260 мг/кг приводило к резкому увеличению содержания этого элемента в растениях, с минимальным значением в 42 мг/кг (надземная часть) и максимальным – в 275 мг/кг (подземная часть). Несмотря на литературные сведения о малоподвижности свинца в почве, наблюдалась активная аккумуляция свинца овсом: в органогенной почве его накопление наблюдалось в 10 – 25 раз по сравнению с контролем, а в минеральной почве аккумуляция свинца в подземной части достигала 45 – 60 раз. Вероятно, это связано с внесением свинца в водорастворимой, ацетатной форме.

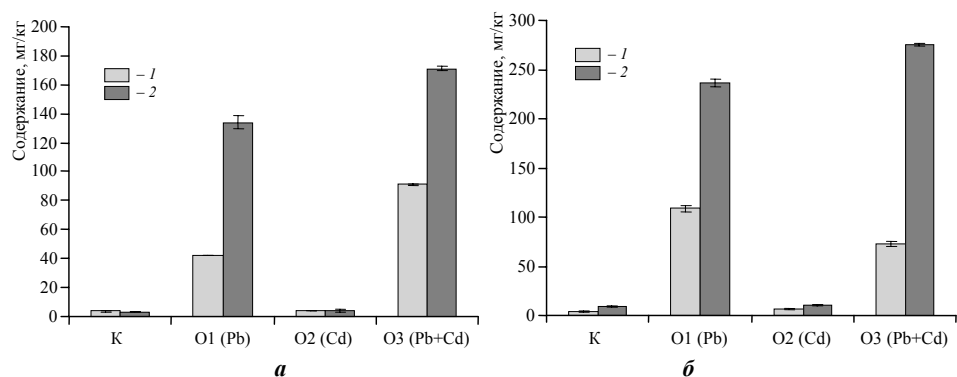


Рис. 1. Содержание Pb в тканях овса, выращенного в загрязненной органогенной (а) и минеральной (б) почве: 1 – надземная часть, 2 – подземная часть

Естественное содержание кадмия в проростках овса составляет 0.3 – 0.5 мг/кг (рис. 2). При модельном внесении сульфата кадмия в количестве 4 мг/кг (в расчете

на металл) содержание в растениях оказывалось в пределах от 7 до 55 мг/кг. Относительная аккумуляция кадмия составила 15 – 57 раз для надземной части. Аккумуляция в подземной части растений для органогенной почвы составляла 60 – 90 раз. В целом можно заключить, что аккумуляция кадмия происходит активнее, по сравнению со свинцом. Однако содержание свинца в контрольных растениях оказывается в 10 раз выше по сравнению с кадмием, а в проростках, выращенных на загрязненной почве, – в 3 – 6 раз.

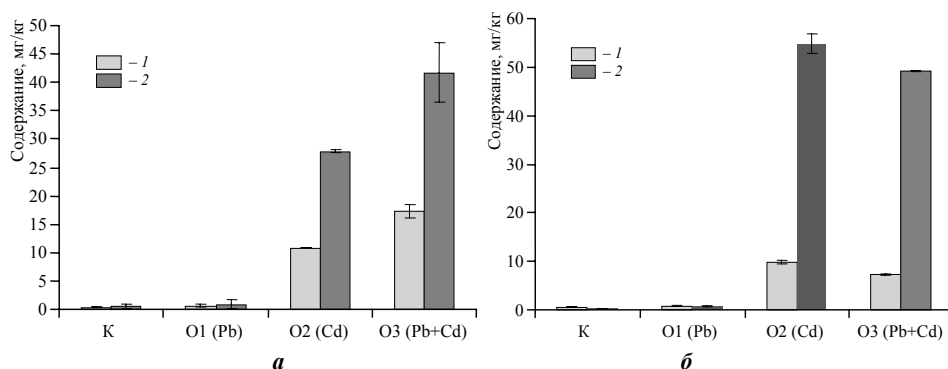


Рис. 2. Содержание Cd в тканях овса, выращенного в загрязненной органогенной (а) и минеральной (б) почве: 1 – надземная часть, 2 – подземная часть

При одновременном внесении свинца и кадмия в варианте O3 в органогенной почве наблюдался синергизм токсикантов: содержание свинца в надземной части оказывалось в 2 раза больше по сравнению с моноопытом, а содержание кадмия – на 60% больше. Для подземной части этот эффект был менее выражен и составлял +28% для свинца и +50% для кадмия. Более явное проявление синергизма для надземной части растения может указывать на то, что свинец и кадмий в условиях органогенной матрицы способствуют взаимному переносу из корневой части растений в надземную.

Синергизм может быть объяснен тем, что в органогенной почве для кадмия возможно комплексообразование с гумусовыми кислотами, что не характерно для свинца, который вступает в реакции ионного обмена с образованием преципитата. Поскольку в почвенной матрице металлы занимают различные ниши, то они не препятствуют взаимной транслокации. Также синергизм может быть объяснен с позиций физиологического стресса: свинец и кадмий являются ксенобиотиками, и при загрязнении почвы этими элементами вместе увеличивается нагрузка на проростки овса, что в итоге приводит к падению физиологических барьеров на пути транслокации металлов.

В эксперименте с минеральной почвой наблюдалась другая картина. Из-за отсутствия в ней гумусовых веществ кадмий не вступает в комплексообразование, и оба исследуемых элемента участвуют в ионном обмене, что обуславливает их конкуренцию и снижение содержания в растениях по сравнению с моноопытом.

Уменьшение содержания свинца составило 50%, а для кадмия – 40% (по надземной части). Для подземной части существенных эффектов антагонизма/синергизма обнаружено не было. В почвенной подземной части содержание токсикантов остается без явных изменений по сравнению с моноопытами, а для надземной части сказывается взаимное препятствие элементов в транслокации.

Содержание свинца и кадмия в подземной части оказывалось как минимум в 2 раза больше, чем в надземной части, а содержание кадмия в корнях в опыте с минеральной почвой было выше, чем в надземной части в 5 – 7 раз. По всей видимости, это объясняется вышеописанным антагонизмом свинца и кадмия: испытывая трудности в переносе в надземную часть, кадмий больше задерживается в подземной части. Склонность металлов оставаться в подземной части обусловлена тем, что корни выполняют барьерную функцию на пути в остальную часть растения, а также сведениями о высоком сродстве свинца и кадмия к клеточным стенкам в клетках корня (Каббата-Пендиас, Пендиас, 1989).

В целом транслокация металлов, особенно свинца, в условиях минеральной почвы выражена сильнее по сравнению с органогенной почвой. В минеральной почве для транслокации металлов существует меньше барьеров: нет гумусовых кислот, способных закомплексовать ионы металлов, меньше центров потенциальной адсорбции; также сказывается гранулометрический состав почвы: в песке характерный размер почвенных частиц меньше, следовательно, меньше удерживающая способность по отношению к металлам. Однако высокой потенциальной возможности транслокации металлов в минеральной почве препятствует их антагонизм, поэтому для кадмия содержание в надземной части в опыте с минеральной почвой оказывается ниже, чем в опыте с органогенной почвой.

Продукты перекисного окисления липидов являются индикатором биохимического повреждения клеток и стрессуемости организма. Было получено, что в условиях органогенной почвы, когда транслокация металлов затруднена гумусовыми кислотами, растения успешно справляются со стрессом активацией антиоксидантных систем, что нашло отражение в резком снижении содержания продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) в 2.5 – 4 раза (табл. 1, 2).

Таблица 1

Изменение биохимических параметров в клетках овса посевного при загрязнении органогенной почвы Pb и Cd

Показатель	Вариант опыта			
	К	O1 (Pb)	O2 (Cd)	O3 (Pb+Cd)
Хлорофилл <i>a</i> , мг/100 г	530±10	387±7*	1000±20*	650±10*
Хлорофилл <i>b</i> , мг/100 г	910±20*	720±10*	1910±10*	1180±20*
Каротиноиды мг/100 г	500±30	360±10*	960±10*	560±30
Основания Шиффа, усл. ед./мг липидов	0.2±0.02	0.3±0.03	0.4±0.01*	0.1±0.01*
Диеновы конъюгаты, усл. ед./мг липидов	8±0.6	2±0.2*	2±0.2*	3±0.2*
Содержание флавоноидов, г/100 г	0.8±0.03	0.8±0.04	1±0.07*	0.4±0.05*
Активность пероксидазы, отн. Ед./г	609±3	510±30*	690±30*	590±20
Активность каталазы, мкат/мл	7800±400	8000±700	6200±600*	1330±90*

Примечание. * – статистически достоверные различия между контролем и вариантом опыта (при $P \leq 0.05$).

В условиях минеральной почвы транслокация металлов обычно более выражена, поэтому успешно справиться со стрессом овсу удалось лишь при внесении небольшого количества кадмия, а внесение свинца в вариантах О1 и О3 приводит к повреждению клеточных мембран, что зафиксировано по увеличению содержания оснований Шиффа на 90% и диеновых конъюгатов на 40% соответственно.

Таблица 2

Изменение биохимических параметров в клетках овса посевного при загрязнении минеральной почвы Pb и Cd

Показатель	Вариант опыта			
	К	О1 (Pb)	О2 (Cd)	О3 (Pb+Cd)
Хлорофилл <i>a</i> , мг/100 г	535±7	830±20*	770±20*	450±20*
Хлорофилл <i>b</i> , мг/100 г	1000±20	1410±20 *	1370±20*	771±8*
Каротиноиды мг/100 г	465±8	725±9*	710±10*	400±10*
Основания Шиффа, усл. ед./мг липидов	0.6±0.1	1±0.2*	0.2±0.06*	0.7±0.06
Диеновые конъюгаты, усл. ед./мг липидов	4±0.3	3±0.2	0.4±0.01*	5±0.2*
Содержание флавоноидов, г/100 г	0.3±0.02	0.1±0.01*	0.3±0.08	0.8±0.07*
Активность пероксидазы, отн. Ед./г	410±10	327±1*	430±20	421±7
Активность каталазы, мкат/мл	3000±300	5600±300*	6800±300*	6900±300*

Примечание. * – статистически достоверные различия между контролем и вариантом опыта (при $P \leq 0.05$).

Содержание конечных продуктов перекисного окисления – оснований Шиффа – было ниже содержания первичных продуктов – диеновых конъюгатов – как минимум в 2 – 3 раза. Вероятно, это связано с небольшим сроком проведения эксперимента (две недели), и процесс перекисного окисления в этих условиях находится преимущественно на первоначальной стадии, а основания Шиффа не успевают существенно накапливаться в клетках.

Блокирование процесса перекисного окисления в клетках растений происходит с участием антиоксидантов, связывающих свободные радикалы. Для работы антиоксидантных систем растениям необходима энергия, которую они получают в ходе фотосинтеза.

Внесение в органомную почву свинца угнетает фотосинтетические пигменты (см. табл. 1). Кадмий стимулирует фотосинтез, увеличивая содержания пигментов до 2 раз, что обуславливает сниженное содержание продуктов ПОЛ. Комбинирование свинца и кадмия также приводит к увеличению содержания пигментов, видимо, из-за промотирующего действия кадмия. О способности кадмия при внесении его в почву в количестве 20 мг/кг активировать фотосинтетические пигменты сообщается в литературе (Масленников, 2013).

В минеральной почве растения испытывают бóльший стресс, поэтому внесение свинца увеличивает содержание хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов (выполняющих в том числе антиоксидантные функции) на 40 – 50% для энергетических нужд (см. табл. 2). Однако одновременное внесение свинца и кадмия приводит к подавлению фотосинтетического аппарата на 15 – 30%.

Содержание антиоксидантов фенольного ряда, флавоноидов, при внесении свинца уменьшается в 2 раза, поскольку известно, что свинец вступает с флаво-

ноидами в химическую реакцию с образованием желтых, красных и синих преципитатов (Kaizer et al., 2011). Использование кадмия вынуждает растения синтезировать флавоноиды для хелатирования ионов кадмия, что находится в согласии с результатами, полученными испанскими исследователями (Marquez-Garcia et al., 2012). Комбинирование свинца и кадмия для органогенной почвы снижает содержание флавоноидов, а для минеральной – повышает, что может быть связано с первоначальным их расходом в условиях органогенной почвы и синтезом в условиях минеральной почвы в связи с возрастающим стрессом (см. табл. 1, 2).

Активность пероксидазы снижается при внесении свинца на 20 – 25%, вероятно, из-за предотвращения перекисного окисления липидов (см. табл. 1, 2). Известен класс глутатионпероксидаз, имеющих в составе трипептид глутатион с серосодержащей аминокислотой цистеином. Ионы свинца, обладающие высокой халькофильностью, будут связываться с –SH группой в глутатионе и тем самым ингибировать пероксидазу. Кроме того, активным центром глутатионпероксидаз является селеноцистеин, с которым свинец также будет вступать во взаимодействие и дезактивировать фермент. О снижении активности пероксидазы в артишоке при действии свинца сообщается в (Sat, 2008).

Кадмий усиливает активность пероксидазы на 13% (см. табл. 1, 2), что согласуется с данными других исследователей (Еремченко и др., 2014). Усиление активности пероксидазы может быть связано с изменением ее компонентного состава. Ферменты находятся в клетках как в свободном, так и в связанном состоянии, а при действии стресса происходит увеличение доли свободных форм из-за освобождения связанных. Поскольку свинец и кадмий действуют на активность пероксидазы в различных направлениях, при их взаимном присутствии их эффекты компенсируются и отличия от контроля не было выявлено.

Активность другого ферментного антиоксиданта, каталазы, в опыте с органогенной почвой снижалась для первичного предотвращения перекисного окисления липидов, а в опыте с минеральной почвой увеличивалась из-за большего стресса растений (см. табл. 1, 2). Ранее сообщалось о росте активности каталазы при внесении свинца в клетках рапса (Hosseini et al., 2007). При этом величина изменений наибольшая среди всех изученных антиоксидантов, что может указывать на наибольшую чувствительность каталазы к свинцу и кадмию и ее роль в адаптации овса в условиях загрязнения этими элементами.

Для опыта с органогенной почвой было обнаружено, что между содержанием продуктов ПОЛ – основаниями Шиффа и флавоноидами, а также каталазой – есть прямая корреляция, что говорит о наибольшем вкладе этих антиоксидантов в защиту растений в ответ на стресс. Это подтверждается отрицательной корреляцией между содержанием свинца в растениях и содержанием флавоноидов и активностью каталазы ($R = -0.88$ и -0.80 соответственно). Содержание кадмия в надземной и подземной частях растений также отрицательно коррелировало с активностью каталазы ($R = -0.93$ и -0.92 соответственно). Вероятно, свинец и кадмий имеют высокую степень сродства к активным центрам этого фермента, и повышение их содержания в тканях растений приводит к ингибированию каталазы.

В условиях минеральной почвы наиболее эффективными антиоксидантами оказываются каротиноиды и пероксидаза: корреляция с продуктами ПОЛ – -0.75

и -0.88 соответственно. Между содержанием свинца и активностью пероксидазы также была обнаружена отрицательная корреляция ($R = -0.74$). В отличие от опыта с органомной почвой между содержанием кадмия и активностью каталазы обнаружена положительная корреляция. Вероятно, это обусловлено физиологической необходимостью растений активировать ферментную антиоксидантную защиту при повышении содержания токсичных поллютантов.

О том, что процесс перекисного окисления вызван накоплением металлов, свидетельствует положительная корреляция содержания свинца в надземной части растений с содержанием оснований Шиффа ($R = 0.87$) в эксперименте с минеральной почвой. Однако между содержанием кадмия и содержанием оснований Шиффа в опыте с минеральной почвой была зафиксирована отрицательная корреляция ($R = -0.71$). Возможно, это объясняется успешной активацией антиоксидантных систем в ответ на стресс, создаваемый этим элементом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Овёс, выращенный на загрязненной органомной и минеральной почве, накапливает в себе свинец и кадмий (до 90 раз), при этом относительное накопление кадмия более выражено. Большая часть металлов задерживается в корнях растения, это объясняется сродством элементов к клеточным стенкам в клетках корней. Транслокация металлов проходит активнее в опыте с минеральной почвой в связи с отсутствием фактора комплексообразования. Совместное присутствие свинца и кадмия в органомной почве проявляется в синергизме элементов, а в минеральной почве носит антагонистический характер из-за конкуренции металлов в процессах ионного обмена и ее отсутствия в органомной почве.

2. Проростки овса успешно справляются со стрессом от внесения кадмия в почву, при этом происходит резкая активация фотосинтетического аппарата (до двух раз), увеличение содержания флавоноидов, активности пероксидазы и каталазы. Свинец вызывает повреждение клеточных мембран и снижение содержания пигментов фотосинтеза (в отдельных случаях), снижение содержания флавоноидов и активности пероксидазы.

3. В эксперименте с органомной почвой наиболее эффективными антиоксидантами являются флавоноиды и каталаза, а в эксперименте с минеральной почвой – пероксидаза и каротиноиды, о чем свидетельствуют высокие коэффициенты корреляции.

4. При выращивании овса вблизи источников техногенного загрязнения необходимо учитывать тип почвы. Биохимический статус растений позволяет им справиться с поступающими загрязнителями за счет активации систем антиоксидантной защиты.

Авторы благодарят всех сотрудников лаборатории спектроскопии Института химии Тюменского государственного университета и лаборатории экотоксикологии Института биологии, которые содействовали выполнению данной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Биоиндикация загрязнений наземных экосистем. М. : Мир, 1988. 350 с.

ВЛИЯНИЕ Pb и Cd НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ *AVENA SATIVA*

Еремченко О. З., Кусакина М. Г., Голева Т. Н. Активность компонентов антиоксидантной защиты *Raphanus sativus* L. при выращивании на почве, загрязненной сульфатами свинца и кадмия // Вестн. Перм. ун-та. Биология. 2014. №1. С. 24 – 29.

Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П., Перуанский Ю. В., Луковникова Г. А., Иконникова М. И. Методы биохимического исследования растений. Л. : Агропромиздат, 1987. 456 с.

Каббата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М. : Мир, 1989. 440 с.

Королук М. А., Иванова Л. И., Майорова Н. О., Токарев В. Е. Метод определения активности каталазы // Лабораторное дело. 1988. № 1. С. 16.

Масленников П. В. Реакция антиоксидантной системы чины приморской на действие ионов кадмия // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2013. № 11. С. 67 – 70.

Методика определения содержания тяжелых металлов в золе растений. М. : Высш. шк., 1990. 32 с.

Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы. М. : Фед. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 11 с.

Третьяков Н. Н., Лосева А. С., Макрушин Н. М., Кошкин Е. И., Пильщикова Н. В., Новиков Н. Н., Карнаухова Т. В. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений. М. : Колос, 2000. 640 с.

Чеснокова Н. П., Понукалина Е. В., Бизенкова М. Н. Механизмы структурной и функциональной дезорганизации биосистем под влиянием свободных радикалов // Фундаментальные исследования. 2007. № 4. С. 110 – 121.

Шведова А. А., Полянский Н. Б. Метод определения конечных продуктов перекисного окисления липидов в тканях – флуоресцирующих шиффовых оснований // Исследование синтетических и природных антиоксидантов *in vitro* и *in vivo* / под ред. Е. Б. Бурлаковой. М. : Наука, 1992. С. 72 – 73.

Шульгин И. А., Ничипорович А. А. Расчет содержания пигментов с помощью номограмм // Хлорофилл. Минск : Наука и техника, 1974. С. 127 – 136.

Blokhina O., Virolainen E., Fagerstedt K. V. Antioxidants, oxidative stress and oxygen deprivation stress : a review // Annals of Botany. 2003. Vol. 91, spec. iss. P. 179 – 194.

Marquez-Garcia B., Angeles-Fernandez-Recamales M., Cordoba F. Effects of cadmium on phenolic composition and antioxidant activities of *Erica andevalensis* // J. of Botany. 2012. Vol. 2012, P. 936950. DOI: 10.1155/2012/936950.

Hosseini R. H., Khanlarian M., Ghorbanli M. Effect of Lead on Germination, Growth and Activity of Catalase and Peroxidase Enzyme in Root and Shoot of Two Cultivars of *Brassica napus* L. // J. of Biological Sciences. 2007. Vol. 7, iss. 4. P. 592 – 598.

Kaizer J., Pap J. S., Speier G. Iron and manganese-containing flavonol 2,4-dioxygenase mimics // On Biomimetics / ed. L. D. Pramatorova. Rijeka : Intech. 2011. P. 150 – 165. DOI: 10.5772/18656.

Sat I. G. The effect of heavy metals on peroxidase from Jerusalem artichoke tubers // African J. of Biotechnology. 2008. Vol. 7, № 13. P. 2248 – 2253.

Shahid M., Pourrut B., Dumat C., Nadeem M. Heavy-Metal-Induced Reactive Oxygen Species : Phytotoxicity and Physicochemical Changes in Plants // Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. 2014. Vol. 232. P. 1 – 44.

A. C. Петухов, Н. А. Хритохин, Г. А. Петухова, Т. А. Кремлева

**Pb AND Cd INFLUENCE ON BIOCHEMICAL INDICES
OF *AVENA SATIVA* (POACEAE, LILIOPSIDA)**

**Alexander S. Petukhov, Nikolay A. Khritokhin,
Galina A. Petukhova, and Tatiana A. Kremleva**

*Tyumen State University
6 Volodarskogo Str., Tyumen 625003, Russia
E-mail: revo251@mail.ru*

Received 26 October 2017, accepted 27 November 2017

Petukhov A. S., Khritokhin N. A., Petukhova G. A., Kremleva T. A. Pb and Cd Influence on Biochemical Indices of *Avena sativa* (Poaceae, Liliopsida). *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2018, no. 1, pp. 49–59 (in Russian). DOI: 10.18500/1684-7318-2018-1-49-59.

This work is devoted to studying of changes of vegetable raw under Pb and Cd translocation in the tissues of oat grown on turf and sand soils at model pollution, as well the impact of Pb and Cd accumulation on the biochemical status of plants. The oat germinants accumulated the introduced metals actively; at a combined action of Pb and Cd, synergism of the elements in the organogenic soil and antagonism in the mineral soil were revealed. Oat cultivation on equally contaminated organogenic and mineral soils led to a higher accumulation of the metals under study in plant tissues in the experiment with mineral soil. Especially high Pb and Cd contents were observed in the underground part of the plants which were in immediate contact with the toxicants. Introduction of Cd led to stimulation of the photosynthetic pigments and antioxidants, while Pb caused damage of cell membranes, a decreased flavonoid level and peroxidase inhibition. Flavonoids and catalase were the most effective antioxidants in the organogenic soil, while peroxidase and carotenoids were efficient in the mineral soil.

Key words: *Avena sativa*, translocation, lead, cadmium, antioxidants, lipid peroxidation.

DOI: 10.18500/1684-7318-2018-1-49-59

REFERENCES

- Bioindikation in terrestrischen Ökosystemen*. Moscow, Mir Publ., 1988. 350 S. (in Russian).
- Eremchenko O. Z., Kusakina M. G., Goleva T. N. The Influence of Soil Pollution by PbSO₄ and CdSO₄ on the Antioxidant system of *Raphanus sativus* L. *Bulletin of Perm University. Biology*, 2014, no. 1, pp. 24–29 (in Russian).
- Yermakov A. I., Arasimov V. V., Yarosh N. P., Peruansky Ju. V., Lukovnikova G. A., Ikonnikova M. I. *Methods of Biochemical Analysis of Plants*. Leningrad, Agropromizdat, 1987. 456 p. (in Russian).
- Kabata-Pendias A., Pendias H. *Trace Elements in Soils and Plants*. Moscow, Mir Publ., 1989. 456 p. (in Russian).
- Korolyuk M. A., Ivanova L. I., Mayorova N. O., Tokarev V. E. Method of Catalase Activity Determination. *Laboratornoe delo*, 1988, no. 1, pp. 16 (in Russian).
- Maslennikov P. V. Response of Sea Pea Antioxidant System to Cadmium Ions Effect. *Urgent Problems of Humanities and Natural Sciences*, 2013, no. 11, pp. 67–70 (in Russian).
- Method for Determination of Heavy Metals in Plant Ash*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1990. 32 p. (in Russian).

Approximately permissible concentrations of chemical substances in soil. Hygienic guidelines. Moscow, Federal Center of Hygiene and Epidemiology of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Well-Being Publ., 2006. 11 p. (in Russian).

Tretyakov N. N., Loseva A. S., Makrushin N. M., Koshkin E. I., Pilshikov N. V., Novikov N. N., Karnaukhova T. V. *Physiology and Biochemistry of Agricultural Plants.* Moscow, Kolos Publ., 2000. 640 p. (in Russian).

Chesnokova N. P., Ponukalina E. V., Bizenkova M. N. Mechanisms of structural and functional disorganization under free radicals influence. *Fundamental research*, 2007, no. 4, p. 110–121 (in Russian).

Shvedova A. A., Polyansky N. B. Method of Lipid Peroxidation end Products Determination in Plants – Fluorescent Schiff bases. In: *Research of Synthetic and Natural Antioxidants in vitro and in vivo.* Moscow, Nauka Publ., 1992, pp. 72–73 (in Russian).

Shulgin I. A., Nichiporovich A. A. Calculation of the Content of Pigments Using Nomo-grams. In: *Khlorofill.* Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1974, pp. 127–136 (in Russian).

Blokhina O., Virolainen E., Fagerstedt K. V. Antioxidants, Oxidative Stress and Oxygen Deprivation Stress: a Review. *Annals of Botany*, 2003, vol. 91, no. 2, pp. 179–194. DOI: 10.1093/aob/mcfl18.

Marquez-Garcia B., Angeles-Fernandez-Recamales M., Cordoba F. Effects of Cadmium on Phenolic Composition and Antioxidant Activities of *Erica andevalensis*. *J. of Botany*, 2012, vol. 2012, pp. 936950. DOI: 10.1155/2012/936950.

Hosseini R. H., Khanlarian M., Ghorbanli M. Effect of Lead on Germination, Growth and Activity of Catalase and Peroxidase Enzyme in Root and Shoot of Two Cultivars of *Brassica napus* L. *J. of Biological Sciences*, 2007, vol. 7, iss. 4, pp. 592–598.

Kaizer J., Pap J. S., Speier G. Iron and manganese-containing flavonol 2,4-dioxygenase mimics. *On Biomimetics.* Ed. L. D. Pramatorova. Rijeka, InTech, 2011, pp. 150–165. DOI: 10.5772/18656.

Sat I. G. The effect of heavy metals on peroxidase from Jerusalem artichoke tubers. *African J. of Biotechnology*, 2008, vol. 7, no. 13, pp. 2248–2253.

Shahid M., Pourrut B., Dumat C., Nadeem M. Heavy-Metal-Induced Reactive Oxygen Species: Phytotoxicity and Physicochemical Changes in Plants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 2014, vol. 232, pp. 1–44.