

**УДК 581.1:577.151:574.24**

## **АКТИВНОСТЬ АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ ПРОРАСТАЮЩИХ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НИТРАТА СВИНЦА**

*Решетник Г. В., Задиранова Н. С., Серов А. В.*

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия  
E-mail: levina.galya.60@mail.ru*

Изучено влияние широкого диапазона концентраций нитрата свинца на степень поступления воды в прорастающие семена озимой пшеницы *Triticum aestivum* L. сорта Куяльник, на показатели прорастания семян и активность каталазы и пероксидазы. Показано, что металл оказывал достоверно негативное влияние на водопоступление, энергию прорастания и всхожесть семян пшеницы при высоких концентрациях соли ( $10^{-2}$ – $10^{-3}$ М). Низкие дозы свинца не оказывали столь негативного влияния на данные показатели. Ответная реакция прорастающих семян на действие разных концентраций соли свинца проявляется в снижении активности ферментов каталазы и пероксидазы. Со временем прорастания семян активность ферментов повышалась во всех вариантах опыта. На третьи сутки наблюдалось снижение функционирования антиоксидантных ферментов по сравнению с контролем, особенно пероксидазы.

**Ключевые слова:** семена пшеницы (*Triticum aestivum* L.), антиоксидантные ферменты, пероксидаза, каталаза, нитрат свинца.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Возрастающее антропогенное воздействие и рост промышленности в последнее время способствуют значительному накоплению тяжелых металлов в окружающей среде. Эта проблема усугубляется тем, что тяжелые металлы не разлагаются и содержание их в среде со временем все возрастает. Тяжелые металлы по своей токсичности и степени опасности уступают первенство только пестицидам. Накопление поллютантов в верхних слоях почвенного покрова непосредственно влияет на ростовые показатели растений [1], минеральное питание и водный обмен [2], приводит к изменению метаболических процессов в клетке [3]. Однако при низких концентрациях тяжелые металлы выполняют роль микроэлементов, которые необходимы для нормального физиологического роста и развития растений.

Среди опасных токсикантов для окружающей среды – соединения свинца. Свинец широко используется в производстве аккумуляторов, оболочек электрических кабелей, медицинской техники, хрустала, оптического стекла, красок, в сельскохозяйственном производстве загрязнение почвы связано с использованием удобрений и пестицидов. Транспортные средства являются одним из главных источников свинцового загрязнения. Около 60–70 % всех выбросов в

атмосферу свинца связано с использованием свинецсодержащего бензина. По данным Лепневой и Обухова [4], содержание свинца вблизи автомагистралей в десятки, а иногда и в сотни раз превышает фоновые значения. Сельское хозяйство полуострова Крым базируется на выращивании зерновых культур. Основные сельскохозяйственные угодья сосредоточены вдоль автострад полуострова, что сказывается на аккумуляции поллютантов в почве, следствием чего является снижение урожайности.

Свинец присутствует в составе всех растительных организмов, но его функциональная роль и механизмы действия недостаточно выяснены.

Действуя на растительный организм, тяжелые металлы вызывают окислительный стресс, в результате чего образуются активные формы кислорода (АФК), которые разрушают структуру клетки ее компонентов [5]. Особое место в защитных реакциях растений на действие тяжелых металлов принадлежит антиоксидантным ферментам, активность которых значительно возрастает в этих условиях [6–9]. Это приводит к нейтрализации свободных радикалов и пероксидов, которые образуются под влиянием ТМ и оказывают повреждающее действие на клетки [8], что в свою очередь способствует повышению устойчивости.

Целью данной работы явилось изучение влияния нитрата свинца возрастающих концентраций на активность каталазы и пероксидазы в прорастающих семенах озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Куяльник.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования использовали семена озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Куяльник. Исследования проводили в лабораторных условиях. Семена пшеницы отбирали по средним размерам и протравливали в течение 15 минут в 1% растворе перманганата калия с целью поверхностной стерилизации. Затем семена промывали дистиллированной водой. После протравливания семена по 100 штук помещали в кюветы на фильтровальную бумагу, смоченную водой. Соль нитрата свинца, хорошо растворимая в воде, была использована в качестве источника ионов свинца. В каждую кювету приливали по 250 мл раствора различной концентрации нитрата свинца ( $10^{-2}$ – $10^{-5}$ М). Контролем служила отстоянная водопроводная вода. Семена проращивали в термостате типа ТС-80М-2 в темноте при температуре +20 °С.

Энергию прорастания определяли на третьи сутки со дня закладки опыта, всхожесть – на седьмые согласно ГОСТу 12038-84 [10]. Степень набухания семян определяли по методике У. Руге в изложении О. А. Вальтера [11]. Активность пероксидазы определяли методом, основанном на определении скорости реакции окисления бензидина под действием пероксидазы, содержащейся в растениях, до образования продукта окисления синего цвета определенной концентрации [12]. Активность каталазы определяли газометрическим методом [13]. Сущность метода заключается в определении объема кислорода после прибавления к водному экстракту, содержащему каталазу, перекиси водорода. Повторность опытов – трехкратная. Полученные экспериментальные данные обработаны с помощью методов математической статистики [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Метаболические процессы, протекающие в прорастающих семенах, оказывают влияние на состояние формирующихся проростков, на посевные качества семян и на конечную продуктивность растений. В период прорастания проходят следующие этапы: активация метаболизма, подготовка к росту растяжением, собственно рост органов проростка [15]. В результате проведенных исследований было установлено, что водопоступление в семена пшеницы характеризуется наличием кривой набухания, имеющей классический S-образный вид (рис. 1).

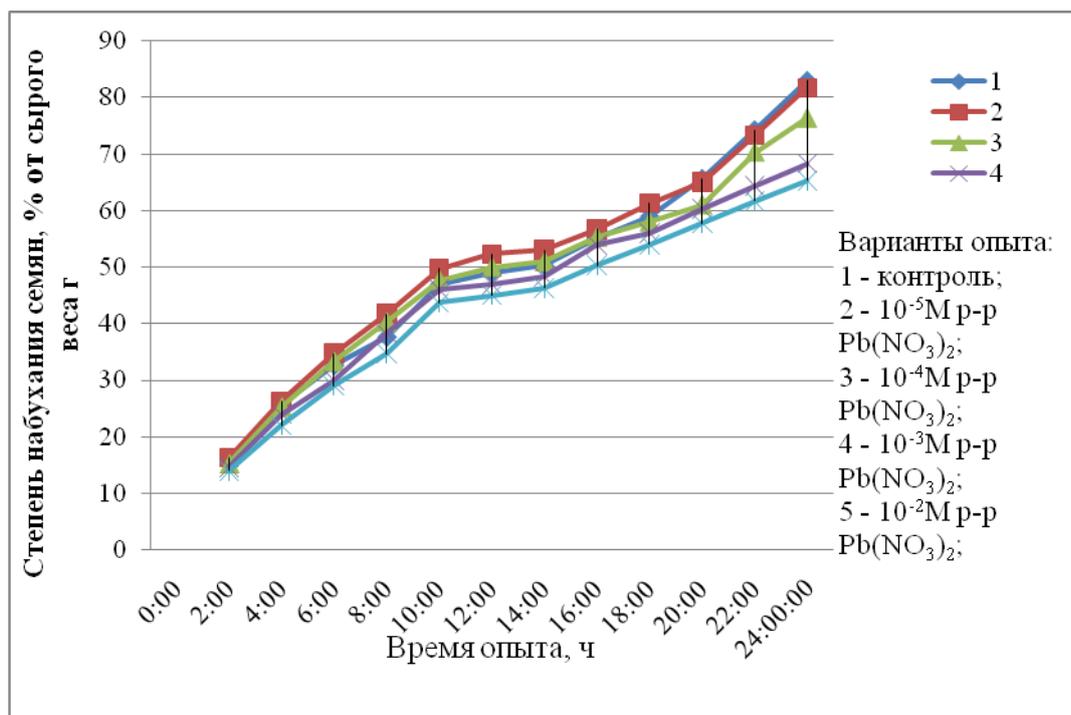


Рис. 1. Степень набухания семян пшеницы при прорастании.

В ходе исследования было установлено, что степень набухания семян пшеницы зависит от концентрации металла. Так, степень набухания семян в варианте с концентрацией нитрата свинца 10<sup>-5</sup>М и 10<sup>-4</sup>М достоверно не отличалась от значений в контрольном варианте. В растворе нитрата свинца с концентрацией 10<sup>-4</sup>М лишь спустя 20 часов опыта наблюдается снижение интенсивности водопоступления под действием ионов поллютанта в среднем на 4,3 % по сравнению со значениями контрольного варианта. Уровень оводненности семян снижается с увеличением количества свинца в среде произрастания. Максимальная концентрация нитрата свинца (10<sup>-2</sup>М) снижает степень набухания семян в целом на 17,7 %, 10<sup>-3</sup>М – на 14,7 %.

Энергия прорастания и всхожесть – это одни из важнейших показателей, которые характеризуют потенциальную способность семян к прорастанию. Результаты влияния различных концентраций нитрата свинца на показатели прорастания семян представлены в таблице 1. Установлено, что показатели прорастающих семян пшеницы меняли свои значения с повышением концентрации. Соли свинца максимальной концентрации ( $10^{-1}$ М) полностью ингибировали прорастание зерновок пшеницы. В растворе нитрата свинца с  $10^{-2}$ М концентрацией энергия прорастания составила 63 %, а всхожесть – 71 %, что ниже контрольных показателей на 33 % и 26 % соответственно. С понижением концентрации металла, значения показателей прорастания семян увеличиваются. При минимальной концентрации нитрата свинца ( $10^{-5}$ М) энергия прорастания и всхожесть семян пшеницы идентичны контрольным значениям.

**Таблица 1**  
**Влияние нитрата свинца на энергию прорастания и всхожесть семян пшеницы сорта Куяльник**

Варианты опыта	Энергия прорастания, %	% к контролю	Всхожесть, %	% к контролю
контроль	96,0±3,7	100,0	97,0±2,3	100,0
$10^{-1}$ М	0	0	0	0
$10^{-2}$ М	63,0±3,5***	76,0	71,0±3,1***	77,3
$10^{-3}$ М	79,0±2,0**	82,3	82,0±3,8**	84,5
$10^{-4}$ М	92,0±2,2	95,8	93,0±1,5	95,9
$10^{-5}$ М	97,0±1,8	101,0	97,0±2,4	100,0

*Примечание:* указаны средние ± стандартная ошибка средней; звездочками отмечены достоверные различия по сравнению с контролем при \* $P \leq 0,05$ ; \*\* $P \leq 0,01$ ; \*\*\* $P \leq 0,001$ .

Реакцией растений на действие поллютантов является активация ферментов антиоксидативной защиты. Каталазе и пероксидазе принадлежит выполнение главной функции в регуляторной деятельности клетки, так как именно этими ферментами элиминируется избыток перекиси водорода, образующийся при действии стрессовых факторов [16]. По увеличению активности данных ферментов вследствие их накопления в растении можно судить о проявлении защитной реакции клеток к действию свинца.

Данные о влиянии тяжелых металлов на активность антиоксидантных ферментов весьма противоречивы. Ряд авторов указывает на увеличение активности ферментов в присутствии относительно высоких концентраций тяжелых металлов [17], тогда как другие обнаружили ее снижение [18, 19]. Полагают, что такие различия могут быть связаны с разной интенсивностью и длительностью стрессового воздействия, а также видовыми особенностями растений [16]. Однако многие исследователи считают, что устойчивые к стрессовому воздействию виды растений отличаются большей активностью антиоксидантных ферментов.

При изучении действия ионов свинца на активность фермента каталазы в прорастающих семенах пшеницы было обнаружено, что со временем прорастания семян увеличивается активность фермента во всех вариантах опыта (рис. 2). При повышении содержания свинца в среде произрастания активность фермента заметно снижается. Так, на первые сутки исследования активность фермента во всех вариантах опыта повышена по сравнению с контролем, особенно при концентрации металла  $10^{-5}$ М. В данном варианте активность фермента выше контроля в 2,25 раза. В варианте с максимальной концентрацией свинца  $10^{-2}$ М активность каталазы на 21 % выше показаний в контрольном варианте.

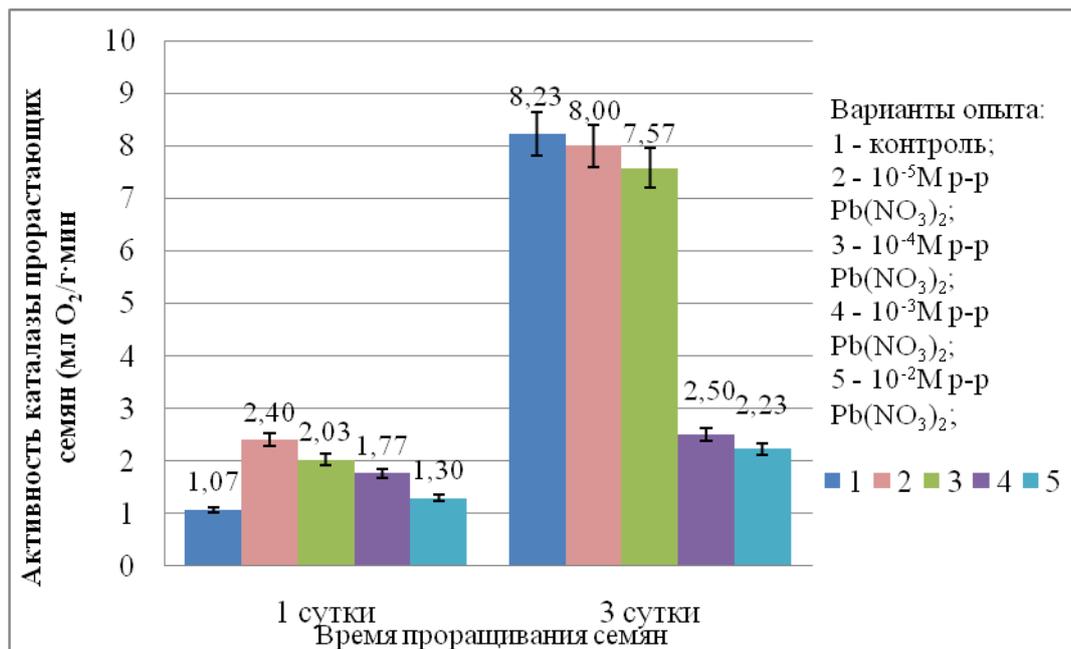


Рис. 2. Активность каталазы в прорастающих семенах пшеницы при воздействии нитрата свинца различной концентрации.

Активность фермента на третьи сутки повысилась во всех вариантах опыта, однако значения были ниже контрольных показаний. В прорастающих семенах при максимальной концентрации свинца активность каталазы уменьшилась в 4 раза по отношению к контролю. Данные эксперимента согласовываются с литературными данными. В опытах М. Г. Половниковой и О. Л. Воскресенской [21], О. З. Еремченко и др. [22] при усилении загрязнения среды поллютантами наблюдалось снижение активности каталазы. Предполагаем, что адаптация прорастающих семян к повышенным дозам свинца осуществляется за счет других антиоксидантов.

В реализации адаптационного потенциала отводится особая роль пероксидазам, которые восстанавливают перекись водорода до воды, окисляя при этом различные

соединения. Изучение активности пероксидазы – важный факт оценки противострессового ответа на воздействие ионов свинца.

Проведенные исследования показали, что активность пероксидазы за время прорастания семян была ниже контрольных значений во всех вариантах опыта (рис. 3). На первые сутки прорастания семян пшеницы максимальные концентрации ( $10^{-2}$  –  $10^{-3}$ М) нитрата свинца угнетали активность фермента в среднем на 33 %, а на третьи сутки при сублетальной дозе металла ( $10^{-2}$ М) активность пероксидазы почти полностью тормозилась. Её значения были ниже в 1,6 раза от активности фермента на первые сутки прорастания семян. При концентрации поллютанта  $10^{-3}$ М активность энзима достоверно не изменялась от начала прорастания семян. На порядок ниже содержание металла в среде произрастания ( $10^{-4}$ М) способствовало уменьшению активности фермента в среднем в 1,35 раза на протяжении всего эксперимента.

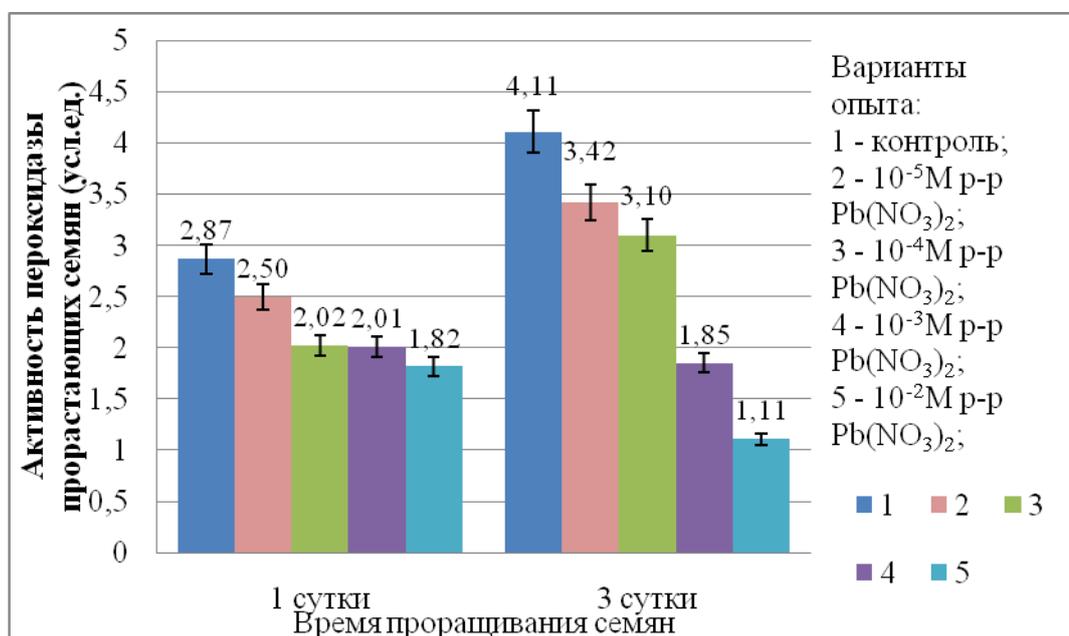


Рис. 3. Активность пероксидазы в прорастающих семенах пшеницы под действием нитрата свинца различных концентраций.

Минимальное количество нитрата свинца в среде произрастания семян ( $10^{-5}$ М) незначительно повлияло на активность фермента. На первые сутки значения ниже контрольных на 13 %, а на третьи – на 17 %.

Таким образом, активность пероксидазы по сравнению с активностью каталазы значительно меньше. Увеличение активности каталазы, по всей видимости, отражает естественный ответ растения на избыток свободных радикалов при подавленной функции пероксидазы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что при повышенных концентрациях свинца происходит торможение деятельности антиоксидантных ферментов, как каталазы, так и пероксидазы, особенно при сублетальных дозах металла. Возможно, уменьшение активности изучаемых ферментов обусловлено достаточно высоким уровнем перекиси водорода и изучаемая нами система антиоксидантной защиты не может полностью обезвреживать свободные радикалы и перекиси при высоких концентрациях свинца.

Из литературных данных известно, что двухвалентные ионы тяжелых металлов в высоких концентрациях способны частично или полностью вытеснить металлы из активного центра ферментов, в результате чего ферменты утрачивают свою активность. В случае пероксидазы происходило, по-видимому, вытеснение железа из молекул фермента ионами свинца, что и приводило к значительному ингибированию пероксидазной активности в прорастающих семенах пшеницы. Активность каталазы снижалась вследствие поступления ионов свинца внутрь пероксисом, где сосредоточен большой пул каталазы, и дальнейшего вытеснения ионами свинца железа из активного центра.

В нашей работе результаты исследования активности каталазы и пероксидазы прорастающих семян озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Куяльник не согласовываются с опубликованными данными других исследователей, что, вероятно, обусловлено сортовыми особенностями озимой пшеницы.

## Список литературы

1. Серегин И. В. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения / И. В. Серегин, В. Б. Иванов // Физиология растений. – 2001. – Т. 48, № 4. – С. 606–630.
2. Титов А. Ф. Тяжелые металлы и растения / А. Ф. Титов, Н. М. Казнина, В. В. Таланова. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2014. – 194 с.
3. Мазей Н. Г. Влияние ионов  $Cd^{2+}$  и  $Pb^{2+}$  на рост и развитие растений пшеницы / Н. В. Мазей // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Серия: Естественные науки. – 2008. – № 10 (14). – С. 33–38.
4. Обухов А. И. Состояние свинца в системе почва–растение в зонах влияния автомагистралей / А. И. Обухов, О. М. Лепнева // Свинец в окружающей среде / Под ред. Добровольского В. В. – М.: Наука, 1987. – С. 149–165.
5. Сазанова К. А. Генерация супероксидного анион–радикала в листьях растений при хроническом действии тяжелых металлов / К. А. Сазанова, Д. И. Башмакова, А. С. Лукаткин // Труды КарНЦ РАН. Серия: Экспериментальная биология. – 2012. – № 2. – С. 119–124.
6. Балахина Т. И. Влияние кадмия на  $CO_2$ -газообмен, переменную флуоресценцию хлорофилла и уровень антиоксидантных ферментов в листьях гороха / Т. И. Балахина [и др.] // Физиология растений. – 2005. – Т. 52, № 1. – С. 21–26.
7. Холодова В. П. Адаптация к высоким концентрациям солей меди и цинка растений хрустальной травки и возможность их использования в целях фиторемедиации / В. П. Холодова, К. С. Волков, Вл. В. Кузнецов // Физиология растений. – 2005. – Т. 52, № 6. – С. 848–858.
8. Деви С. Р. Антиокислительная активность растений *Brassica juncea*, подвергнутых действию высоких концентраций меди / С. Р. Деви, М. Н. В. Прасад // Физиология растений. – 2005. – Т. 52, № 2. – С. 233–237.
9. Яруллина Л. М. Влияние тяжелых металлов на активность анти-оксидантных ферментов растений пшеницы / Л. М. Яруллина // Материалы Международного молодежного научного форума «Ломоносов – 2011», Москва, 11–15 апр., 2011. Секц. Биология. – 2011. – С. 315–316.

10. ГОСТ 12038–84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести (с Изменениями N 1, 2). Требования – Введ. 1986–06–30. – М.: Межгосударственный стандарт: Изд-во стандартов, 2011. – 29с.
11. Вальтер О. А. Практикум по физиологии растений с основами биохимии / О. А. Вальтер, Л. М. Пиневиц, Н. Н. Варасов – М.: Гос. Изд-во сельскохоз. лит-ры, 1959. – 258 с.
12. Бояркин А. Н. Быстрый метод определения активности пероксидазы // А. Н. Бояркин // Биохимия. – 1951. – Т.16, вып. 4. – С. 352–355.
13. Третьяков Н. Н. Практикум по физиологии растений / Н. Н. Третьяков, Т. В. Карнаухова, Л. А. Паничкин – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
14. Протасов К. В. Статистический анализ экспериментальных данных / К. В. Протасов – М: Мир, 2005. – 232 с.
15. Обручева Н. В. Физиология инициации прорастания семян / Н.В. Обручева, О. В. Антипова // Физиология растений. – 1997. – Т. 44, №2. – С. 287–302.
16. Карташов А. В. Роль систем антиоксидантной защиты при адаптации дикорастущих видов растений к солевому стрессу / А. В. Карташов [и др.] // Физиология растений. – 2008. – Т. 55, № 4. – С. 516–522.
17. Nouairi I. Antioxidant defense system in leaves of Indian mustard (*Brassica juncea*) and rape (*Brassica napus*) under cadmium stress / Nouairi I., Ben Ammar W., Ben Youssef N., Ben Miled D. D., Ghorbal N. H., Zarrouk M. // *Acta Physiol. Plant.* – 2009. – Vol. 31, No 2. – P. 237–247.
18. Hu Y. Cadmium toxicity and translocation in rice seedlings are reduced by hydrogen peroxidase pretreatment / Hu Y., Ge Y., Zhang C., Ju T., Cheng W. // *J. Plant Growth Regul.* – 2009. – Vol. 59. – P. 51–61.
19. Amirjani M. R. Effects of cadmium on wheat growth and some physiological factors / Amirjani M. R. // *Int. J. Forest Soil Erosion.* – 2012. – Vol. 2, No 1. – P. 50–58.
20. Половникова М. Г. Изменение активности компонентов системы антиоксидантной защиты и полифенолоксидазы у газонных растений на разных этапах онтогенеза в условиях городской среды / М. Г. Половникова, О. Л. Воскресенская // Физиология растений. – 2008. – Т. 55, № 5. – С. 777–785.
21. Еремченко О. З. Активность компонентов антиоксидантной защиты *Raphanus Sativus* L. при выращивании на почве, загрязненной сульфатами свинца и кадмия / О. З. Еремченко, М. Г. Кусакина, Т. Н. Голева // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. – 2014. – Вып. 1. – С. 24–29.

## **THE ACTIVITY OF ANTIOXIDANT ENZYMES IN GERMINATING WHEAT SEEDS (*TRITICUM AESTIVUM* L.) UNDER THE IMPACT OF LEAD NITRATE**

***Reshetnik G. V., Zadiranova N. S., Serov A. V.***

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation  
E-mail: levina.galya.60@mail.ru*

First obtained results the influence of increasing concentrations of lead nitrate on the rate of entry of water into germinating seeds, germination energy and germination of winter wheat seeds (*Triticum aestivum* L.) varieties Kuyalnik. The obtained data of activity of enzymes of the antioxidant defense system (catalase and peroxidase) in germinating seeds exposed to lead nitrate. It is established that with increasing concentration of lead ions in the medium enhanced the growth inhibitory effect on the extent of the flow of water in wheat seeds, germination energy and germination of seeds. When the maximum metal concentration ( $10^{-2}$ M) the flow of water is slowed by 18 %,

germination energy by 33 %, laboratory germination – by 26 %. Low doses of lead had not had such a negative impact on these indicators.

The response of germinating seeds on the effect of different concentrations of salts of lead is to reduce the activity of enzymes catalase and peroxidase. With the time of seed germination the enzyme activity increased in all variants of experience. On the third day, there was a decrease functioning of antioxidant enzymes compared with the control, particularly peroxidases. In the variant with a maximum lead concentration of  $10^{-2}$ M catalase activity 21 % higher readings in the control variant during the first day, and on others the activity of catalase decreased in 4 times compared to control. The activity of peroxidase during the germination of the seeds was below control values in all variants of experience.

**Keywords:** wheat seeds (*Triticum aestivum* L.), antioxidant enzymes, peroxidase, catalase, lead nitrate.

### References

1. Serejogin I. V., Ivanov V. B. Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants, *Russian Journal of Plant Physiology*, **48**, **4**, 606 (2001).
2. Titov A. F., Kaznina N. M., Talanova V. V. *Heavy metals and plants*, 194 (Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2014).
3. Mazei N. G. Influence of  $Cd^{2+}$  and  $Pb^{2+}$  ions on growth and development of wheat plants, *Proceed. of Penza State Pedagogical Un. Series: Natural Sciences*, **10** (**14**), 33 (2008).
4. Obukhov A. I., Lepneva O. M. *The state of Lead in the soil – plant system in zones of impact from highways*, Lead in the Environment ed.by V. V. Dobrovolsky, 149 (M.: Nauka, 1987).
5. Sazanova K. A., Bashmakov D. I., Lukatkin A. S. *Generation of superoxide anion radical in plants leaves under chronic influence of heavy metals*, **2**, 119 (Trans. of KarRC of RAS., 2012).
6. Balakhnina T. I., Kosobryukhov A. A., Ivanov A. A., Kreslavskii V. D. The effect of cadmium on  $CO_2$  exchange, variable fluorescence of chlorophyll, and the level of antioxidant enzymes in pea leaves, *Russian Journal of Plant Physiology*, **52**, **1**, 15 (2005).
7. Kholodova V. P., Volkov K. S., Kuznetsov V. V. Adaptation of the common ice plant to high copper and zinc concentrations and their potential using for phytoremediation, *Russian Journal of Plant Physiology*, **52**, **6**, 748 (2005).
8. Devi S. R., Prasad M. N. V. Antioxidant Capacity of Brassica juncea Plants Exposed to Elevated Levels of Copper, *Russian Journal of Plant Physiology*, **52**, **2**, 233 (2005).
9. Yarullina L. M. The Influence of heavy metals on the activity of antioxidant enzymes of wheat plants *Proceedings of the International youth scientific forum "Lomonosov – 2011", Moscow, 11-15 apr., 2011. Section. Biology*, 315 (2011).
10. GOST 12038-84. The agricultural seeds. Methods for determination of germination (with a change in N 1, 2). Available at: [http://docs.nevacert.ru/files/gost/gost\\_12038-1984.pdf](http://docs.nevacert.ru/files/gost/gost_12038-1984.pdf)
11. Walter O. A., Pinevich L. M., Varas N. N. *Workshop on the basics of plant physiology biochemistry*, 258 (SPAL, 1959).
12. Boyarkin A. Rapid method for peroxidase activity determination, *Biokhimiya*, **16**, **4**, 352 (1951).
13. Tretyakov N. N. *Workshop on Plant Physiology*, 287 (Moscow, Kolos, 1990).
14. Protasov K. V., *The statistical analysis of experimental data*, 232 (World, Moscow, 2005).
15. Obrucheva N. V., Antipova O. V. Physiology initiation of seed germination. *Fiziologiya rasteniy*, **44**, **2**, 287 (1997).
16. Kartashov A. V., Radyukina N. L., Ivanov Yu V., Pashkovskii P. P., Shevyakova N. I., Kuznetsov V. V. Role of antioxidant systems in wild plant adaptation to salt stress, *Russian Journal of Plant Physiol*, **55**, **4**, 516 (2008).

17. Nouairi I., Ben Ammar W., Ben Youssef N., Ben Miled D. D., Ghorbal N. H., Zarrouk M. Antioxidant defense system in leaves of Indian mustard (*Brassica juncea*) and rape (*Brassica napus*) under cadmium stress, *Acta Physiol. Plant*, **31**, **2**, 237 (2009).
18. Hu Y., Ge Y., Zhang C., Ju T., Cheng W. Cadmium toxicity and translocation in rice seedlings are reduced by hydrogen peroxidase pretreatment, *J. Plant Growth Regul.*, **59**, 51 (2009).
19. Amirjani M. R. Effects of cadmium on wheat growth and some physiological factors, *Int. J. Forest Soil Erosion*, **2**, **1**, 50 (2012).
20. Polovnikova M. G., Voskresenskaya O. L. Activities of antioxidant system components and polyphenol oxidase in ontogeny of lawn grasses under megapolis conditions, *Russian Journal of Plant Physiol.*, **55**, **5**, 777 (2008).
21. Eremchenko O. Z., Kusakina M. G., Goleva T. N. The influence of soil pollution by  $PbSO_4$  and  $CdSO_4$  on the antioxidant system of *Raphanus sativus* L. *Perm University Bulletin. Series: Biology*, **1**, 24 (2014).