

ТОКСИЧНОСТЬ ЛАНТАНА И ЦЕРИЯ В УСЛОВИЯХ БИОТЕСТА С ЛУКОМ РЕПЧАТЫМ (*ALLIUM SEPA*)

© 2017 г. А. Д. Котельникова^{1,2}, И. А. Фастовец^{1,2},
О. Б. Рогова¹, В. В. Столбова²

¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева,
Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7

²МГУ им. М.В. Ломоносова,
Россия, 119991, Москва, ул. Ленинские горы, 1
e-mail: a.d.kotelnikova@gmail.com

Поступление редкоземельных элементов в почву сопряжено с определенными экологическими рисками, а отсутствие нормативов содержания в объектах окружающей среды вызывает необходимость оценки влияния на биоту. Использование биотестов позволяет не только выявить потенциальную интегральную токсичность по изменению ростовых показателей, но также охарактеризовать влияние исследуемого вещества на генетический аппарат клеток тест-объекта. В настоящем исследовании использовали тест-систему с луком репчатым (*Allium sepa* L.) для характеристики интегральной фитотоксичности, а также цито- и генотоксичности хлоридов лантана и церия. Тестировали следующие концентрации лантана: 0 (контроль), 10, 20, 50, 100 и 200 мг/л; для церия испытывали несколько меньшие дозы: 0 (контроль), 2, 5, 10, 30 и 50 мг/л. Показано значимое уменьшение доли делящихся клеток (митотического индекса) для всех исследованных концентраций лантана и концентраций церия 5 мг/л и более. Частота встречаемости патологий митоза по сравнению с контролем была значимо больше для концентраций 50 мг/л при тестировании растворов лантана и церия, что свидетельствует о генотоксичности этих редкоземельных элементов. Уменьшение митотического индекса сопровождалось уменьшением длины корня лука в биотестах как с лантаном, так и с церием.

Ключевые слова: редкоземельные элементы, биотестирование, фитотоксичность, генотоксичность

DOI: 10.19047/0136-1694-2017-89-54-67

ВВЕДЕНИЕ

Лантан и церий являются представителями группы редкоземельных элементов (**РЗЭ**) – металлов, вошедших в список сырьевых материалов, критически важных для новых технологий раз-

личных отраслей производства по решению Европейской комиссии 2010 г. ([Catinat, 2010](#)). La и Ce – наиболее распространенные элементы группы РЗЭ, значения их кларковых чисел находятся в диапазонах 30–35 и 64–66 мг/кг соответственно ([Castor, Hedrick, 2006](#); [Tyler, 2004](#)). Активная добыча, использование, образование и неправильная утилизация отходов, содержащих РЗЭ, могут приводить к увеличению концентрации этих элементов в окружающей среде, что было показано в ряде работ ([Anawar et al., 2012](#); [Kulaksiz, Bau, 2011](#)). Источником РЗЭ в агроэкосистемах, помимо промышленности, являются подстилающие породы почв, органические и минеральные (особенно фосфорные) удобрения, в которых РЗЭ могут содержаться в большом количестве ([Hu et al., 2006](#); [Pang et al., 2002](#); [Sadeghi et al., 2013](#); [von Tucher, Schmidhalter, 2005](#)). Также металлы группы РЗЭ нашли применение в сельском хозяйстве в виде микроудобрений, которые становятся дополнительным источником загрязнения и обуславливают повышенные уровни содержания этих элементов в почве и сопредельных средах ([Liang et al., 2005](#)).

Обнаружение этих металлов в сточных водах и водных экосистемах, аккумуляцию их в почве и выращиваемой на ней продукции, а также в образцах человеческих волос связывают с последствиями индустриальной деятельности и сельскохозяйственных практик ([Gonzalez et al., 2014](#); [González et al., 2015](#)). Присутствие РЗЭ в этих и других объектах в концентрации, превышающей фоновую, обуславливает необходимость оценки их влияния на живые организмы.

Необходимо принимать во внимание, что оценка возможного влияния веществ на окружающую среду и обитающую в ней биоту только по их содержанию и соответствию санитарно-гигиеническим нормативам, не всегда учитывает риски особо опасных и комбинированных форм токсического воздействия. Поскольку нормативы разработаны далеко не для всех загрязнителей, такая оценка является недостаточной и требует применения биотестов, способных отразить возможное специфическое и комплексное воздействие на живые организмы. Также тест-системы необходимо использовать при оценке возможности применения новых веществ в сельском хозяйстве, изучении влияния их различной концентрации. При этом исследования, посвященные во-

просу токсичности РЗЭ, остаются немногочисленными и противоречивыми, что во многом может объясняться различием использованной концентрации элементов, тест-объектов и схемами постановки экспериментов ([Gonzalez et al., 2014](#); [Hu et al., 2004](#)).

Нужно отметить, что значимыми в оценке токсичности методами биотестирования тех или иных факторов загрязнения являются не только ростовые и биохимические показатели тест-организмов. Существенна и активность факторов по отношению к генетическому аппарату клеток в связи с возможной передачей нарушений последующим поколениям организмов с наследственным материалом или развитием патологий в онтогенезе организма. Для решения этой задачи широко применяется тест-система с луком репчатым *Allium cepa* L., позволяющая учитывать нарушения в процессе деления клеток апикальной меристемы корня, наряду с измерением общей токсичности по изменению ростовых показателей ([Fiskesjö, 1985](#)). Данный тест-объект хорошо изучен цитологически и показал свою перспективность для оценки цитотоксичности различных химических факторов ([Leme, Marin-Morales, 2009](#)). Необходимость исследования влияния La и Ce на процесс клеточного деления подтверждается данными работ, выявивших активность представителей РЗЭ в этом отношении с применением других видов растений ([d'Aquino et al., 2009](#); [de Oliveira et al., 2015](#); [Xu et al., 2016](#)). Однако предыдущие исследования не позволяют сделать однозначных выводов о воздействии РЗЭ на активность деления клеток и об индуцировании ими нарушений митотического цикла, так как результаты довольно противоречивы. Поэтому целью настоящей работы стала оценка токсичности растворов солей La и Ce в условиях биотеста с *Allium cepa*.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Тестирование растворов хлорида лантана и церия проводили с применением *Allium*-теста, согласно существующей методике без предварительного проращивания луковиц ([Ateeq et al., 2002](#); [Fiskesjö, 1988](#)). Луковицы *Allium cepa* L. сорта «Штутгартен» откалиброванные по размеру (1,5–2 см в диаметре) помещали для проращивания в емкости, наполненные растворами LaCl_3 следующих концентраций: 0 (контроль, дистиллированная вода), 10, 20, 50, 100 и 200 мг/л. Предварительные эксперименты показали

большую токсичность хлорида церия в этих концентрациях по сравнению с хлоридом лантана, не позволяющую получить материал для цитологического исследования, поэтому было решено проводить тестирование растворов CeCl_3 следующих концентраций: 0, 2, 5, 10, 20 и 50 мг/л.

Каждую концентрацию тестировали в пяти повторностях (луковицах) одновременно. Проращивание луковиц производили при температуре 20–25°C в течение 120 ч в темноте. После проращивания полученный материал фиксировали в смеси 96%-ного этилового спирта и ледяной уксусной кислоты 3 : 1 (фиксатор Кларка): кончики корней длиной около 1 см отрезали и помещали в раствор на 24 ч. Затем материал переводили на долговременное хранение в 70%-ный раствор этилового спирта. На стадии фиксации и при долговременном хранении материал хранили в холодильнике при температуре +4°C. Также проводили измерение длины самого длинного корня у каждой луковицы.

Для подготовки к микроскопированию зафиксированные корни отмывали в дистиллированной воде и проводили окрашивание 2%-ным ацеоорсеином ([Паушева, 1988](#)). В давленных препаратах учитывали не менее 3000 клеток, имеющих хорошо прокрашенные ядра и клеточные стенки без повреждений, для каждой исследуемой повторности, таким образом, анализировали порядка 15 000 клеток для каждой тестируемой концентрации. Учитывали общее количество клеток и отдельно делящихся клеток по стадиям митоза: в профазе, метафазе, анафазе и телофазе, а также клетки, имеющие патологии митоза. Митотический индекс (**МИ**) рассчитывали по формуле ([Sehgal et al., 2006](#)):

$$\text{МИ, \%} = \frac{(\text{П} + \text{М} + \text{А} + \text{Т})}{N} 100,$$

где МИ – митотический индекс, (П + М + А + Т) – сумма клеток, находящихся на стадии профазы, метафазы, анафазы и телофазы соответственно, N – общее количество клеток. Частоту патологий митоза рассчитывали соответственно как отношение числа клеток с нарушениями митоза к общему числу делящихся клеток ([Концевая, Толкачева, 2012](#)). Препараты апикальной меристемы корней лука анализировали с использованием светового микроскопа Микмед-6 («ЛЮМО», Россия).

Статистический анализ полученных данных проводили на уровне значимости 0.05 в программах Statistica 12 и R с применением рангового дисперсионного анализа Крускала–Уоллиса ([Kruskal, Wallis, 1952](#)). В случае выявления значимых различий объединенные ранги далее использовали для множественных сравнений экспериментальных вариантов с контролем при помощи теста Гао ([Gao et al., 2008](#); [Konietschke et al., 2015](#)). Для графического представления результатов по каждому варианту рассчитывали 95%-ные доверительные интервалы для средних при помощи *t*-критерия. Корреляции оценивали при помощи коэффициентов корреляции Пирсона (*R*) и Спирмена (*S*).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Статистический анализ результатов измерения длины пророщенных корней показал значимое уменьшение этого показателя по сравнению с контрольным вариантом опыта, начиная с концентрации 50 мг/л и выше, при тестировании растворов хлорида лантана (рис. 1). Для растворов хлорида церия этот эффект был показан начиная с наименьшей тестируемой концентрации 2 мг/л и выше.

Результаты цитологического анализа клеток апикальной меристемы корней лука, пророщенного на растворах хлорида лантана, показали статистически достоверное уменьшение значений МИ относительно контрольного опыта для всех исследованных вариантов (рис. 2). Для протестированных растворов хлорида церия достоверное снижение активности деления клеток показано, начиная с концентрации 5 мг/л Се в растворе и выше.

При этом достоверное увеличение показателя частоты встречаемости патологий митоза отмечается при тестировании концентрации 50 мг/л растворов обеих солей (рис. 3).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты исследования показали значительное ингибирование роста корня при тестировании растворов солей La и Ce. Отмечаемое снижение длины корня уже при самой низкой тестируемой концентрации Се 2 мг/л может говорить о высокой токсичности изучаемого элемента в данных условиях. Снижение длины кор-

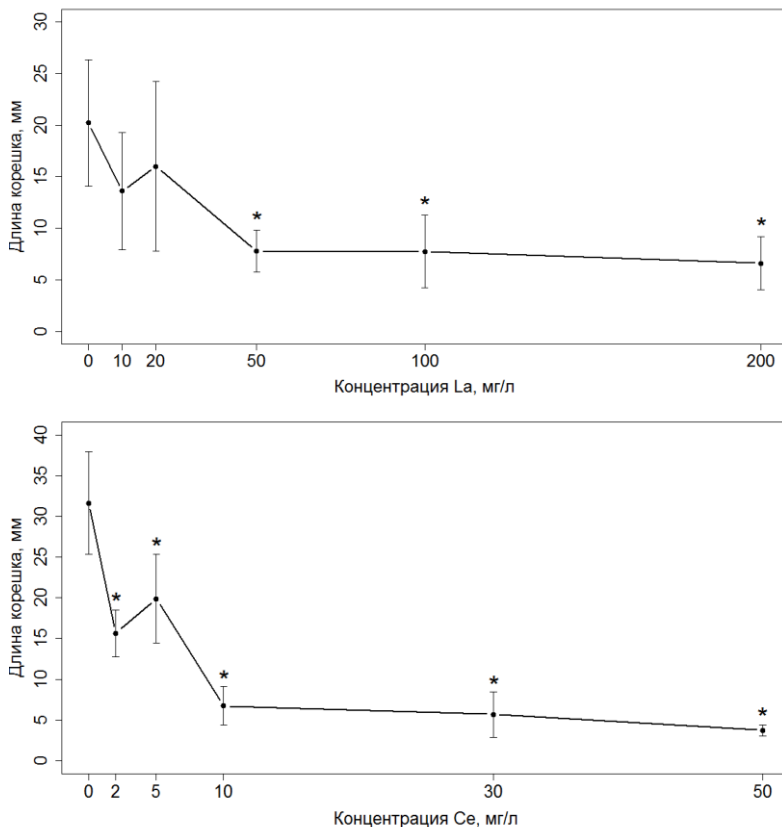


Рис. 1. Длина пророщенных корней *Allium cepa* в зависимости от концентрации La и Ce в растворе; вертикальными линиями обозначены 95%-ные доверительные интервалы, звездочками – значимые различия с контрольным вариантом.

ня при обработке наименьшей концентрацией La (10 мг/л) также наблюдалось, но не достигало статистической значимости.

Редкоземельные элементы способны в значительной степени накапливаться корнями растений ([Wang et al., 2011a](#)), однако задерживаются поясками Каспари ([Nagahashi et al., 1974](#)). Лантан и церий при этом оказывают негативное влияние на рост корня ([Diatloff et al., 1995](#)). Токсичность, оказываемая лантаном на клетки корня, может проявляться в виде нарушений перекисного окис-

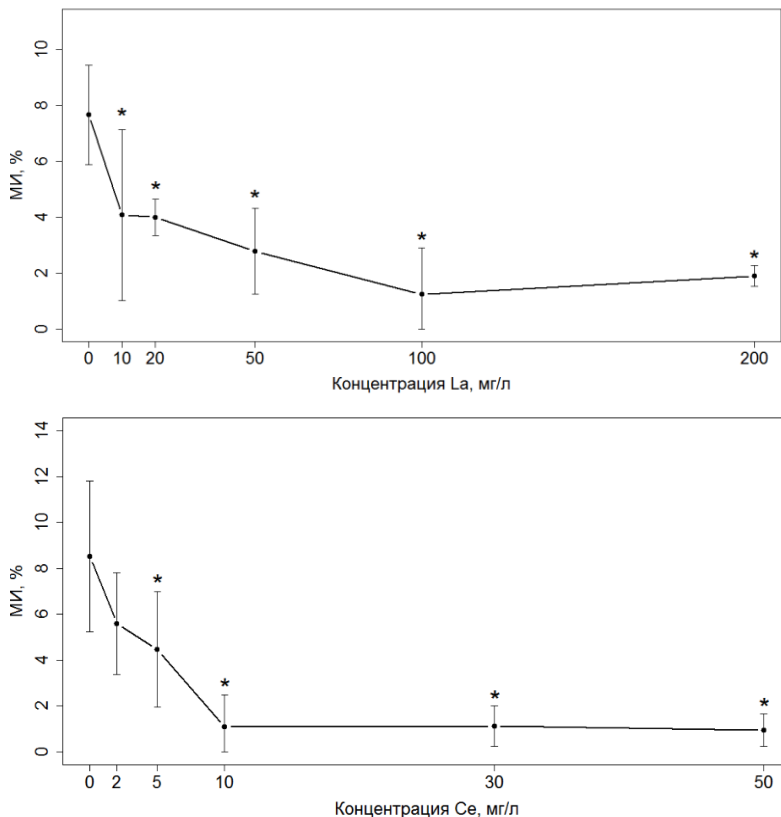


Рис. 2. Митотический индекс (МИ) в апикальной меристеме корней *Allium cepa* в зависимости от концентрации La и Ce в растворе; вертикальными линиями обозначены 95%-ные доверительные интервалы, звездочками – значимые различия с контрольным вариантом.

ления липидов, активности поглощения кислорода, а также активности H^+ -АТФазы и Ca^{2+} -АТФазы в плазматических мембранах клеток корешков, притом нарушение активности Ca^{2+} -АТФазы в клетках корешков наблюдали уже при 0.3 мг/л La. Возможно, эти процессы, а также вызванное La и Ce повышение содержания активных форм кислорода (Wang et al., 2011b) способны объяснить обнаруженное нами цито- и генотоксическое действие церия, схожее с действием лантана. Тем не менее, несмотря на статистическую достоверность нашего исследования и данные ряда других

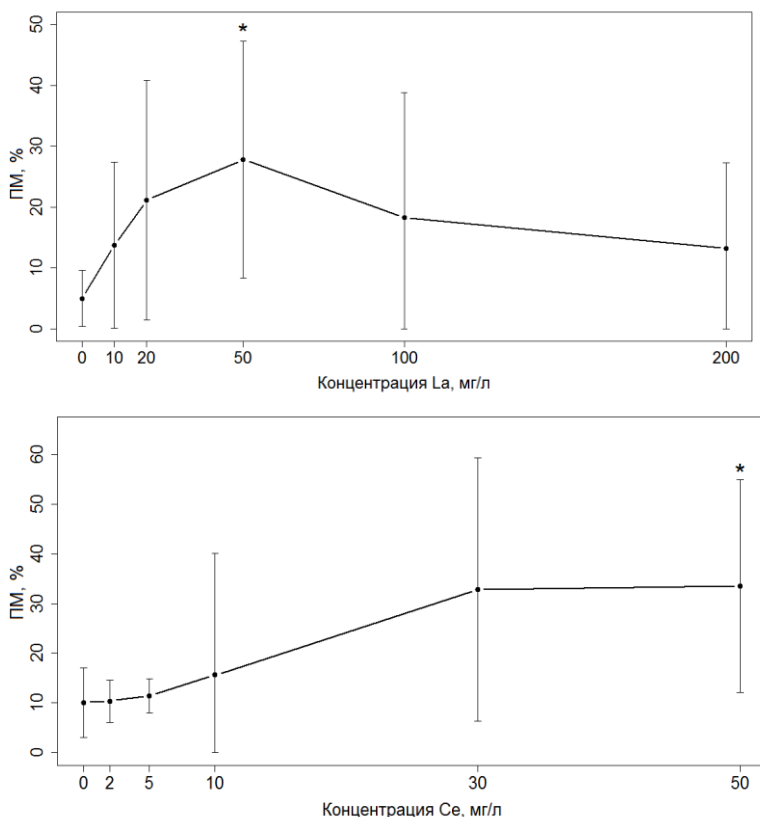


Рис. 3. Частота патологий митоза (ПМ) в апикальной меристеме корней *Allium cepa* в зависимости от концентрации La и Ce растворе; вертикальными линиями обозначены 95%-ные доверительные интервалы, звездочками – значимые различия с контрольным вариантом.

работ, в большом количестве других исследований отмечали горметический эффект, т.е. положительное действие РЗЭ на корни при низких концентрациях ([Fashui et al., 2003](#); [Li et al., 2007](#); [Song et al., 2002](#); [Wang et al., 2011a](#); [Xu et al., 2007](#)).

Возможная активность РЗЭ в отношении процессов клеточного деления остается мало проработанным вопросом. Результаты исследования, проведенного с проростками бобов (*Vicia faba* L.), показывают индуцированные лантаном повреждения в ДНК, ко-

торые могли послужить причиной замедления роста корней, совместно с дисбалансом элементов питания, при тестировании La в концентрации свыше 2 мг/л ([Wang et al., 2012](#)). Отмечаемое нами по результатам цитологического анализа достоверное уменьшение МИ может говорить о потенциальной митотоксичности солей La и Ce в исследованных концентрациях. Это согласуется с данными исследования, проведенного на растениях пшеницы (*Triticum durum*), где показано дозозависимое уменьшение МИ при концентрации нитрата лантана 1.4–1400 мг/л ([d'Aquino et al., 2009](#)). Важно отметить схожесть наших результатов с полученными на более близком к использованному репчатому луку объекте биотестирования – чесноке (*Allium sativum*) ([Xu et al., 2016](#)). Авторами показано постепенное уменьшение митотической активности клеток апикальной меристемы при тестировании питательных растворов с концентрацией Ce от 0.05 до 56 мг/л.

Противоположные результаты получены в работе ([de Oliveira et al., 2015](#)), где показано увеличение пролиферативной активности клеток кончиков корешков сои после прорастивания в течение 28 дней при концентрации лантана в питательном растворе 2.8–22.2 мг/л. Несоответствие полученных данных может объясняться видоспецифичной реакцией тест-объектов на РЗЭ, что говорит о необходимости использования различных тест-систем, широкий спектр которых способен наиболее полно отразить характер воздействия исследуемых веществ на организмы.

Обычно снижение пролиферативной активности связывают с увеличением частоты встречаемости клеток с различными патологиями деления ([d'Aquino et al., 2009](#); [Qin et al., 2015](#)), переход которых в последующие стадии митоза оказывается затруднен. Увеличение патологий митоза при концентрации хлоридов лантана и церия в растворе 50 мг/л на фоне снижения МИ, а также наличие отрицательной корреляции между этими показателями ($R = -0.41$ и $S = -0.32$) и положительной между МИ и длиной корня ($R = 0.68$ и $S = 0.69$) позволяет предположить, что рост частоты встречаемости клеток с патологиями деления является причиной уменьшения длины корня с увеличением содержания внесенных РЗЭ. При этом необходимо принимать во внимание, что количество клеток с нарушениями митоза при тестировании растворов с высокой концентрацией может быть недооцененным в связи с об-

щим уменьшением числа делящихся клеток и возможным недоучетом числа клеток с аномалиями.

Данные работы, проведенной в Оренбургской области, согласуются с нашими результатами и показывают прямую корреляционную связь обнаруженных при тестировании с *Allium cepa* хромосомных аберраций и индексом нагрузки РЗЭ для водоемов и водотоков, среднее значение которого колебалось от 7.3×10^{-4} до 1×10^{-2} мг/л (Соловых и др., 2012). Однако необходимо отметить, что показанное авторами наличие корреляции не доказывает мутагенность именно РЗЭ в изучаемых пробах донных отложений, так как исследование проводилось на нативных образцах, которые могли быть загрязнены и другими токсикантами, содержание которых не изучалось.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показанное с применение тест-системы с *Allium cepa* значительное негативное изменение в ростовых показателях корня свидетельствует о токсичности La и Ce в изученных концентрациях. Причиной ингибирования процесса роста корня, судя по всему, является снижение активности деления клеток, т.е. митотоксичность протестированных растворов хлоридов лантана и церия. Отмечаемое увеличение частоты встречаемости клеток с патологиями митоза в свою очередь может объяснять снижение пролиферации и указывать на генотоксичность тестируемых элементов.

Некоторые противоречия полученных данных с рядом других современных исследований, очевидно, должны послужить причиной для продолжения работы над изучением воздействия РЗЭ на растения. При этом требуется привлечение других тест-объектов и расширения диапазона тестируемых концентраций элементов.

Полученные данные могут быть полезны для токсикологической оценки La и Ce.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Концевая И., Толкачева Т. Совершенствование методики биотестирования на основе *Allium*-теста // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. 2012. № 6 (72). С. 57–65.
Kontsevaya I., Tolkacheva T. Perfection of the method of biotesting on the

- basis of the Allium-test, *Vesnik Vitsebskaga dzyarzhaj'naga ўніверсітэта*. 2012. No. 6 (72). pp. 57–65. (in Russian)
2. Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. М.: Агропромиздат, 1988. 271 с.
- Pausheva Z.P. *Workshop on plant cytology*. Moscow: Agropromizdat, 1988. 271 p. (in Russian)
3. Соловых Г., Голинская Л., Кануникова Е. Редкоземельные металлы как один из факторов мутагенности // Гигиена и санитария. 2012. № 3. С. 23–25. Solovykh G., Golinskaya L., Kanunikova E. *Rare-earth metals as one of the factors of mutagenicity*, Hygiene and Sanitation, 2012, No 3, pp. 23-25. (in Russian)
4. Anawar H.M., do Carmo Freitas M., Canha N., Dionísio I., Dung H.M., Galinha C. et al. Assessment of bioaccumulation of REEs by plant species in a mining area by INAA, *J. Radioanalytical Nuclear Chem*, 2012, V. 294, No. 3, pp. 377–381.
5. Ateeq B., Farah M.A., Ali M.N., Ahmad W. Clastogenicity of pentachlorophenol, 2,4-D and butachlor evaluated by Allium root tip test, *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 2002, V. 514, No. 1, pp. 105–113.
6. Castor S.B., Hedrick J.B. Rare earth elements, *Industrial minerals volume, 7th edition: Society for mining, metallurgy, and exploration*, Littleton, Colorado, 2006, pp. 769–792.
7. Catinat M. *Critical Raw Materials for the EU—Report of the Ad-Hoc Working Group on Defining Critical Raw Materials*. EC, Brussels, Belgium, 2010.
8. d'Aquino L., De Pinto M.C., Nardi L., Morgana M., Tommasi F. Effect of some light rare earth elements on seed germination, seedling growth and antioxidant metabolism in *Triticum durum*, *Chemosphere*, 2009, V. 75, No. 7, pp. 900–905.
9. de Oliveira C., Ramos S.J., Siqueira J.O., Faquin V., de Castro E.M., Amaral D.C., et al. Bioaccumulation and effects of lanthanum on growth and mitotic index in soybean plants, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2015, V. 122, pp. 136–144.
10. Diatloff E., Smith F.W., Asher C.J. Rare earth elements and plant growth: I. Effects of lanthanum and cerium on root elongation of corn and mungbean, *J. Plant Nutrition*, 1995, V. 18, No. 10, pp. 1963–1976.
11. Fashui H., Ling W., Chao L. Study of lanthanum on seed germination and growth of rice, *Biol. Trace Element Res*, 2003, V. 94, No. 3, pp. 273–286.
12. Fiskesjö G. The Allium test as a standard in environmental monitoring, *Hereditas*, 1985, V. 102, No. 1, pp. 99–112.

13. Fiskesjö G. The Allium test—an alternative in environmental studies: the relative toxicity of metal ions, *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 1988, V. 197, No. 2, pp. 243–260.
14. Gao X., Alvo M., Chen J., Li G. Nonparametric multiple comparison procedures for unbalanced one-way factorial designs, *J. Statistical Planning and Inference*, 2008, V. 138, No. 8, pp. 2574–2591.
15. Gonzalez V., Vignati D.A., Leyval C., Giamberini L. Environmental fate and ecotoxicity of lanthanides: Are they a uniform group beyond chemistry?, *Environ. Int.*, 2014, V. 71, pp. 148–157.
16. González V., Vignati D.A., Pons M.-N., Montarges-Pelletier E., Bojic C., Giamberini L. Lanthanide ecotoxicity: First attempt to measure environmental risk for aquatic organisms, *Environ. Poll.*, 2015, V. 199, pp. 139–147.
17. Hu Z., Richter H., Sparovek G., Schnug E. Physiological and biochemical effects of rare earth elements on plants and their agricultural significance: a review, *J. Plant Nutrition*, 2004, V. 27, No. 1, pp. 183–220.
18. Hu Z., Haneklaus S., Sparovek G., Schnug E. Rare Earth Elements in Soils, *Com. Soil Sci. Plant Anal.*, 2006, V. 37, No. 9–10, pp. 1381–1420.
19. Konietzschke F., Placzek M., Schaarschmidt F., Hothorn L.A. nparcomp: an R software package for nonparametric multiple comparisons and simultaneous confidence intervals, *J. Statistical Software*, 2015, V. 64, No. 9, pp. 1–17.
20. Kruskal W.H., Wallis W.A. Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis, *J. Am. Statistical Association*, 1952, V. 47, No. 260, pp. 583–621.
21. Kulaksız S., Bau M. Rare earth elements in the Rhine River, Germany: first case of anthropogenic lanthanum as a dissolved microcontaminant in the hydrosphere, *Environ. Int.*, 2011, V. 37, No. 5, pp. 973–979.
22. Leme D.M., Marin-Morales M.A. Allium cepa test in environmental monitoring: a review on its application, *Mutation Res./Rev. Mutation Res.*, 2009, V. 682, No. 1, pp. 71–81.
23. Li J.-Y., Jiang A.-L., Chen H.-Y., Wang Y., Zhang W. Lanthanum Prevents Salt Stress-induced Programmed Cell Death in Rice Root Tip Cells by Controlling Early Induction Events, *J. Integrative Plant Biol.*, 2007, V. 49, No. 7, pp. 1024–1031.
24. Liang T., Zhang S., Wang L., Kung H.-T., Wang Y., Hu A., et al. Environmental biogeochemical behaviors of rare earth elements in soil–plant systems, *Environ. Geochemistry Health*, 2005, V. 27, No. 4, pp. 301–311.
25. Nagahashi G., Thomson W.W., Leonard R.T. The Casparian Strip as a Barrier to the Movement of Lanthanum in Corn Roots, *Science*, 1974, V. 183, No. 4125, pp. 670–671.
26. Pang X., Li D., Peng A. Application of rare-earth elements in the agriculture of China and its environmental behavior in soil, *Environ. Sci. Poll. Res.*, 2002, V. 9, No. 2, pp. 143.

27. Qin R., Wang C., Chen D., Björn L.O., Li S. Copper-induced root growth inhibition of *Allium cepa* var. *agrogarum* L. involves disturbances in cell division and DNA damage, *Environ. Tox. Chem*, 2015, V. 34, No. 5, pp. 1045–1055.
28. Sadeghi M., Petrosino P., Ladenberger A., Albanese S., Andersson M., Morris G., et al. Ce, La and Y concentrations in agricultural and grazing-land soils of Europe, *J. Geochemical Exploration*, 2013, V. 133, pp. 202–213.
29. Sehgal R., Roy S., Kumar V. Evaluation of cytotoxic potential of latex of *Calotropis procera* and *Podophyllotoxin* in *Allium cepa* root model, *Biocell*, 2006, V. 30, No. 1, pp. 9–13.
30. Song W., Hong F., Wan Z. Effects of lanthanum element on the rooting of loquat plantlet in vitro, *Biological Trace Element Research*, 2002. V. 89, No. 3, pp. 277–284.
31. Tyler G. Rare earth elements in soil and plant systems-A review, *Plant and soil*, 2004. V. 267, No. 1–2, pp. 191–206.
32. von Tucher S., Schmidhalter U. Lanthanum uptake from soil and nutrient solution and its effects on plant growth, *J. Plant Nutrition and Soil Sci.*, 2005. V. 168, No. 4, pp. 574–580.
33. Wang C., Lu X., Tian Y., Cheng T., Hu L., Chen F., et al. Lanthanum Resulted in Unbalance of Nutrient Elements and Disturbance of Cell Proliferation Cycles in *V. faba* L. Seedlings, *Biological Trace Element Research*, 2011a. V. 143, No. 2, pp. 1174–1181.
34. Wang C., He M., Shi W., Wong J., Cheng T., Wang X., et al. Toxicological effects involved in risk assessment of rare earth lanthanum on roots of *Vicia faba* L. seedlings, *J. Environ. Sci.*, 2011b. V. 23, No. 10, pp. 1721–1728.
35. Wang C., Zhang K., He M., Jiang C., Tian L., Tian Y., et al. Mineral nutrient imbalance, DNA lesion and DNA-protein crosslink involved in growth retardation of *Vicia faba* L. seedlings exposed to lanthanum ions, *J. Environ. Sci.*, 2012. V. 24, No. 2, pp. 214–220.
36. Xu C.-M., Zhao B., Wang X.-D., Wang Y.-C. Lanthanum relieves salinity-induced oxidative stress in *Saussurea involucreta*, *Biologia Plantarum*, 2007. V. 51, No. 3, pp. 567–570.
37. Xu Q.-M., Wang Y.-Z., Liu H., Cheng J.-S. Physiological responses and chromosomal aberration in root tip cells of *Allium sativum* L. to cerium treatments, *Plant and Soil*, 2016. V. 409, No. 1–2, pp. 447–458.

THE TOXICITY OF LANTHANUM AND CERIUM IN CONDITIONS OF BIOTEST WITH *ALLIUM CEPA*

**A. D. Kotelnikova^{1,2}, I. A. Fastovets^{1,2},
O. B. Rogova¹ and V. V. Stolbova²**

¹*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
Russia, 119017, Moscow, Pyzhevskii per. 7-2*

²*Lomonosov Moscow State University,
Russia, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1*

The influx of rare-earth elements into the soil is associated with ecological risks. The absence of regulatory standards for these elements in the environment makes it necessary to assess their impact on the biota. The use of biotests may be helpful not only in revealing potential integral toxicity according to the changes in growth indices, but also in characterizing the impact of the studied agent on the genetic apparatus of test object cells. In this study we used the test system with bulb onion (*Allium cepa* L.) to characterize integral phytotoxicity, and also cyto- and genotoxicity of lanthanum and cerium chlorides. The following lanthanum concentrations were tested: 0 (control), 2, 5, 10, 30 and 50 mg/l. A significant decrease in the proportion of dividing cells (mitotic index) for all of the investigated concentrations of lanthanum was shown, and cerium was found to decrease mitotic index at concentrations 5 mg/l and higher. The frequency of mitosis pathologies was significantly higher compared to the control group for lanthanum and cerium at concentration 50 mg/l, which suggests possible genotoxicity of these rare earth elements. The decrease in mitotic index was accompanied by inhibited onion root elongation in biotests with both lanthanum and cerium.

Keywords: rare-earth elements, biotests, phytotoxicity, genotoxicity

Ссылки для цитирования

Котельникова А. Д., Фастовец И. А., Рогова О. Б., Столбова В. В. Токсичность лантана и церия в условиях биотеста с луком репчатым (*Allium cepa*) // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2017. Вып. 89. С. 54-67. doi: 10.19047/0136-1694-2017-89-54-67

Kotelnikova A. D., Fastovets I.A., Rogova O.B., Stolbova V.V. The toxicity of lanthanum and cerium in conditions of biotest with *Allium cepa*, Byulleten Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva, 2017, Vol. 89, pp. 54-67. doi: 10.19047/0136-1694-2017-89-54-67