

УДК 581.1:576.3: 631.811.98

**ВЛИЯНИЕ ПРЕПАРАТА ЭПИН-ЭКСТРА НА МИТОТИЧЕСКУЮ
АКТИВНОСТЬ КЛЕТОК КОРНЕВОЙ МЕРИСТЕМЫ КУКУРУЗЫ НА ФОНЕ
ДЕЙСТВИЯ СУЛЬФАТА МЕДИ**

Решетник Г. 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*

В статье приведены результаты исследований митотической активности клеток корневой меристемы проростков кукурузы (*Zea mays* L.) при одновременном воздействии препарата Эпин-экстра и возрастающих концентраций сульфата меди. Митотическую активность клеток апикальной меристемы оценивали цитологическими методами по общепринятой методике. В результате исследования было установлено, что предпосевная обработка семян в 0,075 % растворе препарата Эпин-экстра приводит к увеличению митотического индекса на 34 % в варианте опыта с максимальной концентрацией (100 мМ) сульфата меди. Прорастание семян кукурузы в среде поллютанта способствовало формированию профазно-метафазного блока, снижению количества клеток в анафазе и телофазе. Под действием препарата происходит перераспределение количества клеток в сторону анафазно-телофазного блока. Таким образом, препарат Эпин-экстра стимулирует митотическую активность клеток апикальной меристемы корешков кукурузы при действии различных концентраций сульфата меди с дальнейшим усилением процессов роста корней и повышения поглотительной способности.

Ключевые слова: кукуруза, Эпин-экстра, митотический индекс, деление клеток, сульфат меди.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время техногенное загрязнение стало одним из наиболее значимых экологических факторов, которые определяют условия существования и эволюции всей биоты, включая человека. Процессы естественного развития и функционирования экосистем под влиянием антропогенных воздействий определяются как силой воздействия, так и природой действующих факторов.

Экологические факторы антропогенного происхождения изменяют свойства почвы, продуктивность растений, качество продукции, увеличение количества засоленных территорий, загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами.

Проблема тяжелых металлов в современных условиях глобальная. Все тяжелые металлы обладают высокой токсичностью, миграционной способностью, а также канцерогенными и мутагенными свойствами [1, 2]. Они не только тормозят рост и развитие растений, но и оказывают влияние на фотосинтез, дыхание, водный обмен и минеральное питание, изменяют гормональный баланс и структуру мембран. [3, 4]. Металлы связываются непосредственно с аминокислотами, белками, замещают ионы металлов в ферментах, регенируя свободные формы кислорода, что является

основой токсического действия металлов [5–7]. Ионы тяжелых металлов одновременно с общей физиологической токсичностью проявляют и генотоксические свойства, повреждая ядерный материал, нарушая фазы митоза и цитокинез [8–10].

Медь – один из важнейших эссенциальных микроэлементов, является кофактором ряда ферментов, вовлекается в процессы фотосинтеза и дыхания, защищает растения от окислительного стресса [11]. Однако диапазон концентраций меди, обеспечивающих оптимальный клеточный метаболизм и развитие растений, весьма узок. Считается, что даже двукратное превышение может оказывать негативное действие, тогда как высокие концентрации меди вызывают токсичные синдромы (хлорозы и некрозы, ингибирование роста корней и побегов), вплоть до летальных эффектов [7, 12].

Одним из важнейших путей снижения содержания тяжелых металлов в сельскохозяйственной продукции является обработка растения биологически активными веществами. Препарат Эпин-экстра является антистрессовым адаптогеном, обладает способностью нейтрализовать вредное воздействие пестицидов, солей тяжелых металлов, радионуклидов и нитратов. Препарат Эпин-экстра, выпускаемый ННПП «НЭСТ М», официально разрешен к применению в России и Белоруссии с 1992 г. Препарат создан на основе эписброинолида методом химического синтеза из эргостерина пекарских дрожжей [13].

Составляющими роста является деление и растяжение клеток, за счет чего происходит увеличение массы и размеров тканей, формирование продуктивности растений. Нарушение роста – один из видимых симптомов воздействия различных стресс-факторов. Большая часть веществ, поступающих в растение, поглощается корневой системой, поэтому в корне наблюдается первичная реакция на их воздействие. Такое воздействие приводит к нарушениям жизнедеятельности клеток. Поэтому целью наших исследований явилось изучение влияния препарата Эпин-экстра на ростовые показатели корешков и митотическую активность клеток апикальной меристемы прорастающих семян кукурузы *Zea mays* L. CV / Кладио / на фоне действия сульфата меди.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования использовали семена и проростки кукурузы *Zea mays* L. CV / Кладио /. Исследования проводили в лабораторных условиях. Семена кукурузы отбирали по средним размерам и протравливали в течение 15 минут в 1 % растворе перманганата калия с целью поверхностной стерилизации. Затем семена промывали дистиллированной водой. Предпосевная обработка семян проводилась в 0,075 % растворе препарата Эпин - экстра. Контрольную часть семян замачивали в отстоянной водопроводной воде. В качестве источника ионов меди использовали медный купорос (ч.д.а.). Обработанные препаратом семена для проращивания помещали в кюветы на фильтровальную бумагу и приливали по 250 мл раствора сульфата меди различной концентрации (от 25мМ до 100мМ). В качестве контроля семена проращивали на отстоянной водопроводной воде и на

растворах сульфата меди тех же концентраций. Семена проращивали в термостате типа ТС-80М-2 в темноте при температуре +25 °С согласно ГОСТу 12038 – 84 [14].

Для определения митотической активности клеток корневой меристемы проростков кукурузы материал фиксировали в уксусном спирте (3:1) на протяжении суток при +10 °С [15]. Фиксированный материал промывали в 96 % спирте и сохраняли в 70 %растворе этилового спирта в холодильнике. Для цитологических исследований окраску корешков проводили ацетокармином на протяжении 48 часов. Временные давленные препараты корневых кончиков проростков кукурузы готовили по стандартной методике [16]. Каждый опыт проводили в трехкратной повторности, анализируя не менее 1000 клеток. Расчет митотического и фазных индексов производили по общепринятым формулам [16]. Статистическую обработку данных осуществляли, рассчитывая среднюю арифметическую и стандартную ошибку средней арифметической [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Характер реакции проростков кукурузы на действие сульфата меди был однотипен за время роста и зависел от концентрации металла в среде произрастания. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

Влияние препарата Эпин-экстра на длину корневой системы растений кукурузы на фоне действия сульфата меди в динамике ($\bar{x} \pm S_x$)

Варианты опыта	Длина подземной части, см		
	7-е сутки	14-е сутки	21-е сутки
Контроль	9,21±0,22	12,03 ± 0, 11	15,22 ± 0, 12
Контроль + Эпин-экстра	9,81±0,20	13,03±0,28	16,23±0, 27
25мМ CuSO ₄	13,29 ± 0,1	15,20 ± 0,30	19,10 ± 0,20
25 Мм CuSO ₄ + Эпин-экстра	14,19±0,12	16,45±0,15	19,10±0,20
50 Мм CuSO ₄	8,48 ± 0,22	13,20 ± 0,22	15,20 ± 0,22
50 Мм CuSO ₄ + Эпин-экстра	12,48±0,22	14,80±0,12	17,12±0,12
100 Мм CuSO ₄	6,74 ± 0,18	9,30 ± 0,14	12,52 ± 0,20
100 Мм CuSO ₄ + Эпин-экстра	10,05±0,28	13,30±0,14	16,52±0,22

Примечание: разница средних значений контроля и опыта достоверна при $P \leq 0,01$ для всех вариантов.

ВЛИЯНИЕ ПРЕПАРАТА ЭПИН-ЭКСТРА НА МИТОТИЧЕСКУЮ ...

Под действием сульфата меди в концентрации 100мМ длина корневой системы 7-суточных проростков ингибируется на 27 % по сравнению с контрольным вариантом. В варианте опыта с предпосевной обработкой семян кукурузы в 0,075 % растворе препарата Эпин-экстра при данной дозе металла токсический эффект нивелируется и абсолютные значения корней составляют 10 см против 9 см в контроле ($1/2$ среда Кнопа) и 7 см под действием сульфата меди (табл. 1). Данная закономерность сохранялась на протяжении всего эксперимента, что свидетельствует о адаптогенном действии препарата. Одновременно с ингибированием роста корневой системы сульфатом меди наблюдали потемнение кончиков корешков, что свидетельствует о некрозе меристематических тканей. В вариантах с предпосевной обработкой семян препаратом Эпин-экстра данные симптомы отсутствовали

Поскольку рост корня зависит от интенсивности деления клеток, то исследование процессов митоза под действием меди, как тяжелого металла, объясняет причину угнетения роста корневой системы. Обобщенные данные исследования влияния регулятора роста Эпин-экстра и сульфата меди на митотическую активность клеток апикальной меристемы корня проростков кукурузы представлены на рисунке 1.

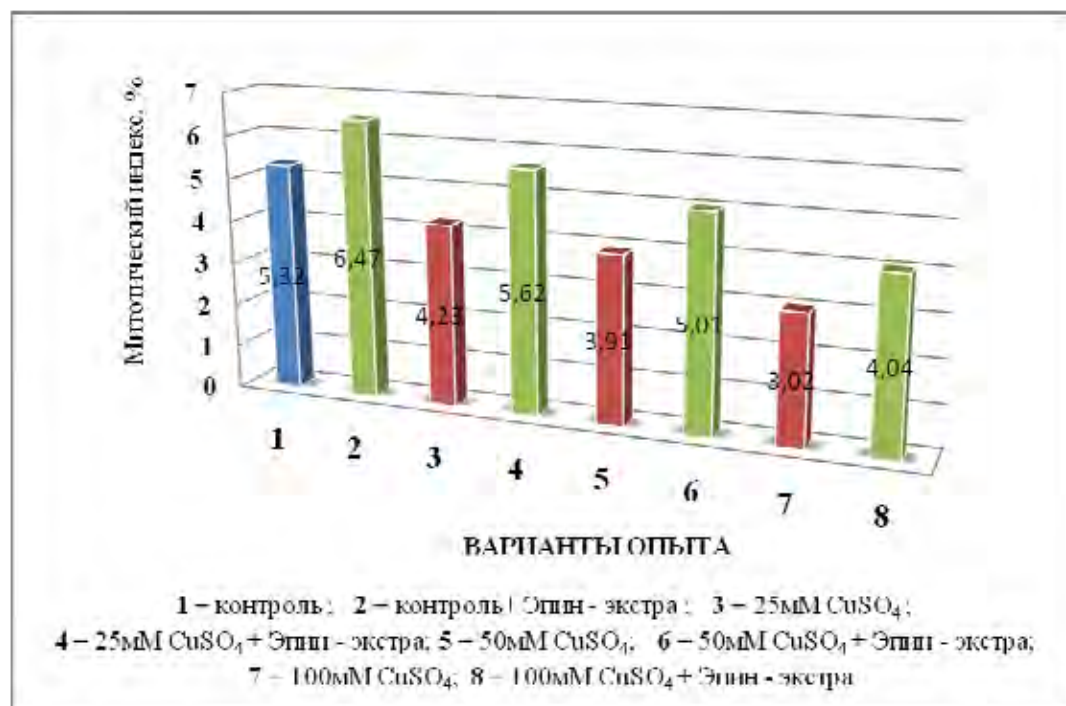


Рис. 1. Влияние препарата Эпин-экстра на митотическую активность апикальной меристемы корня кукурузы на фоне действия сульфата меди.

Полученные данные свидетельствуют, что препарат Эпин-экстра повышает митотический индекс меристематических клеток корней кукурузы во всех вариантах эксперимента на фоне действия сульфата меди. Возрастающие концентрации меди негативно влияли на митотический индекс, понижая его. При максимальной концентрации CuSO_4 митотический индекс составлял 3,02 %. В этом же варианте, но с предпосевной обработкой семян препаратом значение равнялось 4,04 %, увеличивая митотический индекс на 33 %. Даже при минимальных концентрациях меди (25мМ CuSO_4) снижается митотический индекс и составляет 4,23 %, тогда как препарат Эпин-экстра увеличивает данный показатель в 1,3 раза. Таким образом, препарат Эпин-экстра положительно влияет на деление клеток, способствуя увеличению митотического индекса.

Под действием сульфата меди меняется соотношение отдельных фаз митоза меристематических клеток корней кукурузы, что отображено в таблице 2.

Таблица 2

Влияние препарата Эпин-экстра на значения фазных индексов клеток корешков апикальной меристемы кукурузы на фоне действия сульфата меди

Варианты опыта	Профаза	Метафаза	Анафаза	Телофаза
Контроль	27,11±0,40	24,34±1,08	24,25±0,87	24,30±0,13
Контроль +Эпин-экстра	26,41±1,21	25,32±0,21	26,19±0,73	26,09±0,63
25 мМ CuSO_4	30,73±0,36	28,01±0,51	20,98±0,53	20,27±0,33
25мМ CuSO_4 + Эпин-экстра	29,86±0,65	22,43±0,39	25,71±1,17	23,00±0,49
50 мМ CuSO_4	32,73±0,36	28,01±0,51	21,98±0,53	17,28±0,33
50 мМ CuSO_4 + Эпин-экстра	29,86±0,65	21,43±0,39	26,71±1,17	23,00±0,49
100 мМ CuSO_4	27,33±0,81	50,57±1,11	17,70±0,44	13,96±0,45
100 мМ CuSO_4 + Эпин-экстра	30,74±0,97	30,23±0,86	18,78±0,56	20,25±0,37

Примечание: разница средних значений контроля и опыта достоверна при $P \leq 0,01$ для всех вариантов.

При максимальной концентрации меди (100мМ CuSO_4) резко увеличивается количество клеток, находящихся в метафазе, метафазный индекс составляет 51 % и отличается от контроля в 2 раза. В варианте с предпосевной обработкой семян препаратом Эпин-экстра метафазный индекс понижается на 20 %, увеличивается количество клеток, находящихся в телофазе в среднем на 7 %. При минимальной концентрации тяжелого металла максимальное количество клеток находится в профазе и метафазе. В данном варианте опыта препарат Эпин-экстра не оказал достоверного влияния на фазные индексы меристематических клеток., на 5 %

увеличивается анафазный индекс. При концентрации сульфата меди 50 мМ максимальное количество клеток находится в профазе (33 %), а минимальное – в телофазе (17 %), тогда как под влиянием препарата происходит перераспределение количества клеток по фазам митоза – увеличиваются анафазный и телефазный индексы, а уменьшается метафазный.

В данном варианте опыта препарат Эпин-экстра не оказал достоверного влияния на фазные индексы меристематических клеток, на 5 % увеличивается анафазный индекс. При концентрации сульфата меди 50 мМ максимальное количество клеток находится в профазе (33 %), а минимальное – в телофазе (17 %), тогда как под влиянием препарата происходит перераспределение количества клеток по фазам митоза – увеличивается анафазный и телефазный индексы и уменьшается метафазный. Во всех вариантах опыта под действием препарата Эпин-экстра происходит увеличение процента анафаз и телофаз. Увеличение количества клеток в метафазе при максимальной концентрации металла в среде произрастания семян кукурузы возможно обусловлено связыванием меди с сульфгидрильными группами митотического аппарата [18, 19], в результате чего происходит их окисление, так как тяжелые металлы усиливают перекисное окисление липидов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что по мере возрастания концентрации сульфата меди происходит снижение митотического индекса клеток апикальной меристемы корешков кукурузы, следствием чего является ингибирование роста корневой системы в целом. По мере возрастания меди в растворе наблюдалось формирование профазно-метафазного блока при снижении продолжительности анафазы и телофазы. Предположительно возрастание доли клеток, находящихся на стадии профазы и метафазы, является механизмом адаптации к стрессовым факторам, что согласуется с данными из литературных источников. Самая высокая концентрация поллютанта в среде вызывала резкое увеличение процентного содержания клеток на стадии метафазы, что значительно уменьшило количество клеток на стадии анафазы и телофазы. Обработка семян препаратом Эпин-экстра нивелировала соотношение клеток в различных фазах митоза, что способствовало повышению линейных показателей корневой системы. Экзогенное действие брассинолида вызывает активацию роста клеток как делением, так и растяжением. Брассинолид взаимодействует с другими фитогормонами и вовлекается в регуляцию ростовых процессов, активируя работу ДНК- и РНК-полимераз. Таким образом, увеличение митотического индекса, по-видимому, вызвано возрастанием активности фермента РНК-полимеразы I, способствующей увеличению белоксинтезирующего аппарата и усилению синтеза белка [20].

Список литературы

1. Башмаков Д. И. Эколого-физиологические аспекты аккумуляции и распределения тяжелых металлов у высших растений / Д. И. Башмаков, А. С. Лукаткин – Саранск: изд-во Мордовского ун-та, 2009. – 236 с.
2. Серегин И. В. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения / И. В. Серегин, В. Б. Иванов // Физиология растений. – 2001. – Т. 48. – С. 606–630.
3. Meharg A. A. 2005. Mechanisms of plants resistance to metal and metalloid ions and potential biotechnological applications. / Meharg A. A. // Plant Soil. – 274. – P. 163–174.
4. Clemens S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. / Clemens S. // Biochimie. – 2006. – 88. – P. 1707–1719.
5. Евсеева Т. И. Закономерности индукции цитогенетических эффектов у растений при действии тяжелых металлов / Т. И. Евсеева, Е. С. Бельх, Т. А. Майстренко // Вестник института биологии Коми НЦ Уро РАН. – 2005. – Т. 87, №1. – С. 4–13.
6. Иванов В. Б. Сравнение влияния тяжелых металлов на рост корня в связи с проблемой специфичности и избирательности их действия / В. Б. Иванов, Е. И. Быстрова, И. В. Серегин // Физиология растений. – 2003. – Т. 50. – С. 445–454.
7. Clemens S. Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis. / Clemens S. // Planta. – 2001. – 212. – P. 475–486.
8. Довгалюк Л. И. Оценка фито- и цитотоксической активности соединений тяжелых металлов и алюминия с помощью корневой апикальной меристемы лука // Л. И. Довгалюк, Т. Б. Калиняк, Я. Б. Блюм // Цитология и генетика. – 2001. – Т. 35, № 1. – С. 3–7.
9. Довгалюк Л. И. Цитогенетические эффекты солей токсических металлов в клетках апикальной меристемы корней проростков *Allium scera* L. / Л. И. Довгалюк, Т. Б. Калиняк, Я. Б. Блюм // Цитология и генетика. – 2001. – Т. 35, № 2. – С. 3–9.
10. Кожевникова А. Д. Влияние нитратов свинца, никеля и стронция на деление и растяжение клеток корня кукурузы // А. Д. Кожевникова, И. В. Серегин [и др.] // Физиология растений. – 2009. – Т. 56. – С. 268–278.
11. Hall J. L. Cellular Mechanisms for Heavy Metal Detoxification and Tolerance / Hall J. L. // J. Exp. Bot. – 2002. – V. 53. – P. 1–11.
12. Решетник Г. В. Влияние препарата Эпин-экстра на прорастание семян кукурузы на фоне действия сульфата меди / Г. В. Решетник, М. П. Леонов, С. И. Чмелева // Биотехнология как инструмент сохранения биоразнообразия растительного мира (физиолого-биохимические, эмбриологические, генетические и правовые аспекты): материалы VII Международной научно-практической конференции, г. Ялта, Республика Крым, 25 сентября – 1 октября 2016 года. – С. 290–291.
13. Полифункциональность действия брассиностероидов. Сборник научных трудов. Москва: «НЭСТ М», 2007. – 360 с.
14. 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. – 29 с.
15. Собчук Н. А. Влияние предпосевной обработки препаратом циркон на митотическую активность апикальной меристемы корней кукурузы / Н. А. Собчук, С. И. Чмелева // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия», 2015 – Том 1 (67), № 1. – С. 107–114.
16. Прохорова И. М. Оценка митотического и мутагенного действия окружающей среды: Метод. указания / И. М. Прохорова, М. И. Ковалева, А. Н. Фомичева. – Ярослав. гос. ун-т. – Ярославль, 2003. – 32 с.
17. Протасов К. В. Статистический анализ экспериментальных данных / К. В. Протасов – М.: Мир. 2005. – 232 с.
18. Мэзия Д. Митоз и физиология клеточного деления / Д. Мэзия – М.: ИЛ, – 1963. – 427 – С. 17.
19. Каташов Д. А. Влияние фитогормонов и селената натрия на митотическую активность апикальных меристем корней проростков рапса (*Brassica napus*) / Д. А. Каташов, В. Н. Хрянин // Известия

высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2013. – № 2 (2). – С. 49–54.

20. Kalinich J. F. Relationship of nucleic acid metabolism to brassinolide-induced responses in beans / J. F. Kalinich, N. B. Mandava, J. A. Todhunter // J. Plant Physiol. – 1985. – Vol. 120, №3. – P. 207–221.

THE INFLUENCE OF THE DRUG EPIN-EXTRA ON THE MITOTIC ACTIVITY OF ROOT MERISTEM CELLS OF CORN ON THE BACKGROUND OF THE ACTION OF COPPER SULPHATE

Reshetnik G. V.

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

Disturbance of growth is one of the visible symptoms of the effects of various stress factors. Most of the substances entering the plant, is absorbed by the root system, so at the root of the observed primary reaction to their impact. Such exposure leads to impaired functioning of the cells. Therefore, the aim of our research was to study the influence of the drug Epin-ekstra on growth rates of roots and mitotic activity of apical meristem cells of germinating corn seeds *Zea mays* L. CV / Claudio / on the background of the action of copper sulphate. The drug Epin-ekstra is an anti- stress adaptogen that has the ability to neutralize the harmful effects of pesticides, salts of heavy metals, radionuclides and nitrates/

The objects of study were used seeds and seedlings of corn, *Zea mays* L., CV /Claudio /. The study was performed in the laboratory. Presowing treatment of seeds was carried out in 0,075 % solution of the drug Epin-ekstra. Control some of the seeds were soaked in settled tap water. As a source of copper ions using a copper sulphate (h. d. a.). Treated seeds for germination were placed in cuvettes on a filter paper and was poured 250 ml of the copper sulfate solution of different concentrations (from 25mm to 100mm). As a control, seeds germinated on water supply pooled water and on solutions of copper sulphate the same concentrations. Seeds germinated in a thermostat TC-80M-2 in the dark at a temperature of +25 ° C according to GOST 12038 – 84. To determine the mitotic activity of cells of root meristem of shoots of corn, the material was fixed in acetic alcohol (3:1) overnight at +10 °C. Fixed material was washed in 96 % alcohol and preserved in 70 % ethanol in the fridge. For cytological studies the color of the roots was acetocarmine for 48 hours. Temporary squash preparations of root tips of maize seedlings was prepared by standard methods the experiment was carried out in triplicates by analyzing at least 1000 cells. Calculation of mitotic and phase indexes were produced according to standard formulas. Statistical data processing was carried out, calculating the arithmetic mean and standard error of the arithmetic average.

In the result of the study it was found that presowing treatment of seeds of 0.075 % solution of the drug Epin-ekstra leads to an increase in mitotic index by 34 % in the variant with maximal concentrations (100 mm) of copper sulphate. The germination of corn seeds in the environment of the pollutant contributed to the decline in mitotic index, formation of protezno – metaphase block, reducing the number of cells in anaphase and

telophase. Under the action of the drug is a redistribution of the number of cells in the direction anaphase – telephase unit. Thus, the drug Epin-ekstra stimulates the mitotic activity of apical meristem cells of maize roots under different concentrations of copper sulfate with further intensification of the processes of root growth and improving absorption capacity.

Keywords: corn, Epin-extra, mitotic index, cell division, copper sulfate.

References

1. Bashmakov D. I., Lukatkin A. S., *Ecological and physiological aspects of accumulation and distribution of heavy metals in higher plants*, 236 (Mordovia University Publishing House, Saransk, 2009).
2. Seregin I. V., Ivanov V. B., Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects of on higher plants, *Physiology of Plants*, **48**, 606 (2001).
3. Meharg A. A. Mechanisms of plants, resistance to metal and metalloid ions and potential biotechnological applications. *Plant Soil*, **274**, 163 (2005).
4. Clemens S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie*, **88**, 1707 (2006).
5. Evseeva T. I., Regularities in the induction of cytogenetic effects in plants under the action of heavy metals, *Bulletin of the Institute of Biology of the Komi Science Center, Uro RAS*, **87**, **1**, 4 (2005).
6. Ivanov V. B., Comparison of the influence of heavy metals on root growth in connection with the problem of specificity and selectivity of their action, *Physiology of Plants*, **50**, 445 (2003).
7. Clemens S. Molecular mechanisms of plant tolerance and homeostasis. *Planta*, **212**, 475 (2001).
8. Dovgalyuk L. I., Assessment of phyto- and cytotoxic activity of compounds of heavy metals and aluminum using root apical meristem of onions, *Cytology and Genetics*, **35**, **1**, 3 (2001).
9. Dovgalyuk L. I., Cytogenetic effects of toxic metals salts on apical meristem cells of *Allium cepa* L. seeding roots, *Cytology and Genetics*, **35**, **2**, 3 (2001).
10. Kozhevnikova A. D., Seregin I. V., Influence of lead, nickel and strontium nitrates on the division and extension of corn root cells, *Physiology of plants*, **56**, 268 (2009).
11. Hall J. L. Cellular Mechanisms for Heavy Metal Detoxification and Tolerance, *J. Exp. Bot.*, **53**, 1 (2002).
12. Reshetnik G. V., Leonov M. P., Chmeleva S. I., Influence of the Epin-extra preparation on the germination of corn seeds against the background of copper sulfate action, *Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference "Biotechnology as a tool for conserving the biodiversity of the plant world (physiological -biochemical, embryological, genetic and legal aspects)* (Yalta, the Republic of Crimea, 2016), 290.
13. *Polyfunctionality of the brassinosteroids action*, Collection of scientific papers, 360 ("NEST M", Moscow, 2007).
14. State standard GOST 12038–84. Seeds of agricultural crops. Methods for determining germination (with Changes No 1, 2), Requirements, introduced 1986-06-30, 29 p. (Interstate Standard Publishing House of Standards, Moscow, 2011).
15. Sobchuk N. A., Chmeleva S. I., Effect of presowing treatment with zircon preparation on the mitotic activity of the apical meristem of corn roots, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. "Biology, Chemistry" Series*, **1** (**67**), **1**, 107 (2015).
16. Prokhorova I. M., Kovaleva M. I., Fomicheva A. N., *Evaluation of the mitotic and mutagenic action of the environment*, 32 (Yaroslavl State University Publishing House, Yaroslavl, 2003).
17. Protasov K. V., *Statistical analysis of experimental data*, 232 (Mir Publishing House, Moscow, 2005).
18. Masia D., *Mitosis and the physiology of cell division*, 427 (IL Publishing House, Moscow, 1963).
19. Katashov D. A., Khryanin V. N., Influence of phytohormones and sodium selenium on the mitotic activity of apical meristems of the roots of rape seedlings (*Brassica napus*), *Proceedings of Higher Educational Establishments. The Volga region. Natural Sciences*, **2** (**2**), 49 (2013).
20. Kalinich J. F., Mandava N. B., Todhunter J. A. Relationship of nucleic acid metabolism to brassinolideinduced responses in beans, *J. Plant Physiol.*, **120**, **3**, 207 (1985)