

Сбитнев А.В.¹, Водянова М.А.¹, Сычева Л.П.², Журков В.С.¹, Крятов И.А.¹, Ахальцева Л.В.¹

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКАЯ И ФИТОТОКСИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОТИВОГОЛОЛЁДНОГО МАТЕРИАЛА НА МОДЕЛЬНОЙ ТЕСТ-СИСТЕМЕ ЛУК (*ALLIUM CEPA*)

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 119121, Москва

²Федеральное государственное бюджетное учреждение «ГНЦ-Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства России, 123098, Москва

Тест на луке Allium cepa является одним из актуальных методов цитогенетического анализа. В настоящее время современные виды противогололёдных реагентов практически не изучены в области цитогенетических исследований. Цель эксперимента заключалась в оценке фитотоксических и цитогенетических свойств многокомпонентного противогололёдного материала на проростках лука Allium cepa. Исследовали водные растворы антигололёда в концентрациях от 1 до 100 г/л. Тест-объектом являлись луковицы сорта «Штутгартен ризен», которые проращивали в растворах антигололёдного реагента в течение 72 ч. В целях оценки фитотоксического действия для каждой луковицы учитывали число корней, длину самого длинного корешка, а также длину всех корней. В параллельном эксперименте изучали фитотоксические свойства аналогичных растворов на проростках пшеницы Triticum vulgare по действующей методике МР 2.1.7.2297-07. Для цитогенетического анализа у каждой из луковиц срезали кончики корней, фиксировали, окрашивали и готовили давленные препараты для микроскопического анализа. Для каждой луковицы было проанализировано по 2 000 клеток. Определяли число митозов на 1 000 клеток (митотический индекс, %) и долю клеток в каждой фазе митоза от общего числа делящихся клеток (%). Для анализа цитогенетических нарушений использовали микроядерный тест, в котором учитывали микроядра, протрузии и двуядерные клетки, а также ана-телофазный анализ, в котором учитывали фрагменты, мосты и отстающие хромосомы. По результатам анализа параметров корневого прироста установили действующие (2; 4; 10 и 100 г/л) и недействующие (1 и 1,3 г/л) концентрации растворов антигололёдного реагента. Показана схожая чувствительность ответной реакции корневой системы пшеницы Triticum vulgare и лука Allium cepa. Митотический анализ показал, что происходит усиление активности митоза при воздействии растворов реагента в концентрациях от 1 до 2 г/л, а также сильно выраженное угнетение митотической активности при 10 г/л. Не выявлено цитогенетических нарушений во всех изученных концентрациях.

Ключевые слова: противогололёдный реагент; противогололёдный материал; антигололёдный реагент; антигололёд; фитотоксическое действие; цитогенетические исследования; меристематические клетки; митотический индекс; ана-телофазный анализ; микроядерный тест; митоз; ингибирующий эффект.

Для цитирования: Сбитнев А.В., Водянова М.А., Сычева Л.П., Журков В.С., Крятов И.А., Ахальцева Л.В. Цитогенетическая и фитотоксическая оценка противогололёдного материала на модельной тест-системе ЛУК (*Allium cepa*). *Гигиена и санитария*. 2018; 97(2): 144-148. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-2-144-148>

Для корреспонденции: Водянова Мария Александровна, канд. биол. наук, зав. лаб. гигиены почвы ФГБУ «ЦСП» Минздрава России. E-mail: lab.pochva@sysis.ru

Sbitnev A.V.¹, Vodyanova M.A.¹, Sycheva L.P.², Zhurkov V.S.¹, Kriatov I.A.¹, Akhaltseva L.V.¹

THE CYTOGENETIC AND PHYTOTOXIC ASSESSMENT OF THE ANTI-ICING MATERIAL ON ONION ASSAY (*ALLIUM CEPA*)

¹Centre for Strategic Planning, Russian Ministry of Health, Moscow, 119991, Russian Federation;

²State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, 123098, Moscow

Allium cepa assay is one of the relevant methods for the cytogenetic analysis. Today modern anti-icing reagents seem to be unstudied in the field of cytogenetics studies. The aim of the experiment is to study the phytotoxic and cytogenetic activity of multi-component anti-icing material using an onion Allium cepa. We researched anti-icing concentrations in the range of from 1 to 100 g/l. The test object was onion «Stuttgarter risen» variety couched in anti-icing solutions during the 72 hours. According to the assessment of phytotoxic effects, there was estimated the number of roots, the length of the longest root and the length of all roots for the every onion plant. The parallel experiment included the phytotoxic research of the same anti-icing using wheat seeds according to method MR 2.1.7.2297-07. Every onion roots were cut away, fixed, painted and pressured for microscopic analysis for the purposes of the cytogenetic research. About 2000 cells were analyzed for each onion. We estimated the number of mitosis per 1000 cells (mitotic index, %) and the proportion of cells in each phase of mitosis by the total number of dividing cells (%). For the analysis of cytogenetic damage using micronucleus test that provided the estimation of micronucleus, protrusions, and binuclear cells. An ana-telophase analysis included the estimation of fragments bridges and lagging chromosomes. As a result of analysis of the roots growth, we founded acting concentrations (2; 4; 10 and 100 g/l) and in-acting ones (1.3 and 1). The experiment showed the similar susceptibility of the onion and wheat root response. The mitosis analysis showed

that concentrations from 1 to 1.3 g/l increased a mitosis activity and concentration of 10 g/l provided the decline of mitosis. There were no cytogenetic defects in all studied concentrations.

Keywords: *deicing agent; deicing salt; deicing compositions; deicer; road deicer; phytotoxic effect; cytogenic assay; meristematic cells; mitotic index; ana-telophase analysis; micronucleus test; mitosis; inhibitory effect.*

For citation: Sbitnev A.V., Vodyanova M.A., Sycheva L.P., Zhurkov V.S., Kriatov I.A., Akhaltseva L.V. The cytogenetic and phytotoxic assessment of the anti-icing material on onion assay (*Allium cepa*). *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2018; 97(2): 144-148. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-2-144-148>

For correspondence: Mariya A. Vodyanova, MD, PhD., the head of the Laboratory of soil hygiene of the Centre for Strategic Planning, Russian Ministry of Health, Moscow, 119121, Russian Federation. E-mail: lab.pochva@sysin.ru

Information about authors: Sbitnev A.V., <http://orcid.org/0000-0003-4406-4287>; Vodyanova M.A., <http://orcid.org/0000-0003-3350-5753>; Sycheva L.P., <http://orcid.org/0000-0002-7370-0169>; Zhurkov V.S., <http://orcid.org/0000-0002-4101-9635>; Kriatov I.A., <http://orcid.org/0000-0002-1335-1606>; Akhaltseva L.V., <https://orcid.org/0000-0002-3619-3858>.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Received: 15 February 2017

Accepted: 05 July 2017

Введение

Метод цитогенетической оценки с использованием лука *Allium cepa* является общепризнанным тестом, рекомендованным ВОЗ и другими международными организациями для анализа мутагенной и цитотоксической активности исследуемых веществ [1, 2].

В настоящее время тест на луке *Allium cepa* также широко используется в России в целях цитогенетической оценки различных видов химических соединений [3 – 9], а также почв, загрязнённых нефтепродуктами, пестицидами, тяжёлыми металлами и радиоактивными веществами [10 – 13].

В меристематических клетках корешков лука анализируются хромосомные и митотические нарушения. За счёт высокой скорости деления клеток апикальной меристемы лука данный метод позволяет за относительно короткие сроки выявить проявления цитогенетической и цитотоксической активности у испытуемых веществ: как правило, через 48 – 72 ч. после начала тестирования регистрируется изменение корневого прироста и проводится анализ клеток с помощью микрофотографирования [14].

Следует отметить, что область научных исследований в цитогенетическом мониторинге в большей степени посвящена оценке генотоксичности распространённых соединений-токсикантов, среди которых практически неизученными остаются современные образцы противогололёдных материалов (ПГМ), отличающиеся от ранее используемых видов (песчано-соляная смесь, хлористый натрий и др.) многокомпонентным составом, включающим в себя помимо стандартного набора различных классов химических соединений (хлориды, формиаты, ацетаты, нитраты и др.) различные антикоррозионные добавки, красители и прочие дополнительные компоненты [15].

На базе ФГБУ «ЦСП» Минздрава России (ранее ФГБУ «НИИ ЭЧ и ГОС им. А.Н. Сысына» Минздрава России) были проведены предварительные экспериментальные исследования по оценке мутагенного потенциала первых видов многокомпонентных ПГМ (хлористый кальций модифицированный «ХКМ», антигололёдный препарат на основе ацетата калия «Нордикс», антигололёдная смесь на основе хлоридов кальция, натрия и калия «Бионорд»), пришедших на замену ранее используемой «технической соли» (хлористый натрий). В эксперименте была использована тест-система на основе бактерий *Salmonella typhimurium* (тест «Эймса»). Полученные данные показали отсутствие какой-либо мутагенной активности со стороны изученного набора ПГМ [16].

Экспериментальные исследования свидетельствуют о том, что многие виды современных противогололёдных реагентов обладают фитотоксическими свойствами. Попадание антигололёдной смеси в почву без учёта безопасных концентраций способно оказать негативное воздействие на рост и развитие растений [17].

Учитывая тот факт, что в настоящее время в целях оценки степени опасности ПГМ на практике используют набор

методических документов, фактически не относящихся к этой группе веществ, в том числе СП 2.1.7.1386-03¹ и МР 2.1.7.2297-07², актуальным является разработка соответствующих методик исследования и критериев оценки современных видов ПГМ, рассматривая их как особую группу химических соединений, способных оказать негативное влияние на компоненты окружающей среды и здоровье человека [15, 17].

Поскольку *Allium*-тест позволяет выявить не только фитотоксические свойства исследуемых веществ, но и определить цитогенетическую активность, то целью настоящего исследования явилась оценка фитотоксических и цитогенотоксических свойств многокомпонентного противогололёдного материала на проростках лука *Allium cepa*.

Материал и методы

Исследован твёрдый многокомпонентный противогололёдный материал известного состава (табл. 1). Для анализа были приготовлены растворы с концентрациями: 1; 1,3; 2; 4; 10 и 100 г/л. Все растворы готовились на дистиллированной воде.

В качестве модельного тест-растения использовались луковицы *Allium cepa*, сорт «Штутгартен ризен». В эксперименте была применена модифицированная методика биотеста на луке *Allium cepa*, которая заключалась в предварительной подготовке луковиц к тестированию и выдерживанием их при небольшой температуре (+4 °С) в течение трёх суток для того, чтобы клетки корневой системы могли синхронно вступить в митоз.

Подготовленные растворы ПГМ помещались в пенициллиновые флаконы (20 мл), в которые впоследствии погружали луковицы с целью обеспечения непосредственного контакта корневой системы лука с растворами антигололёда. Контрольные луковицы прорастивались на дистиллированной воде, в контролируемых условиях в термостате при температуре + 25 (±1) °С в течение 72 часов. На каждую концентрацию приходилось по 9 луковиц.

Таблица 1

Характеристика противогололёдного материала, используемого в эксперименте

Агрегатное состояние	Химический состав	Массовая доля компонента, %
Твёрдый	CaCl ₂	17
	NaCl	77
	HCOONa	6

¹ СП 2.1.7.1386-03 «Определение класса опасности токсичных отходов производства и потребления». Дата введения: 30 июня 2003 г.

² МР 2.1.7.2297-07 «Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности». Методические рекомендации. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – 2007. – С. 15.

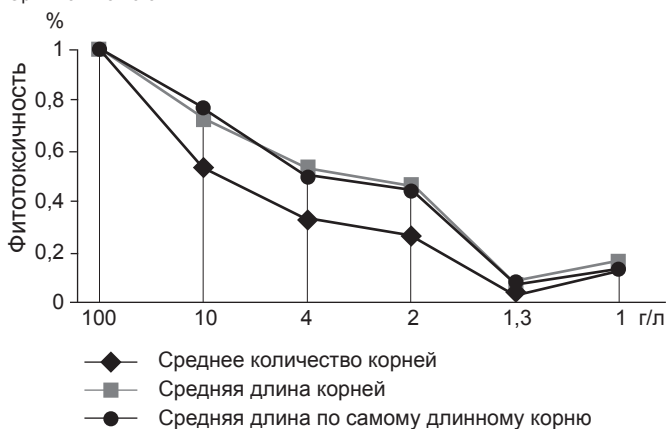


Рис. 1. Зависимость величины фитотоксического эффекта (Ет, %) от концентрации растворов противогололедного материала при воздействии на корневую систему лука *Allium cepa*.

Для целей цитогенетических исследований к концу эксперимента у луковиц срезами кончики корней и помещали в стаканчики с модифицированным фиксатором Карнуа (3 части 96% этанола и 1 часть ледяной уксусной кислоты). Через 2 ч корни промывали в 70% этаноле и в нём хранили в холодильнике. Перед проведением микроскопического анализа корни окрашивали ацетокармином и готовили давленные препараты клеток в капле 45% уксусной кислоты [18].

В эксперименте учитывали следующие показатели: среднее количество корней, длина самого длинного корня и длина на всех корней.

Для цитогенетического анализа брали по два корня от каждой луковицы, в которых анализировали по 1000 клеток. Таким образом, на каждую луковицу число анализируемых клеток составило 2000. Рассчитывали митотический индекс (МИ, %), характеризующий отношение числа клеток, вступивших в митоз на 1000 проанализированных клеток. Среди митотических клеток учитывали число клеток в стадии профазы (П %), метафазы (М %), анафазы (А %) и телофазы (Т %).

Оценка цитогенетического действия проводилась двумя методами: с помощью микроядерного анализа учитывали микроядра, протрузии и двуядерные клетки [19] на 1000 интерфазных клеток. В ана-телофазном методе учитывали долю клеток с цитогенетическими нарушениями во всех ана-телофазах в корнях у луковиц всей группы.

Статистическую обработку данных проводили с помощью компьютерных программ Microsoft Office Excel 2010 и Statistica 7. Для сравнения показателей у луковиц контрольных и опытных групп использовали непараметрический критерий Манна – Уитни, а также коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

Таблица 2

Изменение митотического индекса (МИ %) при воздействии различных концентраций противогололедного материала на меристематические клетки корней лука *Allium cepa*

Концентрация раствора, г/л	Число луковиц в опыте	Число луковиц с митозами в двух корнях	Митотический индекс (МИ %). Средняя ± m
Контроль	9	9	58,3 ± 6,6
1	7	7	78,3* ± 7,6
1,3	8	8	77,4* ± 9,4
2	9	8	76,4* ± 10,1
4	9	7	51,7 ± 6,8
10	7	3	15,0* ± 2,6

Примечание. * – $p < 0,05$ (по критерию Манна – Уитни).

Таблица 3

Доля клеток в корневой системе *Allium cepa* в разных фазах митоза под действием различных концентраций противогололедного материала (1–10 г/л)

Концентрация раствора (г/л)	Профаза (П %)	Метафаза (М %)	Анафаза (А %)	Телофаза (Т %)
Контроль	41,3	22,9	15,3	20,5
1	46,3	25,5	12,6	15,5
1,3	48,0	22,5	13,7	15,7
2	43,8	30,8	11,2	14,2
4	45,7	37,3	12,6	12,7
10	43,3	28,9	17,8	10,0

Результаты

На рис. 1 представлена зависимость фитотоксического эффекта от концентрации растворов антигололеда при использовании различных показателей. При концентрации раствора 100 г/л ни одна из луковиц не проросла. Растворы в концентрациях 1 и 1,3 г/л не вызвали значимых изменений в прорастании корней лука по всем показателям относительно контроля. По показателю «среднее количество корней» минимально действующей концентрацией оказалась 4 г/л. Для показателей «средняя длина корней» и «корень максимальной длины» минимально действующая концентрация 2 г/л. Раствор в концентрации 10 г/л по всем показателям оказал значимое ($p < 0,05$) снижение роста корневой системы относительно контроля.

Анализ связи между показателями «корень максимальной длины» и «средняя длина корней», проведенный по коэффициенту ранговой корреляции Спирмена, показал значимую прямую корреляцию и имел достаточно высокие значения от 0,8 до 0,9 при $p < 0,05$ для всех концентраций, кроме 1,3 г/л.

В соответствии с методическими рекомендациями МР 2.1.7.2297-07 рассчитывали токсико-метрические показатели фитотоксичности – значение минимально действующей (пороговой) концентрации (EC_{20}), при которой ингибирующий эффект у корней составляет 20% относительно контроля, а также величину среднедействующей концентрации (EC_{50}), при которой эффект торможения роста корней находится на уровне 50% относительно контроля. Для каждого показателя рассчитывали уравнение регрессии, описывающее взаимосвязь концентраций с величиной фитотоксического эффекта.

Для показателя «среднее количество корней» $EC_{50} = 8$ г/л, $EC_{20} = 2$ г/л. По показателям «средняя длина корней» и «корень максимальной длины» $EC_{50} = 5$ г/л, $EC_{20} = 1,2$ г/л.

Результаты цитогенетического анализа корней лука *Allium cepa* (табл. 2) показали, что воздействие концентраций антигололеда от 1 до 2 г/л приводило к достоверному ($p < 0,05$)

Таблица 4

Частота клеток с микроядрами и протрузиями в корнях лука *Allium cepa* при воздействии различных концентраций противогололедного материала (Микроядерный тест)

Концентрация раствора (г/л)	Клетки, %		
	с микроядрами	с протрузиями	двуядерные
Контроль	0,88	0,59	0,18
1	0,31	0,39	0
1,3	0	0,47	0
2	0,47	0,27	1,01
4	0	0,075	0,15
10	0	0	0

Таблица 5

Ана-телофазный анализ учёта хромосомных aberrаций в клетках корней лука *Allium cepa* при действии разных концентраций противогололёдного материала

Концентрация раствора, г/л	Число луковиц	Число ана-телофаз	Клетки с нарушениями, %			
			Отставшие хромосомы	Отставшие мосты	Фрагменты	Всего нарушений
Контроль	9	879	0,46	2,62	0,57	3,64
1	7	492	1,21	0,41	0,61	2,24
1,3	7	482	0,62	0,00	0,62	1,24
2	8	533	1,13	0,94	0,56	2,62
4	6	256	0,39	0,78	0,39	1,56

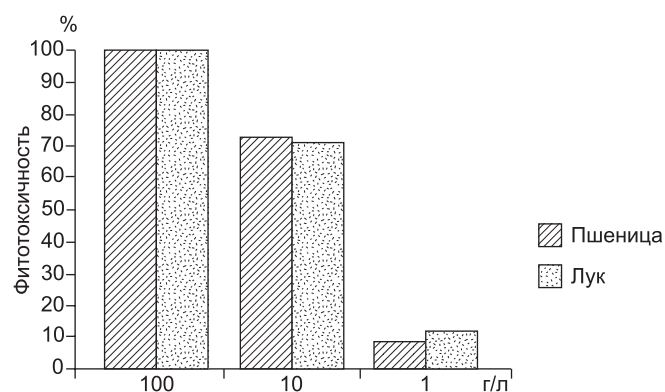


Рис. 2. Сравнительная характеристика чувствительности тест-объектов (пшеницы *Triticum vulgare* и лука *Allium cepa*) по показателю фитотоксичности при воздействии различных концентраций антигололёдного реагента.

увеличению митотического индекса по сравнению с контролем (в 1,3 раза). При концентрации 4 г/л митотическая активность располагалась на уровне контроля. Концентрация 10 г/л оказала существенное статистически значимое ($p < 0,05$) снижение митотического индекса по сравнению с контролем (в 3,8 раза). Число луковиц, у которых были обнаружены митозы в проанализированных корнях для 10 г/л составило 3 из 7 проросших.

Анализ соотношений доли клеток в фазах митоза (табл. 3) показал, что по мере роста концентраций от 1 до 10 г/л происходило небольшое увеличение доли профаз и наиболее показательное снижение доли клеток в стадии телофазы, при этом для 10 г/л отмечалось существенное снижение доли телофаз относительно контроля (в 2 раза).

Цитогенетический анализ по микроядерному тесту не выявил изменение частоты клеток с микроядрами и протрузиями в интерфазных клетках в опытных образцах в концентрациях от 1 до 10 г/л по сравнению с контролем (табл. 4).

Ана-телофазный анализ не выявил изменение частоты ана-телофаз с фрагментами, мостами и отставшими хромосомами по сравнению с контролем – достоверных различий в количестве клеток с цитогенетическими нарушениями не наблюдалось (табл. 5).

Обсуждение

В эксперименте показано, что антигололёдный реагент обладает фитотоксическими свойствами. Растворы в концентрациях 2; 4; 10 и 100 г/л оказали фитотоксическое действие на корневую систему лука. Концентрации 1 и 1,3 г/л слабо повлияли на рост корней. Значение EC_{50} для показателя «среднее количество корней» составило 8 г/л, а для показателя «средняя длина корней» и «корень максимальной длины»

$EC_{50} = 5$ г/л. Показана способность антигололёда оказывать влияние на митоз в клетках корней лука *Allium cepa*. При воздействии концентраций 1; 1,3 и 2 г/л отмечалось увеличение митотической активности, при 10 г/л происходило угнетение митоза. С ростом концентраций изменялось соотношение фаз митоза в сторону увеличения профазных и уменьшения телофазных клеток. Микроядерный тест и ана-телофазный анализ не выявили цитогенетической активности в изученном диапазоне концентраций.

В параллельном эксперименте изучались фитотоксические свойства растворов реагента в концентрациях 1; 10; 100 г/л на семенах пшеницы обыкновенной *Triticum vulgare* в соответствии с МР 2.1.7.2297-07. Экспериментальные данные показали (рис. 2), что величины фитотоксических эффектов имеют близкие значения и свидетельствуют о схожей ответной реакции пшеницы и лука на антигололёдный реагент. Однако метод на луке *Allium cepa*, по сравнению с тестом на проростках пшеницы, отличался явным преимуществом за счёт экспрессивности эксперимента, поскольку аналогичные результаты в данном тесте были получены уже на третьи сутки из-за быстрого роста корней.

В эксперименте на луке *Allium cepa* выявлена прямая значимая корреляция ($p < 0,05$) между показателями «средняя длина корней» и «корень максимальной длины» (по коэффициенту ранговой корреляции Спирмена). Полученные данные показывают, что при анализе фитотоксичности могут быть использованы 2 показателя: «средняя длина корней» и «корень максимальной длины», однако наиболее удобным является использование показателя «корень максимальной длины», поскольку в этом случае процесс учёта длины корней является менее трудоёмким и более экспрессивным.

Микроскопический анализ меристематических клеток корней лука *Allium cepa* позволил получить дополнительную информацию о биологической активности антигололёдного реагента. Цитотоксические исследования помогли раскрыть эффект биологического действия малых концентраций антигололёдного реагента в диапазоне от 1 до 2 г/л, при котором наблюдалась стимуляция митотической активности клеток корней лука по сравнению с контролем. Выявлено значительное уменьшение доли телофазных клеток по мере роста концентраций от 1 до 10 г/л, а также в небольшом увеличении профазных клеток для всех концентраций по сравнению с контролем.

Выводы

1. Корневая система лука *Allium cepa* оказалась достаточно чувствительной к воздействию антигололёдного реагента при оценке его фитотоксического действия. Выявлено, что недействующими концентрациями антигололёда являются 1 и 1,3 г/л, а действующей – 2 г/л. С увеличением концентраций от 2 до 100 г/л происходило последовательное возрастание фитотоксического эффекта.

2. Антигололёдный реагент оказывает влияние на интенсивность митоза в меристематических клетках корней лука *Allium cepa*. Концентрации 1; 1,3 и 2 г/л оказали существенное увеличение митотической активности по сравнению с контролем. Концентрация 10 г/л оказала сильно выраженное угнетение митотической активности по сравнению с контролем. С ростом концентрации от 1 до 10 г/л отмечалось увеличение доли профазных клеток, а также наиболее выраженное снижение доли клеток в стадии телофазы.

3. Результаты ана-телофазного анализа и микроядерного теста показали отсутствие цитогенетической активности антигололёда в концентрациях от 1 до 10 г/л.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

- Grant W.F. Chromosome aberration assays in Allium. A report of U.S. environmental protection agency gene-tox program. *Mutat. Res.* 1982; 99(3): 273-91.
- WHO monographs on selected medicinal plants. World Health Organization: Geneva; 1999.
- Исламудинова А.А., Шаяхметов А.И., Гайдукова И.В. Allium-тест и математическая модель при оценке токсичности циклических аммониевых соединений. Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2012; 3: 51-7.
- Ткачук Н.В., Янченко В.А., Демченко А.М. Антибактериальная и фитотоксическая активность производных антипирина с имидазоазепиновым фрагментом. Вестник БГУ. Серия 2: Химия. Биология. География. 2015; 1: 38-43.
- Ульяненко Л.Н., Сынзыныс Б.И., Амосова Н.В., Нещет Н.В. Детоксикация алюминия ионами железа и другие взаимодействия между ионами металлов в растениях. В кн.: *Химия, биология и биотехнологии: проблемы и перспективы развития. Сборник материалов международного научного e-симпозиума Россия, г. Москва, 26-28 июня 2014*. Киров: Международный центр научно-исследовательских проектов; 2014: 46-61.
- Эмирова Д.Э. Скрининг фитотоксического действия пестицида Би-58 на проростки Allium cepa L. и Zea mays L. *Человек-природа-общество: теория и практика безопасности жизнедеятельности, экологии и valeологии*. 2010; 3: 60-3.
- Зотов А.В., Кудрявцева Е.А., Кавеленова Л.М. К оценке аллелопатической и генотоксической активности листового опада некоторых древесных интродуцентов. Вестник молодых ученых и специалистов Самарского государственного университета. 2013; 2: 17-23.
- Песня Д.С., Серов Д.А., Вакорин С.А., Прохорова И.М. Исследование токсического, митозомодифицирующего и мутагенного действия Борщевика Сосновского. Ярославский педагогический вестник. 2011; 3(4): 93-8.
- Песня Д.С., Романовский А.В., Прохорова И.М. Исследование токсического и генотоксических эффектов синтетических пищевых красителей методом Allium test. Ярославский педагогический вестник. 2012; 3(3): 86-93.
- Кудрявцев А.А., Михайлова Л.В., Рыбина Г.Е., Гордеева Ф.В., Цуляя А. Л., Знаменщиков А.Н. Исследование миграции и деградации нефти в торфяных почвах верховых болот ханты-мансийского автономного округа (ХМАО) под контролем биотестирования. Сибирский экологический журнал. 2012; 6: 761-8.
- Ибрагимова Э.Э. Митотическая активность клеток корневой меристемы Allium cepa при совместном действии пестицидов и тяжелых металлов. Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: Биология. Химия. 2014; 27(66): 56-63.
- Пяткова С.В., Гераськин С.А., Васильева А.Н., Козьмин Г.В., Лянной Н.Н. Особенности использования Allium-теста для оценки токсичности образцов воды и почвы с радиоактивно загрязненных территорий. Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2009; 3: 50-7.
- Багдасарян А.С. Эффективность использования тест-систем при оценке токсичности природных сред. Экология и промышленность России. 2007; 1: 44-8.
- Концева И.И., Толкачёва Т.А. Совершенствование методики биотестирования на основе Allium теста. Вестник Витебского государственного университета. 2012; 6: 57-65.
- Крыатов И.А., Тонкопий Н.И., Водянова М.А., Русаков Н.В., Донерьян Л.Г., Евсеева И.С., Ушаков Д.И., Матвеева И.С., Воробьева О.В., Цапкова Н.Н. Методические подходы к обоснованию гигиенических требований к применению противогололедных материалов. Гигиена и санитария. 2014; 93(6): 52-4.
- Чудакова С.Б. Токсиколого-гигиеническая оценка степени опасности антигололедных реагентов: дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2006.
- Сбитнев А.В., Водянова М.А., Крыатов И.А., Донерьян Л.Г., Евсеева И.С., Ушакова О.В., Ушаков Д.И., Матвеева И.С., Родионова О.М. Методические аспекты оценки фитотоксических свойств противогололедных реагентов. Гигиена и санитария. 2016; 95 (8): 52-4.
- Пухальский В.А., Соловьев А.А., Бадаева Е.Д., Юрцев В.Н. Практикум по цитологии и цитогенетики растений. М.: КолосС; 2007.
- Сычева Л.П. Биологическое значение, критерии определения и пределы варьирования полного спектра кариологических показателей при оценке цитогенетического статуса человека. Медицинская генетика. 2007; 6(11): 3-11.

References

- Grant W.F. Chromosome aberration assays in Allium. A report of U.S. environmental protection agency gene-tox program. *Mutat. Res.* 1982; 99(3): 273-91.
- WHO monographs on selected medicinal plants. World Health Organization: Geneva; 1999.
- Islamudinova A.A., Shayakhmetov A.I., Gaydukova I.V. Allium-test and the mathematical model in the assessment of cyclic ammonium compounds toxicity. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2012; (3): 51-7. (in Russian)
- Tkachuk N.V., Yanchenko V.A., Demchenko A.M. Antibacterial and phytotoxic activity of derivatives of antipyrine with imidazoazepine fragment. *Vestnik BGU. Seriya 2: Khimiya. Biologiya. Geografiya*. 2015; (1): 38-43. (in Russian)
- Ul'yanenko L.N., Synzynys B.I., Amosova N.V., Netsvet N.V. Detoxification of aluminum ions of iron and other interactions between the metal ions in plant. In: *Chemistry, Biology and Biotechnologies: challenges and prospects for development. Collected materials of the international scientific e-symposium, Moscow, Russia, on 26-28 June 2014 [Khimiya, biologiya i biotekhnologii: problemy i perspektivy razvitiya. Sbornik materialov mezhdunarodnogo nauchnogo e-simpoziuma, Rossiya, g. Moskva, 26-28 June 2014]*. Kirov: Mezhdunarodnyy tsentr nauchno-issledovatel'skikh proektov; 2014: 46-61. (in Russian)
- Emirova D.E. Screening of phytotoxic effect of pesticide bi-58 with use of allium cepa l. and zea mays l Magazine. *Chelovek-priroda-obshchestvo: teoriya i praktika bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti, ekologii i valeologii*. 2010; (3): 60-3. (in Russian)
- Zotov A.V., Kudryavtseva E.A., Kavelenova L.M. By assessing the allelopathic and genotoxic activity of leaf litter of some exotic species of wood. *Vestnik molodykh uchenykh i spetsialistov Samarskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2013; (2): 17-23. (in Russian)
- Pesnya D.S., Serov D.A., Vakorin S.A., Prokhorova I.M. Research of the toxic, mitosis modifying and mutagen effect of Heracleum Sosnowskyi. *Yaroslavskiy pedagogicheskiy vestnik*. 2011; 3(4): 93-8. (in Russian)
- Pesnya D.S., Romanovskiy A.V., Prokhorova I.M. Investigation of toxic, mitotoxic and mutagenic effects of synthesized food dyes by the Allium test. *Yaroslavskiy pedagogicheskiy vestnik*. 2012; 3(3): 86-93. (in Russian)
- Kudryavtsev A.A., Mikhaylova L.V., Rybina G.E., Gordeeva F.V., Tsulaiya A.L., Znamenshchikov A.N. The study of migration and degradation of oil in peat soil of upland bogs in KHAMAO under control of biotesting. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*. 2012; (6): 761-8. (in Russian)
- Ibragimova E.E. Mitotical activity of cells of root meristems of allium cepa l. At the united action of pesticides and heavy metals. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Seriya: Biologiya. Khimiya*. 2014; 27(66): 56-63. (in Russian)
- Pyatkova S.V., Geras'kin S.A., Vasil'eva A.N., Koz'min G.V., Lyannoy N.N. Features of using an allium-test to evaluate the toxicity of water and soil samples with radioactively contaminated areas. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Yadernaya energetika*. 2009; (3): 50-7. (in Russian)
- Bagdasaryan A.S. Efficiency test systems for evaluating the toxicity of natural media. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2007; (1): 44-8. (in Russian)
- Kontsevaya I.I., Tolkacheva T.A. Improving bioassay technique based Allium test. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012; (6): 57-65. (in Russian)
- Kryatov I.A., Tonkopiya N.I., Vodyanova M.A., Rusakov N.V., Doner'yan L.G., Evseeva I.S., Ushakov D.I., Matveeva I.S., Vorob'eva O.V., Tsapkova N.N. Methodological approaches to the substantiation of hygienic requirements to application of deicing materials. *Gigiya i sanitariya*. 2014; 93(6): 52-4. (in Russian)
- Chudakova S.B. *Toxicological and hygienic evaluation of the degree of danger anti-icing reagents [Toksikologo-gigienicheskaya otsenka stepeni opasnosti antigolodnykh reagentov]*. Diss. Moscow; 2006. (in Russian)
- Sbitnev A.V., Vodyanova M.A., Kryatov I.A., Doner'yan L.G., Evseeva I.S., Ushakova O.V., Ushakov D.I., Matveeva I.S., Rodionova O.M. Methodological aspects of the assessment of phytotoxic properties of ice-melter reagents. *Gigiya i sanitariya*. 2016; 95(8): 52-4. (in Russian)
- Pukhal'skiy V.A., Solov'ev A.A., Badaeva E.D., Yurtsev V.N. *Workshop on Cytology and cytogenetics of plants [Praktikum po tsitologii i tsitogenetiki rasteniy]*. Moscow: KolosS; 2007. (in Russian)
- Sycheva L.P. The biological significance, and the criteria for determining the full range of variation of karyological indicators when assessing the human cytogenetic status. *Meditsinskaya genetika*. 2007; 6(11): 3-11. (in Russian)