2. Самый высокий суммарный ФП наблюдался у рапса с суданской травой в весеннем посеве и был равен $134,6 \text{ м}^2/\text{м}^2 \times \text{дни}$.
3. Низкая ЧПФ у посева рапса с суданской травой $2,404 \text{ г}/\text{м}^2$ в сутки.

1. Бацазова Т.М., Икоева Л.П. Промежуточные культуры в биологизированных кормовых севооборотах // Горное сельское хозяйство. 2018. №2. С.46-49.
2. Доева Л.Ю., Мамиев Д.М., Болиева З.А. Плодородие почвы и продуктивность картофеля при применении биомелиорантов и удобрений в РСО-Алания // Плодородие. 2010. №3(54). С.31-32
3. Чеботаева С.А., Дудиев Р.Х. Влияние технологических приемов на биологические особенности однолетних культур в смесях // Тезисы докладов участников конференции молодых ученых «Перестройка сельского хозяйства – научное обоснование». Краснодар, 1988. с.
4. Шалыгин Ю.Н., Абаев А.А., Солдатов Э.Д., Бацазова Т.М., Шалыгина А.А., Икоева Л.П. Основные принципы организации системы севооборотов зеленого конвейера, подбор культур и смесей, элементы технологии их возделывания повторных посевов предгорной зоны Северного Кавказа. // Владикавказ. 2011. с.36.
5. Шалыгина А.А., Бацазова Т.М., Икоева Л.П. Подбор адаптивных культур для посевов осенне-зимнего звена зеленого конвейера // Материалы конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития сельского хозяйства Юга России» Майкоп. 2019. 25-27 сентября. С. 437 – 443

Васильев Д.В.

Влияние тяжелых металлов на качество семенного потомства растений

*ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и
агроэкологии
(Россия, Обнинск)*

doi: 10.18411/lj-03-2020-02

idsp: ljjournal-03-2020-02

Аннотация

Работа посвящена изучению последствий загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами для семенного потомства растений. Показано, что небольшие концентрации тяжелых металлов в почвах, могут способствовать увеличению энергии прорастания и всхожести семян, а высокие концентрации способны снижать качество семенного потомства и оказывать генотоксическое воздействие. Избыток тяжелых металлов в почвах может являться лимитирующим для растений фактором, способным влияя на качество семенного потомства снижать стабильность популяций.

Ключевые слова: Цитогенетика, нитрат цинка, ячмень, качество семян.

Abstract

The work is devoted to studying the consequences of environmental pollution by heavy metals for seed progeny of plants. It is shown that small concentrations of heavy metals in soils can contribute to an increase in seed germination and germination energy, and high concentrations can reduce the quality of seed offspring and have a genotoxic effect. Excess heavy metals in soils may be a limiting factor for plants, capable of affecting the quality of seed offspring and reduce the stability of populations.

Keywords: Cytogenetics, zinc nitrate, barley, seed quality.

Введение

Репродуктивная функция является одной из наиболее важных для сохранения жизнеспособности популяций. Способность давать обильные и качественные семена особенно важна в условиях стресса, которым часто является загрязнение почв тяжелыми металлами, уже ставшее в сельском хозяйстве одной из главных причин снижения качества зерновой продукции [1, 2, 3]. Тяжелые металлы (ТМ), и их соединения являясь токсичными для растений, могут приводить к серьезным

нарушениям онтогенеза, но благодаря наличию широкого спектра механизмов устойчивости к действию ТМ растения способны существовать даже в условиях сильного техногенного загрязнения. [4, 5, 6]. Но механизмов естественной саморегуляции может быть недостаточно для сохранения популяции. Опасность поступления и накопления тяжелых металлов в растениях заключается не только в снижении их жизненного потенциала, но и в существенном изменении жизнеспособности и качества семенного потомства. Слабое, нежизнеспособное потомство не сможет сохранить занимаемую популяцией экологическую нишу или дать хороший урожай. Поэтому о надежности защиты растений от избытка тяжелых металлов в почве нужно судить не только по показателям развития растений произрастающих в условиях загрязнения ТМ, но и по качеству их потомства являющегося гарантом популяционной стабильности. Но в настоящее время вопрос о качестве и жизнеспособности семян растений произрастающих в условиях загрязнения почв тяжелыми металлами, к сожалению, изучен не в полной мере. Есть исследования генотоксического воздействия ТМ и их влияния на качество семенного потомства, проводившиеся в естественных условиях, когда на растения оказывает влияние целый комплекс разнообразных факторов. Но подобных лабораторных исследований действия конкретных химических элементов, крайне мало.

Целью данной работы является изучение влияния тяжелых металлов на семенное потомство растений.

Материалы и методы.

Исследовалось семенное потомство ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта «Зазерский-85», полученное на почвах трех типов [7, 8]: дерново-подзолистая супесчаная окультуренная (Albic Retisol (Loamic, Ochric), (Жуковский р-н., Калужская обл.)); чернозем типичный тяжелосуглинистый (Haplic Chernozem (Loamic, Pachic), (Медвенский р-н., Курская обл.)); торфяная болотная низинная (Sapric Histosol, Спас-Деменский р-н., Калужская обл.). В почву перед посевом добавляли водные растворы солей питательных элементов (K_2SO_4 , KH_2PO_4) из расчета К – 100 и Р – 100 мг/кг. В используемые почвы вносился водный раствор нитрата цинка в концентрациях: 25 50 100 150 и 250 мг/кг воздушно-сухой дерново-подзолистой почвы; 50, 100, 250, 500 и 750 мг/кг воздушно-сухого чернозема типичного тяжелосуглинистого; 250, 500 и 1000 мг/кг воздушно-сухой торфяной болотной низинной почвы. В каждом варианте, включая контрольный, количество вносимого N корректировали с помощью азотнокислого аммония по варианту с максимальной дозой Zn. Семена проращивались и высаживались в вегетационные пластиковые сосуды (объемом 5 дм³, для 5 кг абсолютно-сухой массы почвы) по 25 шт./сосуд в 5-ти повторностях.

Для определения последствий воздействия ионов цинка на урожай изучали всхожесть и цитогенетические эффекты в корневой меристеме проростков семенного потомства ячменя. Семена проращивали в термостате в чашках Петри, при постоянной температуре - 21°C, на фильтровальной бумаге смоченной дистиллированной водой. На 7 сутки после начала проращивания определяли всхожесть семян. Чтобы зафиксировать клетки проростков семян в первом митозе их по достижении длины 1 – 1,5 см, помещали в ацето-алкоголь (1:3). Временные давленные препараты окрашивали ацетоорсеином и определяли количество клеток с цитогенетическими нарушениями (в среднем 3 – 6 тысяч ана-телофаз на вариант). Клетки, со сложными, (неподдающимися распознаванию) абберациями исключались из анализа. Отметим, что анафазным методом в клетках проростков семян регистрируются нарушения возникшие в период от образования гамет до созревания и сбора семян, так как индуцированные на вегетативной стадии хромосомные перестройки элиминируются в мейозе за исключением не регистрируемых этим методом транслокаций и симметричных инверсий.

Статистическую обработку данных проводили в редакторе MS Excel методами вариационной статистики. По критерию Стьюдента оценивали достоверность отличий.

Оптимальный объем выборки, определяли методом статистического анализа эмпирических распределений [9]. Экспериментальные данные проверялись на наличие выбросов, которые исключались из дальнейшего рассмотрения.

Результаты и обсуждение

Для оценки последствия воздействия ионов металлов на потомство растений чаще всего используются показатели всхожести и энергии прорастания. По всхожести в последующем можно определить пригодность семян к посеву и норму их посева. Энергия прорастания характеризует дружность всходов семян, что является важной характеристикой для сельскохозяйственных растений.

Многочисленными экспериментами с растениями разных жизненных форм (травы, кустарники, деревья) показано, что с увеличением степени техногенного загрязнения мест произрастания материнских растений, у их семенного потомства может наблюдаться снижение значений энергии прорастания и всхожести семян [10, 11, 12, 13]. Так у семенного потомства лебеды раскидистой (*Atriplex patula* L.), с увеличением степени техногенного загрязнения, наблюдали снижение лабораторной всхожести – в 1.8 раза и длины корешка – в 1.3 раза по сравнению с контролем [14]. В вегетационных опытах по проращиванию семян *Vaccinium myrtillus* и *Vaccinium vitis-idaea*, сформировавшихся при различных уровнях загрязнения среды отходами цинкоплавильного завода, всхожесть семян снижалась в 8 - 15 раз [15]. В исследовании на ольховнике кустарниковом (*Dushekia fruticosa* (Rupr) Pouzar) [16] повышенное содержание кадмия в почве снижало всхожесть семенного потомства, а при его концентрации 0,57 г/т почвы оно теряло жизнеспособность.

В дальнейшем у молодых растений, полученных от семенного потомства из районов сильного техногенного загрязнения, часто наблюдается задержка темпов онтогенетического развития [17].

Но многие из тяжелых металлов могут являться для растений жизненно необходимыми микроэлементами и в некоторых случаях, при невысоких уровнях загрязнения, могут способствовать улучшению ростовых характеристик семенного потомства [18, 19]. Так, например цинк, участвует во многих жизненно важных процессах, таких как углеводный и белковый обмен, окислительные процессы, синтез ДНК, РНК, хлорофилла [1]. Кроме этого в условиях хронического загрязнения среды промышленными токсикантами могут формироваться и устойчивые популяции, способные давать большое количество семян хорошего качества. Например, семена кровохлебки лекарственной (*Sanguisorba officinalis* L.), полученные на загрязненной тяжелыми металлами почве развивались лучше, чем проростки из семян растений с фоновой территории [20]. Семена ромашки аптечной (*Matricaria chamomila* L.), сформированные в условиях загрязнения ТМ, характеризовались более высокой энергией прорастания и лабораторной всхожестью по сравнению с контролем [21]. Аналогичные результаты были получены и для семенного потомства астры альпийской (*Aster alpinus* L.), лабазника шестилепестного (*Filipendula hexapetala* Gilib.), дрока красильного (*Genista tinctoria* L.), костреца безостого (*Bromopsis inermis* Leyss. Holub.), мари белой (*Chenopodium album* L.) [22, 23]. Показатели жизнеспособности потомства черники (*Vaccinium myrtillus* L.), голубики (*V. uliginosum* L.), брусники (*V. vitis-idaea* L.) [24, 25], березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) [26] оставались постоянными независимо от уровня химического загрязнения. Высокая устойчивость семенного потомства растений техногенных экотопов к высоким уровням загрязнения ТМ может свидетельствовать о достижении ими определенного уровня генотипической дифференциации, отражающейся в наследовании признаков повышенной толерантности к загрязнению тяжелыми металлами.

В исследовании, проводившемся на ячмене сорта Зазерский 85, было установлено, что всхожесть семян ячменя выросшего на почвах загрязненных нитратом цинка, имеет тенденцию к немономонному снижению ($r = 0,51 - 0,59$) с ростом концентрации цинка на всех исследуемых типах почв (рис. 1). Однако небольшие

концентрации металла (25 – 250 мг/кг воздушно-сухой почвы), вызывали увеличение всхожести семян. У семян ячменя выросшего на дерново-подзолистой и торфяной почве этот рост был статистически значим. Повышение всхожести семян ячменя выросшего на почвах с низким уровнем загрязнения объясняется тем, что цинк в небольших концентрациях необходим для растений, являясь важным микроэлементом оказывающим влияние на формирование генеративных органов и семян [18, 19]. Токсичным цинк становится, только превысив определенный для каждого вида растений критический уровень [18]. Наиболее низок этот уровень на дерново-подзолистой почве, в связи с высокой доступностью цинка для растений [27].

Рис. 1. Всхожесть семян ячменя выращенного на почвах загрязненных нитратом цинка.

Примечание. * – отличие от контроля статистически значимо.

Многочисленными экспериментами с биологическими объектами разного уровня организации было показано, что соли тяжелых металлов обладают мутагенными и канцерогенными свойствами. ТМ являясь метаболическими ядами, действующими на энергетику клетки, фотосинтез и регуляторные процессы, способны существенно увеличивать частоту появления генетических нарушений, а некоторые способны непосредственно взаимодействовать с молекулой ДНК. В зависимости от концентрации и физико-химических свойств, ионы металлов влияют на разные ферменты и белки, вовлеченные в репарацию ДНК, и тем самым снижают эффективность репарации повреждений [28, 29]. Также ионы ТМ способны генерировать образование свободных форм кислорода, вызывающих повреждения оснований, одиночные разрывы ДНК [30], что становится сигналом к изменению генной экспрессии и апоптозу.

При изучении мутагенеза индуцируемого ТМ наиболее адекватными признаны цитогенетические тест-системы [31, 32, 33, 34,]. Они дают мало заведомо ложных

результатов [35], позволяют обнаруживать ранние и в то же время наиболее серьезные последствия техногенного воздействия, такие как увеличение генетического груза в популяциях и изменение видовой структуры биоценозов. Исследуя цитогенетические характеристики семенного потомства, можно определить степень поврежденности и нестабильности генетического аппарата у особей, составляющих популяцию. Выявлять мутантные формы, внешне (фенотипически) не отличающиеся от особей, обладающих нормальным генотипом.

В цитогенетических исследованиях, проводившихся на семенном потомстве растений произраставших в условиях загрязнения тяжелыми металлами [36, 37] показано увеличение числа цитогенетических нарушений у семенного потомства растений произраставших в условиях химического загрязнения. У семенного потомства березы повислой (*Betula pendula* Roth) произраставшей в центре г. Воронеж, где имеется сильное загрязнение такими металлами как медь, цинк, свинец, кадмий в концентрациях более 1,5 - 2 ПДК, отмечалось статистически значимое увеличение в 3 - 5 раз числа цитогенетических нарушений в корневой меристеме семян [38].

В исследовании на ячмене сорта Зазерский 85 был выявлен статистически значимый ($p < 0.05$) рост числа цитогенетических нарушений в корневой меристеме проростков семян урожая ячменя выросшего на черноземе и дерново-подзолистых почвах с высокими концентрациями цинка в 4 – 7 раз превышающими значения ОДК для данных типов почв [39]. На торфяной болотной низинной почве обнаружена тенденция к увеличению цитогенетических aberrаций при концентрациях цинка в почве в 9 раз превышающих значения ОДК (табл. 1).

Таблица 1.

Частота и спектр цитогенетических нарушений в корневой меристеме проростков семян ячменя

Варианты	АК, %	Относительный вклад аберраций разных типов, %		
		f'+m'	f''+m''	g+mp
Дерново-подзолистая почва				
0 мг/кг	0,80±0,07	17,95±0,05	46,15±0,07	35,90±0,06
25 мг/кг	0,78±0,07	4,00±0,03*	58,00±0,08	38,00±0,07
50 мг/кг	0,82±0,08	10,00±0,07	41,67±0,08	48,33±0,08
100 мг/кг	1,02±0,09	12,28±0,06	38,60±0,08	49,12±0,07
150 мг/кг	0,98±0,10	14,55±0,08	36,36±0,07	49,09±0,07
225 мг/кг	1,31±0,08***	11,67±0,05	31,67±0,06	56,67±0,05**
Чернозем типичный тяжелосуглинистый				
0 мг/кг	0,82±0,06	24,05±0,06	34,18±0,06	41,77±0,06
50 мг/кг	0,83±0,06	16,42±0,07	52,24±0,07	31,34±0,05
100 мг/кг	0,92±0,10	21,67±0,05	43,33±0,11	35,00±0,09
250 мг/кг	0,84±0,10	18,64±0,09	27,12±0,09	54,24±0,09
500 мг/кг	0,99±0,12	22,45±0,07	28,57±0,10	48,98±0,08
750 мг/кг	1,19±0,13*	26,23±0,08	16,39±0,05	57,38±0,10
Торфяная болотная низинная почва				
0 мг/кг	0,81±0,09	17,72±0,05	32,91±0,06	49,37±0,06
250 мг/кг	0,81±0,07	17,91±0,07	28,36±0,06	53,73±0,07
500 мг/кг	0,90±0,09	25,00±0,06	19,12±0,07	55,88±0,08
1000 мг/кг	1,07±0,10	15,79±0,07	24,56±0,07	59,65±0,07

Примечание. ВК – число просмотренных ана-телофазных клеток; АК – aberrантные клетки; f' , m' – хроматидные (одиночные) фрагменты и мосты; f'' , m'' – хромосомные (двойные) фрагменты и мосты; g – отставания хромосом; tr – многополюсные митозы * – отличие от контроля статистически значимо: * - $p < 5\%$, ** – $p < 1\%$, *** – $p < 0,1\%$.

Надо отметить, что рост цитогенетических нарушений у семян, полученных на дерново-подзолистых почвах, начинается при значительно меньших концентрациях цинка, чем у семян полученных на черноземе или торфяной почве, что связано с его большей доступностью для растений.

Часто при проведении исследований природных популяций появляется необходимость определить какой из действующих факторов оказывает наибольшее влияние. Природу фактора вызвавшего повышение частоты цитогенетических aberrаций можно определить по спектру нарушений. Этот подход основан на том фундаментальном факте, что ни один из техногенных поллютантов не способен создать новые биологические феномены, т.е. новые типы мутаций, которые не наблюдались бы и в контроле. Но вот соотношение типов мутаций при действии факторов разной природы может меняться весьма значительно [40, 41]. Считается, что ионизирующее излучение в основном индуцирует крупные генетические изменения (делеции и перестройки) [42, 43]. Многие химические мутагены вызывают главным образом генные мутации, а для действия тяжелых металлов характерно преобладание нарушений митоза [44]. Так в исследовании сосны произрастающей в зеленой зоне г. Бийска было показано, что в районе возле ТЭЦ-1, где в спектре загрязнения присутствует большое количество тяжелых металлов, на наиболее загрязненном участке наблюдался высокий процент нарушений митоза в виде геномных мутаций [45].

Анализ спектра цитогенетических нарушений, проведенный для семенного потомства ячменя сорта Зазерский 85, также выявил тенденцию к росту числа геномных нарушений, по мере увеличения концентрации цинка в исследуемых почвах. Причем, при концентрации цинка 250 мг/кг воздушно-сухой дерново-подзолистой почвы число геномных нарушений статистически значимо отличалось от фонового уровня.

Заключение.

Тяжелые металлы, поступая и накапливаясь в растениях, способны существенно изменять жизнеспособность и качество семенного потомства.

В больших концентрациях ТМ снижают всхожесть и энергию прорастания семян. В тоже время небольшие концентрации некоторых металлов, являющихся жизненно необходимыми для растений могут положительно влиять на жизнеспособность и всхожесть семенного потомства. Также в условиях хронического загрязнения среды промышленными токсикантами могут формироваться устойчивые популяции растений, способные давать высокие урожаи семян хорошего качества.

Действие тяжелых металлов на семенное потомство может и не проявляться в их фенотипе или не влиять на способность к прорастанию. Тем не менее на генетическом уровне они могут оказывать негативное влияние на семенное потомство, оказывая мутагенное воздействие, увеличивая частоту цитогенетических нарушений.

У семенного потомства, полученного на почвах загрязненных ТМ, в спектре цитогенетических нарушений может наблюдаться повышенное число геномных нарушений.

Таким образом, избыток тяжелых металлов в почвах может являться лимитирующим для растений фактором, способным влияя на качество семенного потомства снижать стабильность популяций.

1. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. / Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1991. 151с.
2. Villiers F., Ducruix C., Hugouvieux V. et al. Investigating the plant response to cadmium exposure by proteomic and metabolomic approaches // Proteomics. 2011. V. 11. P. 1650–1663.
3. Wood J. M. Diologicalcicles for toxic elements in the invironment // Science 1974. Vol. 183. P. 1049-1059.

4. Yang X., Feng Y., He Z. L., Stoffella P. J. Molecular mechanisms of heavy metal hyperaccumulation and phytoremediation // J. Trace Elem. Med. Biol. 2005. V. 18. P. 339–353.
5. Титов А. Ф., Таланова В. В., Казнина Н. М., Лайдинен Г. Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 170 с.
6. Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В. Тяжелые металлы и растения. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2014. 194 с.
7. Классификация и диагностика почв СССР. Москва: «Колос», 1977. 221 с.
8. World reference base for soil resources. 2nd edition. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome. 2006. 132 p.).
9. Гераськин С.А., Фесенко С.В., Черняева Л.Г., Санжарова Н.И. Статистические методы анализа эмпирических распределений коэффициентов накопления радионуклидов растениями // Сельскохозяйственная биология. 1994. № 1. С. 130 – 137.
10. Веселкин Д. В. Изменение численности всходов и подроста *Picea obovata* Ledeb. и *Abies sibirica* Ledeb. в темнохвойных южно-таежных лесах в условиях загрязнения выбросами Среднеуральского медеплавильного завода (Свердловская обл.) // Растительные ресурсы. 2004. № 1. С. 28—38.
11. Киреева Н. А., Мифтахова А. М., Кузахметов Г. Г. Рост и развитие сорных растений в условиях техногенного загрязнения почвы // Вестник Башкирского ун-та. 2001. № 1. С. 32—34.
12. Семериков Л. Ф., Завьялова Н. С. Влияние нефтяных загрязнений на изменчивость популяций канареечника тростниковидного // Экология. 1990. № 2. С. 31—34.
13. Сысо А. И., Бокова Т. И. Влияние доз свинца, кадмия и детоксиканта на урожай и химический состав овса и люцерны // Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде : докл. II Междунар. науч.-практ. конф. Семипалатинск, 2002. Т. 2. С. 126—130.
14. Прокопьев И.А., Филиппова Г.В., Шеин А.А. Влияние техногенного загрязнения пылью, содержащей тяжелые металлы, на семенное потомство лебеды раскидистой // Физиология растений, 2012, том 59, № 2, с. 238—243
15. Лянгузова И. В., Комалетдинова Э. М. Влияние загрязнения почвы никелем и медью на всхожесть семян и развитие всходов трех видов р. *Vaccinium* L. в условиях вегетационного опыта // Растительные ресурсы. 2003. Т. 39, № 3. С. 88—92
16. Журавская А.Н., Артамонова С.Ю., Филиппова Г.В. Радионуклиды и тяжелые металлы в системе «радиоактивные отвалы, грунт, растение» и их влияние на семенное потомство ольховника кустарникового (*Dusheikia fruticosa* (Rupr) Pouzar) // сибирский экологический журнал, № 2, 2012г. С.295-303
17. Трубина М. Р. Эколого-генетическая структура изменчивости в популяциях скерды кровельной (*Crepis tectorum* L.) // Экология. 2001. № 1. С. 38—43.
18. Siedlecka, A., Some aspects of interactions between heavy metals and plant mineral nutrients. Acta Soc. Bot. Pol., 1995., V. 64, P. 65–272.
19. Lindsay, W. L., Zinc in soils and plant nutrition. Adv. Agron., 1972. Т. 24, 147 p.
20. Хантемирова Е. В. Реакция травянистой растительности на выбросы медеплавильного завода (ценотические и популяционные аспекты) : автореф. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 1997. 27 с.
21. Прокопьев И.А., Филиппова Г.В., Шеин А.А., Габышев Д.В. Влияние городского техногенного загрязнения на морфологические, биохимические характеристики и семенную продуктивность ромашки аптечной // Экология. 2014. № 1. С. 22–29.
22. Башмаков Д. И., Лукаткин А. С. Действие тяжелых металлов на ростовые характеристики *Chenopodium album* L. // Промислова ботаніка : стан та перспективи розвитку : матеріали IV Міжнар. наук. конф. (Донецьк, вересень 2003). Донецьк, 2003. С. 86—88.
23. Растения в экстремальных условиях минерального питания : эколого-физиол. исслед. / под ред. М. Я. Школьника, Н. В. Алексеевой-Поповой. Л. : Наука, 1983.
24. Комалетдинова Э. М., Лянгузова И. В. Жизнеспособность семян трех видов р. *Vaccinium* в условиях промышленного загрязнения // Экологическая ботаника: наука, образование, прикл. аспекты : междунар. науч. конф. : тез. докл. Сыктывкар, 2002. С. 135—136.
25. Лянгузова И. В., Мазная Е. А. Влияние атмосферного загрязнения на репродуктивную способность дикорастущих ягодных кустарничков сосновых лесов Кольского полуострова // Растительные ресурсы. 1996. Т. 32, № 4. С. 14—22.
26. Васфилов С. П., Махнев А. К. Рост и плодоношение белых берез в условиях воздушного загрязнения // Естественная растительность промышленных и урбанизированных территорий Урала : сб. науч. тр. Свердловск : УрО РАН, 1990. С. 111—120.
27. Васильев Д.В., Анисимов В.С., Анисимова Л.Н., Фригидова Л.М., Фригидов Р.А. Влияние загрязнения почв цинком на ячмень сорта Зазерский 85 и его семенное потомство // Агрохимия. 2019. № 8. С. 60-69.
28. Dally H., Hartwig A. Induction and repair inhibition of oxidative DNA damage by nickel(II) and cadmium(II) in mammalian cells // Carcinogenesis. 1997. V. 18. P. 1021-1026.

29. Asmuss M., Mullenders L.H., Eker A., Hartwig A. Differential effects of toxic metal compounds on the activities of Fpg and XPA, two zinc finger proteins involved in DNA repair // *Carcinogenesis*. 2000. V. 21. P. 2097-2104.
30. Waisberg M., Joseph P., Hale B., Beyersmann D. Molecular and cellular mechanisms of cadmium carcinogenesis // *Toxicology*. 2003. V. 192. Suppl. 2-3. P. 95-117.
31. Grant W.F., Owens E.T. Chromosome aberration assays in *Pisum* for the study of environmental mutagenesis // *Mutation research*. 2001. V. 488. Suppl. 2. P. 93-118.
32. Ma T.H., Xu Z., Xu C., McConnell H., Rabago E.V., Arreola G.A., Zhang H. The improved *Allium/Vicia* root tip micronucleus assay for clastogenicity of environmental pollutants // *Mutation Research*. 1995. V. 334. P. 185-195.
33. Steinkellner H., Mun-Sik K., Helma C., Ecker S., Ma T.H., Horak O., Kundi M., Knasmüller S. Genotoxic effects of heavy metals: comparative investigation with plant bioassays // *Environmental and Molecular Mutagenesis*. 1998. V. 31. P. 183-191.
34. Kovalchuk I., Kovalchuk O., Hohn B. Biomonitoring the genotoxicity of environmental factors with transgenic plants // *Trends in Plant Science*. 2001. V. 6. P. 306-310.
35. Grant W.F., Owens E.T. *Lycopersicon* assays of chemical/radiation genotoxicity for the study of environmental mutagenesis // *Mutation research*. 2002. V. 511. Suppl. 3. P. 207-237.
36. Егоркина Г.И., Валетова Е.А. Цитогенетическое изучение сосны обыкновенной в городских лесах г. Бийска // *Ползуновский вестник*, 2004, № 2.-С.110-П5
37. Машкина О. С., Калаев В. Н., Мурая Л. С., Леликова Е. С. Цитогенетические реакции семенного потомства сосны обыкновенной на комбинированное антропогенное загрязнение в районе Новолипецкого металлургического комбината // *Экологическая генетика*, том VII, № 3, 2009г., С. 17-29.
38. Вострикова Т.В. Эколого-физиологическая реакция семенного потомства древесных растений на стресс // *Вестник ВГУ, серия: география. геоэкология*, 2010, № 1, с. 87-91
39. ГН 2.1.7.2511-09 «Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве». Москва, 2009. С. 1 – 6.
40. Фогель Ф., Мотульский А. Генетика человека. 1990. Т. 2., Москва: Мир, 378 с.
41. Geraskin S.A., Dikarev V.G., Dikareva N.S., Vasiliyev D.V., Oudalova A.A., Alexakhin R.M., Zimina L.M., Zimin V.L., Blinova L.D. Bioindication of the anthropogenic effects on micropopulations of *pinus sylvestris*, l. in the vicinity of a plant for the storage and processing of radioactive waste and in the Chernobyl NPP zone // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2003. T. 66. № 1 – 2. pp. 171 – 180.
42. Репарация ДНК и мутагенез. Научный комитет ООН по действию атомной радиации. Доклад за 1998 год Генеральной ассамблее. 45 с.
43. Streffer C., Bolt H., Follesdal D., Hall P., Hengstler J.G., Jakob P., Oughton D., Prieb K., Rehbinder E., Swaton E. Low dose exposures in the environment. Dose-effect relations and risk evaluation. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2004. 471 p.
44. Гераськин С.А., Сарапульцева Е.И. Цаценко Л.В. Глазер В.М. Абилов С.К. Смирнова С.Г. Замулаева И.А. Комарова Л.Н. Степченкова Е.И. Инге-Вечтомов С.Г. Ким А.И. Крутенко Д.В. Евсеева Т.И. Михайлова Г.Ф. Амосова Н.в. Биологический контроль окружающей среды: генетический мониторинг М.: Академия, 2010. 208 с.
45. Егоркина Г.И., Валетова Е.А. Цитогенетическое изучение сосны обыкновенной в городских лесах г. Бийска // *Ползуновский вестник*, 2004, № 2.-С.110-П5

Воробьева Т.Г.

Оценка функционального состояния организма детей с нарушениями опорно-двигательного аппарата

*Омский государственный университет им. Ф.М.Достоевского
(Россия, Омск)*

doi: 10.18411/lj-03-2020-03

idsp: ljjournal-03-2020-03

Аннотация

В статье представлены результаты исследования, направленные на совершенствование методики организации и проведения занятий оздоровительным плаванием с детьми с детским церебральным параличом. После проведения экспериментальных исследований, отмечено улучшение функционального состояния организма у детей с детским церебральным параличом

Ключевые слова: дети, адаптивная физическая культура, детский церебральный паралич, адаптивное плавание.