

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ И ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ
ОСОБЕННОСТИ РАСТЕНИЙ В АНТРОПОГЕННО
ТРАНСФОРМИРОВАННОЙ СРЕДЕ

УДК 581.52:576.355:634.942

И.И. Коршиков, Ю.А. Ткачева, Е.В. Лаптева

СПЕКТР И ЧАСТОТА ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ
У ПРОРОСТКОВ СЕМЯН ХВОЙНЫХ КАК КОМПЛЕКСНЫЙ
ИНДИКАТОР ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННОЙ СРЕДЫ

хвойные, семенное потомство, техногенное загрязнение, патологии митоза, хромосомные аберрации, ядрышковая активность, микроядра

Введение

В настоящее время для оценивания негативного влияния техногенно загрязненной среды на живые организмы широко проводятся исследования по выявлению в них ранних цитогенетических изменений и патологий. В качестве индикаторов такого влияния нередко используют древесные растения [1, 2, 13, 14, 25], особенно часто – хвойные породы, произрастающие в зонах техногенного загрязнения и в промышленных городах [5, 10]. Результаты исследований показывают, что хвойные проявляют себя как чувствительные и надежные объекты по выявлению цитогенетических эффектов, вызываемых действием загрязнителей и экстремальных факторов среды [4, 10, 22, 29].

В промышленных городах степной зоны Украины все виды хвойных являются интродуцентами, а поэтому они испытывают влияние как неблагоприятных природно-климатических факторов, так и воздействие загрязненной среды. Растения в насаждениях, примыкающих к промышленным площадкам крупных металлургических, химических, цементных и других производств, а также в городах с интенсивным движением автотранспорта, подвержены влиянию разнообразных по химическому спектру аэрополлютантов. В районах, где ведется добыча полезных ископаемых, растения, произрастающие на горнорудных отвалах, испытывают негативное влияние тяжелых и редкоземельных металлов, находящихся в малопродуктивной для их роста породе. В связи с этим важным представляется оценка цитогенетических эффектов у растений в зависимости от характера загрязненности среды – воздушное или эдафическое. С другой стороны, целесообразно выяснить, какие типы цитогенетических патологий преобладают у растений в условиях техногенно трансформированной среды интродукционного ареала и имеют ли эти изменения видоспецифический характер. Все это позволит выявить виды, наиболее чувствительно реагирующие на влияние среды, которые в дальнейшем можно использовать для цитогенетического мониторинга загрязненности среды промышленных городов.

Цель и задачи исследований

Цель нашей работы установить уровень и спектр цитогенетических изменений в клетках проростков семян трех видов хвойных, произрастающих в условиях воздушного и эдафического загрязнения окружающей среды. Задачей исследования был комплексный сравнительный анализ их цитогенетических эффектов для выявления наиболее чувствительных показателей и видов растений.

Объекты и методика исследований

Объектом исследований были представители трех видов семейства Pinaceae Lindl. из насаждений и природных популяций (контроль).

© И.И. Коршиков, Ю.А. Ткачева, Е.В. Лаптева

Сосна крымская (*Pinus pallasiana* D. Don.). Исследовано семенное потомство 20–40-летних насаждений в городах Донецк и Мариуполь, где доминируют эмиссии металлургических комбинатов и выхлопные газы автотранспорта, в пгт Новоамвросиевка, где к первым двум факторам добавляется большое количество выбрасываемых цементным производством твердых мелкодисперсных частиц; на Первомайском железорудном отвале Северного горно-обогатительного комбината (СевГОК, г. Кривой Рог) и насаждения, расположенного в 2,0 – 2,5 км от этого комбината, в дендрарии Криворожского ботанического сада НАН Украины (КБС).

Семена собирали отдельно с 25–30 деревьев в названных насаждениях. Для анализа использовали по 10 семян каждого растения. Контролем служили семена *P. pallasiana* из природной популяции Горного Крыма (район пгт Никита), собранные с 40 деревьев, возрастом от 80 до 100 лет.

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). В исследовании использовали растения насаждений в дендрарии КБС, где преобладает атмосферное загрязнение газами и пылью, и на Первомайском железорудном отвале.

Ель европейская (*Picea abies* (L.) Karst.). Исследованы две природные популяции Украинского Полесья и интродукционное насаждение *P. abies* в дендрарии Донецкого ботанического сада НАН Украины (ДБС). В качестве контроля использовали одну из островных популяций в Роستانском лесничестве Волынской области.

Для цитогенетических исследований выбраны такие показатели: патологии митоза, хромосомные аберрации, ядрышковая активность и ядерно-ядрышковое соотношение, микроядерный тест. Анализ проводили на временных препаратах меристематических тканей корешков проростков семян. Семена проращивали в чашках Петри на влажной фильтровальной бумаге в термостате при температуре 23–25°C. Корешки длиной 1,0–1,5 см фиксировали в уксусном этаноле (1:3). Для анализа митоза и хромосомных аномалий препараты окрашивали 2 % раствором ацетоорсеина [16], для визуализации микроядер – 1 % раствором ацетогемагоксилина [8]. При окрашивании ядрышек применяли 50 % раствор азотнокислого серебра [12, 31]. Давленные препараты готовили по стандартной методике [15]. Просмотр микропрепаратов осуществляли с помощью микроскопа *Primo Star* (Carl Zeiss) при увеличении 40x10. Для фотографирования препаратов применяли цифровую камеру *Canon PowerShot A620*. Промеры осуществляли на цифровых снимках с помощью программного обеспечения *Axio Vision Rel. 4.7*.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты исследования уровня цитогенетических изменений в меристематических тканях корешков проростков семян показали, что в клетках проростков из районов с техногенно загрязненной средой увеличивается количество цитологических аномалий и наблюдается расширение их спектра у всех из исследованных видов. Так, в насаждениях *P. pallasiana* в степной зоне уровень патологий митоза варьирует от 0,19 до 4,26 %, тогда как в природной популяции Крыма этот показатель составил только 0,09 % (табл.). Следует отметить, что при воздействии атмосферных выбросов промышленных производств Донбасса, патологий митоза у проростков было в 2,1–4,4 раза больше, чем у проростков *P. pallasiana* контрольной популяции, а у проростков дендрария КБС – в 20,6 раза. У семенного потомства растений с железорудного отвала доля этих патологий была больше в 31,3–47,3 раза по сравнению с контролем и в 1,5–2,3 раза по сравнению с растениями, подверженными влиянию выбросов СевГОКа в дендрарии КБС.

Подобная тенденция наблюдается и в клетках проростков *P. sylvestris*, где уровень патологических митозов в неблагоприятных эдафических условиях заметно выше (2,14–2,78%), чем при атмосферном загрязнении (1,37%). В этом, очевидно, отражается специфика воздействия на растения разнокачественного по типу и характеру загрязнения окружающей среды. Установлено, что в одном из микрорайонов г. Воронежа, где главными загрязнителями являются выбросы автотранспорта, уровень патологических митозов в соматических клетках *P. sylvestris* варьировал от 1,6 до 3,1%, а в районах с большим количеством промышленных предприятий – от 7,6 до 8,5% [6].

Таблица. Частота встречаемости цитогенетических нарушений в делящихся клетках корешков проростков семян хвойных из разных мест произрастания

Вид	Место произрастания (тип загрязнения)	Количество просмотренных клеток, шт.	Цитогенетические показатели			
			ПМ, %	ХА, %	ядерно-ядрышковое соотношение	МЯ тест, %
<i>Pinus pallasiana</i> D. Don.	Крым (контроль)	10083	0,09	0,04	7,24	0,95
	Промышленные города Донбасса (атмосферное)	6748–7175	0,19–0,40	0,64–1,36	7,73–8,59	1,72–2,81
	Кривбасс, железорудный отвал (эдафическое)	12659–18941	2,82–4,26	1,37–4,27	15,54	–
	Кривбасс (атмосферное)	17769	1,85	1,11	6,73	–
<i>Pinus sylvestris</i> L.	Кривбасс, железорудный отвал (эдафическое)	15210–19454	2,14–2,78	3,10–5,10	–	–
	Кривбасс (атмосферное)	19567	1,37	2,28	–	–
<i>Picea abies</i> (L.) Karst.	Полесье (контроль)	8728–10197	0,07–0,11	0,25–0,27	10,0–12,72	1,34–2,12
	г. Донецк (атмосферное)	11813	0,21	0,20	9,00	2,54

Примечание. ПМ – патологии митоза, ХА – хромосомные aberrации, МЯ тест – микроядерный тест.

Уровень патологий достигал 13,7 % в зоне повышенного антропогенного воздействия (г. Воронеж), что рассматривается как прямое доказательство наличия нерепарированных повреждений генетического материала [20].

В насаждении *P. abies*, что произрастает в стрессовых условиях интродукционного ареала (дендрарий ДБС) выявлено повышение уровня патологий митоза в 1,9–3,0 раза по сравнению с природными популяциями, а так же незначительное расширение их спектра. Характерной особенностью для всех выборок *P. abies* является отсутствие многополюсности или других патологий, связанных с полным разрушением структуры веретена.

При анализе такого цитогенетического показателя, как уровень хромосомных aberrаций, у исследуемых видов прослеживались подобные тенденции, которые обнаружены для патологий митоза. В насаждениях *P. pallasiana*, испытывающих преимущественно атмосферное загрязнение промышленных производств Донбасса, уровень aberrаций варьирует от 0,64 до 1,36 %, тогда как в природной популяции этот показатель составил только 0,04 %. Наиболее высокий уровень хромосомных aberrаций выявлен у семенного потомства растений, произрастающих на железорудном отвале – 4,27 %, т. е. их встречаемость в 106,7 раза выше, чем у проростков семян растений природной популяции. Кроме того, в клетках корешков *P. pallasiana* из семян насаждений железорудного отвала наблюдается расширение спектра аномалий – явное повышение встречаемости кольцевой хромосомы (0,1 %). В проростках семян из других древостоев эта хромосомная аномалия либо отсутствовала, либо была на порядок меньше.

В клетках проростков *P. sylvestris* уровень хромосомных аномалий в неблагоприятных эдафических условиях промышленного отвала достигает 3,1–5,1 %, что в 1,35–2,24 раза выше, чем у растений дендрария КБС.

В целом у потомства *P. sylvestris* на железорудном отвале Криворожья выявлен наиболее высокий уровень хромосомных aberrаций в сравнении с *P. pallasiana* и *P. abies*. Патологии митоза также наиболее часто встречались у *P. pallasiana*, произрастающей на железорудном отвале. В этом отношении нераспространенная в степной зоне *P. abies* явно уступает двум видам сосен, отличаясь заметно более низким уровнем цитогенетических нарушений.

Ядрышковая активность – это важный показатель, позволяющий судить об уровне метаболической активности клетки [19, 27, 28, 30]. В клетках проростков семян из исследуемых древостоев *P. pallasiana* выявлены отличия в активности ядрышкового организатора хромосом. Так, например, у проростков природной популяции обнаружены клетки, насчитывающие до 11 ядрышек. У семенного потомства растений насаждений техногенно загрязненных территорий ядрышек было столько же или больше – до 13. Прослеживается тенденция уменьшения количества двух-, трех- и четырехядрышковых клеток у проростков семян из насаждений степной зоны в сравнении с растениями крымской популяции. Доля клеток, имеющих 3–7 ядрышек, у потомства популяции составила 92,1 %, а основная масса клеток (80,1–85,4 %) у проростков семян из степных насаждений имели от 4 до 7 ядрышек. В среднем в клетках проростков из семян популяции было 5,2 ядрышка, у семенного потомства из степных насаждений их было несколько больше – на 6,9–12,7 %.

Для клеток проростков семян из контрольной популяции *P. pallasiana* характерны наиболее крупные ядра, ядрышки и наименьшее ядерно-ядрышковое соотношение. По средней площади ядра в клетках проростков популяции существенно уступали только проростки семян из насаждения в Донецке (меньше на 26,2 %), а по площади ядрышек – проростки из этого же насаждения (меньше на 33,9 %) и Кривого Рога (меньше на 48,6 %). Ядерно-ядрышковое соотношение у проростков семян насаждений в сравнении с проростками популяции было больше на 6,8–18,6 %. Увеличение этого соотношения у потомства растений, подвергающихся воздействию техногенных выбросов, связано с уменьшением площади ядра и особенно ядрышек. У семенного потомства растений, произрастающих на железорудном отвале, заметное возрастание ядерно-ядрышкового соотношения, в первую очередь, связано с существенно меньшими, чем в контроле, размерами ядрышек. Следовательно, атмосферное и эдафическое техногенное загрязнение среды повышает активность ядрышковых организаторов хромосом у потомства *P. pallasiana*.

В типичных для *P. sylvestris* экологически благоприятных условиях произрастания, которые можно использовать как контроль в мониторинговых исследованиях, ядрышковая активность составляет от 3 до 6 постоянно активных ядрышек [20]. В клетках меристематических тканей проростков семян *P. sylvestris* из Томской области в среднем в интерфазных ядрах выявлено по 6 ядрышек [17]. Изменение количества ядрышек в клетках связывают со слиянием ядрышек, а также с вариацией количества рибосомальных генов вследствие делеций, дупликаций или амплификаций [18]. Повышение количества ядрышек в ядре, вероятно, является специфической адаптивной реакцией на условия произрастания.

Нуклеоллярный полиморфизм является одним из основных путей возникновения кариотипического разнообразия в роде *Picea* A. Dietr. Разные виды содержат от 4 до 12 пар хромосом с постоянными вторичными перетяжками. В интерфазных ядрах ели корейской (*Picea koraiensis* Nakai) наблюдалось от 1 до 15 ядрышек [11]. У ели сибирской (*Picea obovata* Lebed.) в интерфазных ядрах встречается от 1 до 14 ядрышек, а у ее декоративных форм до 15–16 ядрышек [3]. Нами установлено, что количество ядрышек в интерфазных ядрах клеток корешков проростков *P. abies* варьирует от 2 до 11. Полиморфизм семенного потомства по количеству ядрышек в интерфазном ядре имеет некоторые особенности в зависимости от условий произрастания материнских деревьев. В проростках семян контрольной популяции на долю интерфазных ядер с 4–7 ядрышками

приходилось 97 %, тогда как в выборке, испытывающей умеренное техногенное воздействие, в дендрарии ДБС наиболее часто встречались ядра с 3–7 ядрышками (93,1 %). Для интродукционного насаждения отмечено наименьшее среднее количество ядрышек в интерфазном ядре – 4,95. Наиболее крупные ядра выявлены в клетках проростков семян из контрольной популяции. Существенно меньшего размера были ядра в клетках проростков семян из интродукционного насаждения по сравнению с ядрами клеток проростков семян из популяции. Средняя площадь ядрышек в клетках проростков семян популяции также была больше в сравнении с их площадью в клетках проростков семян из насаждения. Такая же ситуация наблюдается и при сравнительном анализе ядерно-ядрышкового соотношения. Наибольшее значение этого показателя было отмечено у проростков семян из популяции. Уменьшение ядерно-ядрышкового соотношения может быть обусловлено увеличением объема ядрышек, что принято связывать со стимулированием биосинтетических процессов в клетках [28]. В наших исследованиях наименьшее ядерно-ядрышковое соотношение установлено для клеток проростков семян из интродукционного насаждения *P. abies*. Это связано со значительным уменьшением площади их ядра и ядрышек в сравнении с площадью ядра и ядрышек клеток проростков семян из природных популяций.

Достаточно новым, но уже общепринятым цитогенетическим методом оценки мутагенного действия агентов различной природы является микроядерный тест [8, 9, 14, 26]. Для двух видов (*Picea abies* и *Pinus pallasiana*), использованных в наших исследованиях, установлен как количественный, так и качественный полиморфизм микроядер. Выявлено, что в насаждениях *P. pallasiana* наблюдается увеличение уровня встречаемости микроядер в 1,81–2,96 раз по сравнению с контрольной популяцией. Максимальное количество клеток с данной патологией содержит 1 микроядро. Во всех выборках выявлен полиморфизм в размерах микроядер. По литературным данным, в благоприятных условиях произрастания у *P. sylvestris* количество клеток, содержащих микроядра, не превышает 1 %, наличие же микроядер свидетельствует о начале патологических процессов [20]. Кроме того, для *P. sylvestris* описан малоизвестный для сосен цитологический феномен – одновременное деление ядра и микроядра, что является доказательством значительных нарушений генетического аппарата [6].

Во всех трех выборках *P. abies* максимальное количество микроядер на патологическую клетку составило 6, хотя в основной массе в таких клетках наблюдалось 1–2 микроядра. Это свидетельствует о множественных нарушениях, произошедших в клетке ранее. Как следствие, формирование большого количества микроядер сопряжено со значительной потерей генетической информации.

Заключение

Результаты наших исследований свидетельствуют, что у трех исследуемых видов хвойных, произрастающих в условиях техногенно загрязненной среды степной зоны Украины, происходят некоторые изменения цитогенетических характеристик семенного потомства. Особенно это очевидно для двух видов сосен, у которых это, в первую очередь, связано с резким повышением встречаемости делящихся клеток в корешках проростков с патологией митоза и хромосомными aberrациями. Семена *P. sylvestris* и *P. pallasiana* из насаждений техногенных экотопов, а также названные цитогенетические показатели у их проростков могут быть использованы как индикаторы загрязнения в промышленных районах степной зоны Украины.

1. Бессонова В.П. Использование цитогенетических критериев для оценки мутагенности промышленных поллютантов / В.П. Бессонова, З.В. Грицай, Т.И. Юсыпова // Цитология и генетика. – 1996. – Т. 30, № 5. – С. 70–76.
2. Буторина А.К. Цитогенетическая характеристика семенного потомства некоторых видов древесных растений в условиях антропогенного загрязнения г. Воронежа / А.К. Буторина, В.Н. Калаев, Т.В. Вострикова [и др.] // Цитология. – 2000. – Т. 42, № 2. – С. 196–200.
3. Владимирова О.С. Кариологические особенности ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) в условиях антропогенного загрязнения г. Красноярск / О.С. Владимирова, Е.Н. Муратова // Экологическая генетика. – 2005. – Т. 3, № 1. – С. 18–23.

4. *Вострикова Т.В.* Нестабильность цитогенетических показателей и нестабильность генома у березы повислой / Т.В. Вострикова // *Экология*. – 2007. – № 2. – С. 88–92.
5. *Гераськин С.А.* Оценка методами биоиндикации техногенного воздействия на популяции *Pinus sylvestris* L. в районе предприятия по хранению радиоактивных отходов / С.А. Гераськин, Д.В. Васильев, В.Г. Дикарев [и др.] // *Экология*. – 2005. – № 4. – С. 275–285.
6. *Дорошев С.А.* Влияние антропогенных стрессоров на изменчивость цитогенетических показателей : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. биол. наук: спец. 03.00.16 «Экология» / С.А. Дорошев. – Воронеж, 2004. – 20 с.
7. *Ермолаева О.В.* Цитогенетическая оценка состояния насаждений сосны обыкновенной Цнинского, Усманского боров и некоторых урбоэкосистем на примере г. Воронежа: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. биол. наук: спец. 03.00.16 «Экология» / О.В. Ермолаева. – Воронеж, 2009. – 20 с.
8. *Жулева Л.Ю.* Использование микроядерного теста для оценки экологической обстановки в районах Астраханской области / Л.Ю. Жулева, Н.П. Дубинин // *Генетика*. – 1994. – Т. 30, № 7. – С. 999–1004.
9. *Ильинских Н.Н.* Использование микроядерного теста в скрининге и мониторинге мутагенов / Н.Н. Ильинских, И.Н. Ильинских, В.Н. Некрасов // *Цитология и генетика*. – 1988. – Т. 22, № 1. – С. 67–72.
10. *Калашник Н.А.* Хромосомные нарушения как индикатор оценки степени техногенного воздействия на хвойные насаждения / Н.А. Калашник // *Экология*. – 2008. – № 4. – С. 276–286.
11. *Карпюк Т.В.* Кариология рода *Picea* A. Dietr. в азиатской части ареала : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. биол. наук: спец. 03.00.05 «Ботаника» / Т.В. Карпюк. – Красноярск, 2004. – 19 с.
12. *Муратова Е.Н.* Методики окрашивания ядрышек для кариологического анализа хвойных / Е.Н. Муратова // *Ботан. журн.* – 1995. – Т. 80, № 2. – С. 82 – 86.
13. *Муратова Е.Н.* Цитогенетические эффекты влияния горно-химического комбината на клетки элодеи канадской (*Elodea canadensis* Michx) / Е.Н. Муратова, М.Г. Корнилова, А.В. Пименов [и др.] // *Вестник КрасГАУ*. – 2006. – Вып. 14. – С. 159 – 163.
14. *Методичні рекомендації «Обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об'єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів».* / [Державний департамент санітарно-епідеміологічного нагляду міністерства охорони здоров'я; затверджено наказом МОЗ України №116 від 17.03.2007 р.]. – К., 2007. – 18 с.
15. *Паушева З.П.* Практикум по цитологии растений / Зоя Петровна Паушева. – М.: Колос, 1980. – 304 с.
16. *Правдин Л.Ф.* Методика кариологического изучения хвойных пород / Л.Ф. Правдин, В.А. Бударрагин, М.В. Круклис [и др.] // *Лесоведение*. – 1972. – № 2. – С. 67 – 72.
17. *Седельникова Т.С.* Кариологические особенности сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) на болотах Западной Сибири / Т.С. Седельникова, Е.Н. Муратова // *Экология*. – 2002. – № 5. – С. 323–328.
18. *Соболь М.А.* Роль ядрышка в реакциях растительных клеток на действие физических факторов окружающей среды / М.А. Соболь // *Цитология и генетика*. – 2001. – № 3. – С. 72 – 84.
19. *Хайдарова Т.Г.* Ядрышковые организаторы хвойных как адаптивные элементы хвойных видов / Т.Г. Хайдарова, Н.А. Калашник // *Цитология*. – 1999. – Т. 41, № 12. – С. 1086 – 1089.
20. *Черкашина О.Н.* Цитогенетический мониторинг насаждений сосны обыкновенной в условиях Хреновского и Усманского боров : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. биол. наук: спец. 03.00.16 «Экология» / О.Н. Черкашина. – Воронеж, 2007. – 20 с.
21. *Hozak P.* Procedures for specific detection of silver-stained nucleolar proteins on western blots / P. Hozak, P. Roussel, D. Hernandez-Verdun // *J. Histochem Cytochem.* – 1992. – Vol. 40, № 8. – P. 1089 – 1096.
22. *Kirsch-Volders M.* Towards a validation of the micronucleus test / M. Kirsch-Volders // *Mutation Research*. – 1997. – Vol. 392. – P. 1–4.
23. *Meng Z.* Chromosomal aberrations and micronuclei in lymphocytes of workers at a phosphate fertilizer factory / Z. Meng, B. Zhang // *Mutation Research*. – 1997. – Vol. 393. – P. 283–288.
24. *Müller M.* The effects of various soils, different provenances and air pollution on root tip chromosomes in Norway spruce / M. Müller, B. Köhler, D. Grill [et al.] // *Trees – Structure and Function*. – 1994. – Vol. 9, № 2. – P. 73–79.
25. *Pavlica M.* The cytotoxic effect of wastewater from the phosphoric gypsum depot on common oak (*Quercus robur* L.) and shallot (*Allium cepa* var. *ascalonicum*) / M. Pavlica, V. Besendorfer, J. Rosa [et al.] // *Chemosphere*. – 2000. – Vol. 41, № 10. – P. 1519 – 1527.
26. *Schuler M.* A critical evaluation of centromeric labeling to distinguish micronuclei induced by chromosomal loss and breakage in vitro / M. Schuler, D.S. Rupa, D.A. Eastmond // *Mutation Research*. – 1997. – Vol. 392. – P. 81–95.
27. *Schwazzacher H.G.* The nucleolus / H.G. Schwazzacher, F. Wachtler // *Anat. Embryol.* – 1993. – Vol. 188. – P. 515–536.

28. Severine B. The nucleolus under stress/ B. Severine, B.J. Westman, H. Saskia [et al.] // *Molecular Cell*. – 2010. – Vol. 40. – P. 216–227.
29. Sgura A. Micronuclei, centromere-positive micronuclei and chromosome nondisjunction in cytokinesis blocked human lymphocytes following mitomycin C or vincristine treatment / A. Sgura, A. Antoccia, M.J. Ramirez [et al.] // *Mutation Research*. – 1997. – Vol. 392. – P. 97–107.
30. Smolinski D.J. Additional nucleoli and NOR activity during meiotic prophase I in larch (*Larix decidua* Mill.) / D.J. Smolinski, J. Niedojadlo, A. Noble [et al.] // *Protoplasma*. – 2007. – Vol. 232. – P. 109–120.
31. Trere D. Technical and methodological aspects of silver staining and measurement of nucleolar organizer region (NOR) / D. Trere // *Zentralbl. Pathol.* – 1994. – Vol. 140. – P. 11–14.

Донецкий ботанический сад НАН Украины

Получено 12.06.2012

УДК 581.52:576.355:634.942

СПЕКТР И ЧАСТОТА ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ У ПРОРОСТКОВ СЕМЯН ХВОЙНЫХ КАК КОМПЛЕКСНЫЙ ИНДИКАТОР ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННОЙ СРЕДЫ

И.И. Коршиков¹, Ю.А. Ткачева¹, Е.В. Лаптева²

¹ Донецкий ботанический сад НАН Украины

² Криворожский ботанический сад НАН Украины

Изучены изменения цитогенетических характеристик семенного потомства у трех видов хвойных, произрастающих в условиях техногенно загрязненной среды степной зоны Украины. Для *Pinus sylvestris* L. и *P. pallasiana* D. Don отмечено резкое повышение встречаемости делящихся клеток в корешках семян с патологиями митоза и хромосомными аберрациями. Названные цитогенетические показатели в клетках *P. sylvestris* и *P. pallasiana* могут быть использованы в качестве тест-систем для индикации загрязнения в промышленных районах степной зоны Украины.

UDC 581.52:576.355:634.942

THE SPECTRUM AND FREQUENCY OF CYTOGENETIC ABNORMALITIES IN SEED GERMS OF CONIFERS AS A COMPLEX INDICATOR OF THE INFLUENCE OF A TECHNOGENOUS POLLUTED ENVIRONMENT

I.I. Korshikov¹, Yu.A. Tkachova¹, Ye.V. Lapteva²

¹ Donetsk Botanical Garden of National Academy of Sciences of Ukraine

² Krivoi Rog Botanical Garden of National Academy of Sciences of Ukraine

Changes in cytogenetic characteristics of the seed progeny in three conifer species, growing under conditions of a technogenous polluted environment of the steppe zone of Ukraine have been studied. For *Pinus sylvestris* L. and *P. pallasiana* D. Don there have been noted a significant increase in occurrence of dividing cells in the roots of seeds with mitotic abnormalities and chromosomal aberrations. The named cytogenetic indicators of *P. sylvestris* L. and *P. pallasiana* cells can be used as test systems for indication of pollution in industrial areas of the steppe zone of Ukraine.