ТРУДЫ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ИНСТИТУТА
ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

www.spb-niilh.ru/forestryresearch
ISSN 2079-6080

УДК 582.475.4:575

Состояние генеративной сферы сосны обыкновенной как биоиндикатора устойчивости лесов на территории Центрально-Черноземного района в связи с глобальным изменением климата

© Е.Ю. Пардаева[1,2], О.С. Машкина[1,2], Н.Ф. Кузнецова[1]

State of Scots pine generative sphere as bioindicator of forest sustainability in the Central Chernozem region due to global climate change

E.Yu. Pardayeva, O.S. Mashkina, N.F. Kuznetsova (Research institute of forest genetics and breeding; Voronezh state university)

The climate warming is a global problem of our time. On the territory of the Central Chernozemic Region (CChR) there is a fall of groundwater level, an increase of dryness index and continentality of the climate. The traits of seed production and cytogenetic variability of seed progeny of Scots pine trees in the contrast weather conditions are studied. The groups of sensitive and tolerant trees to the drought were selected. Statistically reliable differences of cytogenetic traits between these groups established. Obtained data testify about the intensity of reaction of the different genotypes to stressful conditions and the degree of stability of the genetic material to the abnormal hydrothermic regime.

Key words: global climate change, Scots pine, bioindication, seed productivity, cytogenetic characteristics

Состояние генеративной сферы сосны обыкновенной как биоиндикатора устойчивости лесов на территории Центрально-Черноземного района в связи с глобальным изменением климата

Е.Ю. Пардаева[1,2], О.С. Машкина[1,2], Н.Ф. Кузнецова[1]

Потепление климата является глобальной проблемой нашего времени. На территории Центрально-Черноземного района (ЦЧР) отмечается падение уровня грунтовых вод, увеличение индекса сухости и континентальности климата. Изучены показатели семенной

продуктивности и цитогенетической изменчивости семенного потомства деревьев сосны обыкновенной в контрастных погодных условиях. Отобраны группы чувствительных и устойчивых к засухе деревьев. Установлены статистически достоверные различия цитогенетических показателей между этими группами. Полученные данные свидетельствуют об интенсивности реакции различных генотипов на стрессовые условия и степени устойчивости генетического материала к нарушенному гидротермическому режиму.

Ключевые слова: глобальное изменение климата, сосна обыкновенная, биоиндикация, семенная продуктивность, цитогенетические характеристики

[1]ФГУП «Научно-исследовательский институт лесной генетики и селекции»
Адрес: 394087, г. Воронеж, ул. Ломоносова, 105
Телефон: 8 (473) 253–71–89
E-mail: elena.pardaeva@mail.ru

[2]Воронежский государственный университет
Адрес: 394006, г. Воронеж, ул. Университетская площадь, д. 1

Одной из важных особенностей конца XX — начала XXI века является глобальное потепление климата. Для территории России интенсивность потепления за сто лет составила 0,9°С [7]. Было установлено, что среднегодовая температура приземного воздуха в России возросла на 0,4°С за период 1990–2000 гг. Согласно прогнозам данный тренд сохранится до 2010–2015 гг., что приведет к росту среднегодовой температуры на 0,6±0,2°С [8]. Данная проблема осложняется глобальным загрязнением окружающей среды.

В условиях изменения климата и экологического кризиса биоиндикация позволит изучить степень общего воздействия внешней среды на живые экосистемы. С использованием организмов-биоиндикаторов станет возможным улавливать степень мутагенности среды на глобальном уровне процесса для целей локального экологического прогноза.

Для оценки силы негативного антропогенного воздействия, определения состояния и степени деградации лесных экосистем встал вопрос о создании единой системы мониторинга, которая должна включать данные о состоянии окружающей среды и реакции на нее определенных биологических тест-объектов. Международный Научный Комитет ООН по действию атомной радиации отнес репродуктивную способность к числу наиболее чувствительных критериев по оценке природной среды на популяционном уровне организации живых систем; а к наиболее значимым показателям данного критерия — выживаемость, фертильность, продуктивность и частоту мутаций [11].

Лесные древесные растения характеризуются длительным онтогенезом и неподвижным образом жизни. В ходе эволюции они выработали спектр адаптаций, необходимых для выживания в отличающихся лесорастительных условиях с различными лимитирующими факторами среды (засухой, избыточным увлажнением, заморозками и др.) [1, 6]. Поэтому поиск индикаторов, действие которых основано на естественной природе их функционирования, является одной из наиболее актуальных проблем современности.

Лесные древесные растения обладают высокой чувствительностью к разного рода воздействиям, способны реагировать на повреждения, возникающие на различных уровнях организации объекта (молекулярном, клеточном, органном, организменном, популяционном) [6]. Подобными индикационными свойствами обладает сосна обыкновенная, а именно — ее генеративная сфера, характеризующаяся высокой чувствительностью к действию климатических и техногенных факторов стресса [5, 10].

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) — вид-эдификатор высокой хозяйственной ценности, является одной из основных древесных пород, используемых для лесоразведения. На территории Центрально-Черноземного района сосновые древостои занимают около 30 % лесопокрытой площади. Также сосну обыкновенную часто используют для полезащитного и лесостепного лесоразведения.

Одним из преимуществ сосны как биоиндикатора является длительность ее репродуктивного цикла: с момента закладки генеративных органов до вылета семян проходит более двух лет. В условиях хронического действия поллютантов столь длительный цикл развития семян даже при низких дозах (концентрациях) приводит к накоплению достаточного количества повреждений ДНК для индикации внешнего воздействия [4].

Материалы и методы

Нами исследовалось семенное потомство деревьев, произрастающих на территории Усманского бора (Воронежская область, село Ступино), расположенного в пределах Воронежского государственного биосферного заповедника, характеризующегося экологически благоприятной обстановкой. Усманский бор — ценный лесной массив естественного происхождения, расположенный по водоразделам рек Воронеж и Усмань. Его площадь составляет 70,7 тыс. га, в том числе покрытая лесом — 63,1 га. Средний возраст насаждений около 80 лет, высота — 20–30 м, класс бонитета I и II [3].

Семенной материал для исследований заготавливали в течение двух лет (2008 и 2010 гг.) с одних и тех же 10 фенотипически нормальных 40–50-летних деревьев. Материалы 2008 г. использовались в качестве контроля, поскольку этот год наиболее близок по погодным условиям к региональной норме. А 2010 г. был годом климатического экстремума (с аномально жарким засушливым летом), поэтому все наблюдаемые отклонения оценивались относительно 2008 года. Чувствительность генеративной сферы к стрессорам определяли по показателям семенной продуктивности [полнозернистости (%), числу семян в шишке (шт.), лабораторной всхожести семян (%)] и цитогенетическим показателям (частоте и спектру патологий митоза — ПМ, (%), частоте встречаемости микроядер (%). Изготовление давленых препаратов проводилось по методике Л.А. Топильской [9] в нашей модификации. При обработке данных применяли статистический пакет программ Stadia. Сравнение выборок по частоте ПМ и частоте микроядер проводилось с использованием непараметрических критериев: *X*-критерия рангов Ван-дер-Вардена, так как данные признаки не подчиняются нормальному распределению. Проверка нормальности распределения осуществляли с применением критерия хи-квадрат.

Результаты и обсуждения

Установлено, что в аномально жаркий и сухой 2010 год наблюдается тенденция снижения показателей семенной продуктивности и лабораторной всхожести семян, а также расширение их варьирования по сравнению с благоприятным по метеоусловиям 2008 годом (табл.).

На основе показателей засушливого 2010 года все деревья были условно разделены на две группы: чувствительные и устойчивые (рис. 1).

Примечательно то, что в оптимальный по погодным условиям 2008 год статистически достоверных различий между группой устойчивых и чувствительных деревьев выявлено не было. Это свидетельствует о том, что отбор засухоустойчивых деревьев следует проводить только в засушливые годы, когда происходит их дифференциация по устойчивости генеративной сферы к стрессу.

При сравнении показателей частоты ПМ в контрастные годы достоверных различий между выборками выявлено не было, однако в 2010 г. по данному показателю деревья были также дифференцированы на группы чувствительных и устойчивых. Частота ПМ составила 2,1±0,2 % — в группе чувствительных деревьев (против 1,3±0,1 % — в группе устойчивых). Данные различия являются статистически достоверными.

Таблица

Показатели семенной продуктивности деревьев сосны обыкновенной, произрастающих на территории Усманского бора

Показатели семенной продуктивности	Годы	Характеристики		
		$\overline{X} \pm S\overline{x}$	*min-max*	*c.v.*, %
Число семян в шишке, шт.	2008	22,6±1,4	12,6–35,0	28,2
	2010	19,9±1,4	7,8–29	30,7
Полнозернистость, %	2008	83,8±1,9	69,3–96,3	10,1
	2010	71,6±3,7	47,0–90,3	23,2
Лабораторная всхожесть семян, %	2008	81,9±2,0	69,8–98,0	10,2
	2010	80,8±4,1	36,7–100,0	22,6

Примечание. $\overline{X}$ — среднее арифметическое значение признака в выборке, $S\overline{x}$ — ошибка среднего арифметического, *min-max* — диапазон варьирования признака, *c.v.* — коэффициент вариации признака.

Известно, что присутствие микроядер свидетельствует о наличии нерепарированных повреждений хромосомного материала, что может привести к цитогенетической нестабильности клеточных популяций. В 2010 г. частота встречаемости микроядер по сравнению с контролем (2008 г.) увеличилась в 40 раз и составила 0,04±0,01 % и 0,001±0,001 % соответственно.

Различия между изученными образцами проявились не только по частоте, но и по спектру нарушений митоза. Все встречающиеся типы ПМ были условно разделены нами на три группы: структурные (хромосомные аберрации), геномные (приводящие к изменению числа хромосом, чаще — к анеуплоидии), множественные (включающие в различном сочетании как структурные, так и геномные нарушения). В 2008 г. спектр ПМ был представлен хромосомными (мосты в анафазе и телофазе) и геномными (забегание и отставание хромосом в анафазе) аберрациями. В 2010 г. наблюдалось расширение спектра ПМ: хромосомные аберрации были дополнены фрагментами хромосом в метафазе и анафазе, к геномным нарушениям добавились обособление групп хромосом в метафазе, неравноценное расхождение хромосом в анафазе. Кроме того, были отмечены сложные нарушения (рис. 2). Расширение спектра патологий в 2010 г. свидетельствует о повышении уровня мутационного процесса.

Выводы

В 2010 году (год аномальной засухи) в семенном потомстве деревьев сосны обыкновенной, произрастающих на территории Усманского бора, происходит расширение диапазона изменчивости показателей семенной продуктивности (полнозернистость и число семян в шишке) и цитогенетических показателей (частота и спектр нарушений митоза, частота встречаемости микроядер). Однако установлено, что средняя частота патологий митоза находится в пределах нормальных значений уровня

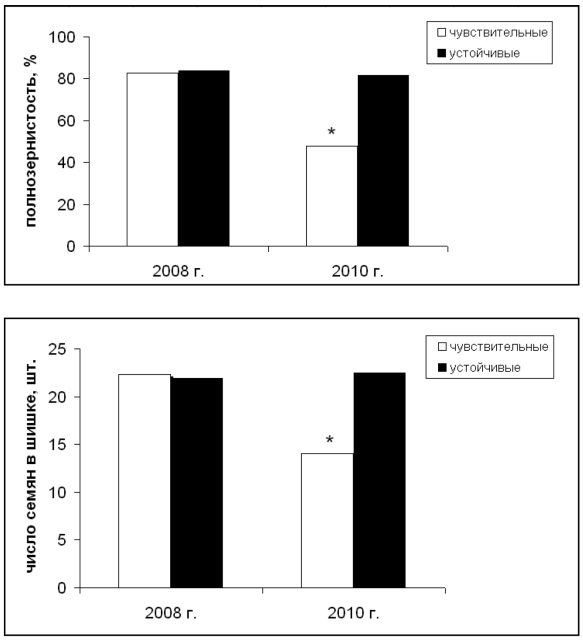

Рис. 1. Различия между группой чувствительных и устойчивых деревьев сосны по признакам семенной продуктивности в контрастные по погодным условиям годы. Разница достоверна при *p < 0,001

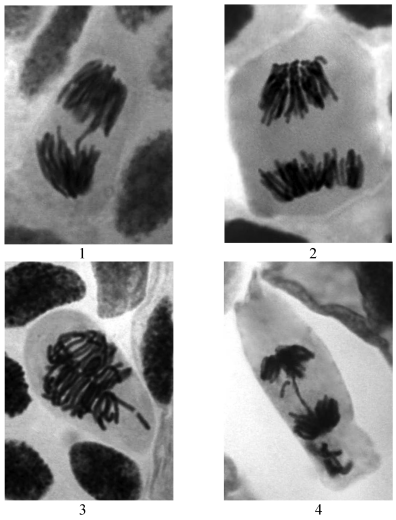

Рис. 2. Примеры патологий митоза, встречающихся у семенного потомства деревьев сосны обыкновенной, произрастающих на территории Усманского бора:

1 — одиночный мост; 2 — неравноценное расхождение хромосом в анафазе; 3 — фрагмент хромосомы в метафазе; 4 — мост + фрагменты хромосом + обособление группы хромосом в анафазе. Увеличение 40×1,5×10

спонтанного мутирования (для средней полосы России — до 5 %) [2]. Показано, что реакция различных генотипов на стрессовые условия неоднозначна, что отражает их различия в адаптивных возможностях и устойчивости к неблагоприятным воздействиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бессонова В.П., Грицай З.В., Юсыпива Т.Н. Использование цитогенетических критериев для оценки мутагенности промышленных поллютантов // Цитология и генетика. 1996. Т. 30. № 5. С. 70–75.
2. Буторина А.К., Черкашина О.Н., Ермолаева О.В., Чернодубов А.И., Авдеева И.А. Цитогенетический мониторинг аутохтонных лесов Усманского и Хреновского боров // Известия РАН: Серия биологическая. 2007. № 4. С. 508–512.
3. Вересин М.М. Леса воронежские. Воронеж: Центр.-Чернозем. кн. изд-во, 1971. 224 с.
4. Гераськин С.А, Зимина Л.М, Дикарев В.Г, Дикарева Н.С. и др. Сравнительный анализ методами биоиндикации антропогенного загрязнения района расположения предприятия по переработке и хранению радиоактивных отходов из 30-км зоны ЧАЭС // Экология. 2000. № 4. С. 300–303.
5. Кузнецова Н.Ф. Влияние климатических условий на проявление признака самофертильности у сосны обыкновенной // Экология. 2009. № 5. С. 390–395.
6. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / Под ред. В.А. Алексеева. Л.: Наука, 1990. 197 с.
7. Переведенцев Ю.П., Гоголь Ф.В., Наумов К.М., Шаталинский К.М. Глобальные и региональные изменения климата на рубеже XX и XXI столетий // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2007. № 2. С. 5–12.
8. Стратегический прогноз изменений климата Российской Федерации на период до 2010–2015 гг. и их влияние на отрасли экономики России / М.: Росгидромет, 2005. С. 6–8.
9. Топильская, Л.А., Лучникова С.А., Чувашина Н.П. Изучение соматических и мейотических хромосом смородины на ацетогематоксилиновых давленых препаратах // Бюл. ЦГЛ им. И.В. Мичурина. 1975. Вып. 22. С. 58–61.
10. Третьякова И.Н. Пыльца сосны обыкновенной в условиях экологического стресса // Экология. 2004. № 1. С. 26–33.
11. UNSCEAR, 2008. Effects on non-human biota. Annex Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly, United Nations. New York. 38 p.