

СОСНА ОБЫКНОВЕННАЯ В РАЗНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ НА ЮГЕ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЁМНОГО РЕГИОНА: ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЛОКУСА ГЛУТАМАТДЕГИДРОГЕНАЗЫ

© 2021

Сердюкова А.П., Камалова И.И., Внукова Н.И.

Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии
(г. Воронеж, Российская Федерация)

Аннотация. Проведен сравнительный анализ двух насаждений сосны обыкновенной, произрастающих в разных экологических условиях степной зоны на юге ареала Центрально-Чернозёмного региона (Кантемировский район Воронежской области). Одно насаждение расположено в относительно экологически чистой зоне, за границами городской среды, второе – в черте пос. Кантемировка. Изучалась ферментная система, являющаяся важным звеном основных метаболических путей в растительных организмах и оказывающая влияние на общее состояние растений. В исследуемых насаждениях проанализирована генетическая структура локуса глутаматдегидрогеназы, один из аллелей которого (*Gdh-1*⁴) у сосны обыкновенной является эмбриональным полулеталем. Установлено, что в ослабленном насаждении, расположенном в городской среде и подвергаемом повышенному антропогенному воздействию, доля этого аллеля и доля гомозиготных по нему генотипов статистически значимо ($p < 0,01$) выше, чем в популяции из экологически чистой зоны. Известно, что организмы, имеющие в генотипе полулетальные гены, обладают комплексом компенсаторных генов, что обуславливает их повышенную устойчивость к неблагоприятным факторам. Увеличение доли полулетальных аллелей в насаждении, произрастающем в условиях антропогенной нагрузки, может являться адаптивным механизмом повышения устойчивости на популяционном уровне к стрессовым воздействиям разной природы.

Ключевые слова: сосна обыкновенная; степная зона; экологическая обстановка; антропогенное воздействие; изоферментный анализ; молекулярные маркеры; эмбриональный полулеталь; глутаматдегидрогеназа; генетическая структура локуса фермента.

SCOTS PINE IN DIFFERENT ECOLOGICAL CONDITIONS IN THE SOUTH OF THE CENTRAL BLACK EARTH REGION: FEATURES OF THE GENETIC STRUCTURE OF THE GLUTAMATE DEHYDROGENASE LOCUS

© 2021

Serdyukova A.P., Kamalova I.I., Vnukova N.I.

All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology (Voronezh, Russian Federation)

Abstract. A comparative analysis of two Scots pine plantations growing in different ecological conditions of the steppe zone in the south of the Central Black Earth region (Kantemirovsky District of the Voronezh Region) has been carried out. One plantation is located in a relatively ecologically clean area, outside the urban environment, the other one – within the village Kantemirovka. The enzyme system has been studied; it is an important link in the main metabolic pathways in plant organisms influencing the general condition of plants. In the studied stands the genetic structure of the glutamate dehydrogenase locus has been analyzed, one of the alleles of which (*Gdh-1*⁴) in Scots pine is an embryonic semi-lethal. It has been found that in a weakened plantation located in an urban environment and exposed to increased anthropogenic impact, the proportion of this allele and the proportion of genotypes homozygous for it is significantly ($p < 0,01$) higher than in the population from an ecologically clean zone. It is known that organisms with semi-lethal genes in their genotype possess a complex of compensatory genes, which determines their increased resistance to unfavorable factors. An increase in the proportion of semi-lethal alleles in a plantation growing under anthropogenic load can be an adaptive mechanism for increasing resistance at the population level to stress effects of different nature.

Keywords: Scots pine; steppe zone; ecological situation; anthropogenic impact; isozyme analysis; molecular markers; embryonic semi-lethal; glutamate dehydrogenase; genetic structure of enzyme locus.

Введение

В современных изменяющихся условиях экологии и климата актуальной задачей является контроль общего состояния древесных растений, сохранение биоразнообразия и изучение механизмов их адаптации и устойчивости к новым условиям. Лесные насаждения играют важнейшую роль в улучшении экологической обстановки и биологического благоустройства территорий. Центрально-Чернозёмный регион (ЦЧР) имеет неоднородные лесорастительные

условия и включает в себя районы степей и лесостепей [1]. Южная часть Центрального Черноземья относится к районам степей и отличается сложными климатическими условиями для развития лесной растительности: низкая влажность, высокая температура и часто повторяющиеся засухи [2].

ЦЧР является большим промышленным центром и отличается высокими темпами урбанизации. С конца XX века Центральное Черноземье занимает лидирующие позиции по темпам урбанизации среди дру-

гих крупных промышленных районов России [3]. С каждым годом происходит стремительное развитие хозяйственной деятельности человека и вместе с тем рост нагрузки антропогенного воздействия на окружающую среду [4].

Одна из основных лесообразующих пород ЦЧР – сосна обыкновенная. Сосна является хозяйственно ценной породой, которая в процессе эволюции приспособилась к выживанию в изменяющихся климатических и экологических условиях от субарктики до лесостепной зоны. В степной зоне, на южном пределе ареала, сосновые насаждения нуждаются в особых мерах охраны по причине более сухого и жаркого климата, не отвечающего биологии вида. Боры степных территорий имеют особенно важное значение: способствуют улучшению климата и защите почв [5]. В условиях антропогенной нагрузки степные насаждения сосны обыкновенной подвержены морфологическим изменениям и заражению вредителями под воздействием пыли и выхлопных газов автомобилей [6].

Используя изоферментные маркёры, можно получить информацию о структуре генофонда и его изменчивости в исследуемой популяции [7]. Особую информативность имеют ген-ферментные локусы, являющиеся эмбриональными полулеталями. Согласно концепции В.А. Струнникова, негативное влияние полулетальных генов у особи может нейтрализоваться скоординированным комплексом компенсаторных генов. Организмы, имеющие эмбриональный полулеталь в гомозиготном состоянии и являющиеся носителями такого комплекса компенсаторных генов, отличаются повышением общей жизнеспособности, улучшением морфологических и хозяйственно-ценных признаков [8].

Ген-ферментный локус глутаматдегидрогеназы (*Gdh*) у сосны обыкновенной представлен двумя аллельными вариантами: *Gdh-1¹* и *Gdh-1²*. У этого вида аллель, кодирующий наиболее подвижную при электрофорезе форму фермента глутаматдегидрогеназы (*Gdh-1¹*), является эмбриональным полулеталям [9]. Данный фермент важен для катаболизма и синтеза аминокислот, участвует в азотном метаболизме, осмотическом балансе, углеводном обмене и адаптации к повышенным температурам, что оказывает влияние на развитие, продуктивность и устойчивость растений [10]. Учитывая вышесказанное, нами была исследована связь генетической структуры этого фермента с условиями произрастания насаждений сосны обыкновенной, подверженных разной степени антропогенного стресса при пониженной влагообеспеченности в южной части ареала.

Целью работы является изучение генетической структуры локуса глутаматдегидрогеназы как молекулярного маркёра адаптации популяций сосны обыкновенной к изменяющимся условиям среды.

Объекты и методы исследования

Для изучения генетической структуры глутаматдегидрогеназы сосны обыкновенной в степной зоне Европейской части России были выбраны два насаждения, произрастающие в контрастных экологических условиях в южной части ЦЧР. В каждом насаждении отобрана случайная выборка из 30 деревьев сосны.

Насаждение № 1 – лесные культуры сосны, расположенные вблизи посёлка Кантемировка и не под-

вергаемые внешнему негативному антропогенному воздействию. Насаждение имеет хозяйственную категорию, произрастает по склонам оврагов и балок, имеет 3 бонитет, тип лесорастительных условий – А1. Насаждение № 2 – питомник Кантемировского лесхоза, который размещен в границах посёлка Кантемировка. В непосредственной близости (100–200 м) с сосновым насаждением существуют объекты, действие которых имеет негативные последствия для растительности: располагается автодорога, способствующая накоплению тяжелых металлов в хвое и нарушению метаболизма растений [11], проходят высоковольтные линии электропередач, вызывающие замедление развития растительности, нарушения митоза и хромосомные мутации [12]. Также в непосредственной близости находится молокозавод и ферма крупного рогатого скота, не функционирующие в настоящее время, но оказавшие негативное влияние на окружающую среду в момент закладки изучаемого насаждения сосны обыкновенной.

Генетическую структуру ферментного локуса *Gdh* изучали стандартным методом изоферментного анализа, включающим электрофоретическое разделение белковых экстрактов в вертикальном блоке полиакриламидного геля с последующим гистохимическим окрашиванием фермента [9]. Анализировали индивидуальные эндоспермы семян, генотипы материнских деревьев определяли по данным анализа 6–10 эндоспермов.

Результаты исследований и их обсуждение

С использованием изоферментного анализа изучили генетическую структуру локуса, кодирующего ферментную систему глутаматдегидрогеназы двух рассматриваемых насаждений. Насаждение, расположенное в загрязнённых условиях среды, отличалось наличием повышенной доли аномальных электрофоретических спектров фермента, свидетельствующих о мутациях или эпигенетических перестройках.

Распределение аллелей и генотипов локуса представлено на рисунке 1. Доля деревьев гомозиготных по аллелю, являющемуся эмбриональным полулеталям (*Gdh-1¹/Gdh-1¹*), в насаждении № 2, подвергнутом антропогенной нагрузке, в два раза выше, чем в лесных культурах (насаждение № 1), произрастающих в относительно экологически чистых условиях – 0,125 против 0,067 соответственно. Частота полулетального аллеля *Gdh-1¹* в насаждении № 2 также более чем в два раза (0,469 против 0,200) превышала долю этого аллеля в насаждении № 1, мало подвергнутому антропогенному воздействию.

Выявленные различия в распределении генотипов и аллелей локуса *Gdh* между исследуемыми насаждениями сосны статистически значимы по критерию хи-квадрат ($p < 0,01$).

На фоне пониженной влагообеспеченности в полупустынной зоне в насаждении, произрастающем в неблагоприятной экологической среде, отмечена повышенная частота полулетального аллеля и гомозиготного по нему генотипа. Данный факт способствует адаптации изучаемого насаждения к неблагоприятным стрессовым воздействиям внешней среды на популяционном уровне.

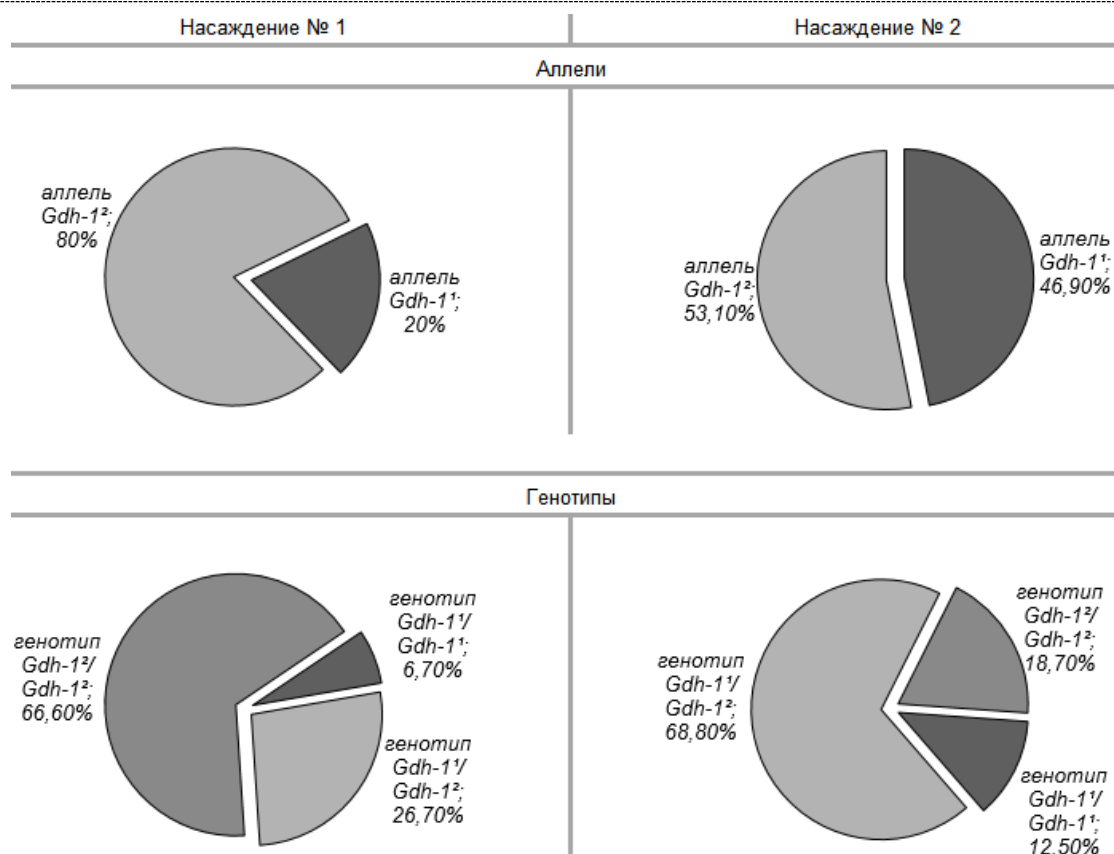


Рисунок 1 – Генетическая структура локуса *Gdh* в насаждении № 1 – из относительно экологически чистой зоны и в насаждении № 2 – из зоны высокого антропогенного воздействия

Выводы

По результатам изоферментного анализа генетической структуры локуса *Gdh* выявлено увеличение доли организмов гомозиготных по эмбриональному полуплеталю в насаждении, подверженном воздействию загрязнённой окружающей среды. Данная закономерность отмечена как в генотипической, так и в аллельной структуре локуса в насаждении № 2. Это говорит о том, что аллель *Gdh-1¹* может выступать молекулярным маркером адаптации сосны обыкновенной к неблагоприятным стрессирующим условиям среды.

Стоит отметить, что насаждения испытывают как антропогенный стресс, сказывающийся на общем жизненном состоянии лесных древесных растений [13], так и на давление природно-климатических условий степной зоны [14], таких как пониженная влажность, высокие температуры, иссушение земель, что проявляется особенно остро в весенне-летний период. Изучаемая территория требует особых мероприятий по уходу за лесами с учётом климатических и экологических лесорастительных условий, так как относится к зоне со стрессовыми для сосны обыкновенной условиями: с одной стороны, это жесткий гидро-термический климат степной зоны, а с другой – антропогенный стресс, нарастающий с каждым годом.

Список литературы:

1. Паршутин Л.П. О южной границе лесостепи в пределах Воронежской области // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14, № 1 (6). С. 1634–1637.

2. Кузнецова Н.Ф. Засухи в лесостепной зоне Центрально-Черноземного региона и критерии оценки их интенсивности // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. 2019. Т. 19, № 3. С. 142–148.

3. Шевцов И.С. Особенности и проблемы урбанизации ЦЧР в конце XX – начале XXI веков // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2006. № 1. С. 17–20.

4. Майснер Т.Н. Урбанизация и экология городской среды: риски и перспективы устойчивого развития // Гуманитарий Юга России. 2020. Т. 9 (43), № 3. С. 190–201.

5. Гнедаш Д.С. Особенности сосновых бордюров степной зоны // Вопросы степеведения. 2011. № 9. С. 38–43.

6. Тарханов С.Н., Бирюков С.Ю. Определение влияния атмосферного загрязнения на морфометрические показатели и состояние ассимиляционного аппарата сосны и ели в бассейне Северной Двины // Сибирский экологический журнал. 2012. № 3. С. 407–414.

7. Камалова И.И., Клушевская Е.С., Внукова Н.И., Сердюкова А.П. Динамика генетической структуры локуса глутаматдегидрогеназы в онтогенезе потомств разных форм сосны обыкновенной // Современная лесная наука: проблемы и перспективы: мат-лы всерос. науч.-практ. конф. 20–22 декабря 2017 г., г. Воронеж, Российская Федерация. Воронеж, 2017. С. 79–84.

8. Струнников В.А. Новая гипотеза гетерозиса и ее научное и практическое значение // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 1983. № 1 (316). С. 34–40.

9. Камалова И.И., Камалов Р.М. Динамика генетической структуры локуса глутаматдегидрогеназы как маркер состояния насаждений сосны обыкновенной // Мониторинг и оценка состояния растительного мира: мат-

лы междунауч. конф. Института экспериментальной ботаники им. Купревича НАН Беларуси. 22–26 сентября 2008 г., г. Минск, Республика Беларусь. Минск: Право и экономика, 2008. С. 167–168.

10. Анохина Г.Б., Оя П.С., Епринцев А.Т. Экспрессия генов *gdh-1* и *gdh-2* глутаматдегидрогеназы при прорастании семян кукурузы *Zea mays* L. // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2020. № 3. С. 31–36.

11. Тарханов С.Н., Бирюков С.Ю. Определение влияния атмосферного загрязнения на морфометрические показатели и состояние ассимиляционного аппарата сосны и ели в бассейне Северной Двины // Сибирский экологический журнал. 2012. № 3. С. 407–414.

12. Богатина Н.И., Шейкина Н.В. Влияние электрических полей на растения // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». 2011. № 1. С. 10–17.

13. Сердюкова А.П. Сравнительный анализ признаков жизненного состояния *Pinus sylvestris* L. в условиях антропогенной нагрузки и на экологически благоприятной территории // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2020. № 8 (47). С. 10–13.

14. Сердюкова А.П. Оценка общего состояния и семенной продуктивности *Pinus sylvestris* L. в разных климатических зонах Воронежской области // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 9–2. С. 10–12.

Информация об авторе(-ах):	Information about the author(-s):
<p>Сердюкова Алина Петровна, младший научный сотрудник лаборатории экологической генетики; Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии (г. Воронеж, Российская Федерация). E-mail: ali.serdyukova@yandex.ru.</p> <p>Камалова Ирина Ивановна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией биохимии, молекулярной генетики и физиологии растений; Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии (г. Воронеж, Российская Федерация). E-mail: kamairi@yandex.ru.</p> <p>Внукова Наталья Ивановна, научный сотрудник лаборатории биотехнологии; Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии (г. Воронеж, Российская Федерация). E-mail: natalya.vnuckova@yandex.ru.</p>	<p>Serdyukova Alina Petrovna, junior researcher of Ecological Genetics Laboratory; All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology (Voronezh, Russian Federation). E-mail: ali.serdyukova@yandex.ru.</p> <p>Kamalova Irina Ivanovna, candidate of biological sciences, leading researcher, head of Biochemistry, Molecular Genetics and Plant Physiology Laboratory; All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology (Voronezh, Russian Federation). E-mail: kamairi@yandex.ru.</p> <p>Vnukova Natalya Ivanovna, researcher of Biotechnology Laboratory; All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology (Voronezh, Russian Federation). E-mail: natalya.vnuckova@yandex.ru.</p>

Для цитирования:

Сердюкова А.П., Камалова И.И., Внукова Н.И. Сосна обыкновенная в разных экологических условиях на юге Центрально-Чернозёмного региона: особенности генетической структуры локуса глутаматдегидрогеназы // Самарский научный вестник. 2021. Т. 10, № 2. С. 90–93. DOI: 10.17816/snv2021102113.