

11. Патент №138959 Российская Федерация, МПК А23 N 17/00. Смеситель / Е.С. Зыкин, А.В. Дозоров, С.В. Дежаткина, А.З. Мухитов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина». - №2013159047/13; заявл. 30.12.2013; опубл. 27.03.2014, Бюл. № 9. – 2 с.: ил.

12. Дежаткина, С.В. Показатели белкового обмена в сыворотке крови свиноматок при добавлении в их рацион соевой окары и природных цеолитов / С.В. Дежаткина, А.В. Дозоров, Н.А. Любин и др. // Свиноводство. - 2013. - № 7. - С. 26-28.

УДК 581:502

DOI 10.18286/1816-4501-2015-2-56-59

## ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ У ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

**Воскресенская Ольга Леонидовна**, доктор биологических наук, профессор, директор Института медицины и естественных наук

**Сарбаева Елена Витальевна**, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Экология»

**Старикова Екатерина Александровна**, биолог кафедры «Экология»

ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет»

424002, Россия, г. Йошкар-Ола, ул. Осипенко, 60; 8(8362)68-79-46;

e-mail: voskres2006@rambler.ru

**Ключевые слова:** хвойные растения, интродуценты, ферментативная активность, пероксидаза, каталаза.

В статье представлены результаты исследований антиоксидантной системы хвойных интродуцентов (*Picea pungens* Engelm., *Thuja occidentalis* L., *Juniperus sabina* L.), произрастающих в условиях городской среды. Выявлено, что среди изученных видов большей лабильностью показателей ферментативной активности обладает можжевельник казацкий, что позволяет считать его более чувствительным видом к загрязнению атмосферного воздуха г. Йошкар-Олы.

### Введение

Растения в городской среде подвержены воздействию комплекса неблагоприятных факторов, среди которых запыленность и загазованность воздуха, шум, вибрация, электромагнитные излучения и специфический микроклимат. Способность приспосабливаться к данным условиям и сохранять при этом свой жизненный потенциал является одним из основных определяющих условий существования растений и зависит от возможности адаптироваться к разнообразным стрессовым факторам. В селитебной и промышленной зонах города наблюдает-

ся повышенное содержание поллютантов (преимущественно вследствие выбросов автотранспорта) [1, 2].

На растения в урбанизированной среде действуют токсичные соединения, содержащиеся в атмосфере, при этом в тканях развивается окислительный стресс, связанный с повышенной продукцией активных форм кислорода (АФК). Для предотвращения негативного влияния АФК у растений функционирует антиоксидантная система защиты, в которую входят как антиоксидантные ферменты, так и низкомолекулярные органические соединения. К основным ферментам,

участвующим в нейтрализации АФК, образующихся при стрессе, являются каталаза и пероксидаза.

Каталаза – фермент, широко распространенный в растительных тканях. Ее каталитическое действие обеспечивает в разложении перекиси водорода с выделением молекулярного кислорода. Аналогичные функции в живых тканях помимо каталазы выполняют и пероксидазы, однако они функционируют только при относительно низком уровне пероксида, в то время как каталаза способна эффективно работать при его высокой концентрации.

Пероксидаза – один из ключевых ферментов, контролирующих рост, дифференциацию и развитие растений. Данный фермент участвует в формировании клеточных стенок, дыхании растений, защите тканей от различного рода поражений. Пероксидаза определяет не только рост и развитие растений, но и их антиоксидантную противострессовую реакцию на внешние воздействия. Известно, что именно данный фермент в растении одним из первых активизируется в ответ на стресс, при этом каталаза зачастую подвержена ингибированию при загрязнении среды кислыми газами и тяжелыми металлами. Эти факторы и определяют возможность использования указанных ферментов для изучения устойчивости растений к окислительному стрессу [3].

#### **Объекты и методы исследований**

Объектами исследований служили хвойные интродуценты, широко распространенные в озеленении г. Йошкар-Олы – ель колючая (*Picea pungens* Engelm.), туя западная (*Thuja occidentalis* L.) и можжевельник казацкий (*Juniperus sabina* L.). Целью работы являлось изучение активности антиоксидантных ферментов (пероксидазы и каталазы) в хвое ряда интродуцентов, используемых в озеленении г. Йошкар-Олы.

В качестве районов исследования были выбраны следующие зоны города Йошкар-Олы, отличающиеся по степени загрязнения атмосферы: парковая зона (ЦПКИО им. XXX-летия ВЛКСМ), селитебная зона (ул. Маши-

ностроителей) и промышленная зона (ул. Строителей).

Образцы хвои второго года жизни отбирали со средневозрастных генеративных растений с южной стороны кроны. Определение активности каталазы (КФ. 1.11.1.6) проводили титрометрическим методом. Активность пероксидазы (КФ. 1.11.1.7) определяли методом А.Н. Бояркина (1951) [4]. Экспериментальные данные были обработаны статистически с помощью программы «STATISTICA 6.0».

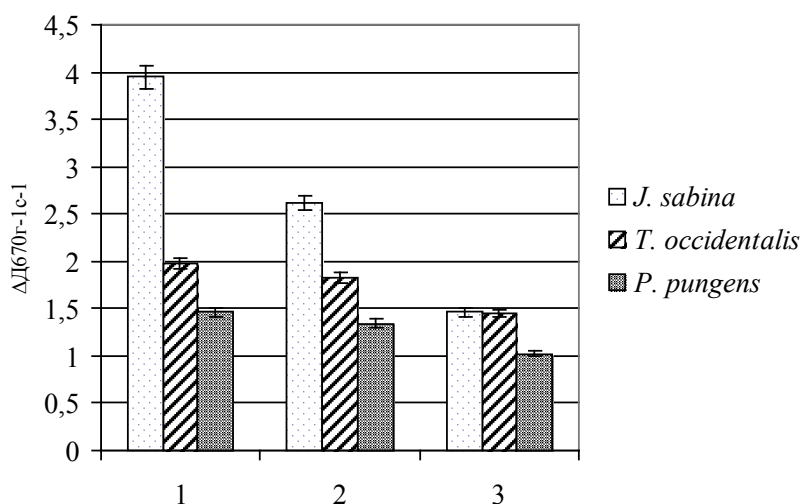
#### **Результаты исследований**

Вследствие того, что у растений из компонентов антиоксидантной системы защиты каталаза и пероксидаза являются одними из наиболее чувствительных ферментов при воздействии на растения неблагоприятных факторов среды [3], нами была изучена их активность в хвое некоторых хвойных интродуцентов, произрастающих в различных районах г. Йошкар-Олы.

К важнейшим функциям пероксидазы относят защиту организма от вредного действия перекисей, которые образуются в условиях загрязнения окружающей среды кислыми газами. Их образование и накопление обуславливает субстратную активацию пероксидазы, которая при каталитическом действии может использовать органические перекиси в качестве источника активного кислорода [5].

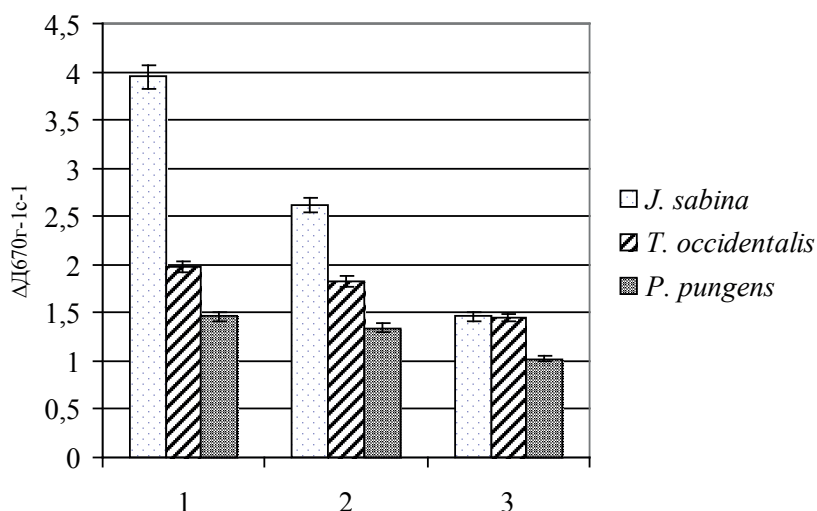
Пероксидаза довольно чувствительна к комплексу загрязняющих атмосферу веществ, и возрастание ее активности может свидетельствовать о проявлении защитных реакций тканей в неблагоприятных условиях. Активность пероксидазы является удобным индикатором для выявления газодымового стресса [6].

В ходе экспериментальных исследований было установлено, что наименьшая активность пероксидазы характерна хвое интродуцентов, произрастающих в парковой зоне (рис. 1). Минимальная активность фермента выявлена в хвое особей вида *J. sabina* –  $1,24 \pm 0,06 \text{ ДД}_{670} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ , в хвое *P. pungens* она была в 4,7 раза больше, а в хвое



**Рис. 1 – Изменение активности пероксидазы в хвое некоторых хвойных интродуцентов**

1 – ЦПКиО им. XXX-летия ВЛКСМ; 2 – ул. Машиностроителей; 3 – ул. Строителей



**Рис. 2 – Изменение активности каталазы в хвое некоторых хвойных интродуцентов**

1 – ЦПКиО им. XXX-летия ВЛКСМ; 2 – ул. Машиностроителей; 3 – ул. Строителей

*T. occidentalis* достигала  $6,8 \text{ Д}_{670} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ . В хвое всех исследованных видов, произрастающих в селитебной зоне города активность пероксидазы увеличилась по сравнению с предыдущим районом исследования на 27 – 64 %. В загрязненной зоне города активность данного фермента в хвое была максимальной у всех изученных видов и достигала  $8,75 \pm 0,179 \text{ Д}_{670} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ . При этом у *P. pungens* и *T. occidentalis* во всех районах исследования пероксидазная активность была

максимальной.

Двухфакторный дисперсионный анализ показал, что взаимодействие факторов (первый фактор – вид, второй фактор – район исследования) высоко значимо ( $F=7,36$ ;  $p<10^{-4}$ ).

Известно, что каталаза проявляет умеренную пероксидазную активность, то есть катализирует реакции окисления различных доноров электронов перекисью водорода [3], однако ее активность существенно возрастает в зависимости от качества окружающей среды.

В ходе наших исследований в хвое изученных видов, произрастающих в ЦПКиО им. XXX-летия ВЛКСМ, уровень активности каталазы был наибольшим: у *J. sabina* –  $3,94 \pm 0,192 \text{ млO}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$ , у *P. pungens* –  $1,72 \pm 0,098 \text{ г}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$ , у *T. occidentalis* –  $1,98 \pm 0,174 \text{ млO}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$ . Активность данного фермента у растений, произрастающих в селитебной зоне города, снижалась в 1,2-1,5 раз (рис. 2).

В хвое растений промышленной зоны города активность каталазы существенно снижалась у особей *J. sabina* – в 2,7 раза. У особей *P. pungens* и *T. occidentalis* инактивация данного фермента снижалась в 1,5–1,7 раза.

Проведенный двухфакторный дисперсионный анализ показал, что взаимодействие факторов (первый фактор – вид, второй фактор – район исследования) высоко значимо ( $F=32,77$ ;  $p<10^{-4}$ ).

Статистическая обработка данных с помощью корреляционного анализа позволила выявить наличие зависимости между

такими параметрами, как активность пероксидазы и активность каталазы в хвое исследуемых видов, произрастающих в различных районах исследования ( $r_s=0,88-0,95$ ;  $p<10^{-4}$ ).

Известно, что с повышением активности пероксидазы ее оксидазные свойства значительно усиливаются, при этом вследствие действия кислотогенных загрязнителей может преобладать функционирование пероксидазы в качестве терминальной оксидазы. Именно в кислой среде происходит ингибирование активности каталазы, а адаптивная перестройка окислительного аппарата в сторону активации пероксидазы препятствует нарушению дыхательного процесса, что позволяет растениям поддерживать уровень окислительно-восстановительных процессов на относительно стабильном уровне.

#### Выводы

Таким образом, при увеличении антропогенного загрязнения среды происходило существенное увеличение активности пероксидазы; именно в промышленной зоне города наблюдалось значительное подавление каталазной активности. Это может свидетельствовать о функционировании компенсаторного механизма активации пероксидазы, способствующего разрушению перекиси водорода в условиях повышенного антропогенного загрязнения. Максимальная активация пероксидазы и инактивация каталазы в условиях г. Йошкар-Олы наблюдалась в хвое *J. sabina*, что позволяет заключить о более высокой чувствительности данного интродуцированного вида атмосферным загрязнителям.

#### Библиографический список

1. Экологическая оценка городской среды: учебное пособие / Е.А. Алябышева, Е.В. Сарбаева, О.Л. Воскресенская, В.С. Воскресенский. – Йошкар-Ола, 2013. – 96 с.
2. Старикова, Е.А. Изменение проницаемости клеточных мембран ели колючей (*Picea pungens* Engelm.) в условиях г. Йошкар-Олы / Е.А. Старикова, Е.В. Сарбаева // Принципы и способы сохранения биоразнообразия. Материалы докладов V Международной научной конференции (в 2 частях). – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2013. – Часть 2. – С. 55-58.
3. Воскресенская, О.Л. Большой практикум по биоэкологии: учебное пособие. Часть 1 / О.Л. Воскресенская, Е.А. Алябышева, М.Г. Половникова. – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т; 2006. – 107 с.
4. Воскресенская, О.Л. Эколого-физиологические адаптации туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в городских условиях: монография / О.Л. Воскресенская, Е.В. Сарбаева. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2006. – 130 с.
5. Неверова, О.А. Использование активности пероксидазы для оценки физиологического состояния древесных растений и качества атмосферного воздуха г. Кемерово / О.А. Неверова // Сибирский ботанический журнал. – 2001. – № 2. – С. 122-128.
6. Симонова, З.А. Активность пероксидазы *Betula pendula* как индикатор качества городской среды (на примере г. Саратова) / З.А. Симонова, Д.А. Чемаркин // Фундаментальные исследования. Биологические науки. – 2013. – № 8. – С. 1097-1101.