

УДК 57.033;504.054

АКТИВНОСТЬ ПЕРОКСИДАЗЫ *BETULA PENDULA* КАК ИНДИКАТОР КАЧЕСТВА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ Г. САРАТОВА)

Симонова З.А., Чемаркин Д.А.

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Саратов, e-mail: zabrodinaza@rambler.ru*

Исследована сезонная динамика активности пероксидазы в листьях *Betula pendula* в пределах неоднородной городской территории. Районы исследований были определены по результатам химических анализов атмосферного воздуха. Активность пероксидазы в листьях древесных растений определяли в течение нескольких вегетационных периодов с помощью фотометрического метода по окислению бензидина. Показано, что пероксидазная активность изменяется под влиянием различных факторов городской среды, особенно в начале вегетационного периода. Экспериментально установлено, что она наиболее выражена у растений, произрастающих в районах крупных транспортных узлов города. В спальнях районах города отмечалось пониженное значение активности данного фермента в листьях изучаемых видов растений. Активация пероксидазы у растений может служить показателем наличия в воздухе загрязнителей в достаточно широком диапазоне концентраций, что позволяет интегрировать зоны с различным уровнем загрязнения.

Ключевые слова: активность пероксидазы, биохимические показатели, древесные растения, урбосреда, загрязнение

PEROXIDASE ACTIVITY *BETULA PENDULA* USED AS INDICATORS OF THE URBAN ENVIRONMENT (BY THE EXAMPLE OF SARATOV)

Simonova Z.A., Chemarkin D.A.

Saratov State Technical University, Saratov, e-mail: zabrodinaza@rambler.ru

The seasonal dynamics of peroxidase activity in leaves of *Betula pendula* within the heterogeneous urban area have been studied. Studying areas have been identified according to results of chemical analysis of atmospheric air. Peroxidase activity in tree leaves was carried out for several vegetation periods using photometric methods based on determination of benzidine oxidation. It was shown that peroxidase activity the most pronounced under the influence of various factors of the urban environment changes in early growing season. Experimentally established that the highest activity of peroxidase have plants growing in areas of major transport hubs of the city. Reduction of enzyme activity in leaves was observed in bedroom communities of city. Peroxidase activity in plants can be used as indicator of air pollution in a wide range of concentrations. This allows to integrate zones with different levels of pollution.

Keywords: activity of peroxidase, biochemical parameters, trees, urban environment, pollution

Условия урбанизированной среды негативно сказываются на состоянии, росте и развитии растений, а также на их функциональной активности. Для оценки качества городской среды используются различные растения, в том числе и древесные. Древесные растения широко используются в озеленительных зонах вокруг промышленных объектов, вдоль автомагистралей, то есть в тех местах, где опасность антропогенного загрязнения особенно велика. Они не могут «уйти» от негативного воздействия, и вынуждены адаптироваться к нему с помощью физиолого-биохимических и анатомо-морфологических перестроек организма. Фиксация и оценка этих изменений дают достоверную картину условий места произрастания растений и отражают состояние городской среды.

Ранее нами было изучено влияние загрязненности атмосферного воздуха на морфологические показатели листьев «*Betula pendula*», произрастающих в местах оживленного транспортного движения и вблизи крупных промышленных предприятий г. Саратова. В качестве основного критерия

рассматривалась флуктуирующая асимметрия листовой пластинки растения, которая широко используется для оценки нарушения стабильности его развития.

По данному показателю с помощью метода «Биотест» была проведена балльная оценка качества урбосреды в разных районах города. Согласно полученным результатам, экологическая ситуация в городе оценивается не ниже 3–5 баллов, что соответствует неблагоприятному состоянию окружающей среды [Забродина, 2010].

За биохимическими и физиологическими реакциями у растений на антропогенное воздействие можно следить по изменениям активности антиоксидантных ферментов. В клетках растений усиливается образование активных форм кислорода, что в дальнейшем может привести к усилению окислительных процессов, к окислительному стрессу. Наиболее удобным индикатором у растений для его выявления является активность пероксидазы [Шевякова, Стеценко, Мещеряков, 2002]. Этот фермент довольно чувствителен 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 [Андреева, 1988].

Целью нашего исследования явилось исследование сезонной динамики активности пероксидазы в листьях *Betula pendula* под влиянием различных факторов городской среды.

Материалы и методы исследования

Из материалов Доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2011 году» [Доклад..., 2012] г. Саратов отличаются высокий и неоднородный уровень техногенного загрязнения (в качестве веществ – загрязнителей ат-

мосферы фиксируют формальдегид, диоксид азота, оксиды углерода и серы, аммиак и др.). Для города характерна значительная временная и пространственная изменчивость характеристик загрязнения воздуха, что связано с особенностями его географического расположения: он находится на правом крутом берегу реки Волги в амфитеатре холмов.

Для проведения исследования нами были выбраны участки, расположенные в местах оживленного транспортного движения и вблизи крупных промышленных предприятий (таблица).

Для исследования использовали растения *Betula pendula*, произрастающие в различных по степени антропогенной нагрузки районах города. Выбор объекта исследования был обусловлен тем, что для данного растения характерна рано начинающаяся и заканчивающаяся вегетация, кроме того, оно чувствительно к действию экотоксикантов и широко используется в озеленении г. Саратова.

Участки отбора листьев *Betula pendula*

I	пр. Строителей / I проезд Строителей – ОАО «Саратовстройстекло» (Ленинский район)
II	ул. Рахова / 2-я Садовая – транспортный узел (Октябрьский район)
III	ул. Шелковичная (Октябрьский район)
IV	2-й Красноармейский тупик / пр. 50 лет Октября – загруженная автомагистраль города, ЗАО «Жировой комбинат» (Ленинский район)
V	ул. Соколова / ул. Университетская – транспортный узел (Кировский район)
VI	ул. Танкистов – транспортный узел (Кировский район)
VII	ул. Б. Садовая / ул. Рабочая – железнодорожные пути, ОАО «Завод автономных источников тока» (Фрунзенский район)
VIII	Природный парк «Кумысная поляна» – пригородная зона (Октябрьский район)
IX	ул. Антонова / ул. Лебедева-Кумача – автомагистраль города, зона влияния ТЭЦ-5 (Ленинский район)
X	ул. Хомякова / ул. Азина – ООО «Саратоворгсинтез» (Заводской район)
XI	ул. Тульская – транспортный узел (Заводской район)
XII	ул. Тепличная / ул. Комсомольская – транспортный узел (Заводской район)

Пробы листьев отбирали по окружности кроны на высоте 1,5 м в течение нескольких вегетационных периодов (2007–2012 г.) подекадно с начала мая по конец сентября по методике, описанной [Бояркин, 1951]. Выборку листьев берёзы делали с 10 близко растущих деревьев на площади 10×10 м или на аллее длиной 30–40 м. Использовались только средневозрастные растения, исключались молодые и старые. Всего собиралось не менее 25 листьев среднего размера с одного растения. Сборы листьев проводились в одно и то же время суток.

Активность пероксидазы определяли фотометрически на спектрофлуориметре «Флюорат-02-Панорама» по окислению бензидина. Измерения проводили при длине волны 520 нм. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили по общепринятым методикам с использованием t-критерия Стьюдента [Зайцев, 1991]. Расчёт результатов осуществляли с применением пакета прикладных программ Statistica 6.0 (for Windows; «Stat Soft Inc.», США), Microsoft Excel 2007 (for Windows XP).

Результаты исследования и их обсуждение

Пероксидаза – самая распространенная у растений терминальная оксидаза. Этот

фермент довольно чувствителен к комплексу загрязняющих атмосферу веществ (Рогожин, 2004). Активация оксидаз у растений в экстремальных условиях является защитной реакцией клетки на повреждение ее биомембран. Возрастание функциональной активности фермента до 200% от контроля может означать возможность обратимости физиолого-биохимических нарушений, а более 200% – необратимость их и возможность некрозообразования [Неверова, 2001].

Таким образом, активация пероксидазы у растений хотя и является неспецифичной, может характеризовать наличие в воздухе загрязнителей в достаточно широком диапазоне концентраций и позволяет по степени активации фермента выделить зоны с различным уровнем загрязнения [Неверова, 2001].

Обобщение данных экспериментов различных периодов наблюдения (2007–2012 гг.) представлено на рис. 1 и 2.

Установлено, что содержание фермента достигает максимума в начале вегетационного периода (первая-вторая декада мая),

что соответствует активным ростовым и метаболическим процессам в формирующихся листовых пластинках.

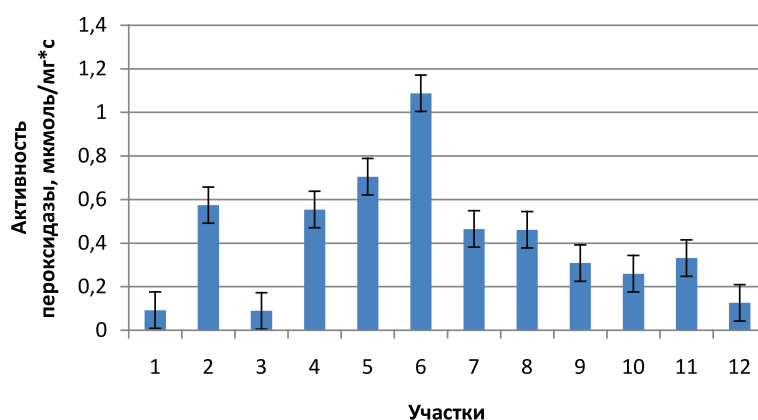


Рис. 1. Изменение активности пероксидазы в листьях *Betula pendula* в начале вегетационного периода (первая – вторая декада мая)

Из рис. 1 видно, что самый высокий показатель активности пероксидазы в мае был зафиксирован на участке VI. Здесь расположен крупный сельскохозяйственный рынок г. Саратова, и его отличает максимальное скопление транспорта в течение дня. Повышенная активность пероксидазы отмечается также в листьях берёзы, собранных на пересечении центральных улиц города: участки II, IV и V. Произрастающие здесь растения испытывают постоянное негативное воздействие выхлопных газов автомобилей, которые содержат CO_2 , SO_2 , NO_2 , являющиеся кислыми газами.

Как известно, кислые газы на свету инициируют возникновение свободнорадикальных цепных реакций окисления, в ходе которых образуются органические перекиси [Андреева, 1988]. Образование и накопление последних, по-видимому, обуславливает субстратную активацию пероксидазы, которая при каталитическом действии может использовать органические перекиси в качестве источника активного кислорода. Известно, что с повышением активности пероксидазы усиливаются ее оксидазные свойства, следовательно, в условиях действия может преобладать функционирование пероксидазы как терминальной оксидазы. Вероятно, что в этих условиях при ингибировании других оксидаз происходит адаптивная перестройка окислительного аппарата, препятствующая нарушению дыхательного процесса.

Минимальное значение активности пероксидазы отмечается в листьях берёзы, произрастающей в спальных районах города I, II, XII. Это обусловлено удаленностью данных участков от центральных рай-

онов города, лучшей проветриваемостью территории, что не позволяет скапливаться выхлопным газам автотранспорта, и большим количеством зеленых насаждений по сравнению с другими районами города.

Относительно высокой оказалась активность пероксидазы в листьях берёзы, собранных в условно-чистой среде города, месте отдыха многих горожан – на территории Природного парка «Кумысная поляна». Такая ситуация может быть связана с интенсивным использованием лесопарковой зоны автолюбителями. Атмосферный воздух зоны отдыха загрязнен все теми же кислыми газами, вызывающими активацию оксидаз.

Наблюдения в конце вегетационного периода (первая – вторая декада сентября) показали, что имеет место противоположное изменение активности пероксидазы – в тех районах, где она была повышенной в мае, в сентябре становится пониженной, и наоборот (рис. 2).

Сравнение результатов всех экспериментов показало, что активность пероксидазы в листьях *Betula pendula* за весь вегетационный период в среднем по городу понижается в 7 раз (рис. 3).

Это можно объяснить тем, что растения, произрастающие в условиях постоянного воздействия автомобильного транспорта, в течение всего вегетационного периода находились в состоянии стресса. В результате их адаптационные способности, обусловленные активацией оксидаз, оказались сведены до минимума. Кроме того, следует учитывать, что в конце вегетационного периода метаболическая активность растений угасает, и они готовятся к периоду зимнего покоя.

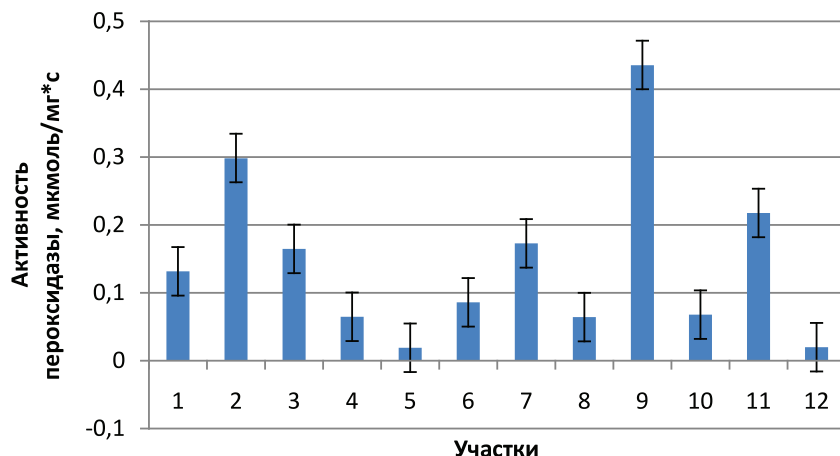


Рис. 2. Изменение активности пероксидазы в листьях *Betula pendula* в конце вегетационного периода (первая – вторая декада сентября)

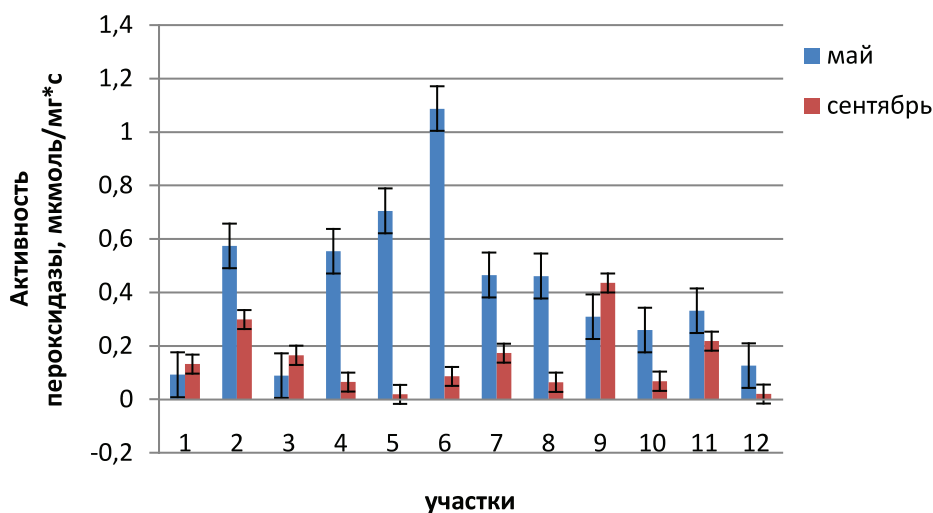


Рис. 3. Сравнение активности пероксидазы в листьях *Betula pendula* в начале и конце вегетационного периода

Заклучение

Полученные результаты показали, что наиболее выражено изменение активности пероксидазы под влиянием различных факторов городской среды происходит в начале вегетационного периода. Это объяснимо, так как в начальный период не достигшие зрелости листья наиболее уязвимы и подвержены внешнему воздействию. Особенно заметно изменение активности пероксидазы в листьях берёзы изменяется в районах, характеризующихся как мощные транспортные узлы г. Саратова. Следовательно, именно в этих местах растения пытаются защитить себя от стресса, обусловленного негативным воздействием автотранспорта, путем активации оксидаз. Но очевидно, что повышение активности пероксидазы в листьях нельзя рассматривать однозначно как адаптивную

реакцию к негативному воздействию одного из условий среды обитания без учета целого комплекса факторов. Существенное влияние на активность пероксидазы могут оказать освещенность, проветриваемость территории и почвенный фактор, часто играющий ведущую роль. Однако, по мнению большинства исследователей, именно пероксидазы включают механизм наиболее ранних ответных реакций растения на стресс.

Список литература

1. Андреева В.А. Фермент пероксидаза: участие в защитном механизме растений. – М.: Наука, 1988. – 359 с.
2. О состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2011 году: доклад. – Саратов, 2012. – 245 с.
3. Забродина (Симонова) З.А. Использование *Betula pendula* для оценки экологического состояния г. Саратова.

ва // Экология: синтез естественнонаучного, технического и гуманитарного знания: мат. Всерос. науч.-практ. конференции. – Саратов: Изд-во Саратов. гос. тех.ун-та, 2010. – С. 134-136.

4. Зайцев Т.Н. Математический анализ биологических данных. – М.: Наука, 1991. – 268 с.

5. Бояркин А. Н. Быстрый метод определения активности пероксидазы // Биохимия. – 1951. – Т. 16, Вып. 4. – С. 352.

6. Неверова О.А. Использование активности пероксидазы для оценки физиологического состояния древесных растений и качества атмосферного воздуха г. Кемерово // *Krylovia* (Сиб. ботан. журн.). – 2001. – № 2. – С. 122–128.

7. Шевякова Н.И., Стеценко Л.А., Мещеряков А.Б. Изменение активности пероксидазной системы в процессе стресс-индуцированного формирования САМ // Физиология растений. – 2002. – Т.49. – № 5. – С. 670–677.

References

1. References Andreeva V.A. *Ferment peroksidaza: uchastie v zashhitnom mehanizme rastenij* [The enzyme peroxidase: participation in the defense mechanism of plants]. Moscow: Nauka, 1988. 359 p.

2. *Doklad «O sostojanii i ob ohrane okruzhajushhej sredy Saratovskoj oblasti v 2011 godu»* [The report «On the state and the environmental protection Saratov region in 2011»]. Saratov, 2012. 245 p.

3. Zabrodina (Simonova) Z.A. *Ispol'zovanie Betula pendula dlja ocenki jekologicheskogo sostojanija g. Saratova: Mat. Vseros. nauch.-prakt. konferencii «Jekologija: sintez estestvennonauchnogo, tehničeskogo i gumanitarnogo znanija»* [Using *Betula pendula* to assess the environmental condition of Saratov: Proc. of the All-Russian scientific-practical conference «Ecology: a synthesis of scientific, technical and human knowledge»]. Saratov: SSTU, 2010. pp. 134–136.

4. Zajcev T.N. *Matematicheskij analiz biologicheskikh dan-nyh* [Mathematical analysis of biological data]. Moscow, Nauka, 1991. 268 p.

5. Bojarkin A. N. *Bystryj metod opredelenija aktivnosti peroksidazy*. – Biohimija [A fast method for determining the activity of peroxidase. – Biochemistry]. 1951. T. 16, vyp. 4. pp. 352.

6. Neverova O.A. *Ispol'zovanie aktivnosti peroksidazy dlja ocenki fiziologicheskogo sostojanija drevesnyh rastenij i kachestva atmosfernogo vozduha g. Kemerovo. Krylovia (Sib. Botan. Zhurn.)* [The use of peroxidase activity to assess the physiological state of trees and air quality Kemerovo. Krylovia (Sib. Botan. Journal)]. 2001. no. 2. pp. 122–128.

7. Shevjakova N.I., Stecenko L.A., Meshherjakov A.B. *Izmenenie aktivnosti peroksidaznoj sistemy v processe stress-inducirovannogo formirovanija SAM. Fiziologija rastenij* [Changes in the activity of peroxidase in the stress-induced formation of the SAM. Plant Physiology]. 2002. T.49. no.5. pp. 670–677.

Рецензенты:

Аникин В.В., д.б.н., профессор кафедры «Морфология и экология животных» Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов;

Сергеева И.В., д.б.н., профессор, зав. кафедрой «Ботаника и экология» Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И. Вавилова, г. Саратов.

Работа поступила в редакцию 19.07.2013.