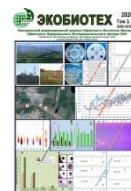




ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

http://ecobiotech-journal.ru



ОСОБЕННОСТИ БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA* ROTH.) В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОЙ СРЕДЫ

Кузьмин П.А.^{1*}, Бухарина И.Л.², Кузьмина А.М.¹

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Казань (Россия)

² Удмуртский государственный университет,
Ижевск (Россия)

*E-mail: petrkuzmin84@yandex.ru

Приводятся результаты исследований особенностей биохимического состава березы повислой с учетом экспозиции кроны дерева в условиях крупного промышленного центра г. Набережные Челны (Республики Татарстан). Дисперсионный многофакторный анализ результатов исследований показал, что на исследуемые показатели в листьях березы повислой достоверное влияние оказали комплекс условий произрастания, период вегетации, экспозиция расположения листьев и взаимодействие этих факторов. В магистральных насаждениях в листьях северной экспозиции отмечалась более высокая концентрация аскорбиновой кислоты в течение всего периода активной вегетации растений, а активность аскорбинатоксидазы, наоборот, была выше в листьях южной экспозиции в июне и июле. В насаждениях санитарно-защитных зон промышленных предприятий и магистральных посадках (июль, август) отмечены более высокое содержание танинов в листьях северной экспозиции, по сравнению с листьями южной экспозиции. Активность полифенолоксидазы в июне у растений санзон в листьях северной экспозиции была наибольшей, в остальных случаях достоверных отличий не выявлено. Исследуемые вещества являются важными элементами сети метаболических реакций антиоксидантной системы защиты растений, направленных на компенсацию негативного воздействия совокупности загрязнителей воздуха.

Ключевые слова: *Betula pendula* Roth., техногенная среда, аскорбиновая кислота, танины, активность аскорбинатоксидазы, активность полифенолоксидазы

FEATURES OF THE BIOCHEMICAL COMPOSITION OF SILVER BIRCH (*BETULA PENDULA* ROTH.) IN A TECHNOGENIC ENVIRONMENT

Kuzmin P.A.^{1*}, Bukharina I.L.², Kuzmina A.M.¹

¹ Kazan (Volga region) Federal University,
Kazan (Russia)

² Udmurt State University,
Izhevsk (Russia)

*E-mail: petrkuzmin84@yandex.ru

The results of studies of the peculiarities of the biochemical composition of silver birch, taking into account the exposure of the crown of a tree in the conditions of a large industrial centre of Naberezhnye Chelny (Republic of Tatarstan) are presented. The multivariate variance analysis of the research results showed that the studied parameters in the leaves of silver birch were significantly influenced by a complex of growing conditions, the growing season, exposure of the location of leaves and the interaction of these factors. In the main plantations in the leaves of the northern exposure, a higher concentration of ascorbic acid was noted during the entire period of active vegetation of plants, while the activity of ascorbate oxidase, on the contrary, was higher in the leaves of the southern exposure in June and July. In the plantations of sanitary protection zones of industrial enterprises and main plantations (July, August), a higher content of tannins in the leaves of the northern exposure was noted, compared to the leaves of the southern exposure. The activity of polyphenol oxidase in June in Sanzone plants in the leaves of northern exposure was the highest; in other cases, no significant differences were found. The investigated substances are important elements of the network of metabolic reactions of the antioxidant plant defense system aimed at compensating for the negative impact of the aggregate of air pollutants.

Keywords: *Betula pendula* Roth., technogenic environment, ascorbic acid, tannins, ascorbate oxidase activity, polyphenol oxidase activity

Поступила в редакцию: 28.08.2020

DOI: [10.31163/2618-964X-2020-3-4-643-651](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2020-3-4-643-651)

ВВЕДЕНИЕ

Компоненты специализированной системы антиоксидантной защиты растений многочисленны и разнообразны. Для обеспечения эффективной защиты растительного организма от антропогенного стресса все элементы системы должны быть взаимосвязаны. Детоксикация отравляющих веществ требует совместного функционирования ферментов, обладающих антиоксидантными свойствами, и низкомолекулярных метаболитов [Кулагин, 1985; Зайцев, Кулагин, 2002; Кулагин, 2006; Тагирова, Кулагин, 2015; Бухарина, 2018; Taïbiacd et al., 2016; Xiaoqian et al., 2018; Gowda et al., 2018; Nunes et al., 2019].

Отдельными элементами антиоксидантной системы, которые обеспечивают устойчивость растений к загрязнителям техногенной среды, являются такие вещества, как танины и полифенолоксидаза, аскорбиновая кислота и аскорбинатоксидазы [Бухарина и др., 2014; Rahul et al., 2020]. Полифенолоксидаза и пероксидаза в сочетании с фенольными субстратами участвуют в процессе дыхания на промежуточных этапах переноса водорода. Установлено, что в поврежденных тканях растений активность полифенолоксидазы возрастает. Аскорбинатоксидаза способствует ликвидации активных форм кислорода и участвует в защитных реакциях организма растений в борьбе с окислительным стрессом. Одним из важных ферментов, участвующим в дыхании растений является медьсодержащая полифенолоксидаза, которая в свою очередь показывает уровень гипоксии. Более высокая активность полифенолоксидазы способствует обезвреживанию антропогенных загрязнителей [Кулагин, 1973; Сергейчик, 1994; Кузьмин и др., 2017; Bouchoukh et al., 2019].

Вещества, участвующие в обеспечении устойчивости растений, среди которых большое внимание уделяется вторичным метаболитам, в том числе фенольным соединениям. К ним относятся танины, которые влияют на процессы роста и развития растений, фенолы участвуют в транспорте электронов при дыхании и фотосинтезе, в биосинтезе лигнина, обеспечивают неферментативное окисление ряда соединений (аминокислот, аскорбиновой кислоты, цитохромов и т.д.). Фенольные соединения в растительной клетке могут играть значимую роль в адаптации растений к различным стрессовым факторам [Zabihi et al., 2018; Ekkal et al., 2020]. В различных исследованиях отмечается увеличение содержания конденсированных танинов и активность пероксидазы в листьях и хвое растений из городских зон. Поэтому эти биохимические параметры могут быть использованы в качестве потенциальных биомаркеров стрессового состояния деревьев [Afanasyeva, Ayushina, 2019].

В связи с этим целью работы являлось исследование особенности биохимического состава березы повислой (*Betula pendula* Roth.) с учетом экспозиции кроны дерева в условиях техногенной среды (на примере г. Набережные Челны).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлась береза повислая (*Betula pendula* Roth.). Изучаемый вид произрастает в городе в составе насаждений различных экологических категорий: магистральные посадки (крупные магистрали ул. Машиностроителей и проспект Мира) и санитарно-защитные зоны (СЗЗ) промышленных предприятий ПАО «КамАЗ»: заводы литейный и кузнечный, являющихся основными загрязнителями города. В качестве зон условного контроля (ЗУК) выбраны территории Челнинского участкового лесничества.

На основании описания пробных площадей (по 3 в каждом исследуемом районе, заложенных регулярным способом различной конфигурации, размером не менее 0.25 га в зависимости от площади исследуемой категории насаждений) провели отбор и нумерацию учетных растений (по 10 растений, из числа которых для биохимических исследований выбрали растения хорошего среднегенеративного онтогенетического состояния).

Оценка степени загрязнения атмосферного воздуха в местах произрастания древесных растений проведена нами на основе материалов «Доклада об экологическом состоянии Республики Татарстан». Комплексный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА=11.4) характеризует состояние загрязнения атмосферного воздуха в городе, как очень высокое (Государственный..., 2018).

В период активной вегетации (в июне, июле и августе) у учетных особей проводили отбор проб листьев срединной формации на годичном вегетативном побеге (с нижней трети участка кроны южной экспозиции). В магистральных насаждениях часть кроны южной экспозиции была обращена непосредственно к проезжей части проспекта. Отбор листьев южной и северной экспозиции проводили в один день во всех типах насаждений.

В лабораторных условиях содержание конденсированных танинов в листьях древесных растений определяли перманганатометрическим методом (метод Левенталья в модификации Кирсанова). Количественное содержание аскорбиновой кислоты определяли в соответствии с ГОСТ 24556-89 [Чупахина, 2000]. Активность аскорбинатоксидазы определяли по методу, предложенному Д.К.Асамовым, С.Т.Рахимовой, который основан на свойстве аскорбиновой кислоты поглощать свет с максимумом при длине волны 265 нм. Об активности фермента судили по уменьшению величины оптической плотности, учитывая, что степень окисления аскорбиновой кислоты пропорциональна количеству фермента. Активность полифенолоксидазы определяли спектрофотометрическим методом, основанном на измерении оптической плотности продуктов реакции, которые образуются при окислении пирокатехина за определенный промежуток времени [Ермаков и др., 1987]. Для каждого учетного растения анализы проводили в трех повторностях.

Математическую обработку результатов измерений провели с применением статистического пакета «Statistica 6.0». Для интерпретации полученных данных использовали метод дисперсионного многофакторного анализа (при последующей оценке различий методом множественного сравнения LSD-test). В процессе сравнения и анализа полученных результатов использовали достоверные различия между признаками (при $P < 0.05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Дисперсионный многофакторный анализ результатов исследований показал, что на содержание аскорбиновой кислоты в листьях березы повислой достоверное влияние оказали комплекс условий произрастания (уровень значимости $P < 10^{-5}$), период вегетации ($P < 10^{-5}$), экспозиция расположения листьев ($P = 2,78 \cdot 10^{-4}$) и взаимодействие этих факторов ($P = 2,24 \cdot 10^{-6}$) (рис. 1).

Наибольшее содержание аскорбиновой кислоты было отмечено в июне в магистральных посадках в листьях северной экспозиции (519,0 мг/%), а в насаждениях санитарных зон в листьях южной экспозиции (492,9 мг/%).

Сравнивая содержание аскорбиновой кислоты в листьях северной и южной экспозиции у березы повислой можно отметить следующие особенности: в контрольных насаждениях в июле в листьях северной экспозиции содержание данного метаболита больше на 11,8 мг%, чем в листьях южной экспозиции, а в августе наоборот, больше на 13,3 в листьях южной экспозиции; в санитарных насаждениях в листьях южной экспозиции в июне и июле содержание аскорбиновой кислоты больше на 21,1 и 17,5, чем в листьях северной экспозиции, а в августе было больше на 30,3 мг% в листьях северной экспозиции; в магистральных посадках в течение всего периода вегетации более высокое содержание аскорбиновой кислоты было зафиксировано в листьях северной экспозиции, так в июне разница составила 11,4, в июле – 28,1, в августе – 35,0 мг%.

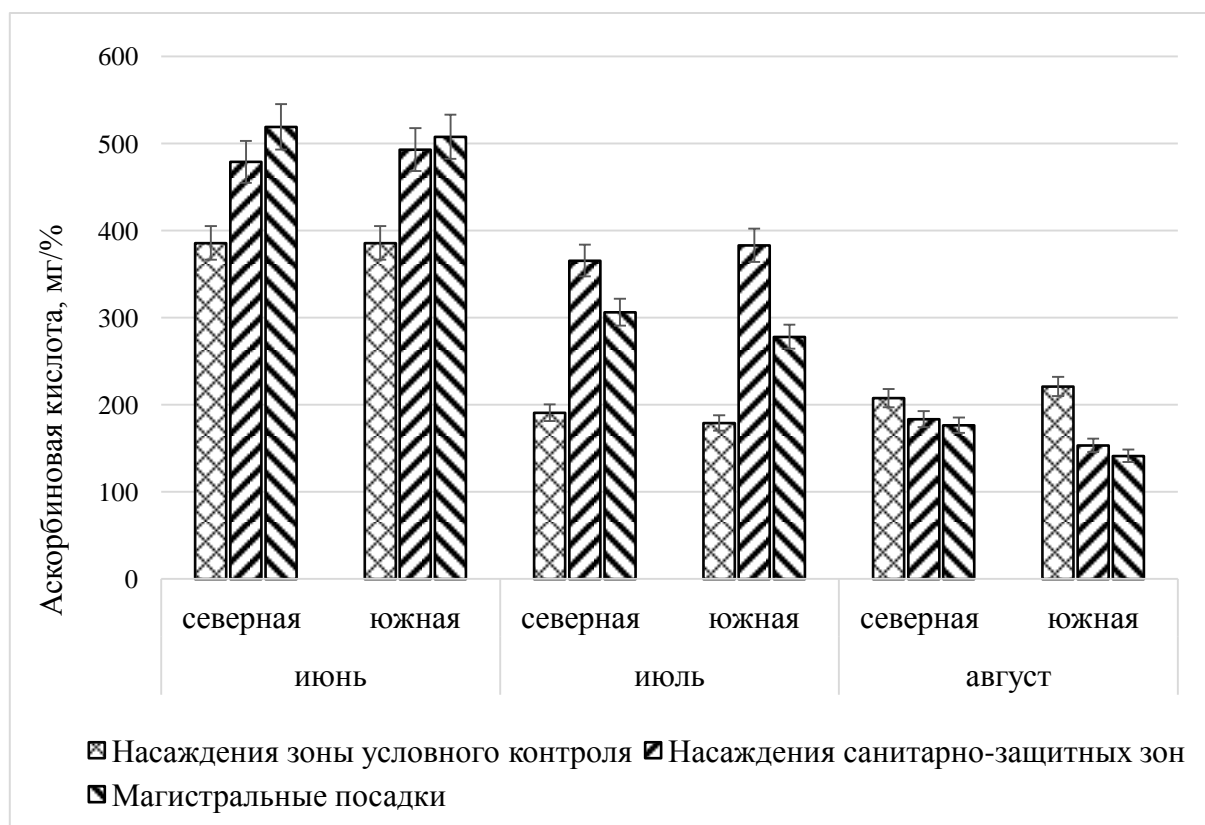


Рис. 1. Содержание аскорбиновой кислоты в листьях березы повислой в различных экологических условиях

Дисперсионный многофакторный анализ результатов исследований показал, что на активность аскорбинатоксидазы в листьях березы повислой достоверное влияние оказали комплекс условий произрастания ($P < 10^{-5}$), период вегетации ($P < 10^{-5}$), экспозиция расположения листьев ($P = 0,02$) и взаимодействие этих факторов ($P = 6,8 \cdot 10^{-3}$) (рис. 2).

Активность аскорбинатоксидазы в листьях растений санзон и магистральных посадках за весь период вегетации была ниже, чем в парковых насаждениях. Отличия зафиксированы нами и в экспозиции кроны дерева. В насаждениях санитарных зон промышленных предприятий активность фермента была ниже, чем в контрольных насаждениях: в июне на 0,15 и 0,07; в июле – на 0,54 и 0,63; в августе – на 1,63 и 1,86 ед. акт. ($НСР_{05} = 0,06$ ед. акт.), соответственно в северной и южной экспозиции. В магистральных насаждениях картина была сходной, активность фермента была ниже, чем у контрольных растений: в июне – на 0,33 и 0,20; в июле – на 1,15 и 1,00; в августе – на 2,11 и 2,43 ед. акт., соответственно в северной и южной экспозиции.

При этом в насаждениях санитарно-защитных зон промышленных предприятий в июне и августе и в магистральных насаждениях в июне и июле в листьях южной экспозиции активность аскорбинатоксидазы была выше, чем активность в листьях северной экспозиции.

В парковых насаждениях в листьях северной и южной экспозиции мы наблюдали сходную реакцию достоверного повышения активности фермента в течении вегетации. Причем в августе в листьях южной экспозиции фиксировали максимальную активность данного фермента (4,47). В насаждениях промышленных зон и в магистральных посадках активность фермента снижалась в течении всего периода наблюдений. Минимальные значения активности были отмечены в августе в санитарных зонах в листьях северной экспозиции (2,58), а в магистральных посадках в листьях южной экспозиции (2,04).

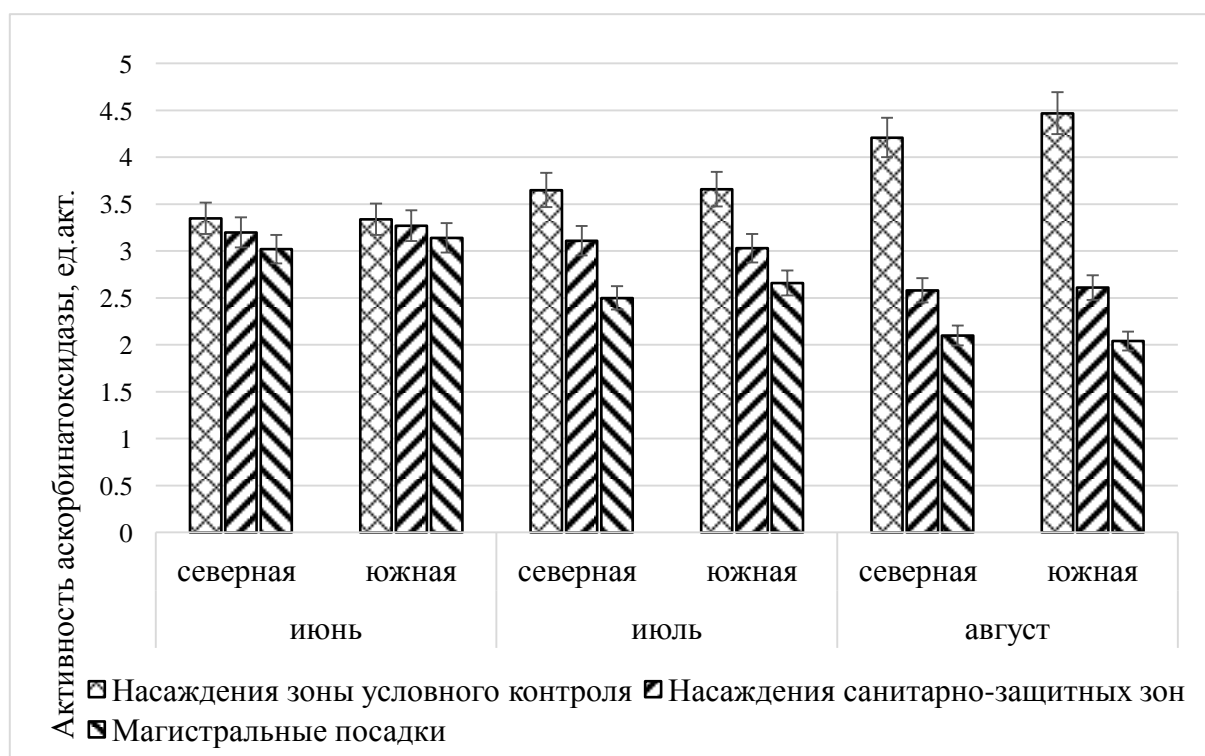


Рис. 2. Активность аскорбинатоксидазы в листьях березы повислой в различных экологических условиях

Дисперсионный многофакторный анализ результатов исследований показал, что на содержание танинов в листьях березы повислой достоверное влияние оказали комплекс условий произрастания ($P < 10^{-5}$), период вегетации ($P < 10^{-5}$), экспозиция расположения листьев ($P = 3,64 \cdot 10^{-5}$) и взаимодействие этих факторов ($P = 1,94 \cdot 10^{-3}$) (рис. 3).

Наибольшее содержание танинов было отмечено в августе в насаждениях зоны условного контроля ($9,81 \text{ мг г}^{-1}$ сух. в-ва) в листьях южной экспозиции, а в насаждениях санитарных зон ($9,59$) и в магистральных посадках ($8,33$) в листьях северной экспозиции.

В июне и августе листья южной и северной экспозиции в насаждениях санитарно-защитных зон промышленных предприятий и магистральных посадках имели более низкое содержание танинов по сравнению с зоной контроля. В июле в насаждениях СЗЗ промышленных предприятий данного метаболита в листьях северной и южной экспозиции было выше на $0,61$ и $0,66 \text{ мг г}^{-1}$ сух. в-ва, а у особей магистральных насаждений, наоборот, было ниже на $0,54$ и $0,73 \text{ мг г}^{-1}$ сух. в-ва, по сравнению с его содержанием в листьях

северной и южной экспозиции у растений контрольных насаждений, при $НСР_{05}=0,07 \text{ мг г}^{-1}$ сух. в-ва.

К концу периода активной вегетации березы повислой в насаждениях каждой категории наблюдался достоверный рост содержания конденсированных танинов, при этом в листьях северной экспозиции накопление их шло более интенсивно, чем в листьях южной экспозиции ($P=3,64 \cdot 10^{-5}$).

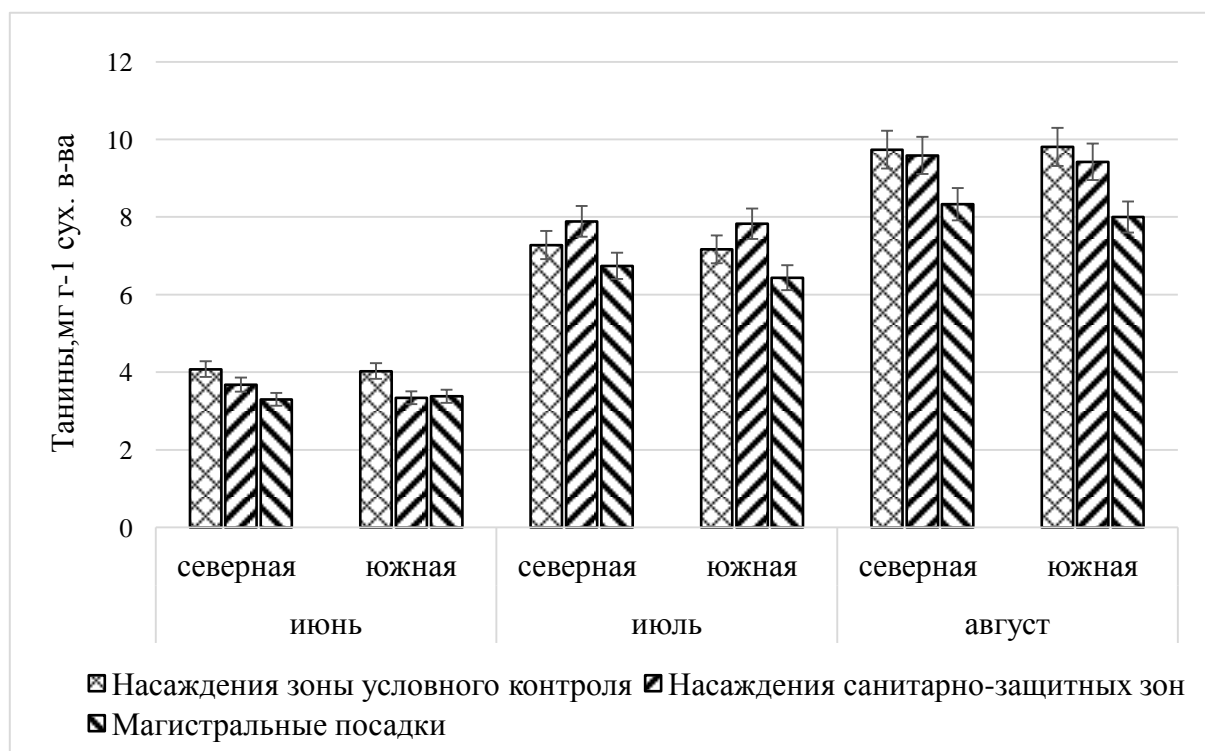


Рис. 3. Содержание танинов в листьях березы повислой в различных экологических условиях

Дисперсионный многофакторный анализ результатов исследований показал, что на активность полифенолоксидазы в листьях березы повислой достоверное влияние оказали комплекс условий произрастания ($P<10^{-5}$), период вегетации ($P<10^{-5}$), экспозиция расположения листьев ($P=0,05$) и взаимодействие этих факторов ($P<10^{-5}$) (рис.4).

Максимальная активность полифенолоксидазы в листьях северной и южной экспозиции отмечалась в августе, в условиях интенсивной техногенной нагрузки.

Активность полифенолоксидазы в листьях растений санзон и магистральных посадках в июне и июле была ниже в северной экспозиции: на 0,12–0,42 и 0,33–0,39 ед. акт.; в южной экспозиции: на 0,08 и 1,11–1,09 ед. акт., соответственно, а в августе, наоборот выше: в северной – на 1,47 и 1,68; в южной – на 2,08 и 2,16 ед. акт., чем в парковых насаждениях ($НСР_{05}=0,06$ ед. акт.).

Достоверные различия в экспозиции кроны отмечены в зоне условного контроля в течении всего периода вегетации и насаждениях санитарных зон в июне и августе. В парковой зоне в июне и августе в листьях северной экспозиции активность полифенолоксидазы была выше на 0,40 и 0,52 ед. акт., чем в листьях южной экспозиции. В июле, наоборот, активность фермента была выше в листьях южной экспозиции.

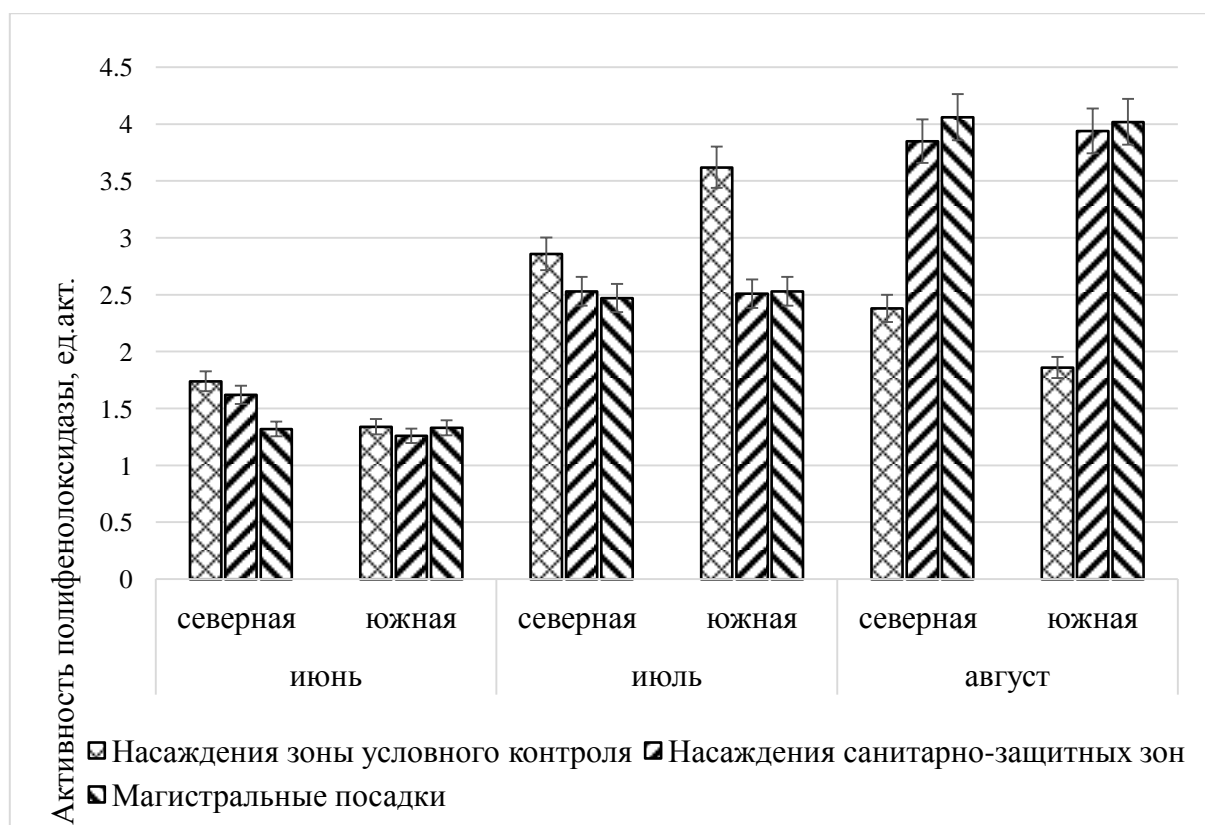


Рис. 4. Активность полифенолоксидазы в листьях березы повислой в различных экологических условиях

Также мы проанализировали динамику активности полифенолоксидазы в листьях березы повислой северной и южной экспозиции в каждом из типов насаждений. В парковых насаждениях в листьях северной и южной экспозиции мы наблюдали сходную реакцию достоверного повышения активности фермента к июлю, а далее снижение его активности к августу. В насаждениях промышленных зон и в магистральных посадках активность фермента повышалась в течении всего периода наблюдений, достигнув максимальных значений в августе.

ВЫВОДЫ

В июне в насаждениях санитарных зон и магистральных посадках у растений наблюдается более высокие значения по содержанию аскорбиновой кислоты и активности пероксидазы, а по содержанию танинов, активности аскорбинатоксидазы и полифенолоксидазы отмечается более низкие значения, по сравнению с контролем. При этом в листьях кроны северной экспозиции наблюдается большее содержание аскорбиновой кислоты и более высокая активность пероксидазы, чем в листьях южной экспозиции.

В июле в насаждениях санитарных зон отмечается более высокое содержание аскорбиновой кислоты и танинов в листьях березы повислой, а активность ферментов ниже, в сравнении с контрольными показателями. Достоверные отличия между листьями северной и южной экспозиции наблюдаются по содержанию аскорбиновой кислоты и активности аскорбинатоксидазы. Содержание аскорбиновой кислоты выше в листьях южной экспозиции, при этом активность аскорбинатоксидазы ниже, чем в листьях северной экспозиции. В магистральных посадках в июле более высокое содержание аскорбиновой кислоты, танинов и активность пероксидазы наблюдается в листьях северной экспозиции

кроны дерева, а активность медьсодержащих ферментов, наоборот, в листьях южной экспозиции кроны.

В августе в насаждениях санитарных зон содержание аскорбиновой кислоты, танинов и активность аскорбинатоксидазы меньше, а активность полифенолоксидазы и пероксидазы больше, чем в контроле. В листьях северной экспозиции кроны отмечается более высокое содержание аскорбиновой кислоты и танинов, а активность полифенолоксидазы и пероксидазы, напротив, снижена по сравнению с листьями южной экспозиции. В магистральных посадках, не зависимо от экспозиции кроны дерева, все исследуемые показатели, кроме активности полифенолоксидазы, снижены, по сравнению с контролем. При этом содержание аскорбиновой кислоты, танинов и активности аскорбинатоксидазы имеют достоверно более низкие значения, чем в листьях южной экспозиции, а по активности пероксидазы, наоборот, более высокие значения зафиксированы в листьях южной экспозиции кроны дерева.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бухарина И.Л., Кузьмин П.А., Шарифуллина А.М. Содержание низкомолекулярных органических соединений в листьях деревьев при техногенных нагрузках // Лесоведение. 2014. № 2. С. 20–26.
2. Бухарина И.Л., Кузьмина А.М., Кузьмин П.А. Динамика активности медьсодержащих ферментов в листьях древесных растений в условиях крупного промышленного центра (Среднее Поволжье) // Растительные ресурсы. 2018. Т. 54 (2). С. 280–289.
3. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2018 году». Казань, 2019. 402 с.
4. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П., Перуанский Ю.В., Луковникова Г.А., Иконникова М.И. Методы биохимического исследования растений. Л.: Агропромиздат, 1987. С. 43–45.
5. Зайцев Г.А., Кулагин А.Ю. Корненасыщенность почвы в сосняках при нефтехимическом загрязнении // Лесоведение. 2002. №4. С. 74–77.
6. Кузьмин П.А., Носырева Е.В. Исследование содержания аскорбиновой кислоты и активности медьсодержащих ферментов в листьях рябины обыкновенной в условиях Камского региона // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2017, Вып. 1. С. 88–92.
7. Кулагин А.А. Реализация адаптивного потенциала древесных растений в экстремальных лесорастительных условиях: Автореф. дис...докт. биол. наук. Тольятти, 2006. 36 с.
8. Кулагин Ю.З. Газоустойчивость растений и преадаптации // Экология. 1973. № 2. С. 50–54.
9. Кулагин Ю.З. Эколого-лесоводственные особенности березы повислой и березы пушистой на промышленных отвалах // Лесоведение. № 4. 1985. С. 60–61.
10. Сергейчик С.А. Устойчивость древесных растений в техногенной среде. Минск: Наука и техника, 1994. 280 с.
11. Тагирова О.В., Кулагин А.Ю. Характеристика состояния насаждений березы повислой (*Betula pendula* Roth) с использованием методов относительного жизненного состояния деревьев и интегрального показателя стабильности развития растений (Уфимский промышленный центр, Республика Башкортостан) // Известия Уфимского научного центра РАН. 2015. № 4 (1). С. 160–167.

12. Чупахина, Г. Н. Физиологические и биохимические методы анализа растений / Г.Н. Чупахина. Калининград, 2000. 59 с.
13. Afanasyeva L.V., Ayushina T. A., Accumulation of heavy metals and biochemical responses in Siberian larch needles in urban area // *Ecotoxicology*. 2019. V. 28 (28). P. 578–588. DOI: [10.1007/s10646-019-02055-9](https://doi.org/10.1007/s10646-019-02055-9)
14. Bouchoukh1 I., Hazmoune T., Boudelaa M. et al. Anticholinesterase and antioxidant activities of foliar extract from a tropical species: *Psidium guajava* L. (*Myrtaceae*) grown in Algeria // *Current Issues in Pharmacy and Medical Sciences* 2019. V. 32 (3). P. 160–167. DOI: [10.2478/cipms-2019-0029](https://doi.org/10.2478/cipms-2019-0029)
15. Ekkal G., Shailesh K., Quraishi A. Effect of exogenous additives on oxidative stress and defense system of a tree: *Zanthoxylum armatum* DC. under in vitro conditions // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2020. V. 140. P.671–676. DOI: [10.1007/s11240-019-01759-4](https://doi.org/10.1007/s11240-019-01759-4)
16. Gowda J.H., Palo R.T., Uden P. Seasonal variation in the nutritional value of woody plants along a natural gradient in Eastern Africa // *Afr. J. Ecol.* 2018. V. 57 (2). P. 226–237. DOI: [10.1111/aje.12583](https://doi.org/10.1111/aje.12583)
17. Nunes M.H., Both S., Bongalov B., et al. Changes in leaf functional traits of rainforest canopy trees associated with an El Niño event in Borneo // *Environ. Res. Lett.* 2019. V. 14 (8). P. 2–14. DOI: [10.1088/1748-9326/ab2eae](https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab2eae)
18. Rahul G.S., Guleria R., Mathur V. Differences in plant metabolites and microbes associated with *Azadirachta indica* with variation in air pollution // *Environmental Pollution*. 2020. V. 257. Article 113595. DOI: [10.1016/j.envpol.2019.113595](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113595)
19. Taïbiacd K., Taïbia L., Abderrahima A., et al. Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. // *South African Journal of Botany*. 2016. V. 105. P. 306–312. DOI: [10.1016/j.sajb.2016.03.011](https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.03.011)
20. Xiaoqian R., Jiuzheng Z., Hongyue L., et al. Response of antioxidative system in rice (*Oryza sativa*) leaves to simulated acid rain stress // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018. V. 148. P. 851–856. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2017.11.046](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.046)
21. Zabihi N. A., Mahmoudabady M., Soukhtanloo M., et al. *Salix alba* attenuated oxidative stress in the heart and kidney of hypercholesterolemic rabbits // *Avicenna J. Phytomed.* 2018. V. 8, № 1. P. 63–72. PMID: [PMC5784080](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35784080/)