

### АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

*Раст. ресурсы. 2018, 54(2): 280—289*

#### ДИНАМИКА АКТИВНОСТИ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ ФЕРМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ КРУПНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА (СРЕДНЕЕ ПОВОЛЖЬЕ)

© *И. Л. Бухарина*,<sup>1</sup> *А. М. Кузьмина*,<sup>2</sup> *П. А. Кузьмин*\*<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия

<sup>2</sup> Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, г. Ижевск, Россия

<sup>3</sup> Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия

\* E-mail: petrkuzman84@yandex.ru

Проведено исследование активности полифенолоксидазы и аскорбинатоксидазы в листьях некоторых древесных растений (*Acer platanoides* L., *A. negundo* L., *Tilia cordata* Mill., *Betula pendula* Roth и *Populus balsamifera* L.), произрастающих в насаждениях различных экологических категорий в крупном промышленном центре Среднего Поволжья — г. Набережные Челны. У исследованных растений в городских посадках отмечено повышение активности полифенолоксидазы в листьях, что является следствием интенсивной техногенной нагрузки. В то же время в условиях техногенного стресса снижается активность аскорбинатоксидазы в листьях *Tilia cordata*, *Betula pendula*, *Acer platanoides* и *A. negundo*, снижение наиболее значительно к концу периода активной вегетации растений (август). У *Populus balsamifera*, наоборот, наблюдается возрастание активности данного фермента. Таким образом, можно заключить, что динамика активности изучаемых медьсодержащих ферментов в листьях древесных растений характеризуется особенностями, специфичными для каждого вида.

Ключевые слова: *Acer platanoides*, *A. negundo*, *Tilia cordata*, *Betula pendula*, *Populus balsamifera*, активность полифенолоксидазы, активность аскорбинатоксидазы, городские насаждения, Среднее Поволжье.

Современный мир характеризуется постоянным возрастанием антропогенного воздействия на природную среду за счет урбанизации и развития промышленного производства. Роль растений в антропогенной среде заключается в выполнении ряда функций, главными из которых являются средообразующая, средоулучшающая и средорегулирующая. В свою очередь растительные организмы под воздействием токсичных веществ изменяют биохимические, физиологические и морфологические свойства [1—3].

Многие исследования указывают на взаимосвязь адаптивных возможностей растительного организма и функционирования ферментативной системы, в том числе медьсодержащих ферментов полифенолоксидазы и аскорбинатоксидазы [4—6]. Эти ферменты в сочетании с фенольными субстратами участву-

ют в процессе дыхания. 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 [7].

Цель работы — изучение активности полифенолоксидазы и аскорбинатоксидазы в листьях древесных растений, произрастающих в насаждениях различных экологических категорий в крупном промышленном центре Среднего Поволжья — г. Набережные Челны.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объекты исследования — древесные растения: аборигенные виды — клен остролистный *Acer platanoides* L., липа мелколистная *Tilia cordata* Mill. и береза повислая *Betula pendula* Roth; интродуцированные виды — клен ясенелистный *Acer negundo* L. и тополь бальзамический *Populus balsamifera* L. Изучаемые виды произрастают в г. Набережные Челны в составе насаждений различных экологических категорий: магистральные посадки (МП) (крупные магистрали Авто-1 и проспект Мира) и санитарно-защитные зоны (СЗЗ) промышленных предприятий ОАО «КамАЗ» (заводы литейный и кузнечный, являющиеся основными загрязнителями города). В качестве зон условного контроля (ЗУК) выбраны территории Челнинского участкового лесничества для аборигенных видов и территория городского парка «Гренада» для интродуцированных видов. Пробные площади (ПП) размером не менее 0.25 га закладывали регулярным способом (по 5 ПП в каждом насаждении). Оценка степени загрязнения атмосферного воздуха в местах произрастания древесных растений проведена нами на основе материалов «Доклада об экологическом состоянии Республики Татарстан» за 2013—2016 гг. Комплексный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА = 15.3) характеризует состояние загрязнения атмосферного воздуха в городе, как очень высокое. Установлено превышение уровня предельно допустимой концентрации (ПДК) по бенз(а)пирену, формальдегиду, фенолам, оксидам углерода и азота. В санитарно-защитной зоне промышленных предприятий среднегодовое превышение ПДК отмечено по следующим веществам: оксид углерода — в 2 раза, оксиды азота — в 3 раза, диоксид серы — в 1.2 раза, формальдегид — в 5 раз, фенол — в 1.7 раза, бенз(а)пирен — в 1.9 раза. В зоне магистральных посадок среднегодовое превышение ПДК отмечено по следующим веществам: оксид углерода — в 3.4 раза, формальдегид — в 3.8 раз, фенол — в 1.4 раза, бенз(а)пирен — в 1.5 раза [8].

В пределах пробных площадей для изучения физиолого-биохимических показателей древесных растений были проведены отбор, нумерация и оценка жизненного состояния не менее 10 особей каждого вида. Учетные особи имели хорошее жизненное состояние и средневозрастное генеративное онтогенетическое состояние ( $g_2$ ). В период активной вегетации, т.е. 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). Листья срединной формации — типичные для растения листья, развивающиеся в средней зоне побега и выполняющие функцию фотосинтеза [9]. В магистральных насаждениях часть кроны южной экспозиции была обращена непосредственно к проезжей части проспекта. Отбор листьев проводили однократно и в один день во всех типах насаждений.

В лабораторных условиях определяли активность аскорбинатоксидазы по методу, предложенному Д. К. Асамовым, С. Т. Рахимовой [10], который осно-

ван 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 [10]. Для каждой особи анализы проводили в трех повторностях. Определяли активность полифенолоксидазы и аскорбинатоксидазы в листьях растений в течение 2014 и 2015 гг.

Обработку материала проводили с применением статистического пакета «Statistica 5.5». Для анализа полученных данных использовали методы описательной статистики.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

У липы мелколистной в насаждениях СЗЗ промышленных предприятий в июле и августе, а в магистральных посадках, начиная с июня, активность полифенолоксидазы была достоверно выше, чем у контрольных особей в парковых насаждениях (табл. 1). Наиболее значительными различия были в августе в условиях повышенной интенсивной техногенной нагрузки магистральных посадок и достигали 2.2 (2014 г.) и 2.02 (2015 г.) ед. активности. Аналогичные данные получены и для тополя бальзамического, у которого также в магистральных посадках в августе активность фермента была достоверно выше по сравнению с показателями ЗУК на 2.14 (2014 г.) и 2.22 (2015 г.) ед. активности.

У березы повислой и двух исследуемых видов клена также наблюдались более высокие по сравнению с контролем показатели активности фермента, как в насаждениях промышленных зон, так и магистральных посадках, но лишь в августе.

Сравнительный анализ активности фермента в листьях изучаемых видов, произрастающих в насаждениях промышленных зон и магистральных посадках, показал, что у липы мелколистной за все три месяца наблюдений 2014 г. активность фермента в магистральных посадках существенно превосходила эти показатели в промышленных зонах (табл. 1). В 2015 г., который характеризовался повышенной температурой воздуха (на 5—8 °С) по сравнению со среднесезонными данными, а количество осадков было ниже нормы, достоверные различия показателя в этих двух типах насаждений отмечены лишь в июле. Следовательно, относительно более засушливые условия 2015 г. сгладили различия в активности полифенолоксидазы у особей липы мелколистной в разных типах насаждений. Аналогичная картина наблюдалась у тополя бальзамического. У клена остролистного различия выявлены лишь в августе в оба года исследования, а у березы повислой и клена ясенелистного в оба года наблюдений различия были недостоверными. Скорее всего, эти данные свидетельствуют о наибольшей выносливости березы повислой и клена ясенелистного к целому ряду загрязнителей атмосферного воздуха и почв, позволяющей этим видам произрастать как в зоне действия промышленного загрязнения, так и в условиях выбросов автотранспорта.

Анализ сезонной динамики активности полифенолоксидазы в листьях исследуемых видов выявил особенности, связанные с типом насаждения. В парковых насаждениях практически у всех изучаемых видов мы наблюдали сход-

ТАБЛИЦА 1

Динамика активности полифенолоксидазы в листьях древесных растений  
в г. Набережные Челны (ед. акт.)

Table 1. Dynamics of polyphenol oxidase activity in leaves of woody plants  
in Naberezhnye Chelny (un. act.)

Тип насаждений Category of plantations	Месяц Month	Вид Species				
		<i>Tilia cordata</i> Mill.	<i>Populus balsamifera</i> L.	<i>Betula pendula</i> Roth	<i>Acer platanoides</i> L.	<i>Acer negundo</i> L.
2014 год, 2014 year						
ЗУК <sup>1</sup> ZCC <sup>1</sup>	Июнь	1.38 ± 0.06 <sup>4</sup>	1.69 ± 0.05	1.44 ± 0.05	1.24 ± 0.09	1.2 ± 0.1
	June	1.25—1.52 <sup>5</sup>	1.57—1.81	1.34—1.54	1.03—1.45	0.99—1.43
	Июль	4.14 ± 0.06	4.18 ± 0.06	3.92 ± 0.12	3.62 ± 0.19	3.86 ± 0.13
	July	4—4.28	4.05—4.3	3.66—4.18	3.19—4.04	3.58—4.14
	Август	2.46 ± 0.08	3.95 ± 0.37	2.29 ± 0.13	2.27 ± 0.14	3.41 ± 0.22
	August	2.28—2.65	3.13—4.77	2—2.59	1.96—2.58	2.94—3.89
СЗЗ <sup>2</sup> SPZ <sup>2</sup>	Июнь	1.41 ± 0.06	1.78 ± 0.07	1.41 ± 0.06	1.38 ± 0.08	1.22 ± 0.11
	June	1.27—1.55	1.61—1.94	1.27—1.56	1.2—1.56	0.98—1.46
	Июль	4.68 ± 0.06	4.73 ± 0.06	3.65 ± 0.34	3.98 ± 0.25	4.28 ± 0.16
	July	4.55—4.81	4.6—4.85	2.89—4.41	3.42—4.53	3.93—4.64
	Август	3.99 ± 0.24	5.20 ± 0.15	4.34 ± 0.14	4.1 ± 0.2	5.09 ± 0.13
	August	3.46—4.52	4.87—5.54	4.04—4.65	3.71—4.58	4.8—5.39
МП <sup>3</sup> MR <sup>3</sup>	Июнь	2.38 ± 0.05	2.59 ± 0.09	1.83 ± 0.16	1.75 ± 0.19	1.66 ± 0.21
	June	2.27—2.49	2.4—2.79	1.48—2.19	1.35—2.16	1.18—2.13
	Июль	5.1 ± 0.1	5.48 ± 0.09	3.93 ± 0.43	4.41 ± 0.29	4.7 ± 0.2
	July	4.90—5.33	5.28—5.69	2.98—4.88	3.77—5.05	4.28—5.16
	Август	4.66 ± 0.05	6.09 ± 0.41	4.38 ± 0.12	4.84 ± 0.06	5.28 ± 0.17
	August	4.54—4.78	5.18—6.99	4.11—4.65	4.7—4.97	4.91—5.66
2015 год, 2015 year						
ЗУК ZCC	Июнь	1.54 ± 0.05	1.75 ± 0.09	1.47 ± 0.62	1.41 ± 0.06	1.26 ± 0.09
	June	1.41—1.66	1.56—1.94	1.31—1.63	1.28—1.53	1.06—1.46
	Июль	4.22 ± 0.11	4.15 ± 0.11	3.51 ± 0.13	3.6 ± 0.2	3.78 ± 0.15
	July	3.92—4.51	3.92—4.39	3.17—3.856	3.15—4.03	3.45—4.12
	Август	2.72 ± 0.05	3.80 ± 0.33	2.88 ± 0.29	2.48 ± 0.08	3.61 ± 0.27
	August	2.6—2.84	3.08—4.53	2.14—3.62	2.3—2.66	3.01—4.21
СЗЗ SPZ	Июнь	1.56 ± 0.08	1.82 ± 0.09	1.92 ± 0.17	1.50 ± 0.05	1.39 ± 0.07
	June	1.37—1.76	1.63—2.02	1.48—2.36	1.39—1.61	1.24—1.53
	Июль	4.78 ± 0.11	4.82 ± 0.06	3.56 ± 0.14	3.96 ± 0.26	4.28 ± 0.17
	July	4.51—5.05	4.66—4.94	3.21—3.91	3.39—4.53	3.9—4.66
	Август	4.75 ± 0.13	5.34 ± 0.21	5.1 ± 0.1	4.24 ± 0.16	5.20 ± 0.16
	August	4.42—5.08	4.87—5.81	4.84—5.35	3.88—4.61	4.84—5.56
МП MR	Июнь	2.34 ± 0.09	2.58 ± 0.09	2.26 ± 0.17	1.85 ± 0.16	1.87 ± 0.16
	June	2.1—2.57	2.38—2.78	1.81—2.7	1.5—2.2	1.52—2.23
	Июль	5.33 ± 0.15	5.56 ± 0.12	3.58 ± 0.19	4.49 ± 0.27	4.81 ± 0.18
	July	4.94—5.72	5.31—5.82	3.1—4.06	3.89—5.09	4.42—5.21
	Август	4.74 ± 0.09	6.02 ± 0.39	5.58 ± 0.14	4.84 ± 0.07	5.56 ± 0.26
	August	4.52—4.97	5.15—6.88	5.22—5.95	4.7—4.99	4.98—6.13

Примечание для табл. 1 и 2. ЗУК<sup>1</sup> — зоны условного контроля; СЗЗ<sup>2</sup> — санитарно-защитные зоны промышленных предприятий; МП<sup>3</sup> — магистральные посадки; 1.38 ± 0.06<sup>4</sup> — среднее значение показателя ± стандартное отклонение; 1.25—1.52<sup>5</sup> — доверительный интервал для среднего значения.

Note to tables 1 and 2. ZCC<sup>1</sup> — zone of conditional control; SPZ<sup>2</sup> — sanitary protection zone of the industrial enterprises; MR<sup>3</sup> — main landings; 1.38 ± 0.06<sup>4</sup> — average value of the indicator ± standard deviation; 1.25—1.52<sup>5</sup> — is the confidence interval for the mean.

ную динамику: достоверное повышение активности фермента в июле, а затем существенное снижение в августе, причем показатели активности фермента, несмотря на достоверное снижение по сравнению с июлем, были достоверно выше, чем в июне (табл. 1). Лишь у тополя бальзамического в июле произошло достоверное повышение активности фермента по отношению к показателю июня, а затем активность фермента достоверно не изменялась в оба года наблюдений.

В насаждениях промышленных зон сезонная динамика активности фермента была аналогична ЗУК лишь у липы мелколистной, а у остальных видов динамика показателя отличалась от парковых насаждений (табл. 1). У интродуцированных видов (тополь бальзамический и клен ясенелистный) активность фермента существенно возростала в течение вегетации, достигая наибольших значений в августе. У аборигенных видов (береза повислая и клен остролистный) активность фермента достоверно возростала в июле и далее оставалась на том же уровне.

В магистральных посадках у всех исследуемых видов мы наблюдали повышение активности фермента в июле, и затем активность фермента в августе достоверно не изменялась по сравнению с июлем (за исключением результатов у липы мелколистной в 2014 г. и березы повислой в 2015 г.).

Показатели активности фермента достоверно различались в листьях липы мелколистной, тополя бальзамического и клена остролистного, произрастающих в санитарно-защитных зонах промышленных предприятий и магистральных посадках, а у березы повислой и клена ясенелистного в этих двух типах насаждений активность полифенолоксидазы достоверно не различалась.

Таким образом, исследование сезонной динамики активности полифенолоксидазы в листьях изучаемых видов древесных растений позволило установить, что в августе наблюдаются наиболее высокие значения показателя как в насаждениях ССЗ, так и в магистральных посадках по сравнению с парковыми насаждениями. Интенсивная техногенная нагрузка оказывает существенное влияние на сезонную динамику активности фермента в вегетационный период растений. В насаждениях ССЗ выявлены различия в динамике активности фермента в листьях аборигенных и интродуцированных видов, а в магистральных посадках динамика активности фермента была схожей у всех исследуемых видов древесных растений.

Физиологическое состояние древесных растений и их реакцию на техногенную нагрузку мы оценивали также по активности аскорбинатоксидазы в листьях исследуемых видов (табл. 2). У липы мелколистной в оба года наблюдений активность фермента в листьях достоверно возростала от июня к июлю и в дальнейшем оставалась на одном уровне независимо от места произрастания деревьев. У березы повислой и клена остролистного в оба года исследования и во все месяцы наблюдений различия в активности фермента в листьях недостоверны. У тополя бальзамического и клена ясенелистного результаты анализов фермента в листьях различались по годам, но в августе достоверно превышали показатели парковых насаждений. Сравнение активности фермента в листьях деревьев магистральных посадок и насаждений промышленных зон показало, что различия несущественны, за исключением результатов у липы мелколистной в июне 2014 г. и у клена ясенелистного в августе 2015 г.

Анализ сезонной динамики активности фермента в листьях деревьев показал, что в парковых насаждениях у всех изучаемых видов древесных растений активность аскорбинатоксидазы существенно возростала в июле. В августе у

ТАБЛИЦА 2

Динамика активности аскорбинатоксидазы в листьях древесных растений в г. Набережные Челны (ед. акт.)

Table 2. Dynamics of ascorbate oxidase activity in leaves of woody plants in Naberezhnye Chelny (un. act.)

Тип насаждений Category of plantations	Месяц Month	Вид Species				
		<i>Tilia cordata</i> Mill.	<i>Populus balsamifera</i> L.	<i>Betula pendula</i> Roth	<i>Acer platanooides</i> L.	<i>Acer negundo</i> L.
2014 год, 2014 year						
ЗУК <sup>1</sup> ZCC <sup>1</sup>	Июнь June	1.8 ± 0.1 <sup>4</sup> 1.61—2.03 <sup>5</sup>	1.99 ± 0.14 1.68—2.3	2.30 ± 0.23 1.79—2.8	2.48 ± 0.29 1.85—3.11	2.73 ± 0.36 1.93—3.52
	Июль July	4.01 ± 0.09 3.82—4.2	3.98 ± 0.09 3.78—4.19	3.81 ± 0.14 3.5—4.11	4.23 ± 0.06 4.1—4.36	4.28 ± 0.06 4.15—4.41
СЗЗ <sup>2</sup> SPZ <sup>2</sup>	Август August	3.73 ± 0.31 3.05—4.41	3.42 ± 0.22 2.94—3.9	4.01 ± 0.33.1 3.15—4.87	4.17 ± 0.44 3.21—5.13	3.7 ± 0.3 3.04—4.34
	Июнь June	1.85 ± 0.1 1.63—2.07	2.13 ± 0.18 1.74—2.52	2.18 ± 0.19 1.75—2.6	2.61 ± 0.32 1.91—3.31	2.76 ± 0.36 1.96—3.56
МП <sup>3</sup> MR <sup>3</sup>	Июль July	4.55 ± 0.1 4.34—4.76	4.40 ± 0.13 4.12—4.68	3.60 ± 0.36 2.8—4.39	3.98 ± 0.25 3.43—4.52	4.47 ± 0.11 4.23—4.71
	Август August	3.77 ± 0.31 3.08—4.46	4.5 ± 0.1 4.27—4.71	3.33 ± 0.43 2.37—4.28	3.60 ± 0.35 2.82—4.38	4.60 ± 0.08 4.42—4.77
Июнь June	Июнь June	3.00 ± 0.21 2.54—3.47	2.58 ± 0.09 2.39—2.77	2.58 ± 0.08 2.39—2.76	3.15 ± 0.25 2.6—3.7	3.25 ± 0.28 2.64—3.87
	Июль July	4.04 ± 0.4 3.16—4.91	4.56 ± 0.24 4.02—5.1	3.74 ± 0.48 2.68—4.81	4.46 ± 0.27 3.85—5.06	4.7 ± 0.2 4.3—5.16
Август August	Август August	3.54 ± 0.37 2.71—4.36	4.42 ± 0.11 4.17—4.67	3.06 ± 0.51 1.94—4.18	3.85 ± 0.28 3.24—4.46	4.62 ± 0.06 4.48—4.76
	2015 год, 2015 year					
ЗУК ZCC	Июнь June	1.92 ± 0.13 1.62—2.21	2.12 ± 0.18 1.72—2.51	2.2 ± 0.2 1.73—2.61	2.43 ± 0.27 1.83—3.04	2.5 ± 0.3 1.86—3.2
	Июль July	3.6 ± 0.2 3.18—4.05	4.02 ± 0.09 3.82—4.22	3.78 ± 0.15 3.46—4.1	4.15 ± 0.06 4.01—4.29	4.24 ± 0.09 4.04—4.45
Август August	Август August	3.31 ± 0.19 2.89—3.72	3.40 ± 0.21 2.93—3.87	3.7 ± 0.3 3.01—4.34	3.82 ± 0.33 3.09—4.56	3.76 ± 0.32 3.06—4.45
	Июнь June	2.00 ± 0.14 1.69—2.32	2.15 ± 0.18 1.75—2.55	2.02 ± 0.16 1.67—2.37	2.58 ± 0.31 1.9—3.28	2.62 ± 0.32 1.91—3.34
СЗЗ SPZ	Июль July	4.27 ± 0.17 3.9—4.64	4.22 ± 0.18 3.82—4.62	3.82 ± 0.32 3.13—4.52	4.1 ± 0.2 3.68—4.58	4.58 ± 0.09 4.38—4.79
	Август August	4.34 ± 0.19 3.92—4.74	4.5 ± 0.1 4.31—4.74	3.57 ± 0.37 2.74—4.39	3.90 ± 0.27 3.3—4.49	4.89 ± 0.08 4.71—5.07
МП MR	Июнь June	2.45 ± 0.08 2.27—2.63	2.65 ± 0.12 2.4—2.91	2.44 ± 0.06 2.31—2.58	3.18 ± 0.26 2.61—3.76	3.16 ± 0.25 2.6—3.72
	Июль July	4.21 ± 0.35 3.44—4.98	4.64 ± 0.22 4.15—5.13	3.83 ± 0.46 2.82—4.84	4.55 ± 0.24 4.01—5.09	4.84 ± 0.17 4.48—5.21
Август August	Август August	3.88 ± 0.29 3.24—4.51	4.60 ± 0.08 4.42—4.78	3.39 ± 0.41 2.48—4.29	3.96 ± 0.24 3.43—4.5	4.51 ± 0.08 4.32—4.7

Примечание. 1.8 ± 0.1<sup>4</sup> — среднее значение показателя ± стандартное отклонение; 1.61—2.03<sup>5</sup> — доверительный интервал для среднего значения.

Note. 1.8 ± 0.1<sup>4</sup> — average value of the indicator ± standard deviation; 1.61—2.03<sup>5</sup> — is the confidence interval for the mean.

тополя бальзамического и клена ясенелистного достоверно снижалась, но не имела достоверных различий с показателями июня, в листьях клена остролистного достоверно снижалась и имела достоверные различия с показателями июня. В листьях березы повислой и липы мелколистной активность фермента увеличивалась в июле и затем не имела достоверных различий, но эти значения существенно превышали показатели июня. Результаты анализов активности фермента в листьях деревьев в 2014 и 2015 гг. несколько различались у отдельных видов, но установить общие закономерности изменения не удалось.

В насаждениях санитарно-защитных зон и магистральных посадок для всех изучаемых видов было характерно увеличение активности фермента в листьях древесных растений в июле и августе по сравнению с парковыми насаждениями. Таким образом, можно заключить, что более высокие значения активности аскорбинатоксидазы в листьях деревьев ССЗ и МП по сравнению с парковыми насаждениями, в том числе увеличение активности фермента в ходе вегетации, являются реакцией изучаемых видов древесных растений на техногенный стресс.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований показали, что в насаждениях санитарно-защитных зон промышленных предприятий и в магистральных посадках активность полифенолоксидазы в листьях всех изучаемых видов древесных растений в августе превышает эти показатели в парковых насаждениях. Скорее всего, это связано с накоплением загрязняющих веществ в листьях растений в течение вегетационного сезона. Наиболее значимо активность этого фермента возрастает у березы повислой и клена ясенелистного как в насаждениях санитарно-защитных зон промышленных предприятия, так и в магистральных посадках. Этот факт свидетельствует об устойчивости этих видов к техногенной нагрузке. Сезонная динамика активности полифенолоксидазы в листьях исследуемых видов растений в парковых насаждениях была схожей и представляла собой следующий ряд: июнь < июль > август. В насаждениях санитарно-защитных зон промышленных предприятий по динамике активности фермента можно выделить две группы видов растений: у аборигенных видов — июнь < июль = август; у интродуцированных видов — июнь < июль < август. В магистральных посадках сезонная динамика активности фермента была аналогичной в листьях всех изучаемых видов древесных растений: июнь < июль = август.

Сезонная динамика активности аскорбинатоксидазы в листьях древесных растений была индивидуальна для каждого из изучаемых видов и различалась по годам исследования, что может быть связано с зависимостью данного показателя от метеорологических особенностей года исследований. В условиях техногенного стресса у всех изучаемых видов в ряде случаев наблюдалось увеличение активности аскорбинатоксидазы в течение вегетационного периода.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования проведены при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых кандидатов наук № 1955.2017.11.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Galves-Valdivieso G., Mullineaux P. M. 2010. The role of reactive oxygen species in signalling from chloroplasts to the nucleus. — *Physiol. Plant.* 138(4): 430—439. doi: 10.1111/j.1399-3054.2009.01331
2. Бухарина И. Л., Кузьмин П. А., Шарифуллина А. М. 2014. Содержание низкомолекулярных органических соединений в листьях деревьев при техногенных нагрузках. — *Лесоведение.* 2: 20—26.
3. Bukharina I. L., Zhuravleva A. N., Dvoeglazova A. A., Kamasheva A. A., Sharifullina A. M., Kuzmin P. A. 2014. Physiological and Biochemical Characteristic Features of Small-Leaved Lime (*Tilia cordata* Mill.) in Urban Environment. — *Res. J. Pharm., Biol. Chem. Sci.* 5(5): 1544—1548.
4. Gill S. S., Tuteja N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. — *Plant Physiol. Biochem.* 48: 909—930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
5. John R., Ahmad P., Gadgil K., Sharma S. 2008. Effect of cadmium and lead on growth, biochemical parameters and uptake in *Lemnapolyrrhiza* L. — *Plant Soil Environ.* 54(6): 262—270.
6. Шубина А. Г., Синютина С. Е., Попова (Бирюкова) Е. Д. 2017. Активность полифенолоксидазы в хвое ели голубой (*Picea pungens*) и картофеле (*Solanum tuberosum*) как фитоиндикационный маркер состояния окружающей среды. — *Вестн. Тамбовского государственного университета.* 17(1): 347—348.
7. Воскресенский В. С., Воскресенская О. Л. 2011. Изменение активности окислительно-восстановительных ферментов у древесных растений в условиях городской среды. — *Вестн. МарГТУ.* 1: 75—82.
8. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2014 году». 2015. Казань. 467 с.
9. Коровкин О. А. 2007. Анатомия и морфология высших растений. Словарь терминов. М. 272 с.
10. Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П., Перуанский Ю. В., Луковникова Г. А., Иконникова М. И. 1987. Методы биохимического исследования растений. Л. 43—45.

Поступило 18 III 2017



DYNAMICS OF COPPER ENZYMES ACTIVITY  
IN TREE LEAVES UNDER CONDITIONS OF LARGE  
INDUSTRIAL CENTRE (MIDDLE VOLGA REGION)

© I. L. Bukharina,<sup>1</sup> A. M. Kuzmina,<sup>2</sup> P. A. Kuzmin\*,<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Udmurt State University, Izhevsk, Russia

<sup>2</sup> Izhevsk State Agricultural Academy, Izhevsk, Russia

<sup>3</sup> Kazan Federal University, Kazan, Russia

\* E-mail: petrkuzmin84@yandex.ru

SUMMARY

Activity of polyphenol oxidase and ascorbate oxidase in leaves of some woody plants (*Acer platanoides* L., *A. negundo* L., *Tilia cordata* Mill., *Betula pendula* Roth и *Populus balsamifera* L.) growing in plantations of different ecological categories in the city of Naberezhnye Chelnythe, a large industrial centre of the Middle Volga, were studied. The observed increase in the activity of polyphenol oxidase in leaves of woody plants in urban plantations is a consequence of intensive man-made load. At the same time activity of ascorbate oxidase in leaves of *Tilia cordata*, *Betula pendula*, *Acer platanoides* и *A. negundo* under man-induced impact is reduced. The decrease is most significant by the end of the active plant vegetation period (August). On the contrary, in *Populus balsamifera* an increase in the activity of this enzyme is observed. Thus, we can conclude that dynamics of the studied copper enzymes activity in tree leaves is characterized by the features, specific for each species.

Key words: *Acer platanoides*, *A. negundo*, *Tilia cordata*, *Betula pendula*, *Populus balsamifera*, activity of polyphenol oxidase, activity of ascorbate oxidase, urban plantations, Middle Volga region.

ACKNOWLEDGEMENTS

The research was carried out under financial support from the grant of the President of the Russian Federation for young Russian scientists-candidates of Sciences No. 1955.2017.11.

REFERENCES

1. Galves-Valdivieso G., Mullineaux P. M. 2010. The role of reactive oxygen species in signalling from chloroplasts to the nucleus. — *Physiol. Plant.* 138(4): 430—439. doi: 10.1111/j.1399-3054.2009.01331
2. Bukharina I. L., Kuzmin P. A., Sharifullina A. M. 2014. Organic low molecular weight compounds contents of tree leaves under technogenic press. — *Lesovedenie.* 2: 20—26. (In Russian)
3. Bukharina I. L., Zhuravleva A. N., Dvoeglazova A. A., Kamasheva A. A., Sharifullina A. M., Kuzmin P. A. 2014. Physiological and Biochemical Characteristic Features of Small-Leaved Lime (*Tilia cordata* Mill.) in Urban Environment. — *Res. J. Pharm., Biol. Chem. Sci.* 5(5): 1544—1548.

4. Gill S. S., Tuteja N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. — *Plant Physiol. Biochem.* 48: 909—930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
  5. John R., Ahmad P., Gadgil K., Sharma S. 2008. Effect of cadmium and lead on growth, biochemical parameters and uptake in *Lemna polyrrhiza* L. — *Plant Soil Environ.* 54(6): 262—270.
  6. Shubina A. G., Sinyutina S. E., Popova (Biryukova) E. D. 2017. Polyphenoloxidase activity in needles of fir-tree blue (*Picea pungens*) and potato (*Solanum tuberosum*) as a phytoindication marker of environment state. — *Tambov University Reports.* 17(1): 347—348. (In Russian)
  7. Voskresenskiy V. S., Voskresenskaya O. L. 2011. Izmeneniye aktivnosti oksidatelno-vosstanovitelnykh fermentov u drevesnykh rasteniy v usloviyakh gorodskoy sredy [Changes in the activity of redox enzymes in woody plants under urban conditions]. — *Vestnik MarGTU.* 1: 75—82. (In Russian)
  8. Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii prirodnykh resursov i ob okhrane okruzhayushchey sredy Respubliki Tatarstan v 2014 godu» [State report «On the state of natural resources and on the protection of the environment of the Republic of Tatarstan in 2014»]. 2015. Kazan. 467 p. (In Russian)
  9. Korovkin O. A. 2007. Anatomiya i morfologiya vysshykh rasteniy [Anatomy and morphology of higher plants. Glossary of terms]. Moscow. 272 p. (In Russian)
  10. Ermakov A. I., Arasimovich V. V., Yarosh N. P., Peruanskiy Yu. V., Lukovnikova G. A., Ikonnikova M. I. 1987. Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy [Methods of biochemical research of plants]. Leningrad. 43—45. (In Russian)
-