

УДК 581.19

DOI: 10.17072/1994-9952-2020-1-48-53.

П. А. Кузьмин^а, И. Л. Бухарина^б

^а Казанский федеральный университет, Казань, Россия

^б Удмуртский государственный университет, Ижевск, Россия

БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЛИСТЬЕВ КЛЕНА ОСТРОЛИСТНОГО (*ACER PLATANOIDES* L.) В УРБАНОСРЕДЕ

Приводятся результаты исследований биохимического состава листьев клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях крупного промышленного центра (г. Набережные Челны, Республика Татарстан). В условиях интенсивной техногенной нагрузки у клена отмечается более высокая активность аскорбинатоксидазы на начальных этапах активной вегетации и более низкая – в его конце. Содержание аскорбиновой кислоты в антропогенных насаждениях в процессе вегетации уменьшается. В условиях повышенного содержания загрязняющих веществ в воздухе клен отличался возрастанием активности полифенолоксидазы, по сравнению с контрольными насаждениями. Рост активности полифенолоксидазы при этом сопровождался снижением содержания танинов. В условиях наиболее интенсивной нагрузки в магистральных насаждениях в июле активность пероксидазы в листьях ниже, чем в насаждениях зоны условного контроля, а в августе – выше, чем в контроле.

Ключевые слова: клен остролистный (*Acer platanoides* L.); активность полифенолоксидазы; активность аскорбинатоксидазы; активность пероксидазы; танины; аскорбиновая кислота.

P. A. Kuzmin^a, I. L. Bukharina^b

^a Kazan Federal University, Kazan, Russian Federation

^b Udmurt State University, Izhevsk, Russian Federation

THE BIOCHEMICAL COMPOSITION OF AGRICULTURAL MAPLE (*ACER PLATANOIDES* L.) IN THE URBAN ENVIRONMENT

The results of studies of the characteristics of the biochemical composition of acutifolia in the conditions of a large industrial center of Naberezhnye Chelny (Republic of Tatarstan) are presented. Under conditions of intense technogenic load, the maple has a higher ascorbate oxidase activity at the initial stages of active vegetation and lower at the end of the vegetation. The content of ascorbic acid decreases during the growing season in man-made stands. Under conditions of a high content of pollutants in the air, acutifolia maple was distinguished by an increase in the activity of polyphenol oxidase as compared to control plantings. An increase in the activity of polyphenol oxidase is accompanied by a decrease in the content of tannins. In maple acutifolia, under the conditions of the most intense load of the main plantations, in July the peroxidase activity in the leaves is lower than in the ZAK plantations, and in August it is higher than in the control.

Key words: acutifolia maple (*Acer platanoides* L.); polyphenol oxidase activity; ascorbate oxidase activity; peroxidase activity; ascorbic acid; tannin.

Введение

В последнее время в научных изданиях появилось довольно большое число публикаций, посвященных изучению роли антиоксидантов в растениях, произрастающих в условиях антропогенного стресса. Тем не менее, эта проблема и вопрос остаются недостаточно изученными. Таковыми являются особенности взаимодействия ферментов и вторичных метаболитов, принимающих участие в формировании адап-

тивных реакций растительного организма [Чухакина и др., 2012; Maiti et al., 2016].

В исследованиях отечественных и зарубежных авторов обращается внимание на совместное функционирование неферментативной и ферментативной систем. Их отдельными элементами являются такие вещества, как танины и полифенолоксидаза, аскорбиновая кислота и аскорбинатоксидазы [Gill, Tuteja, 2010; Бухарина, Кузьмина, Кузьмин, 2018]. Полифенолоксидаза и пероксидаза в сочетании с фенольными субстратами участвуют в

процессе дыхания на промежуточных этапах переноса водорода. В работах имеются данные, указывающие на возрастание активности полифенолоксидазы в поврежденных тканях. Фермент аскорбинатоксидаза участвует в нейтрализации активных форм кислорода, тем самым защищая растительный организм и препятствуя возникновению окислительного стресса [Hattas, Julkunen-Tiitto, 2012; Kerio et al., 2013].

Так, в работе по изучению антиоксидантных свойств листопадного кустарника *Cassia alata* L., учеными выявлены особенности работы ферментативной системы, фотосинтетического аппарата в различных условиях абиотической среды. При возникновении абиотического стресса происходит повышение активности каталазы, аскорбатпероксидазы и глутатионредуктазы [Ahmed, Anis, 2014]. В других исследованиях отмечается роль антиоксидантных ферментов, пролина, абсцизовой кислоты, фенолов и аскорбиновой кислоты в растениях тополей, чая. Выявлена специфическая реакция данных особей в условиях стресса, которая проявляется в повышении активности антиоксидантных ферментов и снижении уровня пролина и абсцизовой кислоты [Garcia et al., 2016; Kloseiko, 2016].

Цель работы – выявить особенности биохимического состава листьев клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в насаждениях урбанизированной среды.

Материал и методы исследования

Объектом исследования являлся клён остролистный (*Acer platanoides* L.), произрастающий в насаждениях санитарно-защитных зон (ССЗ) заводов (литейный и кузнечный) автогиганта ПАО «Камаз», магистральных посадках (МП, проспект Мира, Казанский проспект). Зоной условного контроля (ЗУК) выбраны насаждения Челнинского лесничества.

Нами закладывались три пробные площади в исследуемых районах. Закладка пробных площадей происходила регулярным способом, при этом конфигурация была различной, исходя из рельефа местности. Размер пробной площади – не менее 0.25 га. Далее проводили отбор и нумерацию учетных растений (по 10 растений, из числа которых для биохимических исследований выбрали растения хорошего среднегенеративного онтогенетического состояния) [Родин, Релизов, Базилевич, 1968; Гришина, Самойлова, 1971].

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 2013–2018 гг. (ИЗА=12.6) характеризует состояние загрязнения атмосферного воздуха в городе как

очень высокое [О состоянии ..., 2017].

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

В лабораторных условиях содержание конденсированных танинов в листьях древесных растений определяли перманганатометрическим методом (метод Левентала в модификации Кирсанова).

Количественное содержание аскорбиновой кислоты определяли в соответствии с ГОСТом 24556-89 [Чупахина, 2000].

Активность аскорбинатоксидазы определяли по методу, предложенному Д.К. Асамовым и 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 пероксидазы определяли, используя колориметрический метод (по А.М. Бояркину), основанный на определении скорости реакции окисления бензидина.

Активность полифенолоксидазы определяли спектрофотометрическим методом, основанным 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. Определяли содержание аскорбиновой кислоты и танинов в листьях за 2015–2018 гг., активность полифенолоксидазы, аскорбинатоксидазы и пероксидазы в течение 2014 и 2015 гг.

Обработку материалов провели с применением статистического пакета «Statistica 10.0». Для анализа полученных данных использовали методы описательной статистики.

Результаты и их обсуждение

В пределах исследуемых насаждений антропогенной среды выявлены превышения уровня предельно допустимой концентрации по бенз(а)пирену, формальдегиду, фенолам, оксидам углерода и азоту. В насаждениях ССЗ промышленных предприятий среднегодовое превышение ПДК отмечено по следующим веществам: оксид углерода; оксиды азота; диоксид серы; формальдегид; фенол; бенз(а)пирен. В зоне МП среднегодовое превышение ПДК отмечено по следующим веще-

ствам: оксид углерода; формальдегид; фенол; бенз(а)пирен.

Эколого-физиологическое состояние клена остро-

листного и его реакцию на техногенный стресс мы оценивали по содержанию низкомолекулярных и высокомолекулярных веществ в листьях (табл. 1).

Таблица 1

Содержание аскорбиновой кислоты и активность аскорбинатоксидазы в листьях клена остролистного в различных типах насаждений

Тип насаждения	Активность аскорбинатоксидазы, ед. акт.			Аскорбиновая кислота, мг/%		
	июнь	июль	август	июнь	июль	август
ЗУК	2.44±0.27	4.15±0.06	3.82±0.34	195.3±8.7	164.1±5.8	146.4±2.1
	1.83...3.04	4.01...4.29	3.09...4.56	157.7...232.5	139.2...189.1	137.4...155.5
СЗЗ	2.58±0.31	4.13±0.20	3.90±0.27	311.1±16.4	207.4±19.5	184.9±5.7
	1.90...3.28	3.68...4.58	3.31...4.49	240.4...381.9	123.3...291.4	160.4...209.5
МП	3.18±0.26	4.55±0.24	3.96±0.24	357.2±19.1	186.1±9.7	146.8±13.2
	2.61...3.76	4.01...5.09	3.43...4.50	275.2...439.1	144.4...227.7	90.1...203.5

Примечание: ЗУК – насаждения зоны условного контроля; СЗЗ – насаждения санитарно-защитной зоны; МП – магистральные посадки.

У клена в течение всего периода вегетации различия в активности аскорбинатоксидазы в листьях недостоверны.

Содержание аскорбиновой кислоты в листьях у особей клена в условиях техногенного стресса в июне было больше, чем в ЗУК. В насаждениях СЗЗ промышленных предприятий в августе была отмечена такая же картина.

Для всего периода активной вегетации было характерно увеличение активности аскорбинатоксидазы в листьях у особей, находящихся в различных насаждениях.

Достоверное уменьшение содержания аскорбиновой кислоты в листьях было отмечено во всех исследуемых насаждениях.

Таким образом можно заключить, что для клена остролистного характерно возрастание активно-

сти аскорбинатоксидазы в июле и снижение в августе во всех типах насаждений.

Для особей, произрастающих в насаждениях СЗЗ промышленных предприятий и в МП, характерно уменьшение аскорбиновой кислоты на протяжении всего периода активной вегетации.

Кроме того, мы изучили особенности содержания конденсированных танинов в листьях клена остролистного в связи с условиями места произрастания.

В МП в листьях у растений клена остролистного в течение всего периода вегетации мы отмечали достоверно меньшее содержание конденсированных танинов, чем у особей в контроле: в июне – на 0.28; в июле – на 1.24; в августе – на 0.78 мг г⁻¹ сух. вещества (табл. 2).

Таблица 2

Содержание конденсированных танинов и активность полифенолоксидазы в листьях клена остролистного в различных типах насаждений

Тип насаждения	Активность полифенолоксидазы, ед. акт.			Конденсированные танины, мг/г сух. вещ-ва		
	июнь	июль	август	июнь	июль	август
ЗУК	1.41±0.06	3.59±0.20	2.48±0.08	4.46±0.04	6.59±0.11	8.10±0.09
	1.28...1.53	3.15...4.03	2.30...2.66	4.30...4.62	6.11...7.07	7.70...8.50
СЗЗ	1.50±0.05	3.96±0.26	4.24±0.16	4.86±0.04	5.84±0.08	7.16±0.09
	1.39...1.61	3.39...4.53	3.88...4.61	4.66...5.06	5.51...6.17	6.79...7.53
МП	1.85±0.16	4.49±0.27	4.84±0.27	4.18±0.01	5.35±0.03	7.34±0.08
	1.50...2.20	3.89...5.09	4.69...4.99	4.12...4.24	5.20...5.50	6.98...7.69

У особей насаждений СЗЗ промышленных предприятий содержание исследуемого вещества было выше на 0.40 мг г⁻¹ сух. вещества (июнь), а затем ниже на 0.75 и 0.94 мг г⁻¹ сух. вещества (соответственно, в июле и августе).

Полученная картина указывает на активное использование конденсированных танинов и его причастность к процессам адаптации растений к условиям антропогенного загрязнения.

К августу мы отмечали достоверный рост содержания танинов в листьях клена остролистного во всех районах исследования.

В итоге количественное содержание конденсированных танинов в листьях клена остролистного возрастало за весь период наблюдений во всех районах исследования.

Полифенолоксидаза – фермент, участвующий в синтезе танинов.

Показатель активности полифенолоксидазы в листьях мы сравнили у растений, произрастающих в разных типах насаждений (табл. 2).

У клена остролистного в августе в насаждениях СЗЗ промышленных предприятий и МП активность этого фермента была достоверно выше, чем в контроле. Наиболее значительными различия были в августе в условиях наиболее интенсивной техногенной нагрузки МП и достигали 2.99 ед. активности.

Также мы проанализировали динамику активности полифенолоксидазы в листьях клена остролистного в каждом из типов насаждений.

В ЗУК мы наблюдали достоверное повышение активности фермента в июле, а затем существенное снижение в августе, причем показатели актив-

ности фермента, несмотря на достоверное снижение, если сравнивать с таковым в июле, были достоверно выше, чем в июне.

В насаждениях СЗЗ и в МП активность фермента возрастала в июле и повышалась далее в августе.

Таким образом, исследование активности полифенолоксидазы в листьях клена остролистного позволило установить, что в августе наблюдаются наиболее высокие значения данного показателя как в насаждениях СЗЗ, так в МП по сравнению с ЗУК.

Также мы изучили активность пероксидазы в листьях клена остролистного в различных типах насаждений (табл. 3).

Таблица 3

Активность пероксидазы в листьях клена остролистного в различных типах насаждений

Тип насаждения	Активность пероксидазы, ед. акт.		
	июнь	июль	август
ЗУК	1.34±0.04	1.70±0.07	1.51±0.08
	1.17...1.51	1.38...2.02	1.18...1.83
СЗЗ	1.83±0.08	2.41±0.17	2.30±0.07
	1.48...2.17	1.66...3.16	2.01...2.61
МП	2.04±0.09	3.28±0.16	4.18±0.29
	1.65...2.44	2.57...3.98	2.94...5.43

У клена остролистного в МП в июне, июле и августе активность пероксидазы была достоверно выше, чем у контрольных особей в ЗУК. В насаждениях СЗЗ промышленных предприятий только в августе активность фермента была выше на 0.79 ед. активности, чем в ЗУК.

Мы также проанализировали динамику активности пероксидазы в листьях клена остролистного в каждом из типов насаждений.

Достоверное повышение активности фермента мы наблюдали только в МП в течение всего периода вегетации.

Заключение

Для клена остролистного в течение всего периода активной вегетации было характерно увеличение активности аскорбинатоксидазы в листьях в насаждениях различных экологических категорий.

Минимальные значения содержания аскорбиновой кислоты отмечены в августе у особей в насаждениях с интенсивной техногенной нагрузкой. Таким образом, повышение степени техногенной нагрузки приводит к возрастанию содержания аскорбиновой кислоты в листьях клена остролистного на начальных этапах вегетации (июнь) и последующем ее снижении в конце вегетации (август).

Что касается активности полифенолоксидазы и содержания танинов в листьях, то в насаждениях СЗЗ промышленных предприятий и МП клен ост-

ролистный отличался возрастанием активности полифенолоксидазы по сравнению с ЗУК. Рост активности полифенолоксидазы при этом сопровождается снижением содержания танинов, что, безусловно, указывает на активное участие танинов в адаптивных реакциях растений, связанных с механизмами нейтрализации действия загрязняющих веществ.

В насаждениях СЗЗ промышленных предприятий в августе и в МП в июне, июле и августе активность пероксидазы в листьях превышает аналогичные показатели у контрольных особей. У клена остролистного в условиях интенсивной нагрузки активность пероксидазы в листьях выше, чем в насаждениях ЗУК.

Библиографический список

- 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.
- Гришина Л.А., Самойлова Е.М. Учёт биомассы и химический анализ растений. М.: Изд-во МГУ, 1971. 99 с.
- Ермаков А.И. и др. Методы биохимического исследования растений. Л.: Агропромиздат, 1987. 429 с.
- О состоянии природных ресурсов и об охране

- окружающей среды Республики Татарстан в 2016 году: гос. доклад [Электронный ресурс]. Казань, 2017. URL: eco.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub_1007315.pdf (дата обращения: 21.08.2018).
- Родин Л.Е., Релизов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 145 с.
- Чупахина Г.Н. Физиологические и биохимические методы анализа растений. Калининград, 2000. 59 с.
- Чупахина Г.Н. и др. Реакция пигментной и антиоксидантной системы растений на загрязнение окружающей среды г. Калининграда выбросами автотранспорта // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 2 (19). С. 171–185.
- Ahmed M.R., Anis M. Changes in activity of antioxidant enzymes and photosynthetic machinery during acclimatization of micropropagated *Cassia alata* L. plantlets // In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant. 2014. Vol. 50. P. 601–609.
- Garcia D.E. et al. Modification of condensed tannins: from polyphenol chemistry to materials engineering // New Journal of Chemistry. 2016. Vol. 1. P. 234–242.
- Gill S.S., Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in Abiotic stress tolerance in crop plants // Plant Physiol. Biochem. 2010. Vol. 48. P. 909–930.
- Hattas D., Julkunen-Tiitto R. The quantification of condensed tannins in African savanna tree species // Phytochemistry Letters. 2012. Vol. 5 (2). P. 329–334.
- Kerio L.C. et al. Total polyphenols, catechin profiles and antioxidant activity of tea products from purple leaf coloured tea cultivars // Food Chem. 2013. Vol. 136. P. 1405–1413.
- Kloseiko J. Cupric ferricyanide reaction in solution for determination of reducing properties of plant antioxidants // Food analytical methods. 2016. Vol. 9. P. 164–177.
- Maiti R. et al. Biodiversity in Leaf Chemistry (Pigments, Epicuticular Wax and Leaf Nutrients) in Woody Plant Species in North-eastern Mexico, a Synthesis // Forest Res. 2016. Vol. 5. P. 170–176.
- the state of natural resources and on environmental protection of the Republic of Tatarstan in 2016]. Kazan, 2017. Available at: eco.tatarstan.ru/eng/file/pub/pub_1007315.pdf (accessed: 08.11.2018). (In Russ.).
- Grishina L.A., Samoiloва E.M. *Učet biomassy i chimičeskij analiz rastenij* [Biomass accounting and chemical analysis of plants]. Moscow, MGU Publ., 1971. 99 p. (In Russ.).
- Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P., Peruvian Yu.V., Lukovnikova G.A., Ikonnikova M.I. *Metody biohimičeskogo issledovanija rastenij* [Methods of biochemical research of plants]. Leningrad, Agropromizdat Publ., 1987. 429 p. (In Russ.).
- Rodin L.E., Relizov N.P., Bazilevich N.I. *Metodičeskie ukazanija k izučeniju dinamiki i biologičeskogo krugovorota v fitocenozach* [Guidelines for the study of dynamics and the biological cycle in phytocenoses]. Leningrad, Nauka Publ., 1968. 145 p. (In Russ.).
- Chupakhina G.N. *Fiziologičeskie i biohimičeskie metody analiza rastenij* [Physiological and biochemical methods of plant analysis]. Kaliningrad, 2000. 59 p. (In Russ.).
- Chupakhina G.N., Maslennikova P.V., Skrypnik L.N., Besserezhnova M.I. [The reaction of the pigment and antioxidant system of plants to environmental pollution of the city of Kaliningrad with motor vehicle emissions]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologija*. N 2 (19) (2012): pp. 171–185. (In Russ.).
- Ahmed M.R., Anis M. Changes in activity of antioxidant enzymes and photosynthetic machinery during acclimatization of micropropagated *Cassia alata* L. plantlets. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*. V. 50 (2014): pp. 601–609.
- Garcia D.E., Glasser W.G., Pizzi A., Paczkowski S.P., Laborie M.P. Modification of condensed tannins: from polyphenol chemistry to materials engineering. *New Journal of Chemistry*. V. 1 (2016): pp. 234–242.
- Gill S.S., Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in Abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiol. Biochem*. V. 48 (2010): pp. 909–930.
- Kerio L.C., Wachira F.N., Wanyoko J.K., Rotich M.K. Total polyphenols, catechin profiles and antioxidant activity of tea products from purple leaf coloured tea cultivars. *Food Chem*. V. 36 (2013): pp. 1405–1413.
- Kloseiko J. Cupric ferricyanide reaction in solution for determination of reducing properties of plant antioxidants. *Food analytical methods*. V. 9 (2016): pp. 164–177.
- Maiti R., Rodriguez H.G., Sarkar N.C., Kumari A. Biodiversity in Leaf Chemistry (Pigments, Epicuticular Wax and Leaf Nutrients) in Woody Plant

References

Species in North-eastern Mexico, a Synthesis.
Forest Res. V. 5 (2016): pp. 170-176.

Поступила в редакцию 16.01.2020

Об авторах

Кузьмин Петр Анатольевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, зав. кафедрой биологии и химии
Елабужский институт Казанского (Приволжского) Федерального Университета
ORCID: 0000-0002-1303-765X
423600, РТ, г. Елабуга, ул. Горького, 84;
petrkuzmin@yandex.ru; (85557)75455

Бухарина Ирина Леонидовна, доктор биологических наук, профессор кафедры инженерной защиты окружающей среды ФГБОУВО Удмуртский государственный университет
ORCID: 0000-0001-8084-2547
426034, Ижевск, Россия, ул. Университетская, 1;
buharin@udmlink.ru

About the authors

Kuzmin Petr Anatolyevich, candidate of agricultural sciences, associate professor of the Department of biology and chemistry
Elabuga Institute of Kazan (Volga) Federal University.
ORCID: 0000-0002-1303-765X
423600, RT, Elabuga, Gorkogo str., 84;
petrkuzmin@yandex.ru; (85557)75455

Bukharina Irina Leonidovna, doctor of biology, professor of the Department of Environmental Engineering
Udmurt State University.
ORCID: 0000-0001-8084-2547
426034, Izhevsk, Russia, Universitetskaya str., 1;
buharin@udmlink.ru

Информация для цитирования:

Кузьмин П.А., Бухарина И.Л. Биохимический состав клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в урбаносреде // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2020. Вып. 1. С. 48–53. DOI: 10.17072/1994-9952-2020-1-48-53.

Kuzmin P.A., Bukharina I.L. [The biochemical composition of agricultural maple (*Acer platanoides* L.) in the urban environment]. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologija.* Iss. 1 (2020): pp. 48-53. (In Russ.). DOI: 10.17072/1994-9952-2020-1-48-53.

