

УДК 581.19

## АНАЛИЗ ДИНАМИКИ СОДЕРЖАНИЯ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ И ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛИСТЬЯХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УРБАНОСРЕДЕ

©2013 И.Л. Бухарина<sup>1</sup>, А.М. Шарифуллина<sup>1</sup>, П.А. Кузьмин<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Елабужский институт (филиал) Казанского федерального университета, г. Елабуга

Поступила 10.06.2013

Изучена динамика содержания низкомолекулярных и высокомолекулярных соединений в листьях древесных растений, произрастающих в урбаноосреде, и их роль в формировании адаптивных реакций древесных растений в условиях техногенной среды.

**Ключевые слова:** танины, аскорбиновая кислота, активность пероксидазы, древесные насаждения, урбаноосреда.

Бурное развитие городской среды и промышленности приводит к быстрому истощению жизненного потенциала древесных растений. В урбаноосреде в формировании адаптивных реакций растений участвуют различные метаболиты, это ряд ферментов, а также низкомолекулярные метаболиты – танины, аскорбиновая кислота. В последние годы танины и аскорбиновая кислота рассматриваются учеными как важные элементы антиоксидантной системы защиты у древесных растений в условиях техногенного стресса. Исходя из этого, мы поставили перед собой цель изучить особенности динамики содержания данных метаболитов (танинов, аскорбиновой кислоты, фермента пероксидазы) в листьях, как элементов антиоксидантной системы защиты, в период активной вегетации древесных растений, произрастающих в насаждениях с разной степенью техногенной нагрузки (на примере г. Набережные Челны).

Набережные Челны входит в состав Республики Татарстан, которая расположена на территории Среднего Поволжья, вместе слияния двух крупнейших рек Волги и Камы, в зоне достаточного увлажнения. Климат умеренно-континентальный, отличается теплым летом и умеренно-холодной зимой. Годовое количество осадков в городе составляет в среднем 555 мм. Самый теплый месяц года – июль (+18...+20 °С), самый холодный – январь (-13...-14 °С).

Набережные Челны – крупный промышленный центр с населением 530 тыс. человек. Основные отрасли промышленности в городе – машиностроение, электроэнергетика, строительная индустрия, пищевая и перерабатывающая промышленность. Ключевым (градообразующим) предприятием города является Камский автомобильный завод. Характеристика степени загрязнения атмосферного воздуха в местах произрастания древесных растений проведена нами на основе «Доклада об эколо-

AMSharifullina@yandex.ru; Кузьмин Петр Анатольевич, к.с.-х.н., доцент, e-mail: petrkuzmin84@yandex.ru гическом состоянии Республики Татарстан». Комплексный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) показывает очень высокое загрязнение (ИЗА=15,3) и превышение уровня предельно допустимой концентрации по бенз(а)пирену, формальдегиду, фенолам и оксидам углерода и азота [1, 6].

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объект исследования – древесные растения: клен ясенелистный (*Acer negundo* L.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), береза повислая (*Betula pendula* Roth.), тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.). Эти виды произрастают в городе в составе различных экологических категорий насаждений: магистральные посадки (крупные магистрали Авто 1, проспект Мира) и санитарно-защитные зоны (СЗЗ) промышленных предприятий ОАО «Камаз» завод «Литейный», «Кузнечный» и «Двигателей», являющихся основными стационарными источниками загрязнения города. В качестве зон условного контроля (ЗУК) выбраны территории Челнинского (лесостепная зона 9539 га, лесостепной район европейской части Российской Федерации) лесничества, а для интродуцированных видов – территория городского парка «Гренада».

Пробные площади закладывали регулярным способом (по 5 шт. в каждом районе, размером не менее 0,25 га). В пределах пробной площадки проведен отбор (по 10 растений каждого вида) и нумерация учетных древесных растений, дана оценка их жизненного состояния [7]. Учетные особи имели хорошее жизненное и средневозрастное генеративное онтогенетическое состояние (g<sub>2</sub>). В районах закладки пробных площадей провели отбор почвенных проб методом конвертов [4].

В листьях древесных растений трижды в течение вегетации (июнь, июль, август) определяли: содержание танинов, используя перманганатометрический метод (метод Левенталья в модификации Курсанова); содержание аскорбиновой кислоты – по ГОСТ 24556-89; активность пероксидазы, ис-

Бухарина Ирина Леонидовна, д.б.н., проф., заместитель по научной работе, e-mail: buharin@udmlink.ru; Шарифуллина Айгуль Мухаметнагимовна, магистрант, e-mail:

пользуя колориметрический метод (по А.М. Бояркину), основанный на определении скорости реакции окисления бензидина [8]. Содержание танинов в листьях определяли в течение двух вегетационных периодов (2011–2012 гг.), а аскорбиновой кислоты – в один вегетационный сезон (2012 г.) [2]. Анализы проводили в лаборатории «Экологии и физиологии растений» биологического факультета Елабужского института (филиала) ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Математическую обработку материалов провели с применением статистического пакета «Statistica 5,5». Для интерпретации полученных материалов использовали методы описательной статистики и дисперсионный многофакторный анализ (по перекрестно-иерархической схеме, при последующей оценке различий методом множественного сравнения LSD-test).

**Таблица 1.** Динамика содержания танинов в листьях древесных растений, произрастающих в различных категориях насаждений г. Набережные Челны, %

Категория насаждений	Месяц	Вид древесного растения			
		<i>Tilia cordata</i> Mill.	<i>Populus balsamifera</i> L.	<i>Acer platanoides</i> L.	<i>Acer negundo</i> L.
2011 год					
Зона условного контроля (НСР <sub>05</sub> = 0,01)	июнь	0,61	0,72	0,88	0,72
	июль	0,95	1,10	1,16	1,17
	август	1,23	1,53	1,62	1,48
СЗЗ промышленных предприятий	июнь	0,59	0,73	0,86	0,69
	июль	1,11	1,20	1,06	1,05
	август	1,13	1,53	1,56	1,33
Магистральные посадки	июнь	0,58	0,75	0,84	0,66
	июль	0,90	1,33	1,03	1,15
	август	1,16	1,53	1,61	1,31
2012 год					
Зона условного контроля (НСР <sub>05</sub> = 0,01)	июнь	0,50	0,56	0,66	0,55
	июль	0,67	0,65	0,88	0,71
	август	1,10	0,86	1,13	0,96
СЗЗ промышленных предприятий	июнь	0,38	0,56	0,66	0,53
	июль	0,78	0,74	0,77	0,62
	август	0,96	0,88	0,96	0,92
Магистральные посадки	июнь	0,32	0,58	0,60	0,52
	июль	0,73	0,77	0,74	0,67
	август	0,89	0,91	0,96	0,89

Из изученных видов наибольшее количество танинов было отмечено в августе у тополя бальзамического и клена остролистного (1,53 и 1,60% соответственно). В июле у тополя бальзамического в насаждениях СЗЗ промышленных предприятий и в магистральных посадках содержание данного метаболита в листьях увеличивалось на 0,1 и 0,13% по сравнению с его содержанием в насаждениях ЗУК, при НСР<sub>05</sub>=0,01%. К августу содержание танинов в листьях тополя бальзамического выравнивалось по категориям насаждений и составляло 1,53%, что, на наш взгляд, было связано с активацией синтеза данного метаболита в листьях растений в условиях городской среды.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Вегетационный период древесных растений в 2011 г. характеризовался повышенной температурой по месяцам, при этом превышение среднемноголетних данных отмечалось в пределах 3–7°C, а количество выпавших осадков было на уровне среднемноголетней нормы.

Дисперсионный многофакторный анализ результатов исследований в 2011 г. выявил существенность влияния видовых особенностей (уровень значимости  $P < 10^{-3}$ ), комплекса условий места произрастания ( $P = 5,91 \cdot 10^{-3}$ ), сроков вегетации ( $P < 10^{-3}$ ), а также взаимодействия этих факторов ( $P < 10^{-3}$ ) на содержание танинов в листьях древесных растений (табл. 1).

У представителей рода Клен реакция была противоположной. Клен остролистный и клен ясенелистный во все периоды наблюдений (июнь–август) в насаждениях СЗЗ промышленных предприятий и магистральных посадках имели достоверно меньшее содержание танинов в листьях по сравнению с насаждениями ЗУК: в июне, соответственно, на 0,02–0,04 и 0,03–0,06%; в июле – на 0,1–0,13 и 0,02–0,12; в августе – на 0,01–0,08 и 0,15–0,17%. Полученные результаты свидетельствуют об интенсивном расходовании данного метаболита и его возможном участии в процессах адаптации древесных растений в условиях техногенного стресса.

У липы мелколистной общая тенденция динамики данного метаболита была схожа с представителями рода Клен, однако, наблюдалось некоторое отличие. Оно проявлялось в том, что содержание танинов в листьях в июле у особей, произрастающих в насаждениях СЗЗ промышленных предприятий, возрастало на 0,16% по сравнению с ЗУК, а в августе – снижалось на 0,1%. Следует отметить, что зачаточные цветки липы закладываются в генеративно-ростовых почках и цветение происходит после окончания роста побегов, т.е. позднее, чем у других изучаемых видов.

Таким образом, в конце периода активной вегетации растений в каждой из изучаемых категорий насаждений наблюдался достоверный рост содержания конденсированных танинов в листьях у всех исследуемых нами видов древесных растений ( $P < 10^{-5}$ ).

В 2012 г. в период вегетации древесных растений сложились менее благоприятные метеорологические условия, чем в 2011 г. Превышение средне-многолетних температур воздуха составляло 6–10° С, а выпадение осадков было значительно ниже нормы.

Дисперсионный многофакторный анализ результатов исследований в 2012 г. выявил существенность влияния видовых особенностей ( $P < 10^{-5}$ ), комплекса условий места произрастания ( $P < 10^{-5}$ ), сроков вегетации ( $P < 10^{-5}$ ), а также взаимодействия этих факторов ( $P = 6,37 \cdot 10^{-5}$ ), на содержание танинов в листьях древесных растений.

Максимальное количество танинов в листьях отмечалось также в августе у всех изучаемых видов древесных растений, но имелись отличия в характере распределения их по месяцам. У тополя бальзамического в магистральных насаждениях начиная с июня содержание танинов возрастало: на 0,02; в июле – 0,12; в августе – 0,05%, по сравнению с его содержанием в ЗУК ( $НСР_{05} = 0,01\%$ ). В насаждениях СЗЗ промышленных предприятий возрастание танинов отмечалось лишь в июле и в августе, соответственно на 0,09 и 0,02%. Данный рост говорит об интенсивном синтезе данного метаболита в листьях тополя бальзамического и о его участии в адаптации растения к условиям техногенной среды на протяжении всего периода активной вегетации. У липы мелколистной и представителей рода Клен, произрастающих в техногенных ландшафтах, происходило снижение количества танинов в листьях, в сравнении с данным метаболитом у растений в зоне условного контроля: у липы мелколистной – в июне на 0,12–0,18, в августе на 0,14–0,21%; у клена остролистного и клена ясенелистного – в июне на 0,02–0,06, в июле – 0,04–0,14%, в августе – 0,04–0,17% соответственно. Сходная тенденция характерна и для 2011 г. и подтверждает ранее полученные данные о том, что конденсированные танины являются активным участником адаптационных процессов у древесных растений в техногенной среде, имея при этом видовые особенности динамики за активный период вегетации растений [8].

Результаты анализа динамики содержания аскорбиновой кислоты в листьях древесных растений приведены в таблице 2. Дисперсионный многофакторный анализ результатов исследований показал, что на содержание изучаемого метаболита в листьях древесных растений достоверное влияние оказали видовые особенности (уровень значимости  $P = 5,68 \cdot 10^{-5}$ ), комплекс условий места произрастания ( $P < 10^{-5}$ ), сроки вегетации ( $P < 10^{-5}$ ) а также взаимодействие этих факторов ( $P < 10^{-5}$ ). У всех изучаемых видов древесных растений, не зависимо от условий произрастания, количество данного метаболита снижалось в течение вегетации, что свидетельствует о снижении активности окислительно-восстановительных процессов у растений.

В начальный период вегетации у интродуцированных видов, произрастающих в насаждениях санитарно-защитных зон промышленных предприятий и магистральных посадках, отмечалось достоверное повышение содержания аскорбиновой кислоты в листьях в сравнении с показателями зоны условного контроля: у тополя бальзамического на 39,8–115,8; у клена ясенелистного на 109,5–114,3 мг% ( $НСР_{05} = 2,4$  мг%). К концу периода вегетации у растений магистральных насаждений наблюдалось снижение содержания аскорбиновой кислоты в листьях: у тополя бальзамического на 27,8 и у клена ясенелистного на 73,9 мг%.

В насаждениях санитарных зон промышленных предприятий картина в конце вегетации выглядела иначе. Выявлено достоверное возрастание содержания аскорбиновой кислоты в листьях тополя бальзамического на 24,2 и у клена ясенелистного на 10,0 мг%.

У аборигенных видов (липа мелколистная, береза повислая и клен остролистный), произрастающих в насаждениях СЗЗ промышленных предприятий, содержание аскорбиновой кислоты в листьях по сравнению с контролем повышалось: в июне – на 110,5; 84,8 и 150,5; в августе – на 56,9; 67,5 и 90,6, соответственно. В магистральных насаждениях тенденция была иной: у липы мелколистной и березы повислой, содержание данного метаболита, по сравнению с ЗУК, резко снижалось в июне – на 155,4 и 230, в июле – на 80,2 и 103,7, в августе – на 40,9 и 110,3, соответственно; у клена остролистного, наоборот, происходило возрастание, причем в июне – на 178,5, в июле – на 28,4, в августе – на 2,6 мг%.

Сходная динамика получена ранее в результате научных исследований, проведенных в крупном промышленном центре Уральского региона г. Ижевск [3].

Таким образом, повышение степени техногенной нагрузки приводит к возрастанию содержания аскорбиновой кислоты в листьях у изучаемых видов древесных растений в насаждениях СЗЗ промышленных предприятий.

**Таблица 2.** Динамика содержания аскорбиновой кислоты в листьях древесных растений, произрастающих в различных категориях насаждений г. Набережные Челны, мг%

Месяц	Вид древесного растения				
	<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.
Зона условного контроля (НСР <sub>05</sub> = 2,4)					
июнь	329,6	310,4	372,8	176,3	273,4
июль	186,3	150,3	222,5	120,7	206,1
август	133,4	112,8	188,7	104,7	153,3
Санитарно-защитные зоны промышленных предприятий					
июнь	440,1	350,2	457,6	326,8	387,7
июль	175,0	152,4	218,6	154,5	174,1
август	190,3	137,0	256,2	195,3	163,3
Магистральные посадки					
июнь	174,2	426,6	142,8	354,8	382,9
июль	106,1	182,7	118,8	149,1	129,3
август	92,5	85,0	78,6	107,3	79,4

Однако у особей растений в магистральных насаждениях, в условиях наиболее интенсивной техногенной нагрузки, выявлены отличия в динамике содержания аскорбиновой кислоты в листьях. Схожие реакции отмечены лишь у аборигенного вида – клена остролистного, а у остальных изучаемых видов наблюдается достоверное снижение содержания концентрации данного метаболита. На наш взгляд, это свидетельствует о наличии иных физиологических процессов, компенсирующих нега-

тивное воздействие техногенной нагрузки в урбано-среде.

Дисперсионный многофакторный анализ результатов исследований показал, что на активность пероксидазы в листьях древесных растений достоверное влияние оказали видовые особенности растений ( $P < 10^{-5}$ ), комплекс условий произрастания ( $P < 10^{-5}$ ) и период вегетации ( $P < 10^{-5}$ ), а также взаимодействие данных факторов ( $P < 10^{-5}$ ) (табл. 3).

**Таблица 3.** Динамика активности пероксидазы в листьях древесных растений, произрастающих в различных категориях насаждений г. Набережные Челны, ед. акт.

Месяц	Вид древесного растения				
	<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.
Зона условного контроля (НСР <sub>05</sub> = 0,03)					
июнь	1,54	1,45	1,36	2,26	2,24
июль	4,21	4,07	4,00	4,29	4,15
август	2,38	2,49	2,81	3,14	3,18
Санитарно-защитные зоны промышленных предприятий					
июнь	2,46	1,82	1,15	1,92	1,87
июль	3,22	3,27	2,94	3,95	3,87
август	1,90	2,40	1,97	2,17	2,48
Магистральные насаждения					
июнь	1,56	1,76	1,55	1,47	2,44
июль	3,31	2,86	3,17	3,39	4,69
август	1,99	2,01	1,65	2,19	3,07

Данные биохимических исследований показали, что у аборигенных и интродуцированных видов древесных растений максимальный уровень активности пероксидазы был отмечен в июле. У аборигенных видов березы повислой и клена остролистного динамика была сходной. В техногенных условиях активность пероксидазы в листьях снижалась за весь период активной вегетации: в июне на 0,21-0,37 ед. акт.; в июле на 0,28-1,06 и в августе на 0,7-0,84, по сравнению с ЗУК, при НСР<sub>05</sub>=0,03 ед. акт. У липы мелколистной картина была иной. У особей растений в насаждениях санитарно-защитных зон промышленных предприятий в июне отмечалось

достоверное возрастание активности пероксидазы на 0,92 ед. акт. или на 60%, затем наблюдалось снижение, как в насаждениях санитарных зон, так и в магистральных насаждениях: в июле на 0,90-0,99 и в августе на 0,39-0,48, в сравнении с данным показателем у растений в зоне условного контроля.

У интродуцированных видов древесных растений динамика активности пероксидазы в листьях имела специфические особенности. У тополя бальзамического, произрастающего в магистральных насаждениях и санитарных зонах промышленных предприятий, в июне активность пероксидазы была достоверно выше на 0,31-0,37 ед. акт. или 21-26%,

соответственно, чем в ЗУК. Далее происходило снижение активности: в июле – на 0,80-1,21 и августе на 0,09-0,48 ед. акт., по сравнению с контролем.

У клена ясенелистного в насаждениях санитарно-защитных зон предприятий происходило снижение активности пероксидазы в листьях за весь период активной вегетации: в июне на 0,37 ед. акт.; в июле – 0,28; в августе – 0,70, в сравнении с активностью пероксидазы у растений зоны условного контроля. В магистральных насаждениях у клена ясенелистного активность пероксидазы в листьях сначала возрастала: в июне на 0,20 ед. акт. или 9%; в июле – 0,54 ед. акт. или 24%, а в августе наблюдалось снижение активности на 0,11 ед. акт. или 4%, по сравнению с контролем.

Таким образом, реакция аборигенных и интродуцированных видов древесных растений на условия техногенной среды специфична.

Динамика накопления танинов и аскорбиновой кислоты в листьях древесных растений имеет видовую специфику. Их содержание возрастает в течение всего периода активной вегетации и достигает максимального значения в августе. Повышение степени техногенной нагрузки приводит к возрастанию содержания аскорбиновой кислоты у изучаемых древесных растений в насаждениях санитарно-защитных зон промышленных предприятий. Конденсированные танины и аскорбиновая кислота, на наш взгляд, являются активными участниками адаптационных процессов у древесных растений в условиях техногенного стресса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бухарина И.Л., Поварнищина Т.М., Ведерников К.Е. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде. Ижевск: Ижевская ГСХА, 2007. 216 с.
2. Биохимия растений: учебно-метод. пособие / сост. И.Л. Бухарина, О.В. Любимова. Ижевск: Ижевская ГСХА, 2009.
3. Бухарина И.Л. Особенности динамики содержания аскорбиновой кислоты и танинов в побегах древесных растений в условиях г. Ижевска // Раст. ресурсы. 2011. № 2. С. 109-117.
4. ГОСТ 17.4.3.01.-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. М.: Изд-во стандартов, 1983. 4 с.
5. Кулагин А.А. Реализация адаптивного потенциала древесных растений в экстремальных лесорастительных условиях: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Уфа-Тольятти, 2006. 32 с.
6. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2011 году» (29.06.2012 г.). URL: <http://www.eco.tatarstan.ru/rus/info.php?id=424234> (дата обращения: 15.07.2012).
7. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния экосистем методами фитоиндикации: учеб. пособие. М.: МГУЛ, 1999. 193 с.
8. Чупахина Г.Н. Физиологические и биохимические методы анализа растений. Калининград, 2000. 59 с.
9. Bukharina I.L., Kuzmin P.A. Dynamics of tannin content in the leaves of woody plants in different plantation categories (on the example of the town of Naberezhnye Chelny) // Res. Bull. SWorld. Modern scientific research and their practical application. V. J21201. June 2012. P. 776.

## THE ANALYSIS OF DYNAMICS OF THE CONTENT OF LOW-MOLECULAR AND HIGH-MOLECULAR CONNECTIONS IN LEAVES OF WOODY PLANTS IN URBAN ENVIRONMENT

©2013 I.L. Bukharina<sup>1</sup>, A.M. Sharifullina<sup>1</sup>, P.A. Kuzmin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Udmurt State University, Izevsk

<sup>2</sup>Yelabuga institute (branch) Kazan Federal University, Yelabuga

We study dynamics of low molecular weight and high molecular compounds in the leaves of woody plants growing in urban environment and role of these metabolites in adaptive responses of woody plants to conditions of technogenic pollution.

**Keywords:** tannins, ascorbic acid, peroxidase activity, woody plants, urban environment.

Irina Bukharina, Doctor of Biology, professor, deputy director on scientific work, e-mail: buharin@udmlink.ru; Aigul Sharifullina, undergraduate student, e-mail: AMSharifullina@yandex.ru; Peter Kuzmin, Candidate of Agriculture, associate professor, e-mail: petrkuzmin84@yandex.ru