

**МНОГОЛЕТНИЙ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ
УСТОЙЧИВОСТИ *BETULA PENDULA* (BETULACEAE, FAGALES)
И *TILIA CORDATA* (MALVACEAE, MALVALES)
К АВТОТРАНСПОРТНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ**

Е. А. Ерофеева, К. В. Шаповалова

*Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского
Россия, 603950, Н. Новгород, просп. Гагарина, 23*

E-mail: ele77785674@yandex.ru

Поступила в редакцию 06.10.2014 г.

Многолетний сравнительный анализ устойчивости *Betula pendula* (Betulaceae, Fagales) и *Tilia cordata* (Malvaceae, Malvales) к автотранспортному загрязнению. – Ерофеева Е. А., Шаповалова К. В. – В 2010 – 2012 гг. проведен сравнительный анализ содержания хлорофиллов и каротиноидов, общего белка, сульфгидрильных групп, а также интенсивности перекисного окисления липидов в листе берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) и липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) в условиях относительной нормы и при различном уровне автотранспортного загрязнения. При действии автотранспортного загрязнения и на контрольном участке содержание каротиноидов и сульфгидрильных групп в большинстве случаев было выше у *T. cordata* по сравнению с данными параметрами *B. pendula*. В отношении общего белка наблюдалась обратная картина. Выявленные межвидовые различия не являлись абсолютно жесткими и могли инвертироваться при действии автотранспортной нагрузки на отдельных участках автодорог. Выявлены межгодовые различия между всеми изученными показателями у деревьев данных видов, произрастающих на контрольных участках ($p < 0.05$), что свидетельствует о существенном влиянии погодных условий текущего сезона вегетации на их величину. Из двух изученных видов древесных растений *T. cordata* является более устойчивой к автотранспортному загрязнению, поскольку у данного вида отклонение изученных параметров от контрольного значения при действии автотранспортного загрязнения наблюдались реже по сравнению с *B. pendula*. Данный факт, в частности, обусловлен более значительным содержанием каротиноидов и защитных пептидов, содержащих сульфгидрильные группы, в листе *T. cordata*.

Ключевые слова: *Tilia cordata*, *Betula pendula*, пигменты, перекисное окисление липидов, белок, сульфгидрильные группы.

Long-term comparative analysis of the stability of *Betula pendula* (Betulaceae, Fagales) and *Tilia cordata* (Malvaceae, Malvales) to motor traffic pollution. – Yerofeyeva E. A. and Shapovalova K. V. – In 2010 – 2012, a comparative analysis of the chlorophyll and carotenoid content, total protein, sulfhydryl group content and lipid peroxidation rate in the leaves of the drooping birch (*Betula pendula* Roth) and small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) was carried out for relatively normal conditions and for various levels of motor traffic pollution. In most cases the carotenoid and sulfhydryl group content was higher in the leaves of *T. cordata* in comparison with *B. pendula* under the action of motor traffic pollution and at a reference plot. A reverse situation was observed for total protein. The identified interspecific differences were not absolutely rigid and could be inverted under the action of motor traffic load at some parts of roads. Interannual differences among all the studied indices of *T. cordata* and *B. pendula* were revealed ($p < 0.05$) at the reference plots, which indicates that the weather conditions during the current growing season can affect the studied tree indices. Of the two tree species, *T. cordata* was more resistant to traffic pollution, because deviations of its indices from their reference values under the action of traffic pollution were detected less frequently than in *B. pendula* leaves. This fact, in particular, was due to the higher content of carotenoids and protective peptides with sulfhydryl groups in *T. cordata* leaves.

Key words: *Tilia cordata*, *Betula pendula*, pigment, lipid peroxidation, protein, sulfhydryl groups.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы автотранспорт является одним из основных источников загрязнения окружающей среды в крупных городах в связи с быстрым ростом автотранспортного парка (Состояние городов России..., 2008). В первую очередь воздействию поллютантов выхлопов автотранспорта подвергаются виды древесных растений, широко представленные в лесопосадочных полосах, расположенных вблизи автодорог. К таким видам, в частности, относятся берёза повислая (*Betula pendula* Roth, 1788) и липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill., 1768). В связи с этим понятен интерес исследователей к данным видам в плане изучения закономерностей адаптации растений к антропогенной нагрузке, а также поиска параметров растений, пригодных для оценки качества окружающей среды при проведении биоиндикации.

К последним относят такие биохимические показатели растений как содержание фотосинтетических пигментов (Carreras et al., 1996; Pignata et al., 1999), общего белка (Singh et al., 2013) и сульфгидрильных групп (Ding et al., 1994), а также интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) (Савинов и др., 2007; Wahsha et al., 2012 и др.). В то же время до сих пор практически неизученными остаются видовые особенности данных параметров у *B. pendula* и *T. cordata* при адаптации к загрязнению окружающей среды и в условиях относительной нормы, несмотря на то, что данные виды различаются экологическими характеристиками (Ветчинникова, 2004; Radoglou et al., 2009) и устойчивостью к ряду газообразных поллютантов, содержащихся в выхлопах автотранспорта (Смит, 1985). В связи с вышеуказанным в данном исследовании был проведен многолетний сравнительный анализ содержания фотосинтетических пигментов, общего белка и сульфгидрильных групп, а также интенсивности ПОЛ в листе *B. pendula* и *T. cordata* в условиях относительной нормы и при различном уровне автотранспортной нагрузки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проводили в 2010 – 2012 гг. Листовые пластинки собирали во второй половине июля у *B. pendula* и *T. cordata* генеративного возраста, произрастающих на 3 участках смешанных лесопосадок, расположенных на расстоянии 3 – 4 м от автодорог нагорной части г. Нижнего Новгорода с различным уровнем автотранспортного загрязнения: ул. Невзоровых (низкий уровень), ул. Тимирязева (средний уровень), просп. Гагарина (высокий уровень). Уровень автотранспортного загрязнения оценивали по величине потока автотранспорта (Рузский и др., 2008). Контрольный (условно чистый) участок для *B. pendula* был расположен в 20 км к северу г. Нижнего Новгорода в районе пос. Киселиха, а для *T. cordata* – на территории лесопарка «Щелковский хутор» в нагорной части города. Исследованные участки лесопосадок характеризовались сходными почвенными условиями (светло-серые лесные почвы с антропогенным перемешиванием верхних горизонтов), нормальным режимом увлажнения (Гелашвили и др., 2007). В нагорных районах города отсутствуют крупные стационарные источники загрязнения, и выбросы автотранспорта вносят основной вклад в ухудшение состояния окружающей среды. С каждого из 10 деревьев участка собирали по 30 – 35 листовых пластинок. В объединенной пробе из 30 – 35 листовых пластинок для каждого из 10 деревьев участка определяли изученные биохимические показатели ($n = 10$).

Интенсивность ПОЛ оценивали по содержанию ТБК-активных продуктов липопероксидации, среди которых наиболее массовым является малоновый диальдегид (МДА) (Камышников, 2002). Содержание хлорофиллов и каротиноидов в листе определяли согласно общепринятой методике, для экстрагирования пигментов использовали 80%-ный ацетон (Гавриленко, Жигалова, 2003). Содержание сульфгидрильных групп определяли согласно методике G. Ellman (1959) с незначительными модификациями, а общего белка – по М. Bradford (1976). Содержание данных показателей для каждого дерева определяли в одних и тех же листовых пластинках. Статистический анализ результатов исследований проводили с помощью программы БИОСТАТИСТИКА 4.03, используя однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) и параметрический критерий для множественных парных сравнений Ньюмена – Кейлса. На графиках представлены выборочные средние, рассчитанные для 10 биологических повторностей (10 деревьев) каждого участка, и их ошибки.

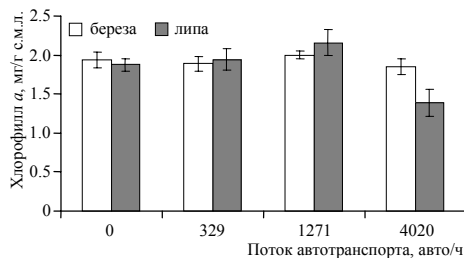
РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание пигментов в листе *B. pendula* и *T. cordata*. Анализ межвидовых различий содержания пигментов у *B. pendula* и *T. cordata*, произрастающих на участках с одинаковым уровнем нагрузки, показал, что в 2010 – 2012 гг. уровень хлорофиллов в листе данных видов, как на контрольном участке, так и при автотранспортном загрязнении, не различался, а содержание каротиноидов в большинстве случаев было выше у *T. cordata* (рис. 1 – 2; содержание хлорофилла *b* на рисунках не представлено). По-видимому, более высокое содержание каротиноидов является специфической чертой *T. cordata* как теневыносливого вида (Березина, Афанасьева, 2009). *B. pendula* относится к светолюбивым видам (гелиофитам) (Березина, Афанасьева, 2009). Известно, что каротиноиды действуют как дополнительные светособирающие пигменты (Мокроносов и др., 2006). Следует отметить, что высокий уровень каротиноидов у *T. cordata* не являлся абсолютно жесткой видовой характеристикой и при некоторых условиях среды различия по данному показателю между изученными видами нивелировались (рис. 2, б).

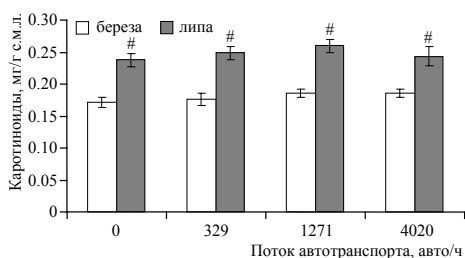
Сравнительный анализ воздействия автотранспортной нагрузки на содержание пигментов у *B. pendula* и *T. cordata* показал, что в разные годы наблюдения автотранспортное загрязнение приводило как к снижению, так и к повышению содержания пигментов по сравнению с контролем, либо не влияло на данный показатель (см. рис. 1 – 2). Известно, что различные химические загрязнители могут приводить как к снижению (Титов и др., 2007), так и к повышению уровня хлорофиллов и каротиноидов (Кулагин, Шагиева, 2005). Изменение содержания пигментов в условиях загрязнения чаще наблюдалось у *B. pendula*, что, возможно, обусловлено более высокой чувствительностью данного вида к загрязнению атмосферного воздуха оксидами серы и азота (Смит, 1985), содержащимися в выхлопах автотранспорта.

Интенсивность ПОЛ в листе *B. pendula* и *T. cordata*. Анализ межвидовых различий интенсивности ПОЛ показал, что содержание МДА в листе изученных видов, произрастающих на одних и тех участках, не различалось, либо было выше (в большинстве случаев) у *B. pendula* по сравнению с аналогичным параметром

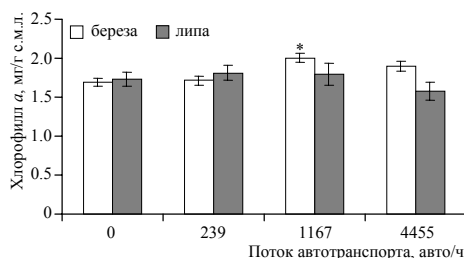
T. cordata в том числе и у деревьев контрольных участков (рис. 3). Возможно, данный факт обусловлен более высоким содержанием у *T. cordata* каротиноидов, являющихся антиоксидантами (Мокроносов и др., 2006).



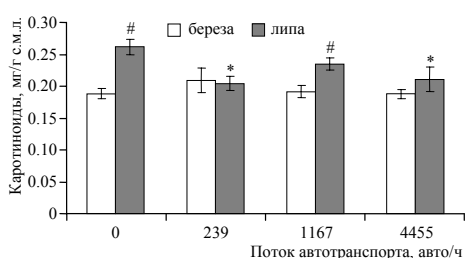
а



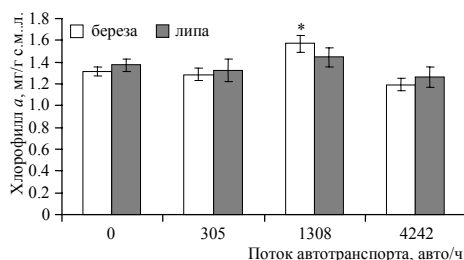
а



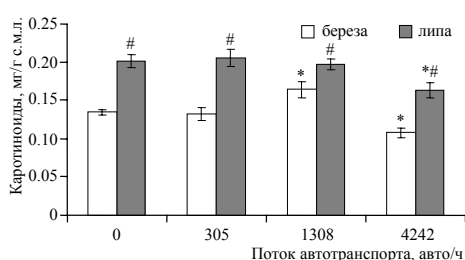
б



б



в

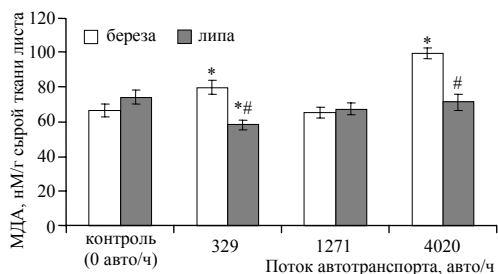


в

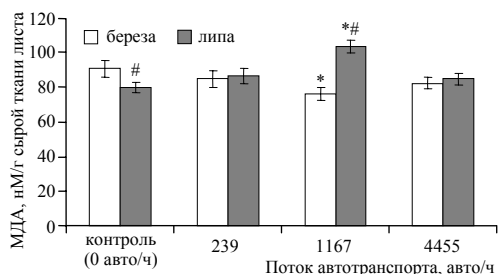
Рис. 1. Содержание хлорофилла *a* в листе *B. pendula* и *T. cordata* в условиях нормы и при автотранспортном загрязнении в 2010 (а), 2011 (б) и 2012 (в) гг.: * – статистически значимые различия по сравнению с данным показателем у деревьев контрольного участка при $p < 0.05$; с.м.л. – сырая масса листа

Рис. 2. Содержание каротиноидов в листе *B. pendula* и *T. cordata* в условиях нормы и при автотранспортном загрязнении в 2010 (а), 2011 (б) и 2012 (в) гг.: * – статистически значимые различия по сравнению с данным показателем у деревьев контрольного участка при $p < 0.05$; # – статистически значимые различия по сравнению с данным показателем у *B. pendula* на этом же участке при $p < 0.05$; с.м.л. – сырая масса листа

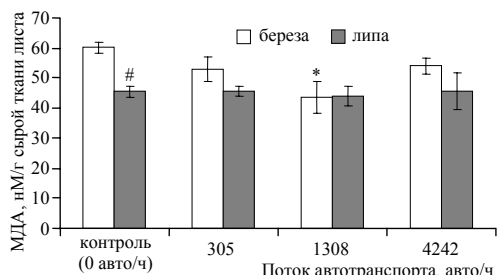
Сравнительный анализ воздействия автотранспортной нагрузки на интенсивность ПОЛ у изученных видов показал, что в разные годы наблюдения автотранспортное загрязнение приводило как к снижению, так и к повышению интенсивности



a



б



в

Рис. 3. Интенсивность перекисного окисления липидов в листе *B. pendula* и *T. cordata* в условиях нормы и при автотранспортном загрязнении в 2010 (а), 2011 (б) и 2012 (в) гг.: * – статистически значимые различия по сравнению с данным показателем у деревьев контрольного участка при $p < 0.05$; # – статистически значимые различия по сравнению с данным показателем у *B. pendula* на этом же участке при $p < 0.05$

ПОЛ по сравнению с контролем, либо не влияло на данный показатель (см. рис. 3). Кроме общеизвестного прооксидантного эффекта различных поллютантов в отношении растений (Савинов и др., 2007; Ben Ghnaya et al., 2009 и др.) некоторыми авторами показано, что в ряде доз такие загрязнители придорожных территорий, как свинец и кадмий, могут оказывать антиоксидантный эффект (Ху и др., 2007; Qiu et al., 2008). Авторами статьи ранее установлено, что некоторые поллютанты, воздействующие на растения, произрастающие вблизи автодорог (кадмий, хлорид натрия и формальдегид), в отдельных дозах оказывают антиоксидантное действие на растения в эксперименте (Ерофеева, 2014). Эффект автотранспортного загрязнения в отношении интенсивности ПОЛ чаще выявлялся для *B. pendula*, чем для *T. cordata*, что подтверждает предположение авторов статьи о более высокой чувствительности *B. pendula* к автотранспортному загрязнению.

Содержание общего белка в листе *B. pendula* и *T. cordata*. Анализ межвидовых различий показал, что содержание общего белка в листе было в большинстве случаев существенно выше у *B. pendula* по сравнению с аналогичным параметром *T. cordata* на этом же участке (рис. 4), в том числе и у деревьев контрольных участков. Данный факт указывает на то, что более высокое содержание белка является специфической чертой вида *B. pendula*. Однако в ряде случаев различия по данному показателю ме-

жду изученными видами нивелировались и даже инвертировались (см. рис. 4, б). Сравнительный анализ воздействия автотранспортной нагрузки на содержание общего белка у изученных видов показал, что автотранспортная нагрузка у *T. cordata* и *B. pendula* приводила только к увеличению содержания общего белка по сравнению с контролем, особенно при низком и среднем уровнях нагрузки. Возможно, это обусловлено повышением синтеза защитных белков (ферментов антиоксидантной системы и детоксикации ксенобиотиков и др.) при умеренном уровне антропогенной нагрузки. При высоком уровне загрязнения, по-видимому, происходит нарушение процесса биосинтеза белка как в результате прямого воздействия токсикантов, так и, вероятно, вследствие дефицита энергетических ресурсов растения.

Следует отметить, что в разные годы наблюдения характер воздействия автотранспортного загрязнения на содержание общего белка изученных видов различался, что особенно четко проявлялось у *T. cordata* (см. рис. 4).

Содержание сульфгидрильных групп в листе *B. pendula* и *T. cordata*. При анализе межвидовых различий было установлено, что данный показатель в большинстве случаев был существенно выше в листе *T. cordata* по сравнению с аналогичным параметром *B. pendula* на этом же участке (рис. 5). Подобное явление было обнаружено во все годы наблюдения у деревьев контрольных участков, что позволяет говорить о том, что более высокое содержание сульфгидрильных групп является особенностью вида *T. cordata*. В то же время в некоторых случаях в условиях загрязнения происходило инвертирование различий (см. рис. 5, в).

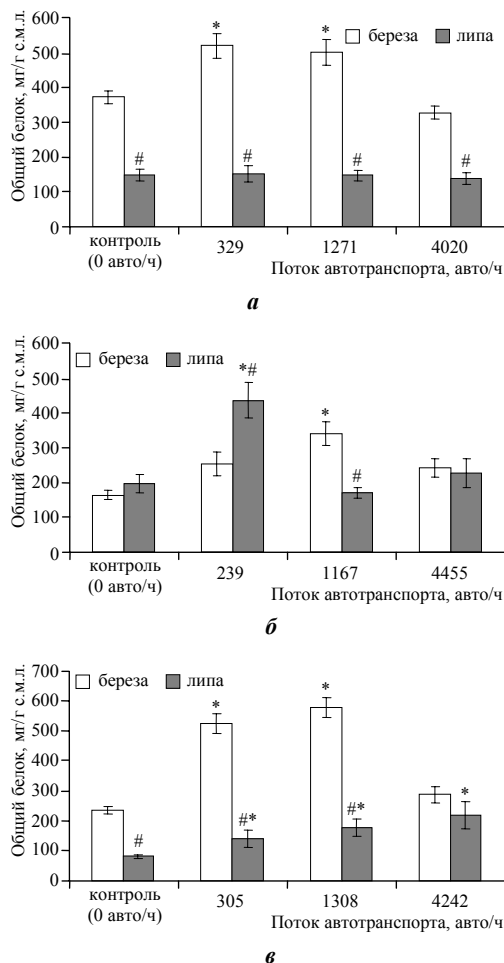


Рис. 4. Содержание белка в листе *B. pendula* и *T. cordata* в условиях нормы и при автотранспортном загрязнении в 2010 (а), 2011 (б), и 2012 (в) гг.: * – статистически значимые различия по сравнению с данным показателем у деревьев контрольного участка при $p < 0.05$; # – статистически значимые различия по сравнению с данным показателем у *B. pendula* на этом же участке при $p < 0.05$; с.м.л. – сырая масса листа

Сравнительный анализ воздействия автотранспортной нагрузки на содержание сульфгидрильных групп у *B. pendula* и *T. cordata* показал, что наблюдалось как снижение (в большинстве случаев), так и увеличение данного показателя относительно контроля. Другими авторами показано, что в условиях загрязнения кадмием происходит увеличение содержания сульфгидрильных групп у растений (Ding et al., 1994).

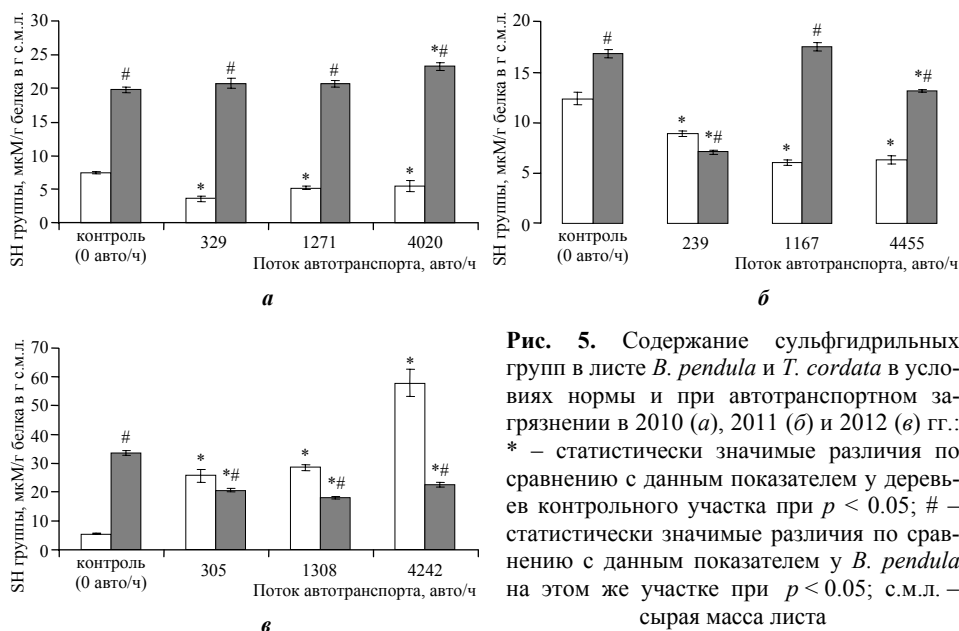


Рис. 5. Содержание сульфгидрильных групп в листе *B. pendula* и *T. cordata* в условиях нормы и при автотранспортном загрязнении в 2010 (а), 2011 (б) и 2012 (в) гг.: * – статистически значимые различия по сравнению с данным показателем у деревьев контрольного участка при $p < 0.05$; # – статистически значимые различия по сравнению с данным показателем у *B. pendula* на этом же участке при $p < 0.05$; с.м.л. – сырая масса листа

Использованная авторами статьи методика позволяет выявить общее количество восстановленных сульфгидрильных групп, которые преимущественно имеются у защитных пептидов, богатых цистеином (глутатиона, фитохелатинов, металлотионеинов), участвующих, в частности, в детоксикации тяжелых металлов (Титов и др., 2007). В связи с этим, надо полагать, что снижение данного параметра в условиях загрязнения свидетельствует об интенсивном окислении сульфгидрильных групп таких пептидов в процессе детоксикации ксенобиотиков, а также в результате работы аскорбат-глутатионового цикла. Повышение же уровня сульфгидрильных групп по сравнению с контролем, по-видимому, можно рассматривать как явление сверхкомпенсации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе вышесказанного можно заключить, что, по крайней мере, для трех показателей листа, таких как содержание каротиноидов, общего белка и сульфгидрильных групп, авторами статьи были выявлены четкие межвидовые различия у

изученных видов древесных растений, как в условиях относительной нормы, так и при загрязнении. *T. cordata* относится к теневыносливым растениям, в отличие от *B. pendula*, являющейся гелиофитом (Березина, Афанасьева, 2009), и в связи с этим имеет более высокое содержание каротиноидов в листе. По-видимому, повышенное содержание каротиноидов у *T. cordata* лежит в основе более низкой интенсивности ПОЛ у данного вида по сравнению с *B. pendula* в условиях загрязнения и относительной нормы. С высоким уровнем каротиноидов у *T. cordata* можно также связать и отсутствие влияния загрязнения на содержание зеленых пигментов у данного вида, если учесть, что каротиноиды входят в светособирающие комплексы фотосистем. В связи с этим данному виду, по-видимому, нет необходимости увеличивать биосинтез хлорофиллов при загрязнении, как это происходит у *B. pendula*, чтобы удовлетворить потребности адаптационных процессов в энергетических ресурсах.

T. cordata характеризуется также более высоким содержанием сульфгидрильных групп в листе по сравнению с *B. pendula*, что свидетельствует о более значительном уровне биосинтеза богатых цистеином защитных пептидов (фитохелатины, металлотионеины, глутатион), в том числе и в условиях относительной нормы. Возможно, повышенное содержание каротиноидов и защитных пептидов в листе *T. cordata* обуславливает показанную ранее другими авторами (Смит, 1985) более высокую устойчивость данного вида к загрязнению атмосферного воздуха оксидами серы и азота по сравнению с *B. pendula* и является причиной выявленной авторами статьи большей устойчивости этого вида к автотранспортному загрязнению, которое также характеризуется превышением ПДК по данным оксидам в воздухе. В то же время содержание общего белка в листе *T. cordata* было в большинстве случаев значительно ниже, чем у *B. pendula*.

Все вышеописанные межвидовые различия у *T. cordata* и *B. pendula* по содержанию каротиноидов, белка и сульфгидрильных групп в некоторых случаях при действии автотранспортного загрязнения и на контрольных участках исчезали, либо инвертировались, что свидетельствует о достаточно высокой пластичности биохимических параметров растений. В связи с этим хотелось бы подчеркнуть, что однократное (в течение одного сезона наблюдения) исследование может оказаться недостаточным для того, чтобы правильно судить о характере межвидовых различий данных показателей. В данном плане многолетние исследования являются более объективными.

В разные годы наблюдения характер воздействия автотранспортного загрязнения на исследованные параметры листа *B. pendula* и *T. cordata* на одних и тех же участках различался. Кроме того, были обнаружены статистически значимые межгодовые различия между всеми изученными показателями у деревьев данных видов, произрастающих на контрольных участках ($p < 0.05$) (статистически значимые межгодовые различия показателей деревьев контрольных участков не указаны на рисунках). На основе данных фактов можно утверждать, что на величину изученных показателей листа *B. pendula* и *T. cordata*, кроме уровня автотранспортного загрязнения, влияют также особенности погодных условий текущего сезона вегетации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Березина Н. А., Афанасьева Н. Б. Экология растений : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М. : Изд. центр «Академия», 2009. 400 с.
- Ветчинникова Л. В. Береза : вопросы изменчивости (морфо-физиологические и биохимические аспекты). М. : Наука, 2004. 183 с.
- Гавриленко В. Ф., Жигалова Т. В. Большой практикум по фотосинтезу. М. : Изд. центр «Академия», 2003. 256 с.
- Гелашвили Д. Б., Копосов Е. В., Лантев Л. А. Экология Нижнего Новгорода. Н. Новгород : Деловая Полиграфия, 2007. 530 с.
- Камышников В. С. Справочник по клинико-биохимической лабораторной диагностике. Минск : Беларусь, 2002. Т. 2. 495 с.
- Кулагин А. А., Шагиева Ю. А. Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей. М. : Наука, 2005. 190 с.
- Мокроносов А. Т., Гавриленко В. Ф., Жигалова Т. В. Фотосинтез. Физиолого-экологические и биохимические аспекты. М. : Изд. центр «Академия», 2006. 448 с.
- Рузский А. В., Донченко В. В., Кунин Ю. И., Петрухин В. А., Виженский В. А., Вайсблум М. Е. Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств на территории городов / Науч.-исслед. и-т автомобильного транспорта. М., 2008. 152 с.
- Савинов А. Б., Курганова Л. Н., Шекунов Ю. И. Интенсивность перекисного окисления липидов у *Taraxacum officinale* Wigg. и *Vicia cracca* L. в биотопах с разным уровнем загрязнения почв тяжелыми металлами // Экология. 2007. № 3. С. 191 – 197.
- Смит У. Х. Лес и атмосфера. Взаимодействие между лесными экосистемами и примесями атмосферного воздуха. М. : Прогресс, 1985. 429 с.
- Состояние городов России 2008 / науч. ред. Т. Д. Белкина / Науч.-исслед. некоммерческое партнерство «Город – Регион – Семья». М., 2008. 146 с.
- Титов А. Ф., Таланова В. В., Казнина Н. М., Лайдинен Г. Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск : Изд-во Карельск. науч. центра РАН, 2007. 172 с.
- Ху Ц. Ц., Ши Г. С., Су Ц. С., Ван С., Юан Ц. Х., Ду К. Х. Воздействие Pb^{2+} на активность антиоксидантных ферментов и ультраструктуру клеток листьев // Физиология растений. 2007. Т. 54, № 3. С. 469 – 474.
- Ben Ghnaya A., Charles G., Hourmant A., Ben Hamida J., Branchard M. Physiological behaviour of four rapeseed cultivar (*Brassica napus* L.) submitted to metal stress // Comptes Rendus Biologies. 2009. Vol. 332, № 4. P. 363 – 370.
- Bradford M. A Rapid and sensitive method for quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // Analytical Biochemistry. 1976. Vol. 72, iss. 1 – 2. P. 248 – 254.
- Carreras H. A., Canas M. S., Pignata M. L. Differences in responses to urban air pollutants by *Ligustrum lucidum* Ait. and *Ligustrum lucidum* Ait. f. *tricolor* (Rehd.) Rehd // Environmental Pollution. 1996. Vol. 93. P. 211 – 218.
- Ding X., Jiang J., Wang Y. Y., Wang W. Q., Ru B. G. Bioconcentration of cadmium in water hyacinth (*Eichhornia-crassipes*) in relation to tiol-group content // Environmental Pollution. 1994. Vol. 84, № 1. P. 93 – 96.
- Ellman G. L. Tissue sulfhydryl groups // Archives Biochemistry and Biophysics. 1959. Vol. 82, iss. 1. P. 70 – 77.
- Erofeeva E. A. Hormesis and paradoxical effects of wheat seedling (*Triticum aestivum* L.) parameters upon exposure to different pollutants in a wide range of doses // Dose-Response. 2014. Vol. 12, № 1. P. 121 – 135.

Pignata M. L., Gudino G. L., Canas M. S., Orellana L. Relationship between chemical parameters measured in *Melia azedarach* L. and environmental conditions in urban areas // Science of the Total Environment. 1999. Vol. 243 – 244. P. 85 – 96.

Qiu R-L., Zhao X., Tang Y-T., Yu F-M., Hu P-J. Antioxidative response to Cd in a newly discovered cadmium hyperaccumulator, *Arabis paniculata* F. // Chemosphere. 2008. Vol. 74, № 1. P. 6 – 12

Radoglou K., Spyroglou G., Dobrowolska D., Nicolescu V.-N. A Review on the ecology and silviculture of limes : (*Tilia cordata* Mill., *Tilia platyphyllos* Scop, and *Tilia tomentosa* Moench.) in Europe // Die Bodenkultur. 2009. Vol. 60, № 3. P. 9 – 19.

Singh S., Bhatia A., Tomer R., Kumar V., Singh B., Singh S. D. Synergistic action of tropospheric ozone and carbon dioxide on yield and nutritional quality of indian mustard (*Brassica juncea* (L.) Czern.) // Environmental Monitoring and Assessment. 2013. Vol. 185, № 8. P. 6517 – 6529.

Wahsha M., Bini C., Fontana S., Wahsha A., Zilioli D. Toxicity assessment of contaminated soils from a mining area in Northeast Italy by using lipid peroxidation assay // J. of Geochemical Exploration. 2012. Vol. 113. P. 112 – 117.