

УДК 581.1

**ВЗАИМОСВЯЗЬ ФИЗИОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ С СОДЕРЖАНИЕМ В НЕЙ
ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ**

© 2010 г.

Е.А. Ерофеева, М.М. Наумова

Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского

progresso.1812_g@list.ru

Поступила в редакцию 15.04.2009

Исследована взаимосвязь уровня липопероксидации, хлорофиллов и каротиноидов, величины флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula Roth.*), произрастающей вблизи автомагистралей нагорной части г. Нижнего Новгорода, с содержанием в листе свинца и марганца. Количество свинца в листовой пластинке было положительно скоррелировано с интенсивностью перекисного окисления липидов и уровнем хлорофилла А и каротиноидов. В отношении марганца подобные взаимосвязи выявлены не были. Автотранспортная нагрузка приводила к значительному снижению (в 5–10 раз) количества марганца в листе березы по сравнению с уровнем в растениях контрольного биотопа, что, в частности, было связано с повышенным уровнем свинца в листовой пластинке.

Ключевые слова: *Betula pendula Roth.*, тяжелые металлы, липопероксидация, пигменты, флуктуирующая асимметрия.

Введение

Тяжелые металлы являются одними из наиболее распространенных загрязнителей окружающей среды в условиях городских территорий и оказывают значительное токсическое воздействие на все живые объекты, включая растения [1]. Несмотря на принимаемые меры по снижению содержания тяжелых металлов в выхлопах автотранспорта, содержание данных поллютантов в почвах биотопов, расположенных в непосредственной близости от автострад, до сих пор существенно превышает предельно допустимые концентрации [2, 3]. Вследствие этого данный тип поллютантов особенно вреден для растений, произрастающих вблизи автомагистралей. Учитывая большое количество таких растений в городских условиях, проблема хронического действия высоких концентраций тяжелых металлов на растительные объекты является в настоящее время весьма актуальной.

К основным проявлениям токсического действия тяжелых металлов на растения относятся: нарушение процессов роста [4] и деления клеток [5], приводящее к нарушению развития морфологических структур; усиление процессов свободнорадикального окисления и липопероксидации [3, 6, 7], угнетение процессов фотосинтеза и повреждение фотосинтетического аппарата растений [1, 5].

В связи с вышеупомянутым, целью настоящего исследования было изучение влияния содержания тяжелых металлов (свинца и марганца) в листовой пластинке березы повислой, произрастающей вдоль автомагистралей г. Нижнего Новгорода, на морфологические (флуктуирующая асимметрия (ФА) листовой пластинки) и физиологические (содержание фотосинтетических пигментов и уровень липопероксидации) показатели листа.

Материалы и методы

Листовые пластинки березы повислой (*Betula pendula Roth.*) были собраны в 10-ти биотопах нагорной части города Нижнего Новгорода, расположенных вдоль автомагистралей с различной автотранспортной нагрузкой. Выбор биотопов в нагорных районах города был обусловлен тем, что здесь отсутствуют крупные предприятия и именно автотранспорт является основным источником загрязнения окружающей среды. В качестве условно чистого (контрольного) был выбран биотоп за пределами г. Нижнего Новгорода вблизи поселка Киселиха (в 20 км к северу от города). Контрольный биотоп выбирали таким образом, чтобы он располагался вдали от автомагистралей и других источников загрязнения. Величину автотранспортного потока оценивали, используя стандартную методику [8].

Листовые пластинки березы собирали во второй половине июля. Для изучения интенсивности перекисного окисления липидов (ПОЛ) в объединенной пробе из 30–35 листовых пластинок с каждого из 10 деревьев биотопа определяли содержание диеновых (ДК) и триеновых (ТК) конъюгатов, малонового диальдегида (МДА) и оснований Шиффа (ОШ) [9].

В этих же объединенных пробах листовых пластинок для каждого из 10 деревьев биотопа определяли содержание фотосинтетических пигментов – каротиноидов и хлорофиллов А и В общепринятым методом абсорбционной спектрофотометрии. Для экстракции пигментов использовали 80%-ный ацетон. Содержание пигментов выражали в мг/г сырой массы листовых пластинок [10].

Для оценки ФА в каждом биотопе собирали по 10 листьев с укороченных побегов нижней части кроны 10-ти деревьев генеративного возраста. Для оценки величины ФА листовой пластинки березы повислой использовали стандартный набор из 5 морфологических признаков [11]. Расчет интегрального показателя ФА (по всем пяти признакам) проводили с использованием алгоритма нормированной разности [11]:

$$\bar{A} = \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{|L_{ij} - R_{ij}|}{(L_{ij} + R_{ij})},$$

где L_{ij} и R_{ij} – значение j -го признака у i -го листа, соответственно слева и справа от плоскости симметрии.

Для каждого из исследованных биотопов содержание тяжелых металлов (свинца и мар-

ганца) определяли методом атомно-адсорбционной спектрометрии в объединенной пробе из фрагментов 300–350 листовых пластинок 10-ти деревьев. Для анализа количества свинца и марганца использовали фрагменты тех же листовых пластинок березы, в которых определяли содержание продуктов перекисного окисления липидов и фотосинтетических пигментов. Измерения были выполнены сотрудниками НИИ химии ННГУ им. Н.И. Лобачевского.

Статистический анализ полученных данных проводили, используя ПП STATISTICA 6.0. С помощью критерия Шапиро-Уилкса было установлено, что распределение изученных показателей не отличалось от нормального. В связи с этим статистическую обработку данных проводили с использованием корреляционного анализа по Пирсону.

Результаты и их обсуждение

Статистический анализ выявил существование достаточно сильной положительной корреляции между содержанием свинца в листовой пластине березы и содержанием в ней всех исследованных продуктов липопероксидации, кроме МДА (таблица). Учитывая многочисленные данные о прооксидантном действии тяжелых металлов на растения, в том числе и свинца [3, 5, 7, 12], можно утверждать, что выявленная корреляция, скорее всего, обусловлена влиянием данного тяжелого металла на состояние перекисного гомеостаза березы.

Таблица

Результаты корреляционного анализа по Пирсону при изучении взаимосвязи физиолого-морфологических показателей листовой пластинки березы повислой с содержанием в ней тяжелых металлов

| Показатели листовой пластинки | Pb, мг/г сухой ткани листа | Mn, мг/г сухой ткани листа |
|--|-------------------------------|-------------------------------|
| Флуктуирующая асимметрия | $R = 0.06$ $p = 0.87$ | $R = -0.39$ $p = 0.23$ |
| Хлорофилл А, мг/г ткани | $R = 0.68$ $p = 0.03$ | $R = -0.60$ $p = 0.07$ |
| Хлорофилл В, мг/г сырой ткани листа | $R = 0.45$ $p = 0.22$ | $R = -0.16$ $p = 0.66$ |
| Каротиноиды, мг/г сырой ткани листа | $R = 0.75$ $P = 0.02$ | $R = -0.50$ $p = 0.14$ |
| МДА, мкмоль/г сырой ткани листа | $R = 0.13$ $p = 0.71$ | $R = -0.15$ $p = 0.67$ |
| Диеновые конъюгаты, ед. опт. пл. | $R = 0.67$ $p = 0.04$ | $R = 0.01$ $p = 0.98$ |
| Триеновые конъюгаты, ед. опт. пл. | $R = 0.81$ $p = 0.01$ | $R = 0.05$ $p = 0.90$ |
| Основания Шиффа, ед. опт. пл. | $R = 0.69$ $p = 0.03$ | $R = -0.04$ $p = 0.91$ |

Количество свинца в листе березы было положительно взаимосвязано с уровнем хлорофилла А и каротиноидов. Известно, что свинец в небольших концентрациях (1 мМ и менее) может увеличивать содержание хлорофиллов в листе [13], что связывают с общей активацией свинцом метаболизма [1].

Исследование взаимосвязи между величиной ФА листовой пластинки березы и содержанием в ней свинца показало отсутствие корреляции между данными показателями (таблица).

Содержание марганца в листовой пластинке березы не было статистически значимо взаимосвязано ни с одним из исследованных физиолого-морфологических показателей листа (табл. 1). В отличие от свинца, марганец в количестве не более 1 мкмоль/г сухой ткани необходим растениям и поэтому относится к микроэлементам [14]. Токсическое действие марганца как тяжелого металла проявляется в более высоких концентрациях. Согласно нашим данным, содержание данного металла в листовой пластинке березы, произрастающей во всех исследованных биотопах г. Нижнего Новгорода, было существенно (в 2.5–5.5 раз) меньше максимальной физиологической концентрации этого элемента у растений (1 мкмоль/г сухой ткани) и в 5–10 раз ниже по сравнению с уровнем растений контрольного биотопа. Данный факт, по-видимому, обусловлен тем, что выхлопы автомобильного транспорта практически не содержат данного тяжелого металла [1]. Таким образом, можно скорее говорить о снижении количества марганца в листе березы при действии автотранспортной нагрузки. В связи с этим корреляции между уровнем марганца и величиной исследованных показателей гомеостаза березы, обусловленные токсичностью данного металла, выявлены не были. По-видимому изменение содержания марганца в листовой пластинке березы в пределах значений более низких, чем физиологические концентрации, не взаимосвязано с уровнем пигментов, ПОЛ и величиной ФА.

Дополнительно было проведено изучение существования связи между содержанием в листе березы свинца и марганца. Оказалось, что между уровнем этих металлов существует сильная обратная корреляция, то есть увеличение количества свинца сопровождается снижением содержания марганца в листе ($R = -0.87$; $p = 0.001$). Подобная связь обусловлена, возможно, способностью свинца подавлять поглощение растениями марганца из почвы и его передвижение в побеги [15].

Таким образом, несмотря на низкое содержание свинца в листовой пластинке березы по-

вислой (от 1 до 2 мг/кг сухого веса листа), произрастающей в исследованных биотопах, существуют достаточно сильные взаимосвязи между количеством данного металла и уровнем марганца, хлорофилла А, каротиноидов и интенсивностью липопероксидации в листе березы.

Список литературы

1. Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 172 с.
2. Денисова О.Н. Особенности микроэлементного состава растений придорожной зоны в условиях остаточного загрязнения свинцом. Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Казань: КГУ, 2006. 22 с.
3. 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.
4. Yang Y.Y., Jung j., Song W.-Y., Suh H.-S., Lee Y. Identification of rice varieties with high tolerance or sensitivity to lead and characterization of the mechanism of tolerance // Plant. phisiol. 2000. V. 124. P. 1019–1026.
5. Серегин И.В., Иванов В.Б. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения // Физиология растений. 2001. Т. 48. № 4. С. 606–630.
6. Shalini V., Durbey R.S. Lead toxicity induces peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants // Plant science. 2003. V. 164. P. 645–655.
7. Лиу Д., Ли Т.Ц., Ян С.Е., Ислам Е., Цзин С.Ф., Махмуд К. Влияние свинца на активность ферментов антиоксидантной защиты и ультраструктуру листьев у двух экотипов *Sedum Alfredii* Hance // Физиология растений. 2008. Т. 55. № 1. С. 73–82.
8. Методика определения массы выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух. М., 1993.
9. Камышников В.С. Справочник по клинико-биохимической лабораторной диагностике. Мн.: Белорусь, 2002. Т. 2. С. 125.
10. Гавриленко В.Ф., Жигалов Т.В. Большой практикум по фотосинтезу. М.: Издательский центр «Академия», 2003. 253 с.
11. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И. и др. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 68 с.
12. Ерофеева Е.А., Наумова М.М., Лисицына О.Н. Влияние нитрата свинца в широком диапазоне концентраций на интенсивность липопероксидации у проростков пшеницы // Тез. докл. междунар. конф. по физико-химическим основам структурно-функциональной организации растений. Екатеринбург, 2008. С. 170–171.

13. Stiborova M., Daubravova M., Brezninova A. Effect of heavy metal ions on growth and biochemical characteristics of photosynthesis of barley *Hordenum vulgare* L. // *Photosynthetica*. 1986. V. 20. P. 418–425.

14. Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А. Физиология растений. М.: Высш. шк., 2005. 736 с.

15. Kannan S., Keppler H. Absorption and transport of Pb^{2+} in young pea seedlings // *Z. Naturforsch.* 1976. B. 31. № 7–8. S. 393–396.

INTERRELATION OF PHYSIOLOGICAL AND MORPHOLOGICAL PARAMETERS OF BIRCH LEAF LAMINA WITH ITS HEAVY METAL CONTENT

E.A. Erofeeva, M.M. Naumova

The interrelation has been investigated of lead and manganese leaf content of birch (*Betula pendula* Roth.) growing near major roads in Nizhni Novgorod and level values of lipid peroxidation, chlorophylls, carotenoids and fluctuating asymmetry. The lead content has been positively correlated with the levels of lipid peroxidation, chlorophyll A and carotenoids. The manganese content has not shown similar interrelations. Heavy auto traffic load has led to a significant manganese content decrease (5-10 times) as compared to that of control biotope plants, in particular, due to an increase in lead content in the leaf lamina.

Keywords: *Betula pendula* Roth., heavy metals, lipid peroxidation, pigments, fluctuating asymmetry.