

**СОДЕРЖАНИЕ ПИГМЕНТОВ ФОТОСИНТЕЗА В ЛИСТЬЯХ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ
(*BETULA PENDULA* ROTH) И ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО (*QUERCUS ROBUR* L.)
УСЛОВИЯХ УФИМСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА**

© 2015 Д.А. Яшин¹, Г.А. Зайцев²

¹Башкирский государственный педагогический университет им.М.Акумлы

²Уфимский институт биологии РАН

Поступила в редакцию 18.05.2015

Приводятся данные о содержании пигментов фотосинтеза в листьях березы повислой и дуба черешчатого в условиях Уфимского промышленного центра в течение вегетационного периода. Показано, что содержание пигментов (хлорофилл *a*, хлорофилл *b* и каротиноиды) в листьях березы в условиях загрязнения в целом выше по сравнению с контролем. Содержание пигментов в листьях дуба практически не изменяется в зависимости от загрязнения.

Ключевые слова: фотосинтез, береза повислая, дуб черешчатый, загрязнение, Уфимский промышленный центр

В крупных промышленных центрах по-прежнему актуальна проблема создания устойчивых древесных насаждений. Насаждения древесных растений выполняют роль фитофильтров, очищая городской воздух путем механического осаждения твердых частиц, поглощения и детоксикации эксклатов. Кроме того, древесные растения широко используются для биоиндикации промышленного загрязнения. Вопросы устойчивости древесных растений к различным типам загрязнения окружающей среды остаются до сих пор слабоизученными. Береза повислая и дуб черешчатый являются одними из основных лесообразователей России. Кроме того, данные древесные породы часто используются при создании санитарно-защитных насаждений в крупных промышленных центрах. Несмотря на это, до настоящего времени до конца не изучены эколого-биологические характеристики березы повислой и дуба черешчатого в различных лесорастительных условиях. Также слабоизученными остаются вопросы устойчивости дуба и клена к различным типам загрязнения окружающей среды.

Фотосинтез – очень чувствительный физиологический процесс, зависящий от состояния ассимиляционного аппарата и растения в целом [1, 2]. Промышленное загрязнение по-разному влияет на содержание и соотношение пигментов в ассимиляционных органах древесных растений [7]. В условиях интенсивной техногенной нагрузки могут происходить изменения в пигментном фонде растений, которые могут служить индикатором их толерантности к этому фактору [3, 5, 8, 9]. Также имеются сведения, что промышленное загрязнение приводит к росту количества пигментов.

Общей реакцией для всех видов растений является интенсивное разрушение всех пигментов при появлении видимых поражений на листьях [3].

Цель работы: изучение особенностей содержания пигментов фотосинтеза в листьях березы повислой (*Betula pendula* Roth) и дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в условиях Уфимского промышленного центра (УПЦ).

Город Уфа – крупнейший город на территории Республики Башкортостан с численностью населения 1089 тыс. человек, общая площадь территории города – 759 км². УПЦ относится к зоне с высоким уровнем загрязнения воздуха. Промышленное загрязнение г. Уфы смешанное с преобладанием углеводородной составляющей [4]. В 2013 г. по данным Государственного доклада о состоянии окружающей среды [4] объем выбросов в атмосферу г. Уфы составил 228,8 тыс. т. Уровень загрязнения города выше среднего, индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) в 2013 г. – 9. Плотность выбросов загрязняющих веществ на 1 га территории Уфимского промышленного центра в 2013 г. достигала 3,236 тонны (в расчете на одного жителя – 0,207 т). Степень загрязненности атмосферного воздуха по районам значительно отличается и колеблется, наиболее загрязненной является северная часть города. В этой части сосредоточены 3 нефтеперерабатывающих завода: ОАО «Уфимский нефтеперерабатывающий завод» (ОАО «УНПЗ»), ОАО «Ново-Уфимский нефтеперерабатывающий завод» (ОАО «НУНПЗ»), ОАО «Уфанефтехим», 4 ТЭЦ – Уфимская ТЭЦ-1, Уфимская ТЭЦ-2, Уфимская ТЭЦ-3, Уфимская ТЭЦ-4, завод синтетического спирта ОАО «Уфаоргсинтез» и другие крупные предприятия. УПЦ имеет протяженность с севера на юг около 60 км. По всей территории города между жилыми кварталами расположены многочисленные предприятия средств связи, приборостроения, строительной индустрии, машиностроения. Лидирующую роль в загрязнении воздушного бассейна УПЦ занимают объекты

Яшин Дмитрий Анатольевич, аспирант

Зайцев Глеб Анатольевич, доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник. E-mail: stu@anrb.ru

нефтехимического производства, на долю которых приходится 71% всех выбросов от стационарных источников города, на втором месте – объекты электроэнергетики, на долю которых приходится 28% всех выбросов. В структуре промышленных выбросов в атмосфере г.Уфы лидирующее место принадлежит диоксиду серы, ароматическим углеводородам и другим летучим органическим соединениям и оксиду углерода.

Закладка и описание постоянных и временных пробных площадей в культурах березы и дуба проводились по стандартным методикам [7, 10]. Пробные площади были заложены в северной части УПЦ (зона загрязнения) и располагаются в непосредственной близости от групп нефтеперерабатывающих предприятий. В качестве относительного контроля были заложены пробные площади в 20 км к югу от УПЦ на территории д. Уптино (в регионе преобладает юго-западный и южный перенос воздушных масс). Возраст изученных деревьев – более 50 лет.

Для определения содержания пигментов в листьях березы и дуба образцы отбирались из средней части кроны не менее, чем с 20 деревьев [6]. Отбор образцов производился в середине дня, когда содержание пигментов в листьях наибольшее – в 11.00-14.00. Собранные листья измельчали, после чего навески (0,1 г), взвешенные на электронных лабораторных весах ВЛТЭ-150 (Госметр, Россия), помещали в пробирки и заливали 10 мл 96%-го этилового спирта и помещали в темное помещение во избежание разрушения пигментов фотосинтеза на свету. Через 12 часов проводили измерения содержания пигментов фотосинтеза – хлорофиллов *a* и *b*, а также каротиноидов методом спектрофотометрии с использованием спектрофотометра КФК-5М (Россия). Содержание пигментов в листьях рассчитывали в два этапа по формулам:

I этап – Расчет концентрации пигментов листьев в спиртовом растворе (мг/л):

$$C_{\text{хлорофилла}} = 13,7 \cdot D_{665} - 5,76 \cdot D_{649}$$

$$C_{\text{хлорофиллb}} = 25,8 \cdot D_{649} - 7,6 \cdot D_{665}$$

$$C_{\text{каротиноиды}} = 4,6957 \cdot D_{440,5} - 0,268 \cdot (D_{\text{хлорофилла}} + D_{\text{хлорофиллb}}),$$

где D_{665} , D_{649} и $D_{440,5}$ – показатели оптической плотности спиртового раствора при соответствующих длинах волн (665, 649 и 440,5 нм).

II этап – Расчет количества пигментов в листьях (мг/г сырой массы):

$$A = \frac{V \cdot C}{P \cdot 1000},$$

где V – объем спиртовой вытяжки (10 мл); C – концентрация пигментов в спиртовом растворе (мг/л); P – навеска растительного материала (0,1 г).

Исследования показали, что в условиях загрязнения в листьях березы в целом происходит незначительное увеличение содержания

хлорофилла *a* по сравнению с контролем в июне и июле, и снижение – в мае и августе (рис. 1).

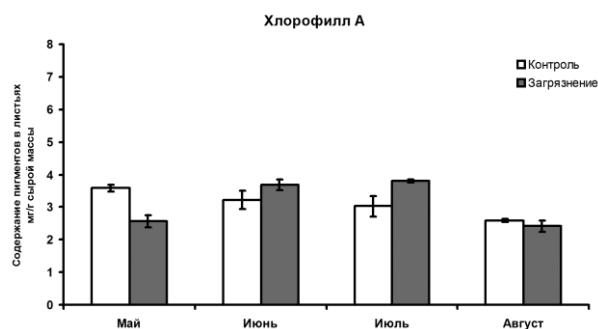


Рис. 1. Содержание хлорофилла *a* (мг/г) в листьях березы повислой в условиях УПЦ

Содержание хлорофилла *a* в листьях березы колеблется от $2,418 \pm 0,1727$ мг/г сырой массы (минимальное значение за весь вегетационный период, август, условия загрязнения) до $3,800 \pm 0,0472$ мг/г сырой массы (максимальное значение за весь вегетационный период, июль, условия загрязнения). Содержание хлорофилла *b* в листьях березы в условиях загрязнения выше в июне и июле, ниже контрольных значений – в мае и августе (рис. 2). Содержание хлорофилла *b* в листьях березы колеблется от $4,130 \pm 0,0932$ мг/г сырой массы (минимальное значение за весь вегетационный период, август, условия загрязнения) до $6,535 \pm 0,0810$ мг/г сырой массы (максимальное значение за весь вегетационный период, июль, условия загрязнения).

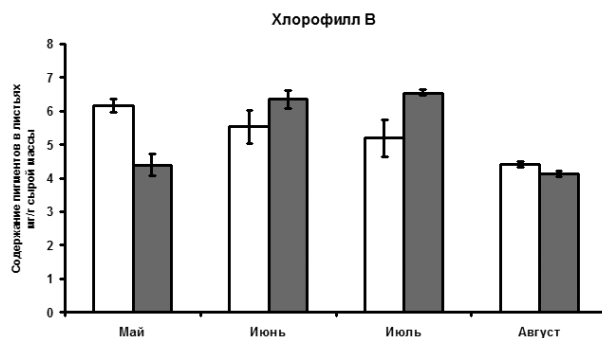


Рис. 2. Содержание хлорофилла *b* (мг/г) в листьях березы повислой в условиях УПЦ

Содержание каротиноидов в листьях березы в условиях загрязнения выше в июне и июле, ниже контрольных значений – в мае, в августе содержание каротиноидов в условиях загрязнения и в контроле практически одинаково (рис. 3). Содержание каротиноидов в листьях березы колеблется от $1,445 \pm 0,0037$ мг/г сырой массы (минимальное значение за весь вегетационный период, август, условия контроля) до $2,868 \pm 0,0338$ мг/г сырой массы (максимальное значение за весь вегетационный период, июль, условия загрязнения).

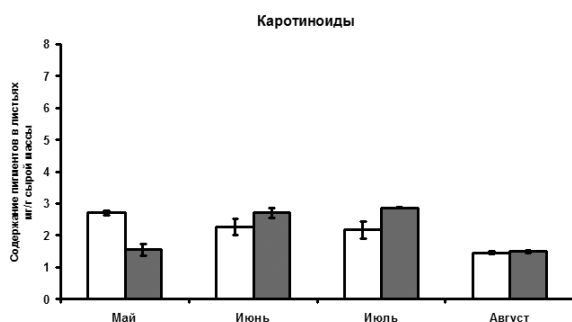


Рис. 3. Содержание каротиноидов (мг/г) в листьях березы повислой в условиях УПЦ

Сумма пигментов фотосинтеза в листьях березы в условиях загрязнения выше в июне и июле, ниже контрольных значений – в мае и августе (рис. 4) и колеблется от $8,039 \pm 0,1831$ мг/г сырой массы (минимальное значение за весь вегетационный период, август, условия загрязнения) до $13,203 \pm 0,1619$ мг/г сырой массы (максимальное значение за весь вегетационный период, июль, условия загрязнения).

Установлено, что в условиях загрязнения содержание хлорофилла *a* в листьях дуба практически не изменяется по сравнению с контролем (рис. 5). Содержание хлорофилла *a* в листьях дуба колеблется от $2,550 \pm 0,0438$ мг/г сырой массы (минимальное значение за весь вегетационный период, август, условия контроля) до $3,493 \pm 0,0512$ мг/г сырой массы (максимальное значение за весь вегетационный период, июнь, условия загрязнения).

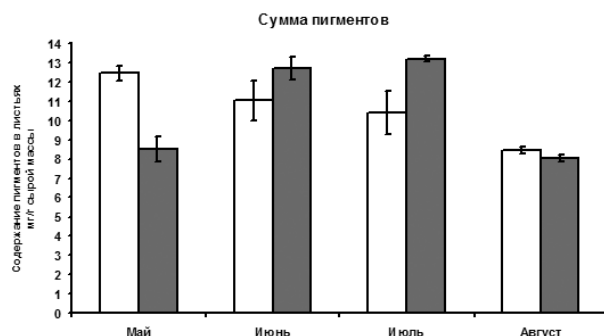


Рис. 4. Суммарное содержание пигментов фотосинтеза (мг/г) в листьях березы повислой в условиях УПЦ

Содержание хлорофилла *b* в листьях дуба в условиях загрязнения практически не изменяется в зависимости от местопроизрастания, но в целом незначительно больше по сравнению с контролем (рис. 6). Содержание хлорофилла *b* в листьях дуба колеблется от $4,358 \pm 0,0732$ мг/г сырой массы (минимальное значение за весь вегетационный период, август, условия контроля) до $6,008 \pm 0,0885$ мг/г сырой массы (максимальное значение за весь вегетационный период, июнь, условия загрязнения).

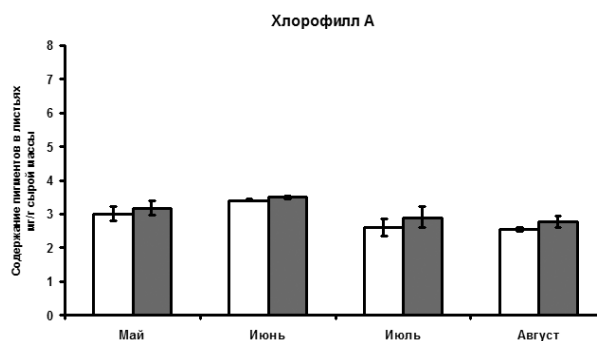


Рис. 5. Содержание хлорофилла *a* (мг/г) в листьях дуба черешчатого в условиях УПЦ

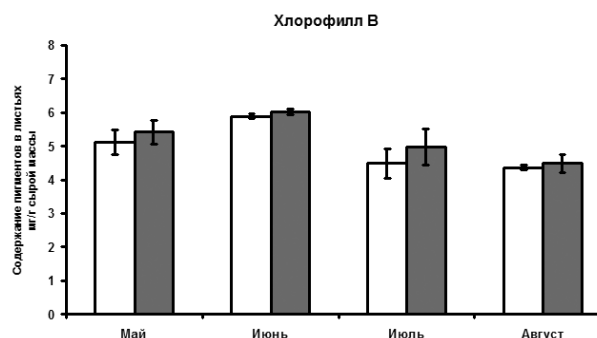


Рис. 6. Содержание хлорофилла *b* (мг/г) в листьях дуба черешчатого в условиях УПЦ

Содержание каротиноидов в листьях дуба в условиях загрязнения практически не изменяется в зависимости от местопроизрастания, но в целом незначительно больше по сравнению с контролем (рис. 7). Содержание каротиноидов в листьях дуба колеблется от $1,551 \pm 0,172$ мг/г сырой массы (минимальное значение за весь вегетационный период, август, условия загрязнения) до $2,632 \pm 0,0462$ мг/г сырой массы (максимальное значение за весь вегетационный период, июнь, условия загрязнения).

Сумма пигментов фотосинтеза в листьях дуба в условиях загрязнения выше по сравнению с контролем (рис. 8) и колеблется от $8,50 \pm 0,1255$ мг/г сырой массы (минимальное значение за весь вегетационный период, август, условия контроля) до $12,133 \pm 0,1854$ мг/г сырой массы (максимальное значение за весь вегетационный период, июнь, условия загрязнения).

Анализируя результаты следует отметить, что в структуре фотосинтетических пигментов первое место занимает хлорофилл *b*, на долю которого приходится примерно 50% всей массы пигментов. На долю хлорофилла *a* приходится примерно 30% от всех пигментов. На долю каротиноидов приходится примерно 20% массы пигментов. Известно, что каротиноиды выполняют протекторную функцию в организме растения.

Наши исследования показали, что содержание каротиноидов (по массе) в листьях березы и дуба в условиях загрязнения по сравнению с контролем возрастает незначительно, при этом в общей структуре пигментов их доля не повышается.

Это может свидетельствовать о том, что промышленное загрязнение с высокой углеводородной составляющей не вызывает значительных нарушений процесса синтеза фотосинтезирующих пигментов в листьях данных древесных пород.

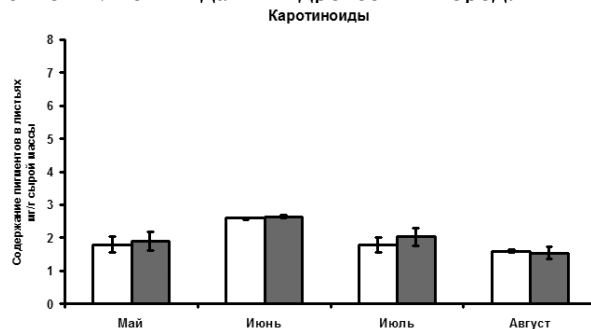


Рис. 7. Содержание каротиноидов (мг/г) в листьях дуба черешчатого в условиях УИЦ

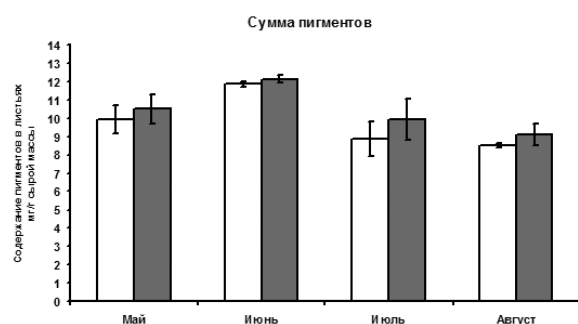


Рис. 8. Суммарное содержание пигментов фотосинтеза (мг/г) в листьях дуба черешчатого в условиях УИЦ

Данное предположение подтверждается так же тем фактом, что в условиях загрязнения не отмечается значительного уменьшения содержания пигментов фотосинтеза (что может свидетельствовать о разрушении пигментов под действием токсикантов), так и значительного увеличения содержания пигментов фотосинтеза (что может свидетельствовать о компенсаторных механизмах, направленных на снижение негативного воздействия загрязнения). Наши исследования показали, что содержание пигментов фотосинтеза в листьях

березы и дуба в условиях загрязнения в целом выше, но в данном случае можно говорить только о тенденции к увеличению, так как в большинстве случаев данное увеличение не достоверно (за исключением некоторых месяцев).

Выводы: исследования, проведенные в пределах УИЦ, показали, что загрязнение с углеводородной составляющей не оказывает значительного негативного воздействия на содержание фотосинтетических пигментов в листьях березы повислой и дуба черешчатого. Не отмечается значительного уменьшения или увеличения содержания пигментов фотосинтеза в листьях данных древесных пород в условиях промышленного загрязнения. Основную массу фотосинтетических пигментов составляет хлорофилл *b*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Беликов, П.С. Физиология растений. Монография / П.С. Беликов, Г.А. Дмитриева. – М.: РУДН, 1992. 248 с.
2. Белоус, В.К. Фотосинтез древесных растений в условиях токсикации сернистым газом: Автореф. дис. ...к.б.н. – М.: ИФР АН СССР, 1991. 20 с.
3. Гетко, Н.В. Растения в техногенной среде: Структура и функция ассимиляционного аппарата. Монография. – Минск: Наука и техника, 1989. 208 с.
4. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды в Республике Башкортостан в 2013 году. – Уфа, 2014. 336 с.
5. Илькун, Г.М. Загрязнители атмосферы и растения. Монография. – Киев: Наукова думка, 1978. 246 с.
6. Клейн, Р.М. Методы исследования растений. Монография / Р.М. Клейн, Д.Т. Клейн. – М.: Колос, 1974. 527 с.
7. Методы изучения лесных сообществ. Монография. – СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
8. Сергейчик, С.А. Древесные растения и оптимизация промышленной среды. Монография. – Минск, 1984. 167 с.
9. Сергейчик, С.А. Устойчивость древесных растений в техногенной среде. Монография. – Минск: Навука і тэхніка, 1994. 279 с.
10. Сукачев, В.Н. Программа и методика биогеоэкологических исследований. Монография. – М.: Наука, 1966. 333 с.

THE MAINTENANCE OF PHOTOSYNTHESIS PIGMENTS IN LEAVES OF EUROPEAN WHITE BIRCH (*BETULA PENDULA* ROTH) AND ENGLISH OAK (*QUERCUS ROBUR* L.) IN THE CONDITIONS OF UFA INDUSTRIAL CENTER

© 2015 D.F. Yashin¹, G.A. Zaitsev²

¹ Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla

² Ufa Institute of Biology RAS

Data on the maintenance of photosynthesis pigments in leaves of European white birch and English oak in the conditions of Ufa industrial center during the vegetative period are provided. It is shown that the maintenance of pigments (chlorophyll *a*, a chlorophyll *b* and carotenoids) in birch leaves in the pollution conditions in general is higher in comparison with control. The maintenance of pigments in oak leaves practically doesn't change depending on pollution.

Key words: photosynthesis, European white birch, English oak, pollution, Ufa industrial center

Dmitriy Yashin, Post-graduate Student; Gleb Zaitsev, Doctor of Biology, Associate Professor, Main Research Fellow. E-mail: smu@anrb.ru