

УДК 581.132

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЕТОВЫХ И ТЕНЕВЫХ ЛИСТЬЕВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ГОРОДА МАХАЧКАЛЫ

2015 М.Ю. Алиева, А.Т. Маммаев, М.Х.-М. Магомедова

Прикаспийский институт биологических ресурсов ДНЦ РАН

Поступила в редакцию 08.05.2015

Изучались пигментные показатели и флуоресцентные характеристики (квантовый выход флуоресценции F , максимальная флуоресценция F_m , квантовый выход фотосинтеза Y) световых и теневых листьев некоторых видов древесных растений в зависимости от степени антропогенной нагрузки на насаждения г. Махачкалы. Отмечено достоверное снижение фотосинтетической активности листьев при сочетанном воздействии инсоляции и высокой транспортной нагрузки, выявлено некоторое понижение максимальной флуоресценции у опытных образцов.

Ключевые слова: фотосинтез, древесное растение, световые и теневые листья, пигменты

Высокая степень воздействия антропогенных факторов характерна для урбанизированных территорий приводит к ослаблению растительного организма, преждевременному старению, снижению продуктивности, и подчас к гибели зеленых насаждений. Первыми в наибольшей степени повреждаются листья, осуществляющие интенсивный газообмен. Возможность выживания растений в городских условиях зависит от состояния фотосинтетического аппарата.

Сложная экологическая обстановка города отражается на фотосинтезе. От состояния фотосинтетического аппарата зависит возможность выживания растений в городе, их продуктивность. По мере усиления урбанизации среды изменения в строении ассимиляционного аппарата растения происходят на всех уровнях его организации, изменяются размеры листовых пластинок. В среднем у всех пород в городских условиях площади листьев в 2 раза меньше, чем в лесу. В насаждениях города теневые листья всех пород мельче, чем световые в лесу. Возрастают степень изрезанности поверхности листа и доля световых листьев в кроне. Значительно снижается ассимиляционная поверхность дерева. У городских растений отмечены изменения в анатомии листа, напоминающие ксероморфоз, а также уменьшение размеров хлоропластов, их числа, количества хлорофилла в листе. Уменьшение размеров хлоропластов ведет к уменьшению суммарной их поверхности и их суммарного объема с сохранением и даже увеличением

плотности хлоропластов в листе. Поверхность отдельного хлоропласта в листьях городских деревьев в 1,5-2,5 раза меньше, чем у деревьев в лесу [5]. У всех видов теневые листья утолщаются в большей степени, чем световые и приобретают хорошо выраженную световую структуру. С нарастанием влияния города отмечается общая для всех видов тенденция к редукции ассимилирующих структур и к снижению фотосинтетической мощности отдельного листа. Сильное сокращение рабочей фотосинтезирующей поверхности приводит к уменьшению создания и отложения органических веществ, нужных растению для роста, перезимовки, отрастания. Уровень сахаров в тканях понижается, соответственно, снижаются темпы накопления сухого вещества и роста растений [9]. Физиологическая устойчивость определяется низкой окисляемостью клеточного содержимого. Лиственные породы, у которых общая окисляемость меньше, обладают более высокой газоустойчивостью. Г.М. Илькуном и др. определены категории газоустойчивости для деревьев и кустарников по которым изучаемые нами клен остролистный (*Acer platanoides* L.), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*) отнесены к устойчивым [6].

Цель работы: изучение динамики содержания хлорофиллов а и b, каротиноидов, а также исследование флуоресцентных характеристик световых и теневых листьев некоторых видов древесных растений в зависимости от степени техногенной нагрузки на насаждения г. Махачкалы.

Методика исследования. Объектами исследования являлись древесные растения таких видов как клен остролистный (*Acer platanoides* L.) и ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*) часто используемые в городских посадках. Махачкала расположена на побережье Каспийского моря в

Алиева Мисиду Юсуфовна, научный сотрудник лаборатории экологической биофизики. E-mail: misidunika@mail.ru
Маммаев Абдурахман Татаевич, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией экологической биофизики. E-mail: eroha09@mail.ru

Магомедова Милана Хан-Магомедовна, научный сотрудник лаборатории экологической биофизики. E-mail: milan-rom@mail.ru

континентальной области умеренного пояса. Среднегодовая температура в городе +12,4°C. Зима в Махачкале теплая и очень мягкая. После нестабильной весны наступает продолжительное и жаркое лето, безветренное и сухое. Среднемесячная температура воздуха в июле +24,7°C, в августе +24,5°C. Максимальные среднесуточные температуры воздуха составляют для июня +36,1°C, а для июля и августа +38,7°C. Годовая норма осадков 330-360 мм. Ветра преимущественно юго-восточные и северо-западные.

Для исследований были выбраны деревья, произрастающие на двух участках с различной степенью транспортной нагрузки: опытный – ул. М.Гаджиева; контрольный – парк им. Ленинского комсомола. На каждой пробной площади были выбраны визуально неповрежденные деревья, находящиеся в одинаковых условиях освещенности и увлажнения. Для каждой из древесных пород изучались особи примерно одного возраста, для соблюдения идентичности метеорологических условий измерения проводились в утренние часы одного дня. Исследования проводились в период физиологической и вегетативной активности объектов. Отбор теневых и световых листьев для определения пигментов и измерения флуоресцентных характеристик в каждом варианте проводился в четырехкратной повторности.

Измерение параметров флуоресценции проводилось на портативном хлорофилл-флуориметре MINI-PAM Yeinz Walz. GmbH. Потенциальный квантовый выход фотохимического превращения энергии рассчитывали с помощью уравнения предложенного Дженти (Genty) с соавторами в 1989 г.

$$YIELD = (Fm' - F) / Fm' = \Delta F / Fm'$$

Количественное определение пигментов на спектрофотометре СФ-26. Концентрацию определяли по формуле Н.К. Lichtenthaler 1987 г. Математическую обработку материалов провели с применением статистического пакета «Statistica 6».

Результаты исследования. Изучались фотосинтетические характеристики световых и теневых листьев древесных растений произрастающих в экологически благоприятных условиях урбанизированной среды (контроль) и на территориях с высокой степенью транспортной нагрузки (опыт). Определялся их пигментный состав. Известно, что у деревьев и кустарников листья, находящиеся при полном зазеленении кроны в условиях более яркого освещения (световые листья), отличаются по строению от

затененных, находящихся внутри кроны или в нижней ее части (теневых) листьев. Листья световые (расположенные на периферии кроны) даже внешне отличаются от теневых большей толщиной и жесткостью. Во внутреннем строении световых и теневых листьев также отмечаются большие различия. По внутреннему строению световые листья отличаются от теневых следующими особенностями: клетки кожицы их имеют менее извилистые очертания и более толстостенны; они относительно беднее хлорофиллом; число устьиц на единицу поверхности листа более высоко; ассимиляционная ткань, особенно палисадная, более мощна [1].

Теневая или световая структура листа древесных растений часто определяется условиями освещения предыдущего года, когда закладываются почки: если закладка почек идет на свету, то формируется световая структура, и наоборот. Если в одном и том же местообитании закономерно периодически изменяется световой режим, растения в разные сезоны могут проявлять себя то, как светолюбивые, то, как теневыносливые.

Известно, что в большинстве случаев у световых и теневых листьев имеются существенные морфологические различия и различия в механизме фотосинтеза. Световые листья, как правило, мельче и толще и имеют больший объем и больше хлорофилла на единицу поверхности, чем теневые листья. Кроме того, у них обычно более низкое сопротивление мезофилла и устьичное сопротивление диффузии CO₂. Благодаря этому световые листья имеют более высокую интенсивность фотосинтеза на единицу листовой поверхности и достигают светового насыщения при большей интенсивности света, чем теневые листья. На биохимическом уровне более толстые световые листья содержат больше карбоксилирующих ферментов и больше переносчиков электронов на единицу листовой поверхности, чем теневые листья [8].

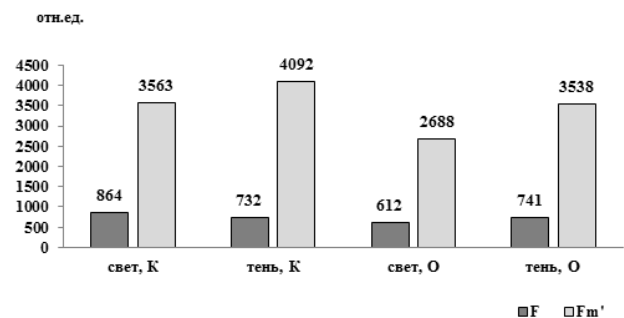


Рис. 1. F – квантовый выход флуоресценции и Fm – максимальная флуоресценция световых и теневых листьев *Acer platanoides* L. (О – опыт, К – контроль)

Отмечено что, теневые листья интенсивнее флуоресцируют, обладают более чувствительной к свету фотосинтетической системой. Особенно этот эффект выражен у опытных образцов подверженных дополнительной нагрузке ингибирующими ФСП выбросами автотранспорта (рис. 1 и 2). Если максимальная флуоресценция теневых листьев контрольных образцов отличается не значительно, то у опытной группы Клена остролистного F_m теневых листьев выше на 15% относительно световых. Для ясеня обыкновенного эта разница составила 7% для опытных образцов и 6% у контрольной группы деревьев (рис. 2). Не велика разница между показателями максимальной флуоресценции у контрольных и опытных групп ясеня, что возможно, связано с такой видовой характеристикой этого вида, как газоустойчивость (по Илькун Г.М. и др.).

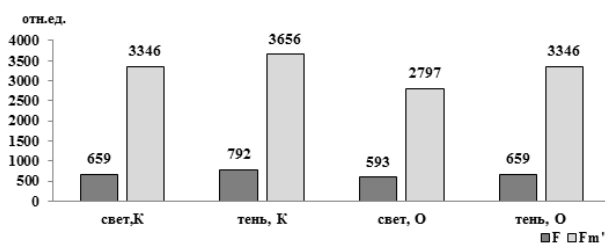


Рис. 2. F – квантовый выход флуоресценции и F_m – максимальная флуоресценция световых и теневых листьев *Fraxinus excelsior* (О – опыт, К – контроль)

Необходимо отметить относительно равные показатели квантового выхода флуоресценции для исследуемых групп растений, однако световые листья ясеня обыкновенного в обеих группах и опытного образца клена остролистного флуоресцируют несколько меньше контрольных, тогда как F у световых листьев контрольной группы клена этот показатель выше, чем у теневых. Интенсивность фотосинтеза древесных растений широко варьирует в зависимости от взаимодействия многих внешних и внутренних факторов, причем эти взаимодействия изменяются во времени и различны у разных видов.

При сравнении квантового выхода фотосинтеза у теневых листьев клена остролистного и ясеня обыкновенного в парковой зоне и на проспекте отчетливо наблюдаем высокие величины этого показателя у опытных образцов, тогда как у контрольных он несколько ниже (рис. 3). У световых же листьев ясеня и клена, произрастающих вблизи проспекта, отмечается достоверное снижение фотосинтетической активности в сравнении с контрольными световыми листьями (0,785 и 0,770 - 0,812 и 0,793 соответственно). Величина $Y(II)$ световых листьев контрольной группы несколько выше, чем у теневых, тогда как у опытных образцов теневые листья обладают более высокой фотосинтетической активностью (рис. 3).

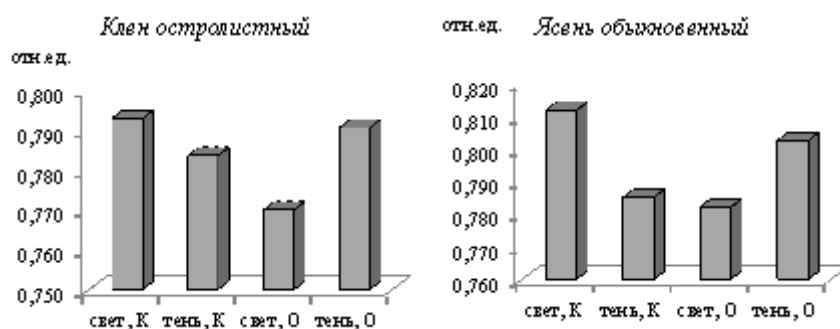


Рис. 3. Фотосинтетическая активность ($Y(II)$) световых и теневых листьев *Acer platanoides L.* и *Fraxinus excelsior* (О – опыт, К – контроль)

Некоторыми авторами отмечено, что на интенсивность фотосинтеза оказывает влияние повреждающее действие газов и оседающая на поверхность растений пыль, выделяемая многими видами производства. По данным Илькуна, у запыленных растений на 5-14% меньше поглощение наиболее активных для фотосинтетической деятельности лучей спектра, а не участвующих в фотосинтезе лучей на 25-33% больше.

Генкель отмечает, что виды растений, имеющие более интенсивный фотосинтез, сильнее повреждаются, чем виды, обладающие менее интенсивным газообменом, под влиянием сернистого газа. У загрязняющих веществ часто наблюдается синергизм. При этом даже переносимый уровень отдельного вещества может повреждать их в присутствии небольшого количества другого загрязняющего вещества. [4].

Функциональные различия теневых и световых листьев определяются необходимостью повышения чувствительности к свету и более полной утилизации его энергии при фотосинтезе в одном случае и «борьбы» с избыточным световым потоком в остальных случаях. Защита от фоторазрушения проявляется в снижении чувствительности ФС2 к свету и регуляции потока электронов [2]. Необходимо учесть дополнительное воздействие повреждающих факторов, влияющих на фотосинтетическую систему опытных образцов произрастающих у условий повышенной транспортной нагрузки. Степень подавления фотосинтеза у растений определяется токсичностью и продолжительностью воздействия загрязнителей, и у разных видов проявляется неоднозначно, зачастую приводя к изменению анатомической структуры листьев. На фотосинтез существенное влияние оказывает световой режим. Свет высокой интенсивности подавляет фотосинтез и вызывает разрушение пигментных комплексов [3].

Изучалась динамика содержания хлорофиллов а и b, каротиноидов в световых и теневых листьях древесных растений в зависимости от степени транспортной нагрузки на насаждения г. Махачкалы. Главными внешними факторами, влияющими на образование и сохранение хлорофилла, являются: свет, температура, минеральное питание, вода и кислород. Синтез хлорофилла очень чувствителен почти к любому фактору, нарушающему метаболические процессы. В исследованиях некоторых авторов получены данные, которые показали, что в листьях древесных растений в исследованных биотопах на техногенных территориях возрастает как суммарное содержание, так и концентрация отдельных пигментов. На пример в листьях березы при развитии в экстремальных условиях отмечается увеличение суммы пигментов за счет каротиноидов и хлорофилла b, при этом содержание хлорофилла а сокращается [7]. В наших исследованиях отмечено некоторое повышение содержания хлорофилла b и каротиноидов при довольно стабильном показателе хлорофилла а (рис. 4). Наблюдается некоторое возрастание суммарного содержания фотосинтетических пигментов у опытной группы растений обоих исследуемых видов. Такая же тенденция наблюдалась в наших исследованиях 2011-2013 гг. в ходе изучения транспортной нагрузки на такие виды как, Робиния псевдоакация и Платан восточный.

При изучении количественного и качественного пигментного состава листьев клена остролистного (*Acer platanoides* L.) и ясеня обыкновенного (*Fraxinus excelsior*) не отмечено существенного отличия в содержании хлорофилла а

относительно хлорофилла b у образцов произрастающих в экологически благоприятных условиях. У теневых листьев опытных образцов содержание Хл а по отношению к Хл b не отличалось от остальных исследуемых групп, однако общее содержание фотосинтетических пигментов в этих листьях выше чем у световых. Содержание каротиноидов у образцов, произрастающих на территории с повышенной транспортной нагрузкой, незначительно повышено по отношению к контрольным.

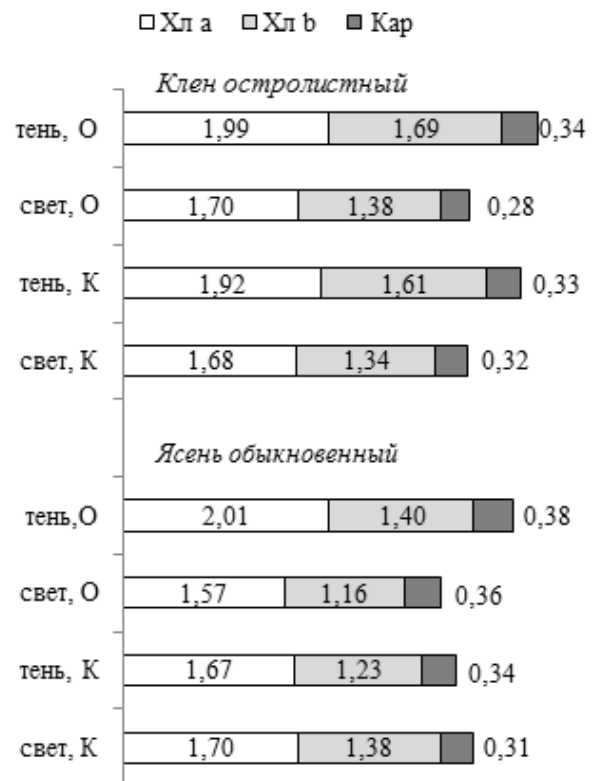


Рис. 4. Содержание хлорофилла (a,b) и каротиноидов в листьях ясеня обыкновенного и клена остролистного (О – опыт, К – контроль)

Выводы:

1. Теневые листья у изучаемых видов интенсивнее флуоресцируют, максимальная флуоресценция теневых и световых листьев деревьев произрастающих на опытных участках с высоким показателями выброса автотранспорта ниже, чем у контрольных. Это характерно для всех изучаемых видов, относящихся к категории газоустойчивых.

2. У световых листьев ясеня и клена произрастающих вблизи проспекта отмечается достоверное снижение фотосинтетической активности в сравнении со световыми листьями контрольной группы. Сочетанное воздействие интенсивной инсоляции и высокой транспортной нагрузки снижает уровень квантового выхода фотосинтеза исследуемых групп растений.

3. По всем изучаемым флуоресцентным характеристикам *Acer platanoides* L. и *Fraxinus excelsior* демонстрируют устойчивость к высокой инсоляции и загрязняющим факторам среды.

4. Изучение флуоресцентных характеристик и других физиологических показателей городских древесных растений лежит в основе экологического мониторинга и может быть использовано для выявления экологической обстановки в городе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ботаника. Т. 1. Строение типичного зеленого листа <http://6y.ru/B5052Part54-199.shtml>
2. Бухарина, И.Л. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде / И.Л. Бухарина, Т.М. Поварничина, К.Е. Ведерников. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2007. 216 с.
3. Быков, А.А. Моделирование загрязнения атмосферы и экологическое зонирование территории г. Кеморо / А.А. Быков, О.А. Неверова // Инженерная экология. 2002. № 6. С. 25-32.
4. Генкель, П.А. Физиология растений. – М., 1975. 335 с.
5. Горышина, Т.К. Растения в городе. – Л., Изд-во ЛГУ, 1991. 148 с.
6. Илькун, Г.М. Газоустойчивость растений: вопросы экологии и физиологии. – Киев: Наукова думка, 1971. 146 с.
7. Кулагин, А.А. Реализация адаптивного потенциала древесных растений в экстремальных лесорастительных условиях: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Уфа-Тольятти, 2006. 32 с.
8. Особенности светолюбивых и теневыносливых растений. <http://biofile.ru/bio/4607.html>
9. Хмелевская И.А. Эколого-физиологические исследования древесных пород в г. Пскове // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки. 2008. Вып. № 6. С. 37-57.

THE PHOTOSYNTHETIC CHARACTERISTICS OF LIGHTING AND SHADY LEAVES OF WOODY PLANTS IN MAKHACHKALA CITY

© 2015 M.Yu. Alieva, A.T. Mammaev, M.H.-M. Magomedova

Pre-Caspian Institute of Biological Resources Dagestan Scientific Center RAS

Were studied pigments indicators and fluorescent characteristics (fluorescence quantum yield F, maximum fluorescence Fm, quantum yield of photosynthesis Y) of lighting and shady leaves of some species of woody plants, depending on the degree of anthropogenic loading on plantings in Makhachkala city. It was noted decrease in photosynthetic activity of the leaves with combination of insolation and high transport load, detected a reduction of maximum fluorescence in experienced samples.

Key words: *photosynthesis, woody plants, light and shadow leaves, pigments*

Misidu Alieva, Research Fellow at the Laboratory of Ecological Biophysics. E-mail: misidunika@mail.ru
Abdurakhman Mammaev, Candidate of Biology, Head of the Laboratory of Ecological Biophysics. E-mail: epoha09@mail.ru
Milana Magomedova, Research Fellow at the Laboratory of Ecological Biophysics. E-mail: milan-rom@mail.ru