

Новые возможности в оценке состояния растений

Н. Г. АКИНШИНА, А. А. АЗИЗОВ, Т. А. КАРАСЕВА*, Э. КЛОЗЕ*

Национальный университет Узбекистана
100174, Узбекистан, Ташкент, Вузгородок,
E-mail: nat_akinshina@mail.ru

*INNO-Concept GmbH,
Garzauer Chaussee (STIC), D - 15344 Strausberg, Germany
E-mail: ceo@inno-concept.de, www.inno-concept.de

АННОТАЦИЯ

Фирмой INNO-Concept GmbH (Германия) создан прибор PlantVital®5000, принцип работы которого основан на непосредственной регистрации концентрации молекулярного кислорода в среде электродом Кларка (патент DE 43 32 290 Deutsches Patentamt). Данное устройство предназначено для измерения скорости чистой продукции O_2 в процессе фотосинтеза и скорости потребления O_2 в процессе дыхания (“темнового”). Предлагается использовать коэффициент фотосинтетической эффективности (отношение скорости продукции кислорода к скорости его потребления в единицу времени с единицы поверхности) для целей биомониторинга в качестве надежного показателя физиологического состояния определенного вида растения в конкретных условиях среды обитания.

Дыхание и фотосинтез относятся к важнейшим физиологическим процессам в жизни растений. Скорость дыхания и фотосинтетическая активность являются общепринятыми показателями оценки состояния растений, но следует заметить, что интенсивность дыхания и фотосинтеза характеризует состояние растения в конкретный момент. Связано это с тем, что большая группа внутренних и внешних факторов (таких как возраст растения, видовая специфичность, свет, температура, загрязнение среды, плодородие почвы, влажность и др.) способны оказывать сильное влияние на оба процесса [1–3].

Фотосинтез – это процесс трансформации поглощенной солнечной энергии в химическую энергию органических соединений, при котором происходит восстановление CO_2 до углеводов и выделяется кислород. Дыхание – процесс освобождения запасенной в питательных веществах химической энергии и исполь-

зование ее в метаболизме клетки, при этом происходит поглощение кислорода и выделение углекислоты [1–4].

Согласно современным представлениям, одновременно с фотосинтезом в листе происходят стимулируемое светом выделение углекислоты и поглощение кислорода, гораздо более активные, чем при «темновом» дыхании (рис. 1) [1, 5]. Многие авторы называют этот процесс фотодыханием. Если интенсивность “темнового” дыхания обычно составляет 5–7 % от фотосинтетического газообразования, то интенсивность фотодыхания – около половины.

Таким образом, дыхание и фотосинтез – параллельные разнонаправленные физиологические процессы, и продукты одного могут быть субстратом или, наоборот, лимитирующим фактором для другого.

Высокая чувствительность процессов дыхания и фотосинтеза к действию различных

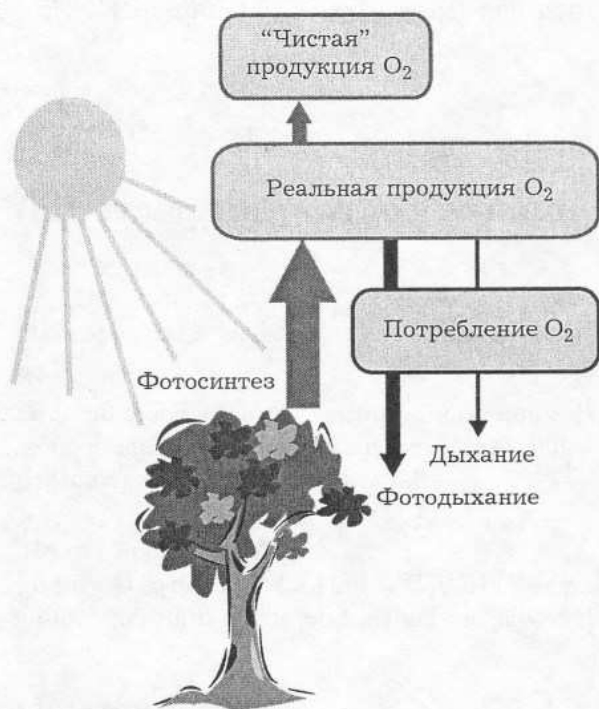


Рис. 1. Упрощенное представление о процессах продукции и потребления кислорода зеленым растением

факторов среды обитания является основанием для применения этих показателей в целях биомониторинга состояния окружающей среды.

Наиболее часто фотосинтетическую активность растений измеряют по убыли углекислого газа в среде. В противовес этой стандартной методике фирмой INNO-Concept GmbH (Германия) создан прибор PlantVital®5000, работа которого основана на прямой регистрации концентрации молекулярного кислорода в среде. С его помощью можно легко и быстро измерять фотосинтетическую активность и скорость дыхания как в полевых, так и в лабораторных условиях. Проведенные нами предварительные исследования позволяют предположить, что интенсивность газообмена – слишком экологически лабильный показатель. Невозможно на основании снижения/повышения интенсивности фотосинтеза или дыхания однозначно сделать вывод об ухудшении/улучшении физиологического состояния растений. В связи с этим нами предлагается другой показатель для оценки состояния растения и качества среды его обитания – коэффициент фотосинтетической эффективности – отношение скорос-

ти фотосинтеза к скорости темнового дыхания. Этот относительный коэффициент объединяет в себе характеристику двух важнейших физиологических процессов в жизни растений и объективнее, чем интенсивность газообмена, отражает физиологическое состояние данного вида растения в данном местообитании.

Цель данной работы – изучение видовой специфичности скорости процессов дыхания и фотосинтеза у некоторых представителей древесной и кустарниковой растительности, произрастающих на территории г. Ташкента, а также исследование возможности использования коэффициента фотосинтетической эффективности ($K_{фэ}$) в качестве объективного показателя физиологического состояния растений и в целях биомониторинга состояния городской среды.

МЕТОДЫ РАБОТЫ

Исследования проводили с применением прибора “PlantVital®5000” фирмы INNO-Concept GmbH¹ (Германия) (рис. 2), способного регистрировать продукцию и потребление O_2 зелеными растениями. Метод измерения отличается простотой, высокой чувствительностью и воспроизводимостью (патент DE 4332290 Deutsches Patentamt).

Принцип измерения основывается на непосредственном контакте кислородного электрода типа Кларка с поверхностью анализируемых объектов. Под воздействием света определенной длины волны регистрируется выделяющийся при фотосинтезе кислород, а

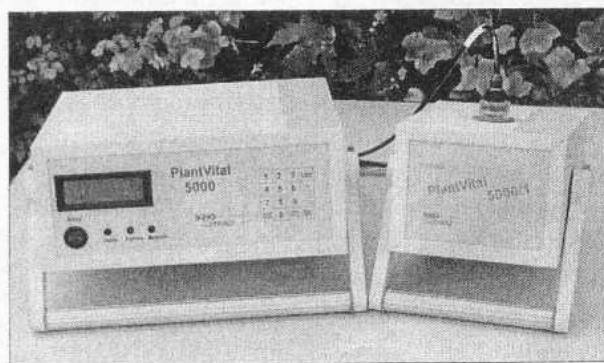


Рис. 2. Внешний вид прибора “PlantVital®5000”

¹Технические характеристики и другая полезная информация о приборе размещены на сайте www.plantvital.de.

в условиях темноты регистрируется поглощение кислорода анализируемым объектом. Длина волны света (630–650 нм) и температура (15–35 °С) поддерживаются постоянными. Измерение производится в среде, способствующей оптимальному фотосинтетическому процессу. Ошибка параллельных измерений – менее 10 %.

Для эксперимента использовали высежку свежего листа d 3–5 мм, которую помещали в измерительную ячейку со специальной средой для непосредственного контакта с сенсором. Время измерений – от 10 до 30 мин (в зависимости от специфики объекта измерения или поставленной задачи). Результаты измерений передавались на компьютер, обрабатывались и представлялись в графическом виде или в формате Excel.

Программа для обработки результатов измерений автоматически рассчитывает скорости изменения концентрации кислорода в ячейке. Скорости процессов “дыхания” (потребления кислорода в темноте) и “фотосинтеза” (чистой продукции кислорода на свету) являются показателями уровня газообмена растения и характеризуют его физиологическое состояние.

Исследовали листья следующих представителей зеленых насаждений г. Ташкента: Дуб черешчатый (*Quercus robur*), Платан восточный (*Platanus orientalis*), Каталпа обыкновенная (*Catalpa bignonioides*), Клен ясенелистный (*Acer campestre*), Ясень американский (*Fraxinus americana*), Робиния ложноакациевая (*Robinia pseudoacacia*), Шелковица белая (*Morus alba*), Орех грецкий (*Juglans regia*), Софора японская (*Sophora japonica*), Бирючина обыкновенная (*Ligustrum vulgare*), Вяз приземистый (*Ulmus pumila* L.), Айлант высочайший (*Ailantus altissima*), Вишня (*Cerasus vulgaris* Mill.), Инжир (*Ficus carica* L.). Проанализировано более 400 образцов растительности г. Ташкента. Полученные данные подвергались стандартной статистической обработке. Каждая точка, представленная на диаграммах, или числовое значение в таблице является усредненным результатом как минимум 15 измерений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведено несколько серий экспериментов по изучению видовых особенностей про-

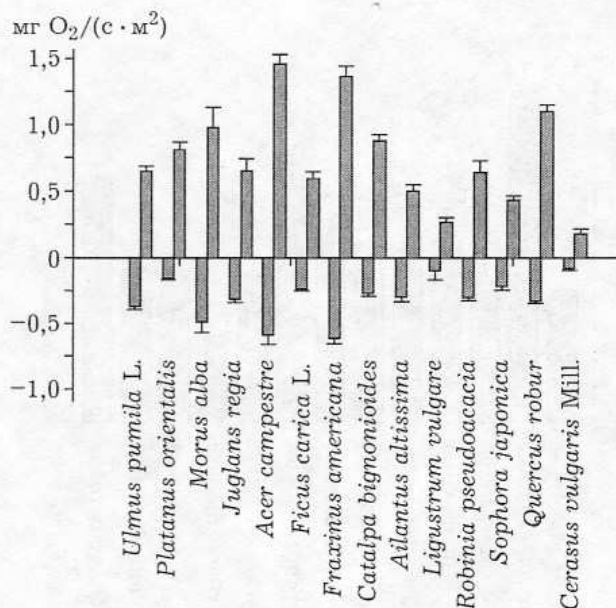


Рис. 3. Скорость чистой продукции кислорода и интенсивности темнового дыхания у листьев некоторых видов растительности г. Ташкента.

Образцы растений для этой серии экспериментов отбирали с территории метеостанции “Ташкент”, которая считается фоновой точкой города по своим метеорологическим показателям и уровню загрязнения окружающей среды; отбор проб проводили в утренние часы в мае–июне 2004–2005 гг.

цессов дыхания и фотосинтеза у растений, произрастающих в Ташкенте. Измеряли скорости потребления и чистой продукции кислорода с единицы поверхности свежего листа в единицу времени. Результаты измерений представлены на рис. 3.

Обнаружено, что наибольшей фотосинтетической активностью на территории Ташкента обладают такие древесные породы, как Дуб черешчатый, Ясень американский, Клен ясенелистный, Платан восточный, Шелковица белая и Каталпа обыкновенная. При этом у Шелковицы белой, Клена ясенелистного и Ясеня американского наблюдались самые высокие скорости потребления кислорода в процессе темнового дыхания.

Коэффициенты фотосинтетической эффективности для исследованных видов растений в условиях городской среды представлены на рис. 4. Выявлено, что наибольшим $K_{фз}$ обладают Платан восточный, Каталпа обыкновенная и Дуб черешчатый.

Согласно литературным данным, под действием неблагоприятных факторов среды обитания, в условиях антропогенного стресса у растений часто происходит сдвиг в соотно-

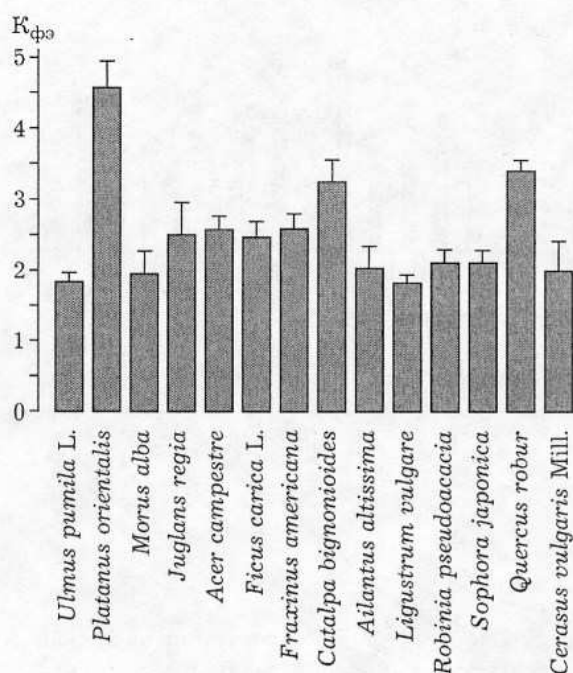


Рис. 4. Коэффициенты фотосинтетической эффективности некоторых видов растительности г. Ташкента.

Коэффициент фотосинтетической эффективности ($K_{фэ}$) рассчитывали как отношение скорости чистой продукции кислорода ($mgO_2/(c \cdot m^2)$) к скорости потребления кислорода в процессе "темнового" дыхания ($mgO_2/(c \cdot m^2)$)

шении процессов дыхания и фотосинтеза в сторону увеличения процессов потребления и уменьшения процессов синтеза O_2 [1, 6].

В качестве примера рассмотрим результаты исследования физиологического состояния некоторых декоративных видов растительности Ташкента, произрастающих в разных условиях: 1 – внутри жилого микрорайона, скрытого зданиями и зелеными насаждениями от прямого воздействия дороги (ме-

теостанция "Ташкент"); 2 – вдоль узкой напряженной автодороги (ул. Муртазаева) в условиях плохой продуваемости и повышенного загрязнения атмосферного воздуха (см. таблицу).

Полученные результаты выявили достоверное снижение фотосинтетической активности (на 58 %) и повышение процессов потребления кислорода (на 78 %) у Бирючины обыкновенной, растущей вдоль автомобильной дороги, по сравнению с тем же видом из микрорайона. У Платана восточного, Катальпы обыкновенной, Клена ясенелистного, Софоры японской и Ясеня американского в условиях ухудшения качества среды обитания наблюдалось снижение процессов продукции кислорода (на 42, 40, 17, 33 и 17 % соответственно) при сохранении процессов потребления примерно на прежнем уровне. Изменения показателей дыхания и фотосинтеза у вяза приземистого в разных условиях обитания оказались незначительными.

Рассчитанные для каждого вида коэффициенты фотосинтетической эффективности показали, что они более наглядно отражают изменения состояния исследуемых растений.

Для растений вдоль дороги характерно уменьшение $K_{фэ}$ по сравнению с растениями из жилого района (рис. 5); например, у Платана восточного $K_{фэ}$ снизился на 43 %, у Софоры японской, Катальпы обыкновенной и Бирючины обыкновенной – на 38, 41 и 76 % соответственно. Это может служить объективным свидетельством ухудшения их физиологического состояния в условиях отсутствия полива, высокой запыленности и загазованности территории.

Продукция и потребление кислорода ($mgO_2/(c \cdot m^2)$) листьями растений в зависимости от условий произрастания

Вид	1		2	
	Потребление	Продукция	Потребление	Продукция
<i>Platanus orientalis</i>	-0,190 ± 0,03	0,810 ± 0,07	-0,193 ± 0,02	0,467 ± 0,09
<i>Acer campestre</i>	-0,593 ± 0,04	1,461 ± 0,06	-0,598 ± 0,06	1,21 ± 0,10
<i>Fraxinus americana</i>	-0,546 ± 0,06	1,299 ± 0,10	-0,563 ± 0,07	1,07 ± 0,16
<i>Sophora japonica</i>	-0,240 ± 0,02	0,434 ± 0,02	-0,261 ± 0,02	0,292 ± 0,02
<i>Ulmus pumila</i> L.	-0,395 ± 0,02	0,667 ± 0,04	-0,321 ± 0,03	0,618 ± 0,05
<i>Catalpa bignonioides</i>	-0,252 ± 0,02	0,772 ± 0,06	-0,258 ± 0,03	0,467 ± 0,06
<i>Ligustrum vulgare</i>	-0,151 ± 0,02	0,268 ± 0,03	-0,269 ± 0,01	0,113 ± 0,02

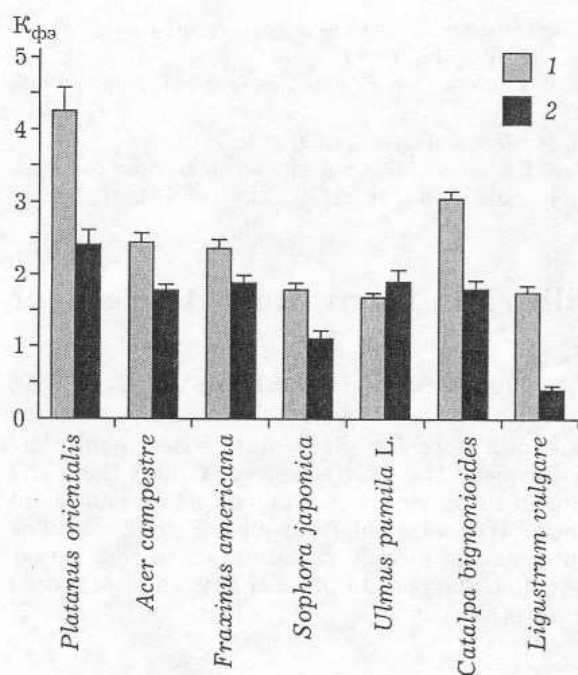


Рис. 5. Коэффициенты фотосинтетической эффективности у растений в разных условиях произрастания: 1 – жилой район, 2 – вдоль напряженной непродуваемой дороги

Таким образом, $K_{фз}$ может применяться для объективной оценки физиологического состояния растения в данный момент в данном месте обитания в целях биомониторинга качества окружающей среды. Следует отметить, что $K_{фз}$ – видоспецифичен и очень чувствителен по отношению к факторам среды обитания. Очевидно, что у растений, произрастающих в сложных условиях городской среды, он ниже, чем у тех же видов, произрастающих в естественных местообитаниях или в хороших условиях выращивания и ухода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе полученных экспериментальных данных можно рекомендовать прибор Plant-Vital®5000 немецкой фирмы INNO-Concept GmbH для оценки физиологического состояния растений и качества среды их обитания. В работе представлены результаты исследований с его помощью фотосинтетической активности и интенсивности “темнового” дыхания у 14 видов декоративных деревьев и кустарников, произрастающих в Ташкенте. Полученные результаты позволили выя-

вить растения, обладающие наибольшей фотосинтетической активностью в данных условиях обитания, – Дуб черешчатый, Ясень американский, Клен ясенелистный, Платан восточный, Шелковица белая, Катальпа обыкновенная. Обнаружено, что Клен ясенелистный, Ясень американский и Шелковица белая обладают и самыми высокими скоростями поглощения кислорода в процессе “темнового” дыхания.

В работе предлагается новый подход к обработке данных, получаемых с помощью прибора PlantVital®5000. В качестве показателя физиологического состояния растений рекомендуется коэффициент фотосинтетической эффективности растения, который представляет собой отношение скорости чистой фотосинтетической продукции кислорода к скорости потребления кислорода в процессе “темнового” дыхания, поскольку он гораздо объективнее отражает состояние растения, обобщая характеристики двух важнейших физиологических процессов – фотосинтеза и дыхания. В работе рассчитаны $K_{фз}$ для 14 исследованных видов городской растительности. Показано, что наибольшие коэффициенты фотосинтетической эффективности характерны для Платана восточного, Дуба черешчатого и Катальпы обыкновенной.

Область практического применения прибора и рассчитываемого с его помощью коэффициента весьма широка. На основании изменения $K_{фз}$ в разных условиях произрастания растений можно делать выводы о качестве среды обитания, а также об устойчивости того или иного вида к определенным факторам среды. Можно оценивать эффективность биодобавок, удобрений, разрабатывать режимы ухода за растениями, оценивать влияние токсических веществ и т. д. Кроме того, необходимо учитывать $K_{фз}$ при научно обоснованном планировании озеленения территорий, особенно детских и оздоровительных учреждений.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. Д. Крамер, Т. Т. Козловский, Физиология древесных растений, М., Лесная пром-сть, 1983, 362–375.

2. А. Т. Мокронос, В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова, Ред. И. П. Ермаков, Фотосинтез. Физиолого-экологические и биохимические аспекты, М., Академия, 2006.
3. П. Рейвн, Р. Эверт, С. Айкхорн, Современная ботаника, Пер. с англ. под ред. акад. А. Л. Тахтаджяна, М., Мир, 1990, т. 1, 95–110. (Peter H. Raven, Ray F. Evert, Susan E. Eichhorn, Biology of plants, Worth publishers, inc., 1986).
4. В. В. Климов, Сорос. образовательный журн., 1996, 8, 6–13.
5. В. И. Чиков, Там же, 1996, 11, 2–8.
6. Т. К. Горышина, Фотосинтетический аппарат растений и условия среды, Л., ЛГУ, 1989, 152–158, 172–175.

Novel Possibilities in Plant State Assessment

N. G. AKINSHINA, A. A. AZIZOV, T. A. KARASEVA, E. KLOZE

Photosynthesis and respiratory rates are the standard indicators for plant state assessment. The photosynthetic activity is often measured by metering CO_2 decrease. The INNO-Concept GmbH Company (Germany) has produced "PlantVital[®]5000" device. Functioning of the device is based on direct measurement of oxygen from fresh leaf surface using oxygen Clark-sensor (DE 4332290 Deutsches Patentamt). The device can be used for metering O_2 production in photosynthesis and also O_2 consumption in respiration. The Photosynthetic Efficiency Coefficient (a ratio of the production and consumption of oxygen) is proposed as an objective index of vegetation state for biomonitoring purposes.