

УДК 454.474

*Н.Б. Светлова, В.А. Стороженко, О.А. Футорна, В.А. Баданина,
О.В. Тищенко, И.Г. Ольшанский, Н.Ю. Таран*

**ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
МОДЕЛЬНЫХ ВИДОВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ
ДЛЯ ПРЕОДОЛЕНИЯ «ГОРОДСКОГО ОСТРОВА
ТЕПЛА» ПО ПАРАМЕТРАМ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО
СОСТОЯНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА***

Введение

Определение функционального состояния древесных видов растений способствует установлению их адаптивного потенциала и позволяет оценить перспективность использования этих видов в качестве компонента урбофлоры для понижения температуры окружающей среды и предупреждения формирования эффекта «городского острова тепла».

Эффективность энергетических и метаболических процессов, происходящих в растительном организме, определяет конкурентоспособность вида, темп его развития и, в конечном счете, устойчивость вида к стрессовым нагрузкам. Прогнозировать жизнеспособность древесных видов растений в урбоэкосистемах крупных городов можно на основе диагностики состояния их ассимиляционного аппарата.

Фотосинтетические пигменты в комплексе с белками тилакоидных мембран хлоропластов осуществляют первичные фотохимические реакции, которые заключаются в улавливании квантов солнечного света и трансформации поглощенной энергии в энергию возбуждения молекул хлорофилла. Интенсивность фотосинтеза в значительной степени зависит от содержания в листьях фотосинтетических пигментов. Содержание пигментов и их состояние определяют развитие и активность фотосинтетического аппарата, а также устойчивость, жизнеспособность и продуктивность растений [1].

Проведена оценка функционального состояния фотосинтетического аппарата древесных растений на примере модельных видов из коллекции Ботанического сада имени акад. А.В. Фомина КНУ имени Тараса Шевченко. Были поставлены следующие задачи:

- исследование содержания и соотношения фотосинтетических пигментов (хлорофиллов) в листьях модельных видов древесных растений;
- исследование суммарного содержания каротиноидов;
- изучение функциональных характеристик фотосинтетической активности (ФСА) листьев растений методом индукции флуоресценции хлорофилла (ИФХ).

* Работа выполнена при поддержке Государственного фонда фундаментальных исследований по конкурсному проекту Ф 76 / 37497 «Разработка стратегии преодоления «городского острова тепла» урболандшафтами Киева на основе подбора стресс-толерантных видов мировой флоры», грант 0117U001999.

© Н.Б. СВЕТЛОВА, В.А. СТОРОЖЕНКО, О.А. ФУТОРНА, В.А. БАДАНИНА, О.В. ТИЩЕНКО, И.Г. ОЛЬШАНСКИЙ, Н.Ю. ТАРАН, 2018

Для исследования в качестве модельных были отобраны 14 деревьев разных видов. Размеры, площадь контуров, высота деревьев приведены в работе [2], посвященной дистанционному мониторингу древесных видов растений ботанического сада с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и использования спутниковых данных в условиях «городского острова тепла».

Объекты и методы исследования

Для исследования отбирали листья модельных видов древесных растений коллекции Ботанического сада имени акад. А.В. Фомина КНУ имени Тараса Шевченко на высоте 1,00–1,30 м от поверхности почвы (нижний ярус) и 2,50–2,80 м (средний ярус) в утренние часы (рис. 1), где 1 — *Acer rubrum*; 2 — *Acer velutinum*; 3 — *Catalpa fargesii*; 4 — *Catalpa ovata*; 5 — *Catalpa speciosa*; 6 — *Ginkgo biloba* ♀ (женское растение); 7 — *Ginkgo biloba* ♂ (мужское растение); 8 — *Liriodendron chinensis*; 9 — *Magnolia acuminata*; 10 — *Magnolia kobus*; 11 — *Magnolia denudata*; 12 — *Magnolia soulangeana*; 13 — *Pinus pallasiana*; 14 — *Pinus ponderosa*.



Рис. 1

Содержание хлорофиллов и общей суммы каротиноидов определяли с помощью растворителя диметилсульфоксида (ДМСО) [3].

Высечки из листьев исследуемых растений переносили в стеклянные пробирки с 10 мл диметилсульфоксида и закрывали притертыми крышками. Пробирки инкубировали на водяной бане при температуре 63°C в течение трех часов до полной экстракции пигментов.

Оптическую плотность исследуемых экстрактов измеряли на спектрофотометре Shimadzu UV-1800 на длинах волн D_{665} , D_{649} и D_{480} в отличие от раствора ДМСО без экстракта.

Содержание пигментов рассчитывали по формулам:

$$C_a = 12,19 D_{665} - 3,45 D_{649} \text{ (мг / л ДМСО)}$$

$$C_b = 21,99 D_{649} - 5,03 D_{665} \text{ (мг/л ДМСО)}$$

$$C_{\text{cor}} = (1000 D_{480} - 2,14C_a - 70,16C_b) / 220 \text{ (мг/л ДМСО)}$$

Содержание пигментов в образце (мг/г сырого вещества) рассчитывали по формуле $A = C / V \cdot H \cdot 1000$, где C — концентрация пигментов, мг/л; V — объем экстракта, мл; H — навеска, г.

Содержание пигментов рассчитывали на сырую массу и площадь листа. Полученные значения выражали в мг пигмента / г сырой массы и мг пигмента / дм^2 поверхности листа соответственно.

Оценку функционального состояния листьев исследуемых видов растений осуществляли портативным прибором «Флоратест», разработанным научно-инженерным центром микроэлектроники Института кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины. Этот прибор позволяет регистрировать индукционную кривую флуоресценции («кривую Каутского»), по параметрам которой можно выяснить ход процессов как световой, так и темновой фаз фотосинтеза. Форма индукционной кривой флуоресценции чувствительна ко всем изменениям в любом звене фотосинтеза, вызванным факторами внешней среды [4–6].

Для интегральной оценки состояния фотосинтетического аппарата методом ИФХ зеленый лист исследуемых видов располагали между пластинами выносного оптического сенсора прибора «Флоратест» и в течение трех минут регистрировали изменения флуоресценции хлорофилла после предварительной темновой адаптации листьев в течение пяти минут. По основным параметрам кривой ИФХ проводили оценку функционального состояния листьев: F_0 — фоновый уровень флуоресценции на момент полного открытия затвора; F_{pl} — уровень флуоресценции на время достижения временного замедления роста ее сигнала, так называемое «плато»; F_p — максимальное значение флуоресценции; F_t — стационарный уровень флуоресценции спустя три минуты после начала освещения. Данные прибора передавались на персональный компьютер с помощью программы «Floratest».

После определения основных показателей кривой ИФХ рассчитывались следующие параметры:

$dF_{pl} = F_{pl} - F_0$ — нарастание флуоресценции;

$F_v = F_p - F_0$ — переменная флуоресценция;

dF_{pl} / F_0 — параметр, характеризующий в условиях насыщенного возбуждающего излучения (400–600 Вт/м²) соотношение доли реакционных центров, которые не восстанавливают первичный акцептор реакционных центров фотосистемы II (ФС II) Q_b , с долей активных хлорофиллов.

F_v / F_p — доля хлорофиллов, участвующих в фотосинтезе, от их общего количества (эффективность световой фазы фотосинтеза), показатель эффективности структурной организации пигментной системы (ФС II).

$(F_p - F_t) / F_t$ — величина тушения флуоресценции, на которую влияют как фотохимические (фиксация CO₂), так и нефотохимические процессы (тепловая диссипация энергии возбужденного состояния молекул хлорофилла), и характеризует адаптивность растений к условиям среды.

Все параметры индукционной кривой предоставляли в относительных единицах эталона флуоресценции (светофильтр ОС-14) с эмиссией в том же спектральном диапазоне, что и флуоресценция хлорофилла листа.

Статистическую обработку экспериментальных результатов осуществляли с помощью компьютерных программ «Microsoft Excel» и «Statistica».

Изучение содержания и соотношения фотосинтетических пигментов

Изучение физиологического состояния древесных видов растений из коллекции ботанического сада по содержанию фотосинтетических пигментов дало возможность выявить видовую специфику исследованных видов. Наибольшим содержанием фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a* и *b*) характеризовался вид *Acer velutinum*, наименьшим — *Magnolia kobus*. Содержание хлорофиллов *a* и *b* в листьях модельных видов древесных растений в мг/г сырой массы показаны на рис. 2, где *n* — нижняя часть кроны, *s* — средняя часть кроны (описание то же, что и на рис. 1).

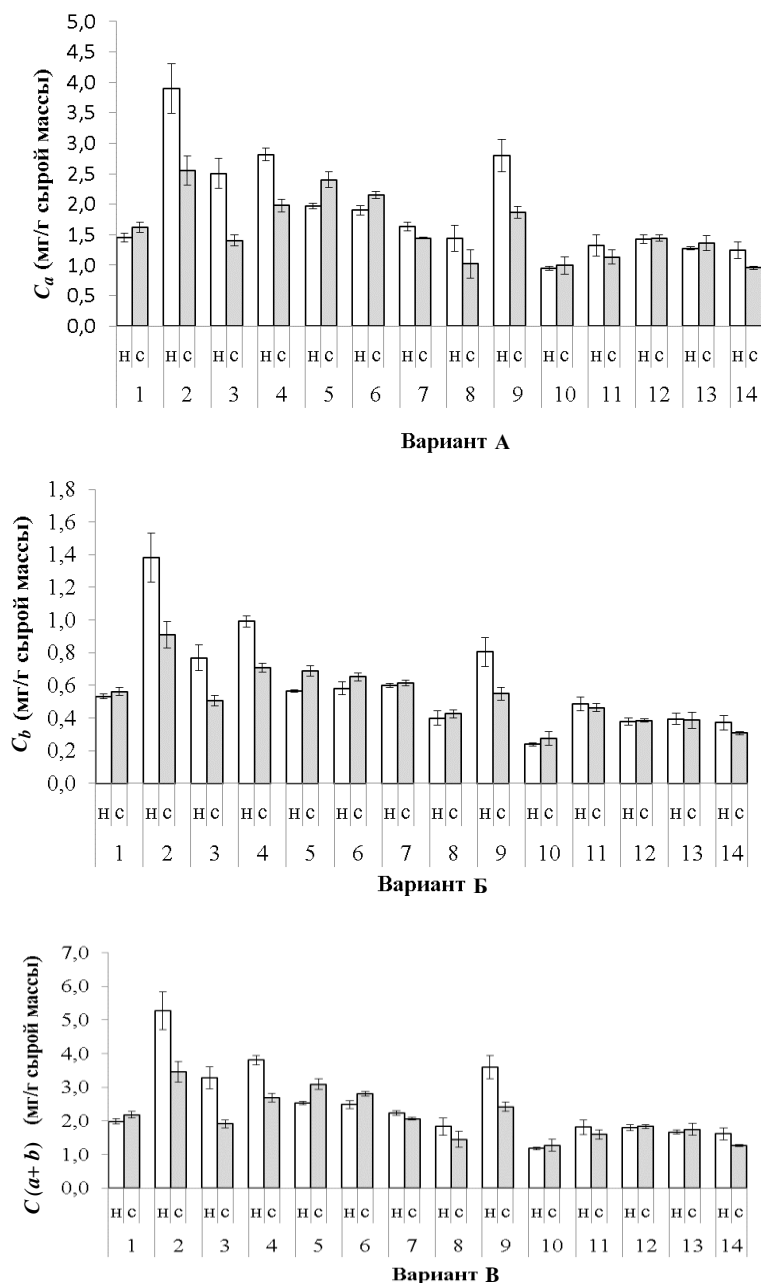


Рис. 2

Согласно рис. 2 (вариант В) содержание суммы хлорофиллов $a + b$ в листьях *Acer velutinum* составило 5,3 мг / г сырой массы, а в листьях *Magnolia kobus* — 1,2 мг/г сырой массы.

Кроме этого, выявлена некоторая разница в содержании суммы хлорофиллов $a + b$ в зависимости как от высоты отбора опытных образцов, так и от уровня почвы. В частности, для исследуемых видов *Acer velutinum*, *Catalpa fargesii*, *Catalpa ovata*, *Ginkgo biloba* ♂, *Magnolia acuminata* и *Pinus ponderosa* выявлена тенденция к уменьшению содержания фотосинтетических пигментов с ростом высоты отбора опытных образцов. Так, содержание суммы хлорофиллов $a + b$ в листьях нижней части кроны у этих видов выше, чем в листьях средней части кроны, и эта разница, в зависимости от вида, составляла от 41,6 % для *Catalpa fargesii* до 7,9 % для *Ginkgo biloba* ♂ (см. рис. 2).

У двух исследуемых видов — *Catalpa speciosa* и *Ginkgo biloba* ♀, установлена обратная тенденция по суммарному содержанию хлорофиллов $a + b$, в частности, оно было значительно выше в листьях средней части кроны по сравнению с нижней. Так, в листьях *Catalpa speciosa* эта разница составляла 22,1 %, а в листьях *Ginkgo biloba* ♀ — 13,3 %.

У других исследуемых видов — *Acer rubrum*, *Liriodendron chinensis*, *Magnolia kobus*, *Magnolia denudata*, *Magnolia soulangeana* и *Pinus pallasiana*, достоверной разницы по суммарному содержанию хлорофиллов в зависимости от расположения исследуемых листьев не установлено.

Показателем состояния фотосинтетического аппарата растений является вариабельность соотношения хлорофиллов a и b . Соотношение хлорофиллов a/b может характеризовать активность фотосистем растений, служить маркером скрининга их устойчивости.

На рис. 3 показано соотношение хлорофиллов a/b в листьях модельных видов древесных растений (описание то же, что и на рис. 1).

Изменения соотношения хлорофиллов a/b продемонстрировало наличие видовой специфичности среди модельных растений. В частности, в листьях *Catalpa fargesii*, *Ginkgo biloba* ♂, *Liriodendron chinensis*, *Magnolia kobus* и *Pinus ponderosa* выявлено уменьшение этого показателя при увеличении высоты отбора опытных образцов. Так, существенное снижение соотношения хлорофиллов a/b обнаружено в листьях *Liriodendron chinensis* (3,57 в нижней части кроны в отличие от 2,41 в средней); у растений *Pinus ponderosa* эта разница была наименьшей (3,37 в отличие от 3,14 соответственно) (см. рис. 3).

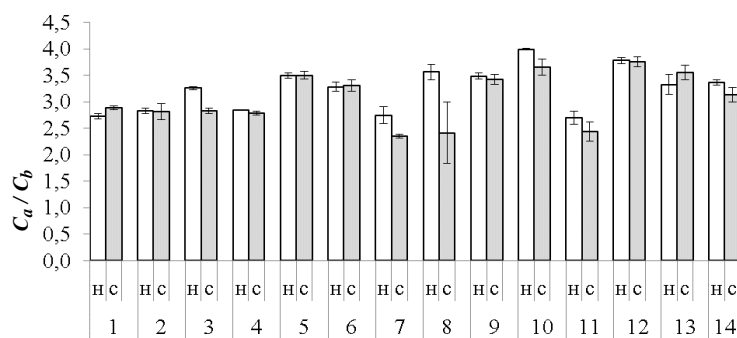


Рис. 3

В листьях других исследованных видов древесных растений — *Acer rubrum*, *Acer velutinum*, *Catalpa ovata*, *Catalpa speciosa*, *Ginkgo biloba* ♀, *Magnolia acuminata*, *Magnolia denudata* и *Magnolia soulangeana*, существенных изменений соотношения хлорофиллов не выявлено.

Заметное уменьшение соотношения хлорофиллов a/b в данной работе свидетельствует о преобладающем накоплении хлорофилла b в листьях. По данным научных публикаций [7, 8] уменьшение соотношения хлорофиллов a/b характерно преимущественно для растений, произрастающих в условиях ограниченной интенсивности освещения и характеризующихся более высоким содержанием пигментов в светособирающих комплексах, в отличие от растений, произрастающих в условиях высокой интенсивности освещения. По результатам наших исследований общей тенденции уменьшения соотношения хлорофилл a/b с ростом высоты отбора исследуемых образцов не установлено, это можно объяснить недостаточным уровнем освещения в нижней и средней частях кроны.

Исследование суммарного содержания каротиноидов

Важной характеристикой пигментного аппарата растений является суммарное содержание каротиноидов. Считают, что при высокой инсоляции каротиноиды выполняют преимущественно фотозащитную функцию, а при низкой — роль дополнительных светособирающих молекул [9].

Исследование суммарного содержания каротиноидов в модельных видах древесных растений выявило их видовую специфичность. Так, представитель семейства Сапиндовые (*Acer velutinum*) характеризовался наивысшим содержанием каротиноидов в листьях, а представитель семейства Сосновые (*Pinus ponderosa*) — наиминимум. На рис. 4 показано содержание каротиноидов в модельных видах древесных растений, мг/г сырой массы (описание то же, что и на рис. 1).

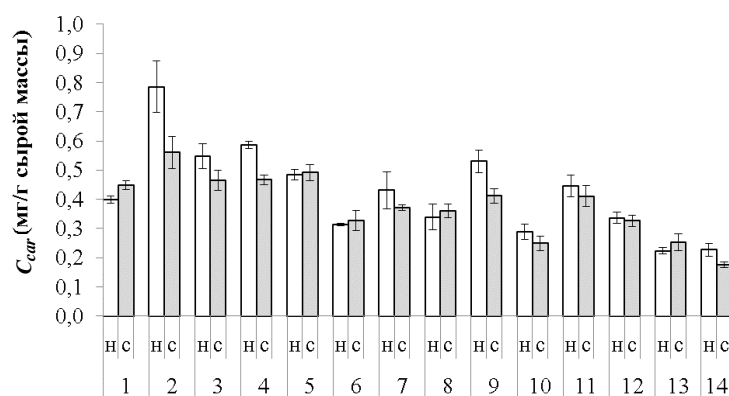


Рис. 4

Уменьшение суммарного содержания каротиноидов с ростом высоты отбора листьев обнаружено для видов *Acer velutinum*, *Catalpa fargesii*, *Catalpa ovata* и *Pinus ponderosa*. В других модельных растениях эти показатели в зависимости от высоты отбора проб существенно не изменялись, за исключением *Acer rubrum*, у которого обнаружено увеличение суммарного содержания каротиноидов в средней части кроны (см. рис. 4).

Оценка ФСА листьев модельных видов растений методом ИФХ

Метод ИФХ наиболее информативно описывает функциональные характеристики ФСА листьев растений и позволяет исследовать в живых объектах течение фотохимических реакций, связанных с работой ФС II, которая наиболее чувствительна к факторам внешней среды, в частности к воздействию повышенных температур [6].

В результате анализа кривой ИФХ у различных исследуемых видов древесных растений были обнаружены изменения отдельных параметров и коэффициентов, характеризующих ход световой фазы фотосинтеза и эффективность фотохимических процессов для темновой фазы. В частности, параметр F_0 отвечает за начальный уровень ИФХ и зависит как от потерь энергии возбуждения во время миграции по пигментной матрице, так и от содержания молекул хлорофилла, которые не имеют функциональной связи с реакционными центрами (энергия от них не поступает в реакционные центры). Его уровень в модельных видах менялся от 336 для *Catalpa ovata* до 965 отн. ед. для *Pinus ponderosa*. Индукция флуоресценции хлорофилла листьев модельных видов древесных растений показана в таблице.

Таблица

Виды растений	Зоны отбора	FO	FPL	FP	FT	FV	DFPL	DFPL/ FV	FV/FP	(FP-FT)/ FT
Род <i>Acer</i>										
<i>Acer rubrum</i>	н	608	1504	1611	427	1003	896	0,894	0,623	2,775
	с	405	1317	1381	389	976	912	0,934	0,707	2,548
<i>Acer velutinum</i>	н	640	1408	1723	448	1083	768	0,709	0,628	2,845
	с	672	1413	1541	432	869	741	0,853	0,564	2,568
Род <i>Catalpa</i>										
<i>Catalpa fargesii</i>	н	501	1040	1568	560	1067	539	0,505	0,680	1,800
	с	507	731	821	405	315	224	0,712	0,383	1,026
<i>Catalpa ovata</i>	н	443	1029	1515	512	1072	587	0,547	0,708	1,958
	с	336	560	816	352	480	224	0,467	0,588	1,318
<i>Catalpa speciosa</i>	н	571	1131	1493	448	923	560	0,607	0,618	2,333
	с	587	1211	1520	507	933	624	0,669	0,614	2,000
Род <i>Ginkgo</i>										
<i>Ginkgo biloba</i> ♂	н	379	704	1269	357	891	325	0,365	0,702	2,552
	с	363	651	1141	357	779	288	0,370	0,682	2,194
Род <i>Magnolia</i>										
<i>Magnolia acuminata</i>	н	656	1200	1632	437	976	544	0,557	0,598	2,732
	с	539	1136	1813	565	1275	597	0,469	0,703	2,208
<i>Magnolia kobus</i>	н	528	944	1304	288	776	416	0,536	0,595	3,528
	с	496	864	1195	315	699	368	0,527	0,585	2,797
<i>Magnolia soulangeana</i>	н	432	936	1776	440	1344	504	0,375	0,757	3,036
	с	488	1088	2000	424	1512	600	0,397	0,756	3,717
Род <i>Pinus</i>										
<i>Pinus pallasiiana</i>	н	680	880	1496	752	816	200	0,245	0,545	0,989
	с	776	1008	1928	800	1152	232	0,201	0,598	1,410
<i>Pinus ponderosa</i>	н	832	1040	1944	984	1112	208	0,187	0,572	0,976
	с	965	1232	2677	992	1712	267	0,156	0,639	1,699

При изучении зависимости параметра F_0 от высоты отбора опытных образцов было установлено, что у видов *Acer rubrum*, *Catalpa ovata*, *Ginkgo biloba* ♂, *Magnolia acuminata* и *Magnolia kobus* с ростом высоты отбора опытных образцов параметр F_0 уменьшается. Такое падение значения F_0 может быть обусловлено структурным изменением пигментного комплекса, направленным на более эффективное усвоение солнечной энергии в связи с влиянием условий освещения растений в зонах отбора листьев. Так, листьям средней части кроны, как правило, присущ более высокий уровень освещения в отличие от листьев, расположенных в нижней части, что и обуславливает уменьшение параметра F_0 .

F_p — параметр, характеризующий наиболее высокий уровень флуоресценции хлорофилла, регистрируется в виде максимума на индукционной кривой. В условиях насыщающей интенсивности света максимальное значение флуоресценции на индукционной кривой обязано динамическому равновесию между процессами флуоресценции, фотохимии и тепловой диссипации. Считается, что в точке F_p , в условиях максимального уровня флуоресценции, фотосинтез находится на минимальном уровне [6, 10].

В исследуемых растениях этот параметр варьировал в пределах от 816 отн. ед. для *Catalpa ovata* до 2677 отн. ед. для *Pinus ponderosa*. Он наиболее варибельный из всех параметров, что обусловлено адаптивными изменениями в структуре пигментного комплекса. При недостаточном освещении увеличивается количество антенных хлорофиллов, что сопровождается ростом уровня F_p . Так, для большинства исследуемых видов прослеживается тенденция к уменьшению F_p с ростом высоты отбора исследуемых листьев, что обусловлено, как правило, более вы-

соким уровнем освещения средней части кроны, в отличие от нижней (см. таблицу). Только у представителей семейств Магнолиевые (*Magnolia soulangeana*, *Magnolia acuminata*) и Сосновые (*Pinus ponderosa*, *Pinus pallasiana*) эта тенденция не прослеживается, что связано, как мы считаем, с особенностями роста исследованных деревьев — затенением соседними деревьями в зоне отбора опытных образцов.

Наиболее интегрированным параметром, характеризующим долю хлорофиллов, которые участвуют в фотосинтезе, от общего их количества (эффективность световой фазы фотосинтеза), и в конечном итоге выступает показателем эффективности пигментной системы ФС II, является коэффициент F_v/F_p . Чувствительность этого параметра к замедлению световой фазы фотосинтеза делает этот показатель эффективным средством мониторинга стрессовых воздействий окружающей среды на растение. Снижение соотношения F_v/F_p обусловлено улучшением работы ФС II и увеличением доли реакционных центров ФС II, способных к восстановлению Q_6 [11]. Таким образом, соотношение F_v/F_p , в конечном итоге, связано с изменениями эффективности процесса фотохимического тушения флуоресценции хлорофилла. Этот показатель у темноадаптированных растений отображает потенциальную квантовую эффективность ФС II, и его используют как индикатор продуктивности фотосинтеза. Оптимальное значение F_v/F_p для большинства видов растений в условиях насыщающей интенсивности возбуждающего света не должно превышать 0,83 [12, 13].

Достаточно низкий коэффициент F_v/F_p установлен для *Catalpa fargesii* — 0,383, для других видов он варьировал в пределах 0,545 (*Pinus pallasiana*) — 0,757 (*Magnolia kobus*) и 0,756 (*Magnolia soulangeana*). Такой диапазон данных может указывать на достаточно высокий уровень эффективности фотофизических процессов вблизи реакционных центров ФС II (при интенсивности возбуждающего света в пределах 80–100 Вт/м²) и, в свою очередь, является достаточным для обеспечения функционирования пигментного комплекса ФС II, что может свидетельствовать о пластичности структурных изменений в организации пигментного комплекса хлоропластов [14]. На основании этого можно сделать заключение о высоких показателях эффективности световой фазы фотосинтеза для подавляющего большинства модельных видов, за исключением *Catalpa fargesii*.

Параметр флуоресценции F_{pl} описывает уровень флуоресценции на время достижения временного замедления роста ее сигнала, так называемого «плато». Он обусловлен быстрым насыщением энергией реакционных центров (РЦ) ФС II, которые не восстанавливают первичный акцептор Q_a и не передают энергию на электронтранспортную цепь. Нарастание флуоресценции от F_0 до F_{pl} характеризуется показателем dF_{pl} , который для наших опытных образцов находится в пределах от 224 отн. ед. у *Catalpa fargesii* до 896 отн. ед. у *Acer rubrum*. Считается, что в условиях насыщения возбуждающим светом соотношение dF_{pl}/F_v характеризует долю Q_a -невосстановленных реакционных центров.

Высокий уровень соотношения dF_{pl}/F_v установлен у представителей семейства Сапиндовые (*Acer rubrum* и *Acer velutinum*) 0,709 — 0,894, что, по нашему мнению, связано с видовыми особенностями исследуемых представителей семейства и свидетельствует о росте в конце вегетационного периода доли РЦ, которые не восстанавливают первичный акцептор электронов Q_a . У вечнозеленых представителей семейства Сосновые (*Pinus ponderosa*, *Pinus pallasiana*) соотношение dF_{pl}/F_v было самым низким по сравнению с листопадными видами, что может свидетельствовать о более эффективном восстановлении первичного акцептора электрона Q_a у вечнозеленых представителей семейства Сосновые в конце вегетационного периода (см. таблицу).

Параметр $(F_p - F_t)/F_t = Rfd$, или коэффициент адаптивности определяет эффективность темновых фотохимических процессов, а именно темновую фиксацию CO_2 (цикл Кальвина). Он также получил название «индекс жизнеспособности».

Процессы темновой фазы фотосинтеза более чувствительны к воздействию факторов окружающей среды, поэтому параметры, характеризующие их, используют для оценки влияния экзогенных факторов на растения [14].

Для исследуемых листопадных представителей семейств Сапиндовые (*Acer rubrum*, *Acer velutinum*) и Магнолиевые (*Magnolia soulangeana*, *Magnolia kobus*, *Magnolia acuminata*) этот параметр варьирует в достаточно высоких пределах: 2,548–2,845 и 2,208–3,717 отн. ед. соответственно. Такой уровень значений свидетельствует о высокой интенсивности фотохимических процессов в этих растениях. С усилением действия стрессового фактора «индекс жизнеспособности», как правило, уменьшается. У исследованных нами представителей семейства КATALПОВЫЕ (*Catalpa fargesii*, *Catalpa ovata*, *Catalpa speciosa*) этот показатель ниже и варьировал в пределах 1,026–2,333 отн. ед., что может свидетельствовать о более низкой эффективности течения цикла Кальвина в этих модельных видах по сравнению с представителями семейств Сапиндовые и Магнолиевые.

Достаточно низкий коэффициент *Rfd* (0,976–1,699) также установлен для вечнозеленых представителей семейства Сосновые (*Pinus ponderosa*, *Pinus pallasiana*), что свидетельствует о невысокой эффективности фотохимических процессов, и возможно, это связано с реакцией ферментов цикла Кальвина на недостаточную освещенность.

Заключение

В результате исследований проведена комплексная оценка функционального состояния ассимиляционного аппарата представителей модельных видов древесных декоративных пород для определения более устойчивых к влиянию феномена «городской остров тепла». Комплексная оценка функционального состояния фотосинтетического аппарата по содержанию фотосинтетических пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) и фотохимической активности листового аппарата древесных растений позволила определить перспективные виды древесных декоративных пород, устойчивые к феномену «городского острова тепла» и с высоким климаторегулирующим потенциалом. Высоким коэффициентом адаптивности или «индексом жизнеспособности» среди листопадных видов характеризуются представители семейств Сапиндовые (*Acer rubrum*, *Acer velutinum*) и Магнолиевые (*Magnolia soulangeana* и *Magnolia kobus*).

Таким образом, получены экспериментальные данные о перспективности использования модельных видов древесных растений в формировании микроклимата города. Комплексная оценка по функциональным показателям позволила распределить модельные виды древесных растений из коллекции Ботанический сад имени акад. А.В. Фомина КНУ имени Тараса Шевченко для дендрофизиологической индикации на группы:

- перспективные — для снижения температуры «городского острова тепла» древесные виды (*Acer velutinum*, *Magnolia acuminata* и *Magnolia denudata*);
- неперспективные — для снижения температуры «городского острова тепла» древесные виды (*Catalpa fargesii*, *Ginkgo biloba*).

Н.Б. Светлова, В.О. Стороженко, О.А. Футорна, В.А. Баданіна,
О.В. Тищенко, І.Г. Ольшанський, Н.Ю. Таран

ОЦІНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛЬНИХ ВИДІВ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН ДЛЯ ПОДОЛАННЯ «МІСЬКОГО ОСТРОВА ТЕПЛА» ЗА ПАРАМЕТРАМИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ФОТОСИНТЕТИЧНОГО АПАРАТА

Вивчалася можливість використання окремих видів деревних рослин колекції Ботанічного саду імені акад. О.В. Фоміна для подолання «міського острова тепла» за вмістом фотосинтетичних пігментів і параметрів індукції

флуоресценції хлорофілу. Встановлено, що високим «індексом життєздатності» характеризуються листопадні види родин Сапіндові (*Acer rubrum*, *Acer velutinum*) та Магнолієві (*Magnolia soulangeana*, *Magnolia kobus*).

*N.B. Sviatlova, V.A. Storozhenko, O.A. Futorna, V.A. Badanina,
O.V. Tischenko, I.G. Olshanskij, N.Yu. Taran*

ESTIMATION OF THE AVAILABILITY OF USING OF MODEL SPECIES OF WOOD PLANTS FOR THE OVERCOMING OF THE «CITY HEAT ISLAND» BY PARAMETERS OF THE FUNCTIONAL STATE OF PHOTOSYNTHETIC APPARATUS

The possibility of using individual types of woody plants in the collection of the O.V. Fomin Botanical Garden of Taras Shevchenko National University of Kyiv to overcoming the «urban heat island» by the content of photosynthetic pigments and the fluorescence induction parameters of chlorophyll was studied. It has been established that the high «index of viability» is characterized by leafy species of families Sapindaceae (*Acer rubrum*, *Acer velutinum*) and Magnoliaceae (*Magnolia soulangeana*, *Magnolia kobus*).

1. Холл Д., Рао К. Фотосинтез. — М.: Мир, 1983 — 134 с.
2. Перспективы использования беспилотного летательного аппарата для оценки климатообразующих свойств парковых видов деревьев на примере Ботанического сада имени академика А.В. Фомина / Т.А. Казанцев, О.А. Футорна, Н.Б. Светлова, В.А. Баданина, Н.Ю. Таран // Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики». — 2018. — № 2. — С. 146–155.
3. Wellburn A.R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution // Journal of Plant Physiology. — 1994. — **144** (3). — P. 307–313.
4. Брайко Ю.А., Имамутдинова Р.Г. Хронофлуорометр «Флоратест»: инструкция по эксплуатации прибора. — Київ: Лібра, 2007. — 11 с.
5. Інструментальне вивчення фотосинтетичного апарату за допомогою флуоресценції хлорофілу / О.В. Брайон, Д.Ю. Корнєєв, О.О. Снегур, О.І. Китаєв. — Київ: ВПЦ «Київський університет», 2000. — 13 с.
6. Корнєєв Д.Ю. Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла. — Киев: Альтерпрес, 2002. — 188 с.
7. Топчий Н.М., Сиваш О.О., Фомішчина Р.М. Вплив світла різної інтенсивності та спектрального складу на пігментний апарат і функціональні характеристики хлоропластів гороху (*Pisum*) // Український ботанічний журнал. — 2004. — **61**, № 5. — С. 91–98.
8. Adaptation of chloroplasts — ultrastructure and of chlorophyll-protein levels to high-light and low-light growth conditions / Н.К. Lichthenthaler, G. Kuhn, U. Prenzel et. al // Z. Naturforsch. — 1982. — **37**, N 3. — P. 464–475.
9. Young A.J., Gordon L.L. Carotenoids — antioxidant properties // Antioxidants (Basel). — 2018. — 7(2): 28. doi: 10.3390/antiox7020028.
10. Kautsky H., Hirsch A. Das fluoreszenzverhalten gruner pflanzen // Biochem Z. — 1934. — **274**. — S. 422–434.
11. Свтушенко Ю.В., Ковалевський С.Б., Китаєв О.І. Діагностика функціонального стану фотосинтетичного апарату *Aesculus carnea* Haune методом індукції флуоресценції хлорофілу // Лісове і садово-паркове господарство. — 2017. — № 10. — С. 1–13.
12. Bjorkman O., Demming B. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence at 77k among vascular plants of diverse origins // Planta. — 1987. — **170**. — P. 489–504.
13. The dissipation of excess excitation energy in British plant species / G.N. Johnson, A.J. Young, J.D. Scholes, P. Horton // Plant, Cell and Environment. — 1993. — **16**. — P. 673–679.
14. Костенко С.М., Китаєв О.І., Ковалевський С.Б. Індукція флуоресценції хлорофілу листків представників роду *Philadelphus* L. в умовах міста Києва // Науковий вісник НЛТУ України. — 2014. — № 4. — С. 209–213.

Получено 27.08.2018