



К.П. ДОВБИШ, С.М. ВАСИЛЬЧЕНКО,
О.О. СИВАШ, Н.М. ТОПЧІЙ

Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України
Вул. Терещенківська, 2, Київ, 01601, Україна

**ФОТОСИНТЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ACER PLATANOIDES L., *A. CAMPESTRE* L.,
A. TATARICUM L. У ПРИРОДНИХ УМОВАХ
ЗА РІЗНИХ СВІТЛОВИХ РЕЖИМІВ**

Ключові слова: клени, фотосинтетичний апарат,
пігменти, флуоресценція

Клени (*Acer* L.) — великий рід, який налічує понад 150 видів. Найпоширенішими видами флори України є клени: гостролистий (*A. platanoides* L.) — дерево заввишки до 30 м, польовий (*A. campestre* L.) — дерево до 25 м заввишки, іноді кущ заввишки до 2,5 м і татарський (*A. tataricum* L.) — дерево або великий кущ до 8 м заввишки [2].

Кленам властива специфічна стратегія розвитку: вони не утворюють чистих лісових масивів; трапляються лише в мішаних широколистяних та соснових лісах; не формують верхнього ярусу, а віддають перевагу певному рівню затінення. Іншими характерними рисами кленів є рання вегетація та інтенсивний ріст до розпускання листя іншими видами та швидке закінчення формування річного приросту пагонів.

Визначальна роль у життєдіяльності рослинного організму належить фотосинтезу. Тому одним із першорядних завдань щодо пояснення такої стратегії розвитку є вивчення фотосинтетичних процесів у листках.

© К.П. ДОВБИШ,
С.М. ВАСИЛЬЧЕНКО,
О.О. СИВАШ,
Н.М. ТОПЧІЙ, 2006

Нашою метою було дослідження фотосинтетичних характеристик пластидних пігментів та функціонального стану фотосинтетичного апарату (ФСА) кленів, що зростали за різних екологічних умов.

Матеріал та методи дослідження

Фотосинтетичні характеристики вивчали на трьох видах кленів: *Acer platanoides* L. (тіньовому і світловому), *A. campestre* L. (тіньовому) і *A. tataricum* L. (світловому). Тіньові рослини перебували під пологом лісу, світлові — на узліссях. Листки кленів збирали в районі екологічної стежки с. Лісники (Конча-Заспа, під Києвом) протягом вегетаційного періоду 2004 р.

Пігменти з листків екстрагували ацетоном з додаванням CaCO_3 . Рослинні пігменти (каротиноїди, хлорофіли) розділяли методом паперової хроматографії з використанням суміші гексану та етанолу (16:1 за об'ємом). Лютеїн, віолаксантин та неоксантин екстрагували з хроматограм 100 %-м етанолом, β -каротин і хлорофіли — 100 %-м ацетоном. Вміст пігментів визначали на спектрофотометрі (СФ-46, ЛОМО, СРСР), використовуючи коефіцієнти екстинції, наведені в [3, 20]. Частку хлорофілів у світлозбиральному комплексі (СЗКП) від їх суми розраховували виходячи з того, що увесь хлорофіл *b* знаходиться у СЗКП, співвідношення хлорофілів *a* і *b* у якому становить 1,4 [16].

Функціональний стан фотосинтетичного апарату оцінювали методом індукції флуоресценції хлорофілу. Флуоресценцію хлорофілу *a* в листках кленів вимірювали за допомогою ХЕ-РАМ флуорометра («Walz», Німеччина) за кімнатної температури. Дані у форматі файлів Excel записували за допомогою мультимера UT-60E (Тайвань), з'єданого з комп'ютером. Для збудження флуоресценції хлорофілу модульований світловий потік імпульсної ксенонової лампи пропускали крізь синьо-зелений фільтр BG-39 (5 мм, Schott). Флуоресценцію реєстрували за довжин хвиль ≥ 695 нм, використовуючи фільтри RG645/R65 (2 мм, 1 мм, Schott, Balzers) та RG9 (1 мм, Schott). Листки адаптували до темряви протягом 5 хв. Мінімальний рівень флуоресценції адаптованих до темряви (F_0) та світла (F'_0) листків визначали за дії модульованого (2 Гц) світла низької інтенсивності ($\sim 0,1$ мкмоль \cdot м⁻² \cdot с⁻¹). Індукцію флуоресценції хлорофілу *a* ініціювали актинічним світлом 80, 500 та 1000 мкмоль \cdot м⁻² \cdot с⁻¹. Максимальний рівень флуоресценції адаптованих до темряви (F_m) та світла (F'_m) листків визначали за дії насичуючого імпульсу (1 сек) галогенної лампи інтенсивністю 5000 мкмоль \cdot м⁻² \cdot с⁻¹. Для оцінки функціонального стану ФСА використовували такі параметри флуоресценції хлорофілу: максимальний квантовий вихід фотохімічних реакцій фотосистеми II (ФСII), F_v/F_m , $(F_m - F_0)/F_m$ [14]; ефективний квантовий вихід фотохімічних реакцій ФСII, F'_v/F'_m , $(F'_m - F'_0)/F'_m$ [22]; фотохімічне гасіння флуоресценції хлорофілу, qP $(F'_m - F'_s)/(F'_m - F'_0)$ [23]; коефіцієнт нефотохімічного гасіння флуоресценції хлорофілу, qN $(1 - (F'_m - F'_0)/(F_m - F_0))$; нефотохімічне гасіння флуоресценції хлорофілу за Штерном—Вольмером, NPQ $(F_m/F'_m) - 1$ [11]; квантовий вихід електронного транспорту, ϕPSII $(F'_m - F_0)/F'_m$ [15].

Повторність дослідів була чотирикратною, за отриманими даними виводили середні арифметичні показники. Стандартні відхилення коливалися у межах 7–9 %.

Результати досліджень та їх обговорення

Вивчення вмісту пігментів у досліджуваних листках кленів засвідчило, що отримані показники відповідали загальним закономірностям, характерним для рослин залежно від інтенсивності світлового фактора в місцях їхнього зростання (рисунки 1–4). Відомо, що варіації інтенсивності освітлення змінюють пігментний склад та розмір антени ФСА [9, 21]. Так, у світлових хлоропластах є вищим співвідношення хлорофіл a/b (Хл a/b), нижчим — вміст пігментів [12, 18] порівняно з тінювими.

Вміст Хл a , b та їхня сума ($a + b$) в листках *A. platanoides*, затіненого пологом лісу, був майже вдвічі вищим протягом вегетаційного періоду, ніж у листках того самого виду на узліссі, в умовах вищої інтенсивності сонячного світла (рисунки 1, 2). Рослини клена гостролистого, що упродовж більшої частини дня знаходились на прямому сонячному світлі, характеризувалися в середньому на 20 % вищим співвідношенням Хл a/b і нижчою часткою хлорофілів (a і b) у СЗКП порівняно з рослинами під наметом лісу (рисунки 2, 5). Для листків *A. tataricum*, який більшу частину дня перебував на прямому сонячному світлі, та *A. campestre* під наметом лісу спостерігалась аналогічна

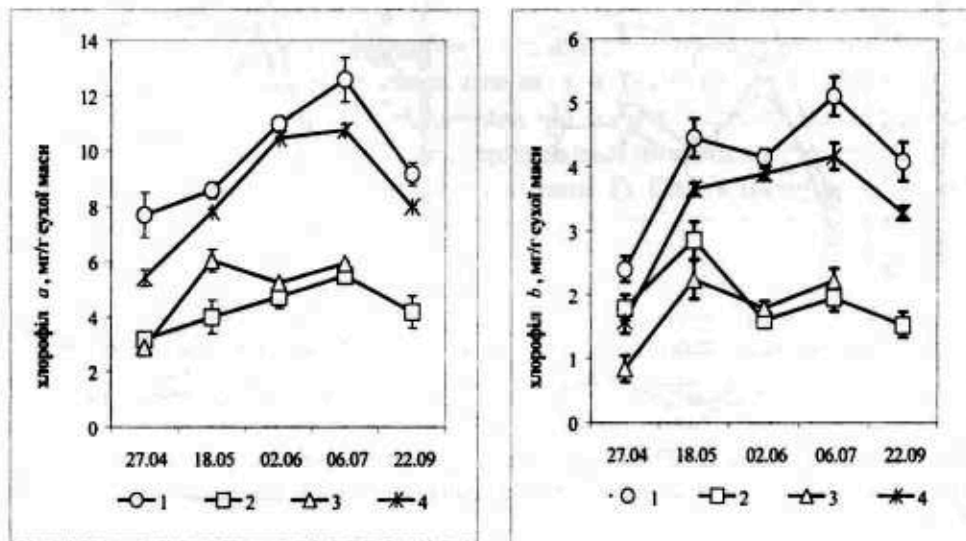


Рис. 1. Вміст хлорофілів a і b у листках кленів протягом вегетаційного періоду. У м о в н і п о з н а ч е н н я: (тут і на рисунках 2–5): 1 — *A. platanoides* (тінювий); 2 — *A. platanoides* (світловий); 3 — *A. tataricum* (світловий); 4 — *A. campestre* (тінювий)

Fig. 1. The content of chlorophylls (a and b) in maple leaves during the vegetative season. Symbols indicate (here and on the figures 2–5): 1 — *A. platanoides* (shade); 2 — *A. platanoides* (sun); 3 — *A. tataricum* (sun); 4 — *A. campestre* (shade)

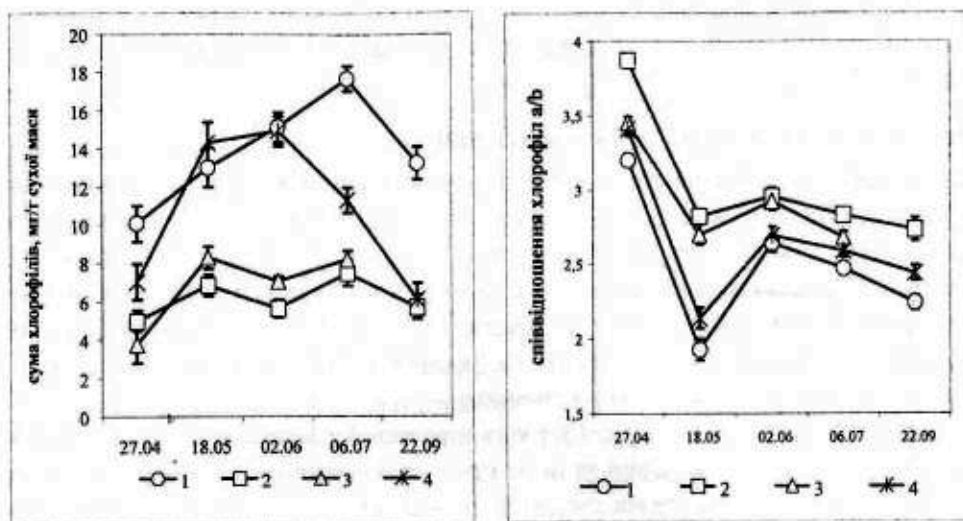


Рис. 2. Сума хлорофілів (a і b) та їх співвідношення у листках кленів протягом вегетаційного періоду.

Fig. 2. The total amount of chlorophylls (a and b) and their ratio in maple leaves during the vegetative season

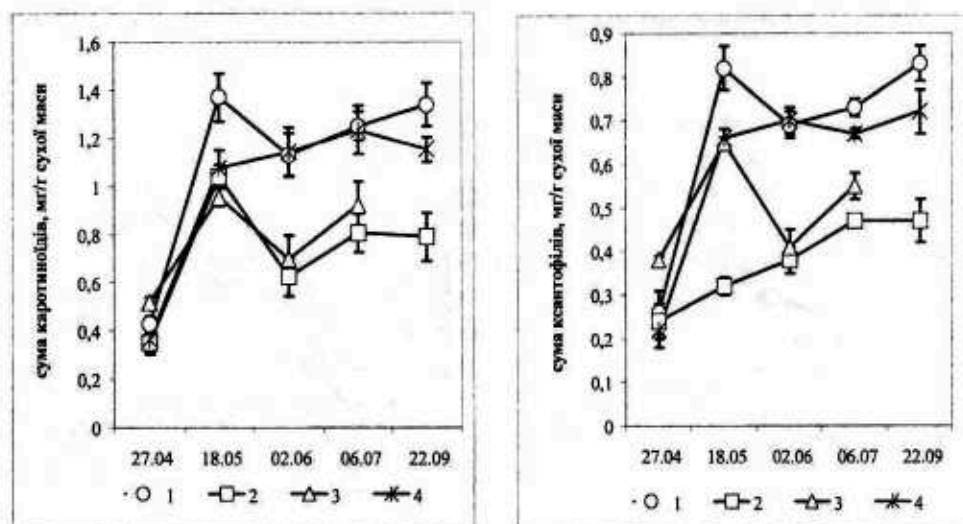


Рис. 3. Сума каротиноїдів та ксантофілів у листках кленів протягом вегетаційного періоду

Fig. 3. The total amount of carotenoids and xanthophylls in maple leaves during the vegetative season

закономірність: загальний вміст хлорофілів (a + b) в *A. tataricum* був у середньому в 1,6 раза нижчим, а співвідношення Хл a/b — на 8 % вищим, аніж в *A. campestre* протягом вегетаційного періоду (рисунки 1, 2). При цьому частка хлорофілів у СЗКП була вищою у польового клена, ніж у татарського

Рис. 4. Співвідношення ксант/хл у листках кленів протягом вегетаційного періоду

Fig. 4. The xanth/chl ratio in maple leaves during the vegetative season

(рис. 5). Це засвідчує, що розміри антени, тобто вміст власне пігмент-білкових світлозбиральних комплексів, був вищим у клена татарського.

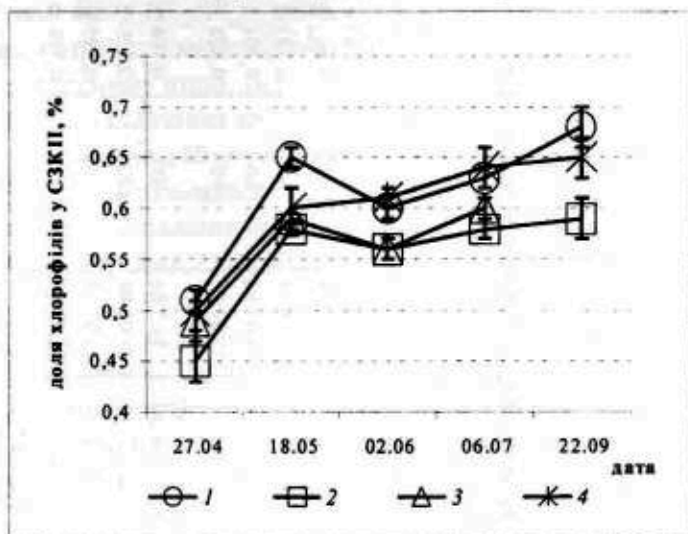
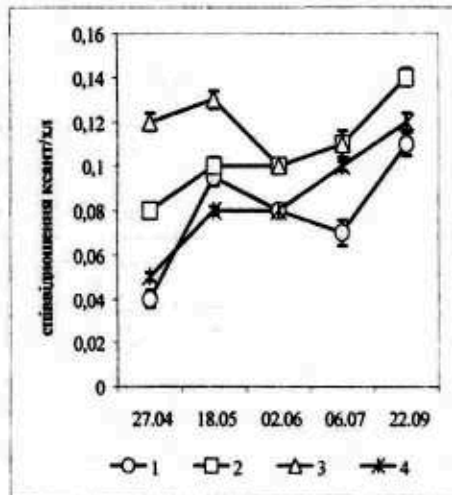
Слід зазначити, що вміст пігментів на одиницю маси у світлових рослин різних видів кленів був досить близьким. Така сама закономірність спостерігалася для тіньових рослин.

Зауважимо, що у листках кленів, відібраних 27.04.2004, порівняно з листками літніх місяців, зафіксовано нижчий загальний вміст пігментів та вище співвідношення Хл *a/b*. Це, очевидно, пов'язане з незрілістю ФСА у листках, що активно розвивалися. Також дещо меншим був вміст пігментів у листках світлових кленів, зібраних 22.09.2004 (рисунки 1, 2). Це, вірогідно, зумовлюється початком старіння. Відомо, що однією з найхарактерніших ознак старіння фотосинтетичних тканин є зниження вмісту хлорофілів [5].

Загальний вміст каротиноїдів був вищим у листках тіньових особин кленів. Так, в *A. platanoides* під наметом лісу вміст каротиноїдів у середньому на 10 % вищий, ніж в *A. campestre* — також під наметом лісу, на 48 % вищий, ніж в *A. tataricum* з узлісся, і на 56 % вищий, ніж в *A. platanoides* — також з узлісся. Особини *A. platanoides*, що більшу частину дня перебували на прямому сонячному світлі, характеризувалися нижчим вмістом ксантофілів (лютеїн + віолаксантин + неоксантин) (рис. 3). Однак молярне відношення суми ксантофілів до загального вмісту хлорофілів є вищим у гостролистого світлового клена, порівняно з тіньовим

Рис. 5. Частка хлорофілів (*a* і *b*) у світлозбиральному комплексі (СЗКП) листків кленів протягом вегетаційного періоду

Fig. 5. The part of chlorophylls (*a* and *b*) in the light-harvesting complex (LHCII) of maple leaves during the vegetative season



Параметри індукції флуоресценції хлорофілу листків кленів

Вид	Дата	I_0 мкмоль·м ⁻² ·с ⁻¹	F_v/F_m	F_v'/F_m'	qP	qN	NPQ	φФCII
<i>A. platanooides</i> (тіньовий)	27.04.04	80	0,760 ± 0,017	0,668 ± 0,009	0,861 ± 0,014	0,348 ± 0,027	0,349 ± 0,041	0,575 ± 0,026
	18.05.04	80	0,802 ± 0,012	0,743 ± 0,012	0,861 ± 0,016	0,258 ± 0,041	0,253 ± 0,057	0,640 ± 0,022
	02.06.04	80	0,791 ± 0,014	0,763 ± 0,007	0,911 ± 0,019	0,159 ± 0,046	0,148 ± 0,034	0,695 ± 0,028
	06.07.04	80	0,801 ± 0,014	0,756 ± 0,017	0,884 ± 0,006	0,172 ± 0,016	0,156 ± 0,021	0,679 ± 0,044
	22.09.04	80	0,808 ± 0,011	0,765 ± 0,017	0,853 ± 0,017	0,207 ± 0,022	0,194 ± 0,024	0,652 ± 0,024
<i>A. platanooides</i> (світловий)	18.05.04	500	0,794 ± 0,014	0,516 ± 0,026	0,325 ± 0,022	0,747 ± 0,024	1,575 ± 0,141	0,167 ± 0,011
	02.06.04	1000	0,726 ± 0,030	0,313 ± 0,037	0,173 ± 0,140	0,883 ± 0,009	2,665 ± 0,002	0,049 ± 0,037
	06.07.04	1000	0,793 ± 0,042	0,548 ± 0,081	0,175 ± 0,196	0,898 ± 0,093	2,492 ± 0,376	0,061 ± 0,041
	22.09.04	500	0,798 ± 0,007	0,443 ± 0,052	0,648 ± 0,065	0,803 ± 0,045	1,879 ± 0,290	0,290 ± 0,062
<i>A. satrapre</i> (тіньовий)	18.05.04	80	0,809 ± 0,002	0,747 ± 0,008	0,845 ± 0,013	0,255 ± 0,036	0,243 ± 0,050	0,631 ± 0,015
	02.06.04	80	0,815 ± 0,008	0,754 ± 0,014	0,884 ± 0,006	0,273 ± 0,003	0,272 ± 0,005	0,667 ± 0,017
<i>A. tataricum</i> (світловий)	18.05.04	500	0,779 ± 0,009	0,437 ± 0,040	0,762 ± 0,064	0,814 ± 0,032	2,054 ± 0,226	0,335 ± 0,058

Примітка: I — інтенсивність актинічного світла

(рис. 4). Така сама закономірність спостерігалася для світлового *A. tataricum* і тіньового *A. campestre*.

Відомо, що продуктивність рослин залежить від площі асимілюючої поверхні [7]. Іноді використовують ще такий інтегральний показник, як фотосинтетичний потенціал, який характеризує загальний вміст хлорофілів у рослині і тривалість його роботи [8]. Зрозуміло, що безпосередньо використати ці параметри для характеристики продуктивності деревних рослин дуже важко. У ряді праць зазначено кореляцію між вмістом пігментів (на одиницю площі та маси) і продуктивністю сільськогосподарських культур [1, 4], однак інші дослідження не підтвердили такого зв'язку [6]. Показано, що вміст Хл *a* може більшою мірою відображати фотосинтетичну продуктивність, аніж сума Хл (*a* + *b*) [17].

Функціональний стан ФСА листків кленів, що зростали в різних екологічних умовах, оцінювали методом індукції флуоресценції хлорофілу за актинічного світла, інтенсивність якого була близькою до її значення у природному оточенні: 80, 500 та 1000 мкмоль · м⁻² · с⁻¹. Результати флуоресцентних досліджень, проведених протягом вегетаційного періоду, показали, що максимальний квантовий вихід фотохімічних реакцій ФСП, F_v/F_m , який характеризує потенційні можливості пулу комплексів ФСП адаптованих до темряви листків кленів, зібраних з різних рослин, збільшувався при формуванні ФСА і в зрілих листках становив 0,76–0,82 (таблиця). Отримані дані засвідчують близьку квантову ефективність первинного розділення зарядів у ФСП рослин різних видів кленів — як тіньових, так і світлових. Цей параметр використовують як індикатор перебування рослин у несприятливих умовах: зниження його величини засвідчує, що рослини знаходяться у стресових умовах. Для нестресованих рослин цей параметр коливається у межах 0,8–0,83 [13]. Хоча зауважимо, що відношення F_v/F_m досить інертне, тобто його стрес-індуковане зниження спостерігається не відразу [19].

Ефективний квантовий вихід (F'_v/F'_m), який використовують для оцінки максимальної ефективності фотохімічних реакцій ФСП за умов освітлення, коли частина Q_A є у відновленому стані, порівняно з потенційним (F_v/F_m) загалом був нижчим у листках світлових кленів за рахунок розсіювання частини енергії в тепло у світлозбиральній антені. Проте листки тіньових кленів мали вище значення F'_v/F'_m за інтенсивності діючого світла, близькій до їх природних умов (таблиця). Дещо нижчим було значення F'_v/F'_m і для тіньових, і для світлових кленів, зібраних 22.09.2004, що, вірогідно, пов'язане з початком старіння листя.

Фотохімічне гасіння флуоресценції хлорофілу (*qP*), яке відображає ступінь окислення пулу Q_A , тобто частку відкритих реакційних центрів ФСП у цих умовах освітленості, було вищим у тіньових кленів — гостролистого та польового, що, можливо, пов'язане із швидшим окислинням пластохінону комплексом цитохромів *b6/f*, спричиненим вищою швидкістю відтоку електронів до фотосистеми I (ФСІ) за даної інтенсивності актинічного світла.

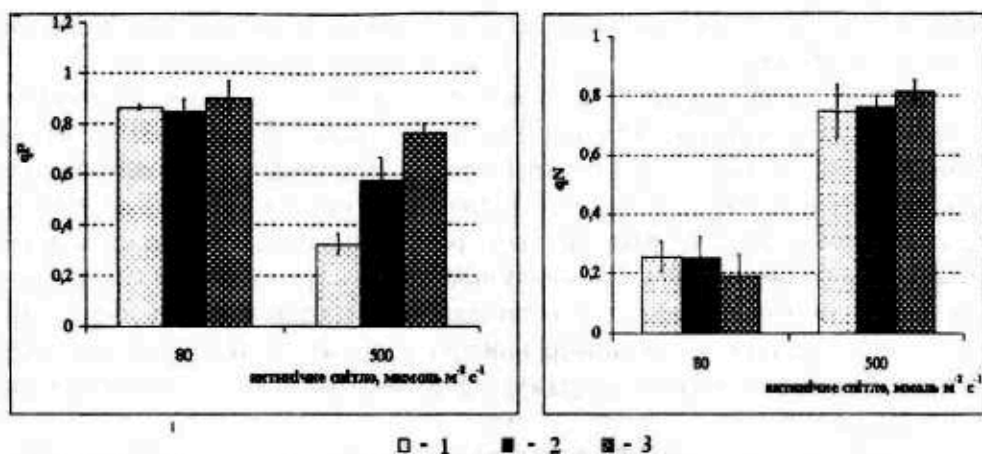


Рис. 6. Залежність рівня фотохімічного гасіння (qP) від інтенсивності актинічного світла. Умовні позначення (тут і на рисунках 7,8): 1 – *A. platanoides*; 2 – *A. campestre*; 3 – *A. tataricum*

Fig. 6. The dependence of photochemical quenching (qP) on the actinic light intensity. Symbols indicate (here and on the figures 7, 8): 1 – *A. platanoides*; 2 – *A. campestre*; 3 – *A. tataricum*

Рис. 7. Залежність рівня нефотохімічного гасіння (qN) від інтенсивності актинічного світла

Fig. 7. The dependence of nonphotochemical quenching (qN) on the actinic light intensity

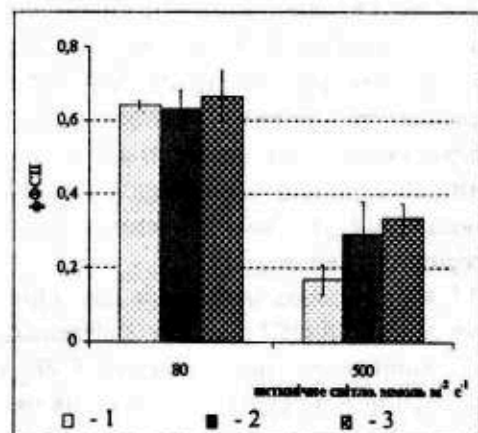


Рис. 8. Залежність квантового виходу електронного транспорту ($\phi_{\text{ФСII}}$) від інтенсивності актинічного світла

Fig. 8. The dependence of electron transport quantum yield ($\phi_{\text{ФСII}}$) on the actinic light intensity

Внаслідок того, що фотохімічні реакції, флуоресценція і теплова дисипація є конкурентними процесами, підвищення qP знижує параметри, які характеризують ступінь нефотохімічного гасіння. Результати показали, що значення коефіцієнта нефотохімічного гасіння (qN та NPQ), еквівалентного константі швидкості теплової дисипації в антені ФСII, були нижчими у тінювих рослин. Навпаки, рослини узлісся (клен гостролистий і татарський) характеризувалися вищим рівнем нефотохімічного гасіння флуоресценції хлорофілу.

Параметр $\phi_{\text{ФСII}}$ дозволяє оцінити квантовий вихід електронного транспорту. Порівняльне дослідження цього параметра за різної інтенсивності актинічного

світла показало, що вищий рівень $\Phi\Phi\Pi$ мали тіньові рослини порівняно зі світловими. Це узгоджується з даними літератури, за якими максимальною ефективність фотосинтезу e в умовах низької інтенсивності світла [10, 13].

Крім того, була досліджена залежність параметрів індукції флуоресценції хлорофілу трьох видів кленів (*A. platanoides*, *A. campestre*, *A. tataricum*) від інтенсивності актинічного світла 80 і 500 $\mu\text{моль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ (рисунки 6–8). Значення параметрів індукції флуоресценції хлорофілу за 80 $\mu\text{моль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ у трьох досліджених видів були близькими, що свідчить про однакову ефективність утилізації сонячної енергії за даної інтенсивності світла. Світлові рослини *A. tataricum* порівняно з *A. platanoides* та *A. campestre* характеризувалися ефективнішим функціонуванням ФСА за актинічного світла 500 $\mu\text{моль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, що підтверджується значеннями параметрів qP і $\Phi\Phi\Pi$ (рисунки 6, 8).

Висновки

1. Вищий вміст пігментів у тіньових рослин *A. platanoides* та *A. campestre* забезпечує достатнє поглинання світлової енергії, необхідної для їх росту, розвитку й успішної конкуренції під наметом лісу.
2. Ефективніше функціонування фотосинтетичного апарату кленів, що зростали під наметом лісу, підтверджується вищими значеннями параметрів qP , F^v/F^m та $\Phi\Phi\Pi$.
3. Висока фізіологічна пластичність забезпечує можливість існування кленів на узліссях, за умов підвищеної інсоляції. Резистентність світлових рослин до фотоінгібування, що характеризується рівнем індукції флуоресценції хлорофілу за актинічного світла 500 $\mu\text{моль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, зумовлена вищим співвідношенням ксант/хл і нижчим вмістом пігментів.

1. Андрианова Ю.Е., Тарчевский И.А. Хлорофилл и продуктивность растений. — М.: Наука, 2000. — 135 с.
2. Вальтер Г. Растительность земного шара. Эколого-физиологическая характеристика. Т. 2. Леса умеренной зоны. — М.: Прогресс, 1974. — 423 с.
3. Гавриленко В.Ф., Ладыгина М.Е., Хандобина Л.М. Большой практикум по физиологии растений. — М.: Высш. шк., 1975. — 390 с.
4. Красичкова Г.В., Гиллер Ю.Е., Турбин Н.В. Сравнительная характеристика фотосинтетического аппарата различных форм тритикале // Физиол. раст. — 1982. — 29. — С. 959–963.
5. Мерзляк М.Н., Хендри Дж. А., Атертон Н.М. и др. Деградация пигментов, перекисное окисление липидов и активность свободнорадикальных процессов при старении листьев // Биохимия. — 1993. — 58, вып. 2. — С. 240–249.
6. Насыров Ю.С. Генетика фотосинтеза и связь с проблемами селекции // С.-х биология. — 1982. — № 6. — С. 834–839.
7. Ничипорович А.А., Строгонова Л.Е., Чмора С.В. Власова М.П. Фотосинтетическая деятельность растения в посевах. — М.: АН СССР. — 1961. — 134 с.
8. Тарчевский И.А., Андрианова Ю.Е. Содержание пигментов как показатель мощности развития фотосинтетического аппарата пшеницы // Физиол. раст. — 1980. — 27. — С. 341–347.
9. Anderson J. M., Osmond C.B. Shade-sun responses: compromises between acclimation and

- photoinhibition // Topic in photosynthesis. V. 9. Photoinhibition / Eds. Kyle D.J. et. al. — Amsterdam: Elsevier, 1987. — P. 1—38.
10. *Berry J.A.* Adaptation of photosynthetic processes to stress // *Science*. — 1975. — 188. — P. 644 — 650.
 11. *Bilger W, Björkman O.* Role of the xanthophyll cycle in photoprotection elucidated by measurements of light-induced absorbance changes, fluorescence and photosynthesis in *Hedera canariensis* // *Photosynth. Res.* — 1990. — 25. — P. 173—185.
 12. *Björkman O.* Responses to different Quantum flux densities // *Physiological Plant Ecology. Encyclopedia of Plant Physiology.* — Vol. 12A / Ed. Lange O.L., Nobel P.S., Osmond C.B., Ziegler H.P. — Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1981. — P. 57—107.
 13. *Björkman O., Demmig* Photon yield O₂ evolution and chlorophyll fluorescence at 77K among vascular plants of diverse origins // *Planta*. — 1987. — 170. — P. 489—504.
 14. *Butler W.L.* Energy distribution in the photochemical apparatus of photosynthesis // *Ann. Rev. Plant Physiol.* — 1978. — 29. — P. 345—378.
 15. *Genty B., Briantais J-M., Baker N.R.* The relationship between quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence // *Biochemica et Biophysica Acta*. — 1989. — 990. — P. 87—92.
 16. *Green B.R., Durnford D.G.* The chlorophyll-carotenoid proteins of oxygenic photosynthesis // *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* — 1996. — 47. — P. 685—714.
 17. *Highkin H.R., Frenkel A.W.* Studies of growth and metabolism of a barley mutant lacking chlorophyll *b* // *Plant. Physiol.* — 1962. — 37. — P. 814—820.
 18. *Kirk J.T.* The Plastids. Their chemistry, structure, growth and inheritance / Eds. R.A.E. Tilney-Bassett. Elsvie. — Amsterdam; New York; Oxford: North-Holland Biomedical Press, 1978. — P. 960.
 19. *Lichtenthaler H., Buschmann C., Knapp M.* Measurement of chlorophyll fluorescence (Kautsky effect) and the chlorophyll fluorescence dcreased ratio (R_{FD}- values) with the PAM-fluorometr // *Analytical methods in plant stress biology* / Eds. Fielek, Biesaga-Końsielniak J., Marcicska I. — Krakyw, 2004. — P. 93—111.
 20. *Lichtenthaler H.K.* Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes // *Meth. in Enzymol.* — 1987. — 148. — P. 350—382.
 21. *Lichtenthaler H.K., Kuhn G., Prenzel U. et. al.* Adaptation of chloroplast-ultrastructure and of chlorophyll-protein levels to high-light and low-light growth conditions // *Z. Naturforsch.* — 1982. — 37. — P. 464—475.
 22. *Maxwell K., Johnson G.N.* Chlorophyll fluorescence — a practical giude // *J. Experimental Bot.* — 2000. — 51. — P. 659—668.
 23. *Schreiber U., Schliwa U. and Bilger W.* Continuous recording of photochemical and non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulation fluorometer // *Photosynth. Res.* — 1986. — 10. — P. 51—62.

Рекомендує до друку
М.М. Мусяенко

Надійшла 17.10.2005

Е.Ф. Довбыш, С.Н. Васильченко, А.А. Сиваш, Н.Н. Топчий

Институт ботаники им. Н.Г. Холодного НАН Украины, г. Киев

**ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ *ACER PLATANOIDES* L.,
A. CAMPESTRE L., *A. TATARICUM* L. В ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СВЕТОВЫХ РЕЖИМАХ**

Проведен сравнительный анализ содержания пигментов и функционального состояния фотосинтетического аппарата *Acer campestre* L., *A. platanoides* L. и *A. tataricum* L. в природных условиях при разной освещенности. Установлены отличия в содержании хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов, соотношении пигментов, параметрах индукции флуоресценции

хлорофилла: максимального квантового выхода фотохимических реакций фотосистемы II (ФСII), F/F_m ; эффективного квантового выхода фотохимических реакций ФСII, F'/F'_m ; фотохимического тушения флуоресценции хлорофилла, qP ; нефотохимического тушения флуоресценции хлорофилла, qN ; квантового выхода электронного транспорта, $\phi PSII$. Наиболее высокое содержание пигментов у теневых растений кленов обеспечивает достаточное поглощение световой энергии, необходимой для их роста, развития и успешной конкуренции под пологом леса. Эффективное функционирование фотосинтетического аппарата теневых кленов подтверждается самыми высокими значениями параметров qP , F'/F'_m и $\phi PSII$ на актиничном свете, близком к условиям произрастания. Высокая физиологическая пластичность обеспечивает возможности существования кленов как на опушках, в условиях повышенной инсоляции, так и под пологом леса.

Ключевые слова: клены, фотосинтетический аппарат, пигменты, флуоресценция

K.P. Dovbysh, S.M. Vasylychenko, O.O. Syvash, N.M. Topchiy

M.G. Kholodny Botany Institute, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

THE PHOTOSYNTHETIC CHARACTERISTICS OF *ACER PLATANOIDES* L.,
A. CAMPESTRE L., *A. TATARICUM* L. IN NATURAL ENVIRONMENTS
UNDER THE DIFFERENT LIGHT REGIMES

The comparative analysis of pigment content and functional state of photosynthetic apparatus of the *Acer campestre* L., *A. platanoides* L. and *A. tataricum* L. grown in natural environments under different light regimes. The differences in content of chlorophylls *a* and *b*, carotenoids, pigment ratio, chlorophyll fluorescence induction parameters: maximum quantum efficiency of photochemical reactions of photosystem II (PSII), F/F_m , effective quantum efficiency of photochemical reactions of photosystem II (PSII), F'/F'_m , photochemical, qP , and nonphotochemical, qN , quenching, quantum yield of electron transport, $\phi PSII$, have been established. Increase in the total pigment content in shade-grown maple trees provides light energy capture on the level required for effective photosynthesis, growth, development and successful competition under the canopy. The effective functioning of photosynthetic apparatus of shade-grown maple trees is confirmed by higher qP , F'/F'_m and $\phi PSII$ values at the actinic light intensity similar to growth one. Higher physiological plasticity provides the possibilities for existence of maples in conditions of high insolation and under the canopy as well.

Key words: maple, photosynthetic apparatus, pigments, fluorescence