

## パルスケイ光法による樹木葉の電子伝達速度の測定

九州大学農学部 津山 孝人・小林 元  
九州大学熱帯農学研究センター 矢幡 久  
九州大学農学部 小林 善親

## 1. はじめに

樹木の物質生産能力の評価法として、一般に個葉あるいは樹冠全体のCO<sub>2</sub>吸収速度を測定する方法がとられている。しかし、CO<sub>2</sub>吸収速度は環境因子のみならず呼吸や光呼吸によって大きく影響されるので、樹木の潜在的な光合成能力の正しい評価法とは言えない。一方、電子伝達系の電子はCO<sub>2</sub>以外の分子状酸素(O<sub>2</sub>)や光呼吸系にも流れるので、電子伝達速度は樹木の最大光合成能力を直接反映している。このような観点から、CO<sub>2</sub>以外にO<sub>2</sub>や光呼吸系への電子の流れを測定することができれば、樹木葉の光合成能力についてより多くの情報が得られるものと期待される。しかし、生葉における電子伝達速度を測定する方法は確立されていない。この研究は、パルスケイ光測定により、樹木葉の電子伝達速度の測定法を開発することを目的として行った。この新しい方法によって得られた結果をもとにO<sub>2</sub>や光呼吸系への電子の流れと、その意義について考察する。

## 2. 材料と方法

九大・粕屋演習林内に自生するイロハカエデ (*Acer palmatum* Thunb.) を水切りした後、12時間以上暗適応させ個葉及び切枝葉のパルスケイ光およびCO<sub>2</sub>吸収活性を測定した。

パルスケイ光測定は、PAMシステム (Pulse amplitude modulated fluorescence measuring system) を用いて行った。非光合成条件下でのケイ光強度を測定するため周波数1.6kHz、光強度0.07 μmol/m<sup>2</sup>sの測定光を試料葉に照射した。光合成を行わせるための作用光として室内実験では、115 μmol/m<sup>2</sup>sの赤色連続光を照射し、野外測定では太陽光を作用光とした。これとは別に全ての反応中心を励起するための飽和光として、1000または3000 μmol/m<sup>2</sup>sの白色光パルスを室内実験では100秒間隔で、野外測定におい

ては約2分間の測定につき1回、0.3秒間照射した。室内実験においては、25℃の定温下で試料葉に通気する気相を次のように変換した。まず、空気を通気しながら測定を開始しケイ光パルス変化が一定の状態に達した後、気相をCO<sub>2</sub>を除いた空気、さらにN<sub>2</sub>に切り換えた。葉片は乾燥を防ぐため水を含ませた布の上に置いて測定した。CO<sub>2</sub>吸収はCO<sub>2</sub>モニターを用いて測定した。

## 3. 結果と考察

ケイ光測定からの光化学系II (PS II) における電子伝達速度 (以下、全電子伝達速度とする) および、CO<sub>2</sub>吸収速度の測定からのCO<sub>2</sub>還元にもともなう電子伝達速度はそれぞれ次のように求めた。

## (a) 全電子伝達速度

$$\phi \text{ PS II} \times I_a \\ = \{(Fm' - F_s) / Fm'\} \times \text{PPFD} \times A \times 3600 / \\ (2 \times \text{mgChl}) \quad (\mu \text{mol equiv.e./mgChl h}) \\ \phi \text{ PS II} \dots\dots\dots \text{光化学系IIにおける電子伝達反応の量子収率}^{\text{b}}$$

I<sub>a</sub> …………… 光化学系IIによって吸収された光子量子数

F<sub>m</sub>' …………… 作用光照射下で飽和光を照射した時の最大ケイ光レベル

F<sub>s</sub> …………… 作用光照射下での定常状態におけるケイ光レベル

A …………… 葉に含まれるクロロフィル量 (x) から E Vance の式により求めた葉の光吸収率  
A = 0.96x / (x + 0.047)

なお、全電子伝達速度を求めるため、光は光化学系Iと光化学系IIに等しく分配されると仮定した。

(b) CO<sub>2</sub>還元にもともなう電子伝達速度

1分子のCO<sub>2</sub>が固定される際に、2NADPHが必要であり2NADP'の還元には4電子が必要であることから、次の式により求めた。

$$4 (\text{CO}_2 \text{ 吸収速度} + \text{呼吸速度}) \times 3600 / \text{mgChl} \\ (\mu \text{mol equiv.e./mgChl h})$$

Michito TSUYAMA, Hajime KOBAYASHI and Yoshichika KOBAYASHI (Fac. of Agric., kyushu Univ., Fukuoka 812) and Hisashi YAHATA (Inst. of Tropical Agric., kyushu Univ., Fukuoka 812)

Measurement of electron flow rate by pulse-modulated chlorophyll fluorescence method

図-1は、葉に通気する気相を空気、CO<sub>2</sub>を含まない空気、N<sub>2</sub>へとそれぞれ変化させた時のケイ光パルス変化を示している。表-1は、この測定から求めた光化学系IIの電子伝達反応の量子収率、全電子伝達速度、ケイ光パルス変化から求めた2つのケイ光クエンチング係数qQ、qNの値を示している。空気中での全電子伝達速度は148 μmol equiv.e/mgChl hであった。これはCO<sub>2</sub>固定および分子状酸素、光呼吸系への電子の流れである。次にCO<sub>2</sub>を含まない空気へ気相を変換させたときの、分子状酸素への電子の流れを見ると90 μmol equiv.e/mgChl hとなり全電子伝達速度のおよそ61%に減少した。(ただし、この値はCO<sub>2</sub>を含む空気中におけるO<sub>2</sub>への電子伝達速度ではない。)さらにQ<sub>A</sub>(光化学系IIの初期の電子受容体)の酸化還元状態に対するO<sub>2</sub>の影響を調べるため気相をCO<sub>2</sub>を含まない空気からN<sub>2</sub>へと変換させた。表に示したようにN<sub>2</sub>中では、光化学系IIの電子受容体Q<sub>A</sub>の酸化還元状態の指標となるqQおよび電子伝達速度はいずれも0となることが分かった。このことは、O<sub>2</sub>やCO<sub>2</sub>を含まない気相中では電子伝達鎖の過剰な還元によって光化学系IIの電子受容体Q<sub>A</sub>の再酸化がおこらないことが原因であると思われる。以上の実験は、CO<sub>2</sub>以外への電子の流れは、全電子伝達速度と比較しても大きなものであり、気孔閉鎖など何らかの条件でCO<sub>2</sub>が不足したときも、電子伝達体(Q<sub>A</sub>)の過剰な還元を防止していることを示している。Q<sub>A</sub>が過剰に還元されると光阻害がおこり植物の光合成機能は障害を受けることが知られている。上記の結果は、O<sub>2</sub>への電子の流れはCO<sub>2</sub>不足下での光阻害の

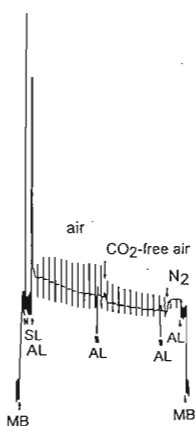


図-1 気相の変化にともなうケイ光パルス変化

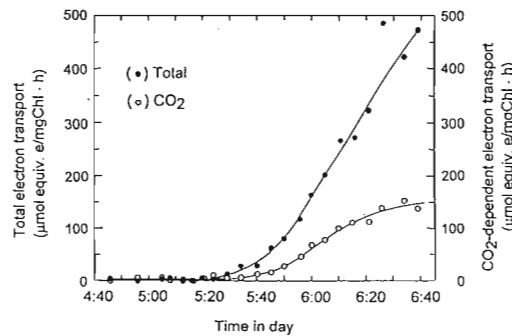


図-2 野外条件下における全電子伝達速度およびCO<sub>2</sub>還元にもなう電子伝達速度

防止に重要な役割を果たしていることを示唆している。

野外条件下におけるCO<sub>2</sub>およびO<sub>2</sub>への電子の流れの大きさを測定するためパルスケイ光およびCO<sub>2</sub>吸収速度の同時測定を行った。図-2は、早朝の光合成誘導期におけるケイ光パルス変化とCO<sub>2</sub>吸収速度の同時測定により得られた全電子伝達速度およびCO<sub>2</sub>還元にもなう電子伝達速度を時間に対してプロットしたものである。CO<sub>2</sub>に依存した電子伝達速度は、日の出後、光合成の開始とともに増加するが、それを上回って全電子伝達速度は増加した。たとえば、午前6:40におけるCO<sub>2</sub>還元に依存した電子伝達速度は全電子伝達速度の30%に過ぎず、O<sub>2</sub>や光呼吸系への電子伝達は全体の70%を占めていた。

#### 4. まとめ

パルスケイ光法およびCO<sub>2</sub>吸収速度の同時測定により葉の全電子伝達速度、CO<sub>2</sub>還元に依存した電子伝達速度およびCO<sub>2</sub>以外(分子状酸素および光呼吸系等)への電子伝達速度を測定することが可能となった。この方法で得られた全電子伝達速度とCO<sub>2</sub>還元にもなう電子伝達速度の間には大きな差があることが示された。

今後は、このような方法を用い、樹木のストレス耐性能との関連においてO<sub>2</sub>への電子伝達の役割を調べる事が重要であると思われる。

#### 引用文献

1) Genty, B., Briantais, J. M., and Baker, N., : Biochim. Biophys. Acta, 990, 87 - 92, 1989

表-1 気相を変換した時のPS IIの量子収率(φ PS II)、電子伝達速度、qQ、qNの値

	air	CO <sub>2</sub> -free air	air	N <sub>2</sub>
φ PS II	0.23	0.14		0
rate of electron transport	148	90		0
qQ	0.50	0.40		0
qN	0.45	0.84		0.83