

CO₂ 濃度ジャンプによる単葉のケイ光強度変化

都城市役所 竹下 秀 忠
九州大学農学部 山下 昭 二
富田 義 一

1. はじめに

ケイ光強度は光合成速度の1つの目安と考えられ、これまで光合成の有力な研究手段として用いられてきた。しかし、光合成系は一般の光化学反応と異なり多くの反応系が関与しており、ケイ光強度と光合成速度との関係を定式化するのは困難な問題である。周知のように光合成系は光の吸収にひきつづき初期光化学反応、電子伝達、光リン酸化、CO₂固定の過程の組み合わせから構成されている。光合成系からのケイ光は恐らくこれらの過程から、直接的・間接的な影響を受けていると思われる。単離された葉緑体に於いてはケイ光と初期光化学反応および電子伝達系との関係は比較的、明らかにされている。しかしより完全な光合成系をもつ単葉レベルに於いて、CO₂の固定過程までがケイ光に関与しているという実験的な証明は我々が知るかぎり見当たらない。本研究では、この事についての実験的な検証を行うと同時にCO₂のケイ光に与える影響およびケイ光と光合成との関連について考察する。

2. 実 験

材料は葉の形状から、マサキ (*Euonymus japonicus* Thunb) を選んだ。マサキ単葉は種々の条件を一定にするために採取後、10分間白色光を照射し、その後60分間暗中(空气中、室温)に放置した後測定に用いた。ケイ光の測定は次のように行なった。中圧水銀灯+干渉フィルター(436nm)による光をマサキ単葉に照射し、この時放射されるケイ光を赤色カットフィルターで励起散乱光と分別して、フォトマル(HITV, 7102)で受光した。フォトマルからのシグナルを直流増巾器を用いて増巾し記録計にとりだした。試料室に送り込むガス濃度は、レギュレーター用コックとマンメーターを用いて調節した。

3. 結果および考察

図1に単葉の空気中でのケイ光強度の経時変化と、CO₂濃度のジャンプにより誘導されたケイ光強度の変化の典型的な例を示す。一般に単葉のケイ光強度は励起光の照射と同時に急激な増加・減少を繰り返し3つのピークを残して約100

秒位で定常状態に達する。このようなケイ光強度の変化は単葉レベルに於いてのみ観測され、単離された葉緑体に於いては通常、ケイ光誘導と呼ばれる定常状態

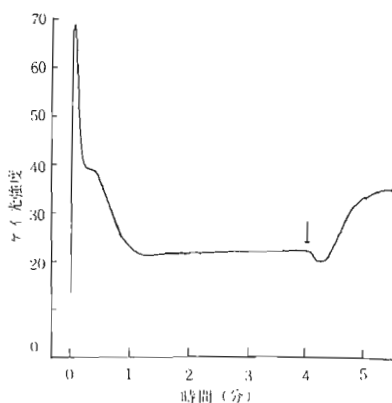


図-1 マサキ単葉のケイ光の経時変化およびCO₂注入による強度変化。CO₂濃度 100mmHg。矢印はCO₂の注入を示す。

への指数関数的増加のみが観測される。この相異はより完全な光合成像を明らかにする上で重要な意味をもつと思われる。CO₂濃度ジャンプ以後のケイ光強度は図に示すように、最初減少し約10秒後増加しはじめ、約100秒で注入したCO₂濃度に応じた定常的な強度に達する。最初のケイ光の減少はCO₂が光合成材料であるため光合成がCO₂濃度の増加とともに促進されていることに対応するが、CO₂濃度がさらに高くなると逆に光合成がCO₂により阻害されてケイ光が増加することになる。また、CO₂注入直後のケイ光強度の減少は明らかに、定常状態のケイ光がCO₂の固定過程により影響をうけていることを示す。CO₂の注入に伴う圧力の影響を調べるため、O₂、N₂をCO₂と同じ条件下で注入してもケイ光の変化は観測されない。又CO₂によるケイ光強度の変化は、CO₂の注入-排出を繰り返し行なった後も、全く同様の挙動を示す。このことはCO₂による光合成の阻害は他の有毒ガスと異なり光合成器官を不可逆的に欠損させることによるものではない事を示す。

CO₂の濃度変化によるケイ光の変化の大きさを表わすためにケイ光の最大値と最小値との差をとりこれを ΔI_F とする。図3は ΔI_F の励起光強度依存性を示す。

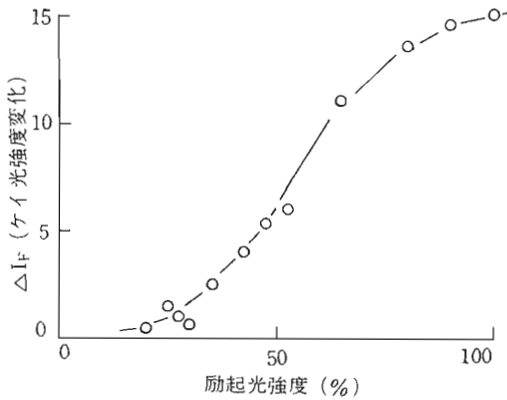


図-2 ケイ光強度変化の励起光強度依存性

光合成速度とケイ光との関係を示す簡単なモデルから ΔI_F は次のように表わせる。

$$\Delta I_F = I_0 \left\{ \frac{1}{(\hat{\alpha} + 1)} - \frac{1}{(\alpha + 1)} \right\} \dots (1)$$

$$\hat{\alpha} = k_p / k_f, \quad \alpha = k_p / k_f$$

I_F はケイ光強度, k_f , k_p は各々ケイ光の減衰速度と光合成速度, I_0 は励起光強度を表わす。又 $\hat{\alpha}$ は CO_2 濃度をジャンプさせたことを示す。本実験での励起光強度範囲内で k_p / k_f は一定である。それ故 [1] 式と図 2 より k_p は励起光強度に依存する。

励起光の照射開始以後, CO_2 濃度をジャンプするまでの時間間隔にも ΔI_F は依存する。図 3 に示すように励起光 $10 \text{ j/m}^2 \cdot \text{sec}$ の下で $CO_2 = 100 \text{ mmHg}$ で ΔI_F は時間間隔が大きくなるにつれて増大し, 約 7 分で一定値に達する。

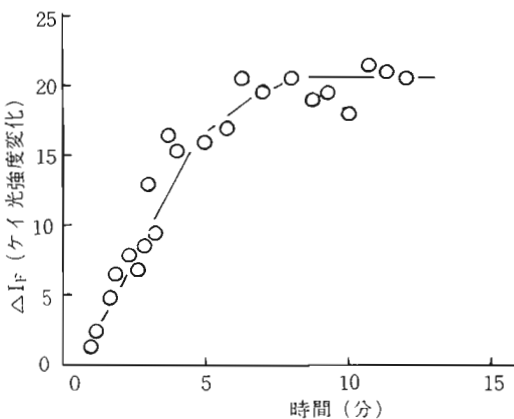


図-3 ケイ光強度変化の CO_2 注入時間依存性

Heldt, Anderson^{1,2)} によれば葉緑体のストロマ中に局在する CO_2 固定に関連する酵素群は H^+ 濃度に非常に敏感であり pH 8 で酵素活性は最大で pH 7 では不活性になる。さらにストロマ中の H^+ は照射によ

りストロマからグラナに移動し, ストロマ中の H^+ 濃度は低下する。一方 CO_2 は水に溶解すると 2 価の酸である炭酸になる。これらの点から高濃度の CO_2 によるケイ光の増加は, 炭酸の解離によってストロマ中の H^+ 濃度が増大し CO_2 固定反応するためと予想される。そこで試験的に酵素反応の H^+ 濃度依存性とケイ光強度-光合成速度との対比から ΔI_F の CO_2 濃度依存性を導きだした。式 1) と同じモデルから $1/k_p - 1/k_f = I_0 / k_f \cdot \Delta I_F$ の関係が得られる。 CO_2 固定酵素群の酵素活性の H^+ 濃度依存性から $1/v - 1/\hat{v} = A [H^+]$, 炭酸は 2 価の酸であるから $1/v - 1/\hat{v} \propto \sqrt{\Delta CO_2}$, ここで v , \hat{v} は反応速度, A は定数である。

光合成速度が完全に CO_2 固定反応速度によって律速されていると仮定すると $\Delta I_F \propto \sqrt{\Delta CO_2}$ の関係が得られる。図 4 に ΔI_F と $\sqrt{\Delta CO_2}$ との関係を示す。図中の 1, 2, 3 は各々励起光強度が 10, 7.3, 5.3 $\text{j/m}^2 \cdot \text{sec}$ の場合であり, \circ, Δ, \square は実験値を示し, 実線は最小 2 乗法による最適直線である。4 図で明らかな様に ΔI_F は CO_2 が 50 mmHg 以上の濃度で $\sqrt{\Delta CO_2}$ の増加に対して直線的に増加する。この結果は不完全ながらも, 上記の予想が妥当であることを示す。

CO_2 の濃度変化によるケイ光強度の変化をさらに定量的に説明するためには, CO_2 濃度をジャンプさせた時の葉内への CO_2 取り込み量を測定する必要がある。

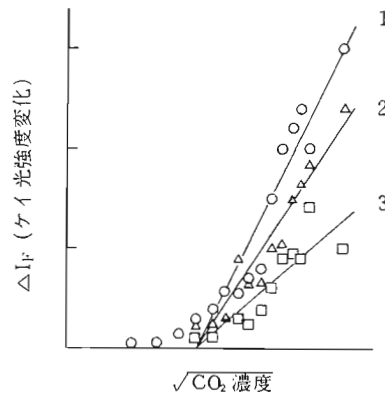


図-4 ケイ光強度変化の CO_2 濃度依存性
励起光強度 1; 10 $\text{j/m}^2 \cdot \text{sec}$, 2; 7.3 $\text{j/m}^2 \cdot \text{sec}$, 3; 5.3 $\text{j/m}^2 \cdot \text{sec}$

- (1) L.E. Anderson. proceeding of the Third International Congress on Photo synthesis, 2 - 6, 1974.
- (2) H.W. Heldt, K. Werdar, M. Milovancev and G. Geller. Biochimica et Biophysica Acta . 314, 224, (1973)