

サツマイモ個葉の老化に伴う光合成, 光呼吸および PSII量子収率の変化ならびに品種間差

海梅, 栄

九州大学大学院生物資源環境科学府植物資源科学専攻植物生産科学講座植物生産生理学研究室

窪田, 文武

九州大学大学院農学研究院植物資源部門植物生産科学講座植物生産生理学研究室

<https://doi.org/10.15017/21096>

出版情報 : 九州大学大学院農学研究院学芸雑誌. 56 (1), pp.73-81, 2001-10. 九州大学大学院農学研究院

バージョン :

権利関係 :

サツマイモ個葉の老化に伴う光合成, 光呼吸および PSII 量子収率の変化ならびに品種間差

海 梅 栄*・窪 田 文 武

九州大学大学院農学研究院植物資源科学部門植物生産科学講座植物生産生理学研究室
(2001年6月27日受付, 2001年7月11日受理)

Changes in Photosynthetic Rate, Photorespiration Rate and Quantum Yield of Photosystem II in Sweet Potato, *Ipomoea batatas* Lam., Leaves with Aging and Their Cultivaral Difference

Haimeirong* and Fumitake KUBOTA

Laboratory of Plant Production Physiology, Division of Soil Science and Plant Production,
Department of Plant Resources, Faculty of Agriculture,
Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan

1. 緒 言

サツマイモは, 栄養成長と生殖成長が明確に分かれているイネやムギ類, トウモロコシなどと異なり, 比較的生育の早い時期からシンク器官が成長し, 炭水化物が蓄積するので, 短期間でも収穫を得られる利点がある. また, 栽培時間を長くすると, 蓄積期間が長くなるため生産量の増加や安定性が得られる. このようにサツマイモは, デンプン生産作物として重要な位置付けにあるが, その収量の成立過程や物質生産を解析した研究は, 津野ら (1965) と北条ら (1971, 1973) の研究以降多くはない. 個葉光合成, 物質生産面からの総合的な解析について, 解決すべき多くの研究課題を残している. 特に葉の成長に伴う炭酸固定系と光化学系の両者から見た光合成機能の変化や葉の成長過程と光合成生産との関係について詳細に研究を進めた例は少ない.

光合成における主要過程は, 太陽光を化学エネルギーに変換する光化学系と, そのエネルギーを利用し炭水化物生産を行う炭酸固定系の二つの系で構成される. 自然光下で栽培中の植物では, 生産された化学エネルギー

が炭素固定系のエネルギー消費キャパシティーを超える場合が頻繁にあり, これが光合成機能劣化の原因となることが多い (U. Heber ら, 1996). 過剰エネルギーによる障害を防ぐための安全弁の一つとして, 光呼吸作用の重要性が指摘される. 光呼吸が大きいと安全性は増すが, 過大であると生産性は低下する. このため, 光化学系, 炭酸固定系及び光呼吸系の相互関係を適正に保つことが個葉の生産能力向上や機能維持に重要である. また, 葉の老化や機能劣化は葉の葉緑体の分解を伴うが, この現象には, 多くの要因が生育時期によって特異的に関与する. 葉の老化の進み方は, サツマイモに限らず農作物の生産性を左右する要因である. 光合成機能の劣化を防ぎ, 能力を維持することが作物生産の向上と安定性確保のために解決すべき重要な課題である.

本研究では, サツマイモ品種を対象に, 栽培環境と葉の老化との関係を光合成における光化学系 II (PSII) と炭酸固定系の機能バランスの面から解析することを目的に, 温度, 湿度, 光強度, 炭酸ガス濃度, 酸素濃度などを多様に変えた測定環境条件を設定して実験を進めた.

* 九州大学大学院生物資源環境科学府植物資源科学専攻植物生産科学講座植物生産生理学研究室

* Laboratory of Plant Production Physiology, Division of Soil Science and Plant Production, Department of Plant Resources, Graduate School of Bioresources and Bioenvironmental Science, Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan

2. 材料および方法

(1) 実験材料ならびに栽培方法

供試材料としてサツマイモ (*Ipomoea batatas* Lam.) 品種コガネセンガンと紅赤を用いた。コガネセンガンは多収性品種、また、紅赤は品質に優れるが、栽培が難しいとされている品種である。1999年度6月中旬に苗を、砂壤土を充填した8L容量のポットに植え付け、栽培した。N:P₂O₅:K₂O=16:16:16の複化成肥を1ポット当たり5g基肥として施用した。

2000年度には、コガネセンガンと紅赤を各1個体ずつ組み合わせて一つのポット(15L容量)に植え付け、栽培した。これは、2品種を同一の土壌条件で栽培するための処置である。前年度と同じ化成肥料をポット当たり10g施用し、7月上旬に苗を植え付けた。ほふく茎に着生する各個葉の光環境条件が均一になるように工夫し、添木固定式ポット栽培法を考案して使用した(図1)。ここでは、一番若い展開葉の齢を1とし、これよりも先に展開した葉を2, 3, 4, 5・・・と順位を付けた。

(2) ガス代謝およびクロロフィル蛍光消光の測定方法

同化箱に蛍光測定装置を組み込み、ガス交換速度とクロロフィル蛍光消光(飽和パルス照射法)を同時測定した。温度、湿度、光強度、炭酸ガス濃度、酸素濃度などの環境要因を種々に変えた測定条件を設定した。

光合成速度と蒸散速度の測定には赤外線ガス分析計

(L-6262, LI-COR社)を使用し、CO₂濃度と水蒸気量を絶対値(同化箱入り口)と相対値(同化箱出入り口の差)を測定した。測定対象とした葉面積は6.25 cm²、また、導入空気中のO₂濃度の測定にはジルコニア式酸素計(LC750, 東レ社)を使用した。導入空気中の流量は1.0L/minとした。得られたデータより個葉光合成速度と拡散伝導度を計算した。

携帯型光合成測定装置(PLC-B, ADC社)の付属同化箱を温度調節可能なチャンバーに改良して用いた。クールニクス(CIR42WS, KOMATSU社)で温度を調節した水をチャンバーの下部に固定した水槽に流し、葉温を30℃に維持した。光源にはメタルハライド(LS-M180, 住田光学ガラス社)を使用し、光強度(PPFD)の測定には光量子測定計(LI-189, LI-COR社)を用いた。

光呼吸作用を抑制するための処理として、2% O₂濃度の空気を同化箱に流した。ガスの組成の調節にはガス混合装置(GM-3A, KOFLOC社)を用い、炭酸ガス、酸素、窒素を混合調節した後、CO₂吸着剤(ソーダライム)を通してチャンバーへの導入空気中の炭酸ガス濃度の微調節を行った。PSIIにおけるクロロフィル蛍光の測定には携帯型蛍光測定装置(PAM 2000, Walz社)を使用し、チャンバー内の個葉に陰を作らない位置に蛍光プローブを固定した。

蛍光の測定手順を図2に示した。暗黒条件に30分間置いた葉に変調光(R)の照射による蛍光レベル(F₀)を得た。その直後に照射ランプにより強度8000 μmol

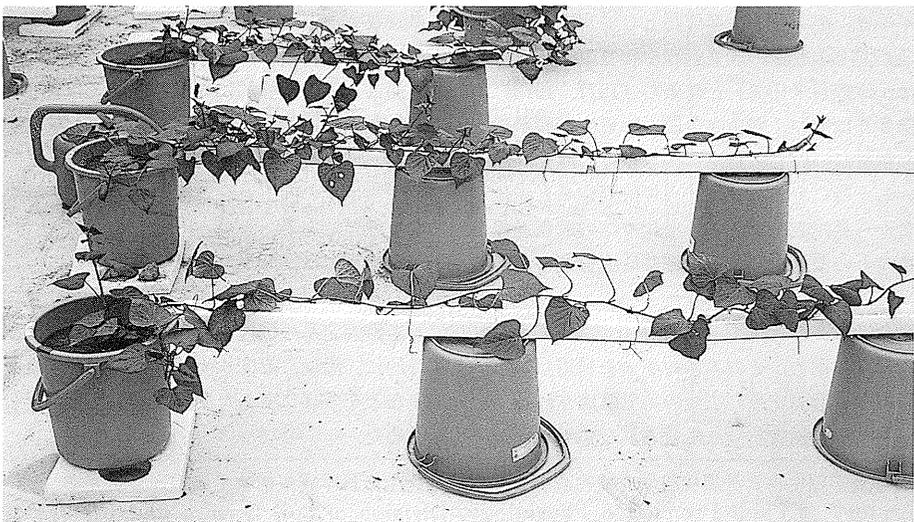


図1 サツマイモ栽培状況

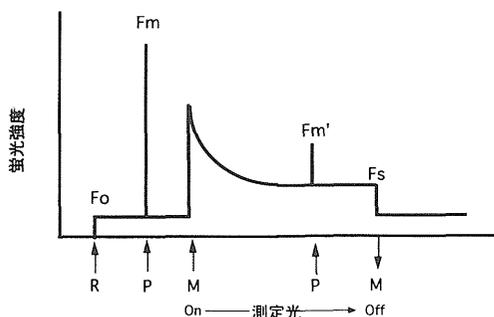


図2 飽和パルス光照射によるクロロフィル蛍光消光測定の様式図
R, 変調光; P, 飽和パルス光; M, 測定光; ↑, 照射; ↓, 消灯

$m^{-2}s^{-1}$ を1.2秒間与え、PSIIの最初の電子受容体が完全に還元された状況下での蛍光強度 (F_m) を測定した。 F_m と F_0 の差を F_v ($F_v = F_m - F_0$)とし、 F_v/F_m をPSIIの最大量子収率とした。その後、光合成作用光の照射 ($500 \mu mol m^{-2}s^{-1}$)を開始し、蛍光強度 (F_s)を連続測定した。また、白色パルス光 $1800 \mu mol m^{-2}s^{-1}$ を0.8秒間照射して、光合成作用光照射下での最大蛍光強度 (F_m')を測定した。ガス代謝および蛍光消光の測定値から各パラメータを計算した。

(3) 計算方法

ガス代謝に関するパラメータとして、光合成速度 (P_n)、暗呼吸速度 (R_d) および拡散伝導度 (G_s) を求めた。また、 P_n と R_d を加えた値を総光合成速度 (P_g)とした。

光化学系に関するパラメータを、Gentyら (1989)の方法を基礎に計算した。

PSIIにおける電子伝達速度 (J_t)は(1)式で求めた。

$$J_t = \Phi_e \cdot 0.5 \cdot 0.93 \cdot L \tag{1}$$

ここで、 Φ_e はPSIIにおける量子収率 ($\Phi_e = (F_m' - F_s)/F_m'$)、 L は葉面光強度 ($\mu mol m^{-2}s^{-1}$)である。また葉に照射された光はPSIとPSIIに1/2ずつ配分されると考えて0.5を乗じた。また、葉の吸収率は93%であったため、0.93を L に乗じた。従って、 $0.5 \cdot 0.93 \cdot L$ がPSIIに関わるクロロフィルが吸収した光強度となる。

P_g と電子伝達速度 J_t との間に(2)式が成り立つ。

$$P_g = J_t / k_t \tag{2}$$

(1)式と(2)式から(3)式が得られ、 k_t の値を求めることができる。

$$k_t = \Phi_e \cdot 0.5 \cdot 0.93 \cdot L / P_g \tag{3}$$

k_t は光合成で $1CO_2$ を固定するのに必要な電子数であり、ここでは CO_2 固定に用いられた電子数と光呼吸などに用いられた電子数が込みになった値である。光呼吸による CO_2 の放出があり、光呼吸によるATPエネルギーの消費も大きくなるため、 C_3 植物では見かけの k_t はかなり大きな値となる場合が多い。

P_g を(4)式から求めることができる。

$$P_g = T_c - P_r \tag{4}$$

ここで、 T_c は全炭酸固定速度であり、 P_r は光呼吸速度である。

T_c と P_r に関する J_t は(5)式で示される。

$$J_t = k_c \cdot T_c + 2.06 \cdot k_c \cdot P_r \tag{5}$$

ここで、 k_c はRuBPCase系で $1CO_2$ を固定するのに対応する電子数であり、理論値は4である。2.06は $1CO_2$ を光呼吸で放出するのに必要なATPが $1CO_2$ 固定用のATPの2.06倍であることを示す。 $k_c \cdot T_c$ は全炭酸固定速度に対応する電子伝達速度、また、 $2.06 \cdot k_c \cdot P_r$ は光呼吸に対応する電子伝達速度である。

(4)式と(5)式から(6)式が導かれる。電子伝達速度から見た T_c を(6)式から求めることができる。

$$T_c = (2.06 \cdot k_c \cdot P_g + \Phi_e \cdot 0.5 \cdot 0.93 \cdot L) / 3.06 \cdot k_c \tag{6}$$

光呼吸率 (P_r/T_c)は(7)式で%単位で求められる。

$$P_r/T_c = 100 \cdot P_r/T_c \tag{7}$$

RuBPCaseとRuBPOaseの活性比 (S)を(8)式で求めた。

$$S = T_c \cdot O \cdot 10^4 / 2 \cdot P_r \cdot C \tag{8}$$

ここで、 O は O_2 濃度(%), また、 C は細胞間隙 CO_2 濃度(ppm)である。

3. 結 果

2品種の全個葉の $P_{g21\%}$ 、 $P_{g2\%}$ 、 T_c および G_s の平均値を比較して表1に示した。酸素濃度21%の空気における P_g を $P_{g21\%}$ 、酸素濃度を2%に減少した空

表1 サツマイモ2品種の光合成速度 ($Pg_{21\%}$ と $Pg_{2\%}$), 全炭酸固定速度 (Tc) および拡散伝導度 (G_s) の比較

	$Pg_{21\%}$ ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	$Pg_{2\%}$ ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Tc ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	G_s ($\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)
コガネセンガン	14.4 ± 0.8	21.4 ± 2.0	18.5 ± 1.6	0.24 ± 0.04
紅 赤	11.0 ± 2.4	17.7 ± 4.0	16.2 ± 1.4	0.19 ± 0.01

$Pg_{21\%}$ は21% O_2 における光合成速度, $Pg_{2\%}$ は2% O_2 における光合成速度を示す. 測定光強度は $500 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ とした. 表中の数値は平均値 \pm 標準誤差を示す.

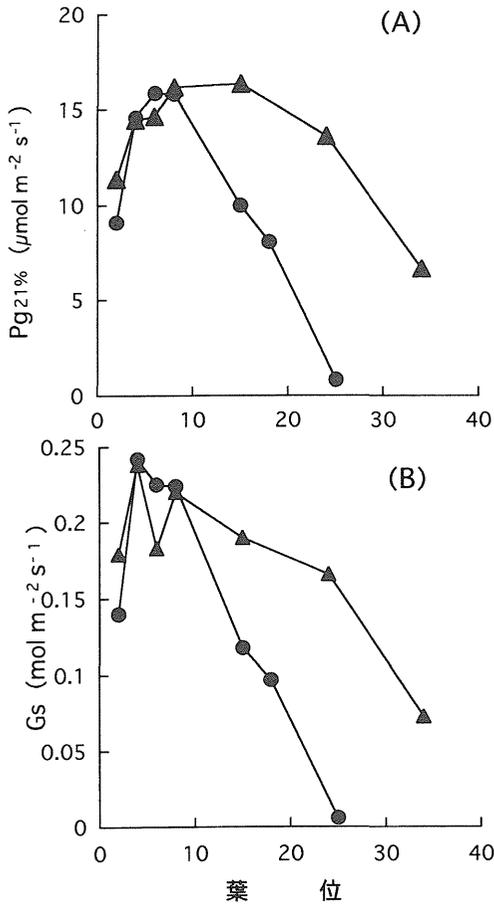


図3 サツマイモ2品種の葉位に伴う光合成速度 ($Pg_{21\%}$) と拡散伝導度 (G_s) の変化
●, 紅赤; ▲, コガネセンガン

気における Pg を $Pg_{2\%}$ とした. コガネセンガンでは, $Pg_{21\%}$ の平均値が $14.4 \pm 0.8 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, また, 紅赤では $11.0 \pm 2.4 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ であった. その他のパラメータの値も, 紅赤に比較してコガネセンガンが高

い値であった.

両品種のこれらのパラメータは葉位によって大きく変動するため, 葉位に伴う $Pg_{21\%}$ と G_s の変化を図3-A, B に示した. $Pg_{21\%}$ について見ると, 紅赤では, 5~8 葉位の若い葉で最大になり, それよりも老化した葉では急激に減少する特徴を示した. コガネセンガンは, 古い葉でも高い $Pg_{21\%}$ 値を維持し, 葉位に伴う低下が緩慢であった. 例えば, 18 葉位の $Pg_{21\%}$ は, 紅赤では $8.1 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ に低下したが, コガネセンガンの $Pg_{21\%}$ は $16 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ であり, 5, 6 葉位の値と比較してほとんど低下が認められなかった. 15 葉位での $Pg_{21\%}$ を比較すると, コガネセンガンが紅赤の約1.5倍の値であった. このように品種間の光合成速度の生育に伴う変化には明確な差が認められた.

次に, 図3-B に示した G_s について見ると, G_s の葉位に伴う変化は $Pg_{21\%}$ の葉位に伴う変化とほぼ同じ傾向を示し, 紅赤では5~8 葉位の若い葉で早く低下する特徴が見られた. 一方, コガネセンガンでは古い葉まで高い値を維持し, 葉位に伴う低下が緩慢であった. 紅赤の15 葉位の G_s の値は $0.12 \text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ であったが, コガネセンガンでは $0.20 \text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ であり, 紅赤の同じ葉位の1.7倍の値であった. このように G_s の葉位に伴う変化にも明確な品種間差が認められた. コガネセンガンは紅赤と比較して, 葉位 (葉齢) が進んでも気孔開度と光合成速度を維持する品種特性を示した.

次に, PSII に関連するパラメータの葉位に伴う変化を検討する. 両品種の葉位に伴う F_v/F_m と Φ_e の変化を図4 に示した. F_v/F_m の変化はコガネセンガンでは, 5~10 葉位で最大値になり, 古い葉でも高い値を示し, 葉位に伴う変化は小さかった. 紅赤では2 葉位で最大値になり, 葉位が進むに従って大きく減少した. 全葉位を通して F_v/F_m はコガネセンガンが高い値を維持した. 両品種個葉の葉位に伴う Φ_e の変化は, $Pg_{21\%}$ の場合とほぼ同じ傾向であった. 8 葉位で

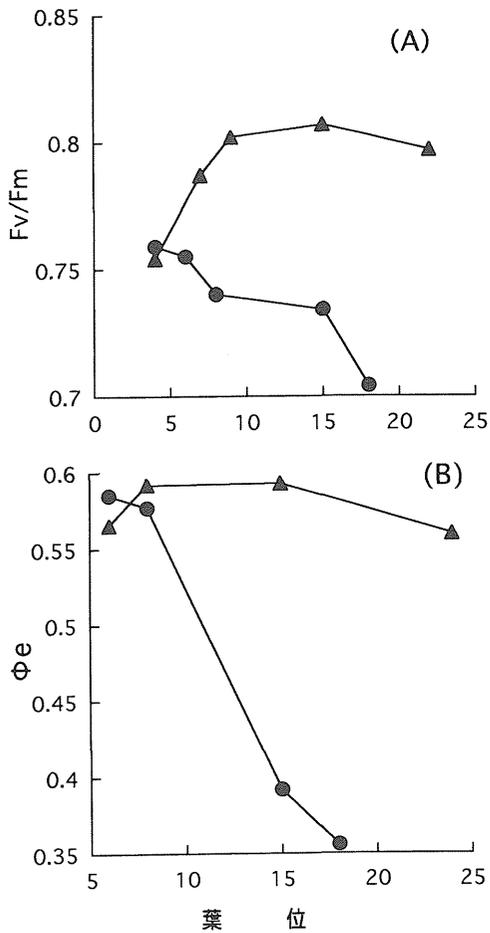


図4 サツマイモ2品種個葉の最大量子収率 (Fv/Fm) および酸素濃度21%条件下での量子収率 (Φe) の葉位に伴う変化
●, 紅赤; ▲, コガネセンガン

は両品種のΦe値は0.59であったが、15葉位では紅赤の値は0.4に低下し、10葉位と比較して32%減少した。一方、コガネセンガンの値は0.58でほとんど低下が見られなかった。コガネセンガンではΦeの値が高く、しかも葉位で一定していたことは、本品種の各葉位における光化学系での化学エネルギー生産能力が高いことを示す。

光化学系で生産された化学エネルギーは、全て炭酸固定による生産作用に使用されるわけではなく、光呼吸作用などによっても消費される。これまで検討してきたPg_{21%}は、光呼吸を含んだ見かけの炭酸固定速度であるため、次に、葉内での真の炭酸固定速度である

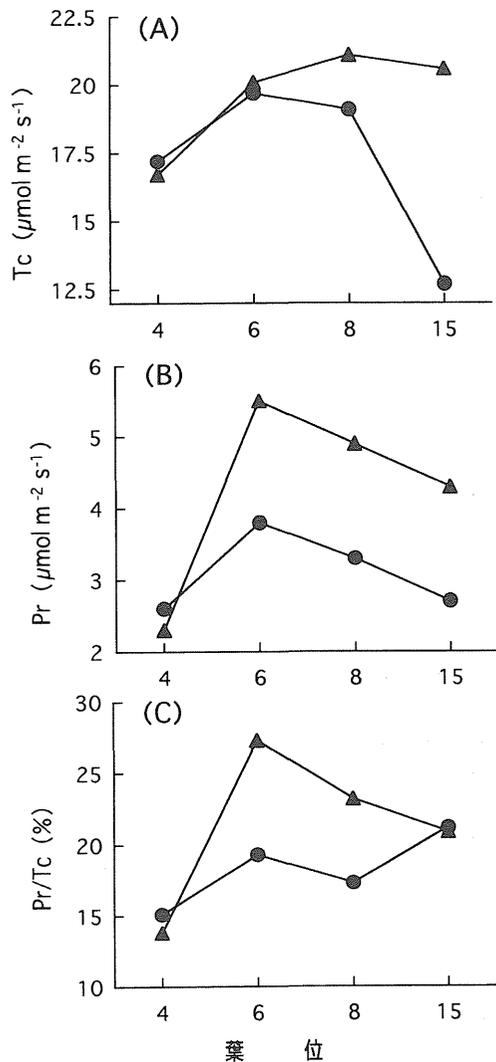


図5 サツマイモ2品種個葉の全炭酸固定速度 (Tc)、光呼吸速度 (Pr) および光呼吸率 (Pr/Tc) の葉位に伴う変化
●, 紅赤; ▲, コガネセンガン

Tcを求め、両品種の葉位に伴うTc, Pr, およびPr/Tcの変化を図5に示した。葉位に伴うPrの変化は、Pg_{21%}の葉位に伴う変化(図3-A)とはほぼ同じ傾向を示し、コガネセンガンの値が大きかった。15葉位のPrを比べると、コガネセンガンが紅赤の約2倍の値であった。このように、コガネセンガンは、光化学系におけるエネルギー生産能力とCO₂固定能力が高いことのみならず、光呼吸速度も高いことが明らかに

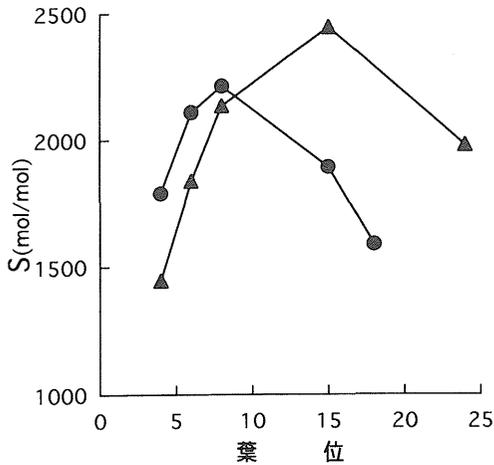


図6 サツマイモ2品種個葉のRuBPCaseとRuBPOaseの活性比(S)の葉位に伴う変化
●, 紅赤; ▲, コガネセンガン

なった。また、Pr/Tcもコガネセンガンで高い値を示した。このようにコガネセンガンは、エネルギー生産に関わる光化学系と化学エネルギーの消費に関わる炭酸固定、光呼吸の両者の作用量が大いことが明らかとなった。

次に、化学エネルギー消費系の炭酸固定と光呼吸の作用量を比較するため、両品種の葉位に伴うSの変化を図6に示した。2~8葉位の若い葉では、紅赤がやや高い値を示したが、比較的若い葉位で低下し始めた。これに対して、コガネセンガンのSは葉位とともに増加し、15葉位で最大になり、その後葉位に伴って低下した。このようにSについても品種間差が明確であり、コガネセンガンは、炭酸固定作用の活性が高い品種であると推定された。

PSIIにおける電子エネルギーの利用効率を見るため、葉位に伴うktとkcの変化を図7に示した。ktは光合成で1CO₂を固定するのに必要な電子数であり、CO₂固定に用いられた電子数と光呼吸などに用いられた電子数が込みになった値である。光呼吸によるCO₂の放出があり、光呼吸によるATPの消費量も大きくなるため、C₃植物では見かけのktはかなり大きくなる。一方、kcは1CO₂の固定のみに要する電子数であり、4~5の値が得られている。なお、kcの理論値は4とされており、ここで得られた値は理論値に近い値であった。両品種のktとkcの値は葉位に伴って増加するが、品種間差が明確であり、ktとkc

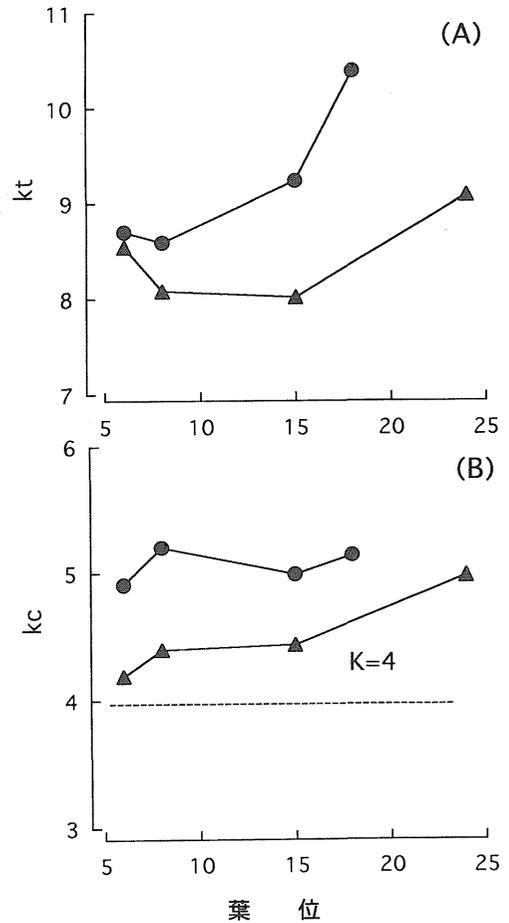


図7 サツマイモ2品種個葉のktとkcの葉位に伴う変化

ktとkcは1分子のCO₂固定に必要な電子数を示す。ktは21%O₂条件下での測定値であり、kcは2%O₂条件下での測定値である。

●, 紅赤; ▲, コガネセンガン

の値はコガネセンガンで低く、紅赤では高い値を示し、コガネセンガンの電子エネルギーの利用効率が高いと判断された。

4. 考 察

コガネセンガンは多収性品種であり、一方、高品質品種とされる紅赤の収量は低い。収量は作物群落の光合成生産力に強く支配されており、収量と群落光合成能力との関係については、多くの作物の種、品種を対象に解析が進められてきている。群落の光合成速度は、

受光態勢、葉面積指数および個葉光合成能力の3つの主な要因で構成されている。サツマイモのように草丈が低い植物体で群落が構成される場合、受光態勢の改善や葉面積指数の増加に限界があるため、個葉の光合成能力が植物群落の光合成生産力の決定要因として重要性になる。個葉の光合成能力は、その最大光合成速度によって評価されることが多いが、加えて重要な評価視点は、光合成機能の永続性、すなわち個葉の寿命にある。この点に焦点を当て、本研究では、コガネセンガンと紅赤の2品種を用い、両品種における個葉展開後の光合成維持能力の差を炭酸固定速度、電子伝達速度、光呼吸速度などの面から調査、比較し、両品種の生産性との関連を論議した。

図3を見ると、紅赤では、 $Pg_{21\%}$ とGsが若い葉で最大になり、葉位が少し進むと急激に減少する特徴を示し、老化の進みが速いと判断される。これに対して、コガネセンガンでは、古い葉でも両者は高い値を維持し、葉位に伴う低下が緩慢であった。このことから、コガネセンガンでは、ガス交換に優れること、すなわち気孔開度が維持されることが、個葉光合成能力を維持する要因の一つであると考えられる。

縣ら(1991)は、サツマイモの品種によって、光合成速度や蒸散速度に変異が見られ、両者間に高い正の相関関係が見られたと報告している。窪田ら(1992, 1993)は、気孔の影響を取り除くために葉の表皮を剥離して光合成速度を測定し、表皮剥離後の光合成速度は表皮剥離前と比べて大幅に上昇する現象を認めており、さらに光合成速度の上昇率は、剥離前の個葉の気孔開度や光合成速度によって大きく異なることを報告している。このように、サツマイモ個葉の光合成速度の律速要因としての気孔開度の重要性が指摘されるが、光合成生産の基盤である光化学系における化学エネルギー生産状況についての検討も重要である。

そこで、図4に示した $500\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ の光強度下で光合成測定中の Φ_e とFv/Fmの葉位に伴う変化の品種間差を検討した。コガネセンガンのFv/Fmの葉位に伴う変化は小さく、古い葉でも高い値を示したが、紅赤では、2葉位で最大値になり、葉位が進むに従って急速に減少した。また、両品種個葉の葉位に伴う Φ_e も、コガネセンガンでは葉位に関わらずほぼ一定であったが、紅赤の値は葉位とともに急激に低下した。これらの変化は、 $Pg_{21\%}$ の場合と同じ傾向である。葉の老化に伴ってFv/Fmが低下すると報告されている(Sestákら, 1996)。ここでは、その傾向は紅赤では強く示されたが、コガネセンガンではFv/Fmや Φ_e

が古い葉でも高く維持された。このことは、本品種では、炭酸固定などの代謝に供給されるエネルギーの生産量が大きいことを示すものであり、 $Pg_{21\%}$ が高く維持される原因の一つと考えられる。

次に、化学エネルギーを消費する代謝である炭酸固定作用と光呼吸作用について、図5を見ると、TcとPrの葉位にともなう変化は、 $Pg_{21\%}$ の変化(図3-A)とほぼ同じ傾向を示し、コガネセンガンでは両者の値が全葉位を通して高かった。このことは、化学エネルギー消費系における作用力がコガネセンガンで格段に大きいことを示す。また、Pr/Tcもコガネセンガンで高い値が示されている。Prが大きく、Pr/Tcも高いことは、過剰エネルギーによる生体機能の障害を防ぐための安全弁の一つとしてその重要性が指摘される。乾燥ストレスを受けたオオムギについても光呼吸の増加が認められている(Winglerら, 1999)。コガネセンガンでは光呼吸作用による余剰エネルギーの消費量が大きく、強光条件下での安全性が高いことが示唆される。しかし、光呼吸量が大きいことは安全性を増加させることになるが、大きすぎると生産性を低下させることにもなり得る。個葉の生産能力向上と機能維持の同時実現のためには、光化学系、炭酸固定系及び光呼吸系の相互関係を適正に保つことが重要である。

コガネセンガンが、高い炭酸固定能力を持つことは物質生産に有利な基本形質であり、また高い Φ_e や高い光呼吸活性を持つことは、消費するエネルギー量が大きく、余剰エネルギーの処理に優れ、本品種が長期間にわたって高い光合成生産能力を維持できる基礎要因と考えられる。一方、紅赤の個葉では、加齢に伴って Φ_e 、 $Pg_{21\%}$ およびPrが急激に減少するが、その原因の一つとして、紅赤の余剰エネルギー処理能力が関係しているものと考えられる。Prが低く、増加する余剰エネルギーを十分処理できない場合、植物体への障害作用が大きくなり、光合成能力の劣化の原因になるものと考えられる。光呼吸は電子伝達速度に影響を及ぼし、光呼吸作用が低下するにつれて、量子収率が低下し、光障害、光阻害を起こすと報告されている(Kouzakiら, 1996)。一方、ヒノハノウシヌケグサのように、野生型と異なり、変異体は葉位が進んでもRubiscoの活性が高く、また、光合成速度、光呼吸速度、電子伝達速度も高いことが報告されている(Kinston-Smithら, 1997)。光合成、光呼吸作用とPSII量子収率は、葉齢や環境、さらに種、品種によって多様な変化、変異を示すものと考えられる。

図6に示した炭酸固定作用と光呼吸作用に関わる

RuBPCase と RuBPOase 両者の活性比である S の両品種の葉位に伴う変化を見ると、紅赤では若い葉で高い値を示し、葉位が進むと急速に低下した。このような現象はタバコの個葉についても見られ、葉位に伴って Rubisco 活性、光合成速度、クロロフィル含量が低下したと報告されている (Jordi ら, 2000)。紅赤に対して、コガネセンガンの S は若い葉ではやや低いが、葉位とともに増加して15葉位で最大になり、その後低下するが、葉位の進んだ葉でも高い値を維持しており、品種間で特徴的な差が認められた。コガネセンガンの若い葉で S が低いことは、RuBPCase に対する RuBPOase の活性比が高いことを意味しており、このため若い葉の過剰エネルギーに対する安全性が高く、これがコガネセンガンの光合成機能が長く維持できる原因の一つになる可能性がある。

次に、電子エネルギーの利用効率を見るため、葉位に伴う kt と kc の変化を検討する (図 7)。 kt と kc の値は両品種とも葉位に伴って増加するが、品種間差が明確であり、 kt と kc 両者の値はコガネセンガンで低い、このことは、本品種では、 $1CO_2$ を固定するのに必要とする電子数が少なく、電子エネルギーの利用効率が高いことを示すものである。 kt の値が、葉位が進んだ紅赤の個葉で高くなるのは、図 3-B に示すように本品種の G_s が低く、光呼吸増加に伴って化学エネルギー消費量が増加することによるためと推察される。また、紅赤の kc が高いことは、炭酸固定や光呼吸以外の代謝系で、化学エネルギーがより多く消費されることを示唆するものである。

以上述べてきたように、両品種の個葉光合成能力の加齢による劣化現象には明確な差が認められ、コガネセンガンは、個葉の機能維持に優れる。炭素固定機能の劣化には過剰エネルギー放散の役割を持つ光呼吸作用が重要な関わりを持つことが指摘されるが、本実験では、コガネセンガン個葉の光化学系の作用力は大きく、化学エネルギーの生産力も大きい、炭酸固定や光呼吸作用も同時に大きい、高い光合成生産力と過剰エネルギー障害回避が同時に可能となり、個葉の機能維持による高位生産性が実現できるものと考えられる。

文 献

- 縣 和一・箱山 晋 1991 サツマイモの光合成速度および葉面積生産速度の品種間差並びに品種育成過程における変化. 九大農芸誌, 46: 23-31
- Genty, B., J-M. Briantains and N. Baker 1989 The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochim. Biophys. Acta*, 990: 87-92
- Jordi, W., A. Schapendonk., E. Davelaar., G. M. Stoop., C. S. Pot., R. Devisser., J. A. Vanrhijn., S. Gan and R. M. Amasino 2000 Increased cytokinin levels in transgenic PSAG12-IPT tobacco plant have large direct and indirect effect on leaf senescence, photosynthesis and N partitioning. *Plant, Cell Environ.*, 23: 279-289
- 北条良夫・杜 正潤 1971 Ipomoea 属野生種及び栽培種間の接木植物における植物生産. 農技研報, D22: 145-164
- 北条良夫・村田孝雄・吉田智彦 1971 甘しょ接木植物における塊根の発育. 農技研報, D24: 35-60
- 北条良夫・加藤真次郎 1973 Ipomoea 接木植物における source と sink との相互関係. 日作紀, 45: 117-123
- Kinston-Smith, A. H., H. Thomas and C. H. Foyer 1997 Chlorophyll a fluorescence, enzyme and antioxidant analyses provide evidence for the operation of alternative electron sinks during leaf senescence in a stay-green mutant of *Festuca pratensis*. *Plant, Cell Environ.*, 20: 1323-1337
- Kubota, F., M. Yatomi and W. Agata 1992 CO_2 exchange rate in sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) leaves with and without lower epidermis. *Photosynthetica*, 26: 257-260
- Kubota, F., Y. Yoshimura and W. Agata 1993 Stomatal movement and CO_2 exchange rate of sweet potato plant (*Ipomoea batatas* lam.) in relation to water environments - a comparison between native and improved varieties-. *J. Fac. Agr., Kyushu Univ.*, 38: 97-110
- Kouzaki, A and G. Takeba 1996 Photorespiration protects C_3 plant from photooxidation. *Nature*, 384: 557-560
- Šesták, Z 1996 Chlorophyll fluorescence kinetic depends on age of leaves and Plants. In "*Chloroplast: from molecular Biology to biotechnology*", Vol.64, ed. by Aargyroudi Akoyunoglou JH, Senger H, Kluwer Academic Publ, Inc., Netherlands, pp.291-296
- 津野幸人・藤瀬一馬 1965 甘藷の乾物生産に関する作物学的研究. 農技研報, D13: 1-131
- Heber, U., R. Bligny., P. Streb and R. Douce 1996 Photorespiration is essential for the protection of the photosynthesis apparatus

of C₃ plant against photoinactivation under sunlight. *Bot. Acta*, **109**: 307-315
Wingler, A., W. P. Quick., R. A. Bunard., K. J. Bailey., P. J. Lea and R. C. Leegood 1999
The role of photorespiration during

drought stress: an analysis utilizing barley mutants with reduced activities of photorespiratory enzymes. *Plant. Cell Environ.*, **22**: 361-373

Summary

The age-dependent deterioration in leaf photosynthesis was compared between the two sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) cultivars, Koganesengan (KOG) and Beniaka (BEN), with a significant difference in productivity. The discussion was made from the three viewpoints of the chemical energy production in the photosystems, its consumption by CO₂ assimilation and photorespiration, and their mutual-relationships in a leaf. The CO₂ assimilation rate and chlorophyll fluorescence quenching in the photosystem II (PSII) were simultaneously monitored under the condition where air temperature, humidity, light intensity and the concentrations of CO₂ and O₂ in the assimilation chamber were regulated. The results obtained were as follows: 1) KOG represented a high stomatal conductance (G_s) and a high CO₂ exchange rate in young and old leaves, whereas these parameter values quickly decreased with leaf age in BEN. The quantum yield (Φ_e) in PSII was less affected by leaf age in KOG, which means that a larger quantity of chemical energy was produced in KOG. In addition to the larger energy production and higher CO₂ assimilation rate, the higher photorespiration rate was observed in KOG. 2) The high CO₂ assimilation activity of KOG is advantageous for increasing biomass production. The high photorespiration rate is considered to play a role in effectively dissipating the excessively accumulated energy provided from the photosystems, and this may allow the leaf of KOG to have a functional longevity.