

# 中学校技術・家庭科の栽培領域におけるセントポーリア (*Saintpaulia ionantha* WENDL)の教材化に関する研究

— セントポーリアの光合成特性について —

織田弥三郎<sup>1</sup>, 石塚英雄<sup>2</sup>

## Studies on *Saintpaulia* (*Saintpaulia ionantha* WENDL) as a Teaching Material for Educational Gardening in Junior High School. — Photosynthetic Characteristics of *Saintpaulia* —

Yasaburo ODA, Hideo ISHIZUKA

### 1. 緒 言

光合成は植物生長の基本的な過程であり<sup>(4,7)</sup>, 光合成速度と環境要因との関係を明らかにする事は適正な栽培環境を知る上で極めて重要であると考えられる。セントポーリアは, その自生地から見て光要求性は低く, 温和な気温条件に適応した植物と推定される<sup>(8)</sup>。この特性を利用し, 温帯圏では冬期の保温を兼ねて室内でカーテンで遮光した窓辺や蛍光灯下で栽培が行われている<sup>(4,8)</sup>。しかし, セントポーリアの光合成について光強度ならび生育温度との関係について詳細な報告に乏しい。そこで本報では, 人工光源として蛍光灯を用いた比較的低い光強度条件下で育成したセントポーリア2品種について葉齢の異なる個葉について, 光強度並びに葉温と光合成速度との関係を検討し, 中学校技術・家庭科の栽培領域における室内栽培の学習のための教材化の基礎資料を得ようと試みた。

### 2. 材料及び方法

#### 2.1 供試材料と育成法

本報では, 植物がより強健で, 多花性の栽培が容易<sup>(1)</sup>という特性から, ホルトマンカンパ社育成のオプティマラシリーズ, ‘ミズリー’及び‘バーモンド’の2品種を供試材

---

<sup>1</sup> 横浜国立大学教育学部技術学教室

<sup>2</sup> 小田原市立城山中学校

料とした。

供試材料の育成は、育成棚（高さ1.8m、奥行き0.6m、間口1.2mの4段とし、下段は使用せず）を作成し、植物体の上部15cmの高さに光源として40Wの蛍光灯（FL40SS・EX-N/37、松下電器製）を2本を設置した。設定照度は3.5Klx前後、照明時間を午前6時から午後10時までの16時間<sup>(1)</sup>とした。また、空調機により温度制御を行い、植物体付近の気温を25℃前後<sup>(2)</sup>、相対湿度を60%前後とした。1992～1993年に開花始めまで育成し株の個葉について光合成速度の測定を行った。

なお、育成の培土はバーミキュライト5：ピートモス4（ベンレート1000倍で消毒）：パーライト1の割合に混合したのものを使用し、灌水は1週間に1回、施肥は2週間に1回の割合でセントポリア用液肥（N-P-K=14-12-14）の1000倍液を施用した。病虫害の防除のため、殺虫及び殺菌剤のアクテリックとサプロールの混合したものを月に1回散布を行った。

## 2.2 光合成速度の測定

葉数30枚前後の開花成株について測定開始1週間前に施肥、前日に灌水を行った。測定装置には半開放式の携帯用光合成蒸散測定装置（KIP-8510形Ver2.12、小糸工業製）を用いた。

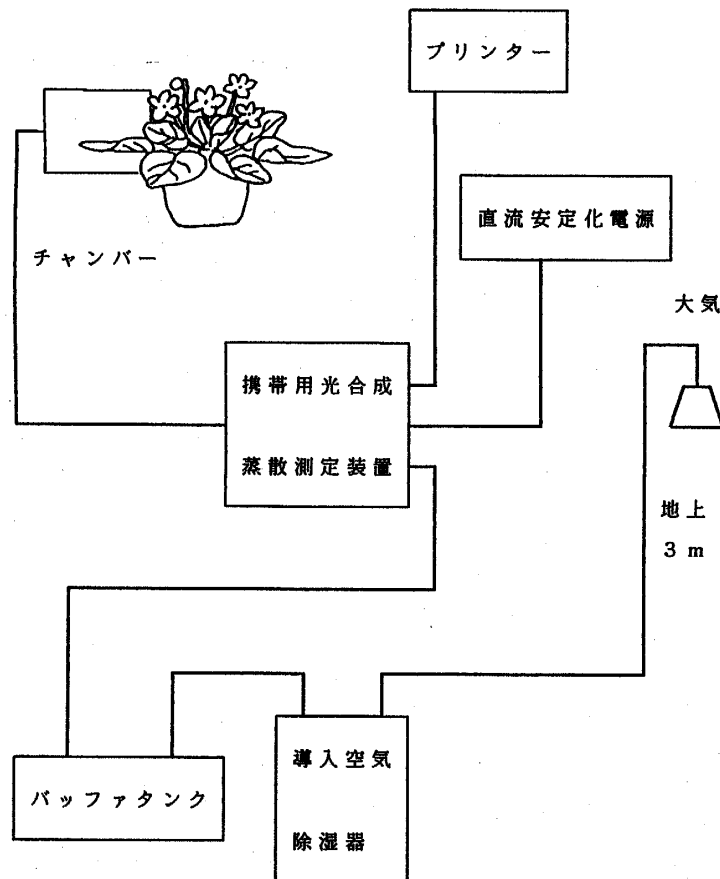


図1 光合成測定システム模式図

図1に光合成測定システムの模式図を示した。測定には自然大気条（約360ppm）を用い、測定大気の導入は窓の外に支柱を立て、地上3mのところに設置した吸入口より塩化ビニール製のチューブ（長さ16m）を用いて、測定システムの一部である導入空気除湿器に取り入れた。供試葉の大きさは50 cm<sup>2</sup>（5cm×10cm）のチャンバーに納まるもので、葉柄長が充分の伸びた外部の成熟葉とした。葉面積の測定は供試葉をセクションペーパーにトレースし、それを切り抜いて秤量し、標準面積（1cm<sup>2</sup>）の重量と比較して求めた。また、葉齢の決定は数株の幼葉長5mmを1日として数え、数日間隔で所定の葉面積になる日数を調査して求めた。‘ミズリー’では展葉後から約57日と92日め、‘バーモンド’では展葉後約61日と71日ならびに84日めの葉を供試した。

光強度と見かけの光合成速度との関係を明らかにする目的で、アングル棚（縦、60cm×横、90cm×高さ、180cm）を組み立て、その上部に光源として蛍光灯（FPL55EX-N、3波長形昼白色、安定器ESX5521HK-1ENH、松下電器製）を8灯取り付け、側部にはファンを取り付け、光源より約40cm離れた下部には透明ビニルシートを2枚おき、熱線の影響を緩和させ光合成速度を測定した。なお、連続測定回数を10回行い、安定した測定値を示した5個葉の光合成速度の平均値を示した。

#### 実験1. 光強度と見かけの光合成速度との関係

本測定では前述のアングル棚を用い、測定光強度の調節は光源とリーフ・チャンバーの距離を変化させ高光強度から低光強度へ光源は固定のまま、植物体の位置を下げて10段階の測定光強度を設定した。

光合成の測定に当たっては、植物体が設定した各光強度条件に慣れるまで20分のならし時間を置き、それぞれの光強度条件下での見かけの光合成速度を測定した。これらの光合成速度から光-光合成曲線を作成した。また、同曲線から光飽和点及び光補償点を求めた。なお、測定時の葉温は25℃前後とした。

#### 実験2. 葉温と見かけの光合成速度との関係

温度調節可能なインキュベータ内に、測定材料とリーフ・チャンバーを置き、10～35℃までの6段階の温度条件下を設定し、葉温と光合成速度との関係を求めた。その測定の順は適温域と思われる25℃付近から上昇させた後、適温域に再び戻してから下降させ、それぞれの温度条件がみかけの光合成速度に及ぼす影響及び気孔コンダクタンスを測定した。ただし、本測定の光強度条件は光飽和点付近の120  $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ とした。なお、株がその環境下に慣れるまで20分のならしの時間を設けた。

## 3. 結 果

## 3. 1 光強度が見かけの光合成速度に及ぼす影響

## 1) 光強度と光合成速度

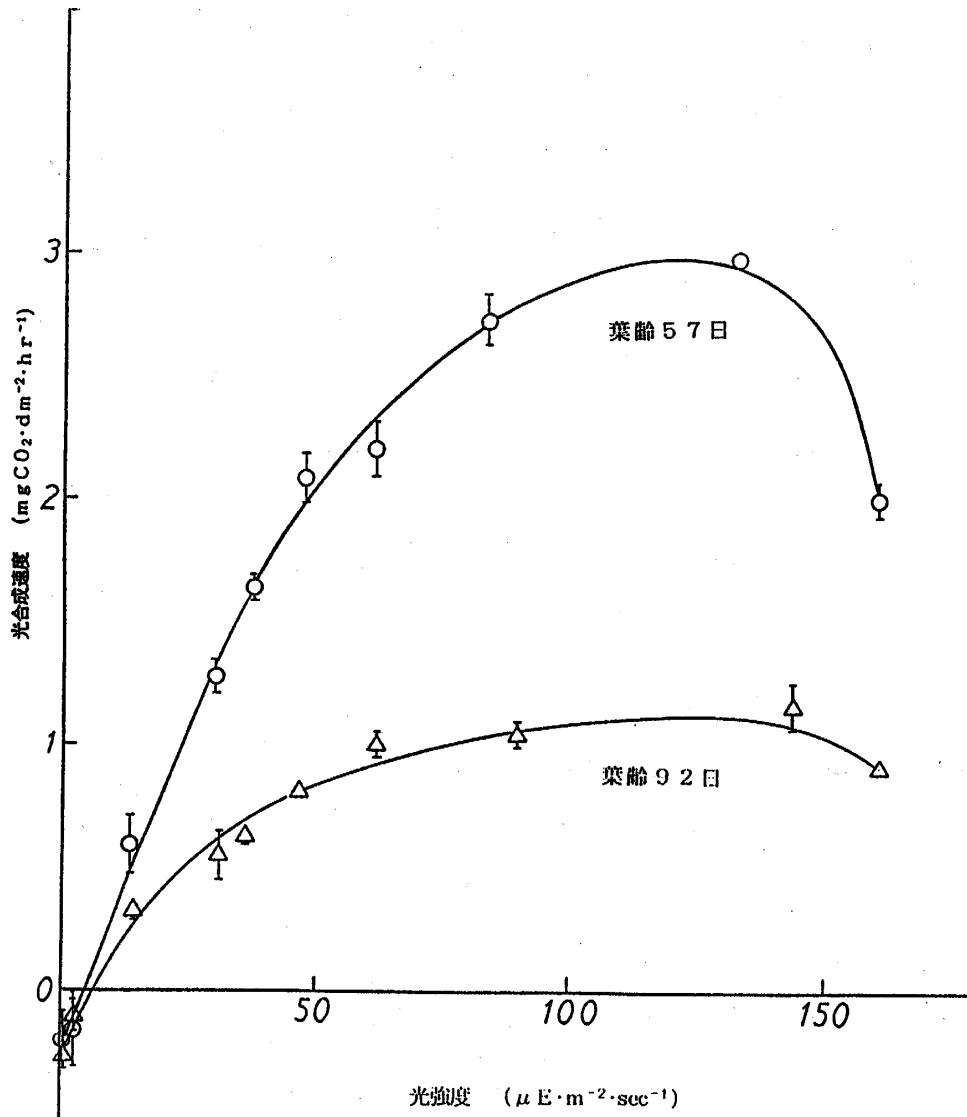


図2 葉齢の異なった葉の光-光合成曲線 ('ミズリー')

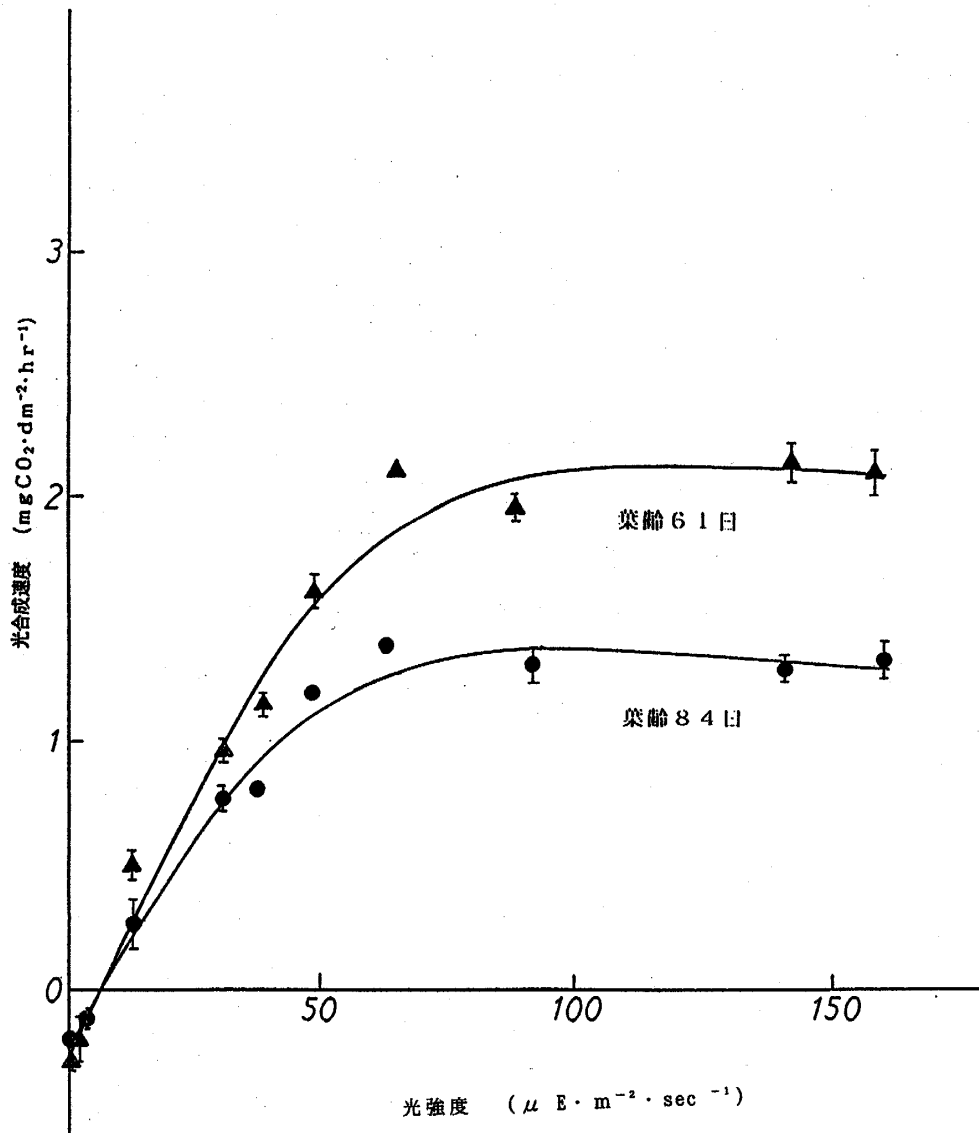


図3 葉齢の異なった葉の光-光合成曲線（‘バーモンド’）

図2と図3に供試2品種の実験結果を示した。暗黒下では2品種とも、呼吸によるCO<sub>2</sub>の放出がみられたが、光強度が増すにつれて、CO<sub>2</sub>の放出速度は減少し6  $\mu E \cdot m^{-2} \cdot sec^{-1}$  付近に達すると、呼吸によるCO<sub>2</sub>の放出と光合成によるCO<sub>2</sub>の吸収がつりあった光補償点が観測された。以後光強度の増大につれてCO<sub>2</sub>の吸収速度（以後、光合成速度）は、直線的に増加した。しかし、やがて、光合成速度の増加のペースは鈍り、光飽和点に達した。しかし、‘ミズリー’では光飽和点より更に高い140  $\mu E \cdot m^{-2} \cdot sec^{-1}$ 以上の強光域では光合成速度が低下し、光によるCO<sub>2</sub>の吸収阻害現象が認められた。

図2および図3の光-光合成曲線からみて、2品種の暗呼吸速度は0.2～0.3  $mg CO_2 \cdot dm^{-2} \cdot hr^{-1}$ であり、光補償点は、2品種とも6  $\mu E \cdot m^{-2} \cdot sec^{-1}$ で両品種間に差はみられなかった。

しかし光飽和点では‘ミズリー’が $120 \mu E \cdot m^{-2} \cdot sec^{-1}$ , であるのに対して, ‘バーモンド’では $90 \mu E \cdot m^{-2} \cdot sec^{-1}$ と低く, 最大光合成速度でも‘ミズリー’が $2.98 mg CO_2 \cdot dm^{-2} \cdot hr^{-1}$ であり, ‘バーモンド’は $2.12 mg CO_2 \cdot dm^{-2} \cdot hr^{-1}$ で低く, 品種間差異が認められた。

他方, 葉齢の若い葉では光飽和点以下の光強度域では, 急激な光合成速度の低下がみられたが, 同品種内の葉齢の違いによる光飽和点の差異は認められなかった。しかし, 光合成速度においては著しい差異が認められ, 若い葉ほど弱光域での急激な増加がみられ, 強光域で差がさらに広がった。

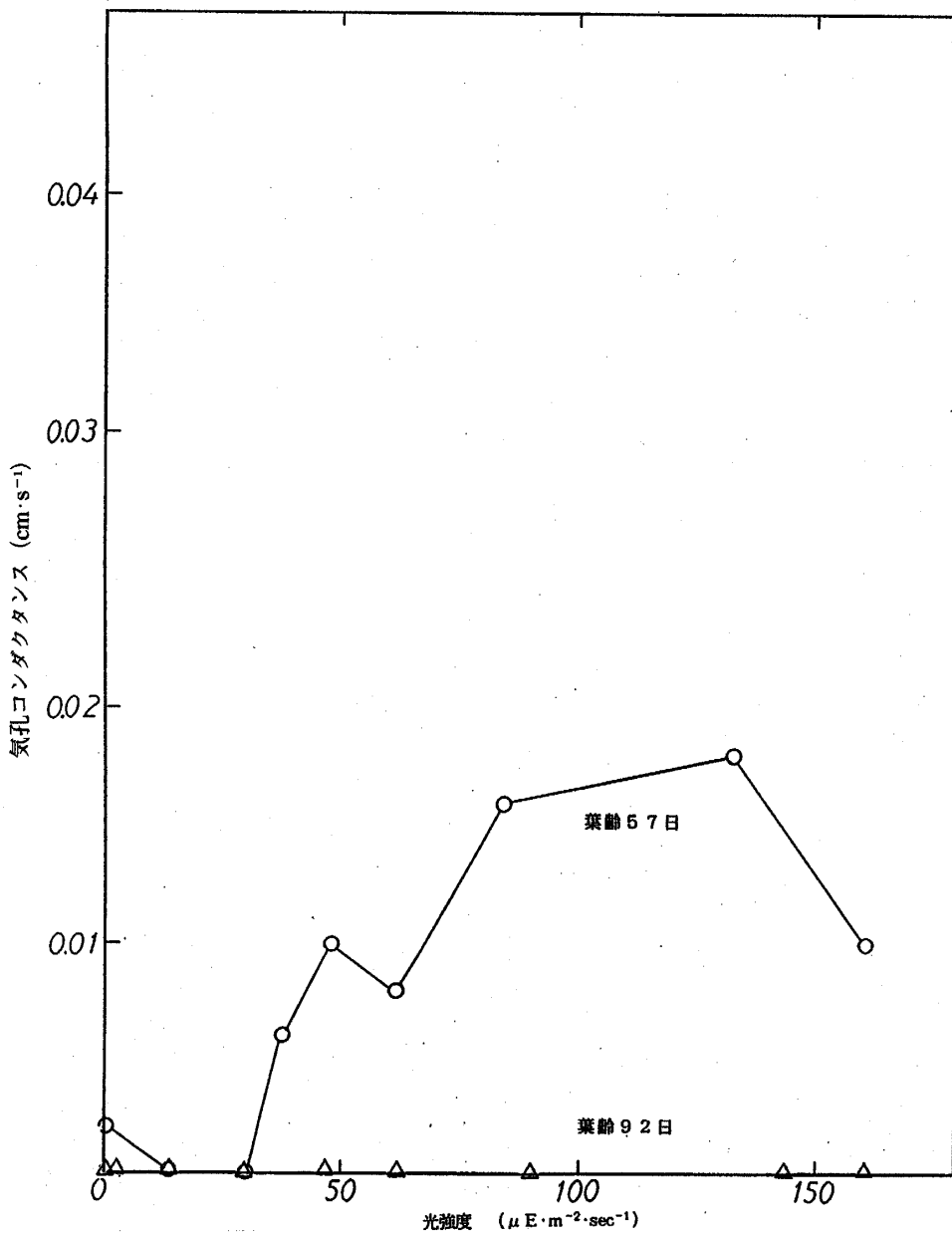


図4 葉齢の異なった葉における光強度と気孔コンダクタンスとの関係 (ミズリー)

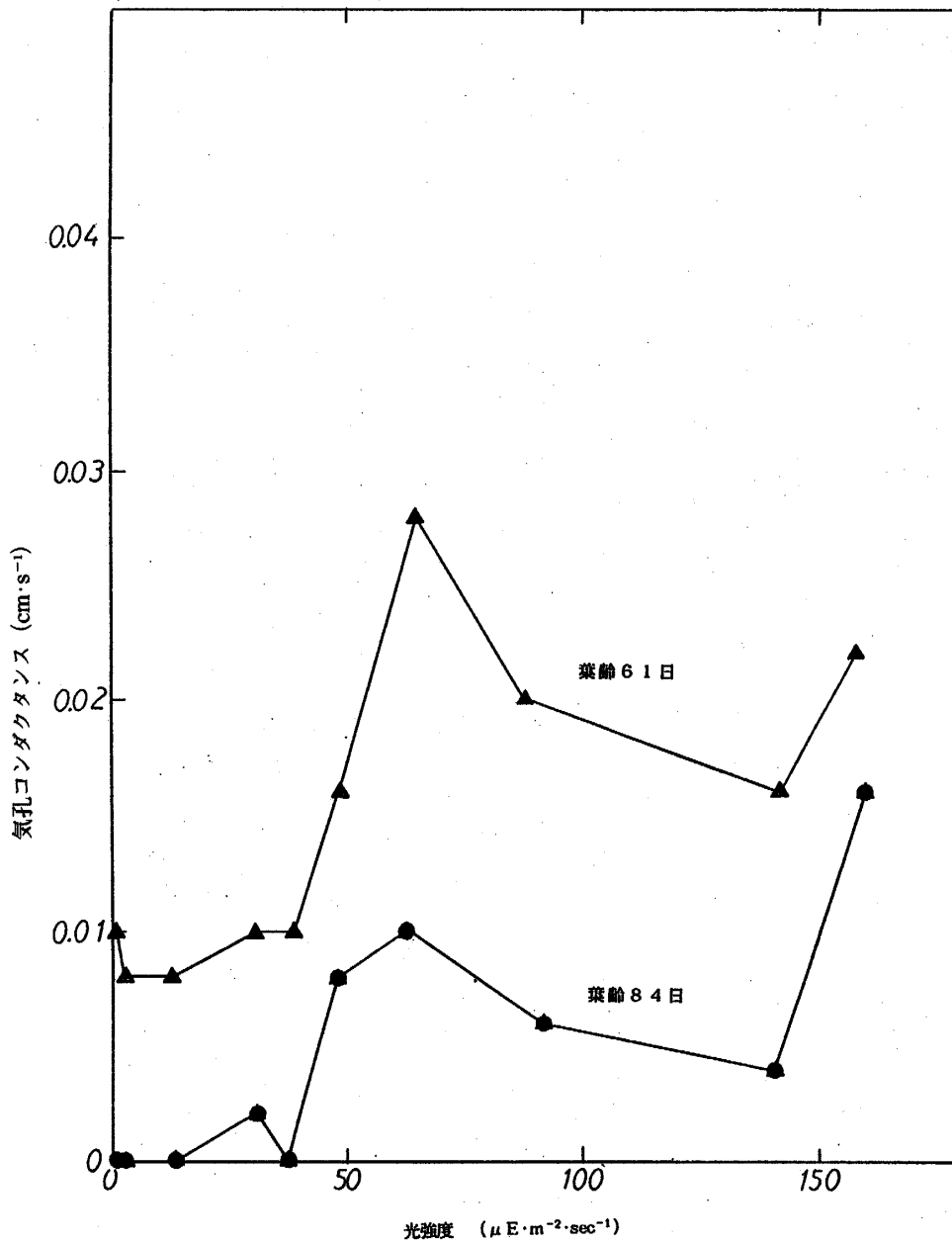


図5 葉齢の異なった葉における光強度と気孔コンダクタンスとの関係（バーモンド）

図4と図5に葉の気孔コンダクタンスを示した。気孔コンダクタンスは、葉齢の若い葉ほど光強度の変化に応じて敏感に反応した。しかし、展葉後約92日の‘ミズリー’の葉は、光強度の変化に対して反応が認められなかった。他方、低光強度から高光強度になるにつれて気孔のコンダクタンスは増加したが、その増加の傾向は、 $180 \mu E \cdot m^{-2} \cdot sec^{-1}$ までにピークが2点認められた。その時の光強度は、‘ミズリー’では  $50 \mu E \cdot m^{-2} \cdot sec^{-1}$  付近と  $130 \mu E \cdot m^{-2} \cdot sec^{-1}$  付近、‘バーモンド’では  $65 \mu E \cdot m^{-2} \cdot sec^{-1}$  付近と  $160 \mu E \cdot m^{-2} \cdot sec^{-1}$  付近と

sec<sup>-1</sup>付近で, 最大気孔コンダクタンス値は‘バーモンド’の方が大きく, 差異が認められた。

### 3. 2 葉温がみかけの光合成速度に及ぼす影響

#### 1) 葉温と光合成速度

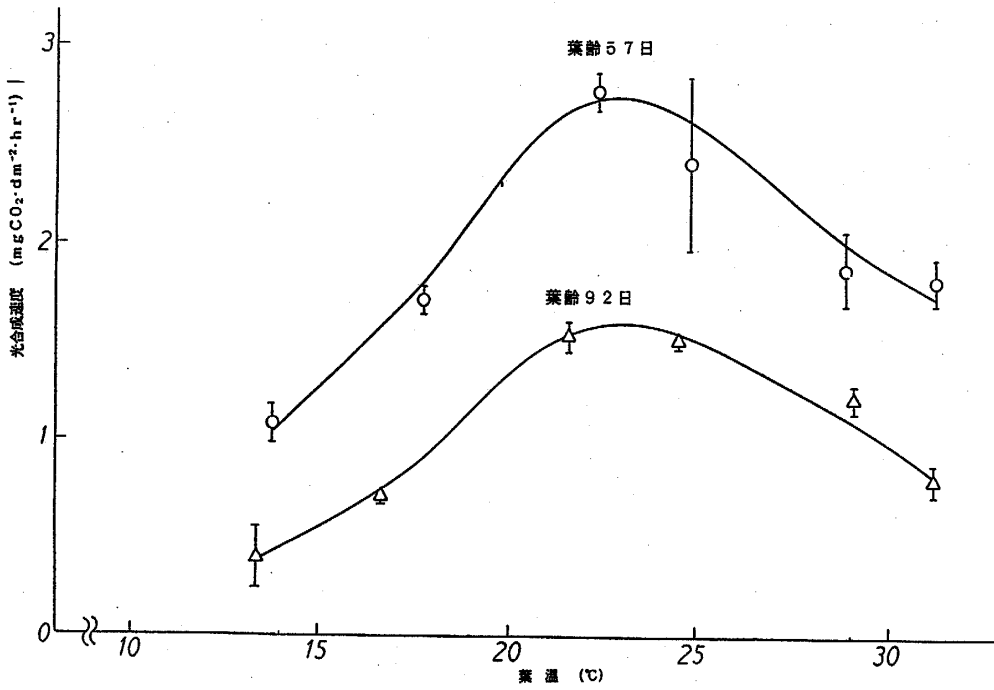


図6 葉齢の異なった葉の温度-光合成曲線 (‘ミズリー’)

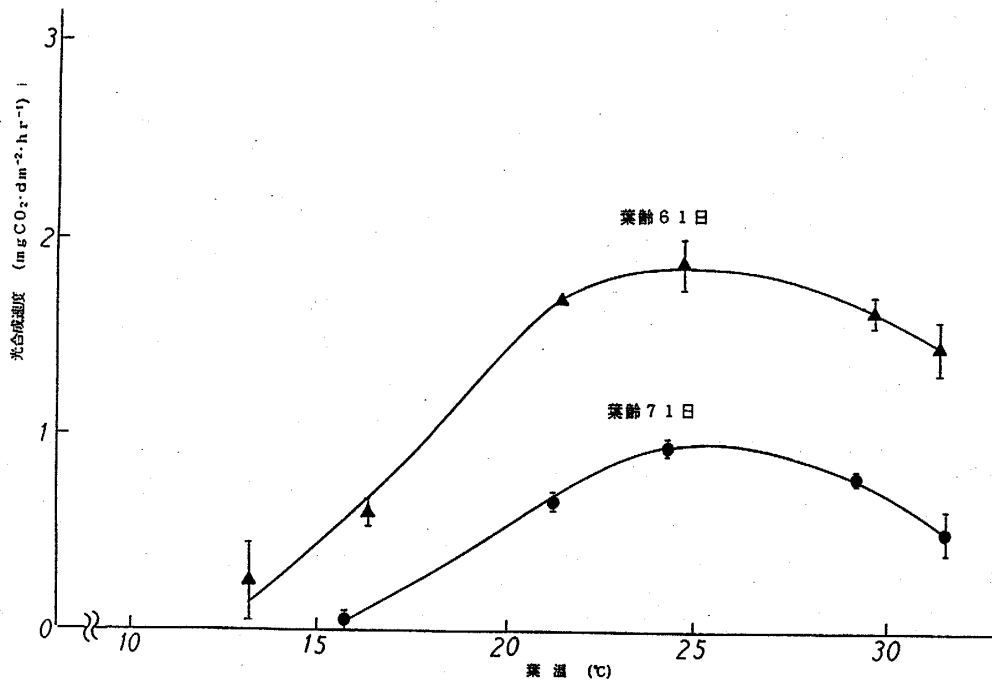


図7 葉齢の異なった葉の温度-光合成曲線 (‘バーモンド’)



図6ならびに図7に葉温と光合成速度の関係を示した。2品種とも温度が上昇するとみかけの光合成速度は増加し、23～24℃の最適温度付近でなだらかとなり光合成速度の最適温度域が認められ、それ以上28℃から32℃に温度が上昇するほど光合成速度は低下を示した。この葉温-光合成曲線からみてセントポーリア2品種の最適温度域（最大光合成速度の99%を維持する温度域）は‘ミズリー’で22～24℃であり、‘バーモンド’では23.5～26.5℃であった。また、この最適温度域から前後5℃ごとの光合成速度を比較すると、2品種とも低温側において低下が大であった。

また、最適温度域における品種間における差異を見ると‘ミズリー’に比べ‘バーモンド’の方が最適温度域が広く、高温側に適応していることが明らかであった。また、測定した各光強度に対する光合成速度の反応と同様に‘ミズリー’が‘バーモンド’に比べより光合成速度が大きく、15℃付近での後者の光合成速度は非常に低かった。このことから、供試品種間に温度に対する反応に差異が認められた。

2品種とも葉齢の若い葉ほど光合成速度が高いことが認められた。また、葉齢がすすむにつれて低温側及び高温側での光合成速度が非常に低く、葉齢の違いによる差異が認められた。

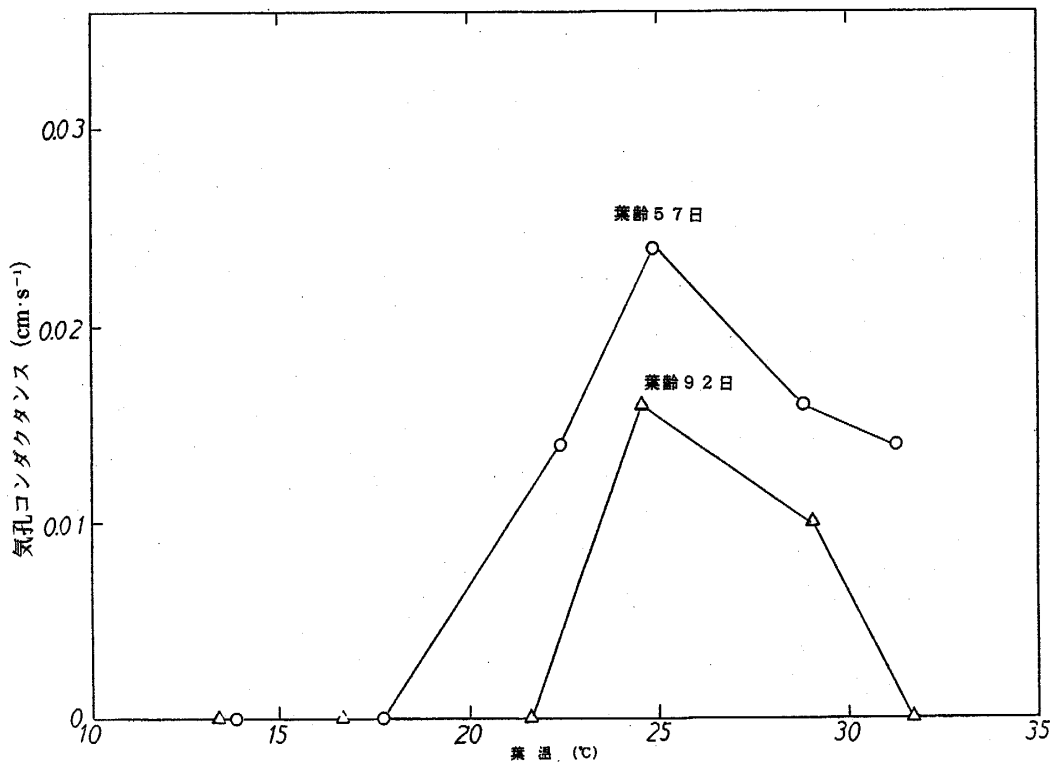


図8 葉齢の異なった葉の葉温と気孔コンダクタンスの関係（‘ミズリー’）

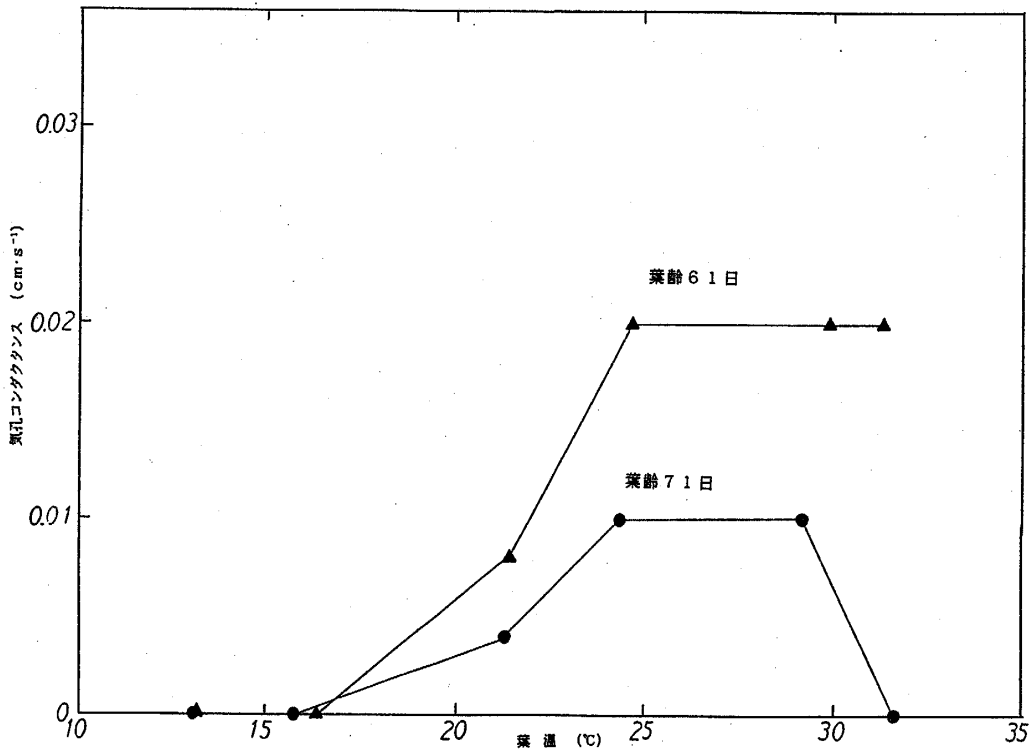


図9 葉齢の異なった葉の葉温と気孔コンダクタンスの関係（‘バーモンド’）

図8および図9に気孔コンダクタンスと葉温との関係を示した。気孔コンダクタンスは温度の上昇とともに増加し、‘バーモンド’では適温域付近から高温の28℃まで気孔コンダクタンスの値が一定であったが、‘ミズリー’では適温域より高温側でピークに達し、それ以上の温度になると下降した。気孔コンダクタンスは気孔開度を示す<sup>(3)</sup>と言われているが、葉齢が進むにつれて値は小さくなり、開いている温度幅も狭くなる傾向がみられた。また、気孔が開き始めるのが‘ミズリー’では17.8℃、葉齢の進んだ葉では21.6℃であるのに対し、‘バーモンド’では15.7℃、葉齢が進んでも16.3℃で、前者は後者に比べ気孔が開きにくいことが認められた。

#### 4. 考 察

##### 4.1 光合成と環境条件

###### 1) 光強度と光合成

光補償点以下の光強度条件では、光エネルギーを利用する独立栄養生物である緑葉植物は理論的には成長はできず、植物の生存には光補償点以上の光強度が必要であると考えられるが<sup>(4)</sup>、セントポーリアでも図2及び図3に示された光補償点の $6 \mu \text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 以上の光強度が成長に必要であると考えられた。しかし、健全な生育のための栽培を行うには

生存に必要な最小限の光量では不十分であり、さらに高い光強度条件を与えるが必要である。

本実験で得た光飽和点より見た最適光強度は、‘ミズリー’では $120 \mu E \cdot m^{-2} \cdot sec^{-1}$ 、‘バーモンド’では $90 \mu E \cdot m^{-2} \cdot sec^{-1}$ であったが、戸外で栽培される多くに植物のそれに比べて $1/3 \sim 1/5$ の光強度であり、この事より見てセントポーリアは陰性植物であり光要求性は極めて低い特性を有する事が認められた。このことは、室内で蛍光灯などの安価で容易に入手が出来る人工光源で栽培が可能であることを示唆している。

宮地らは<sup>4)</sup>、個葉に於ける光飽和と、株全体での光飽和の状態にするのに必要な光強度には差異があり、個葉では株よりも弱い光で光合成が飽和値に達すると指摘している。セントポーリアは、形態的にみて根出葉植物であり最上位葉を除くと、展開葉が互いに重なり合い下位葉では光が遮られている状況にある。したがって、本実験で得られた光飽和点以上のもう少し強い光条件が、栽培の最適光強度条件と推定される。

また、本実験において最大光合成速度と光飽和点に品種間差異が認められたが、‘ミズリー’は‘バーモンド’に比べ葉の展葉速度が遅く、葉も厚いため、光合成器官の内部構造の差異があると推定され、光飽和点が高くなったものと思われた。この事は栽培の光環境を設定に際して品種間差異も考慮する必要が有ると考えられる。

光-光合成曲線における低光強度の直線部から、光合成速度が急速に変わる $30 \mu E \cdot m^{-2} \cdot sec^{-1}$ 以下の光強度では、わずかな差が光合成に大きな影響を与えていることが推測できた。

## 2) 温度と光合成

適温域以上になると光合成速度の低下が認められたのは、高温条件になるにつれて呼吸が多くなり、一度固定した光合成産物を再び $CO_2$ として放出するためであり、見かけの光合成速度の低下を起こしたものと考えられる。

‘バーモンド’は適温域付近から一定の高温域において気孔コンダクタンスが一定値を示したが、‘ミズリー’では適温域より高温側でピークに達し下降した。このことから、‘ミズリー’に比べ適温域が広いことが推定された。また、2品種とも低温域での気孔の開きにくさから、高温より低温に適応性がないことが推察された。これは常春状態の熱帯高地原生の植物の特性とみることができる。

植物の生育適温は、そのときの光の強さによっても変動し、光が強いときには、より高温でも成長し、弱光のもとでは生育適温は強光のもとでより低いといわれている。また、光合成の適温がそのまま生育適温に等しいのではなく、前者の方が一般にかなり高いという指摘がある<sup>5)</sup>。光合成の適温域（最大光合成速度の99%を維持する温度域）は、‘ミズリー’では $22 \sim 24^\circ C$ 、‘バーモンド’では $23.5 \sim 26.5^\circ C$ であったが、生育適温は青木ら<sup>6)</sup>の指摘のように $20^\circ C$ ～が適正な栽培環境に入るものと思われる。

## 4. 2 光合成と内的要因

### 1) 葉齢と光合成

比較的寿命の長い葉をもつセントポーリアでは、葉齢の違いによる差異が明らかとなった。特に葉齢の進みとともに強光下の光合成能力も弱光下のそれとともに低下するが、前者の方がその程度が大きいことがうかがえた。このように葉齢に伴って光合成速度が変動する主要な要因としては、葉緑体のストロマ中に存在し、葉中の可溶性タンパク量の約半分を占めるフラクシオンIタンパク質、すなわち光合成の暗反応速度を大きく支配するRuBPカルボキシラーゼの量および活性が大きく関与している<sup>10)</sup>と考えられている。また、セントポーリアでは、葉齢の大きく異なる葉が個体内に存在するとともに、受光態勢も生育に伴って変化している。したがって、それぞれの葉が葉齢や前歴を異にしているために、個葉の光合成では差異が認められたと考えられる。それによって、個体の光合成特性もまた生育時期によって、大きく変化するものと思われる。

ロゼット状を呈した葉の中では、上層及び中層の光のよくあたる葉が最も重要な意義をもつと考えられ、葉齢のかなり進んだ下位葉及び葉面積の大きくならない葉は他の葉の活動のおかげで生きてしていると推察された。特に、自分の役目を果たし終わった老化長葉（葉色が悪く、葉柄の伸びた葉面積の小さい外部葉）にまわるエネルギーを本当に生長しなければならない葉に向けるため、取り除く必要があると思われた。なお、何回かの測定の中で、この老化長葉は光合成を行っていないことが明らかとなった。

### 2) 葉齢と気孔の開閉

気孔コンダクタンスは葉齢の若い葉ほど、光強度の変化に敏感に反応した。しかし、展葉後約92日の‘ミズリー’の葉は、光強度の変化に対しては反応が認められず、温度が21.6℃でようやく開き始めた。つまり葉齢の進んだ葉の気孔開閉は温度依存性であり、気孔の開きが悪いのは、低い光強度に対して適応しているためと思われた。また、葉齢の進んだ葉ほど、気孔・蒸散の制御が鈍化しており、光条件の変動に対する追従が遅いことがうかがえた。

## 5. 結 論

低光強度で育成されたセントポーリア2品種の成株の個葉の光合成ならびに気孔コンダクタンスについて測定を行い、次の諸点が明らかになった。

- 1) セントポーリアの生存には最低  $6 \mu \text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$  以上の光強度が必要である。さらに、開花させるためには、より高い光強度が必要である。
- 2) 光合成の最適光強度は、‘ミズリー’が  $120 \mu \text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 、‘バーモンド’が  $90 \mu \text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$  である。
- 3) 光合成速度が急速に変わる  $30 \mu \text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$  以下の光強度では、わずかな差が光合成

に大きな影響を与え、単位照射エネルギーあたりの効率は低光強度ほど高い。

- 4) 光補償点、光飽和点ならびに光合成速度が他の植物に比べ低いことから、室内での栽培が可能である。
- 5) 光合成の適温域（最大光合成速度の99%を維持する温度域）は、‘ミズリー’では22～24℃、‘バーモンド’では23.5～26.5℃である。また、セントポーリアの自生地アフリカのウサンバラ山地に近いアルベールビルと、タボラの年平均気温（23.6℃と23.3℃）<sup>6)</sup>は、光合成の適温域に適合している。
- 6) 高温より低温に適応性がない。
- 7) ‘バーモンド’は、‘ミズリー’に比べ適温域が広い。
- 8) 光飽和点、最大光合成速度並びに適温域について、供試品種間に差異がある。一方、光補償点には、供試品種間に差異がない。
- 9) 光合成速度ならびに気孔コンダクタンスは、葉齢の違いによる差異がある。
- 10) 葉齢の進んだ葉の気孔開孔は温度依存性である。
- 11) 葉齢の進んだ葉ほど、気孔の制御が鈍化している。
- 12) 光合成を行っていない老化長葉は、取り除く必要がある。

## 引用文献

- (1) 川上敏子：セントポーリア こんなときどうしたら？，主婦の友社，p88, p53, (1986)
- (2) 鶴島久男：最近のセントポーリアとその生産技術 [2]，農業および園芸，第59巻 第2号，p100, p96, (1984)
- (3) 橋本 康：栽培プロセスの計測 (4) - CO<sub>2</sub>ガス 環境と植物の応答 -，遺伝，40巻6号，pp66-71, (1986)
- (4) 宮地重遠，村田吉男：光合成と物質生産植物による太陽エネルギーの利用，理工学社，p302, (1980)
- (5) Hesketh, J. D. and D. N. Baker : J. Arizona Acad. Sci., 5, p216, (1969)
- (6) 青木孝一，平城好明：セントポーリアの栽培に関する研究 (第1報) 温度と光に関する試験，園芸学会 56年秋季発表要旨，pp282-283, (1981)
- (7) 宮地重遠：植物生理学2 光合成II，朝倉書店， p116, (1981)
- (8) 塚本洋太郎，前川静江，山本かおる，佐々木瑞子：セントポーリア，文化出版局， p138, (1982)