

収穫後サラダナの弱光照射貯蔵のための光補償点推定法

内野, 敏剛

九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門生産システム科学講座生産流通科学研究室

鈴木, 瑞恵

九州大学大学院生物資源環境科学研究科農業工学専攻農産機械工学講座

原田, 文香

九州大学大学院生物資源環境科学研究科農業工学専攻農産機械工学講座

胡, 文忠

九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門生産システム科学講座生産流通科学研究室

他

<https://doi.org/10.15017/21094>

出版情報：九州大学大学院農学研究院学芸雑誌. 56 (1), pp.59-66, 2001-10. 九州大学大学院農学研究院

バージョン：

権利関係：

収穫後サラダナの弱光照射貯蔵のための光補償点推定法

内野 敏剛・鈴木 瑞恵*¹・原田 文香*²

胡 文忠・堀 善昭

九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門
生産システム科学講座生産流通科学研究室

(2001年6月29日受付, 2001年7月11日受理)

Estimation of Light Compensation Point for Low Light Irradiation Storage of Harvested Lettuce (*Lactuca sativa* L.)

Toshitaka UCHINO, Mizue SUZUKI*¹, Fumika HARADA*²,
Wenzhong HU and Yoshiaki HORI

Laboratory of Postharvest Science, Division of Bioproduction System Science,
Department of Bioproduction Environmental Science,
Faculty of Agriculture, Kyushu University

緒 言

苗や葉菜類などの緑色植物体の出荷時期調整や品質維持のために、光を照射して貯蔵する方法が開発されて以来、多くの研究がなされ、有用な結果が得られている(細田ら, 1981, Kubota *et al.*, 1995, 古在ら, 1996, 富士原ら, 1997, 富士原ら, 1999)。また, Uchino *et al.* (1999) は閉鎖空間において、収穫後の葉菜類の貯蔵時に弱光を照射することにより、CELSS内では貴重な物質であるO₂の貯蔵中の消費を抑制することを考案し、O₂濃度ならびにサラダナの品質を維持できることを示した。古在ら(1996)は光補償点近辺の入射光強度で光照射を行い、純光合成速度(CO₂交換速度)をゼロに近づけることで、ナスセル成型苗の品質が維持されることを明らかにしている。また、純光合成速度をゼロに近づけることで、O₂の消費は抑制され、CELSS内での葉菜類の貯蔵にもこの程度の入射光強度が有用である。富士原ら

(1999)は収穫後のチャービルの弱光照射CA貯蔵のための最適条件を示したが、純光合成速度がゼロとなる弱光照射CA条件が無数に存在することから、事前に種々の入射光強度により測定を行い、純光合成速度がゼロとなる条件を見出している。このように弱光照射を用いた緑色植物の鮮度保持の研究において、純光合成速度がゼロとなる光強度、すなわち光補償点を見出すことは大変重要である。しかしながら、実験により求めることは非常に煩雑であるため、簡便に光補償点を見出すことができれば入射光強度を設定する際の一助となり、大変有用である。筆者らは以下に示すように、暗呼吸速度から光補償点を簡単に推定する方法を見出したので、報告する。

本研究を遂行するに当たり、供試材料のサラダナをご提供頂いた九州電力(株)総合研究所農業電化試験場に深甚の謝意を表す。

* 九州大学大学院生物資源環境科学研究科農業工学専攻農産機械工学講座

¹ 現在 トヨタ自動車(株)

² 現在 ニイウス(株)

* Laboratory of Agricultural Process Engineering, Department of Agricultural Engineering, Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Science, Kyushu University

¹ Present address: Toyota Motor Corporation

² Present address: NIWS Company Limited

Corresponding author (E-mail: toshiu@agr.kyushu-u.ac.jp)

算出式の導出

光補償点を推定するためには、植物体への入射光強度と純光合成速度の関係をモデル化する必要がある。これらのモデルは Farquhar *et al.* (1980) によって示されて以来、大きく発展し、現在では基本的なモデルとして次式の双曲線が一般的に用いられている (Beyschlag and Ryel, 1998)。

$$P + R_d + R_p = \frac{1}{2\theta} \left\{ \phi I + P_{\max} - [(\phi I + P_{\max})^2 - 4\theta\phi IP_{\max}]^{1/2} \right\} \quad (1)$$

ここに、 P : 純光合成速度, R_d : 暗呼吸速度, R_p : 光呼吸速度, ϕ : 量子収率 (曲線の初期勾配), I : 入射光強度, P_{\max} : 最大光合成速度, θ : 曲線の凸度。入射光強度が弱い場合は RuBP が不足し、総光合成速度は RuBP の再生に必要な NADPH を生産するためのチラコイド膜の電子伝達に律速される。光化学系に取り込まれる光子と電子の移動量は比例関係にあるため、入射光強度と総光合成速度の関係はほぼ直線となる。すなわち、凸度 $\theta = 1$ となり、 $P_{\max} > \phi I$ であるので (1) 式は次式のように Blackman タイプ (Hikosaka, 1997) の 2 直線の一方となる。

$$P + R_d + R_p - \phi I = 0 \quad (2)$$

ここで、入射光強度が非常に弱い場合は $R_p = 0$ と仮定でき、さらに光補償点の定義から $P = 0$ であるので、光補償点を I_c とすると、

$$\phi I_c = R_d \quad (3)$$

となる。 ϕ は多くの研究者により測定されている。Ehleringer and Björkman (1977) は O_2 濃度 21% の大気中では、 ϕ は葉内の CO_2 濃度により変化するが、一般的に種間・種内で大差なく C_3 植物では $0.042 \sim 0.059 \text{ mol } CO_2 \cdot \text{mol quanta}^{-1}$ の範囲とした。しかしながら、この値は ϕ の理論値である $0.125 \text{ mol } CO_2 \cdot \text{mol quanta}^{-1}$ と大きくかけ離れている。これは光呼吸による影響を含むためであり、本研究のように弱光下で光呼吸を無視しようとする場合に用いるのは適当でない。これに対し、Björkman and Demmig (1987) は 37 種の C_3 植物を用い、高 CO_2 濃度下で光呼吸を抑え、 O_2 発生量から量子収率を求め 0.0891 (SE = 0.00511) $\text{mol } O_2 \cdot \text{mol quanta}^{-1}$ の値を得、植物の種類や環境ストレスによってこの値が

ほとんど変化しないことを示した。 CO_2 は O_2 、RuBP と同様 Rubisco の酵素触媒反応の基質であるので、通常はその濃度は反応速度については総光合成速度に影響を及ぼすが、弱光下では RuBP が不足し、反応速度は RuBP の再生速度、すなわち、上述の光化学反応に律速される。このため、 $I-P$ 曲線の傾きである ϕ は CO_2 濃度の影響を受けないことになる。また、光合成において、 O_2 発生量と CO_2 の吸収量は NADPH を硝酸同化などに利用しない限りほぼ 1:1 であることから、本研究では光呼吸を無視できるときの ϕ として、 $0.0891 \text{ mol } CO_2 \cdot \text{mol quanta}^{-1}$ を用いた。このように、弱光下で光呼吸を考慮しない場合 ϕ が一定値をとるので、 R_d のみを実験的に求めれば、(3) 式によって I_c を簡単に求めることができる。

実験装置及び方法

(3) 式で求めた光補償点を実験的に確認する、また、(3) 式で必要となる暗呼吸速度を測定することを目的とし、以下の装置により、緑色植物の純光合成速度を測定した。

供試材料はサラダナ (*Lactuca sativa* L.) とした。九州電力 (株) 総合研究所農業電化試験場 (佐賀市) にて播種後 35 日間水耕した M 式水耕サラダナ冬用を用いた。収穫後サラダナを断熱容器中で、成育時の養液 (大塚 B 処方修正) に根部を浸漬した状態で、実験装置の設置された試験地 (福岡市) へ輸送し、貯蔵を開始した。

貯蔵庫内温度は 5°C および 20°C に設定し、貯蔵時に根部を切除した区 (根部切除区) およびそのまま残した区 (根部残存区) を組み合わせた計 4 区を設けた。根部残存区のサラダナは直径 6 cm、深さ 5 cm の発泡スチロール製カップに 1 株ずつ入れ、蓋中央に開けた孔に根を挿入して支持した。根部は生育中と同じ成分の養液 (約 70 mL) に浸漬した。根部切除区のサラダナは貯蔵開始前に根部を切断し、蒸留水で作製した寒天 ($10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) の中に切り口を挿入した。水分の蒸発を最小限に抑えるため、寒天表面を塩化ビニルフィルムで覆った。1 回の試験のサラダナ供試数は試験区あたり 6 個とした。

実験装置はサラダナを入れる密封チャンバ、光源、ガス測定機、ポンプから成る。密封チャンバは $0.3 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} \times 0.4 \text{ m}$ の直方体で、上面と側面は透明アクリル板、それ以外の部分是不透明の塩化ビニル板を用いた。気密性を保つために開閉部にはゴムパッキンをはさみ、側壁内面は黒色に着色し、側面からの光の反射

を防止した。容器からのCO₂の漏れは $3.28 \times 10^{-6} \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ と軽微であった。また透明板を用いている側面から光が入らないよう側外面を黒色布で覆った。内部の空気をダイヤフラムポンプにより循環し(流量 $0.5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$)、ポータブル炭酸ガス濃度計(東亜電波工業株式会社製, CGP)でCO₂濃度を測定した。純光合成速度の実験値 P_{ex} は $\Delta t (= 2\text{h})$ 時間ごとのチャンバ内CO₂のモル濃度変化 ΔC 、チャンバ容積 V と葉面積 S から(4)式で求めたが、サンプリング間隔が20minと非常に短く、また、CO₂濃度が低いことからデータのばらつきが大きいので、 ΔC は2hの移動平均の差とし、 P_{ex} を算出した。

$$P_{ex} = \frac{V \Delta C}{S \Delta t} \quad (4)$$

光源には白色蛍光灯(東芝製, FL10BRF)を3本用い、点灯本数と照射距離を調節することで、サラダナ表面の入射光強度 I を0, 1.6, 3.4, 6.5, 13, 19.7, $21.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ とした。なお、 $1.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ に限っては蛍光灯とチャンバの間にステンレス製のスクリーンを入れて減光した。入射光強度の測定には光合成有効量子子束計(LI-COR製, LI-190SB Quantum Sensor)を用いた。

各試験区の I ごとの P_{ex} の値とチャンバ内CO₂濃

度から光補償点の実験値を判定する基準を次のように定めた。すなわち、光補償点の実験値は、 P_{ex} が安定して(5h以上) $0 \pm 0.05 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ となり、チャンバ内CO₂濃度が300~500ppmに維持されるときの I の値とした。

光補償点の算出に用いる暗呼吸速度は貯蔵開始後5hのチャンバ内CO₂濃度の経時変化を直線回帰し、その傾きから求めた。密閉法で青果物の暗呼吸速度を求める場合、ガス濃度に依存する暗呼吸速度の変動の影響を除くため、測定期間は短い方がよいが、あまり短いと測定装置の誤差の影響を受けやすいので、本装置の大きさ等も考慮し、5hが適切とした。

結果及び考察

サラダナの品温は貯蔵庫の設定温度5, 20℃のときそれぞれ $4.7 \pm 0.5^\circ\text{C}$, $19.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ の範囲であった。

5℃・根部残存区の純光合成速度の実験値 P_{ex} とチャンバ内CO₂濃度の経時変化をFig. 1, Fig. 2に示す。 $I = 1.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ において、45hを過ぎたとき P_{ex} は光補償点の判定基準である $0 \pm 0.05 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の範囲内に入るが、このときのチャンバ内CO₂濃度は1000ppmを越えており、基準を満たさない。 $I = 3.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ では、50hの期間中、 P_{ex} は $0 \pm 0.05 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の範囲内にあり、チャンバ内CO₂

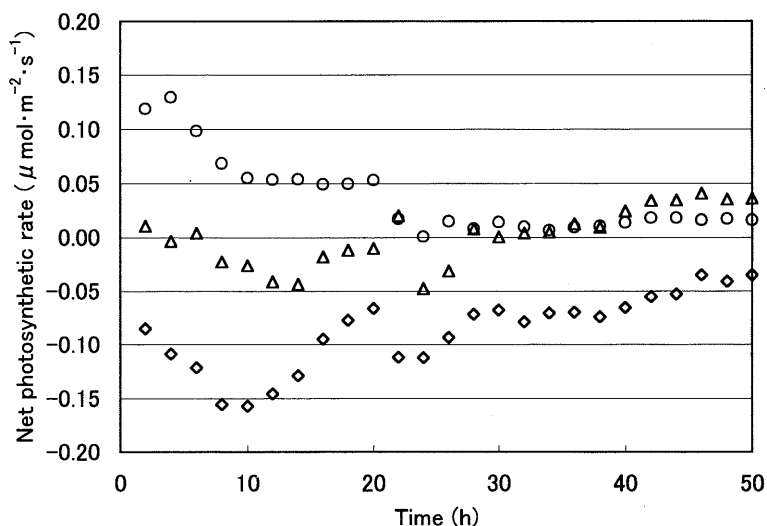


Fig. 1. Time courses of net photosynthetic rates of postharvest lettuces placed in the chamber at 5℃ at incident photosynthetic photon flux of 1.6 (◇), 3.4 (△) and 6.5 (○) $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Lettuce roots were not removed.

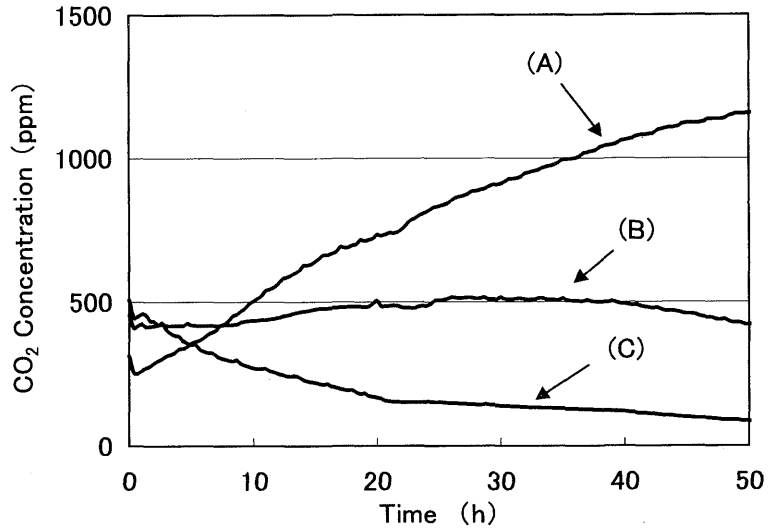


Fig. 2. Time courses of CO_2 concentrations in the chamber containing lettuces at 5°C . Lettuces were placed at incident photosynthetic photon flux of 1.6 (A), 3.4 (B) and $6.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (C). Lettuce roots were not removed.

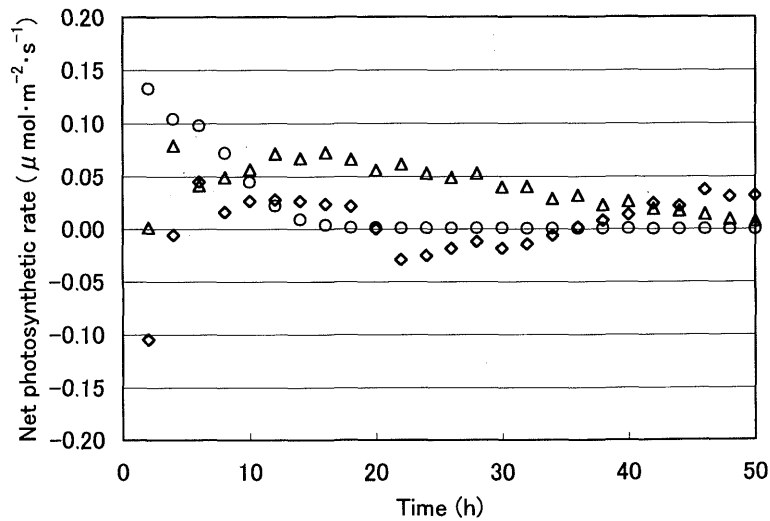


Fig. 3. Time courses of net photosynthetic rates of postharvest lettuces placed in the chamber at 5°C at incident photosynthetic photon flux of 3.4 (\diamond), 6.5 (\triangle) and $13 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (\circ). Lettuce roots were removed.

濃度は20hまでは300~500ppmの基準内に入るため、この期間において $I=3.4 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ は光補償点であると判断した。また、 $6.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ では、

P_{ex} は20hを過ぎたあたりから $0 \pm 0.05 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の範囲内に入るが、この期間のチャンバ内 CO_2 濃度は300ppmを下回るため、 $6.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ も基

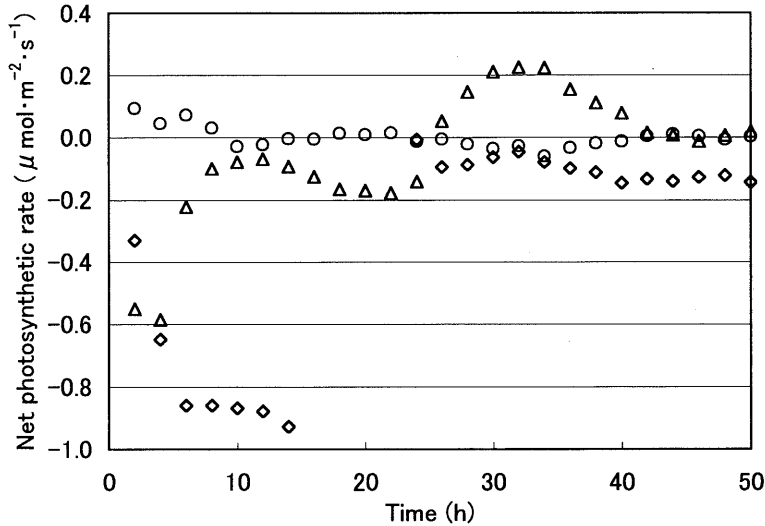


Fig. 4. Time courses of net photosynthetic rate of postharvest lettuces placed in the chamber at 20°C at incident photosynthetic photon flux of 13 (\triangle) and 19.7 (\circ) $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Lettuce roots were not removed.

準を満たすといえない。

5°C・根部切除区の純光合成速度の実験値 P_{ex} の経時変化を Fig. 3 に示す。なお、以下の実験区ではチャンバ内 CO_2 濃度の経時変化の図は省略した。 $I=3.4 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ のとき、2h の時点を除き P_{ex} は $0 \pm 0.05 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の範囲に入った。また、チャンバ内 CO_2 濃度も 0~50h の間で 310~417ppm の範囲にあり、 $I=3.4 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ は 4~50h の間で光補償点と見なしてよい。 $I=6.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ では、 P_{ex} は 2, 6, 8h と 30h 過ぎに $0 \pm 0.05 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の範囲に入った。チャンバ内 CO_2 濃度は実験開始後 20min には 460ppm を示し、その後 2, 5h 付近で小刻みな増減を示した後減少を続け、14.7h 以降は 300ppm を下回った。初期の 2, 6, 8h の時点ではチャンバ内 CO_2 濃度は基準を満たすものの、 P_{ex} は連続して 5h 以上 $0 \pm 0.05 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の範囲に入らないため、 $I=6.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ は全実験期間中で基準を満たさない。 $I=13 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ では、10h 以降は P_{ex} は $0 \pm 0.05 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の範囲に入るが、チャンバ内 CO_2 濃度が実験開始から 20min 後には 300ppm を下回ることから、光補償点とは見なされない。

20°C・根部残存区の純光合成速度の実験値 P_{ex} の経時変化を Fig. 4 に示す。 $I=13 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ では、

24, 32h の時点で P_{ex} はそれぞれ 0.008, $0.046 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ を示すが、この時点はチャンバ内 CO_2 濃度が判定基準より大幅に高かった。 $I=19.7 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ のときは 42h 以降は P_{ex} は $0 \pm 0.05 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の範囲内に入るが、チャンバ内 CO_2 濃度が 1000ppm を越えるため、光補償点とみなされない。 $I=21.1 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ では 8h 以降は 34h を除き P_{ex} はすべて $0 \pm 0.05 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の範囲内に入った。チャンバ内 CO_2 濃度は実験期間中 304~456ppm の範囲で変化するため、8h 以降で $I=21.1 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ は光補償点とみなせる。

20°C・根部切除区の純光合成速度の実験値 P_{ex} を Fig. 5 に示す。 $I=6.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ では、46h のときのみ $P_{ex}=0.028 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で判定基準を満たすが、チャンバ内 CO_2 濃度は 3000ppm を越えた。 $I=13 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ では 20, 22, 26h と 42h 以降で P_{ex} は $0 \pm 0.05 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の範囲内に入った。しかしながら、これらの時点でチャンバ内 CO_2 濃度は 1500ppm を越えており、これも光補償点とみなせない。 $I=19.7 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ のときは、6h の時点と 32h 以降で (44h を除く) P_{ex} は $0 \pm 0.05 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の範囲内に入った。チャンバ内 CO_2 濃度は 6h では 500ppm を越えているが、22.7h 以降は 300~500ppm の範囲にはいるため、この時点で $I=19.7 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

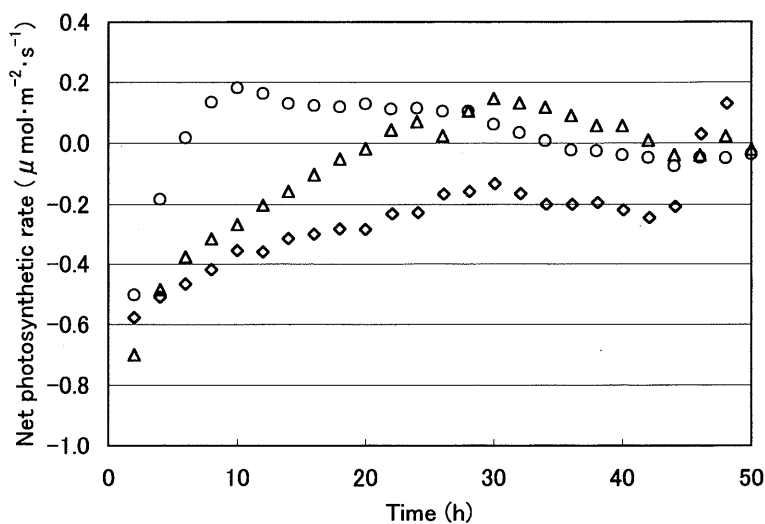


Fig. 5. Time courses of net photosynthetic rates of postharvest lettuces placed in the chamber at 20°C at incident photosynthetic photon flux of 6.5 (\diamond), 13 (\triangle) and 19.7 (\circ) $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Lettuce roots were removed.

Table 1. Comparison of the estimated value with the experimental value of light compensation point under different storage condition.

Storage condition	Dark respiration rate R_d	Estimated value of light compensation point I_c	Experimental value of light compensation point I_{cex}
Root of lettuce Storage temperature (°C)	($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
Not removed 5	0.30	3.4	3.4
Removed 5	0.34	3.8	3.4
Not removed 20	1.98	22.2	21.1
Removed 20	2.39	26.9	19.7

$\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ を光補償点とみなすことができる。

これらをまとめ、実験から得られた光補償点 I_{cex} と (3) 式で求めた光補償点 I_c を暗呼吸速度 R_d とともに実験条件ごとに Table 1 に示す。 I_{cex} と I_c は 5°C・根部残存区、根部切除区及び 20°C・根部残存区で比較的良好一致し、20°C・根部切除区で若干の差がみられた。 5°C の両区、及び 20°C・根部残存区では初期から光補償点の判断基準を満たすのに対し、20°C・根部切除区では 32h 以降と判断基準を満たすのが遅れた。同区では $I_c > I_{cex}$ であり、 I_{cex} を I_c に近づければ、初期の P_{ex} が増加し、早めに光補償点に達するのではないかと期待される。このように、(3) 式により得られた I_c は実際の光補償点に近い値を与えられ、弱光照射

貯蔵を行う場合の入射光強度の選定の一助となるものと思われる。また、前述のように C_3 植物では種類によらず ϕ の値は同程度であるとされることから、本方法はサラダナ以外にも適用できるものと考えられる。

富士原ら (1999) は CA 貯蔵と弱光照射貯蔵を組み合わせた場合について最適貯蔵条件を求めているが、このようにガス環境が大気条件と大きく異なる場合に本方法が適用できるかについて検討する。ガス環境が変化したときには ϕ が変化することが懸念され、実際に Ehleringer and Björkman (1977) は O_2 濃度 2% と 21% 下での ϕ は異なるとしている。これは低 O_2 下では光呼吸が抑制されることによるが、このときの光強度は本実験の 10 倍程度であり、本実験のように光

強度が弱い場合は光呼吸はほとんど無視してよいため、量子収率に及ぼす O_2 濃度の影響は考慮する必要がないと思われる。また、カルビン-ベンソンサイクルは酵素触媒反応あるいは化学反応であるため、一般的には温度の影響を受けるが、本研究のように光強度が弱い場合では、総光合成速度は光強度に律速される。すなわち、光化学系での光子の取り込みという物理的エネルギー交換に律速されるので、総光合成速度は温度の影響をほとんど受けない。細田ら (1983) は弱光下におけるコマツナ葉の総光合成速度の温度依存性を調べ、総光合成速度に及ぼす温度の影響は小さいとしている。暗呼吸速度は化学反応であるため、温度や O_2 濃度の影響を受ける。 P_{ex} も結果としてこれらの影響を受け、光補償点も変化するようになるが、計算で得られる I_c は実験によって得られる R_d と弱光下では温度や O_2 濃度に影響を受けない ϕ から算出されるので、実験を行う環境下での I_c が得られることになる。以上のことから、本方法により算出した光補償点は、多くの緑色植物を種々の温度・ガス環境下で弱光照射貯蔵を行う場合に、最適な光強度を選定する目安になるものと考えられる。

今後はさらに多品種の緑色植物を用い、また種々の環境下で実験を行い、本方法の実用性を確認していかねばならない。

要 約

光補償点は弱光照射貯蔵において品質維持のために最も良い光強度とされているが、その値を見つけるためには煩雑な実験を行わなければならない。著者らは弱光照射下で貯蔵中の青果物の光補償点を暗呼吸速度から簡便に見出す方法を考案した。光補償点の推定値はサラダナの弱光照射貯蔵で得られた実験値と比較した結果、比較的よい一致が見られた。この方法はサラダナ以外の青果物の弱光照射貯蔵時の光補償点算出にも利用可能と思われる。

文 献

Beyschlag, W. R. and R. J. Ryel 1998 Modelling leaf/canopy photosynthesis. In "Pho-

tosynthesis" ed. by A. S. Raghavendra, Cambridge Univ. Press, New York, pp305-319.

Björkman, O. and B. Demmig 1987 Photon yield of O_2 evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta* **170**: 489-504.

Ehleringer, J. and O. Björkman 1977 Quantum yields for CO_2 uptake in C_3 and C_4 Plants. *Plant Physiol.* **59**: 86-90

Farquhar, G. D., S. von Caemmerer and J. A. Berry 1980 A biochemical model of photosynthetic CO_2 assimilation in leaves of C_3 species. *Planta* **149**: 78-90.

富士原和宏・高久晃一・飯本光雄 1997 収穫後チャービルスの低温貯蔵のための赤色発光ダイオードによる弱光照射および養液ゲル利用. *生物環境調節*, **35**: 135-138

富士原和宏・高久晃一・飯本光雄 1999 収穫後チャービル株の外観品質維持のための弱光照射 CA 貯蔵最適条件. *生物環境調節*, **37**: 203-210

Hikosaka, K. 1997 Modelling optimal temperature acclimation of the photosynthetic apparatus in C_3 plants with respect to nitrogen use. *Annals of Botany.* **80**: 721-730

細田 浩・名和義彦・黒木柁吉 1981 野菜の収穫後における品質に及ぼす光の影響 (第1報). *食総研報*, **38**: 33-39

細田 浩・名和義彦・黒木柁吉・高橋信典 1983 野菜の収穫後における品質に及ぼす光の影響 (第3報). *食総研報*, **42**: 45-50.

古在豊樹・久保田智恵利・酒見幸助・富士原和宏・北宅善昭 1996 弱光下低温貯蔵によるナスセル成型苗の生長抑制および苗質維持. *生物環境調節*, **34**: 135-139

Kubota, C., G. Niu and T. Kozai 1995 Low temperature storage for production management of in-vitro plants: Effects of air temperature and light intensity on preservation of plantlet dry weight and quality during storage. *Acta Hort.* **393**: 103-110.

Uchino, T., K. Akimoto and T. Kawano 1999 Storage of fresh lettuce in closed system without oxygen gas supply. *ASAE Paper No.996103*, ASAE, St. Joseph, MI49085-9659.

Summary

The light compensation point was considered as the optimum incident light intensity for storage of green plants under the condition of very low light irradiation (Kozai *et al.*, 1996). However it was obtained from the complicated experiment under various light intensity in previous reports (Fujiwara *et al.*, 1999). A simple theoretical method for estimation of the light compensation point was developed. Namely, the light compensation point I_c was derived from the simple equation of $\phi I_c = R_d$ under the condition of low light irradiation, where ϕ is the quantum yield; R_d the dark respiration rate. As ϕ is considered as $0.0891 \text{ mol CO}_2 \cdot \text{mol quanta}^{-1}$ regardless of species, the light compensation point can be obtained by the equation when the dark respiration rate is determined. The estimated value of the light compensation point was agreed approximately with the experimental value using harvested lettuce independently of the experimental condition. It is suggested that the developed method may be suitable for the estimation of the light compensation point of other green plant.