

## サラダナの貯蔵における弱光照射の効果

原田, 文香

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 | 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

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

秋元, 浩一

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

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

<https://doi.org/10.15017/21086>

---

出版情報 : 九州大学大学院農学研究院学芸雑誌. 55 (2), pp.237-243, 2001-02. 九州大学大学院農学研究院

バージョン :

権利関係 :



## サラダナの貯蔵における弱光照射の効果

原田 文香\*・内野 敏剛  
秋元 浩一・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  
(2000年10月31日受付, 2000年11月10日受理)

### Effect of Dim Light Irradiation on Preservation of Fresh Lettuce

Fumika HARADA, Toshitaka UCHINO, Koichi AKIMOTO  
and Wenzhong HU

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

#### 緒 言

従来、収穫後の青果物に光を照射することは、青果物の温度上昇あるいは蒸散を促進し、萎れを引き起こすと考えられていたために、生鮮野菜の低温貯蔵は暗黒で行われることが一般的であった。しかし近年、収穫後の緑色植物の貯蔵中に光照射を行うことにより、葉のクロロフィル濃度やアスコルビン酸濃度を抑制できること(細田ら, 1981)が報告された。これは、従来の貯蔵室の内壁に白色蛍光灯を設置することで、貯蔵期間を延長できることおよび暗黒下よりも高い温度で貯蔵できることを示した興味深いものであった。この研究を受けて、ブロッコリの組織培養苗(Kubota and Kozai, 1994)、およびナスのセル成型苗(Kozai et al., 1996)を対象とした研究が行われ、低温貯蔵中の弱光照射により貯蔵期間が延長できること、最適貯蔵温度よりも高い温度で貯蔵できることが示された。また、貯蔵中に照射する光強度が植物組織培養苗の光合成の光補償点であるとき苗質がもっとも高く維持されることも示されている(Kubota and Kozai, 1995)。これらの一連の研究は、葉にクロロフィルを含み、光合成を行うことが出来る、いわゆる緑色植物(体)であれば、弱光照射により従来以上に低温貯蔵期間を延長できることを示唆している。

本研究では、これらの研究を踏まえ、外部から酸素を供給せず、貯蔵農産物が持つ光合成の酸素生産能力を利用して、無酸素供給下での緑色植物の成分保持を目的とし貯蔵試験を行った。

#### 供試材料および実験方法

##### 1. 供試材料

供試材料には、周年栽培が可能なサラダナ(*Lactuca sativa* L.)を用いた。実験に供試したサラダナは、九州電力株式会社総合研究所農業電化試験場において播種後35日で収穫されたM式水耕サラダナ冬用である。根部を除去せずに収穫し、栽培時と同様の培養液(大塚B処方変形)とともに発泡スチロール容器に封入し、24時間以内に低温輸送された後、実験に供試した。供試個数は1回の実験につき6個とした。サラダナの平均生体重量は、根部切除区で62.5g、根部残存区で71.8gであった。

##### 2. ガス濃度の測定

それぞれの貯蔵条件における光補償点を調べるため、以下の装置により、チャンバ内ガス濃度を測定した。

実験装置の概要を図1に示す。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。密封チャンバは塩化ビニル(厚さ5mm)製、容積0.06m<sup>3</sup>の直方体で、開閉部はゴム製のパッキンで

\*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

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

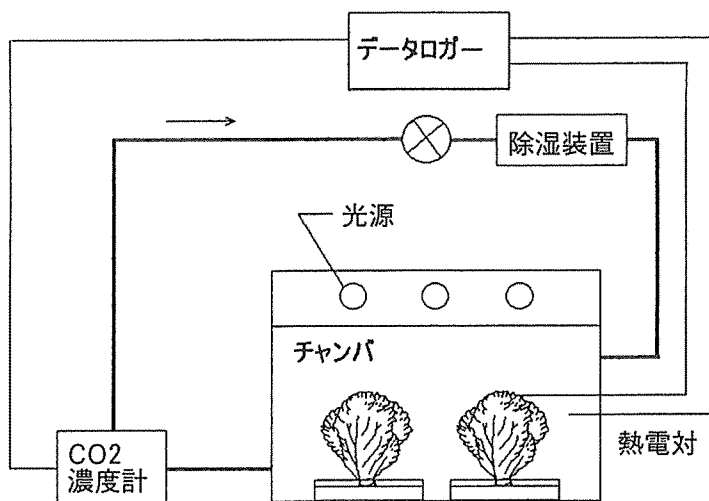


図1 実験装置概要

気密性を保った。内壁は側面からの光の反射を防止し、光合成に有効な光量を上面方向のみからとすため黒色に着色し、上面は光源の光を内部のサラダナに投光できるよう透明板を使用した。また、側面の一部は内部の状態を観察できるよう上面と同様の透明板を使用し、外部より黒色布で覆った。内部の空気を流量 $0.5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ でダイヤフラムポンプにより循環し、ポータブル炭酸ガス濃度計（東亜電波工業株式会社製、CGP）によりガス濃度を測定した。また、チャンバ内温度およびサラダナの品温は、T熱電対を用いて測定した。温度およびガス濃度は実験開始時より20分間隔で記録した。

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、サラダナ上側表面の光強度を0, 1.6, 3.4, 6.5, 13, 19.7  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 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間にステンレス製のスクリーンを入れて減光した。光強度の測定には光量子束計（LI-COR製、LI-190SB Quantum Sensor）を用いた。

貯蔵温度は、5℃および20℃の2区とし、サラダナでは貯蔵時に根部を切除した区（根部切除区）とそのまま残した区（根部残存区）を設けた。なお、貯蔵温度は貯蔵庫の設定温度で、品温は5℃区で $4.7 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、20℃区で $19.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ の範囲であった。根部残存区のサラダナは直径6 cm、深さ5 cmの発砲スチロール製カップに1株ずつ入れ、蓋中央に開けた穴に根を挿入

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供試前に根部を切除し、蒸留水で作成した寒天（ $10 \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ）の中に切り口を挿入した。寒天表面は水分の蒸発を最小限に抑えるため塩化ビニルフィルムで覆った。

### 3. 品質の測定

サラダナの品質変化は、生体重、クロロフィル含量、色彩を貯蔵前後より評価し、光強度を因子として分散分析および最小有意差法により統計的に解析した。

クロロフィルの測定は葉緑素計（ミノルタ製、SPAD-502）を用いて行った。葉緑素計の測定値と80%アセトン抽出液の測定値との間には極めて高い相関関係が成立するので、あらかじめ80%アセトン抽出液によりクロロフィル濃度の定量を行い、葉緑素計のクロロフィル検量線を作成した。色彩は、色彩色差計（ミノルタ製、CR-200）によって $L^*a^*b^*$ 表色系の $a^*$ 値、 $b^*$ 値を求めた。なお、クロロフィル含量および色彩については、予備実験を行い、サラダナの内側、中間、外側の葉を測定した結果、中間の葉が最も個体差が少なくなると考えられたため、中間の葉のみを統計分析を行い評価した。

## 結果および考察

### 1. ガス濃度変化

図2～5に、チャンバ内の $\text{CO}_2$ 濃度の経時変化を示す。5℃根部切除区（図2）では、光強度 $I=0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、すなわち暗黒のとき、チャンバ内

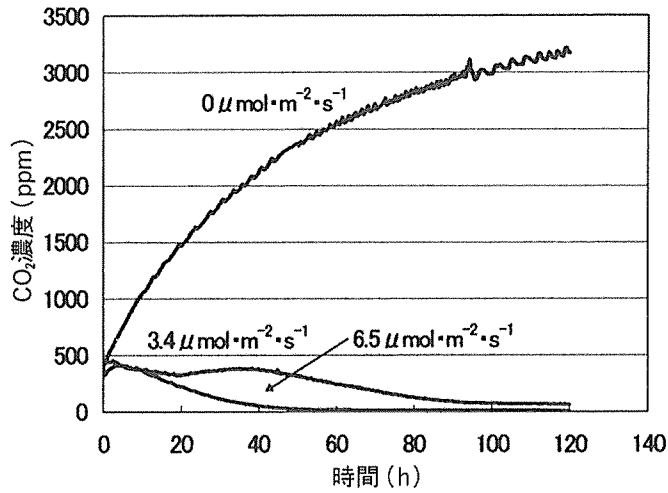


図2 チャンバ内 CO<sub>2</sub> 濃度の経時変化 (5℃根部切除区)

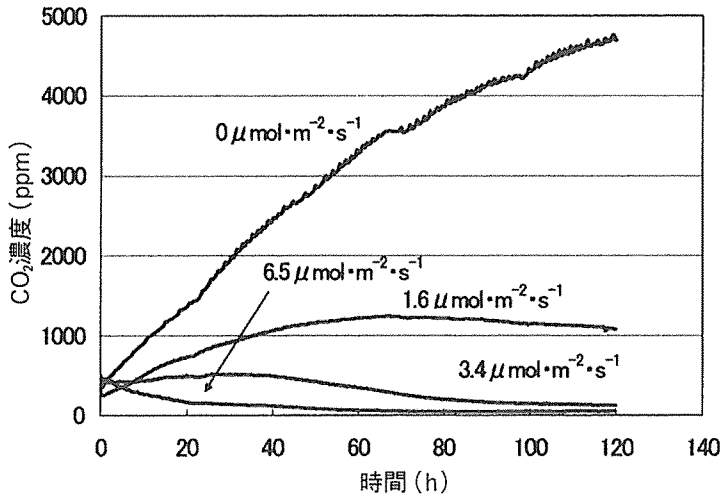


図3 チャンバ内 CO<sub>2</sub> 濃度の経時変化 (5℃根部残存区)

の CO<sub>2</sub> 濃度は増加し続け、約100時間後には3000ppmを超えた。I=3.4μmol・m<sup>-2</sup>・s<sup>-1</sup>では、貯蔵後45時間くらいまでは350~400ppm付近を推移したが、その後減少しはじめ、約100時間後には70ppmの低い濃度で一定となった。I=6.5μmol・m<sup>-2</sup>・s<sup>-1</sup>では、CO<sub>2</sub>濃度は実験開始直後から減少しはじめ、50時間後にこれも約50ppm程度の非常に低い濃度で一定となった。I=3.4μmol・m<sup>-2</sup>・s<sup>-1</sup>とI=6.5μmol・m<sup>-2</sup>・s<sup>-1</sup>で、非常に低い濃度でCO<sub>2</sub>濃度が一定となるの

は、実験初期に光合成が活発なため、CO<sub>2</sub>濃度が減少し、CO<sub>2</sub>補償点に達したものと考えられる。

5℃根部残存区(図3)では、I=0μmol・m<sup>-2</sup>・s<sup>-1</sup>のとき、CO<sub>2</sub>濃度は実験開始直後から上昇し、82時間後には4000ppmを超えた。5℃根部切除区と比較してCO<sub>2</sub>濃度が増加しているのは根部を残したことにより、サラダナの代謝生理が活発に行われたためと考えられる。I=1.6μmol・m<sup>-2</sup>・s<sup>-1</sup>では、光合成を行うものの光強度が弱すぎるため、光合成が不十分で

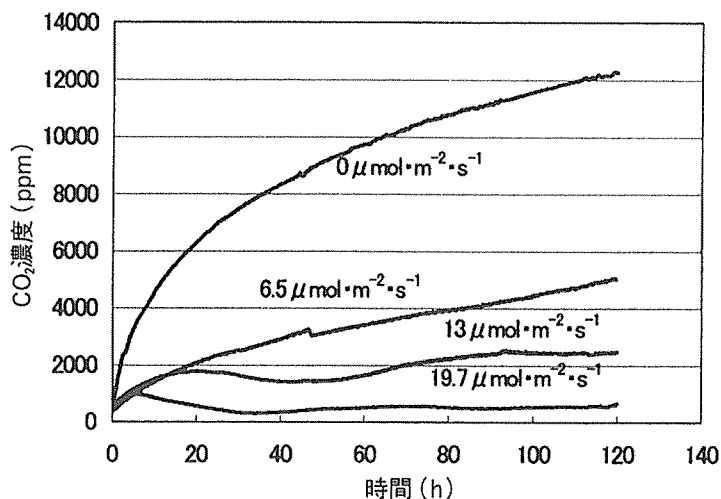


図4 チャンバ内 CO<sub>2</sub> 濃度の経時変化 (20℃根部切除区)

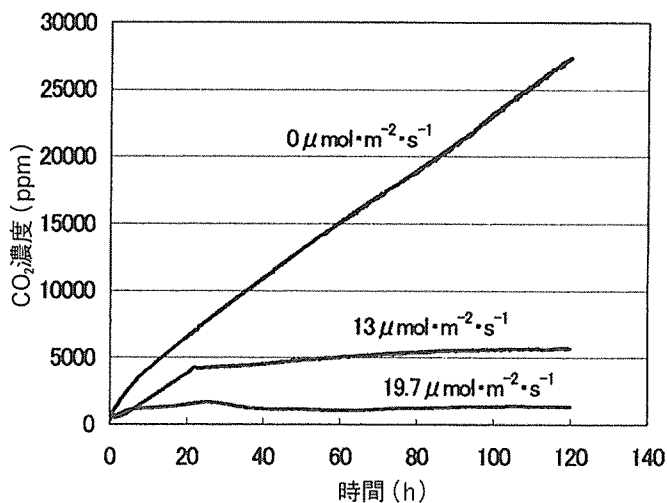


図5 チャンバ内 CO<sub>2</sub> 濃度の経時変化 (20℃根部残存区)

CO<sub>2</sub> 濃度は増加し、67時間後に約1240ppm に達した。I=3.4 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ では、CO<sub>2</sub> 濃度は実験開始直後にわずかに増加し、12時間後から45時間後の間は450~500ppm 付近を推移していたが45時間を過ぎた頃から減少しはじめ、80時間後には200ppm を下回った。その後も減少し続け120時間後には124ppm となった。I=6.5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ では、CO<sub>2</sub> 濃度は根部切除区と同様に実験開始直後から減少し、CO<sub>2</sub> 補償点に達したものと考えられる。

20℃根部切除区 (図4) では、I=0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ のとき、CO<sub>2</sub> 濃度は実験開始直後から増加し、115時間後には約12000ppm となった。I=6.5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ では、光合成が不十分であるため、緩やかではあるが CO<sub>2</sub> 濃度は増加し、118時間後には5000ppm を超えた。I=13 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ でも、CO<sub>2</sub> 濃度は増加した。I=19.7 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ では、CO<sub>2</sub> 濃度は実験開始から6時間後には1000ppm 近くまで増加したもののその後減少し、30時間後からは約500

表1 貯蔵前後の品質変化

根部状態	温度 (°C)	光強度 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	生体重 (g)	クロロフィル含量 ( $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ )	色彩 a* 値 (-)	色彩 b* 値 (-)	
根部 切除 区	20	0	-7.52 <sup>a</sup>	-1.32 <sup>a</sup>	0.44 <sup>a</sup>	0.38 <sup>ab</sup>	
		6.5	-24.71 <sup>bc</sup>	0.87 <sup>ab</sup>	-0.42 <sup>a</sup>	1.46 <sup>b</sup>	
		13	-19.95 <sup>b</sup>	5.34 <sup>ab</sup>	0.82 <sup>a</sup>	2.66 <sup>a</sup>	
		19.7	-29.72 <sup>c</sup>	8.96 <sup>b</sup>	-0.25 <sup>a</sup>	0.60 <sup>b</sup>	
根部 残存 区	5	0	-5.54 <sup>a</sup>	-2.71 <sup>a</sup>	-1.74 <sup>a</sup>	3.67 <sup>a</sup>	
		3.4	-4.17 <sup>b</sup>	4.60 <sup>ab</sup>	-0.37 <sup>b</sup>	0.92 <sup>b</sup>	
		6.5	-13.79 <sup>b</sup>	8.28 <sup>b</sup>	4.38 <sup>c</sup>	-7.33 <sup>c</sup>	
		20	0	-15.18 <sup>a</sup>	-8.62 <sup>a</sup>	-0.84 <sup>a</sup>	2.99 <sup>a</sup>
根部 残存 区	20	13	-3.51 <sup>b</sup>	11.39 <sup>b</sup>	-0.17 <sup>a</sup>	0.22 <sup>a</sup>	
		19.7	-8.60 <sup>ab</sup>	-0.35 <sup>ab</sup>	0.23 <sup>a</sup>	1.41 <sup>a</sup>	
		5	0	-5.12 <sup>a</sup>	0.85 <sup>a</sup>	0.99 <sup>a</sup>	-0.21 <sup>a</sup>
		1.6	-5.62 <sup>a</sup>	0.89 <sup>a</sup>	-0.46 <sup>bc</sup>	0.08 <sup>a</sup>	
根部 残存 区	5	3.4	-7.08 <sup>a</sup>	3.75 <sup>a</sup>	0.16 <sup>ab</sup>	-1.03 <sup>a</sup>	
		6.5	-6.42 <sup>a</sup>	0.10 <sup>a</sup>	-1.30 <sup>c</sup>	0.62 <sup>a</sup>	

根部状態と温度が同一の試験区内で同一英小文字をつけた平均値間には最小有意差法により5%水準で有意差が無いことを示す。

ppm の値を維持した。

20℃根部残存区(図5)では、 $I=0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  のとき、 $\text{CO}_2$  濃度は実験開始直後から増加し、110 時間後には約25000ppm となった。 $I=13 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  では  $\text{CO}_2$  濃度は増加し、実験終了時には約6000 ppm となった。 $I=19.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  でも、光合成が不十分なためかなり緩やかではあるが  $\text{CO}_2$  濃度は増加した。

上述の結果から、各区の光補償点を考察すると、光補償点では  $\text{CO}_2$  の取り込み速度が0 となるため、チャンバ内の  $\text{CO}_2$  濃度の増減が無くなることより、5℃根部切除区と5℃根部残存区では  $3.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  付近、20℃根部切除区では  $19.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、20℃根部残存区では  $19.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  以上と考えられる。また、光補償点付近の光強度で照射するにもかかわらず、貯蔵後期に  $\text{CO}_2$  濃度が減少する現象がみられた。これは貯蔵中に代謝が不活発になり、暗呼吸速度が低下するため光合成速度が呼吸速度を上回り、チャンバ内の  $\text{CO}_2$  濃度が減少するものと思われる。このことから貯蔵後期には初期よりも光強度を弱くすればさらに適した貯蔵環境が得られるものと考えられる。

## 2. 品質変化

各品質の貯蔵前後の差の平均値を表1に示す。根部切除区では、5℃、20℃ともに光強度が増加するにつれ、生体重の減少量は大きくなった。これは光照射により、蒸散が活発化したためと考えられる。分散分析の結果、これらの差は1%水準で有意であった。また、20℃では最小有意差法により  $0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  と6.5, 13,  $19.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  間に、5℃では0と6.5  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  間に5%水準で有意差があった。根部残存区では、20℃において  $0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  時の貯蔵中の生体重減少量が他区と比較し15.18と非常に大きく、このため光照射により生体重の減少が軽減される結果となり、分散分析の結果も5%水準で有意となった。しかしながら、通常、光照射により生体重が維持されることは考えにくく、また、中間の光強度の  $13 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  で減少量が最小になるなど、必ずしも光強度により生体重の減少が軽減されていないことなどから、この傾向はむしろ  $0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  の生体重の異常値によると考える方が妥当であろう。また、5℃では光強度の増加にともない生体重の減少量は若干増加するものの差は小さく、分散分析の結果有意差はなかった。これらから、弱光照射貯蔵を行う際には、根部を除去せずに水分および養分の供給を行えば、生体重の減少を緩和できることが明確となった。

貯蔵前後のクロロフィル含量の増減は、光強度にともない増加することが予測されたが、根部残存区では最大光強度の時に、20℃では減少し、5℃ではほぼ変化がなかった。このクロロフィルの動向の原因については今のところ明確ではない。しかし、それぞれの実験区において光補償点に近いと考えられる光強度では増加、あるいはほぼ初期のクロロフィル含量を維持した。また、根部切除区では0と最大光強度間、根部残存区の20℃では0と $13 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 間に最小有意差法により5%水準で有意差があり、光照射は品質の保持に効果があるといえる。

サラダナの品質保持の観点からは、色彩は緑色を保つことが好ましい。a\*値、b\*値は増加すると赤色、黄色が増すことからこれらの増加は品質の劣化を示すことになる。a\*値については、各試験区とも光強度の変化に対して明確な傾向は見出せず、5℃の区では分散分析の結果、根部の有無にかかわらず1%水準で有意差が認められたものの、根部切除区では光強度の増加にともないa\*値は増加し、根部残存区では減少傾向を示すなど、光照射の影響は明らかではなかった。色彩b\*値については、根部残存区の5℃を除き、光強度の増加にともない減少傾向を示しているようで、分散分析の結果、5℃根部切除区についてのみ1%水準で有意差が認められた。これらの結果から光照射により葉色の黄化が抑制されるようである。

光照射と品質の関係は今回の試験では漠然としたところが多く、非常に明確な形で示すことはできなかった。今後はさらに精度の高い実験を行い、明らかにしていく必要があると思われる。

## 摘 要

緑色の青果物に光補償点付近の弱光を照射し、光合成により成分損耗を防ぐことを目的とし、サラダナの

貯蔵試験を行い、以下の知見を得た。

1. サラダナの光補償点は、貯蔵温度5℃で約 $3 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、貯蔵温度20℃で約 $20 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の近傍と考えられる。
2. 弱光照射貯蔵を行う際は、根部を除去せずに水分補給を行うと蒸散による生体重の減少を抑制でき、有効である。
3. 光補償点に近いと考えられる光強度ではクロロフィル含量は増加、あるいはほぼ初期のクロロフィル含量を維持し、弱光照射によりサラダナの品質は維持できるものと思われる。

## 謝 辞

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します。

## 文 献

- 古在豊樹・久保田智恵理・酒見幸助・富士原和弘・北宅善昭 1996 弱光下低温貯蔵によるナスセル成型苗の成長抑制および苗質維持. 生物環境調節, 34: 135-139
- Kubota, C. and Kozai, T. 1994 Low-temperature storage for quality preservation and growth suppression of broccoli plantlets cultured *in vitro*. HortScience 29: 1191-1194
- Kubota, C. and Kozai, T. 1995 Low-temperature storage of transplants at the light compensation point: Air temperature and light growth suppression and quality preservation. Sci. Hort. 61: 193-204
- 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2報)コマツナ(attached leaf)の貯蔵中における成分変化. 食総研報, 38: 40-45

## Summary

In order to preserve fresh lettuce, the dim light irradiation storage was investigated. Lettuce (*Lactuca sativa* L.) stored for about 120 hours at 5 or 20°C under continuous illumination at 0 (darkness), 1.6, 3.4, 6.5, 13 or 19.7  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  photosynthetic photon flux. The light compensation point was about 3.4  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  at 5°C, about 19.7  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  at 20°C. Fresh weight of lettuce decreased by promotion of transpiration caused by the dim light. Accordingly the root of lettuce should not be removed, so as to uptake water. The optimum dim light irradiation preserved the chlorophyll content in lettuce leaf or increased it. Therefore it appeared that the dim light irradiation was effective for the fresh lettuce preservation.