収穫後チャービル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

富士原和宏・高久晃一・飯本光雄

千葉大学園芸学部

Low Light Irradiation Using Red Light Emitting Diodes and Nutrient Gel Application for Low Temperature Storage of Postharvest Chervil (*Anthriscus cerefolium* L.)

Kazuhiro FUJIWARA, Koichi TAKAKU and Mitsuo IIMOTO

Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo, Chiba 271, Japan

Postharvest chervil, a kind of culinary herb, stored at 8.0°C under low light irradiation (LLI: $1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD) with nutrient gel application (NGA) to the cut ends of the stems showed similar changes in chromaticity (L^* , a^* , b^* and ΔE^*ab) values for 21 days of the storage period to that stored at 6.8°C under darkness with NGA. Low light was provided with an array of red light emitting diodes (red LEDs). Postharvest chervil stored without NGA showed markedly greater values in L^* , a^* and ΔE^*ab after day 9 of the storage than that stored with NGA at 8.0°C under LLI. LLI using red LEDs with NGA proved highly effective for preserving the visual quality of postharvest chervil during low temperature storage.

(Received December 17, 1996)

1996年12月17日受付

緒 言

低温貯蔵中のセル成型苗に弱光を照射する（以下、弱光照射）と貯蔵期間の延長に効果のあることが、Heins *et al.* (1994) によって十数品目の花卉について実証されまとめられた。その後、その興味深い実証結果に刺激されて、ブロッコリ組織培養苗 (Kubota and Kozai, 1994)、ナスセル成型苗 (Kozai *et al.*, 1996)、および収穫後のカイワレダイコン (Kobayashi *et al.*, 1996) の低温貯蔵における弱光照射の効果が調べられ、同様に効果のあることが確認された。これらの報告は、培養土、培地などから、水と養分、あるいは水のみを吸収できる条件下にある植物体に対しては、低温貯蔵中の弱光照射が有効であることを示すものである。しかし、多くの緑色青果物や挿し穂のように、水や養分の供給源がない条件下にある緑色植物体に対する弱光照射の効果についての報告や、そのような植物体に水と養分を供給しながら弱光照射の効果を調べた報告はない。さらにまた、上記の報告ではすべて光源として

白色蛍光灯を用いているが、次に示す理由から、白色蛍光灯よりも低輝度の赤色発光ダイオードの方が実用的な弱光照射低温貯蔵に適していると考ええる。その理由は、1) 赤（ピーク波長：660 nm）は光合成に特に有効な波長帯、2) 発光ダイオードは蛍光灯に比較して数倍以上長寿命、3) 低輝度でかつ点光源に近い形状であることが弱光の均一照射に好適、4) 高輝度、超高輝度の発光ダイオードに比較して著しく安価である。

そこで、筆者らは低輝度の赤色発光ダイオードによる弱光照射の有無、および植物育成用の養液をゲル化したもの（以下、養液ゲル）の利用の有無が、収穫後チャービルの低温貯蔵中の外観品質、特に葉色の経日変化に及ぼす影響を調べることを目的とした一連の試験を開始した。ここでは、その予備的試験により得られた葉色の経日変化、貯蔵後の生体重および乾物重についての結果を報告する。

材料および方法

供試植物には、セコムハイブラント（株）において、1996年4月15日に播種、ガラス温室（設定気温：18-

24°C) 内で DFT (Deep Flow Technique) 水耕栽培され、同年 6 月 1 日に収穫されたチャービル (*Anthriscus cerefolium* L.) を用いた。チャービルは、主に生鮮で料理に用いられるハーブ (香草) の一種であり、鮮度低下が著しく速く (Cantwell and Reid, 1990), また重量当たりの市場価格が高いため貯蔵技術の確立が望まれている品目である。チャービルは、収穫後直ちに収穫地 (宮城) より試験地 (千葉) まで配送業者により低温輸送 (所要時間: 24 時間以内) された後、透明プラスチック袋 (以後、単に袋) に 1 袋当たり 20 本ずつ入れられ、恒温チャンパ内で 21 日間貯蔵された。貯蔵環境条件により、Table 1 に示す 6 つの試験区を用意した。1 袋 20 本を 1 試験区の供試本数とした。Table 1 の気温は、熱電対による袋内の実測値である。恒温チャンパ内気温の設定値は、袋内気温が $2.3 \pm 0.2^\circ\text{C}$ の区 (暗黒) では 2.5°C 、 6.8 ± 0.2 (暗黒) および $8.0 \pm 0.2^\circ\text{C}$ の区 (光照射) では 7.5°C であった。袋内気温 $8.0 \pm 0.2^\circ\text{C}$ と $6.8 \pm 0.2^\circ\text{C}$ との差 1.2°C は、袋外からの弱光照射による袋内気温の上昇分である。

光源には、赤色発光ダイオード (SLZ-181B-20, (株) 三洋電機製; 以後、赤色 LED) をユニバーサル基板に設置密度 4 個/cm² で設置したもの (以後、赤色 LED アレイ) を用いた。袋上面における照射光の光合成有効光量子束密度 (以下、PPFD) は、 $1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ とした。 $1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の PPFD の設定は次の手順で行った。まず、PPFD 0 から $6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ に対応する照度計 (T-1M, ミノルタ (株) 製) の読み取り値から、赤色 LED についての PPFD と照度間の一次関係式を求めた。次に、袋上面の照度を、 $1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の PPFD に相当する値 (10 lx) になるように、同じ照度計を用いて設定した。PPFD の測定には PPFD 計 (LI-190SA,

LI-COR 製) に電圧変換器 (2290S, LI-COR 製) を接続したものを用い、またその出力電圧の測定にはマルチメータ (TR6846, (株) アドバンテスト製) を用いた。

養液ゲルには、園芸植物用複合肥料 (商品名: ハイポネックス (N: 5, P: 10, K: 5), 村上物産 (株) 製) の 1000 倍希釈液 1 L を 20 g の粉末寒天でゲル化したものを用いた。チャービルが収穫されたときの茎の切り口側を養液ゲルに約 1 cm 挿し込むことで、貯蔵中にチャービルが養液ゲルから水および養分を吸収できるようにした。

測定項目は、葉色、生体重、および乾物重とした。葉色は、0 日目 (貯蔵開始日) から 2 日おきに各試験区ごとに同一個体 1 本のチャービルについて色彩色差計 (CR-200b, ミノルタ (株) 製) を用いて測定した。表色系には $L^*a^*b^*$ 表色系を用いた。生体重および乾物量は 0 日目および 21 日目 (貯蔵終了日) に測定した。0 日目の乾物重は、貯蔵に用いたチャービルと同時に収穫されたもの 40 本の平均乾物重と等しいと仮定した。

結果および考察

貯蔵中のチャービルの L^* (明度), a^* (色度: 緑-赤), b^* (色度: 青-黄) および ΔE^*ab (色差) の経日変化を Fig. 1 に示す。 L^* の値の増加は明度の増加を、 a^* の値の増加は a^* の値が負の範囲であれば緑色の減少を、 b^* の値の増加は b^* の値が正の範囲であれば黄色の増加を、 ΔE^*ab の値は 0 日目 (貯蔵開始日) との色差をそれぞれ示している。

赤色 LED 弱光照射を行い養液ゲルを利用した HRA 区は、暗黒下で養液ゲルを利用した MDA 区と比較して袋内気温が 1.2°C 高いにもかかわらず、HRA 区の L^* , a^* , b^* および ΔE^*ab の値は、MDA 区のそれらとほぼ同様に推移した。このことは、水および養分の供給源がある条件下で赤色 LED による弱光照射を行えば、暗黒下におけるよりも高い気温で、暗黒下と同程度の期間の貯蔵が可能であることを示している。同様な結果は、白色蛍光灯を光源として行われた Heins *et al.* (1994) の花卉セル成型苗の貯蔵試験においても得られている。また、HRA 区より 5.7°C 低い LDA 区と比較すると、HRA 区の L^* , a^* , b^* および ΔE^*ab の値は、LDA 区のそれらと 15 日目まではほとんど等しかったことから、葉色の保持に関しては、2 週間程度の期間であれば、赤色 LED 弱光照射は、 5.7°C も低い気温と同様の効果を有するといえる。

緑色青果物の貯蔵における赤色光照射の有効性に関

Table 1 Storage conditions for each treatment and its code name.

Treatment code	Temperature ^z [°C]	Low light irradiation using red LEDs	Nutrient ^y gel application
LDA	2.3 ± 0.2	no	yes
LDN	2.3 ± 0.2	no	no
MDA	6.8 ± 0.2	no	yes
MDN	6.8 ± 0.2	no	no
HRA	8.0 ± 0.2	yes	yes
HRN	8.0 ± 0.2	yes	no

^z Temperature in the transparent plastic bags used.

^y Hyponex® (N: 5, P: 10, K: 5) 1 000 times-diluted solution gelled with 20 g L⁻¹ agar.

Fig. 1 Time course of chromaticity (L^* : metric lightness; a^* : green-red chromaticity; b^* : blue-yellow chromaticity; ΔE^*ab : color difference) values of postharvest chervil during storage in each treatment.

See Table 1 for the treatment codes.

しては、収穫後のコマツナの内容成分保持に対して、放射照度 (単位: W m^{-2}) が等しい場合は波長 660 nm 付近の光 (赤色光) が最も有効であることを示した Hosoda *et al.* (1985) の報告がある。この報告は、Inada (1976) が成育中の 30 種余りの緑色植物の光合成のスペクトル依存性について示した結果、すなわち、単位

放射照度当たりの光合成速度のピークは、およそ波長 630 から 690 nm の間にあるとした結果とも一致している。また、ブロッコリ組織培養苗 (Kubota and Kozai, 1994) やナスセル成型苗 (Kozai *et al.*, 1996) の低温貯蔵における弱光照射の主な効果は、呼吸速度と等しい速度で、弱光照射により植物体に光合成を行わせ、乾物重を維持することにあると説明されている。これらの報告は、貯蔵期間中の弱光照射用光源としては、単位放射照度当たりの光合成速度が最も大となる 660 nm 付近の光を照射する赤色 LED が好適であることを支持するものと考えられる。なお、LED が低温貯蔵における弱光照射用光源として好適であることは Fujiwara *et al.* (1996) が指摘している。

L^* , a^* および ΔE^*ab の値は、養液ゲルを利用しなかった区の方が、同一気温下の養液ゲルを利用した区よりも高く推移する、すなわち明度 (白っぽさ) 増加、緑色減少、および葉色変化が大となる傾向であった。特に、赤色 LED 弱光照射を行い養液ゲルを利用しなかった HRN 区では、 L^* , a^* および ΔE^*ab の値が 9 日目以降、他の試験区より顕著に大であった。また、HRN 区ではそれらの値が 9 日目以降、HRA 区より高く推移したことから、養液ゲルを利用することで葉色変化を抑制できることが明らかとなった。HRN 区では養液ゲルを利用しなかったため、弱光照射により促進された蒸散に見合う量の水や光合成に必要な無機成分が供給されず、結果的に、品質の低下が加速されたものと推察できる。

上記の結果は、多くの緑色青果物や挿し穂のように、水や養分の供給源がない条件下にある植物体に対して弱光照射を行うと、その品質低下を加速する場合があること、およびそのような場合にはここで用いた養液ゲルのような水や養分を供給するためのもの、あるいは供給するための処置が必要となることを示している。花卉セル成型苗 (Heins *et al.*, 1994)、ブロッコリ組織培養苗 (Kubota and Kozai, 1994)、ナスセル成型苗 (Kozai *et al.*, 1996)、カイワレダイコン (Kobayashi *et al.*, 1996) などの低温貯蔵に対して弱光照射の効果が認められているのは、それらの植物体が水と養分、あるいは水のみを吸収できる条件下にあったためであったと理解できる。

なお、種々の緑色植物の低温貯蔵期間延長のために利用する養液ゲルなどに好適な無機成分組成は、成育抑制が貯蔵の第一目的であることから考えて、一般の水耕栽培養液のそれとは異なるはず (Fujiwara *et al.*,

1996)である。また、取り扱い容易な方式が考案されれば、水や養分の供給は、液体として行う方が有効な場合もあると考える。

L^* , a^* , b^* および ΔE^*ab の経日変化を総合的にみて、0日目からの変化が最も小さかったのは、袋内気温 2.3°C 、暗黒、養液ゲル利用の LDA 区であり、他方最も大きかったのは HRN 区であった。また、21 日目(貯蔵終了日)において、最も高い外観品質を保持していたのは LDA 区であり、逆に外観品質が最も低かったのは HRN 区であった。供試したチャービルについては、外観品質の高さは、 ΔE^*ab の値の小ささで評価するのが最も適当であると思われた。

21 日目の生体重および乾物重を Fig. 2 に示す。貯蔵前と比較して危険率 5% レベルで有意差が認められたのは、それぞれ生体重においては HRN 区、乾物重においては HRA 区のみであった。HRN 区で生体重が有意に減少したのに対して、HRA 区ではそうでなかった

Fig. 2 Fresh (1) and dry (2) weights of postharvest chervil before (black) and 21 days after storage (white) in each treatment.

Vertical bars represent standard errors of the mean ($n=20$), and asterisks (*) indicate treatments of which mean was significantly different at the 5% level by t -test from the mean before storage. Dry weight before storage (BS) is the mean weight for all treatments, which is obtained by drying all the chervil after fresh weight measurement for each treatment. See Table 1 for the treatment codes.

ことから、弱光照射を行う場合には、養液ゲル利用がチャービルの生体重維持に有効であったことがわかる。他方、HRA 区の乾物重が有意に減少したことから、 8°C におけるチャービルの貯蔵に対しては、PPFD $1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ は低かったものと推定できる。Kozai *et al.* (1996) は、気温 9°C で貯蔵したナスセル成型苗の乾物重が、暗黒下では貯蔵前よりも低下し、PPFD $5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下では増減なく、それ以上の PPFD 下では増加することを示している。

現在著者らは、温度、PPFD、および養液ゲル利用の有無の 3 因子の影響を統計分析可能な貯蔵試験、ならびに CA (Controlled Atmosphere) を弱光照射と組み合わせた貯蔵(弱光照射 CA 貯蔵)の試験を進めている。

供試植物のチャービルをご提供下さったセコムハイプラント(株)ならびに同社奥田真弘氏に深甚の謝意を表す。低輝度赤色 LED および養液ゲルを利用する着想は、千葉大学園芸学部教授古在豊樹博士との議論から得られたものである。記して謝意を表す。なお、本研究は、平成 8 年度文部省科学研究費(課題番号: 08760241)の補助を受けて行った。

文 献

- Cantwell, M., Reid, M. 1990. Postharvest handling systems: Fresh herbs. In "Postharvest Technology of Horticultural Crops" (ed. by Kader, A. A.), Ed. 2, University of California, California, p 211-213.
- Fujiwara, K., Kubota, C., Kozai, T. 1996. Low light irradiation for low temperature storage of plug seedlings. (Japanese text) *Agricul. Horticult.* **71**: 699-704.
- Heins, R., Lange, N., Wallace, T. F., Jr., Carlson, W. 1994. Plug Storage, Greenhouse Grower, Ohio, pp 19.
- Hosoda, H., Kurogi, M., Matsuoka, T. 1985. Effect of light quality on changes in nutrients content of detached Komatsuna leaves. (Japanese text) *Abst. autumn meeting of Jap. Soc. Hort. Sci.*, p 492-493.
- Inada, K. 1976. Action spectra for photosynthesis in higher plants. *Plant Cell Physiol.* **17**: 355-365.
- Kubota, C., Kozai, T. 1994. Low-temperature storage for quality preservation and growth suppression of broccoli plantlets cultured *in vitro*. *HortScience* **29**: 1191-1194.
- Kobayashi, R., Takagaki, M., Kubota, C., Kozai, T. 1996. Effect of dim light during low temperature storage on the postharvest quality of radish sprouts. (Japanese text with English abstract and captions) *Environ. Control in Biol.* **34**: 153-155.
- Kozai, T., Kubota, C., Sakami, K., Fujiwara, K., Kitaya, Y. 1996. Growth suppression and quality preservation of eggplant plug seedlings by low temperature storage under dim light. (Japanese text with English abstract and captions) *Environ. Control in Biol.* **34**: 135-139.