CA および赤色発光ダイオード弱光照射が低温貯蔵中のトマト接ぎ木セル成型苗の外観品質に及ぼす影響

富士原和宏¹・磯部佐保子・飯本光雄

千葉大学大学院自然科学研究科

¹ 現在：東京大学大学院農学生命科学研究科

Effects of Controlled Atmosphere and Low Light Irradiation Using Red Light Emitting Diodes during Low Temperature Storage on the Visual Quality of Grafted Tomato Plug Seedlings

Kazuhiro FUJIWARA,¹ Sahoko ISOBE and Mitsuo IIMOTO

Graduate School of Science and Technology, Chiba University, Matsudo 271-8510, Japan

¹ *Present address : Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan*

Grafted tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill., scion: cv. Momotaro; rootstock: cv. Herupa M) plug seedlings were stored at 10°C for 28 d under different gas compositions (0.05% CO₂+20% O₂, L; 0.5% CO₂+10% O₂, M; 1% CO₂+5% O₂, H) at a photosynthetic photon flux density of 0 (dark, D) or 2 (low light irradiation, LLI, using an array of red light emitting diodes, R) $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. The percentages of the seedlings with subjective visual quality scores 5 and 4 (seedlings with scores 5 and 4 are considered stored successfully and acceptable) in MR and HR were both about 70% on the last day of storage (day 28), while the percentage in LD (control: usual low temperature storage) was 0%. The total percentage of the seedlings with scores 5 and 4 in LD, MD and MR did not fall below 90% until day 9, day 15 and day 24, respectively, indicating that acceptable storage duration of the seedlings stored under controlled atmosphere (CA) and CA combined with LLI was prolonged nearly 1.7 times and 2.7 times longer, respectively, than that under usual low temperature storage. There was no significant difference in dry weight of the seedlings in R between day 0 and day 28, while the seedling in D lost their dry weight during storage. Regardless of the gas composition, survival percentages of the seedlings after storage in R were 100%, in contrast to 20% in LD, 60% in MD and 80% in HD. These results indicate that CA combined with LLI was more effective than both CA without LLI and LLI without CA, respectively, for low temperature storage of grafted tomato plug seedlings with high visual quality and growth potential after storage.

(Received February 8, 1999)

1999年2月8日受付

緒 言

Fujiwara *et al.* (1998) は、数種の植物体の低温貯蔵においてその有効性が認められている弱光照射 (Paton and Schwabe, 1987; Heins *et al.*, 1994; Kubota and Kozai, 1994; Kobayashi *et al.*, 1996; Kozai *et al.*, 1996; Fujiwara *et al.*, 1997) に、種々の青果物の貯蔵

においてすでに実用化されている CA (controlled atmosphere: ガス組成制御) を組み合わせた弱光照射 CA が、収穫後のチャービルの外観品質維持および貯蔵期間の大幅な延長に対して有効であることを実証した。その結果は、弱光照射 CA が収穫後の葉菜類のみならず多くの緑色植物体の貯蔵に対しても有効であることを示唆するものでもあった。

そこで本研究では、収穫後の葉菜類とは異なり、貯

蔵後に再び生育することが求められる苗の貯蔵に対しても弱光照射 CA が有効であるのかについて調べることとした。一般に、苗の需要時期には著しい偏りがあること、および苗の出荷や移植の時期を多少調整する必要に迫られる場合があることなどから、苗の貯蔵技術に対する要望は高い (Fujiwara *et al.*, 1996)。なおここでは、最適な弱光照射 CA 貯蔵条件の策定ではなく、弱光照射 CA の効果の有無を調べることに焦点を当てた。そのため、弱光照射についてはその有無の 2 水準、CA については CA を行わない (大気とほぼ同様のガス組成：低濃度 CO₂ + 高濃度 O₂)、中程度の CA (中濃度 CO₂ + 中濃度 O₂) および強度の CA (高濃度 CO₂ + 低濃度 O₂) の 3 水準とする試験区設定とした。また、弱光照射用光源には赤色発光ダイオード (以下、赤色 LED) を用いた。赤色 LED は低温貯蔵用光源としての好適な特長を有すること (Fujiwara *et al.*, 1996, 1997) や、チャービルの貯蔵中の外観品質維持に対して白色蛍光灯よりも有効であること (Fujiwara *et al.*, 1999) が報告されている。

供試苗には以下の理由から、トマト接ぎ木セル成型苗を選定した。すなわち、①果菜類の接ぎ木苗は耐病性・耐寒性などの付加価値を有することから、実生苗の数倍高価であるにもかかわらずその需要は近年増加している。たとえば、1990 年の農林水産省野菜・茶業試験場の調査結果によると、トマト、ナスおよびキュウリでは、接ぎ木苗の普及面積率 (接ぎ木苗の栽培面積/全栽培面積×100) が、1980 年から 1990 年の 10 年間でそれぞれ 3.2 倍、1.7 倍および 1.5 倍という高い伸びを示している (Itaki, 1998)。②最近、接ぎ木作業の簡易化・効率化を目的としたセル成型苗用の各種の接ぎ木ロボット、接ぎ木支持具、活着促進装置などが市販されるようになり、果菜類の接ぎ木苗に占めるセル成型苗の割合が増加傾向にある。③トマトは高温性の作物であり、暗黒下では貯蔵可能期間が短い。トマト実生セル成型苗の暗黒下における最大貯蔵可能期間は 10°C では 1 週間程度である (Heins *et al.*, 1994)。

材料および方法

1. 供試苗

供試苗には、JA 栃木経済連園芸種苗総合センターにおいて 1997 年 8 月 28 日にピートモス主体複合培養土 (ダイヤトピー農芸 (株) 製) 入りの 128 穴セルトレイ (トレイサイズ：510 mm L×250 mm W×52 mm D, セルサイズ：30 mm L×30 mm W×50 mm D, 日新農工

産業 (株) 製) に播種され、19 日間育苗後、全農式幼苗接ぎ木法で接ぎ木されたトマト苗 (穂木：桃太郎；台木：ヘルパー M) を用いた。トマト接ぎ木セル成型苗 (以後、単に苗) は、接ぎ木後 3 日間養生された後、生産地 (栃木) から試験地 (千葉) まで配送業者により輸送された。試験地到着後、明暗周期：明期 16 h/暗期 8 h, 気温：明期 25±1°C/暗期 19±1°C, 光強度：明期 100 μmol m⁻² s⁻¹, 相対湿度 60±5% の恒温室内に 24 時間置いた後、以下に述べる試験区の環境下で 28 日間貯蔵した。

2. 試験区、貯蔵条件および貯蔵後の栽培条件

CA3 水準 (0.05% CO₂ + 20% O₂, L 区; 0.5% CO₂ + 10% O₂, M 区; 1% CO₂ + 5% O₂, H 区; いずれも N₂ ベース) および弱光照射 2 水準 (無, D 区; 有, R 区) を組み合わせ、計 6 試験区を設定した (Table 1)。128 穴セルトレイ中の苗から貯蔵 0 日目の乾物重の測定に用いる 10 株の苗と輸送により傷んだ苗を除いた後、128 穴セルトレイを半分 (8×8 穴) に切り分けた。半分のトレイそれぞれに 56 株の苗を残し、それらを 1 試験区の供試苗とした。苗は、気温 10±1°C, 相対湿度 95% 以上の貯蔵ケース (Fig. 1) 内で貯蔵した。貯蔵ケース内には、圧力調整器 (MODEL 6600 SERIES, コフロック (株) 製) および精密ニードルバルブ付流量計 (MODEL RK1200 SERIES, コフロック (株) 製) によって CO₂, O₂ および N₂ の濃度が調整された混合ガスを 30 L h⁻¹ で流した (Fig. 2)。熱電対による貯蔵ケース内気温の実測値は、弱光照射区、暗黒区ともに 10±1°C であり、弱光照射による貯蔵ケース内の気温の上昇は認められなかった。

弱光照射用光源には、赤色 LED (SLZ-181B-20, 三洋電機 (株) 製) をユニバーサル基板に設置密度 1 個 / cm² で設置した自作の赤色 LED アレイ (700 mm×500

Table 1 Storage conditions for grafted tomato plug seedlings in each treatment and its code name.

Treatment code	Gas concentration ^z [%]			LLI ^y using red LEDs
	CO ₂	O ₂	N ₂	
LD	0.05	20.0	79.95	no
MD	0.5	10.0	89.5	no
HD	1.0	5.0	94.0	no
LR	0.05	20.0	79.95	yes
MR	0.5	10.0	89.5	yes
HR	1.0	5.0	94.0	yes

^z Values measured at the gas inlet of the storage case.

^y Low light irradiation.

Fig. 1 A schematic diagram of the storage case used for the low light irradiation treatment. The cases for the dark treatment were not equipped with an array of red light emitting diodes.

Fig. 2 A schematic diagram of the constant-composition gas supplying system used.

mm)を用いた。苗植被面における光合成有効量子束密度(以下, PPFD)は $2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ とした。 $2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の PPFD の設定は照度計を利用して Fujiwara *et al.* (1997) の方法で行った。

貯蔵終了後、各試験区 5 本ずつの苗をそれぞれ育苗用ポリ鉢 (80 mmφ) に移植し、明暗周期：明期 12 h/暗期 12 h、気温：明期 $27 \pm 1^\circ\text{C}$ /暗期 $18 \pm 1^\circ\text{C}$ 、光強度：明期 $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、相対湿度 $60 \pm 5\%$ の恒温室内で 21 日間栽培した。培養土にはヤンマー野菜養土 (ヤンマー農機(株)製)を用い、栽培期間中、1 日 1 回、1 鉢あたり 50 mL の灌水を行った。

3. 評価・測定項目

3.1 貯蔵終了日の外観品質

貯蔵終了日 (28 日目) に各試験区の苗をトレイより

Table 2 Standard for the subjective visual quality evaluation.

Score ^z	Standard
5	Most leaves and stems stay green
4	Some leaves are yellow
3	Some leaves are brown and/or necrosed
2	Some leaves and stems are brown and/or necrosed
1	Most leaves and stems are brown and/or necrosed

^z Seedlings with scores 5 and 4 are considered stored successfully and acceptable.

取り出して目視により 1 株ずつ観察し、葉および茎の色、腐敗・壊死の有無、形態などを含めた総合的な外観品質を主観評価した。評価は、葉および茎が全体的

に緑色を保持（評価値 5）、葉の一部（1～2 割程度）が黄化（評価値 4）、葉の一部が褐変・壊死（評価値 3）、葉および茎の一部が褐変・壊死（評価値 2）、葉および茎が全体的に褐変・壊死（評価値 1）、の 5 段階で行った（Table 2）。評価値 5 および評価値 4 の苗は、移植苗として受容でき、商品価値がある苗と判断した。

3.2 外観品質の主観評価に基づく最大貯蔵可能期間

貯蔵開始後 7 日目から 7 日目ごとに、低温貯蔵中の苗をトレイから取り出さずに、目視により外観品質を 1 株ずつ主観評価し、評価値 5 および 4 の苗の合計割合（百分率）を調べた。次に、試験区ごとにその合計割合の折れ線グラフが 90% を下回るまでの日数を求め、その日数をその試験区の最大貯蔵可能期間とした。

3.3 貯蔵終了日における乾物重

貯蔵終了日（28 日目）に各試験区 10 株の苗を、根部洗浄後 60℃ で 48 時間乾燥した後、電子天秤（AE240、シイベル機械（株））で重量を測定し、各試験区の苗 1 株あたりの平均乾物重を求めた。

3.4 移植後の外観品質および枯死本数

貯蔵した苗の移植後 21 日目に各試験区の苗を目視により 1 株ずつ観察して、葉色、形態、生育などの総合的な外観品質および枯死した苗の個体数を調べた。

結果および考察

1. 貯蔵終了日の外観品質

D（暗黒）区では、貯蔵終了日（28 日目）には、葉あるいは葉および茎が部分的あるいは全体的に腐敗・壊死していた（評価値 3、2 または 1）。特に LD 区（0.05% CO₂ + 20% O₂，暗黒）では、大部分の苗の葉および茎が全体的に水浸状となり壊死していた。また、MD 区（0.5% CO₂ + 10% O₂，暗黒）および HD 区（1% CO₂ + 5% O₂，暗黒）でも、葉のみあるいは葉および茎の一部が水浸状となり壊死していた。他方、R（弱光照射）区では、多くの苗は葉のみあるいは葉および茎が黄化・褐変する程度にとどまり（評価値 4 または 3）、評価値 3 または 2 の苗であっても D 区でみられた壊死は認められなかった。また、MR 区および HR 区では、評価値 2 および 1 の苗はほとんどなかった。

D 区では、商品価値があると判断した評価値 5 および評価値 4 の割合はともに 0% であった（Fig. 3）。Heins *et al.* (1994) は、トマト実生セル成型苗の 10℃ 暗黒下における最大貯蔵可能期間は 1 週間程度であるとしており、また、Sato and Sakai (1996) は、トマト接

Fig. 3 Percentage of the subjective visual quality scores of grafted tomato plug seedlings stored at 10°C for 28 d.

Seedlings with scores 5 and 4 are considered stored successfully and acceptable. See Table 1 for the treatment codes, and Table 2 for the standard of the subjective visual quality evaluation.

ぎ木苗の 8～12℃・暗黒下における最大貯蔵可能期間は 9 日間であるとしている。これらのことから、10℃・暗黒下でトマト接ぎ木セル成型苗を 28 日間貯蔵した後の評価値としては妥当な数値であるといえる。D 区で評価値 3 の割合が最も高かったのは MD 区の 91% で、ついで HD 区の 75% であった。LD 区では評価値 3 以上の割合はわずか 6% であった。また、D 区で平均評価値が最も高かったのは MD 区の 2.9 で、ついで HD 区の 2.7 であり、LD 区は 1.8 と最も低かった。

一方、R 区では、評価値 5 および 4 の苗の割合は、MR 区および HR 区でそれぞれ 72% および 68% とほぼ等しく、LR 区では 38% であった。MR 区および HR 区の評価値 5 の割合はそれぞれ 43% および 4% であり、MR 区では優良質苗の割合が明らかに大きかった。なお、LR 区では評価値 5 の苗はなかった。また、R 区で平均評価値が最も高かったのは MR 区の 4.1 で、ついで HR 区の 3.7 であり、LR 区は 3.1 と最も低かった。

これらの結果より、CA 単独（MD 区および HD 区）でも、通常の方法（LD 区）より貯蔵終了時の外観品質を高く維持できること、および弱光照射 CA（MR 区および HR 区）では、通常の方法（LD 区）だけでなく、弱光照射単独（LR 区）、CA 単独（MD 区および HD

区)よりも貯蔵終了時の外観品質を高く維持できることが示された。また、平均評価値については、MD区とLR区の間には大差なかった。このことより、CA単独で弱光照射単独と同等の外観品質維持効果が得られる可能性があるといえる。

2. 外観品質の主観評価に基づく最大貯蔵可能期間

D区において、外観品質の主観評価に基づく最大貯蔵可能期間が最も長かったのはMD区およびHD区の15日間であり、両区はLD区の9日間よりも約1週間長かった (Fig. 4)。一方、R区において最大貯蔵可能期間が最も長かったのはMR区の24日間であり、HR区およびLR区でも21日間でMR区と大差がなかった。

前述した貯蔵終了日における評価値5および4の合計割合および平均評価値は、弱光照射CAが弱光照射単独よりも大きかったのに対し、最大貯蔵可能期間は、弱光照射CAと弱光照射単独との間に大差が認められなかった。このことは、弱光照射単独では最大貯蔵可能期間以後の外観品質の低下が、弱光照射CAより大きかったことを示すものと考えられる。

これらの結果より、CA単独 (MD区およびHD区) でも、最大貯蔵可能期間を通常の方法 (LD区) の約1.7倍に延長できること、および弱光照射CA (MR区およびHR区) は、通常の方法 (LD区) の約2.3~2.7倍に延長できることが示された。弱光照射単独 (LR区) と弱光照射CA (MR区およびHR区) の間には大差は認められなかった。

Fig. 4 The last day when the percentage of seedlings with scores of 5 and 4 was higher than 90% in each treatment.

See Table 1 for the treatment codes, and Table 2 for the standard of the subjective visual quality evaluation.

3. 貯蔵終了日における乾物重

D区では、いずれのガス組成でも貯蔵終了日 (28日目) の乾物重は0日目のそれよりも有意に小さかった (Fig. 5)。また、D区の各試験区間には有意差は認められなかった。一方、R区では、いずれのガス組成でも0日目と28日目の乾物重に有意差は認められなかった。これは、弱光照射を行うことで、貯蔵期間中の苗のCO₂収支がほぼ0となり、その結果、乾物重の減少が抑制されたためと推察できる。弱光照射の乾物重維持効果は、プロッコリー組織培養苗 (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) などの低温貯蔵ですでに報告されている。

貯蔵終了日の乾物重測定結果より、貯蔵期間中の乾物重の維持に対しては、弱光照射が有効であり、今回供試したガス組成ではCA単独の効果はないことが示された。今回供試したガス組成では、苗の呼吸の抑制が十分でなかった可能性が考えられ、CO₂をより高濃度、O₂をより低濃度にしたガス組成下であれば、CA単独であっても貯蔵期間中の乾物重の減少を有意に抑制し得るほどに呼吸を抑制できる可能性はあると考える。しかしながら、そのような強度のCAが苗の外観品質の維持に対しても有効であるかについては不明である。

4. 貯蔵後の外観品質および枯死本数

D区では、移植後3日目以降、外観品質の劣化および枯死がみられた。移植後21日目における5株中の枯

Fig. 5 Dry weight of grafted tomato plug seedlings before storage (BS) and after 28-d storage at 10 °C.

See Table 1 for the treatment codes. Vertical bars represent standard errors of the means ($n=10$) on day 28. Means with different letters are significantly different at the 5% level by LSD.

死株数は、LD 区では 4 株、MD 区では 2 株、HD 区では 1 株であった。LD 区では枯死せずに残った 1 株も葉および茎の一部が褐変・壊死していた。一方、R 区では、いずれのガス組成でも移植後 21 日目において外観品質の劣化および枯死は認められなかった。また、ガス組成による差は大きくなかったが、HR 区の苗は LR 区の苗よりも若干草勢が優っていた。なお、弱光照射の効果については、暗黒下で貯蔵したナスセル実生成型苗は移植後の生存率が低く葉の劣化がみられたのに対し、弱光照射下で貯蔵した苗は生存率が大きであったとする Kozai *et al.* (1996) の報告と同様の結果となった。

これらの結果より、CA 単独(MD 区および HD 区)、弱光照射単独(LR 区)および弱光照射 CA (MR 区および HR 区)で、通常の方法(LD 区)より貯蔵後の枯死を抑制できることが示された。また、弱光照射 CA と弱光照射単独の移植後の生育に及ぼす効果には大きな差はなかった。

結 論

既報 (Fujiwara *et al.*, 1998) で、チャービルの外観品質維持および貯蔵期間の大幅な延長に対して効果のあることが実証された弱光照射 CA を、接ぎ木セル成型苗に応用することを目的とし、CA および赤色 LED による弱光照射がトマト接ぎ木セル成型苗の低温貯蔵中および貯蔵後の品質に及ぼす影響を調べた。その結果、0.05~1% CO₂+5~20% O₂ のガス組成条件および赤色 LED による弱光 (2 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 照射下では、弱光照射 CA は CA 単独および弱光照射単独よりも苗の低温貯蔵中の外観品質維持効果が大きいことが示された。また、貯蔵中の乾物重の維持および貯蔵後の生育については、弱光照射単独と弱光照射 CA の間に大差はなかった。総合的にみて、気温 10°C 下で貯蔵中のトマト接ぎ木セル苗の外観品質維持および貯蔵期間の延長に最も有効であったのは、0.5% CO₂+10% O₂ の CA と弱光照射を組み合わせた条件であった。

なお、貯蔵後の外観品質調査結果だけでなく貯蔵後の生育の詳細な調査結果に基づいて、トマト接ぎ木セル成型苗の最適な弱光照射 CA 条件 (ガス組成と光強

度の組合せ)を策定するための試験を現在行っている。

本研究の一部は、平成 8 年度および平成 9 年度文部省科学研究費 (課題番号: 08760241 および 9760236) の補助を受けて行った。記して謝意を表す。

文 献

- Fujiwara, K., Kubota, C., Kozai, T. 1996. Low light irradiation for low temperature storage of plug seedlings. (Japanese text) *Agric. Hortic.* **71**: 699-704.
- Fujiwara, K., Takaku, K., Iimoto, M. 1997. Low light irradiation using red light emitting diodes and nutrient gel application for low temperature storage of postharvest chervil (*Anthriscus cerefolium* L.). (Japanese text with English abstract and captions) *Environ. Control in Biol.* **35**: 135-138.
- Fujiwara, K., Takaku, K., Iimoto, M. 1998. Effects of controlled atmosphere, low light irradiation using red light emitting diodes and nutrient gel application during low temperature storage on the visual quality of postharvest chervil (*Anthriscus cerefolium* L.). (Japanese text with English abstract and captions) *Environ. Control in Biol.* **36**: 201-208.
- Fujiwara, K., Takaku, K., Iimoto, M. 1999. Availabilities of red light-emitting diodes as a light source for low light irradiation and mineral nutrient supply using nutrient gel during low temperature storage of postharvest chervil (*Anthriscus cerefolium* L.). (Japanese text with English abstract and captions) *Environ. Control in Biol.* **37**: 137-141.
- Heins, R., Lange, N., Wallace, T. F., Jr., Carlson, W. 1994. Plug Storage. *Greenhouse Grower*, Willoughby, pp 19.
- Itaki, T. 1998. Grafted plug seedlings. In "Protected Horticulture Handbook" (ed. by Jpn. Greenhouse Hortic. Assoc.), Ed.4. Hortic. Information Center, Tokyo, p 274-283.
- 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.
- Kubota, C., Kozai, T. 1994. Low temperature storage for quality preservation and growth suppression of broccoli plantlets cultured *in vitro*. *HortScience* **29**: 1191-1194.
- Paton, F., Schwabe, W. W. 1987. Storage of cuttings of *Pelargonium* $\times$ *hortorum* Baily. *J. Hortic. Sci.* **62**: 79-87.
- Sato, H., Sakai, T. 1996. Effects of low temperature storage on growth rates and fruit yield of grafted tomato seedlings. (Japanese text) *Abstr. Spring Meet. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* p 238-239.