

キャベツセル成型苗の長期貯蔵における温度および間欠弱光照射が苗質に及ぼす影響

佐藤文生*・東尾久雄・浦上敦子・徳田進一

野菜茶業研究所つくば研究拠点 305-0035 茨城県つくば市観音台

Effects of Temperature and Cyclic Dim Light on the Quality of Cabbage Plug Seedlings during Long-term Storage

Fumio Sato*, Hisao Higashio, Atsuko Uragami and Shinichi Tokuda

National Institute of Vegetable and Tea Science, Tsukuba-branch, Tsukuba, Ibaraki 305-8666

Summary

Cabbage plug seedlings were stored for 9 weeks at 5°C or 10°C under cyclic dim lighting (1.7–7.6 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ of photosynthetic photon flux density with a 1h-light: 23h-dark cycle) or darkness. Shoot length and fresh weight of seedlings stored in darkness at 10°C decreased after a transient increase due to etiolation, while those of seedlings subjected to other treatments remained almost constant during the storage period. Dry weights of all seedlings, mainly in the shoots, decreased during the first 5 weeks in storage. The decrease in dry weight was greater in seedlings stored in darkness at 10°C than in seedlings subjected to other treatments. Leaf color of the true leaves was maintained to a higher degree in seedlings stored under light than in seedlings stored in darkness at both 5°C and 10°C. Percent survival after transplantation of seedlings stored at 10°C in darkness decreased with increase in the number of weeks in storage, but percent survival after transplantation of seedlings subjected to other treatments did not decrease throughout the storage period. Head weight at harvest decreased with increase in the number of weeks in storage. Light reduced the head weight loss of seedlings stored at 10°C. These results indicate that cyclic dim lighting is effective for preservation of the quality of cabbage plug seedlings stored for a long period at 10°C.

キーワード： 長期貯蔵, 間欠弱光照射, キャベツセル成型苗, 苗質維持, 徒長抑制

緒言

セル成型育苗は、育苗管理の機械化が図りやすく、苗の大量一括生産に適することから、育苗センターなどの育苗を専門とした大規模施設において利用が進んでいる。苗の需要は季節によって異なり、需要の高い時期には、それに見合う苗の供給が困難となり、逆に、需要の低い時期には、労働力や育苗面積が余剰となる。このような季節変動に対処し、育苗施設の稼働率の均衡化を図るためには、予め需要の低い時期に苗を育苗し、出荷時まで苗を保持するための貯蔵技術が必要である（古在ら, 1995）。そのためには、苗質を損なわずに可能な限り長期間の貯蔵が求められている。

キャベツのセル成型苗を暗黒下で貯蔵すると、貯蔵期間が長くなるにつれ苗の茎葉部が退色して徒長し、苗の外観的品質が損なわれるため、いかに貯蔵中の苗の徒長を抑えるかが貯蔵期間の延長を図るうえで重要となる（福地ら, 1997; 小川・津田, 1997; 山下ら, 1999）。苗の徒

長は貯蔵温度を下げることで軽減できることが知られているものの、苗の外観的品質や収量を損なわずに貯蔵できるのは貯蔵温度6°Cで3週間（福地ら, 1997）、3°Cで1か月程度（小寺ら, 1993）が限度とされている。最近、佐藤ら（2002）は、キャベツセル成型苗を10°Cで2週間貯蔵し、蛍光灯による光合成有効光量子束密度（PPFD）0.5~10 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ の弱光を1日当たり1時間の間隔で苗に照射することで、苗の徒長が抑制されることを明らかにした。このことから、低温貯蔵している苗に間欠的な弱光照射を行うことで、貯蔵中の苗の徒長が軽減され、貯蔵期間の延長が可能になると考えられる。

そこで、本研究ではキャベツセル成型苗の長期貯蔵を検討するため、貯蔵温度と貯蔵期間の相違および間欠弱光照射の有無が貯蔵中の苗の外観的品質と乾物重、定植後の生存率、収穫時の結球重に及ぼす影響について調査した。

材料および方法

実験1. 貯蔵温度の相違および間欠弱光照射の有無が苗の外観的品質および乾物重に及ぼす影響

2001年12月20日にキャベツ品種“金系201号”（サカ

2003年3月13日受付。2003年9月3日受理。

*Corresponding author. E-mail: bunsei@affrc.go.jp

タのタネ)を市販の育苗用培養土(野菜養土, ヤンマー)を詰めた128穴トレイに播種した。苗は暖房機で加温したガラス室内(最低夜温15℃に設定)で育苗し, 播種後10日目より園試処方標準培養液10倍希釈液を1日1回施与した。1月24日(播種後35日)に貯蔵試験を開始した。試験区は異なる貯蔵温度(5℃, 10℃)と断続弱光照射の有無(照射:L, 暗黒:D)を組み合わせて, 5℃-L区, 5℃-D区, 10℃-L区, 10℃-D区の計4区を設けた。苗は1区につき1台の照明付きインキュベーター(LIB-301, IWAKI)内で貯蔵した。間欠弱光照射は, 24時間当たり1時間の間隔で, 40W白色蛍光灯(OSRAM FL40S-W, 三菱電気)を1本点灯させて行った。苗に到達する光強度は, トレイの側面より照射したため, 光源からの距離によって異なり, 葉冠部の光強度はPPFD $1.7\sim 7.6 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ であった。苗は9週間貯蔵し, 貯蔵中は1週間に一回水道水をトレイ底面より苗に給水した。貯蔵庫内の平均相対湿度は83%であった。貯蔵開始後から1週間おきにトレイの周辺部を除く株の中から9個体の苗を採取し, 苗の茎葉部の生体重, 草丈, 葉色, 茎葉部と根部の乾物重を調査した。草丈は地際から苗の最高点までの高さとした。葉色は第1, 第2本葉について簡易葉緑素計(SPAD502, ミノルタ)で測定した。

実験2. 貯蔵温度と貯蔵期間の相違および間欠弱光照射の有無が定植後の生存率および収穫時の結球重に及ぼす影響

2001年12月20日, 2002年1月10日, 1月31日に播種し, 35日間育苗して貯蔵試験を開始した。苗は3月28日までそれぞれ9週間(12月20日播種), 6週間(1月10日播種), 3週間(1月31日播種)貯蔵した。実験2でも, 貯蔵は実験1と同じ条件で行い5℃-L区, 5℃-D区, 10℃-L区, 10℃-D区の4試験区を設けた。いずれの播種日の苗も貯蔵開始時の本葉数は2.5枚で育苗期の生育は同様であった。貯蔵終了後, 1区15株の2反復として, 野菜茶業研究所試験圃場(つくば市観音台)に定植した。また, 2月21日に播種した苗を無貯蔵区として同時に定植した。施肥は70日タイプの被覆緩行性肥料とCDU化成を用いてN, P_2O_4 , K_2O で24, 22, 24 kg/10 aを, また, 炭酸苦土石灰100 kg/10 aを全量基肥で行った。定植20日後に欠株数を調査し, また, 6月13日に収穫して結球重を調査した。

結果および考察

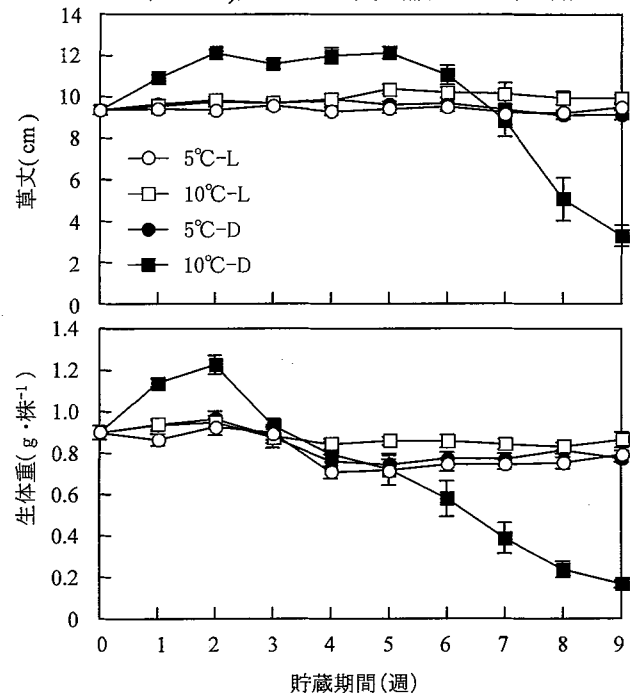
実験1. 貯蔵温度の相違および間欠弱光照射の有無が苗の外観的品質および乾物重に及ぼす影響

澁澤ら(1996)および佐藤ら(1996)はキャベツセル成型苗を異なる貯蔵温度で暗黒貯蔵し, 貯蔵温度が高くなると, 苗が徒長して苗の外観的品質が低下し, 貯蔵期間が短くなることを報告している。本実験でも, 暗黒貯蔵し

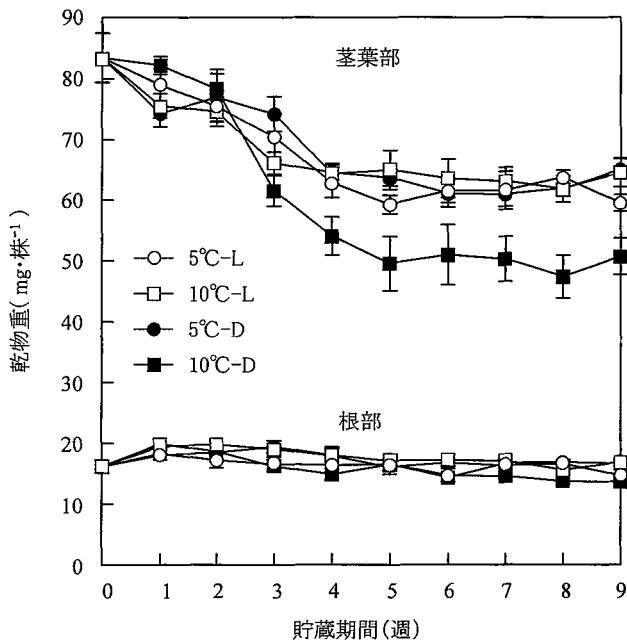
た苗は, これらの報告と同様の傾向が認められた。すなわち, 10℃-D区では, 苗が徒長して草丈は貯蔵開始時の9.4 cmから貯蔵2週目には11.2 cmに, 生体重は0.9 gから1.3 gに増加し, その後, 葉柄が萎れて折れ曲がり, 子葉や本葉が落葉したために草丈, 生体重とも低下した(第1図)。しかし, 苗の徒長は間欠弱光照射によって抑えられ, 10℃-L区では, 草丈, 生体重とも貯蔵期間を通じて一定に推移した。一方, 5℃-L区と5℃-D区では, 草丈や生体重の推移に相違が認められなかった。すなわち, 両区とも貯蔵中の草丈は期間を通じて変化が少なく, 生体重は貯蔵4週目までに0.7 gに低下したものの, それ以降は一定に推移した。貯蔵温度が5℃と低くなると, 低温の影響によって徒長が抑制されたため, 間欠弱光照射の効果が判然としなかったと考えられる。

茎葉部乾物重は, いずれの試験区も貯蔵5週目まで低下し, その後は一定に推移した(第2図)。間欠弱光照射が乾物重に及ぼす影響は貯蔵温度によって異なり, 10℃-L区は10℃-D区より乾物重が高く維持されたが, 5℃-L区と5℃-D区では, 茎葉部乾物重の推移に相違が認められなかった。一方, 各区の根部乾物重は貯蔵開始時からやや低下する傾向が認められたが, 12~23%の範囲で推移し, 間欠弱光照射と貯蔵温度の影響は認められなかった。

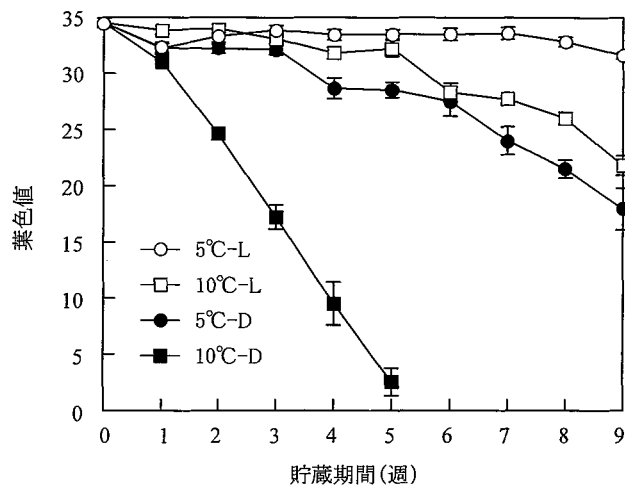
暗黒下で苗を貯蔵すると呼吸による二酸化炭素ガスの放出によって貯蔵中の苗の乾物重が減少するので, 貯蔵温度を低くして苗の呼吸量を減らすこと(古在ら, 1995; Pritchardら, 1991), あるいは, 光補償点程度の弱光を照



第1図 貯蔵温度の相違(5℃, 10℃)および間欠弱光照射の有無(照射:L, 暗黒:D)が貯蔵中におけるキャベツセル成型苗の茎葉部の草丈と生体重に及ぼす影響
図中の縦線は標準誤差を示す(n=9)



第2図 貯蔵温度の相違(5°C, 10°C)および間欠弱光照射の有無(照射:L, 暗黒:D)が貯蔵中におけるキャベツセル成型苗の乾物重に及ぼす影響
図中の縦線は標準誤差を示す(n=9)



第3図 貯蔵温度の相違(5°C, 10°C)および間欠弱光照射の有無(照射:L, 暗黒:D)が貯蔵中におけるキャベツセル成型苗の葉色に及ぼす影響
葉色値は葉緑素計(SPAD-502, ミノルタ)による測定値を示す
図中の縦線は標準誤差を示す(n=9)

射して苗に光合成を行わせることで(Kubota・Kozai, 1995;古在ら, 1996; Wilsonら, 1998), 貯蔵中の乾物重の低下が軽減されることが報告されている。しかし, 10°Cで2週間貯蔵したキャベツセル成型苗の茎葉部乾物重は, PPF 10 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ の連続光で維持されるものの, 24時間当たり1時間の間欠照射では乾物重が暗黒貯蔵と変わらないことが認められている(佐藤ら, 2002)。このことから, 間欠弱光照射による光合成の作用によって10°C-L区の茎葉部乾物重が10°C-D区より高

くなったとは考えにくい。本実験では, 各区の乾物重低下が主に茎葉のみに認められ, また, 乾物重が低下した貯蔵5週目までにおいて, 5°C-L区, 10°C-L区, 5°C-D区では子葉のみが落葉したのに対し, 10°C-D区では子葉や全ての展開本葉が枯死して落葉したことが観察されたことから, キャベツセル成型苗では, 徒長によって助長される落葉が苗の乾物重低下の主な原因と考えられた。

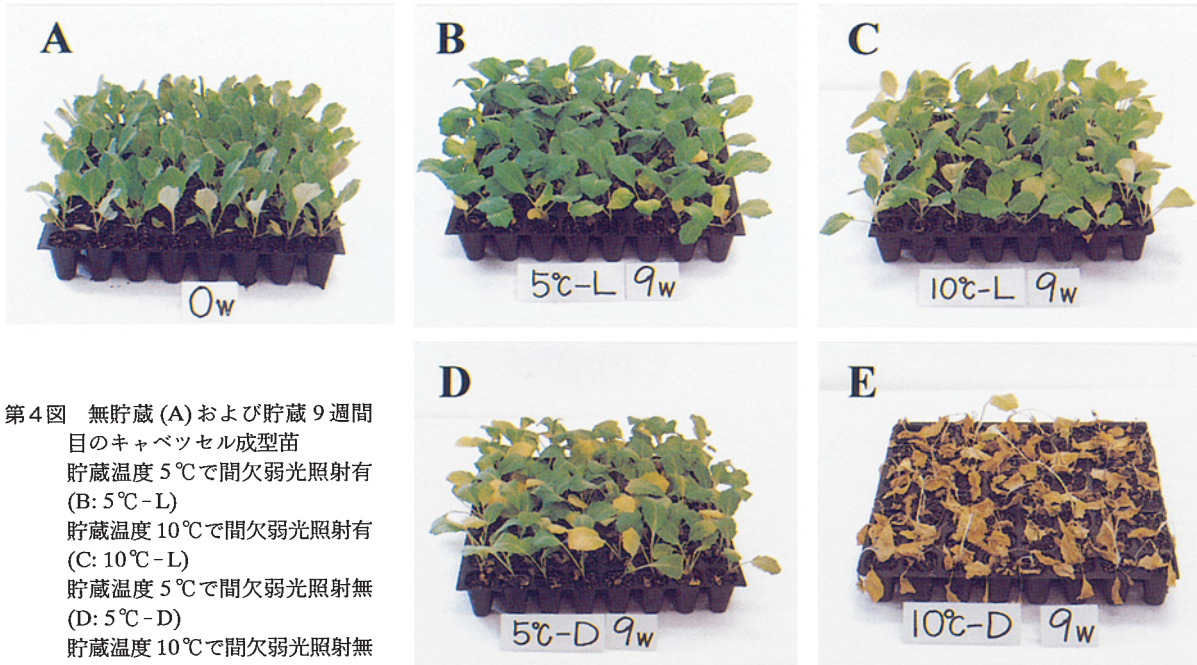
本葉の葉色値についてみると, 10°C-D区はその値は, 貯蔵開始時の34から貯蔵5週目で3に低下し, それ以降は本葉の萎れや落葉のために測定が不可能となった(第3図)。これに対し, 10°C-L区では葉色値が貯蔵9週目でも22と10°C-D区より高く維持された。一方, 5°C-D区でも, 葉色値が貯蔵9週目までに18に低下したのに対し, 5°C-L区では32と5°C-D区より高く維持され, 両貯蔵温度区において間欠弱光照射は葉色値の低下を軽減することが認められた。無貯蔵の苗(第4図, A)に比べて貯蔵9週目の苗は, 間欠弱光照射を行った5°C-L区(第4図, B)と10°C-L区(第4図, C)では葉が開張する傾向を示したが, 外観的品質に著しい劣化は認められなかった。しかし, 5°C-D区(第4図, D)では, 一部の葉が黄化し, 10°C-D区(第4図, E)では茎葉部全体が黄化して萎れた。

これらのことから, 貯蔵温度が5°Cの場合には低温によって徒長が抑制されるが, 10°Cのような比較的高い温度でも間欠弱光照射を行うことで徒長が抑制されることが認められた。また, 貯蔵温度を5°Cとしても暗所貯蔵では十分に軽減できなかった葉色値の低下も間欠弱光照射でさらに軽減されることが認められ, 低温と間欠弱光照射の組み合わせにより苗の外観的品質を長期間維持できる可能性が示された。

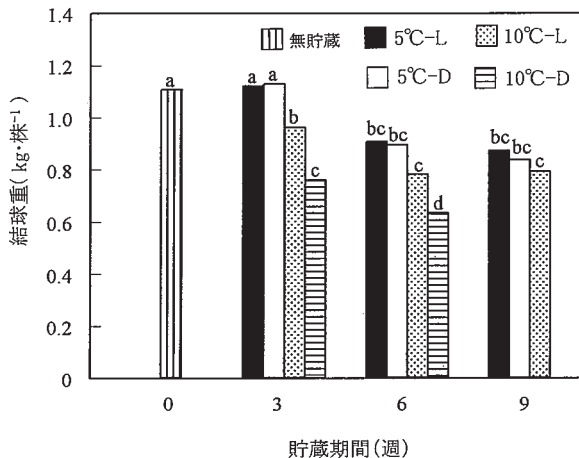
実験2. 貯蔵温度と貯蔵期間の相違および間欠弱光照射の有無が定植後の生存率および収穫時の結球重に及ぼす影響

同じ播種日の苗を供試すると貯蔵期間の延長に伴って定植日がずれ, 定植後の気象条件等の差異が定植後の欠株発生や結球重に影響を与える問題があったので, 実験2では, 播種日をずらして同じ日に定植した苗を供試した。

定植後20日目の生存率は, 3週間貯蔵では, いずれの区も100%であったが, 10°C-D区では, 6週間貯蔵で47%に低下し, 9週間貯蔵では全株が枯死した(データ省略)。徒長した苗は, 乾物率が低下して組織が軟弱化するため, 水分調節機能が弱く(藤原ら, 2002), 貯蔵庫内より低湿度, 高温条件の庫外に放出されると蒸散過多になりやすいことが報告されている(Preece・Sutter, 1991; Sutter・Langhans, 1979)。本実験のように出庫後直ちに露地圃場に苗を定植すると, 雰囲気湿度の低下や直射日光による葉温の上昇が原因となって苗の蒸散量が急に増



第4図 無貯蔵(A)および貯蔵9週間目のキャベツセル成型苗
貯蔵温度5°Cで間欠弱光照射有(B: 5°C-L)
貯蔵温度10°Cで間欠弱光照射有(C: 10°C-L)
貯蔵温度5°Cで間欠弱光照射無(D: 5°C-D)
貯蔵温度10°Cで間欠弱光照射無(E: 10°C-D)



第5図 キャベツセル成型苗の貯蔵における温度(5°C, 10°C)と期間(3, 6, 9週間)の相違および間欠弱光照射の有無(照射:L, 暗黒:D)が収穫時の結球重に及ぼす影響
12月20日(9週間貯蔵), 1月10日(6週間貯蔵), 1月31日(3週間播種), 2月21日(無貯蔵)に播種し, 35日間育苗してそれぞれの期間苗を貯蔵した
全ての試験区は3月28日に定植し, 6月13日に収穫した
図中の異なるアルファベットは5%水準で有意差有り

加すると想定される。そのために、徒長した苗ほど定植後に多量の水が失われ、枯死株が増加したと考えられた。これに対し、5°C-L区、5°C-D区および10°C-L区では、9週間貯蔵した5°C-D区の1株が定植後の虫害によって枯死したが、貯蔵が原因となって枯死する株は6週間および9週間貯蔵した苗を用いたいずれの区においても認められなかった。このことは、低温や間欠弱光照射条件下で貯蔵した苗の徒長が抑制され、出庫後の蒸散過多が回避されたことに起因すると考えられる。

収穫時の結球重についてみると、貯蔵温度10°Cでは間欠弱光照射の影響が認められた。無貯蔵区の1.1 kgに対

し、10°C-D区では3週間貯蔵で0.8 kg、6週間貯蔵で0.6 kgに低下したが(第5図)、10°C-L区では、貯蔵週数の増加に伴う結球重の低下が10°C-D区より小さく、9週間貯蔵でも0.8 kgであった。一方、5°Cで貯蔵した5°C-D区と5°C-L区では、結球重は3週間貯蔵で無貯蔵区と変わらなかったが、6週間貯蔵および9週間貯蔵では結球重が無貯蔵区のそれより低下した。また、各貯蔵期間において5°C-D区と5°C-L区では結球重に差が認められなかった。佐藤ら(2002)は、貯蔵温度5°Cで2週間暗黒貯蔵したキャベツセル成型苗の出庫後の光合成速度は10°Cで貯蔵した苗より1.5倍高く、貯蔵温度が10°Cでも間欠弱光照射を行った苗は暗黒貯蔵の苗より出庫後の光合成速度が2倍以上高いことを認めている。さらに、暗黒下で2週間貯蔵したキャベツセル成型苗の炭水化物含量は貯蔵温度5°Cで80%、10°Cで90%低下することから(Satoら, 1999)、間欠弱光照射によってわずかに炭水化物が供給されたとしても、貯蔵期間が長くなるにつれ、また、貯蔵温度が高いほど苗の炭水化物含量は著しく低下すると推測される。苗の光合成速度や炭水化物含量が低い苗は定植時の発根が遅いため、その後の生長は緩慢になることが報告されている(福岡ら, 1996)。これらのことから、本実験における結球重の処理区間差は定植時における苗の炭水化物含量の多少や光合成能力の差異と関係していると考えられた。また、注目すべき点として、3週間貯蔵した10°C-L区の結球重は5°Cの両区に比べて明らかに小さかったが、6週間および9週間貯蔵したそれらはやや小さかったものの5°Cの両区との間に有意な差が認められなかった。これらの結果は、短期貯蔵においては結球重に対して温度の影響が大きい、長期貯蔵においては結球重に対して間欠弱光照射の効果が大きいこ

とを意味している。

以上のことから、キャベツセル成型苗の長期貯蔵において間欠弱光照射を行えば、10℃で貯蔵しても5℃で暗黒貯蔵した苗と同程度に苗の外観の品質や収量を維持できることが認められた。間欠弱光照射の効果は、PPFD 1.7~7.8 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ の比較的弱い光強度の短時間照射で得られることから、貯蔵庫に設置されている照明用の蛍光灯などでも代用することが可能である。キャベツのような葉菜類の苗は、果菜類や花き類に比べ安価であるため、貯蔵に要するコストは抑えなければならない。わずかな貯蔵温度の差でも貯蔵期間が長引けば貯蔵コストに大きく反映されるので、苗質が損なわれない範囲で貯蔵温度を高くすることが求められるであろう。また、貯蔵する苗の品種や種属によっては、長期低温貯蔵によって花芽分化などの発育異常が引き起こされることがある(佐藤ら, 1996)。間欠弱光照射はこのような場合の苗質維持法として有効な手段になると考えられる。

摘 要

貯蔵温度10℃、または、5℃として、キャベツセル成型苗を間欠弱光照射(1h 明期: 23h 暗期, PPFD 1.7~7.6 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$)、または、暗黒条件のもと、9週間貯蔵した。苗の草丈と生体重は、10℃暗黒区で徒長によって一時増加した後に低下したが、他の区ではほぼ一定に推移した。苗の乾物重は、いずれの試験区も主に茎葉部で低下し、その低下程度は10℃暗黒区が他の区より大きかった。本葉の葉色値は5℃、10℃ともに暗黒区より照射区で高く維持された。定植後の生存率は10℃暗黒区で貯蔵週数の増加に伴い低下したが、他の区では貯蔵期間を通じて低下しなかった。収穫時の結球重は貯蔵週数の増加に伴って低下した。10℃では照射により結球重低下が軽減した。以上の結果から、間欠弱光照射は10℃での長期貯蔵においてキャベツセル成型苗の苗質維持に効果的であることが明らかとなった。

引用文献

- 福地信彦・吉岡 宏・市村一雄・清水恵美子・藤原隆広・青柳森一. 1997. キャベツセル成型苗の低温貯蔵が苗質および定植後の生育に及ぼす影響. 千葉農試研報. 38: 27-33.
- 福岡信之・吉岡 宏・清水恵美子・藤原隆広. 1996. 遮光下におけるキャベツセル成型苗の根の生理変化と定植後の発根力との関係. 園学雑. 65: 545-551.
- 藤原隆広・中山真義・菊池 直・吉岡 宏・佐藤文生. 2002. NaCl施用によるキャベツセル成型苗の徒長抑制・順化効果. 園学雑. 71: 796-804.
- 小寺孝治・海保富士男・河野 信. 1993. ブロッコリー, キャ

- ベツにおけるセル成型苗の低温貯蔵が定植後の生育に及ぼす影響. 園学雑. 62(別1): 250-251.
- 古在豊樹・北宅善昭・高垣美智子. 1995. 苗貯蔵の意義と課題. p.9-32. 古在豊樹・大川清監修. セル成型苗の貯蔵技術. 農文協. 東京.
- 古在豊樹・久保田知恵利・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. 生環調. 34: 135-139.
- Kubota, C. and Kozai, T. 1995. Low-temperature storage of transplants at the light compensation point: air temperature and light intensity for growth suppression and quality preservation. *Sci. Hortic.* 61: 193-204.
- 小川幹夫・津田 薫. 1997. 低温貯蔵によるキャベツセル成型苗の苗質維持. 岐阜高冷地農総試研報. 7: 23-29.
- Preece, J. E. and Sutter, E. G. 1991. Acclimatization of micropropagated plants to the greenhouse and field. p.71-93. Debergh, P. C. and Zimmerman, R. H. (eds.) *Micropropagation*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Pritchard, M. K., Hew, C. S. and Wang, H. 1991. Low-temperature storage effects on sugar content, respiration and quality of anthurium flowers. *J. Hort. Sci.* 66: 209-214.
- 佐藤文生・吉岡 宏・藤原隆広. 1996. 葉菜類セル成型苗の低温貯蔵における貯蔵温度及び貯蔵期間と苗質との関係. 園学雑. 65(別2): 390-391.
- Sato, F., Yoshioka, H. and Fujiwara, T. 1999. Effects of storage temperature on carbohydrate content and seedling quality of cabbage plug seedlings. *Environ. Control in Biol.* 37: 249-255.
- 佐藤文生・吉岡 宏・藤原隆広. 2002. 低温貯蔵中の弱光照射がキャベツセル成型苗の生育および光合成能に及ぼす影響. 生環調. 40: 317-320.
- 澁澤英城・吉岡 宏・藤原隆広・佐藤文生. 1996. キャベツセル成型苗の貯蔵条件が苗質に及ぼす影響. 園学雑. 65(別1): 298-299.
- Sutter, E. and Langhans, R. W. 1979. Epicuticular wax formation on carnation plantlets regenerated from shoot tip culture. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104: 493-496.
- Wilson, S. B., Iwabuchi, K. and Rajaoakse, N. C. 1998. Responses of broccoli seedlings to light quality during low-temperature storage in vitro: I. Morphology and survival. *HortScience* 33: 1253-1257.
- 山田市二・壇 和宏・下村真理子. 1999. キャベツセル成型苗の Active MA 包装貯蔵. 園学雑. 68: 1015-1021.