

フィルム包装保存中のコマツナへの光照射，給水処理および保存温度が 外観品質および植物体内硝酸態窒素濃度に及ぼす影響

貝塚隆史^{1,2}・作田祥司³・鈴木雅人¹・坂本俊彦⁴・鈴木 栄³・荻原 勲^{3*}

¹茨城県農業総合センター園芸研究所 319-0292 笠間市安居 3165-1

²東京農工大学大学院連合農学研究科 183-8509 府中市幸町 3-5-8

³東京農工大学大学院農学府 183-8509 府中市幸町 3-5-8

⁴株式会社不二家 104-8181 中央区銀座 7-2-17

Effects of Light Irradiation, Water-supply and Temperature on Quality and Nitrate Nitrogen Concentration in Komatsuna (*Brassica campestris* L.) Plants during Storage with Film Packaging

Takashi Kaidzuka^{1,2}, Syouji Sakuda³, Masahito Suzuki¹,
Toshihiko Sakamoto⁴, Sakae Suzuki³ and Isao Ogiwara^{3*}

¹Ibaraki Horticultural Reserch Institute, Kasama, Ibaraki 319-0292

²United Graduate School of Agricultural Science, Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu, Tokyo 183-8509

³Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu, Tokyo 183-8509

⁴Fujiya Co., Chuo, Tokyo 184-8181

Abstract

Effects of light irradiation, water-supply and storage temperature on quality and nitrate nitrogen concentration in Komatsuna (*Brassica campestris* L.) plants were evaluated during film packaging (FP) storage. Plants were stored in FP with low-temperature (7–14°C), lighting (PPFD 2.85–4.56 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) and water-supply. The fresh weights of plants may be increased because transpiration was suppressed by FP and water was continually absorbed from roots. Leaf color did not fade because chloroplasts were synthesized by light irradiation. In addition, nitrate nitrogen concentration in plants was reduced by about 36%, when plants were stored for 4 days at 14°C. It seemed that the decrease is caused by an increase in nitrate metabolism in the results of photosynthesis, chloroplast, respiration, and so on. Thus the quality of Komatsuna plants could be maintained during storage in film packaging under low-temperature (14°C), with lighting and water-supply, and the nitrate nitrogen concentration could also be reduced.

Key Words : carbon dioxide, fresh weight, leaf color, oxygen, photosynthesis

キーワード : 光合成, 二酸化炭素, 酸素, 新鮮重, 葉色

緒 言

コマツナ，チンゲンサイなどの葉菜類の植物体内には高濃度の硝酸が含まれている場合がある。その高濃度の硝酸が人体に摂取されると，唾液と反応して有害な亜硝酸となり，さらに胃液と反応して発ガン性の物質であるニトロソアミンを生成することが知られている（米山，1982）。窒素施用量の増加に伴い作物体内の硝酸態窒素濃度が増加すること（建部ら，1995）から，近年では硝酸態窒素の蓄積が少ない品種の育成，作物体内に蓄積する硝酸態窒素濃度を低減させる栽培法の開発・研究が試みられている。その結果，同じ施肥量であっても秋作は春作より植物体内硝酸態

窒素濃度が高いこと（伊達ら，1980），コマツナの硝酸塩含量は作物体に照射された光の強度に影響されること（壇・今田，2003；中村，1983），養液栽培において，生育後期に培養液中の硝酸態窒素濃度を低減させることにより，作物体の硝酸態窒素含量が低下すること（張ら，1990；岩田，1971），さらに，収穫10日前に窒素を含まない培養液あるいは栄養成分を含まない地下水に替えることにより，その濃度が75～90%低下することが報告されている（王・伊藤，1997；吉田ら，1998）。しかし，土耕栽培では生育後期の硝酸態窒素濃度を人為的にコントロールすることは難しい。

一方，ブロッコリーでは収穫した花らいに弱光を照射して保存すると，花らい内の水分が減少して品質は低下する（久保ら，2002）が，弱光，低温，微細孔フィルム包装を組み合わせて保存した場合は，光合成によって緑色が維持され，品質の低下が抑制されることが知られている（久保ら，

2007年4月22日 受付. 2007年9月6日 受理.

* Corresponding author. E-mail: ogiwara@cc.tuat.ac.jp

2003). 久保ら (2003) の報告と王・伊藤 (1997) および吉田ら (1998) の報告とを考え合わせると, 収穫後の保存期間中に硝酸態窒素を含まない水を供給しながら, 低温・弱光およびフィルム包装を行うことによって, 土耕栽培した作物でも品質を損なうことなく, 作物体内の硝酸態窒素濃度を低下させることが可能であると思われる。

そこで, フィルム包装して給水处理を行ったコマツナを低温・弱光下に保存したときの新鮮重, 葉色などの品質および葉内の硝酸態窒素濃度の変化について検討した。

材料および方法

実験 1. 弱光照射および給水处理がコマツナの品質に及ぼす影響

供試品種には‘あやか’を用い, 2004年4月15日にパイプハウス内に播種した。施肥は基肥のみとし, 硝酸安加里 (N 16%, P_2O_5 10%, K_2O 14%) $6.3 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$, 熔燐 (P_2O_5 20%) $1.9 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ を施用した。実験に供試した株 (新鮮重: 24 g 程度, 葉長: 27 cm 程度) は, 2004年6月4日に収穫した後, 直ちに根部に付着した土を除去し, 5~6葉に調整したものをを用いた。処理区は弱光照射の有無 (以下弱光照射区を明区, 暗黒区を暗区とする) および根部への給水处理の有無を組み合わせる4処理区を設けた。保存庫内の温度は7°Cとし, 明区では蛍光灯による連続照射を行い, 照度を250~400 lx (光合成有効光子束密度: PPFD 2.85~4.56 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) とした。給水处理はプラントボックス (60×60×100 mm) に株を立てて置き, 根部のみを水に浸漬し, 容器ごと微細孔フィルム袋 (住友ベークライト社, 容量1.2 L, 厚さ0.020 mm, 30~100 μm の微孔が開いたもの) で密封した。

保存開始時および保存2日後, 4日後, 6日後に新鮮重, 葉色およびアスコルビン酸濃度を調査した。葉色の調査には葉緑素計 (SPAD-502, ミノルタ) を用いた。アスコルビン酸濃度 (建部・米山, 1995) は, コマツナ葉 (葉身および葉柄) を乳鉢で磨砕し, このうち0.2 g を試料として用い, 試料に5%メタリン酸水溶液1.3 mLを加え, 遠心力14000×g, 10°Cの条件で5分間遠心分離し, その上澄み液を小型反射式光度計システム RQ フレックス2 (関東化学) で測定した。

さらに, フィルム包装内のヘッドスペースガスをガスタイトシリンジで100 μL 抜き取り, 酸素および二酸化炭素濃度をガスクロマトグラフィー (GC-7A, 島津製作所) で測定した。カラムは, 酸素濃度測定にはMolecular Sieve 5A (ジーエルサイエンス, 1 m×3 mmID, カラム温度50°C), 二酸化炭素濃度測定にはSunpak-A (島津製作所, 2.1 m×3.2 mmID, カラム温度50°C) を使用した。キャリアーガスには, He (流速50 $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$) を, 検出器にはTCD (温度100°C) を用い, 測定結果を%で示した。

実験 2. コマツナへの弱光照射および保存温度の相違が体内の硝酸態窒素濃度に及ぼす影響

供試品種には‘楽天’を用い, 2004年4月30日にパイプハウス内に播種した。施肥は基肥のみとし, 硝酸安加里 (N 16%, P_2O_5 10%, K_2O 14%) $6.3 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$, 熔燐 (P_2O_5 20%) $1.9 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ を施用した。2004年6月16日に収穫した後, 実験1と同様に調整した株 (新鮮重: 27 g 程度, 葉長: 28 cm 程度) を供試した。処理区は弱光照射の有無および保存温度の違い (7°C および 14°C) を組み合わせる4処理区を設けた。全ての区は給水处理を行い, 株の設置方法, 使用したフィルム袋, 明区の照度は実験1と同じとした。

保存開始時および保存終了時 (保存4日後) に葉色, 新鮮重ならびに株全体 (根部を除く), 葉柄および葉身中の硝酸態窒素濃度を調査した。葉色の測定は実験1と同じ方法で行った。硝酸態窒素濃度 (建部・米山, 1995) は, コマツナ葉 (葉身および葉柄) に超純水を加え (20~50 mL), ホモジナイザー (日本精機製作所, 回転数10000 rpm で3分間) で粉砕し, その0.2~0.5 g を試料とした。試料に超純水を1.0~1.3 mL加え, 遠心力6400×g, 20°Cの条件で20分間遠心分離し, その上澄み液の硝酸イオン濃度を小型反射式光度計システム RQ フレックス2 (関東化学) で測定した。硝酸イオン濃度は硝酸態窒素濃度 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}\text{FW}$) に換算して示した。

実験 3. 弱光・給水・冷蔵保存したコマツナの葉位別の硝酸態窒素濃度の変化

供試品種には‘楽天’を用い, 2006年3月14日にパイプハウス内に播種した。施肥は基肥のみとし, 硝酸安加里 (N 16%, P_2O_5 10%, K_2O 14%) $7.5 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$, 熔燐 (P_2O_5 20%) $2.3 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ を施用した。2006年4月24日に収穫した後, 直ちに根部に付着した土を除去し, 4葉に調整した株 (新鮮重: 23 g 程度, 葉長: 25 cm 程度) を供試した。処理区には明区と暗区 (対照区) とを設けた。保存庫内の温度は7°Cとし, 明区は実験1と同じ条件で弱光照射処理を行った。給水处理は両区とも行い, 円筒瓶 ($\phi 25 \times 150 \text{ mm}$) に株を立てて置き, 根部のみを水に浸漬し, 容器ごと実験1と同様のフィルム袋で密封した。また, 袋内の湿度を保つため, 株を入れない瓶に水を入れ, 同時に処理株とともに密封した。

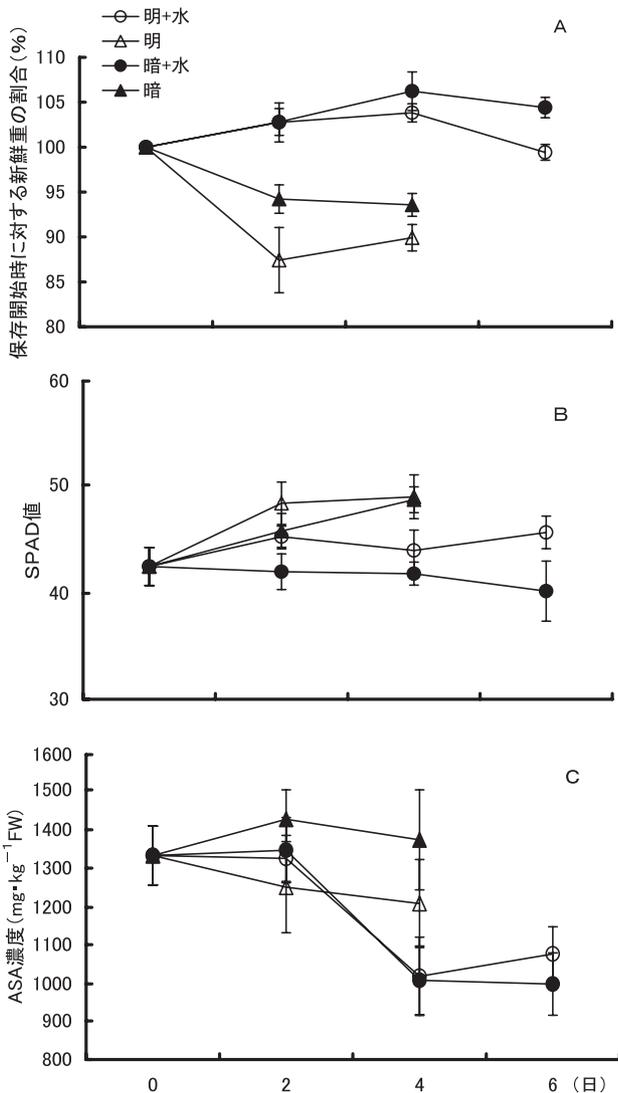
保存開始時および保存5日後, 10日後, 15日後に各葉位の葉 (株の外側の葉から第I葉, 第II葉, 第III葉) を葉身と葉柄に分けた。第IV葉は小さかったため, 株から根および第I葉, 第II葉, 第III葉を除いた残りをその他として扱った。各部位は80°Cで48時間通風乾燥を行い, 乾物の硝酸態窒素濃度を調査した。硝酸態窒素濃度の測定 (日本土壤協会, 2001) は, Cataldoら (1975) の方法を用いた。すなわち, 乾物試料を磨砕して粉体とし, それを試験管に100 mg入れ, 10 mLの水を添加した後, 45°Cの湯浴中に1時間静置したものを分析試料溶液とした。試料溶液50 μL に5%サリチル酸一硫酸液200 μL を加え, 20分間静置後,

2 M 水酸化ナトリウムを 5 mL 添加し攪拌した。試料溶液が室温まで下がった後に 410 nm の吸光度を分光光度計システム (U-3210, 日立製作所) で測定した。また, 5% サリチル酸-硫酸液の代わりに濃硫酸を用いて比色を行い, 同じ条件で測定しブランク値として試料の吸光度から差し引き, 硝酸態窒素濃度 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{DW}$) とした。

結果

実験 1. 弱光照射および給水処理がコマツナの品質に及ぼす影響

コマツナの保存開始時の新鮮重に対する保存 2, 4 および 6 日後の新鮮重の重量比率を第 1 図に示した。給水処理を



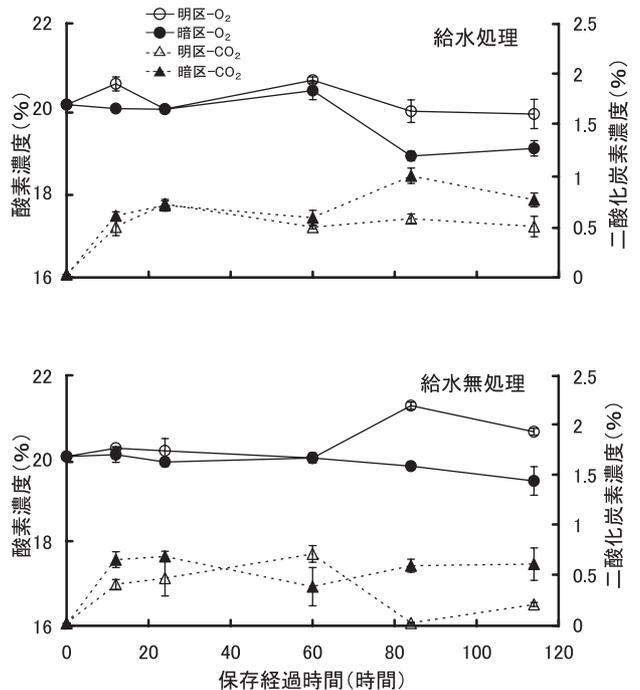
第 1 図 弱光照射および給水の有無が保存中のコマツナの新鮮重, 葉色および葉中還元型アスコルビン酸濃度に及ぼす影響

A: 新鮮重の重量比 (保存開始時に対する割合)
 B: SPAD 値
 C: 還元型アスコルビン酸 (ASA) 濃度
 図中の縦線は標準誤差を示す

しなかった両区では保存後から新鮮重が減少し, 萎れが観察された。特に, 明区で減少程度が大きく, 保存 2 日後には保存開始時に比べてほぼ 10% 減少した。給水処理しなかった両区は入庫 6 日後には褐変し一部が枯死したので, 調査はできなかった (データ略)。一方, 給水処理した両区では保存後から保存 4 日後まで新鮮重が増加した。保存 6 日後の新鮮重の重量比をみると, 明区でやや低下したが, 暗区は減少しなかった。

次に, 葉の緑色 (SPAD 値) の変化をみると (第 1 図), 給水処理をしなかった両区では保存開始時よりも大きくなった。一方, 給水処理をした明区では保存開始時からやや増加し, 暗区のそれは保存開始時よりもやや小さくなった。明区と暗区とを比較すると, 給水処理の有無に関わらず, SPAD 値は明区で暗区よりもやや大きくなった。さらに, アスコルビン酸濃度をみると (第 1 図), 給水処理をしなかった両区では保存後も減少しなかった。一方, 給水処理した明区と暗区では, 保存 4 日後に保存開始時に比べて, ほぼ 25% 減少した。

袋内における保存開始時からの酸素および二酸化炭素濃度の変化を第 2 図に示した。給水しなかった両区では保存 12 時間後に二酸化炭素濃度が 0.5% まで増加し, 酸素濃度は 20% であった。保存 60 時間後までは両区で差異がなかったが, 60 時間を超えると両区で相違がみられるようになり, 暗区では二酸化炭素濃度が 0.5%, 酸素濃度が 19 ~ 20% でほぼ保存 12 時間後と同じであったが, 明区では二酸化炭素濃度は 0.1 ~ 0.2% まで減少し, 酸素濃度はほぼ 21% と高く



第 2 図 給水処理がフィルム包装内の酸素および二酸化炭素濃度に及ぼす影響

図中の縦線は標準誤差を示す

第1表 弱光照射の有無および保存温度の違いがコマツナの新鮮重および葉色 (SPAD 値) に及ぼす影響

| 処理区 | 保存温度 | 新鮮重 ^z | SPAD 値 ^z |
|------------------|------|----------------------------|---------------------|
| 明 | 7°C | 108.30 ± 0.71 ^y | 103.98 ± 1.62 |
| 暗 | 7°C | 109.60 ± 1.09 | 97.95 ± 1.64 |
| 有意性 ^x | | ns | * |
| 明 | 14°C | 112.50 ± 1.15 | 104.75 ± 1.97 |
| 暗 | 14°C | 113.74 ± 1.68 | 97.13 ± 1.53 |
| 有意性 | | ns | * |

^z 保存開始時を 100 としたときの保存終了時の変化の割合を示す

^y 平均値 ± 標準誤差

^x LSD 検定により * は 5%水準で有意差あり (P < 0.05)

なった。一方、給水处理した両区でも保存 12 時間後に二酸化炭素濃度が 0.5 ~ 0.6% まで増加し、酸素濃度は 20% であったが、保存 60 時間を超えると両区で相違がみられ、暗区では二酸化炭素濃度が 0.8 ~ 1% まで増加し、酸素濃度が 19% まで減少したが、明区の二酸化炭素濃度はほぼ 0.5%、酸素濃度はほぼ 20% であった。

実験 2. コマツナへの弱光照射および保存温度の相違が体内の硝酸態窒素濃度に及ぼす影響

保存終了時 (保存 4 日後) における新鮮重は保存開始時のそれに比べて、全ての処理区で増加し、その増加割合は 7°C 区に比べ 14°C 区でやや大きかった (第 1 表)。また、いずれの保存温度でも光照射の有無による新鮮重の差はなかった。保存温度にかかわらず明区の SPAD 値は暗区のそれに比べて有意に大きくなった。

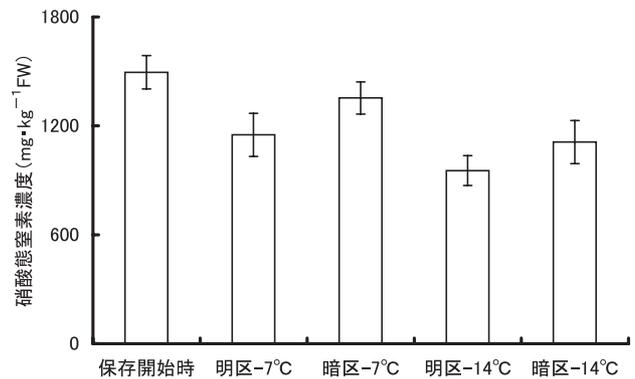
次に、株全体の硝酸態窒素濃度をみると (第 3 図)、全ての処理区において保存開始時に比べ低下した。特に、14°C・明区が最も低く、約 36% 減少した。そこで、葉柄と葉身に分けて測定したところ、葉柄の硝酸態窒素濃度は全ての区で減少したが、葉身のそれは明区で減少し、暗区でやや増加する傾向を示した (データ略)。

実験 3. 弱光・給水・冷蔵処理したコマツナの葉位別の硝酸態窒素濃度の変化

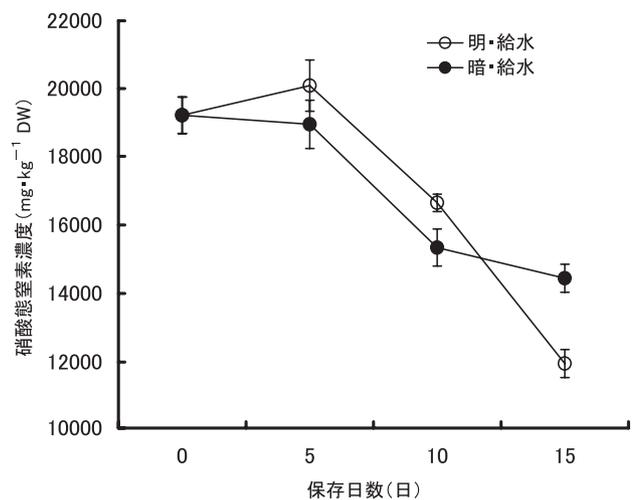
地上部全体の硝酸態窒素濃度の推移を処理間で比較してみると (第 4 図)、両区の 5 日後までその濃度は収穫時とほぼ同じで推移し、保存 10 日後に収穫時の 80 ~ 87% に低下した。保存 10 日から 15 日までの間において両区で相違がみられ、暗区は 10 日後と同じ濃度の 75% であったが、弱光照射区は収穫時の 62% に低下した。

次に、保存中に硝酸態窒素が低下した株内の部位と保存 10 日から 15 日までの間における両区の相違を明らかにするため、葉位間および部位間 (葉身と葉柄) の硝酸態窒素の推移を調査した (第 2 表)。収穫時の葉位別の硝酸態窒素濃度は外側 (第 I 葉) で高く、次いで第 II 葉 < 第 III 葉 < 第 IV 葉 (その他) の順であり、内側ほど低くなった。また、第 IV 葉 (その他) を除くいずれの葉位とも、葉柄で葉身よりも大幅に高かった。保存 5 日後には、両区とも収穫時に比べて、第 I 葉と第 III 葉ではほぼ同じかやや低下してい

たが、第 II 葉では収穫時に比べて著しく増加し、特に葉柄で増加程度が大きかった。保存 10 日後になると、両区とも全ての葉位で保存 5 日後に比べて硝酸態窒素濃度が低下したが、第 II 葉では収穫時に比べて著しく増加し、特に葉柄



第3図 弱光照射の有無および保存温度の違いがコマツナの地上部中の硝酸態窒素濃度に及ぼす影響 (保存 4 日後) 図中の縦線は標準誤差を示す



第4図 弱光・給水处理したコマツナ²の地上部中における体内硝酸態窒素濃度の推移
² 根部を水に浸して、株全体をフィルム包装したものを 7°C で保存した
図中の縦線は標準誤差を示す

第2表 弱光・給水処理したコマツナの葉位および部位別硝酸態窒素濃度の推移

| 葉位 | 保存日数 (日後) | 処理 | 硝酸態窒素濃度 ² (mg・kg ⁻¹ DW) | | | | | |
|-------|--------------|----------|---|--------------------|----------|---------|----------|-------|
| | | | 全体 | | 葉身 | | 葉柄 | |
| 第I葉 | 収穫時 | — | 28570 a ^y | (100) ^x | 13672 a | (100) | 44815 b | (100) |
| | 5 | 明 | 30125 a | (105) | 11089 b | (81) | 50864 a | (113) |
| | | 暗 | 20921 ab | (73) | 6477 cd | (47) | 34992 cd | (78) |
| | 10 | 明 | 26423 bc | (92) | 8237 c | (60) | 43280 b | (97) |
| | | 暗 | 23101 c | (81) | 6633 cd | (49) | 40522 bc | (90) |
| | 15 | 明 | 15263 d | (53) | 4077 d | (30) | 25071 e | (56) |
| 暗 | | 18531 cd | (65) | 5246 d | (38) | 32998 d | (74) | |
| 第II葉 | 収穫時 | — | 19206 c | (100) | 5323 c | (100) | 30186 b | (100) |
| | 5 | 明 | 29533 a | (154) | 8328 a | (156) | 46958 a | (156) |
| | | 暗 | 25258 b | (132) | 4360 c | (82) | 41984 a | (139) |
| | 10 | 明 | 22191 bc | (116) | 7166 ab | (135) | 34260 b | (113) |
| | | 暗 | 18445 c | (96) | 5724 bc | (108) | 30423 b | (101) |
| | 15 | 明 | 13304 d | (69) | 3998 c | (75) | 19521 c | (65) |
| 暗 | | 18093 c | (94) | 5163 c | (97) | 29306 b | (97) | |
| 第III葉 | 収穫時 | — | 18908 a | (100) | 5607 a | (100) | 26958 a | (100) |
| | 5 | 明 | 14620 b | (77) | 3992 bc | (71) | 21690 b | (80) |
| | | 暗 | 19635 a | (104) | 5127 ab | (91) | 28095 a | (104) |
| | 10 | 明 | 14277 b | (76) | 4316 bc | (77) | 20856 b | (77) |
| | | 暗 | 14386 b | (76) | 4594 abc | (76) | 20448 b | (76) |
| | 15 | 明 | 10201 c | (54) | 3461 c | (62) | 13838 c | (51) |
| 暗 | | 14635 b | (77) | 4399 bc | (78) | 21326 b | (79) | |
| 他 | 収穫時 | — | 11421 a | (100) | — | — | — | — |
| | 5 | 明 | 11895 a | (104) | — | — | — | — |
| | | 暗 | 11201 a | (98) | — | — | — | — |
| | 10 | 明 | 7055 b | (62) | — | — | — | — |
| | | 暗 | 8110 b | (71) | — | — | — | — |
| | 15 | 明 | 6639 b | (58) | — | — | — | — |
| 暗 | | 7743 b | (68) | — | — | — | — | |

² 平均値 (収穫時 n = 10, 処理区 n = 5)

^y 同葉位・同列の異なるアルファベット間に Tukey の多重比較法により有意差あり (P < 0.05)

^x 括弧内は同葉位・同列の収穫時との比を示す

で増加程度が大きかった。保存 10 日後になると、両区とも全ての葉位で保存 5 日後に比べて硝酸態窒素濃度が低下したが、第 II 葉では収穫時と同じかやや高い値で維持された。このように、収穫後の硝酸態窒素は、外側の外葉と内側の中心葉では早くから低下が始まるが、中側の中位葉では保存後一旦増加してから低下することが明らかになった。保存 10～15 日の期間の硝酸態窒素濃度の変化を葉位別にみると、暗区の第 I 葉と第 II 葉では僅かに低下したが、第 III 葉では低下しなかった。一方、明区では、いずれの葉位および部位でも、この期間に硝酸態窒素が有意に低下した。特に、第 II 葉では葉身、葉柄ともに大幅に低下した。

考 察

出荷されるコマツナは主根がついているが細根は切断されているので、そのままの状態では直ちに萎れが認められるが、給水処理を行うと萎れの開始が遅くなり、保存 2 日後から萎れが観察された (データ略)。さらに、萎れの開始を遅くするには、低温条件やフィルム包装による蒸散の抑制が有効となる。一方、セル成型苗の低温保存に

おいて、光補償点付近の光強度の照射は苗の老化を抑制することが知られている (古在ら, 1996)。そこで、低温条件、フィルム包装、給水処理および弱光照射を組み合わせ、コマツナを保存した (実験 1)。その結果、給水処理しない区では保存中の新鮮重は減少し、その減少が明区で顕著であったが、給水処理して弱光を照射すると、新鮮重の減少がなく、萎れが観察されなかった (第 1 図, 第 1 表)。久保ら (2003) は、低温下であっても青果物に光を照射すると、光照射されている組織表面温度は 2°C 程度高くなるので、蒸散が盛んになること、また、光照射 (光合成) によって体内の水が分解することが重量減少と関係しているが、ブロッコリーの花らいを 5–10°C、100–250 lx の条件下でフィルム包装することによって、重量減少を 4% 以内に抑えることができることを報告している。本実験の給水処理したコマツナでは 7°C あるいは 14°C、明暗の条件下でも重量の減少が認められず増加した。これは、収穫後直ちに根を浸漬することによって主根から吸水が行われることに加えてフィルム包装により蒸散が抑制されるために萎れが観察されず、保存後に新鮮重が増加したと考えられる。

このように、継続的な吸水が行われていることは、葉の気孔から蒸散が行われ、気孔が正常に機能していることを意味しており、光が照射されれば光合成を行っていると考えられるので、葉色を調査したところ、明区は暗区に比べて、やや SPAD 値が大きく、葉の緑色が低下しなかった(第 1 図, 第 1 表)。また、保存開始から袋内の酸素と二酸化炭素の濃度の変化を測定したところ(第 2 図)、保存 60 時間を超えると両区で相違がみられ、暗区の二酸化炭素濃度は上昇したが、明区のそれは変化しなかったことから、明区では呼吸によって生じた二酸化炭素が光合成に使用されていると推察される。このように、収穫後に特殊なフィルムでの一時的な蒸散抑制、その後に根からの吸水が行われたコマツナは光を照射することで光合成、呼吸、葉緑体の形成などの代謝を行っていることが示唆された。なお、給水しなかった暗区と明区において、保存後の SPAD 値が大きく、また、アスコルビン酸濃度が減少しなかった(第 1 図)のは、植物体内の水分含量低下による濃縮効果によるものと考えられる。一方、給水処理した区では明暗条件にかかわらずアスコルビン酸濃度が低下したが、アスコルビン酸は重要な機能性成分であり、給水処理中に減少するのは問題であるため、今後検討する必要がある。

吉田ら(1998)は収穫 10 日前に窒素を含まない培養液あるいは栄養成分を含まない地下水に替えることにより、植物体内窒素濃度が 75~90%低下することを、岡崎ら(2006)はハウレンソウにおいて、収穫 1 週間前における土壌中の硝酸イオン濃度と収穫時の作物体硝酸イオン含有率との間に正の相関があることを報告している。本実験において、弱光・給水処理したコマツナでは、葉緑体の形成が行われ、わずかであるが光合成も行われていると推察される(第 1 表, 第 1, 2 図)。次に、これらの代謝に関連する酵素などの生成に硝酸態窒素が使われていると考えられるので、株全体の硝酸態窒素濃度の変化を調査した。その結果、14°C では保存 4 日後に約 36%の低下が(第 3 図)、7°C では保存 15 日後に約 38%の低下が認められ(第 4 図)、保存温度が高いときに濃度低下が早く起こることがわかった。よって、収穫後も植物体の根から水が吸収され、また硝酸態窒素が代謝されるような条件を整えば植物体内の硝酸態窒素を減らすことができることがわかった。

保存中に硝酸態窒素濃度が低下したのは、株内の葉位間や葉内の部位間(葉身と葉柄)の移動が考えられる。そこで、葉位間および葉の部位間の硝酸態窒素の推移をみた(第 2 表)。収穫後における硝酸態窒素濃度は、外側の外葉と内側の中心葉で早くから低下が始まり、中側の中位葉では増加してから低下すること、また、光照射して呼吸、光合成、蒸散などの作用が行われる条件が継続すれば、各葉位および各部位ともにその濃度が低下することがわかった。なお、これらの結果の中で、特に、第 II 葉の硝酸態窒素濃度は一時的に増加し、その後は減少する変化を示した(第 2 表)。これは吸水および蒸散に伴って水と硝酸態窒素が根から葉

柄、葉身へと移動していく過程において(Cardenas-Navarro ら, 1999)、根に蓄積された硝酸態窒素が、代謝が活発であると考えられる中位の葉に優先的に転流し、代謝されたことによると推察されるが、この点については硝酸還元酵素などの調査も含めて検討する必要がある。一方、硝酸同化を律速している硝酸還元酵素および硝酸態窒素濃度は光が照射されている葉で高いことが知られている(Gaudreau ら, 1995)。また、壇ら(2005)はコマツナに照射する光強度を増加させると、葉中の硝酸イオン濃度は低下することを明らかにしている。本実験における光の強さは $2.85 \sim 4.56 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ と弱いので、光によって直接的に硝酸態窒素を還元しているとは言い難い。実験 3 では保存 5 から 10 日までの硝酸態窒素濃度の減少は、光の有無と関係なく生じるので、植物体の代謝を維持することによる副次的効果のほうが大きいと推察されるが、このことについても今後検討すべき課題である。

養液栽培および養液土耕栽培では窒素施肥量の制御が容易に行えるが、多くの土耕栽培では生育後期に施肥量を制御することは困難である。本実験では、収穫後の保存期間中に硝酸態窒素を含まない水を供給しながら、低温・弱光・給水・フィルム包装を組み合わせることによって、品質が保持され、かつ硝酸態窒素濃度が低下した。特に、14°C の条件で保存 4 日後に約 36%の減少が認められ、この温度条件における弱光処理は実用場面でも使える技術であると思われる。

摘 要

フィルム包装して給水処理を行ったコマツナを低温・弱光下に保存したときの新鮮重、葉色などの品質および葉内の硝酸態窒素濃度の変化を検討した。フィルム包装して給水処理をおこなったコマツナは、フィルム包装による蒸散の抑制と、主根からの継続的な吸水が行われるため萎れが観察されず、保存後に新鮮重が増加した。弱光照射によって葉緑体の形成などが行われたため葉の緑色は退色しなかった。光合成、呼吸、葉緑体形成などで窒素が代謝されるので、各葉位および各部位(葉身と葉柄)ともに硝酸態窒素濃度が低下し、特に、14°C の条件で保存 4 日後に約 36%の減少が認められた。以上のことから、コマツナを収穫後にフィルム包装、給水処理、弱光照射および低温条件を組み合わせて保存すると、品質の低下が少なく、硝酸態窒素濃度の低い植物体の生産ができることがわかった。

引用文献

- Cardenas-Navarro, R., S. Adamowict and P. Robin. 1999. Nitrate accumulation in plants: a role for water. *J. Exp. Bot.* 50: 613-624.
- Cataldo, D. A., M. Haroon, L. E. Schrader and V. L. Youngs. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Commun. Soil Sci. Plant*

Anal. 6: 71–80.

- 張 春蘭・渡邊幸雄・島田典司. 1990. 水耕ホウレンソウの生育ならびに含有成分に及ぼす培養液の窒素濃度の影響. 千葉大園学報. 43: 1–5.
- 壇 和弘・今田成雄. 2003. コマツナの硝酸塩含量に及ぼす光条件の影響. 園学雑. 72 (別 1): 135.
- 壇 和弘・大和陽一・今田成雄. 2005. 光強度および赤色光/遠赤色光比の違いがコマツナの硝酸イオン濃度および硝酸還元酵素活性に及ぼす影響. 園学研. 4: 323–328.
- 伊達 昇・米山徳造・都田紘志・加藤哲郎. 1980. 野菜の硝酸根蓄積に及ぼす肥培管理の影響. 東京農試研報. 13: 3–13.
- Gaudreau, L., J. Charbonneau, L.-P. Vezina and A. Gosselin. 1995. Effects of photosynthetic photon flux on nitrate content and reductase activity in greenhouse-grown lettuce. *J. Plant Nutr.* 18: 437–453.
- 岩田正利. 1971. 窒素供給期間の差異とホウレンソウの生育. 農及園. 46: 1351–1352.
- 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. 43: 135–139.
- 久保泰彦・坂本俊彦・荻原 勲. 2002. 低温下で保存したブロッコリーへの弱光照射が品質に及ぼす影響. 園学雑. 71 (別 1): 331.
- 久保泰彦・作田祥司・坂本俊彦・荻原 勲. 2003. 弱光照射下で低温保存したブロッコリーの品質変化に及ぼす収穫時期と包装の種類の影響. 園学雑. 72 (別 1): 329.
- 中村武次郎. 1983. 葉菜類の生育と硝酸態窒素含有量. 農及園. 58: 587–588.
- 日本土壤協会. 2001. 土壤機能モニタリング調査のための土壤, 水質及び植物体分析法. p. 254–255. 大雄社. 東京.
- 王 秀峰・伊東 正. 1997. 水耕ホウレンソウの生育, 収量および NO₃ 含量に及ぼす補給液の NO₃-N の影響. 園学雑. 66: 313–319.
- 岡崎圭毅・唐澤俊彦・建部雅子. 2006. ホウレンソウにおける汁液硝酸イオン濃度の推移および糖・シュウ酸含有率に対する養液土耕の効果. 土肥誌. 77: 25–31.
- 建部雅子・石原俊幸・松野宏治・藤本順子・米山忠克. 1995. 窒素施用がホウレンソウとコマツナの生育と糖, アスコルビン酸, 硝酸, シュウ酸含有率に与える影響. 土肥誌. 66: 238–246.
- 建部雅子・米山忠克. 1995. 作物栄養診断のための小型反射式光度計システムによる硝酸および還元型アスコルビン酸の簡易測定法. 土肥誌. 66: 155–158.
- 米山忠克. 1982. 空気, 土, 水, 植物における硝酸, 亜硝酸, N- ニトロソ化合物. 保健の科学. 24: 725–729.
- 吉田 敦・原田和夫・菅原彰敏・但野利秋. 1998. 水耕ホウレンソウの品質および生長に及ぼす培養液処理の影響. 土肥誌. 69: 178–184.