



キャベツセル成苗型の炭水化物代謝特性の解明と高品質苗の生産・維持技術開発に関する研究

佐藤，文生

(Degree)

博士（農学）

(Date of Degree)

2004-09-17

(Date of Publication)

2010-08-24

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙2778

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2002778>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



神戸大学博士論文

キャベツセル成型苗の炭水化物代謝特性の解明と
高品質苗の生産・維持技術開発に関する研究

平成16年8月

佐藤 文 生

(目 次)

	(ページ)
緒 言	1
第 1 章 キャベツセル成型苗の炭水化物代謝特性の解明と苗質評価	3
第 1 節 根域容量の影響	3
第 2 節 育苗日数の影響	13
第 3 節 栽植密度の影響	23
第 2 章 エブ&フロー方式灌水における肥培条件がキャベツセル成型苗の生育および機械 移植適性、結球重に及ぼす影響	30
第 3 章 貯蔵キャベツセル成型苗の苗質に及ぼす各貯蔵環境要因の影響	40
第 1 節 貯蔵温度の影響	40
第 2 節 培養土水分の影響	48
第 3 節 光の影響	55
第 4 章 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	61
総合摘要	70
謝 辞	73
引用文献	74

緒 言

ヨーロッパ諸国で古くから栽培されてきたキャベツは、日本には明治初期に導入され、その栽培の歴史は比較的浅い。しかし、近年では栽培面積、年間生産高ともダイコンに次いで2番目に多い露地野菜である。また、生食や各種料理の材料として幅広く利用され、我が国の食生活に欠かせない重要な野菜となっている。

野菜の国内生産は、戦後急激な増加を示したが、高度経済成長期の産業構造の変化に伴う就農人口の低下や生産農家の高齢化、さらに、急増する輸入野菜との価格競争の激化によって近年は衰退しつつある。特に、キャベツなどの結球性露地野菜は、定植や収穫作業に多大な労力を必要とするため、施設野菜に比べてこの傾向が顕著で、栽培の省力・軽労化による国内生産力の維持、向上が強く求められている（日本施設園芸協会編，1999）。

これまでキャベツの育苗は、栽培農家が必要な数を各自育苗するのが一般的で、地床育苗が主体であった。これらの育苗法では、高い発芽率と安定した苗の生育を得るために育苗床の配合や養水分の調製をする必要があることに加え、苗が移植機に十分対応していないため、定植作業の多くを手作業に頼らなければならないことなどの問題があり、各農家は育苗と定植作業に多くの時間と労力を費やさざるを得なかった。それに対し、セル成型育苗は、従来の地床苗に比べ小面積で大量の苗を生産することが可能であり、大量の苗を容易に運搬できるといった利点をもつ。そのため、育苗センターなどの大規模育苗施設を中心にその利用が広まっており、煩雑な育苗作業をこれらの育苗施設に依頼することで、栽培農家の労力負担を大幅に軽減することが可能となる。さらに、セル成型苗は全自動移植機への適応性に優れていることから、育苗の分業化と定植作業の機械化によるキャベツ栽培の省力・軽労化を実現する手段として期待されている。

しかし、キャベツの生産現場では、セル成型苗の普及率が果菜類や花き類の苗に比べ低く、国内の栽培面積の14%（1998年）にとどまっている（農林水産先端技術産業振興センター編，1999）。このような普及率の低さには、様々な問題が指摘されているが、なかでも栽培面における問題点として、キャベツのセル成型苗は、従来の地床育苗による苗に比べ小苗で圃場に移植されるため、在圃期間が長く、移植後の初期生育がその後の生育に大きく影響すること（竹川・大西，1999）、また、移植適期幅が短く、移植適期を過ぎた苗は、移植後に生育不良を起こしやすいことが指摘されている（白木，1999）。移植後における生育遅延株の発生は、収穫時において収穫物の規格のばらつきとして現れ、販売価格の低下をもたらす要因となる（藤原ら，2000；柳澤，2000）。そのため、セル成型苗は、従来の地床苗に比べ移植適期の見極めや、移植適期に達した苗の維持が難しく、このことが、セル成型苗の普及を妨げる一因となっている。

このような背景から、移植後良好な生育を示す苗の安定的な供給技術の確立が求められている。そのためには、移植後の初期生育に影響する苗質の正確な評価が不可欠であり、また、望ましい品質の苗を生産し、且つ、保持する方法を開発する必要がある。これまで

にも、野菜苗の育苗方法や移植期の生理特性、管理方法に関する研究は数多くなされているが、極端に小さい根域容量と高い栽植密度という特殊な生育環境において育苗されるセル成型苗を対象とした研究は少ない。

そこで本研究において著者は、育苗期および移植後初期のキャベツセル成型苗の炭水化物代謝特性を明らかにすることで、育苗期および移植後の生育に関与する苗質の評価を試み、さらに、良質な苗を生産・維持するための省力的な育苗方法と苗質保持法を開発した。第1章では、セル成型育苗で特殊な環境条件である高い栽植密度と極端に制限された根域容量がキャベツセル成型苗の移植後の初期生育と炭水化物代謝に及ぼす影響について解析し、苗に蓄積した炭水化物が移植後の初期生育にどのように寄与するのかについて検討した。第2章では、キャベツのセル成型育苗にエブ&フロー方式灌水を取り入れ、機械移植に適した良質な苗を生産するための肥培管理方法について検討した。第3章では、移植適期に達した苗の苗質維持を目的に、各種貯蔵環境要因が苗の外観品質、光合成能、炭水化物含量に及ぼす影響を明らかにし、第4章では、低温と弱光照射を利用したキャベツセル成型苗の長期品質保持方法の開発を行った。

第1章 キャベツセル成型苗の炭水化物代謝特性の解明と苗質評価

緒 言

従来の地床苗より若齢苗で圃場に移植されるキャベツのセル成型苗は、移植後の活着の良否がその後の生育や収穫時の結球重に大きく影響し、移植後の活着不良は収穫時期の遅れや生育の不揃いによる作業効率低下の要因となる（唐橋ら，1981；藤原ら，2000）．そのため、移植後安定した活着を示す苗を用いることが収量の安定化と作業の効率化を図るうえで重要である．

しかし、セル成型苗は、育苗期間が過度に長いと移植後の活着が遅延しやすいという問題が指摘されている（Weston・Zandstra, 1986；正木・大野，1979；小田ら，2002）．これは、セル成型苗が極端に少ない根域容量で、且つ、高い栽植密度で育苗されるために、育苗日数の増加に伴って根密度が増加し、根域制限や養水分ストレスを受けやすくなること、また、茎葉部が繁茂し、相互遮蔽による光不足が顕著となることに起因すると考えられている（白木，1999）．しかし、十分に検討されるまでには至っていない

これまでに、キャベツセル成型苗では育苗期の遮光や摘葉、短日処理により苗の炭水化物含量が低下し、移植後の発根が遅延することが明らかになっており（福岡ら，1996a, b），移植後の初期生育に関与する苗質として苗の炭水化物代謝の重要性が指摘されている．そこで、本章では、キャベツセル成型苗の炭水化物代謝と移植後の初期生育との関係を、根域容量や栽植密度など、セル成型育苗に特殊な育苗条件と関連づけて解析し、移植時の初期生育における炭水化物の役割について検討した．

第1節 根域容量の影響

セル成型苗の生育は根域容量が小さいほど抑制されることがレタス（Nicola・Cantliffe, 1996；小田ら，2002）や、ハクサイ（Kratky ら，1982），トマト（Ruff ら，1987；Marr・Jirak, 1990；Liptay・Edwards, 1994）など多くの植物で知られている．このような生育抑制には、培養土量の低下に伴う養水分ストレスの他に、根の生理機能の低下（正木・大野，1979）やホルモンバランスの乱れ（Carmi ら，1983；Liu・Latimer, 1995）などの体內的な要因が関与していると考えられている．根は光合成産物の分配に影響する重要なシンク器官とされ（吉岡，1989），根域容量の制限によって根の密度が増加すると、キュウリでは光合成活性が低下するとともに、葉のデンプンや可溶性糖の蓄積量が増加する（Robbins・Pharr, 1988）．また、トマトでは茎部の乾物分配率が増加することが知られている（Hameed ら，1987）．このように、根域容量は植物体の乾物分配や炭水化物代謝に影響を及ぼすことが報告されているが、育苗期のキャベツにおいて根域容量が光合成産物の動態に及ぼす影響については明らかではない．そこで本節では、根域容量がキャベツ苗の

生育と炭水化物代謝に及ぼす影響を検討するため、異なる根域容量で栽培したキャベツ苗の生育、炭水化物含量および光合成活性を調査した。また、移植によって根域容量が拡大した場合の苗の生育、炭水化物含量および光合成産物の分配の変化についても調査した。

材料および方法

実験 1. 根域容量が苗の生育、炭水化物含量および光合成活性に及ぼす影響

キャベツ (*Brassica oleracea* L.) 品種「松波」を育苗用培養土（野菜養土、ヤンマー）を詰めた容量 9 mL, 24 mL, 50 mL, 300 mL の容器に播種した。育苗は、12 時間明期、温度を 25/20°C (明期/暗期)、葉冠部の明期光強度を光合成有効光量子束密度 (PPFD) $350 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ としたグロースチャンバー内で行った。相互遮蔽の影響を除外するため、隣接する容器間に 4 cm の間隔を設けた。播種後 10 日目より 1 日 1 回 5 分間園試処方 5 倍希釈液にセルを苗の地際部まで浸漬して底面給水した。播種後 14 日目と 21 日目に苗を採集し、葉部、茎部（頂芽を含む）、根部に分け、液体窒素で凍結し、凍結乾燥した。乾燥した試料は秤量した後、粉碎し、炭水化物含量の測定に用いた。苗の炭水化物含量は、播種後 21 日の苗の葉部と根部について行った。約 20 mg の粉末試料を 78°C に加熱した 4 mL の 80% エタノールで 3 回抽出した。可溶性糖含量（グルコース、フルクトース、スクロースの合計量）は、抽出後の上澄液を真空エバポレーターで乾固後、2 mL の蒸留水に再溶解し、酵素法 (Kerr ら, 1985) により測定した。また、デンプン含量の測定は Lafta・Lorenzen (1995) の方法に準じて行った。抽出残さに 5 mL の 0.2N KOH を加えて 100°C でデンプンを可溶化し、酢酸で中和後、グルコアミラーゼで 3 時間反応させ、遊離したグルコースを市販の測定キット（グルコース B-テスト、和光純薬）を用いて測定した。苗の光合成活性については、播種後 21 日の苗の第 1 葉の光合成速度を、明期開始後 2 時間から 4 時間の間に携帯型光合成蒸散測定装置 (LI-6400, Li-cor) を用いて計測した。測定チャンバー内の環境条件は、25°C, PPFD $350 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, CO_2 濃度 400 ppm とした。

実験 2. 移植による根域容量の拡大が苗の生育、炭水化物含量および光合成産物の分配に及ぼす影響

容量 9 mL の容器を用いてキャベツ苗を実験 1 と同様に育苗した。播種後 21 日目に苗を園芸用培養土（園芸培土、呉羽化学）を詰めた容量 300 mL の容器に移植して根域を広げた苗を移植区とし、また、移植せずに容量 9 mL の容器で栽培した苗を対照区とした。苗は移植時と移植後 2, 4, 7 日目に採集し、実験 1 と同様に乾物重、葉と根の炭水化物含量を調査した。さらに、移植後 7 日目に育苗時と同じ環境条件に設定したアクリル製のチャンバー（45 cm×15 cm×4 cm）に移植苗の第 1 葉を挟み込み、1 時間 $^{14}\text{CO}_2$ を葉に施用した。 $^{14}\text{CO}_2$ は $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ (18.5 kBq [$0.7\text{--}0.86 \mu\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$]) に 50% 乳酸を 3 mL 加え発生させた。 $^{14}\text{CO}_2$ を 1 時間を施用した後、植物体に取り込まれなかった $^{14}\text{CO}_2$ を KOH に吸収させ、苗をチャンバーからはずした。 $^{14}\text{CO}_2$ 施用終了後 3 時間目に苗を採取し、葉部（第 1~3 葉）、茎部（頂芽

を含む), 根部に分け, 80℃で一晩以上通風乾燥させた. 乾燥試料を秤量後, 吉岡・高橋(1979)の方法に準じてサンプルオキシダイザー (ASC-113, アロカ) で調製した試料の放射能活性を液体シンチレーションカウンターで測定した.

実験 1, 2 とともに 1 区あたり最低 4 個体をそれぞれの調査に供試した.

結 果

実験 1. 根域容量が苗の生育, 炭水化物含量および光合成活性に及ぼす影響

根域容量が苗の生育に及ぼす影響は, 播種後 14 日の苗ですでに認められ, 根域容量が大きいほど苗の乾物重は増加した (第 1-1 表). また, 乾物重の試験区間差は播種後 14 日目から 21 日目にかけて拡大した. 根域容量の制限による生育抑制の程度は根よりも葉で顕著であり, 根域容量が小さいほど葉への乾物分配率が低下した. 第 1 葉の光合成速度は, 根域容量が大きいほど高かった (第 1-1 図). 葉のデンプン含量は根域容量 9 mL の苗で最も高く, 300 mL の苗で最も低かった (第 1-2 図). 葉の主な可溶性糖はグルコースとフルクトースで, これらの含量はいずれの区もデンプン含量に比べ低かったが, デンプン含量と同様の傾向を示した. 根ではデンプンが検出されず, また, 根の主要な可溶性糖はスクロースとグルコースで, これらの含量は根域容量が小さいほど高かった (第 1-3 図).

Table 1-1 Effect of root container volume on plant dry weight and dry matter partitioning in cabbage seedlings.

Root container volume (mL)	Dry weight (mg·plant ⁻¹)	% Leaves	% Stems	% Roots
<i>14 d after sowing</i>				
9	31.3±1.1 ^z	67.4±0.9	14.2±0.4	18.3±0.7
24	53.8±3.1	69.8±0.9	11.2±0.4	19.0±0.7
50	66.7±1.9	69.2±0.5	11.0±0.3	19.8±0.5
300	79.7±7.7	77.2±0.6	10.7±0.5	12.1±0.4
<i>21 d after sowing</i>				
9	105.0±2.0	72.3±0.6	10.0±0.5	17.7±0.4
24	195.4±4.2	73.8±0.4	8.7±0.2	17.5±0.4
50	275.4±7.6	74.9±0.5	9.7±0.5	15.4±0.4
300	686.0±3.4	79.5±0.8	8.0±0.5	12.5±0.5

^zSE (n = 10)

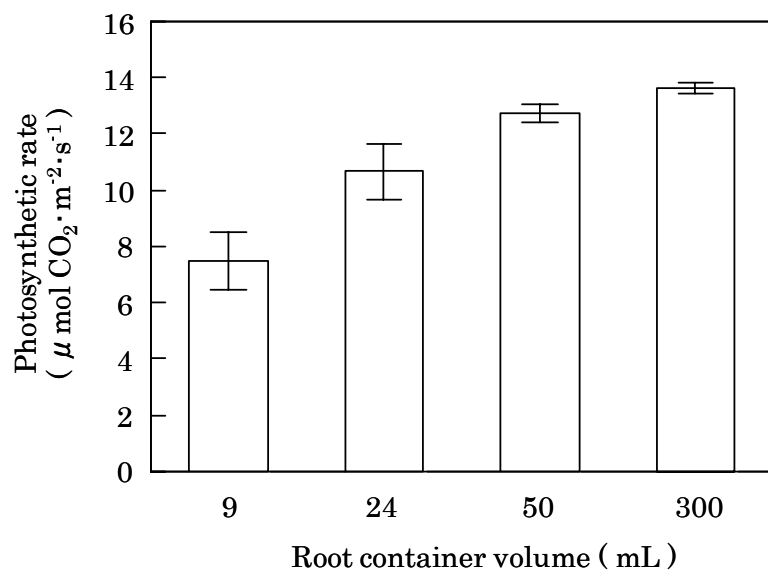


Fig. 1-1 Effect of root container volume on photosynthetic rate at 21 d after sowing. Vertical bars indicate SE (n = 6).

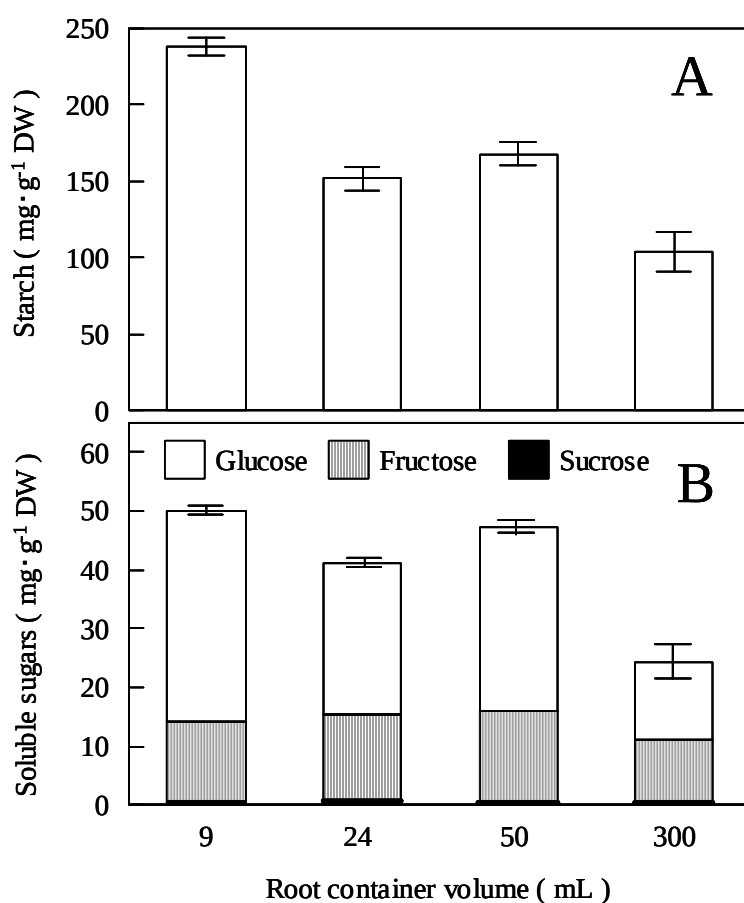


Fig. 1-2 Effect of root container volume on contents of starch (A) and soluble sugars (B) in leaves at 21 d after sowing. Vertical bars indicate SE (n = 5).

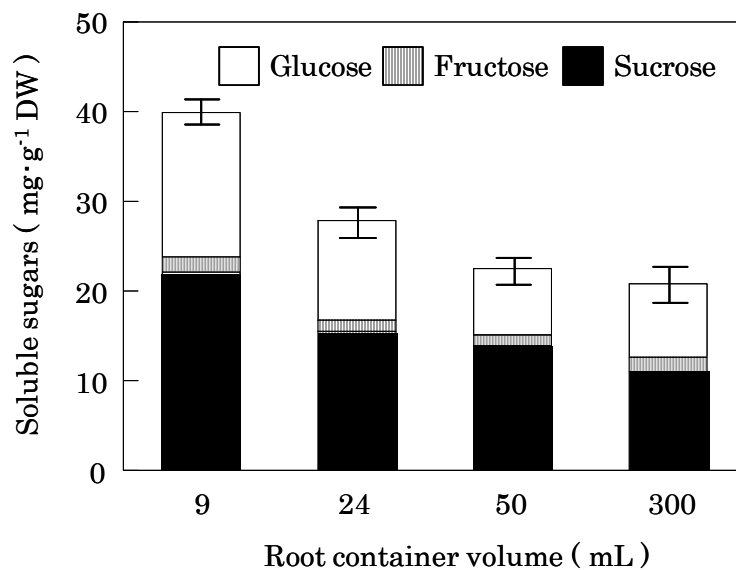


Fig. 1-3 Effect of root container volume on soluble sugar content in roots at 21 d after sowing. Vertical bars indicate SE (n = 5).

実験 2. 移植による根域容量の拡大が苗の生育、炭水化物含量および光合成産物の分配に及ぼす影響

移植後 2 日目までは、根域容量 9 mL の容器から 300 mL の容器へ移植した移植区と移植しなかった対照区の間で茎葉部乾物重に有意な差が認められなかったが、それ以降は、移植区の値が対照区の値を上回った (第 1-4 図)。根の乾物重も茎葉部の乾物重と同様の変化を示した。葉では、対照区のデンプン含量とグルコース含量が試験期間中ほぼ一定に推移したのに対し、移植区のデンプン含量とグルコース含量はともに移植後 4 日間で 84% 低下した (第 1-5 図)。フルクトース含量とスクロース含量については、対照区と移植区で明瞭な差が認められなかった。根では、移植区のグルコース含量とスクロース含量が移植後 7 日間でそれぞれ試験開始時の値の 22%, 41% 低下した (第 1-6 図)。対照区のグルコース含量も低下したが、その低下程度は移植区に比べ小さく、また、対照区のスクロース含量は逆に試験開始時より 34% 増加した。フルクトース含量については、対照区と移植区で明瞭な差が認められなかった。移植後 7 日目の植物体に取り込まれた ^{14}C 光合成産物の全放射能活性 ($^{14}\text{CO}_2$ 施用 4 時間後) は、対照区より移植区で高かった (第 1-7 図)。第 1 葉 (同化葉) から根、茎への ^{14}C 光合成産物の分配率は対照区より移植区で高かったのに対し、第 1 葉や第 2 葉への分配率は移植区より対照区で高かった。

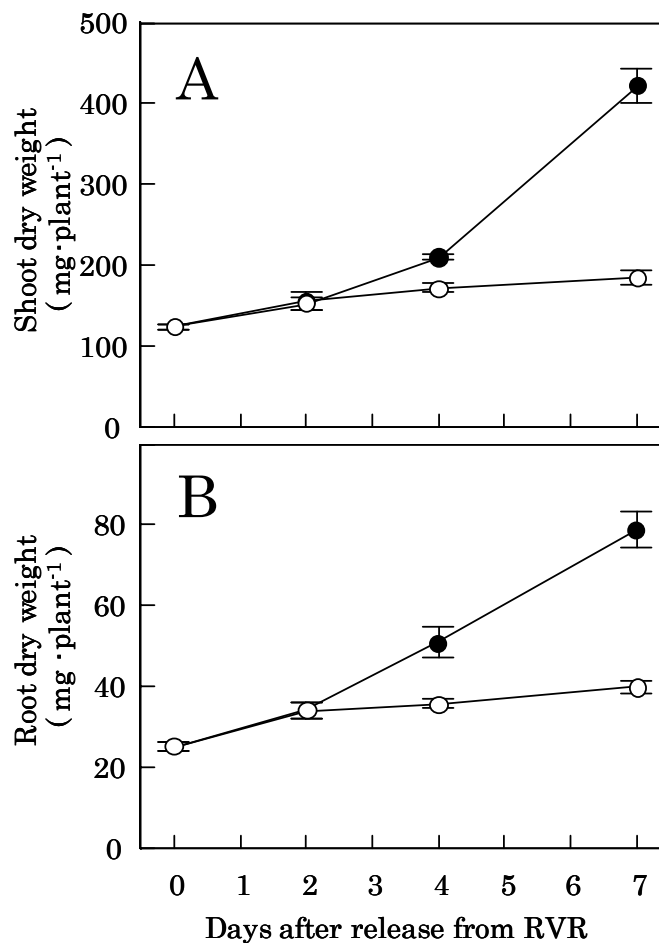


Fig. 1-4 Changes in shoot (A) and root (B) dry weight of released plants (●) and control plants (○). Plants were released from RVR by transplanting from 9-mL containers to 300-mL containers. Vertical bars indicate SE (n = 6).

考 察

本実験では、根域容量が小さいほど苗の生育が抑えられ、その生育抑制の程度は、根や茎よりも葉で顕著であることが認められた。このような傾向は、根域容量の影響について検討したこれまでの報告 (Richards・Rowe, 1977 他) と一致する。根域容量の制限に起因する葉の生長抑制については、根の生長が制限されることによる養水分の吸収量低下が主な原因とされている (Hameed ら, 1987)。さらに、果菜類の幼植物では、根域容量の制限によって導管液の ABA 濃度の上昇 (Liu・Latimer, 1995 ; Hurley・Rowarth, 1999) や根のエチレン生成量の増加 (Peterson ら, 1991) が報告されており、このようなホルモン代謝の乱れが根域容量制限下での茎葉部の生育抑制に関係している可能性も指摘されている。

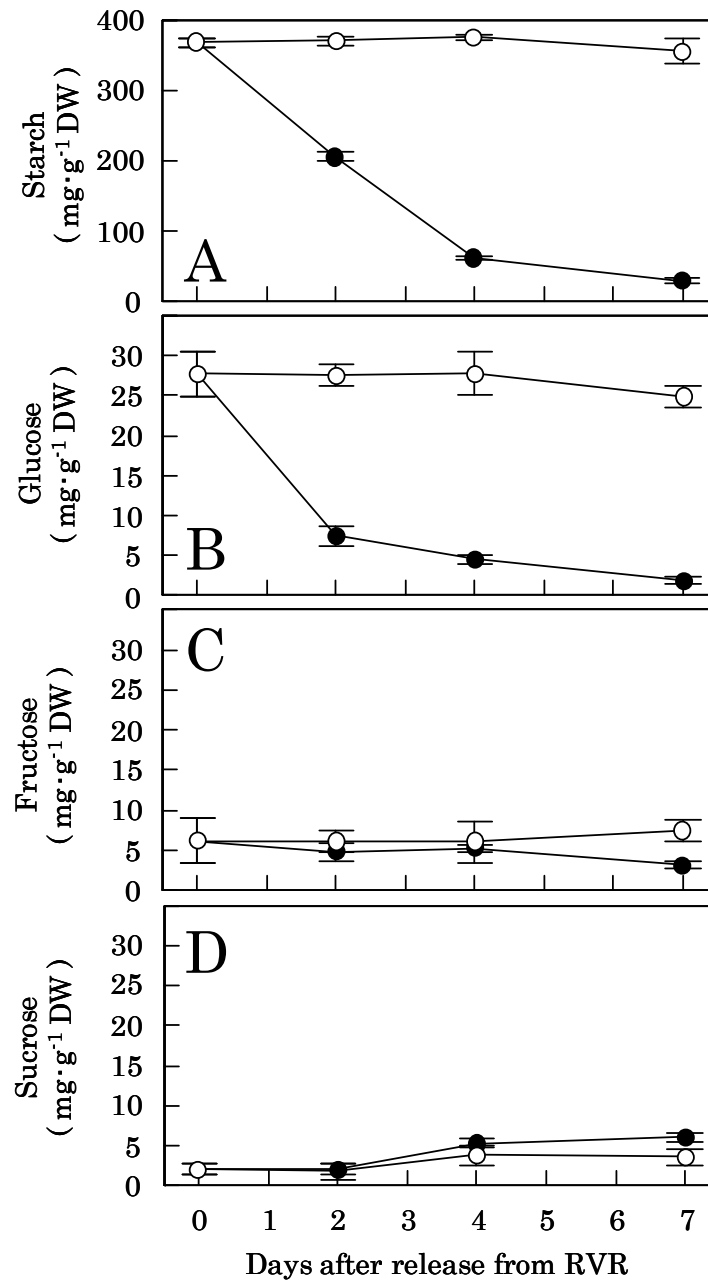


Fig. 1-5 Changes in starch (A), glucose (B), fructose (C), and sucrose (D) contents in leaves of released plants (●) and control plants (○). Plants were released from RVR by transplanting from 9-mL containers to 300-mL containers. Vertical bars indicate SE (n = 6).

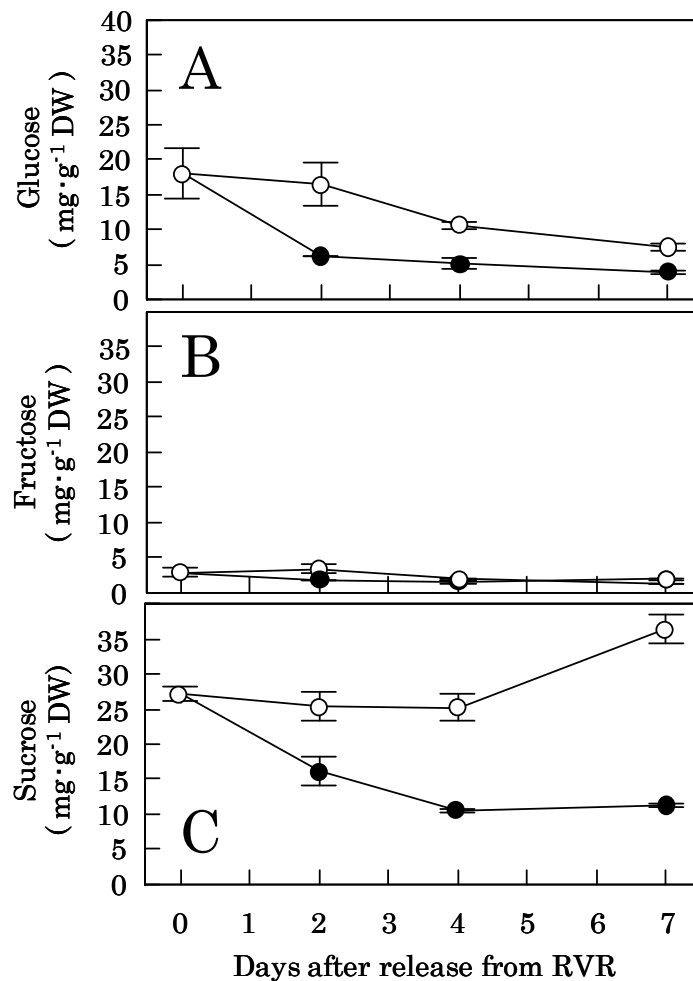


Fig. 1-6 Changes in glucose (A), fructose (B), and sucrose (C) contents in roots of released plants (●) and control plants (○). Plants were released from RVR by transplanting from 9-mL containers to 300-mL containers. Vertical bars indicate SE (n = 6).

本実験では、小さい根域容量で生育した苗ほど、葉や根の炭水化物含量が高かった。根域容量の制限によって生育が抑制された植物では炭水化物が過剰に蓄積することが、これまでもいくつかの作物において報告されている (Krizek ら, 1985; Robbins・Pharr, 1988)。Robbins と Pharr (1988) は、根域容量の制限によってキュウリ幼植物の炭酸同化速度が低下し、葉から他の器官への光合成産物の転流量も低下することを明らかにしている。彼らは、このような根域容量制限による生育抑制と炭水化物蓄積の関係について、根域容量制限下では生育抑制によるシンク能の低下によって光合成産物の転流が停滞し、その結果、余剰となった炭水化物が葉に蓄積されたものと考察している。本実験においても葉の光合成速度は、小さい根域容量で生育した炭水化物含量の高い苗ほど低かったことから、根域

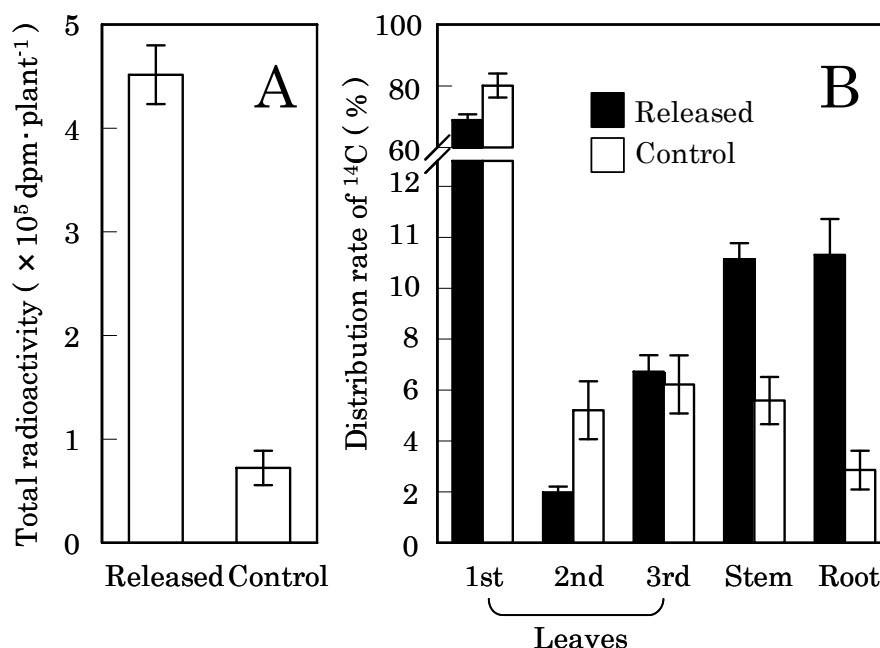


Fig. 1-7 Effect of release from RVR on total radioactivity (A) and distribution rate (B) of ^{14}C -photoassimilates incorporated in the lowest leaves (1st) at 7 d after release from RVR. Plants were released from RVR by transplanting from 9-mL containers to 300-mL containers. ^{14}C -Activity was measured 4 h after the $^{14}\text{CO}_2$ feeding. Vertical bars indicate SE (n = 4).

容量の制限による炭水化物含量の増加は、葉で同化された光合成産物の増加によるものではなく、光合成産物の転流が停滞したことによってもたらされたものと考えられた。

次に、根域容量制限下における光合成産物の転流と炭水化物含量の関係について検討するため、移植によって根域容量が拡大した直後の苗における炭水化物含量の変動および ^{14}C 光合成産物の転流・分配との関係について調査した。その結果、移植した苗では、移植しなかった苗に比べ、葉や根の炭水化物含量が低下した。また、 ^{14}C 光合成産物の分配率は同化葉で低下し、根と茎で増加した。これらの結果は、根域容量の拡大によって炭水化物含量が低下した苗では、光合成産物の根への転流が活発化するというを示している。さらに、本実験では、移植した苗の全放射能活性が移植しなかった苗に比べ高かった。このことは、根域容量の拡大によって光合成活性も活発化したことを示している。一般に、葉の光合成速度は葉の光合成産物蓄積量の変動によってフィードバック調節を受けているとされる (Gifford・Evans, 1981)。移植した苗の乾物重が移植しなかった苗を上回ったのが、炭水化物含量が低下し始めた移植後 4 日目以降であったことから、移植した苗では、光合成産物の転流の活発化による葉の炭水化物含量の低下によって、葉の光合成の活性化が促された可能性も考えられた。このような根域容量制限による光合成能低下にシンク器官の

転流が関与することは他にも報告があり、Kharkina ら（1999）は、キュウリの根域容量を制限しても、強力なシンク器官である果実がある場合には、葉から果実へ光合成産物が活発に転流され、光合成速度が高い値を示すことを明らかにしている。

これらの結果から、キャベツ苗では根域容量が小さいほど葉の光合成速度が低下し、葉や根の炭水化物含量が高まることが明らかとなった。育苗期の根域容量制限による生育抑制や、移植後の根域拡大に伴う生育量増加には、葉から根への光合成産物の転流増減と、それに呼応した光合成活性の変動が関係するものと推測された。

要 約

キャベツ苗において、根域容量が生育と炭水化物含量、光合成活性に及ぼす影響と、根域容量の拡大が生育と炭水化物含量、同化産物の分配に及ぼす影響について調査した。植物体の乾物重は根域容量が 9 mL から 300 mL へと拡大するにつれ増加した。根域容量が小さいほど葉への乾物分配率が低下した。光合成速度は根域容量が大きいほど高かった。葉のデンプンと可溶性糖含量は、9 mL 区の植物体で最も高く、300 mL 区の植物体で最も低かった。根では、デンプンは検出されなかったが、可溶性糖含量は根域容量が小さいほど高かった。植物体を根域容量 9 mL の容器から 300 mL の容器へ移植することによって根域制限を解除したとき、植物体の生育量は増加した。葉と根の炭水化物含量は根域制限の解除によって減少した。葉に取り込まれた ^{14}C 同化産物の総量は解除区が対照区に比べ高く、また、葉から茎や根への ^{14}C 同化産物の分配率も高かった。これらの結果より、キャベツ苗では根域制限に反応して炭水化物代謝が変化し、この変化が苗の生育に密接に関係するものと示唆された。

第2節 育苗日数の影響

第1節では、根域容量が小さいほど苗に蓄積する炭水化物は増加するが、移植によって根域容量が拡大すると、蓄積した炭水化物が急速に分解されることを明らかにした。このことは、苗に蓄積した炭水化物が移植後の初期生育に利用されていることを示唆している。育苗期における根域制限の影響は、セル内の根の密度が増加するにつれて顕著になると想定されることから、育苗日数が異なる場合について移植後の初期生育と苗の炭水化物含量との関係を検討する必要がある。

本節では、育苗日数の増加によってもたらされる根密度の増加が、苗の炭水化物代謝に及ぼす影響について検討し、さらに、蓄積する苗の炭水化物の移植後の初期生育における役割を明らかにするため、育苗日数が異なる苗について、移植後の初期生育、葉の炭水化物含量の挙動、摘葉および遮光処理が根の生育に及ぼす影響を調査した。また、移植前の葉に取り込まれた光合成産物の移植後の転流・分配についても調査し、移植後の初期生育における蓄積炭水化物の役割について検討した。

材料および方法

キャベツ (*Brassica oleracea* L.) 品種‘松波’を供試した。育苗は、12時間明期、温度を25/20℃(明期/暗期)、葉冠部の明期光強度を光合成有効光量子束密度(PPFD)350 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ としたグロースチャンバー内で行った。容量9 mLのセルに育苗用培養土(野菜養土)を詰め、1セル当たり3粒播種した。播種は1週間ごとに3回行い、播種後4日目に1セル当たり1個体に間引きした。播種後10日目より1日1回5分間園試処方5倍希釈液にセルを苗の地際部まで浸漬して底面給水した。第1節と同様に相互遮蔽の影響を除外するため、隣接するセル間に4 cmの間隔を設けた。チャンバー内の相対湿度は特に制御しなかったが、平均46%(最高61%, 最低34%)で推移し、育苗中に苗の萎れや黄化は認められなかった。

実験1. キャベツセル成型苗の器官別炭水化物含量

播種後21日の苗を葉、茎、子葉、根に分け、それぞれの器官の可溶性糖含量とデンプン含量を測定した。分離した器官を速やかに凍結乾燥し、秤量した後粉碎した。20 mgの粉末試料を78℃に加熱した4 mLの80%エタノールで3回抽出し、第1節の方法に準じて可溶性糖含量(グルコース、フルクトース、スクロースの合計含量)とデンプン含量を測定した。

実験2. 移植時の葉の炭水化物含量と移植後の初期生育との関係

葉齢がそれぞれ1葉期、1.7葉期、2葉期に達した播種後14日(14日苗)、21日(21日苗)、28日(28日苗)の苗を、園芸用培養土(園芸培土)350 mLを詰めた硬質ポリポット(内径9 cm、高さ9 cm)に移植し、上記と同じ条件のグロースチャンバー内で7日間栽培

した。移植後も育苗時と同様に1日1回圃試処方5倍希釈液にポリポットを苗の地際部まで浸漬して底面給水した。個体間隔を適宜広げ、相互遮蔽の影響を受けないようにした。

移植時および移植後7日目の茎葉と根の乾物重、その間の個体、茎葉および根の相対生長率、移植時および移植後2, 4, 7日目の葉位別葉面積を測定した。葉面積は葉身長と葉身幅の積との間に高い相関 ($r = 0.99$) が認められたので、葉身長と葉身幅を測定し、得られた一次回帰式 (葉面積 = $0.737 \times \text{葉身長} \times \text{葉身幅} - 0.048$) より算出した。また、移植時に苗に着生する全ての葉を採取し、実験1に準じて葉の可溶性糖含量とデンプン含量を測定した。

実験3. 移植後の葉の炭水化物含量の変化

実験2と同様に14日苗、21日苗、28日苗を硬質ポリポットに移植した。移植時と移植後2, 4, 7日目に第1葉を採取し、実験1に準じて可溶性糖含量とデンプン含量を測定した。

実験4. 摘葉および遮光処理が移植後の根の生育に及ぼす影響

14日苗と28日苗を実験2と同様に移植した。28日苗は第2葉を切除し、14日苗、28日苗ともに移植時に着生する葉を第1葉と子葉のみとした。試験区として、移植時に第1葉をアルミ箔で覆った遮光区、第1葉を切除した摘葉区および対照区の3区を設けた。移植後に展開する上位葉については特別な処理は行わず、移植後4日目と7日目に根の乾物重を測定した。

実験5. 移植前の葉に取り込まれた光合成産物の移植後の転流・分配

播種後19日の苗に $^{14}\text{CO}_2$ 同化処理を第1節の方法に準じて行った。第1葉を $^{14}\text{CO}_2$ 同化用アクリル容器に密封し、容器内に置いた $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ ($18.5 \text{ kBq} \cdot \text{個体}^{-1}$) に50%乳酸を注入して $^{14}\text{CO}_2$ を発生させた。1時間同化させ、その後、第1葉を容器から取り外した。同化処理後2日目(播種後21日目)に実験2と同様に移植した移植区と移植せずそのままセルで育てた非移植区を設けた。同化処理後2日目と6日目(移植時と移植後4日目)に苗を採取し、第1葉と第2葉、子葉、茎(展開した上位葉を含む)、根に分け、 80°C で通風乾燥した。 ^{14}C の測定は第1節の方法に準じて行った。

なお、実験1から3では、各測定ごとに1区あたり6個体を、実験4では、4個体を供試した。

結 果

1. キャベツセル成型苗の器官別炭水化物含量

播種後21日の苗において、可溶性糖は全器官で検出され、その含量は茎と葉で高く、根で最も低かった(第1-2表)。一方、デンプンは葉、茎、子葉で検出されたものの、根では検出されなかった。デンプン含量は茎では可溶性糖含量とほぼ同じであったが、葉と子葉では可溶性糖含量に比べて2倍以上高かった。その結果、器官当たりの可溶性糖とデンプン

Table 1-2 Soluble sugar and starch contents and absolute amounts in organs of cabbage plug seedlings at 21 days after sowing.

Organs	Soluble sugar		Starch		Soluble sugar + Starch	
	(mg·g ⁻¹ DW)		(mg·g ⁻¹ DW)		(mg·g ⁻¹ DW)	
Leaves	91.5±5.8 ^y		251.4±12.6		342.9±14.3	77
Stem	105.6±5.6		104.8± 4.5		210.4± 8.4	7
Cotyledons	55.4±2.2		168.7±18.8		224.1±18.5	15
Root	34.3±4.1		n.d. ^x		34.3± 4.1	1

^z Percentage of soluble sugar and starch amounts in a plant.

^y Mean ± SE (n = 6).

^x Not detected

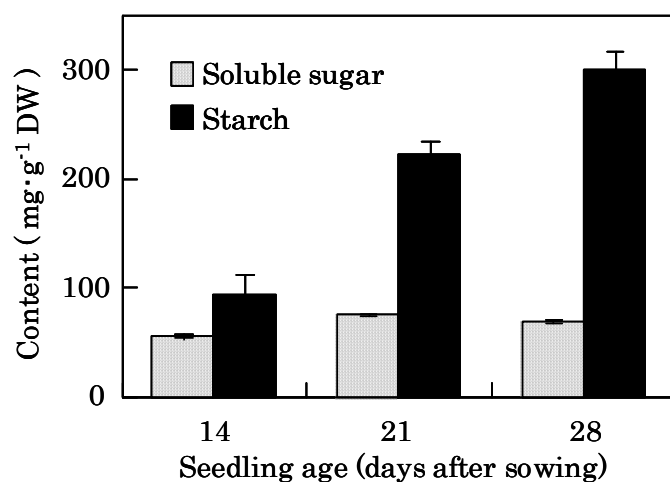


Fig. 1-8 Soluble sugar and starch contents in leaves of cabbage plug seedlings of different ages (14, 21, and 28 days after sowing). Vertical bars indicate SE (n = 6).

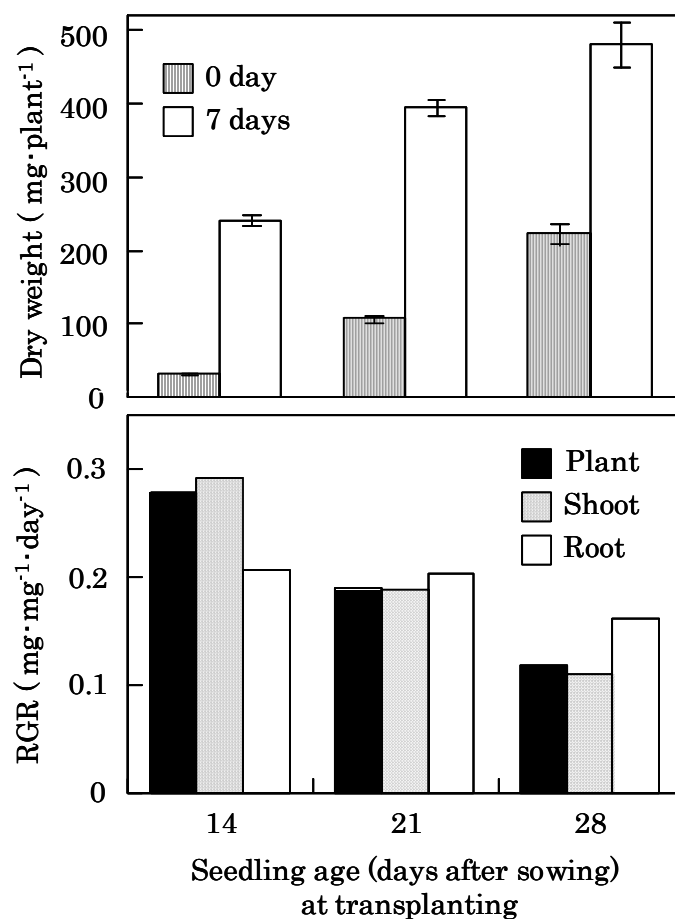


Fig. 1-9 Plant dry weights at 0 and 7 days after transplanting (upper), and relative growth rate (RGR), 7 days after transplanting (lower) of cabbage plug seedlings of different ages (14, 21, and 28 days after sowing). Vertical bars indicate SE (n = 6).

プンの合計量は葉で最も高く、さらに、葉は可溶性糖とデンプンの合計量も最も高く、苗全体の 77%を占めた。それに対し、根の可溶性糖とデンプンの合計量は最も少なく、苗全体の 1%であった。

2. 移植時の葉の炭水化物含量と移植後の生育との関係

葉の可溶性糖含量と育苗日数との間に一定の関係が認められなかったが（第 1-8 図）、デンプン含量は育苗日数が長くなるにつれ増加した。また、いずれの育苗日数の苗でも、デンプン含量は可溶性糖含量に比べ高く、28 日苗ではデンプン含量が可溶性糖含量の 4 倍以上となった。

苗の乾物重は移植時および移植後 7 日目ともに育苗日数の長い苗ほど大きかったが、その間の相対生長率は、逆に育苗日数が長い苗ほど低かった（第 1-9 図）。14 日苗では茎葉の相対生長率が根より高かったのに対し、育苗日数が長くなるにしたがって、茎葉の相対生長率が根より低くなる傾向にあった。移植後の葉面積の増大速度は第 1 葉、第 2 葉については育苗日数が長い苗ほど遅かった。（第 1-10 図）。21 日苗や 28 日苗では葉面積の増大速度が着生葉位によって異なり、上位に位置する若い葉ほど速く増大した。

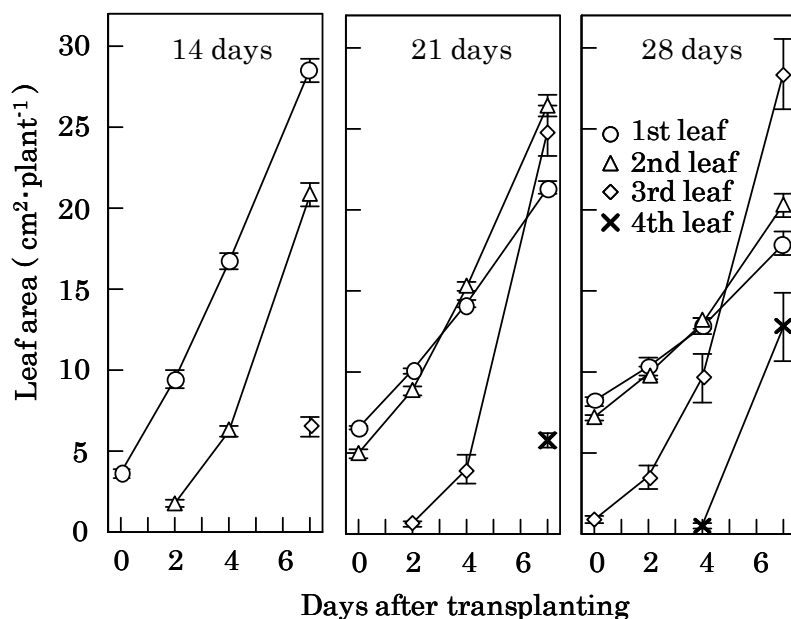


Fig. 1-10 Changes in leaf area of cabbage plug seedlings of different ages (14, 21, and 28 days after sowing), 7 days after transplanting. Vertical bars indicate SE (n = 6).

3. 移植後における葉の炭水化物含量の挙動

葉の成熟程度は着生葉位によって異なると考えられたので、本実験では葉位を限定して第1葉のみを調査した。14日苗と21日苗では可溶性糖含量が移植後2日目より低下した。28日苗では移植後4日目まで大きな変化は認められなかったが、7日目には移植時の6分の1以下まで急減した（第1-11図）。一方、デンプン含量は14日苗では移植後7日間を通して大きな変化は認められなかったが、21日苗と28日苗では、デンプン含量が移植後急速に低下した。その結果、移植時には育苗日数が長い苗ほどデンプン含量が高かったが、移植後7日目にはいずれの苗も同程度となった。

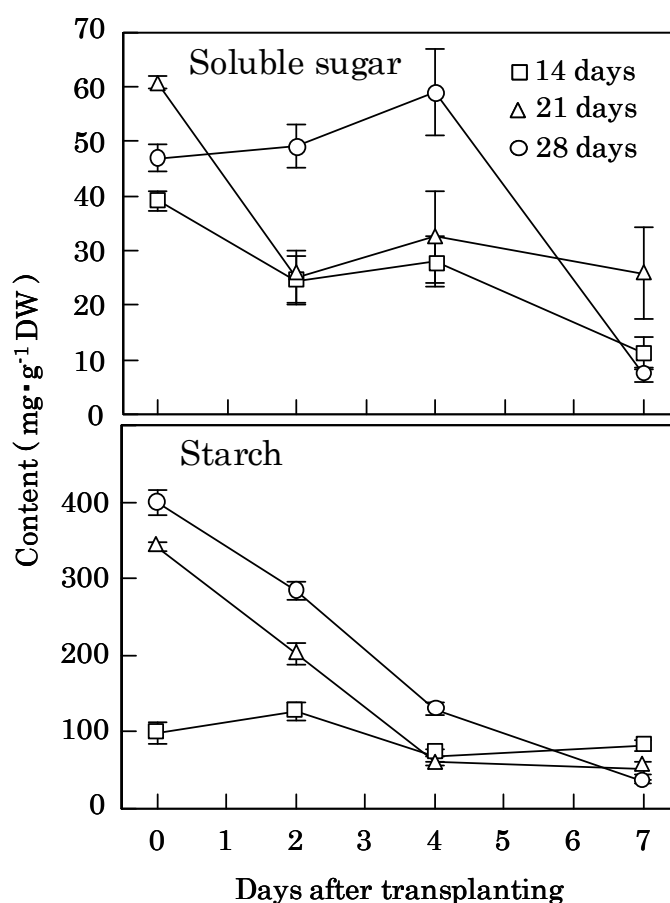


Fig. 1-11 Changes in soluble sugar and starch contents in the 1st leaf of cabbage plug seedlings of different ages (14, 21, and 28 days after sowing), 7 days after transplanting. Vertical bars indicate SE (n = 6).

4. 摘葉および遮光処理が移植後の根の生育に及ぼす影響

移植後7日目の根の乾物重は、14日苗、28日苗ともに摘葉と遮光のいずれの処理でも対照区より低く抑えられた（第1-3表）。14日苗では摘葉区と遮光区で根の乾物重に差が認められなかったが、28日苗では遮光区の根の乾物重が摘葉区よりも大きかった。

Table 1-3 Effects of shading or defoliation of the 1st leaf on root dry weight (mg) of cabbage plug seedlings of different ages at 7 days after transplanting.

Treatments	Seedling age at transplanting (days after sowing)	
	14	28 ^z
Control	36.6a ^y	54.6a
Shading	23.9b	46.1b
Defoliation	21.0b	33.4c

^z The 2nd leaf was removed before the treatments.

^y Mean values followed by the same letter in each column are not significantly different at $P \leq 0.05$, according to Tukey's multiple range test.

5. 移植前の葉に取り込まれた光合成産物の移植後の転流・分配

第1葉に取り込まれた ^{14}C 同化産物の分配率は、移植区では ^{14}C 取り込み後2日目から6日目（移植後4日間）にかけて第1葉で減少し、第2葉、茎および根で増加した（第1-12図）。一方、非移植区でも同期間中に第1葉で減少し、第2葉、茎で増加したものの、第1葉での減少程度や茎部での増加程度は、移植区に比べて小さく、根では分配率に変化が認められなかった。

考 察

前節では、本実験と同様の育苗条件で異なる根域容量（9 mL～50 mL）で苗を育苗し、播種後14日目にはすでに根域容量の影響が生育に現れ、根域容量が小さいほど生育が抑制されることを認めている。キュウリ（Robbins・Pharr, 1988）やダイズ（Krizek ら, 1985）の幼植物体では、このような生育抑制によって光合成産物の転流と消費が滞るために、葉に余剰となった光合成産物が可溶性糖やデンプンとして蓄積することが報告されている。本実験では、キャベツセル成型苗に蓄積する炭水化物のほとんどがデンプンとして葉に存在し、その含量は育苗日数の増加に伴って増加することが認められた。また、育苗初期より苗に着生する第1葉では、移植によって根域容量が大きくなると、育苗日数の長い苗ではデンプン含量が急速に低下したことから、育苗期のキャベツでは、根域制限の影響を受けて余剰となった光合成産物が主にデンプンとして葉に蓄積されと考えられた。

福岡ら（1996b）は、育苗期に短日や遮光など、葉や根の可溶性糖含量とデンプン含量の低下を招く処理によってキャベツセル成型苗の移植後の乾物増加が遅れることを報告している。それに対し、本実験では、育苗日数が長くなるにつれ、葉のデンプン含量は高ま

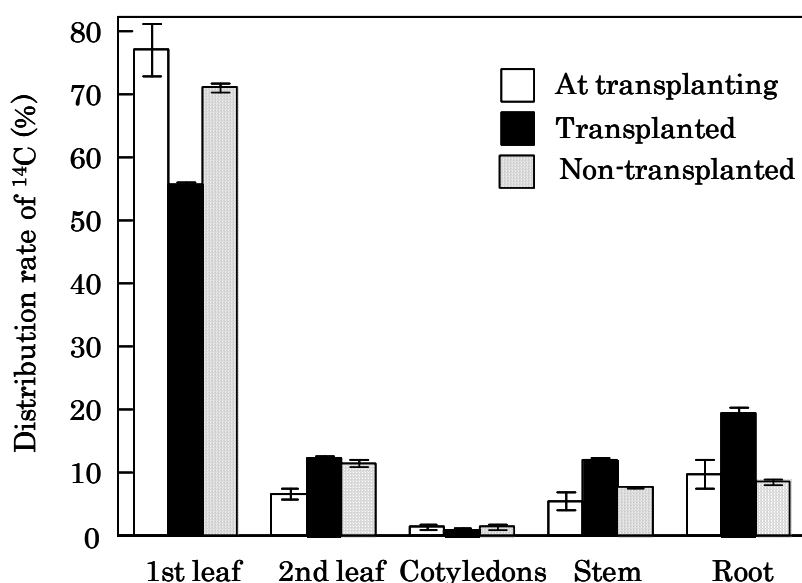


Fig.1-12 Distribution rate of ^{14}C -photoassimilates at transplanting time (2 days after $^{14}\text{CO}_2$ feeding, At transplanting) and 4 days later (6 days after $^{14}\text{CO}_2$ feeding, Transplanted and Non-transplanted). ^{14}C -Photoassimilates were fed to the 1st leaf. Vertical bars indicate SE (n = 4).

るものの、移植後の苗の相対生長率は低下し、同じ育苗日数の苗を供試した福岡ら（1996b）の報告とは異なる傾向を示した。正木・大野（1979）は、ポット育苗したトマトを用い、育苗日数が長いほど移植後の苗の生育が遅れることを明らかにしている。さらに彼らは、移植後に施肥量を増やしても生育が向上しにくくなることを認め、根域制限下での養水分ストレスによる根の機能低下が移植後における生育遅延の原因であると考察している。また、養水分の影響を排除した水耕条件でも、根域制限下では根への物理的なストレスによってABA（Liu・Latimer, 1995；Hurley・Rowarth, 1999）やエチレン（Petersonら, 1991）の生成が促進され、生育が抑制されることがトマトやメロンの幼植物体で報告されている。これらのことから、育苗期の根域制限により生じたホルモン代謝の異常が移植後の相対生長率低下をもたらした可能性も推測された。さらに本実験では、育苗日数の長い苗でも上位に位置する若い葉は、移植後の葉面積の増加が旺盛であるのに対し、下位の葉ほど増加が遅延することが認められた。このことから、移植後の苗全体の葉面積増加率は、育苗日数が増加するにつれ低下すると推測され、その結果、育苗日数の長い苗ほど移植後の相対生長率が低くなるものと考えられる。このように、移植後の生育と蓄積炭水化物含量の関係を育苗日数が異なる苗の間で比較した場合には、根域制限に起因するストレスや葉の成熟程度の差異が大きく影響するため、同じ育苗日数の苗の間で比較した場合と異なると考えられる。

小田ら（2002）は、異なる根域容量で育苗したレタスセル成型苗で、可溶性糖含量が高い苗ほど移植後の茎葉の相対生長率が根の相対生長率に比べて低いことを報告している。本実験では、育苗日数の増加に伴い葉のデンプン含量が増加した苗では、茎葉の相対生長率が根の相対生長率よりも低くなる傾向を示し、さらに、第1葉に蓄積したデンプンは移植後急速に減少することが認められた。移植時のデンプン含量が高い葉ほど移植後の葉面積の増大が遅いことを考えると、葉に蓄積したデンプンが移植後分解され、直接その葉の生長に利用されたとは考えにくく、むしろ分解されたデンプンの多くが根に転流し、その結果、茎葉の相対生長率が根の相対生長率よりも低くなったものと推測された。

そこで、デンプン含量が異なる播種後14日苗と28日苗の第1葉を遮光または摘葉し、移植後の根の生育を比較したところ、根の生育遅延程度は、14日苗では遮光処理と摘葉処理で差が認められなかったのに対し、28日苗では遮光処理の影響が摘葉処理に比べ小さかった。このことは、第1葉に含まれる同化産物の根へ転流量が14日苗より28日苗で多いことを示している。また、 ^{14}C 同化産物の転流・分配についても、移植した苗では移植しない苗に比べ、同化葉である第1葉にとどまる同化産物の割合が小さく、根への分配率が高かった。レタスセル成型苗では、移植によって根域制限が解除されると、根の乾物増加速度が高まると同時に呼吸速度が増加することが報告されている（小田ら、2002）。キャベツセル成型苗では、根の炭水化物含量が葉や他の器官に比べて極めて少ない。そのため、根域制限の解除によって生長や呼吸基質としての炭水化物の要求量が増加したときに、根は他の器官に比べ強いシンク器官として働き、その結果、葉に蓄積した同化産物の多くが根へ転流したと考えられた。

これらの結果から、育苗日数が長くなるにつれ、キャベツセル成型苗の葉の炭水化物含量は高まるものの、移植直後の相対生長率は遅くなることが明らかとなった。また、葉の炭水化物含量が高い苗は、移植後、茎葉の生育より根の生育が上回る傾向にあり、これは、葉に蓄積したデンプンが移植後速やかに分解され、根に転流するためと考えられた。このことから、若い苗は、移植後、主に光合成で得られる同化産物を利用して発根するのに対し、育苗日数が長くなると、光合成で得られる同化産物に加え、展開後日数が経過した古い葉に蓄積したデンプンをより多く利用して発根すると考えられる。このような移植苗の生育特性より、必ずしも光合成に好適な環境が得られるとは限らない露地圃場では、葉のデンプン含量の高い苗ほど移植後により安定した活着を示すものと予測される。

摘 要

育苗日数がキャベツセル成型苗の移植後の初期生育と炭水化物の分配に及ぼす影響について検討した。容量9 mLのセルで育苗したキャベツセル成型苗を播種後14、21および28日目に容量350 mLのポットに移植した。苗に蓄積する可溶性糖とデンプンのほとんどは葉に存在した。葉のデンプン含量は可溶性糖含量より高く、育苗日数が長くなるにつれ

高まった。移植後 7 日間の相対生長率は育苗日数の長い苗ほど低く、また、茎葉の相対生長率が根より低くなった。移植後の葉面積の増大は下位に位置する葉ほど遅かった。第 1 葉に蓄積したデンプンは移植後急速に減少した。播種後 14 日苗では、移植後の根の生育が、第 1 葉の遮光処理と摘葉処理で同程度抑制されたのに対し、播種後 28 日苗では、遮光処理による抑制程度が摘葉処理より小さかった。播種後 21 日苗では、苗を移植すると第 1 葉より取り込まれた ^{14}C 同化産物の根への分配率が増加した。これらの結果から、キャベツセル成型苗では、育苗日数の増加に伴い葉に蓄積したデンプンは、移植後速やかに分解され、根へ転流すると考えられた。

第3節 栽植密度の影響

第1節と第2節の結果は、育苗時に適度な間隔を設け相互遮蔽の影響を除外した条件で得られたものであるが、実際のセル成型育苗では、生育が進むにつれ茎葉部の繁茂による相互遮蔽が成熟葉のデンプン含量や移植後の生育に大きく影響するものと推測される。

そこで本節では、キャベツセル成型苗を通常の栽植密度および相互遮蔽の影響が除外される程度の栽植密度で育苗した苗の生育、炭水化物含量および移植後の初期生育を比較し、相互遮蔽の影響について検討した。

材料および方法

キャベツ (*Brassica oleracea* L.) 品種‘金系201号’を供試した。2003年12月29日に市販の育苗用培養土(野菜養土)を詰めた128穴トレイに播種し、最低夜温10℃に設定加温した野菜茶業研究所内ガラス室(茨城県つくば市)で育苗した。播種後18日目より、栽植密度を1トレイ(1800 cm²)あたり64株となるように苗を根鉢ごと差し替えた疎植区と、通常の1トレイあたり128株の栽植密度でそのまま育苗した対照区の2区を設けた。疎植区では隣接する苗の葉が重ならないようにするため、栽植密度を播種後23日目より1トレイあたり32株、45日目より16株と生育に応じて適宜苗の間隔を広げた。灌水は1日1回、播種後15日目まで水道水で行い、それ以降は園試処方5倍希釈液で行った。また、灌水むらを防止するため、トレイの上面と底面から給液し、常に圃場容水量に達するまで灌水した。試験期間中の平均、最低、最高気温は14.9℃、22.5℃、9.6℃で、天候は概ね良好であった。

苗の生育調査には、1区につき8個体を供試した。播種後20日目より5日おきにトレイの周辺部を除いた株の中から苗を採取し、葉面積と草丈を測定した。採取した株は培養土を洗い流した後、茎葉部と根部に切断して茎葉部の生体重を測定した。さらに葉部(子葉と本葉の葉身部)、茎部(茎と葉鞘部)、根部に分けて凍結乾燥させ、乾物重を測定した。得られた測定値から葉面積指数と比葉面積、乾物率を算出した。その後、乾燥試料は各部位とも2個体分を1つの試料として乳鉢で粉碎した。粉碎した試料の一部(20–30 mg)より、第1節の方法に準じて可溶性糖含量とデンプン含量を測定した。

また、同日に1区8個体ずつ苗を野菜園芸用培養土(園芸培土)を詰めた硬質ポリポット(直径15 cm、深さ10 cm)に移植し、移植後8日目に採取して苗の乾物増加量と根鉢からの発根量を調査した。根鉢からの発根量については、吉岡ら(1998)の方法に準じて行い、移植時に苗の根鉢に1.5 mmメッシュの寒冷紗を巻き付けて移植し、8日間栽培した後、寒冷紗から外に伸長した根を採取して、その乾物重を測定した。

結果および考察

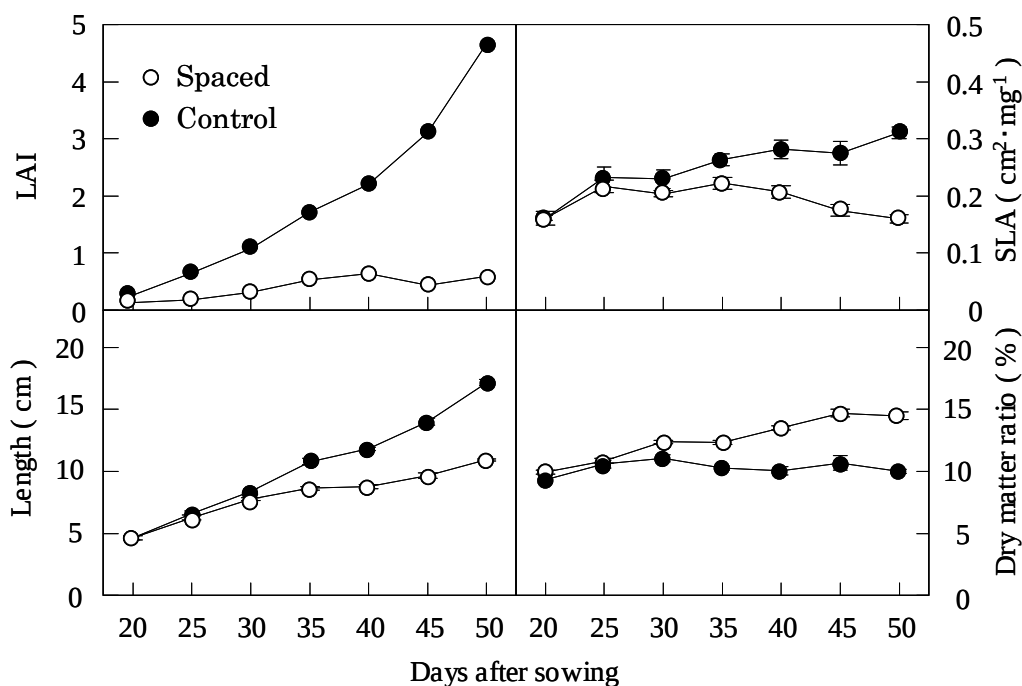


Fig. 1-13 Effect of plant density on leaf area index (LAI), specific leaf area (SLA), shoot length and shoot dry matter ratio of cabbage plug seedlings. Vertical bars indicate SE (n = 8).

1. 栽植密度が苗の生育に及ぼす影響.

疎植区では葉面積指数が試験期間を通して1以下で推移したのに対し、対照区では葉面積指数が育苗日数が長くなるにつれ増加し、播種後50日目には4以上に達した（第1-13図）。このことから、対照区では栽植密度の低い疎植区に比べ隣接する苗同士の相互遮蔽が顕著であったとみることができる。苗の外観的な形質は区によって異なった。すなわち、育苗日数が長くなるにつれ対照区の苗は徒長的な様相を示したが、疎植区の苗は茎や葉鞘が短く葉肉が厚い苗となったため、対照区では疎植区に比べ苗の草丈と比葉面積は高く、乾物率は低く推移した。葉部乾物重は播種後35日目より疎植区が対照区に比べ高く推移し、播種後50日目には約2倍の差が生じ、根部乾物重も播種後40日目以降、対照区より疎植区で高い値を示した（第1-14図）。しかし、茎部乾物重は播種後45日目まで両区に差が認められず、その後は疎植区より対照区で高い値を示した。

2. 栽植密度が苗の炭水化物含量に及ぼす影響

栽植密度は苗の炭水化物含量にも影響を及ぼしたが、その影響は、可溶性糖とデンプンで異なった（第1-15図）。すなわち、デンプンは、葉部と茎部で検出されたものの、根では育苗期間を通じて検出されず、その値は、葉部では播種後30日目、茎部では播種後35日目以降、疎植区で対照区より高く推移した。しかし、可溶性糖含量は葉部と根部で差がな

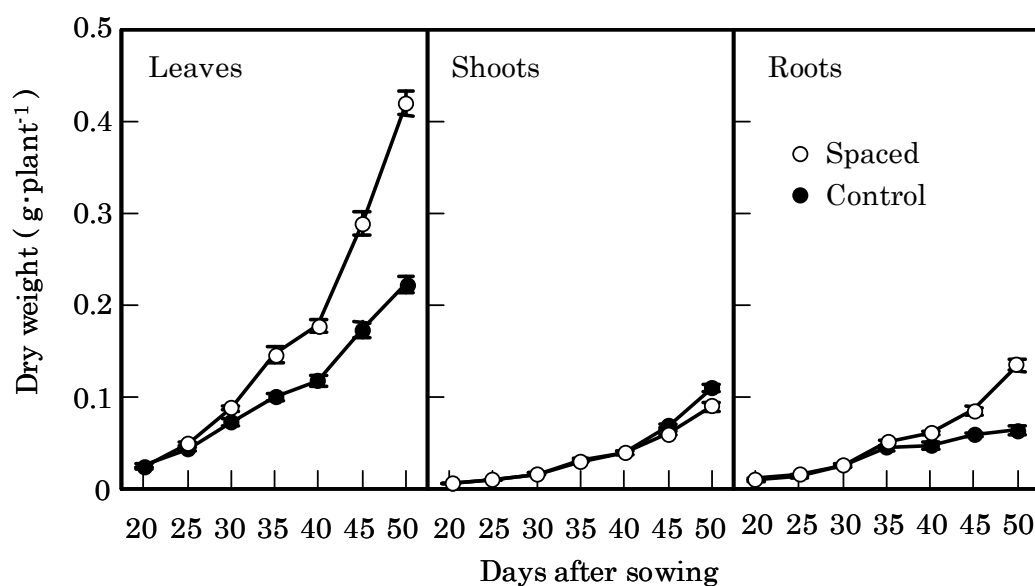


Fig. 1-14 Effect of plant density on dry weight of cabbage plug seedlings. Vertical bars indicate SE (n = 8).

く、茎部では対照区で疎植区より高い傾向にあった。福岡ら（1996b）は、キャベツセル成型苗に 95%の遮光を行い、葉のデンプン含量は処理後一貫して低下するが、可溶性糖含量は処理後 2 日目までの間に一時的に上昇することを明らかにし、遮光による同化産物供給量低下の補償作用として、デンプンの糖への転化が促進されたものと考察している。同様の現象は、暗黒貯蔵したキャベツセル成型苗の葉の炭水化物含量の変化について検討した第 3 章の試験結果や福地ら（1998）の報告からも得られている。これらのことから、キャベツセル成型苗では、育苗期において受光量が変化した際に、デンプンが緩衝的な役割を果たし、その含量を変化させることで、可溶性糖含量が一定に維持されているものと考えられた。

株あたりのデンプンと可溶性糖の合計量は両区とも育苗日数の増加に伴い増加したが、播種後 30 日目以降よりその値が疎植区で対照区を上回った（第 1-16 図）。育苗時の光環境悪化により苗に蓄積する炭水化物が低減することは、これまでもキャベツ（福岡ら，1996b）の他にイチゴ（吉岡ら，1994）やナス（楼・加藤，1998）など多くの作物種で示されている。これらの報告では遮光率 50%以上の遮光や暗黒など受光量を数日間にわたり極端に低下させた処理で得られた結果であり、すでに徒長的な様相を呈していた苗で得られた結果である。一方、本実験の苗は、葉部の株あたりのデンプン含量に処理区間差が生じはじめた播種後 30 日の時点で、葉面積や草丈に大きな差は認められず、また、疎植区と対照区の苗の違いを外観から判別することができなかった。このことから、苗の炭水化物含量は苗の形態に差異が現れるよりも早い時期より相互遮蔽の影響を受けているものと考えられた。

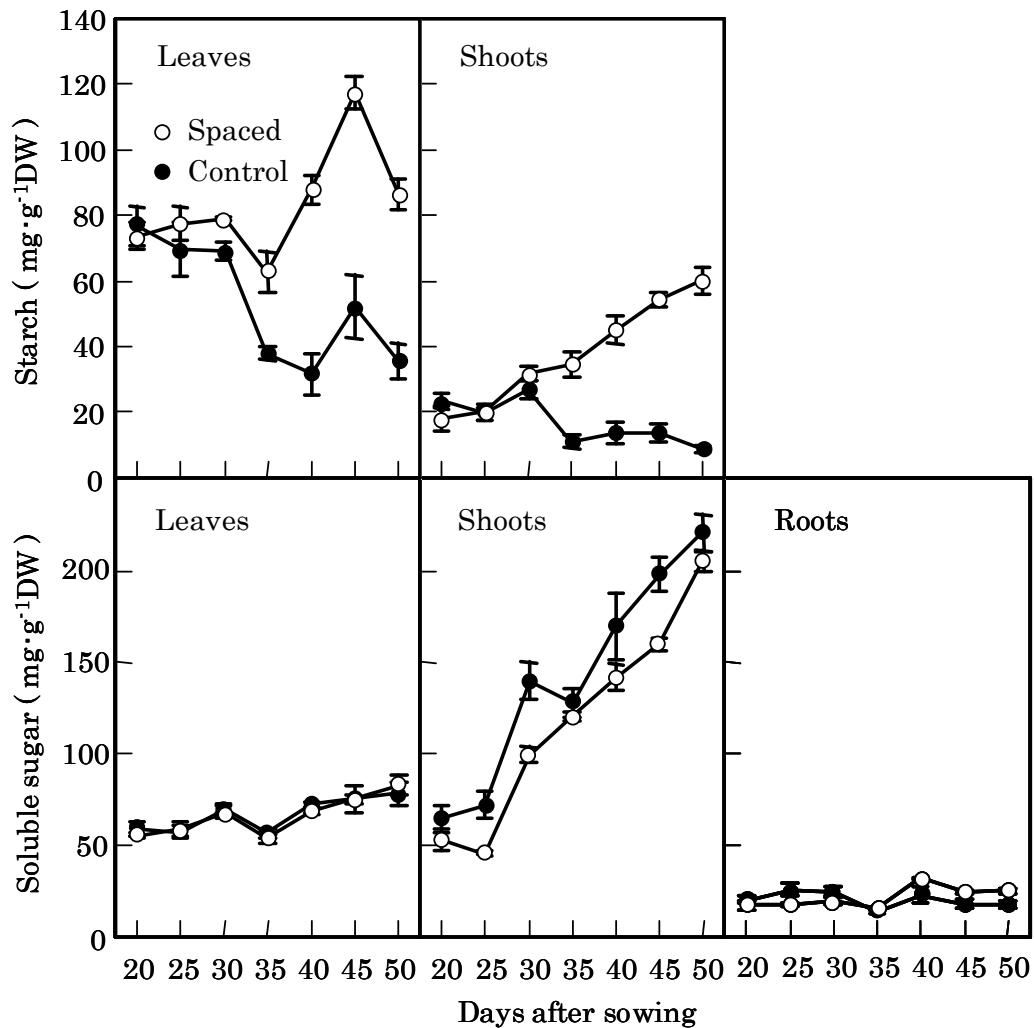


Fig. 1-15 Effect of plant density on starch (upper) and soluble sugar (lower) contents of cabbage plug seedlings. Vertical bars indicate SE ($n = 4$).

3. 栽植密度が移植後の乾物増加量と根鉢からの発根に及ぼす影響

移植後8日間に増加した乾物重は、播種後30日、40日、45日の苗で疎植区の値が対照区から高い値を示したものの、他の育苗日数の苗では両区で差が認められず、全般的に栽植密度の影響が判然としなかった(第1-17図)。しかし、根鉢からの発根量については、栽植密度の影響が明確に認められ、播種後30日目以降の苗で疎植区の値が対照区より高い値を示した(第1-18図)。前節において、キャベツセル成型苗の蓄積炭水化物のほとんどがデンプンとして葉に存在し、デンプンを含まない根の炭水化物蓄積量は葉に比べてきわめて少ないため、移植後の根の生長は葉のデンプンから供出される可溶性糖に大きく依存することを指摘した。福岡ら(1996b)は、遮光したキャベツセル成型苗の移植後の根鉢からの発根量を評価し、葉の炭水化物含量が低下して根への炭水化物供給量が低下すると、

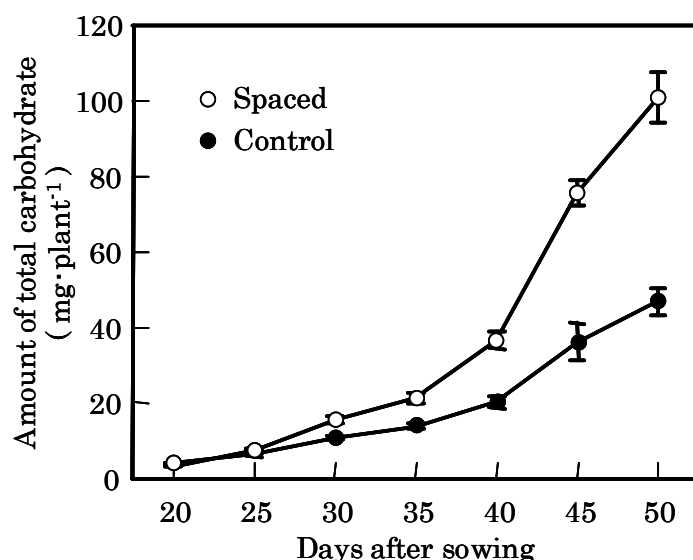


Fig. 1-16 Effect of plant density on absolute amount of total carbohydrate (starch + soluble sugar) in cabbage plug seedlings. Vertical bars indicate SE (n = 4).

それを基質として利用する根の呼吸活性が衰え、発根が遅延することを報告している。本実験においても、疎植区の葉のデンプン含量および株あたりの炭水化物量が対照区を上回った播種後 30 日目より、根鉢からの発根量が上回っていたことから、疎植区と対照区における根鉢からの発根量の差異は、主に炭水化物の蓄積量に起因していると考えられた。

一般に、セル成型育苗では、育苗日数の増加に伴い移植後の発根が遅延し、茎葉部の生育も遅くなる、いわゆる苗の老化がみられるとされている（福地・青柳，1996；佐藤ら，1996a）。この要因として、根密度の増加による根の養分吸収能低下（正木・大野，1979）や根の呼吸活性の低下（清水ら，1995；小田ら，2002）など主に地下部の生理異常が指摘されているが、本実験の結果をふまえると、茎葉部の相互遮蔽も移植後の発根遅延に関与していると推測される。本実験では、各育苗日数の苗の移植後の発根量を異なる日に調査しているため、これらを比較することはできないが、藤原ら（1998b）は、播種後 62 日目まで 4 段階の育苗日数のキャベツセル成型苗の移植後の根鉢からの発根量を同じ環境条件のもとで苗の引き抜き抵抗値を用いて比較し、育苗初期の苗では苗の大きさに比例して引き抜き抵抗値も高くなるが、播種後 39 日目以降の苗では、引き抜き抵抗値が変わらないことを明らかにしている。前節で認められたように、キャベツセル成型苗は、育苗日数が多い苗ほど葉に蓄積した炭水化物をより多く利用して移植後根が生長する。しかし、通常の栽植密度で育苗した場合には、育苗日数が多くなるにつれて相互遮蔽が顕著となり、移植後に葉から根へ供給されるべき蓄積炭水化物が量的に不足し、それが原因となって移植後の発根力が低下し、活着が遅延するものと考えられた。

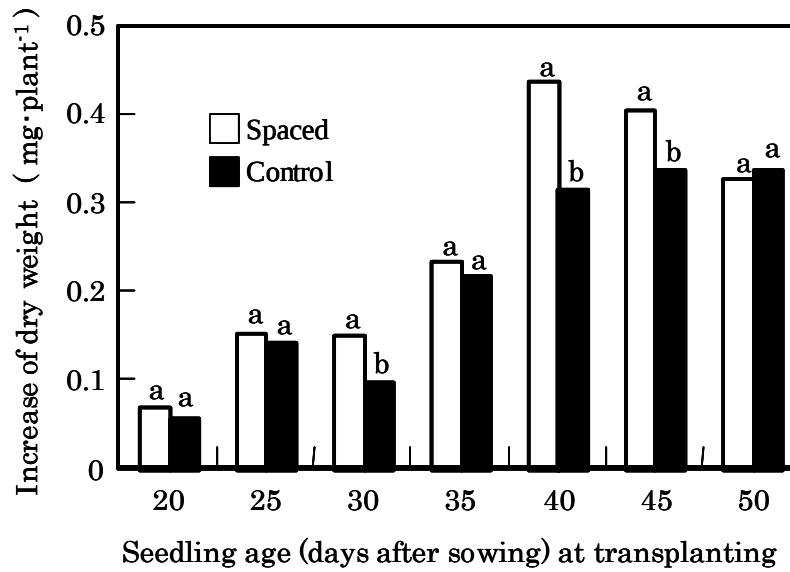


Fig. 1-17 Effect of plant density on increase of dry weight of cabbage plug seedlings of different ages, 8 days after transplanting . The same letters in each seedling age are not significantly different at $P \leq 0.05$, according to Tukey's multiple range test.

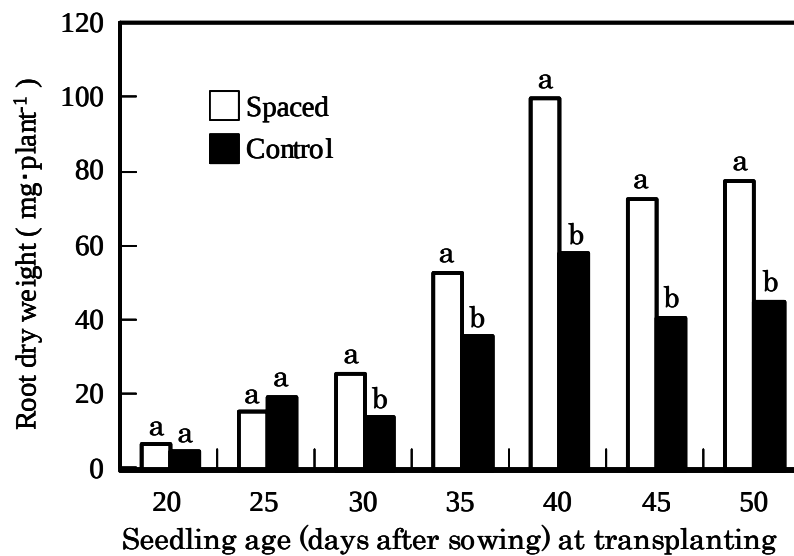


Fig. 1-18 Effect of plant density on root dry weight elongated outer the root ball of cabbage plug seedlings of different ages at 8 days after transplanting . The same letters in each seedling age are not significantly different at $P \leq 0.05$, according to Tukey's multiple range test.

要 約

キャベツセル成型苗を通常の栽植密度（対照区，128 株/トレイ）および相互遮蔽の影響が除外される程度の栽植密度（疎植区，＜64 株/トレイ）で苗を育苗し，これらの苗の生育，炭水化物含量，光合成活性，移植後の生育に及ぼす影響を比較した．育苗日数が多くなるにしたがって，対照区の苗は疎植区の苗に比べ，茎葉部の乾物率が低下し，草丈が増加して徒長的な様相を示した．茎部の乾物重に大きな差は認められなかったが，葉部と根部では対照区より疎植区で旺盛な乾物増加を示した．デンプンは葉部と茎部で認められ，その含量は育苗日数が多くなるにしたがって対照区より疎植区で高い値を示した．一方，可溶性糖含量については栽植密度の影響が認められなかった．株あたりのデンプンと可溶性糖の合計量は，両区とも育苗日数の増加に伴い増加したが，増加量は対照区より疎植区で多かった．移植後の乾物増加量については栽植密度の影響が明らかではなかったが，根鉢からの発根量は，疎植区の葉のデンプン含量が対照区を上回った時期より疎植区で対照区より高い値を示した．これらの結果から，育苗日数が多くなるにつれて相互遮蔽が顕著となると，苗のデンプン蓄積量が減少し，それが原因となって移植後の発根が遅延すると考えられた．

第2章 エブ&フロー方式灌水における肥培条件がキャベツセル成型苗の生育および機械移植適性、結球重に及ぼす影響

緒 言

育苗センターなどの大規模育苗施設では、苗の生産効率に優れ、育苗管理の機械化が図りやすいセル成型苗が積極的に導入されている。セル成型苗は、地床苗やポット苗に比べて、培養土量が極端に少なく、栽植密度が高いことから、苗の生育が環境条件によって左右されやすい。周年を通じて良質で均一な苗を生産するためには、灌水・肥培管理に熟練した経験と技術を必要とする。特に、これらの管理が膨大な面積に及ぶ専門的な育苗施設では、管理作業に多大な労力を要し、経験の浅い作業者が管理を行う場面も多いことから、省力的で簡素化された灌水・肥培管理法のマニュアル化が強く望まれている。

セル成型育苗の灌水・肥培管理には、スプリンクラーなどによる液肥の頭上灌水が一般に用いられているが、この方法では、液肥灌水時に液肥の補給・調整を行う必要があり、育苗後期に葉の遮蔽による灌水むらが起こりやすいことが問題点として指摘されている（藤原ら，1998）。一方、一時的にトレイを灌水液に浸し、トレイ底面より給液するエブ&フロー方式灌水は、灌水むらがなく、頭上灌水に比べ省力的である（藤原ら，2001）、灌水液を循環利用するため余剰灌水液の系外への排出がない（渋谷ら，1999）などの利点をもつことに加え、葉に水が直接かからないため水滴を介した病原菌伝播や葉面散布された薬剤の流亡の軽減などの効果も期待できることから、セル成型育苗における効果的な灌水・肥培管理法と考えられる。

キャベツのような個体当たりの葉面積が比較的大きいセル成型苗では、育苗後半に茎葉部が過繁茂となって徒長しやすいため、移植に適した期間が短い（菅沼・岩瀬，1993；Franzら，1998）。第1章では、過繁茂によって徒長したキャベツセル成型苗は、移植後の発根が遅延することを明らかにした。したがって、キャベツセル成型苗では、育苗後半に苗の生育を抑え、徒長を回避することが必要である。しかし、エブ&フロー方式灌水では、天候や苗の生育段階に関わらず、培養土に十分な水分量を安定的に保つことは可能である（村田ら，1992；渋谷ら，1999）ものの、一回当たりの灌水量を厳密に制御することが難しく、灌水量が常に圃場容水量に達するため、苗の生育を抑制する程度まで灌水量を制限することは困難である。

エブ&フロー方式灌水がすでに実用化されている花き類の鉢物栽培では、灌水液に添加する肥料の添加時期や濃度の調節が植物の生育を調節する上で有効であることが報告されている（須田ら，1996）。しかし、セル成型育苗への適用は試みられていない。そこで本章では、エブ&フロー方式灌水によるキャベツセル成型育苗において、灌水液に添加する肥料の添加時期および添加時の肥料濃度が、苗の生育に及ぼす影響を調査し、肥培管理による苗の生育制御の可能性について検討した。加えて、この方式により育成された苗の機械

移植適性，収穫時の結球重を調査し，その実用性についても検討した．

材料および方法

1. エブ&フロー方式灌水装置

試作した小型のエブ&フロー方式灌水装置（第 2-1 図）は，1 試験区当たり貯液タンク 1 個と育苗コンテナ 2 個で構成される．育苗コンテナは透明の亚克力製で，1 個の育苗コンテナには，育苗箱に入れた 2 個のセルトレイを設置した．セルトレイと育苗コンテナ底板との間に亚克力製の角棒（長さ 40 cm，太さ 1 cm）を平行に 2 本おいて 1 cm の空間を設け，トレイ底面部が通気されるようにした．給液時はタンク内の灌水液を家庭用水中ポンプ（N-30P，松下電器）で育苗コンテナに給液した．ポンプの動作はタイマーによって制御し，1 日 2 回（午前 7 時と午後 2 時），各 10 分間ポンプが作動するように設定した．育苗コンテナには，オーバーフロー用の排水口を設け，コンテナ内の灌水液の水位が，トレイの底面から 4 cm の高さに達した時点で一定となるようにした．ポンプ停止後は自然排水によって育苗コンテナの余剰灌水液を全て貯液タンクに回収し，再び灌水に利用した．

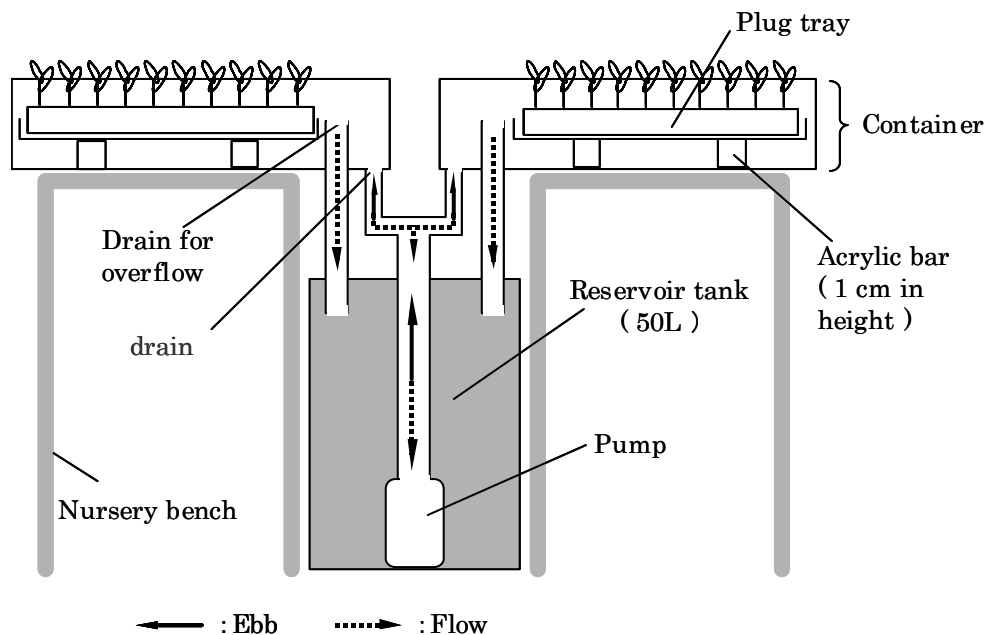


Fig. 2-1 Ebb & Flow irrigation system

2. 供試材料

育苗は1999年から2000年にかけて秋期、冬期、夏期の3時期に行い、いずれの育苗時期においても供試材料に、キャベツ (*Brassica oleracea* L.) 品種“松波”を用いた。1999年10月4日(秋期)、2000年1月11日(冬期)、6月28日(夏期)に、肥料成分を含まないピートモス系の培養土を詰めた128穴トレイに播種した。育苗は冬期のみ加温された野菜茶業研究所内ガラス室(三重県安濃町)で行い、播種後直ちにトレイを小型エブ&フロー方式灌水装置に設置した。育苗は、後述する後半1/5区および後半1/10区の苗が第3葉展開期を迎えた播種後32日(秋期)、37日(冬期)、28日(夏期)まで行った。育苗期間の平均、最高、最低温度は、それぞれ、秋期で22.3℃、37.9℃、9.1℃、冬期で17.7℃、27.2℃、6.7℃、夏期で28.3℃、41.3℃、18.9℃であった。いずれの時期においても、長期的な雨天や曇天はなく、天候は概ね良好であった。

3. 試験区

本試験では、後述する後半1/5区および後半1/10区の苗の第2葉が展開し始めた1.5葉期(秋期:播種後21日、冬期:播種後28日、夏期:播種後18日)を境に育苗前半・後半とし、試験区に肥料を添加する時期と添加時の肥料濃度を変えた計4区を設定した。すなわち、播種直後より貯液タンクの灌水液を園試処方1/5濃度、1/10濃度となるように肥料を添加した区を1/5区、1/10区とし、また、育苗前半の灌水液は水道水のみとし、育苗後半から園試処方1/5濃度、1/10濃度となるように肥料を添加した区を後半1/5区、後半1/10区とした。タンク内の灌水液は試験期間を通して常に50L一定とし、培養土からの蒸発や苗の蒸散による減少分は水道水で補った。

4. 調査方法

ア) 灌水液のEC

後半1/5区および後半1/10区の第1葉が展開し始めた播種後14日(秋期)、19日(冬期)、12日(夏期)より、携帯型ECメーター(SC-32、横河電気)で経時的に貯液タンク内の灌水液のECを測定した。

イ) 苗の生育

各試験区ごとにトレイの中央部から苗を10個体抽出し、後半1/5区および後半1/10区の第1葉が展開し始めた播種後14日(秋期)、19日(冬期)、12日(夏期)から育苗終了時にかけて苗の葉面積と草丈を経時的に調査した。また、育苗終了時に各試験区ごとに10個体の苗を採集し、茎葉部・根部乾物重を測定した。

ウ) 機械移植適性および結球重

機械移植適性および結球重の調査は、野菜茶業研究所近隣地域における供試品種の作型と適合する夏期育苗の苗について行った。野菜茶業研究所内圃場に畝間60cm、畝高20cmの1条畝を設け、育苗終了時(7月27日)に苗を市販の全自動移植機(ACP-1WP、ヤンマ

一)を用いて株間 33cm の間隔で移植した。移植後、所定の位置に移植されなかった苗（欠株）に加え、移植の際に葉身や葉鞘が損傷した苗（損傷株）、苗の大半が土中に埋没した状態や根鉢が露出した状態の苗（不良植付姿勢株）を調査し、移植に用いた全株に占めるこれらの苗の発生割合（非適正移植株発生割合）を算出した。その後、非適正移植株を植え直し、慣行法に準じて栽培した。10 月 27 日に一斉収穫し、収穫株の結球重を調査した。非適正移植株の発生割合および結球重の調査個体は、ともに一区 60 株 4 反復とした。

結 果

1. 灌水利の EC の推移

肥料を添加する前の原水の EC はおよそ $0.2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ であった（第 2-2 図）。肥料添加によって EC は 1/5 区と後半 1/5 区で $0.6 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、1/10 区と後半 1/10 区で $0.4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ に上昇したが、その後、いずれの試験区においても徐々に低下し、肥料添加前の値に収束する傾向が認められた。また、冬期に比べ貯液タンクへの水道水の補充量が多かった夏期や秋期では、灌水利の EC 低下が早かった。

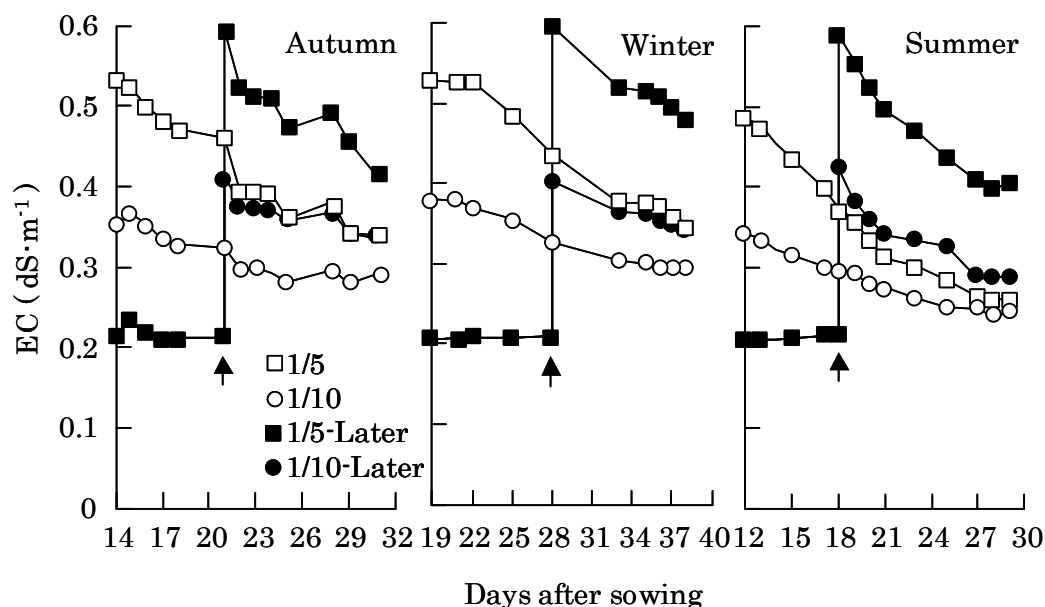


Fig. 2-2 Changes in electric conductance (EC) of solution in the reservoir tanks.
The allows showed the fertilization time.

2. 苗の生育

肥料の添加時期が同じ試験区間では、いずれの育苗時期においても、灌水液の EC が高いほど草丈の伸長が大きかった（第 2-3 図）。一方、後半 1/5 区と後半 1/10 区では、肥料添加によって灌水液の EC がそれぞれ 1/5 区と 1/10 区より増加したものの、その後の伸長は緩慢で、添加時期の遅れによって生じた草丈の差は育苗期間を通じて縮小されなかった。育苗中の葉面積の推移は草丈とほぼ同様の傾向を示した（第 2-4 図）。添加時の肥料濃度が高いほど、また、肥料の添加時期が早いほど、葉数の増加が早く、個葉の展開も速かったため、苗全体の葉面積は大きかった。草丈や葉面積の増加量が最も大きかった 1/5 区では、育苗時期によってこれらの増加程度に大きな差が認められたのに対し、1/10 区、後半 1/5 区、後半 1/10 区と、草丈と葉面積の増加が遅い試験区ほど、育苗時期による差は小さくなった。

育苗終了時における茎葉部の乾物重は葉面積の大きさを反映しており、いずれの育苗時期においても、肥料添加時期が早いほど、また、添加時の肥料濃度が高いほど重かった（第 2-1 表）。根部の乾物重も茎葉部とほぼ同様の傾向を示したが、処理による影響は、茎葉部に比べ小さかった。

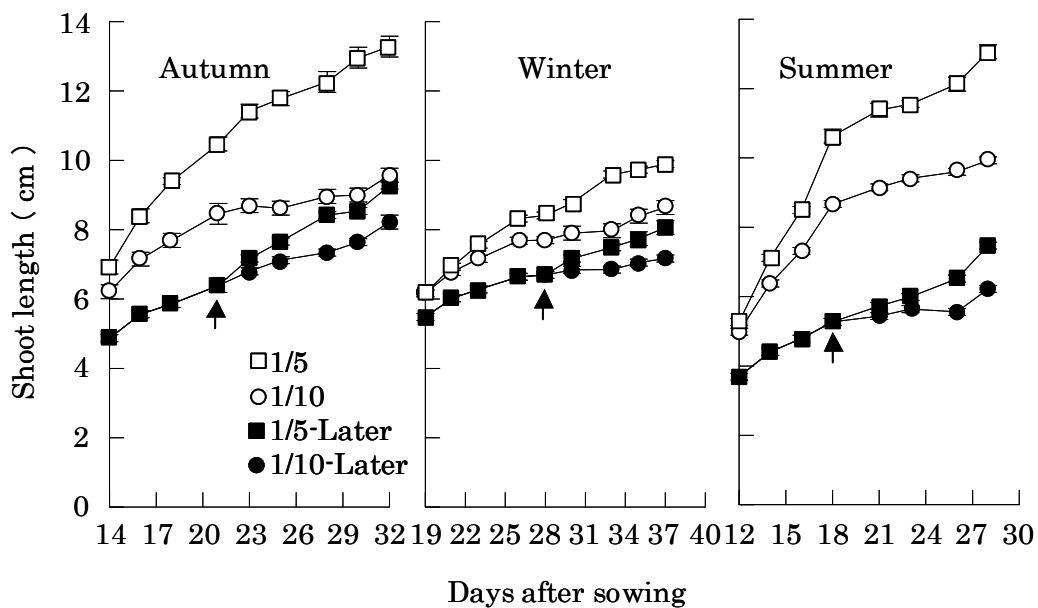


Fig. 2-3 Effect of fertilization timing and nutrient concentration at the start of fertilization on shoot length of cabbage plug seedlings. The arrows showed the fertilization time. Vertical bars indicate SE (n = 10).

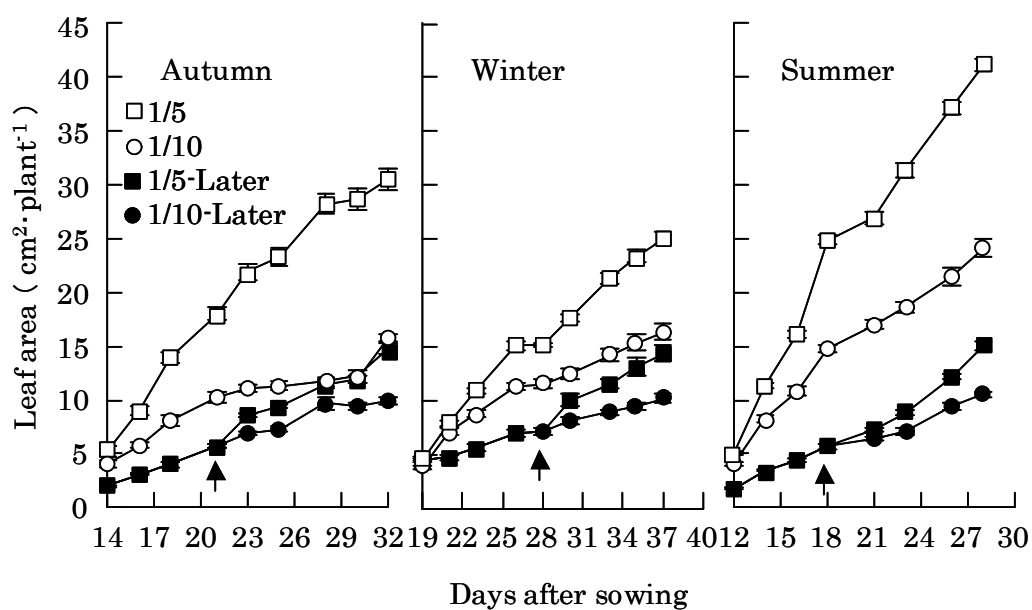


Fig. 2-4 Effect of fertilization timing and nutrient concentration at the start of fertilization on leaf area of cabbage plug seedlings. The allows showed the fertilization time. Vertical bars indicate SE (n = 10).

Table 2-1 Effect of fertilization timing and nutrient concentration at the start of fertilization on dry weight (mg · plant⁻¹) of cabbage plug seedlings at the transplanting.

Treatments	Autumn		Winter		Summer	
	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
1/5	184.0a ^z	36.7a	172.3a	37.7a	300.7a	34.4a
1/10	123.4b	29.5b	139.5b	32.9b	185.7b	30.8a
1/5-Later	102.4c	28.1b	103.6c	23.9c	116.6c	22.3b
1/10-Later	88.4d	24.4c	93.1c	22.5c	103.2c	21.5b

^z: Mean values followed by the same letter in each column are not significantly different at $P \leq 0.05$, according to LSD test.

3. 機械移植適性および結球重

全自動移植機による移植時の非適正移植株発生割合については、苗が最も大きかった1/5区では、非適正移植株発生割合が20.8%と最も高く、そのほとんどが損傷株であった(第2-5図)。1/10区は3.4%と処理区の中で最も低く、後半1/5区、後半1/10区と苗が小さくなるに従って、6.1%、10.3%と再び増加し、そのほとんどが不良姿勢株と欠株であった。結球重は1/5区が他区よりやや高かったものの、これらの試験区間に有意差は認められなかった(第2-6図)。

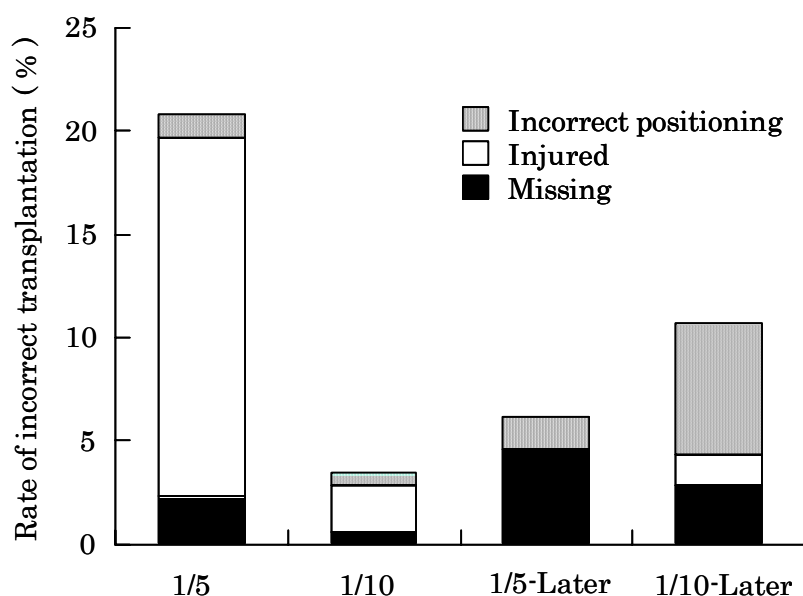


Fig. 2-5 Effect of fertilization timing and nutrient concentration at the start of fertilization on rate of plants incorrectly transplanted by the automatic transplanter.

考 察

一般にセル成型育苗では液肥灌水が行われる。菅沼・岩瀬(1993)は、頭上灌水法によるキャベツセル成型育苗では、苗の大きさが移植適期に達した時点で灌水時の液肥施用を中止し、水のみを施用することで、その後の苗の生育が抑制され、移植に適した状態を長期間維持することが可能であることを報告している。しかし、貯液タンク内の灌水液を循

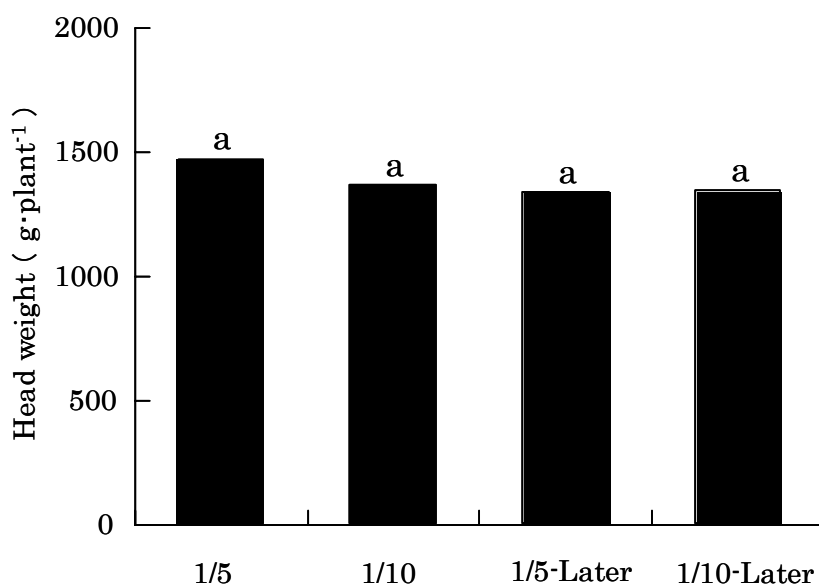


Fig. 2-6 Effect of fertilization timing and nutrient concentration at the start of fertilization on head weight at the harvest.
The same letters are not significantly different at $P \leq 0.05$, according to LSD test.

環利用するエブ&フロー方式灌水で、この方法を用いる場合、液肥灌水を中断する際に貯液タンク内の灌水液を全て入れ替える必要がある。このようなエブ&フロー方式灌水では、肥料の添加時期および添加時の肥料濃度の調節が省力的に肥培条件を調節する有効な手法と考えられるが、これらの調節によって移植に適した苗の状態を省力的に長期間維持するためには、肥培条件が苗の生育にどのように影響するかを把握することが必要である。そこで本試験では、肥料の添加時期および添加時の肥料濃度が異なる条件下での、灌水液の肥料濃度の変化に対する苗の生育反応について調査した。

育苗中の草丈や葉面積の増加は、肥料の添加時期が同じ場合には、添加時の肥料濃度が高いほど大きくなる傾向を示した。しかし、添加時の肥料濃度が同じでも、育苗後半より肥料を添加した区では、育苗前半から添加した区に比べ育苗後半に灌水液のECが高まったにもかかわらず、肥料添加時期の遅れによって生じた生育差は縮小されなかった。このことから、育苗の早い時期より肥料を添加すると、その後灌水液の肥料成分が希釈されても、生育量は低下しにくいのに対し、肥料の添加時期が遅くなるにしたがって、灌水液の肥料濃度を高めても苗の生育量は増大しにくくなるといえる。

この点に関して、固形培地を用いる養液栽培で多量の肥料成分が培地に集積すること（岩崎ら, 1999; 峯ら, 2000）が知られているように、エブ&フロー方式灌水においても、多量の肥料成分が培養土表層に集積していると予測される。そのため、育苗前半から添加

した区では、後半に灌水液の EC が低下しても、培養土に集積した肥料成分の作用によって旺盛な生長が持続されたことが推測された。さらに、Macduff ら（1993）はエンドウで、Walker ら（2001）はレタスで、窒素制限によって植物の生育が一時的に抑制されると、窒素制限解除後の生育が窒素制限が課せられた期間やその程度によって異なることを認め、窒素制限が課せられた期間に分化した葉では、その影響が不可逆的となることが、その原因であると考察している。このことから、育苗後半から肥料を添加した区では、育苗前半より存在していた葉において、無肥料条件の影響が育苗後半も続いたことも、肥料添加後に灌水液の EC が高まっても苗の生育が比較的遅かった原因の一つと推測された。

秋期、冬期、夏期で苗の生育を比較すると、生育が緩慢となった試験区ほど、育苗時期による生育差は少なく、苗の生育は安定的であった。肥料添加量の低下や添加時期の遅れにより肥料の供給が制限されるに従って、肥培条件が葉面積や草丈の増加を律速する要因として強く現れた結果、気温など他の環境条件の影響が小さくなったためと考えられた。

このように、エブ&フロー方式灌水では、肥料の添加時期を遅らせ、添加時の肥料濃度を低くすることで、育苗後半の生育は緩慢となり、そのような条件下では、季節変化に対し苗の生育は安定的であった。しかし、移植時の苗の大きさは移植後の生育や収量に影響し、また、機械移植を前提として利用されるキャベツセル成型育苗では、移植機に適した性状を持つ苗が求められる（藤原ら、1999）ことから、実用場面において支障のない程度の苗の大きさを維持する必要がある。

夏期育苗の苗について機械移植適性を調査した結果、機械移植時の非適正移植株発生割合は 1/5 区で最も高く、そのほとんどが損傷株で占められていた。西本・泰松（1996）は、育苗期における苗の倒伏や葉柄の伸長による隣接苗への茎葉のはみ出しが損傷の発生を助長すると報告している。このことから、生育が最も旺盛であった 1/5 区では、苗がやや徒長し、茎葉が絡み合った状態で移植されたために、損傷株の発生が高まったものと推測される。また、1/5 区に次いで非適正移植株発生割合が高かった後半 1/10 区については、そのほとんどが不良植付姿勢株と欠株で占められていた。現在市販されているセル成型苗用全自動移植機のほとんどは、2 本の針状金具を培養土に差し込み、苗を抜き取る苗取出し爪式が採用されている（日本施設園芸協会、1999）。この方式では、抜き取り時に根鉢が壊れやすいと、苗がトレイより抜き取られなかったり、植え付け時の苗の姿勢が不安定となる。後半 1/10 区では、苗が小さいため蒸散量が少ないと推測され、植え付け時の根鉢はかなり湿った状態にあった。また、根量も少なかったことから、後半 1/10 区では根鉢が壊れやすい状態にあったために、不良植付姿勢株と欠株が増加したものと考えられた。一方、上記の 2 区に対し、苗の性状が中間的なものとなった 1/10 区と後半 1/5 区では、非適正移植株発生割合が比較的少ないことから、機械移植に適した性状であるといえる。これらの区では他の育苗時期においても、苗の性状が夏期育苗における両区の範囲内にあることから、同様に非適正移植株発生割合を抑えられるものと推測された。

結球重について調査した結果、移植時では苗の大きさに顕著な差があったが、収穫時で

は試験区間において結球重に有意差は認められなかった。移植直後における苗への水分の供給は根鉢に含まれる水分に依存し、移植後における根鉢の乾燥は、その後の生育を遅らせることが報告されている（藤原ら，1998a）。茎葉部が大きく、また、根鉢の根密度が高い苗では、水分の消耗が激しく、根鉢がより早く乾燥すると予測される。特に、高温期は土壌が乾燥しやすいことから、この現象がより顕著に現れ、大きい苗ほど移植後の生育が抑制された結果、移植後の生育が均一化されていたものと考えられた。

以上の結果より本試験では、エブ&フロー方式灌水によるキャベツセル成型苗の生育速度や生育量は、肥料の添加時期と添加時の肥料濃度によって異なることが認められた。これらの適切な調節により、簡易的に苗の生育制御が図れるものと考えられ、本試験で用いたエブ&フロー方式灌水装置による夏期育苗では、1/10 区、または、後半 1/5 区の肥料施用条件とすることで、育苗後半の生育を比較的緩慢にして苗の徒長を抑えつつ、実用上支障のない程度の大きさを確保することが可能であった。これらの結果は、無肥料の培養土を用いた試験で得られたものであり、一般に流通している肥料成分を含んだ培養土を用いて、エブ&フロー方式灌水を行う場合には、培養土に含まれる肥料成分の量や溶出程度を勘案した肥培管理が必要であろう。したがって、エブ&フロー方式灌水の肥培管理において、簡素化を図るためには、頭上灌水法で用いられてきた培養土や肥料をそのまま流用するだけでなく、エブ&フロー方式灌水に適した培養土の選定や肥料成分の調整なども重要と考えられる。前述したようにエブ&フロー方式灌水では、頭上灌水に比べ、培養土への肥料成分の集積がより顕著になると予想されることから、培養土における肥料成分の吸着や溶出など理化学的性質をより重視しなければならず、その点も含めた検討が必要である。

摘 要

エブ&フロー方式灌水における肥培条件がキャベツセル成型苗の生育および機械移植適性、収穫時の結球重に及ぼす影響を検討した。試験では、肥料成分を含まない培養土を用い、播種直後に灌水液の肥料濃度を園試処方 1/5 濃度（1/5 区）と 1/10 濃度（1/10 区）、または、1.5 葉期にそれぞれの濃度（後半 1/5 区、後半 1/10 区）として苗を育苗した。肥料の添加時期が同じ試験区間では、灌水液の EC が高いほど草丈と葉面積の増加は旺盛となった。添加時の肥料濃度が同じ試験区間では、肥料の添加時期が遅いほど草丈と葉面積の増加は遅く、肥料添加時期の遅れにより生じた生育差は、育苗期間を通して縮小されなかった。夏期育苗では、1/10 区と後半 1/5 区の苗は 1/5 区と後半 1/10 区の苗に比べ、機械移植適性が高く、これらの処理区間で収穫時の結球重に有意な差はなかった。以上の結果より、エブ&フロー方式灌水によるキャベツセル成型苗の生育速度は、肥料の添加時期および添加時の肥料濃度によって異なることが認められ、これらの調節はこの灌水方法での苗の生育制御に有効であると考えられた。

第3章 貯蔵キャベツセル成型苗の苗質に及ぼす各貯蔵環境要因の影響

緒 言

セル成型苗は定植適期が短く、定植が数日遅れると苗が過繁茂となり定植作業に支障をきたす（菅沼・岩瀬, 1993）。キャベツのような露地野菜では、悪天候による定植圃場の準備不足などで、定植作業の延期を余儀なくされることがある。このような事態に対処し、良質な苗を安定的に供給するために、定植適期となった苗の状態を維持する貯蔵技術が必要とされている（古在ら, 1995）。

収穫後の農産物や種子、挿し穂の品質保持に広く利用されている低温貯蔵法はセル成型苗の貯蔵方法としても有効であり、これまでに多くの研究がなされている（Kaczperski・Armitage, 1992; Risse ら, 1985a, b）。近年、低温貯蔵における弱光照射の併用が貯蔵苗の出庫後の生存率向上に効果的であることが、トマトやナス、数種の花き類で報告されている（古在ら, 1995, 1996）。キャベツのセル成型苗に関しては、暗黒下で苗を貯蔵すると、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℃で3週間（福地ら, 1997）、3℃で1カ月程度（小寺ら, 1993）が限度とされている。

移植された苗が安定して活着するためには、苗の光合成活性や炭水化物含量を高い状態に維持することが重要であるが、温度や光など貯蔵時の環境要因が苗の炭水化物含量や光合成能に及ぼす影響については検討されてない。そこで本章では、効果的なキャベツセル成型苗の貯蔵技術の開発を目的に、貯蔵環境要因がキャベツセル成型苗の苗質に及ぼす影響について検討した。

第1節 貯蔵温度の影響

貯蔵温度が低いほど苗の外観品質の劣化が抑えられることは、果菜類や花き類の苗で見出されており（Pryor・Stewart, 1963; Davis・Potter, 1985; Panton・Schwabe, 1987; Leskovar・Cantliffe, 1991）、また、切り花では貯蔵温度が低いと呼吸活性が抑えられ、体内の炭水化物含量が高く維持されることが報告されている（Pritchard ら, 1991）。ここでは、貯蔵温度がキャベツセル成型苗の貯蔵中の生長、炭水化物含量および出庫後の光合成活性と初期生育に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

1. 供試材料および貯蔵条件

キャベツ品種 (*Brassica oleracea* L.) ‘松波’を供試した。育苗用培養土（野菜養土）を詰めた 200 穴セルトレイに播種し、12 時間明期、温度を 25/20℃（明期/暗期）、葉冠部の明期光強度を光合成有効光量子束密度（PPFD） $350\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ としたグロースチャンバー内で育苗した。播種後 10 日目より市販の育苗用肥料（ナブラパワー、ヤンマー）の 0.02% 溶液を 1 日 1 回施用した。苗の本葉 2 枚が完全に展開した播種後 21 日目に、室温 5℃、10℃、15℃に設定した貯蔵庫内にビニルフィルムで覆った棚を設置し、その中へ苗をセルトレイごと搬入した。苗は暗黒条件で貯蔵し、貯蔵中は灌水を行わなかった。貯蔵中の相対湿度は 85%以上で推移した。

2. 貯蔵中の生育調査

貯蔵開始時および貯蔵 2, 4, 9, 14 日目に苗を採取した。苗の地際部を切断して、茎葉部の生体重と草丈（茎の切断部から最大葉の葉頂部までの長さ）を測定した。その後、試料を 80℃で一晩以上熱風乾燥させ、乾物重を測定した。

3. 炭水化物の測定

炭水化物の分析については、炭水化物含量が最も高いと思われる第 1 本葉について行った。貯蔵開始時および貯蔵 2, 4, 9, 14 日目に第 1 本葉を採取し、直径 1 cm のリーフディスクを調製して液体窒素で凍結させた。凍結試料は 80%エタノール中で磨砕したのち、第 1 章の方法に準じて可溶性糖含量とデンプン含量を測定した。

4. 出庫した苗の光合成速度と茎葉部の相対生長率の測定

出庫した苗の回復程度を光合成速度と茎葉部の相対生長率で評価した。貯蔵 14 日目に苗を貯蔵庫から搬出し、市販の園芸用培養土（園芸培土）を詰めた容量 350 mL の硬質ポリポットに移植した。移植した苗は育苗時と同じ環境条件のグロースチャンバーで 4 日間栽培した。出庫後 1 日目と 4 日目の苗について第 1 葉の光合成速度を調査した。光合成速度は、第 1 章の方法に準じて行った。また、出庫後 4 日目の苗を採取して、茎葉部乾物重を測定し、出庫後 4 日間の相対生長率を算出した。

各温度区ごとに 2 トレイ（400 株）を貯蔵し、全ての調査項目において、各区 6 個体の苗を供試した。

結 果

1. 貯蔵中の苗の生長

貯蔵開始後 4 日間において、貯蔵温度が高いほど茎葉部の生体重が大きく増加した（第 3-1 図）。10℃区と 5℃区ではその後も生体重が増加したが、15℃では子葉の落葉等により生体重がやや低下した。草丈も茎葉部生体重と同様の傾向を示した。茎葉部の乾物重は、いずれの区も貯蔵期間中にわずかに低下した。貯蔵 14 日目の乾物重は、15℃区で最も低か

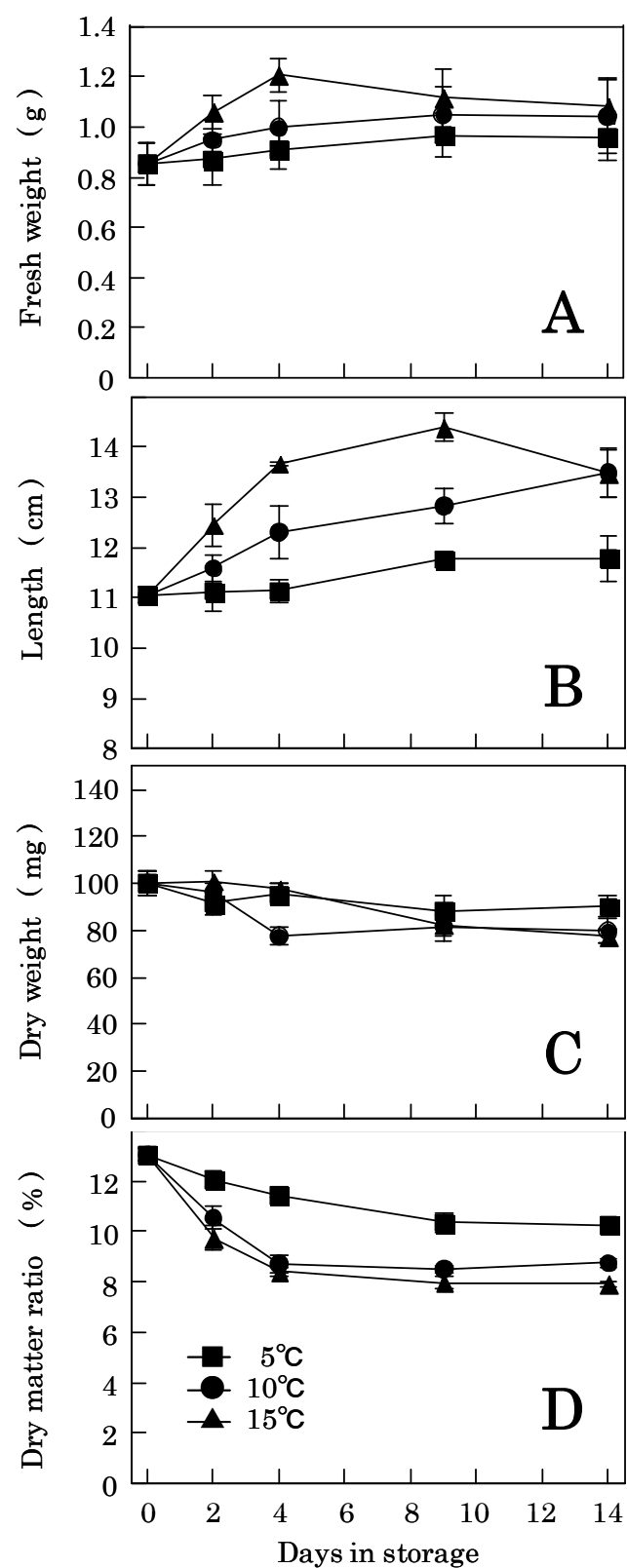


Fig. 3-1 Effect of storage temperature on fresh weight (A), length (B), dry weight (C), and dry matter ratio (D) in shoots of cabbage plug seedlings during storage. Plants were stored in the dark at 5°C (■), 10°C (●), or 15°C (▲). Vertical bars indicate SE (n = 6).

った。このような生体重と乾物重の変化によって、茎葉部の乾物率はいずれの区でも低下し、その程度は15℃区で最も大きかった。

2. 貯蔵中の炭水化物含量の変化

葉のデンプン含量は、貯蔵9日目までに全ての試験区において貯蔵開始時の値の6%以下まで低下した(第3-2図)。貯蔵4日目までは、貯蔵温度が低い区ほどデンプン含量が高かった、9日目以降は、5℃区が最も低くなった。可溶性糖含量の推移は、デンプン含量とは対照的に、貯蔵温度によって大きく異なった(第3-3図)。すなわち、10℃区、15℃区では可溶性糖含量が貯蔵4日目までにそれぞれ貯蔵開始時の68%、50%に低下し、その後も緩やかに低下し続けたのに対し、5℃区では可溶性糖含量が貯蔵2日目に一時的に増加した。その結果、貯蔵14日目までに、10℃区、15℃区では可溶性糖含量が貯蔵開始時の値の50%以下に低下したのに対し、5℃区では貯蔵開始時と同じ値に維持された。

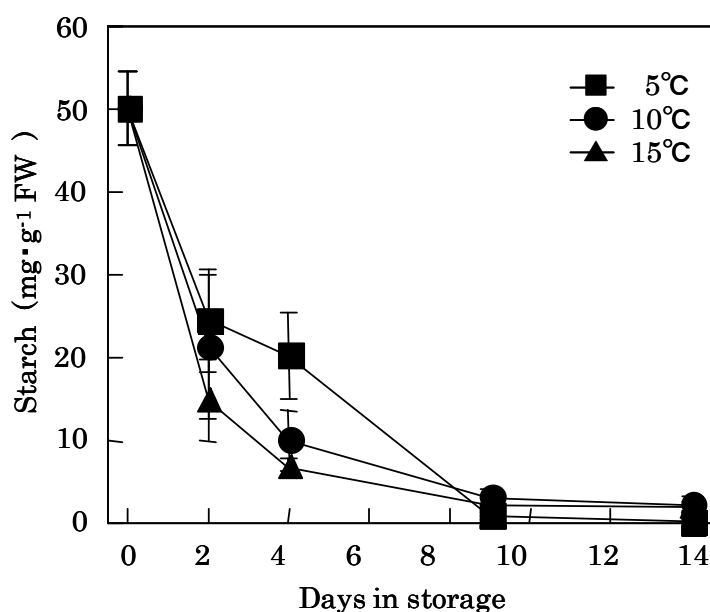


Fig. 3-2 Effect of storage temperature on starch content in lower leaves of cabbage plug seedlings during storage. Plants were stored in the dark at 5°C (■), 10°C (●), or 15°C (▲). Vertical bars indicate SE (n = 6).

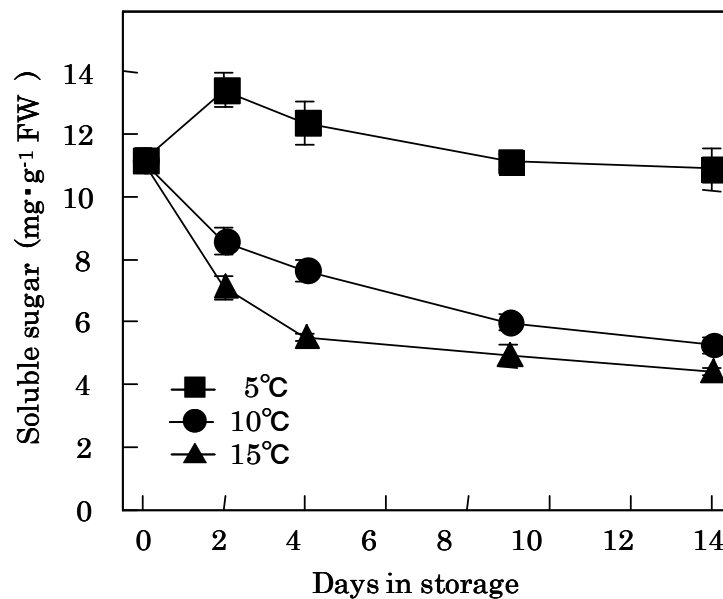


Fig. 3-3 Effect of storage temperature on soluble sugar (glucose + fructose + sucrose) content in lower leaves of cabbage plug seedlings during storage. Plants were stored in the dark at 5°C (■), 10°C (●), or 15°C (▲). Vertical bars indicate SE (n = 6).

3. 出庫した苗の回復程度

移植苗の光合成速度はいずれの区も出庫後1日目から4日目にかけて増加した。出庫後1日目の光合成速度は貯蔵温度が低いほど高かったが、出庫後4日目には、その差が縮小する傾向にあった（第3-4図）。出庫後4日目の苗の茎葉部乾物重は、貯蔵温度が低いほど大きかったが、出庫時の乾物重も貯蔵温度が低いほど大きかったため、貯蔵温度が出庫後4日間の相対生長率に及ぼす影響は判然としなかった（第3-1表）。

考 察

10°C区や15°C区の苗は、貯蔵中に苗の茎葉部が大きく伸長し、一方で、その乾物率が低下した。これは、暗黒条件に反応して苗が徒長したためであり、苗が物理的に軟弱化していることを示している。機械移植を前提として利用されるキャベツセル成型苗において、このような茎葉部の過度な伸長は、機械移植の際に苗の損傷や移植精度の低下をもたらす大きな要因とされる（吉岡, 1996）。それに対し、5°Cで貯蔵した苗は、草丈や生体重の増加や乾物率の低下が10°C区や15°C区の苗に比べ小さかった。このことは、貯蔵温度を下げることによって苗の徒長が抑えられることを示している。

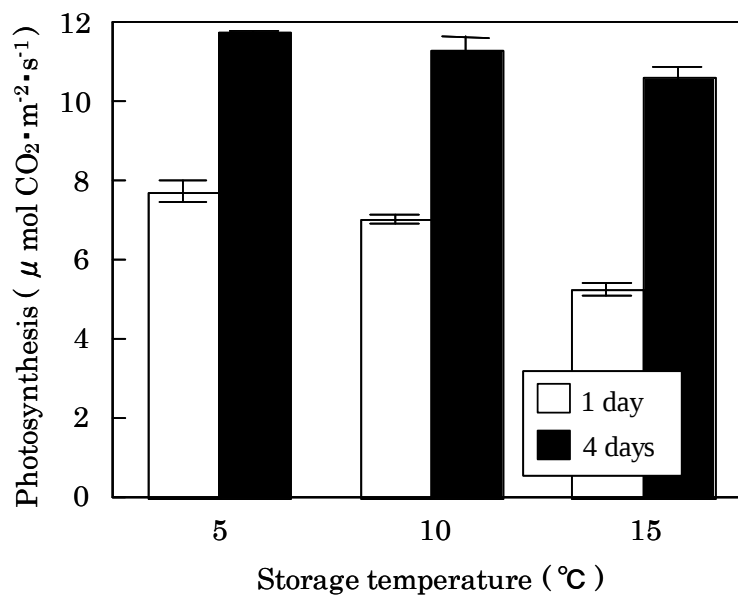


Fig. 3-4 Effect of storage temperature on photosynthesis of cabbage transplants at 1 and 4 days after the end of storage. Photosynthesis was measured in lower leaves. Plants were stored for 14 days in the dark at 5°C, 10°C, or 15°C and then transplanted to plastic pots (350 ml). Vertical bars indicate SE (n = 6).

Table 3-1. Effect of storage temperature on growth of transplants for 4 days after the end of storage.

Storage temperature (°C)	Shoot dry wt (mg)		RGR ^z (mg·mg ⁻¹ ·day ⁻¹)
	Initial ^y	Final ^x	
5	80.2±2.6 ^w	156.5±3.6	0.167
10	74.4±2.4	143.7±6.2	0.165
15	73.5±4.0	136.9±6.0	0.155

^z Relative growth rate

^y Just after the end of storage.

^x On 4 days after the end of storage.

^w SE (n=6).

切り花の貯蔵では、植物体に含まれる炭水化物は貯蔵中の呼吸基質として消費され、炭水化物が消耗すると切り花の品質が低下することが報告されている (Pritchard ら, 1991). 一般に植物の呼吸活性は低温で抑えられる (古在ら, 1995) ことから、本実験では、貯蔵温度が低いほど苗の炭水化物含量は高く維持されるものと想定された。しかし、デンプン含量については、貯蔵温度が低いほど含量低下が緩慢であったものの、貯蔵 14 日目のデンプン含量は、苗の呼吸速度が 5℃区よりも高いと想定される 10℃区や 15℃区と 5℃区で同様であった。このことから、デンプン含量の低下は単に呼吸基質として消費されたとは考えにくく、他の要因もデンプン含量の低下に関与していると推測された。いずれの温度区においても、葉のデンプン含量は貯蔵開始時から 9 日目までに急速に低下し、この時期において、10℃区や 15℃区では、茎葉部生体重の増加が認められていることから、デンプン含量の低下は、徒長による茎葉部の伸長と関係があるものと推測された。一方、5℃区においてデンプン含量が低下している点については、可溶性糖含量の変化が密接に関係しているものと推測された。貯蔵中の葉の可溶性糖含量の変化は、デンプン含量と異なり、貯蔵温度によって異なった。10℃区と 15℃区の貯蔵 4 日目までの可溶性糖含量は茎葉部乾物率と同様に变化したことから、この期間の可溶性糖含量の変化は、乾物率 (含水率) の変動によるところが大きいと推測された。しかし、5℃区では茎葉部の乾物率が低下しているにもかかわらず、可溶性糖含量が増加した。このことは、5℃区では貯蔵期間中に可溶性糖の絶対量が増加したことを示唆している。植物が低温に曝されると、体内の可溶性糖含量の増加が誘導されて耐凍性が付与されることが、ライムギ (Antikainen・Pihakaski, 1994) やコムギ (Tognetti ら, 1989)、ハウレンソウ (Guy ら, 1992) など多くの作物で知られ、キャベツ幼植物体でも 5℃まで気温を低下させると体内の糖含量が増加することが報告されている (Sasaki ら, 1996)。これらのことから、5℃区の苗は低温によって可溶性糖含量の増加が誘導されたものと推測される。植物が伸長するためには、生長基質となる炭水化物の供給が不可欠である (Schwabe, 1963)。10℃区と 15℃区では貯蔵中に分解されたデンプンが暗黒条件での茎葉部の伸長に速やかに利用されたのに対し、5℃区では苗が低温に反応してデンプンから可溶性糖への積極的な代謝が起こったと考えられる。その結果、10℃区と 15℃区に比べデンプン含量は低下し、可溶性糖含量は増加したものと推測された。

貯蔵中の苗の生長は貯蔵温度によって大きく異なったが、光合成速度と茎葉部の相対生長率で評価した苗の出庫後の回復程度は貯蔵温度によって顕著な差はなかった。したがって、貯蔵温度 15℃で 14 日間苗を貯蔵しても、出庫した苗は順調に生育できるものと考えられる。しかし、出庫後 1 日目の光合成速度は、貯蔵温度が高いほど低く、また、出庫時の苗の乾物重は、子葉の落葉や呼吸活性の上昇が原因であると思われるが、貯蔵温度が高いほど低かった。このことは、貯蔵温度が高いほど苗の光合成能が貯蔵中に失われることを示唆している。本実験は人工気象室内での生育に適した条件で出庫後の栽培を行ったものであるが、貯蔵した苗を実際に露地圃場に移植する場合には苗が様々なストレスを受けやすく、光合成能を速やかに回復できない可能性もある。植物は光合成が十分に行えない

と生長に必要な栄養を栄養器官に蓄積された炭水化物に依存する (Volenec・Joern, 1996). それゆえ, 出庫後の栽培を露地圃場で行った場合には, 苗の炭水化物含量の差が出庫後の生育に反映し, 高い温度で貯蔵した苗ほど出庫後の生育が遅くなる可能性が考えられる.

以上より, 貯蔵温度が高いほど, 貯蔵中に苗が徒長し, 苗の光合成能が損なわれることが明らかとなった. また, 苗の徒長に付随して葉のデンプン含量が低下したことから, デンプンの分解が苗の徒長に関与するものと推測された.

要 約

低温貯蔵における温度が, キャベツセル成型苗の貯蔵中の生長と炭水化物含量, および出庫後における定植苗の光合成と生長に及ぼす影響を調査した. 温度は 5℃, 10℃および 15℃とし, 暗黒下で 14 日間苗を貯蔵した. 茎葉部の乾物重は全ての区において緩やかに低下したのに対し, 生体重は温度が高い区ほど増加した. その結果, 茎葉部の乾物率は温度が高い区ほど低下する傾向にあった. 葉のデンプン含量は, 温度に関係なく著しく低下した. 葉の可溶性糖含量は, おそらく乾物率が減少したためと考えられるが, 10℃および 15℃において低下した. しかし, 5℃では, 一時的に増加し, その後も他の温度区に比べ高く推移した. 温度が定植苗の光合成および茎葉部の相対生長率に及ぼす影響は, 貯蔵中の苗の生長および炭水化物含量に及ぼす影響に比べ, 比較的小さかった. これらの結果から, 貯蔵温度は貯蔵中の苗の徒長に影響し, 苗に蓄積されたデンプンの分解が, この徒長に関与することを示唆した.

第2節 培養土水分の影響

暗黒条件におけるキャベツセル成型苗の貯蔵では、貯蔵温度を低くし、苗の徒長を抑えることで苗質を高く維持できることを示した。貯蔵中の苗は吸水しながら徒長することから、培養土に含まれる水分を減らし、貯蔵中に水ストレスを与えることによって徒長を抑制できるものと推測される。そこで、貯蔵開始時の培養土含水量がキャベツセル成型苗の貯蔵中の生育、炭水化物含量および出庫後の光合成と蒸散に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

1. 供試材料および貯蔵条件

キャベツ品種 (*Brassica oleracea* L.) ‘松波’ を供試した。第1節に準じて育苗し、播種後24日目より貯蔵を開始した。4トレイ(800株)の苗を貯蔵し、そのうち2トレイの苗については、貯蔵開始1日前より灌水を控えて乾燥区とし、残りの2トレイの苗は貯蔵開始時に十分に灌水して対照区とした。貯蔵開始時の1セルあたりの培養土の含水量は、乾燥区で 2.6 ± 0.1 mL, 対照区で 5.9 ± 0.1 mL であった。第1節と同様に貯蔵庫内に設置した棚へ苗をセルトレイごと搬入し、暗黒条件、10℃で6日間貯蔵した。貯蔵中は灌水を行わず、貯蔵中の相対湿度は83~98%の範囲で推移した。

2. 貯蔵中の生育調査

貯蔵開始時と貯蔵2, 4, 6日目に、各区6個体ずつ苗を採取した。採取した苗は、茎葉部と根部に分け、茎葉部の生体重と草丈を測定した。さらに茎葉部と根部を液体窒素で凍らせた後に凍結乾燥させた。乾燥した試料は秤量して炭水化物の分析に用いた。

3. 葉の水ポテンシャルの測定

葉の水ポテンシャルは、貯蔵開始時と貯蔵2, 4, 6日目に測定した。各区2株から葉を1 cm×3 cmの切片に調製し、速やかにサイクロメーター(Tru Psi model SC10X Decagon Ltd., Pullman, WA, USA)へ挿入した。水ポテンシャルは切片挿入後90分間蒸気平衡した後に測定した。測定は4反復行った。

4. 炭水化物の測定

乾燥試料を乳鉢と乳棒で粉碎し、得られた粉末試料の一部(20–30 mg)より、第1章の方法に準じて可溶性糖とデンプンの分析を行った。

5. 出庫後の光合成速度と蒸散速度の測定

貯蔵6日目に苗を出庫し、第1節に準じて苗を移植した。移植した苗は十分に灌水して育苗時と同じ環境条件で3日間栽培した。出庫直後と出庫後1, 3日目の明期開始後3~5時間の間に苗の最大葉の光合成速度と蒸散速度を同時に測定した。これらの測定は第1章に準じて行った。

結 果

1. 貯蔵中の苗の生長

対照区では、貯蔵中に苗が吸水して徒長したため、茎葉部の生体重と草丈は増加したが、逆に乾物重は低下した（第 3-5 図）。一方、乾燥区では苗の茎葉部生体重、乾物重、草丈はいずれも貯蔵中ほとんど変化しなかった。根の乾物重は、貯蔵 4 日目まで両区とも変化しなかったが、貯蔵 6 日目には乾燥区より対照区で低い値を示した。両区ともに貯蔵期間を通じて萎れは認められなかった。

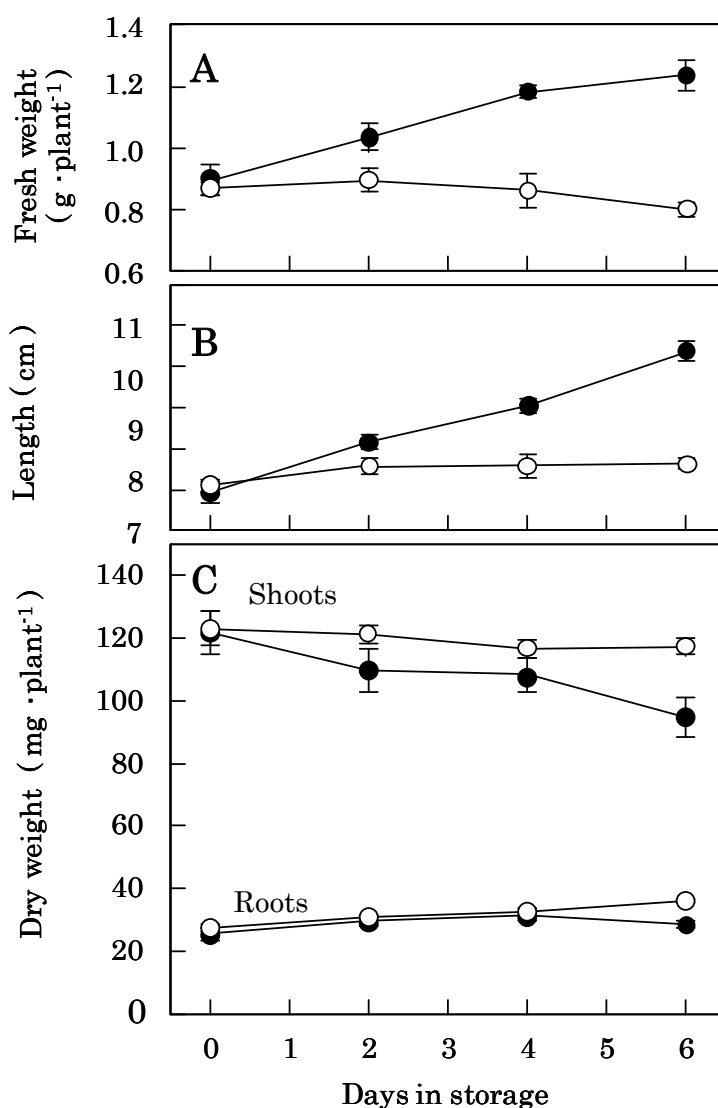


Fig. 3-5 Changes in shoot fresh weight (A) and length (B) and in shoot and root dry weight (C) of stressed (○) and control (●) cabbage plug seedlings during storage. Vertical bars indicate SE (n = 6).

2. 貯蔵中の葉の水ポテンシャルと炭水化物含量の変化

貯蔵開始時の葉の水ポテンシャルは乾燥区と対照区で同様の値を示したが、貯蔵2日目には乾燥区より対照区で大きく増加した(第3-6図)。その後、葉の水ポテンシャルは対照区では変化しなかったが、乾燥区では低下した。株あたりの茎葉部のデンプン量は両区とも貯蔵中に低下したが、その低下程度は乾燥区より対照区で大きかった(第3-7図)。乾燥区の茎葉部のグルコース量とフルクトース量は、貯蔵中に増加したが、対照区では低下した(第3-8図)。茎葉部のスクロース量は、他の可溶性糖量より低く、両区とも貯蔵中に変化しなかった。根部ではデンプンが検出されず、スクロースとグルコースが主要な糖であった。株あたりのそれらの量は、乾燥区では増加したが、対照区では低下した。根部のフルクトース量は、他の可溶性糖量より低く、両区とも貯蔵中に変化はなかった。

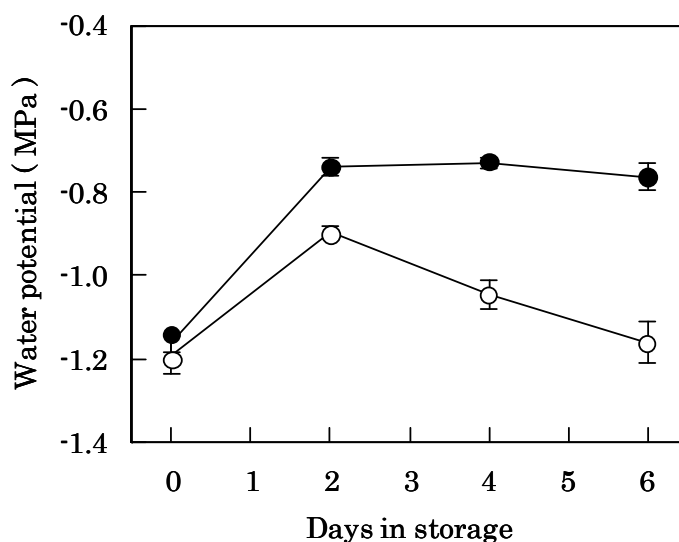


Fig. 3-6 Changes in leaf water potential in leaves of stressed (○) and control (●) cabbage plug seedlings during storage. Vertical bars indicate SE (n = 6).

3. 出庫後の光合成速度と蒸散速度

出庫直後の光合成速度は、乾燥区より対照区で高い値を示したが、その後、対照区では光合成速度が一時的に低下した(第3-9図)。一方、乾燥区では光合成速度が一貫して増加したため、出庫後3日目の光合成速度は、対照区より乾燥区で高い値を示した。蒸散速度は出庫直後で乾燥区より対照区で高い値を示したが、対照区では出庫1日以降、乾燥区と同じ値まで低下した。

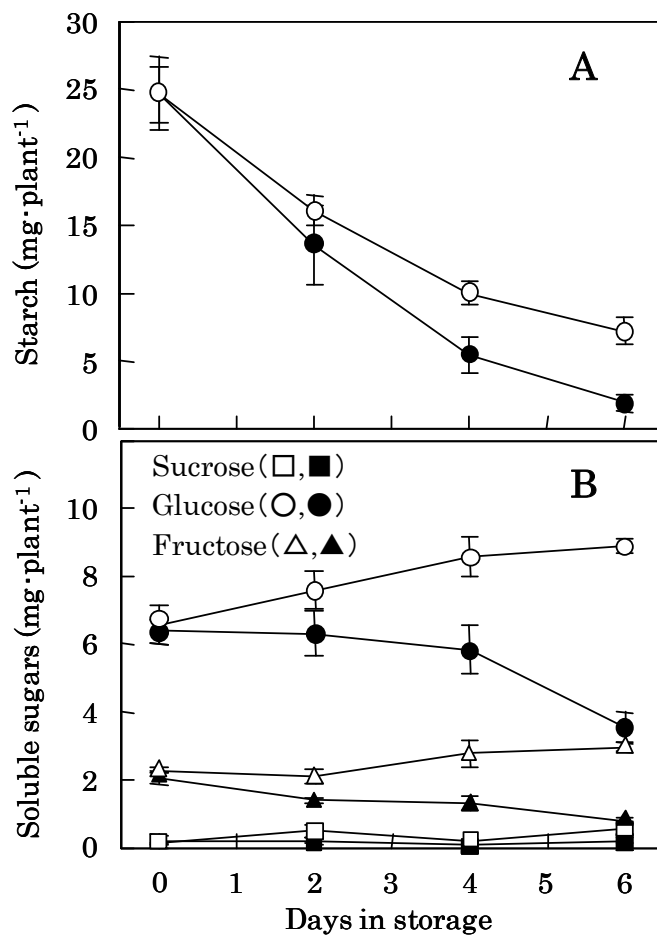


Fig. 3-7 Changes in absolute amounts of starch (A) and soluble sugars (B) in shoots of stressed (○, □, △) and control (●, ■, ▲) cabbage plug seedlings during storage. Vertical bars indicate SE (n = 6).

考 察

対照区の苗の茎葉部は暗黒条件に反応して貯蔵中に徒長した．このことは，これまでに報告されているキャベツセル成型苗の貯蔵試験の結果と一致している（福地ら，1997；山下ら，1999）．葉の水ポテンシャルは，貯蔵開始時には対照区と乾燥区で差がなかったが，貯蔵2日目には乾燥区より対照区で大きく増加した．この水ポテンシャルの変化には，暗黒条件や乾燥に反応して閉じる気孔の開閉特性（Fitter・Hay, 1987）が関係していると推測される．すなわち，貯蔵開始時は明条件下であったので，対照区の苗は活発に蒸散していたのに対し，乾燥区の苗は気孔を閉鎖することで蒸散を抑え，体内の水分を平常に維持

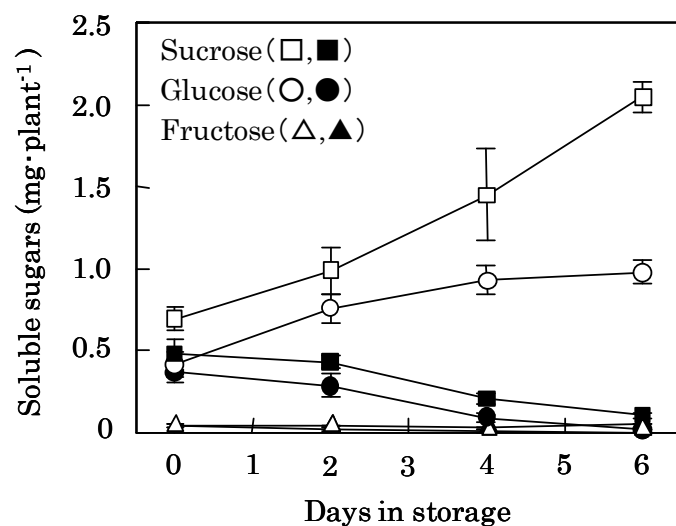


Fig. 3-8 Changes in absolute amounts of soluble sugars in roots of stressed (○, □, △) and control (●, ■, ▲) cabbage plug seedlings during storage. Vertical bars indicate SE (n = 6).

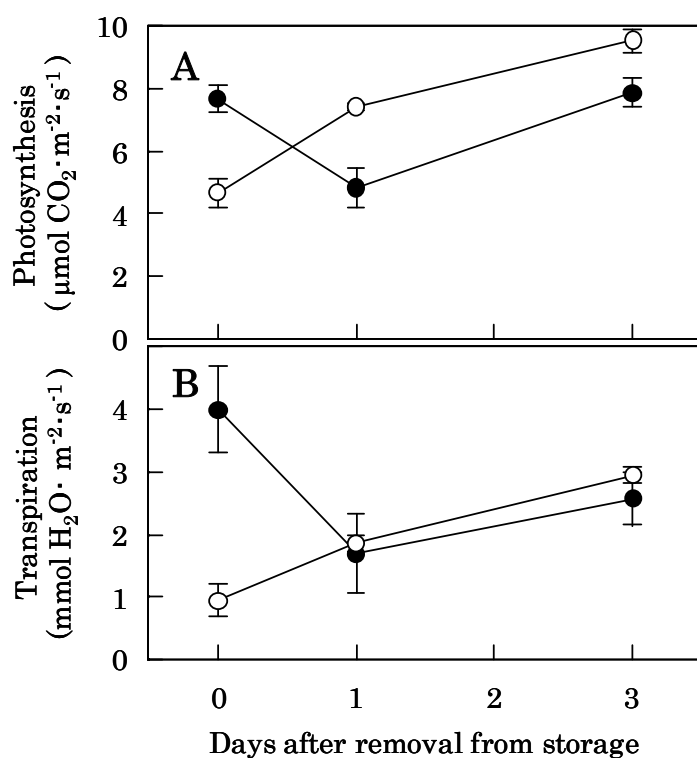


Fig. 3-9 Changes in photosynthesis and transpiration of stressed (○) and control (●) cabbage transplants after removal from storage. Vertical bars indicate SE (n = 6).

したものと思われる。一方、暗黒条件では気孔が閉鎖するため植物体内の水ポテンシャルと培養土の水ポテンシャルの差は縮小する (Fitter・Hay, 1987)。貯蔵2日目は両区とも暗黒条件下で気孔が閉じた状態にあり、その結果、葉の水ポテンシャルが培養土の水分状態を強く反映したものと考えられた。葉の水ポテンシャルが低く維持された乾燥区の苗では、茎葉部の徒長は認められなかった。植物が生長するためには、培養土などの水分の供給元から植物体内への水分の移動が不可欠なため、水分の供給を控えると生長が抑制される (Boyer, 1985)。乾燥区の苗では徒長に必要な量の水分を吸収できなかった結果、葉の水ポテンシャル上昇が抑えられ、苗の外観が適度に維持されたものと考えられた。

貯蔵前の苗の茎葉部に蓄積する炭水化物の主要形態はデンプンであるが、その株あたりの量は、対照区、乾燥区ともに貯蔵日数の増加に伴って低下した。貯蔵中の植物体内における炭水化物の低下は呼吸による消費が主な要因と考えられている (Prichard ら, 1991; Kubota ら, 1997, Wilson ら, 1998b)。Wilson ら (1998b) は、貯蔵したブロッコリー培養苗の炭酸ガスの収支がゼロとなる光補償点の光を照射することで体内の炭水化物含量が維持されることを明らかにしている。本実験では、乾燥区に比べ茎葉部が激しく徒長した対照区でデンプン量が大きく低下したことから、一部のデンプンは茎葉部の徒長に利用されたものと推測される。前節において、貯蔵苗の茎葉部デンプン含量の低下が茎葉部が徒長した期間である貯蔵開始後数日以内に起きていることを明らかにしたが、これらのことから、呼吸に加えて茎葉部の徒長も貯蔵中に体内の炭水化物を消費する主な要因になるものと考えられた。

乾燥区では、株あたりの可溶性糖量が茎葉部、根部ともに貯蔵日数の増加に伴って増加した。貯蔵中は暗黒条件であり光合成産物が供給されないことから、この可溶性糖の増加は体内に含まれるデンプンの分解に起因すると考えられる。乾燥ストレスに対する生理的順化反応として体内可溶性糖含量の上昇が多く植物種で知られており (Morgan, 1984; Quick ら, 1989)、乾燥ストレスに遭遇したハウレンソウでは、細胞内の膨圧を維持するためにデンプンの分解と溶質物質としての可溶性糖の蓄積が促進されることが報告されている (Stewart, 1971; Zrenner・Stitt; 1991)。これらのことから、乾燥区における可溶性糖量の増加は、乾燥ストレスに対する苗の生理反応と考えられる。葉の水ポテンシャルの低下に対し、細胞の膨圧を維持するためデンプンから可溶性糖への代謝が促進されたものと推測された。

貯蔵中に起きた苗の炭水化物蓄積量の増減は出庫後の苗の生育にも影響することが報告されている (Panton・Schwabe, 1987; Wien, 1997; Wilson ら, 1998a, b)。Wilson ら (1998a) は、ブロッコリー培養苗を貯蔵する際に、光補償点の光照射や培地へのスクロース添加を行い、苗の炭水化物含量を高く維持すると、出庫後に高い生存率と良好な生育が得られることを見出している。本実験でも、これらの報告と同様の傾向が認められ、対照区の苗では出庫後に葉の光合成速度が低下したのに対し、株あたりの炭水化物量が高く維持された乾燥区の苗では、出庫後に葉の光合成速度が順調に増加した。暗黒条件で貯蔵した苗は組

組織が軟弱化しているため、低温、高湿度の貯蔵庫内から高温、低湿度の環境へ放出されると、蒸散過多に陥りやすい (Fuchigami ら, 1981). このような植物体内の水分損失によって気孔が閉じると、体内の二酸化炭素濃度の低下によって光合成活性が抑制される (Schulze, 1986 ; Kaiser, 1987). 本実験では、対照区の苗の蒸散速度が、出庫直後は乾燥区の苗よりも高かったが、その後は乾燥区と同じ値まで低下した. このことから、対照区では、出庫直後に苗が蒸散過多に陥っていた可能性が考えられる. そのため、対照区では苗の体内水分バランスが乱れて光合成速度が低下したと推測された. 一方、乾燥区では、可溶性糖蓄積量が増加するなど貯蔵中に苗がある程度水分ストレスに対し順化していたことで、出庫後蒸散過多に陥ることなく光合成速度が順調に上昇したものと考えられた.

以上の結果より、キャベツセル成型苗を暗黒下で貯蔵する前に灌水を控え、乾燥ストレスを与えることによって、苗の徒長が抑制され、出庫後の光合成能が速やかに回復することが明らかとなった.

要 約

貯蔵開始時の培養土含水量がキャベツセル成型苗の貯蔵中の生育、株あたりの炭水化物量および出庫後の光合成と蒸散に及ぼす影響について検討した. 貯蔵開始 1 日前より灌水を抑えた乾燥区と、貯蔵開始時に十分に灌水した対照区の 2 処理区を設け、10℃暗黒条件で 6 日間貯蔵した. 乾燥処理によって貯蔵中の葉の水ポテンシャルは低下した. 株あたりの茎葉部デンプン量は、乾燥区より対照区で大きく低下した. 株あたりの可溶性糖量は、対照区で低下したのに対し、乾燥区で増加した. 出庫後に移植した苗の光合成と蒸散は対照区より乾燥区で速やかに回復した. これらの結果から貯蔵中の水ストレスとそれに伴う糖蓄積によって、苗の徒長が抑えられ、出庫後の回復も速まることが明らかとなった.

第3節 光の影響

低温貯蔵に弱光照射を併用すると、貯蔵苗の出庫後の生存率向上に効果的であることが、トマトやナス、数種の花弁類で報告されている(古在ら, 1995, 1996). これらの事例では、貯蔵苗にわずかな光合成を行わせ、貯蔵中の呼吸で失われる乾物を補うことを主な目的として弱光照射が行われている. 一方、キャベツセル成型苗では、10℃ほどの比較的高い温度で14日間暗所貯蔵しても、出庫後の生存率は損なわれないが、茎葉部が退色して徒長するために、外観的品質が著しく低下する(山下ら, 1999). そのため、キャベツセル成型苗の貯蔵では、苗の徒長を抑えることが重要である. しかし、貯蔵中のキャベツセル成型苗の徒長を抑制する目的で、弱光照射を検討した報告はない.

ここでは、苗の徒長抑制および光合成能の維持に対する弱光照射の効果について検討するため、低温貯蔵中の明暗周期および1時間明期での光強度がキャベツセル成型苗における苗の生育と光合成能に及ぼす影響について調査した.

材料および方法

1. 供試材料

供試材料にキャベツ (*Brassica oleracea* L.) 品種‘松波’を用いた. 育苗用培養土(野菜養土)を詰めた128穴セルトレイに播種し、播種後10日目より園試処方5倍希釈液を適宜与えた. 育苗は、日長を12時間、温度を25/20℃(明期/暗期)、葉冠部の明期光強度を光合成有効光量子束密度(PPFD) $350 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ としたファイトトロン内で行った. 21日間育苗し、苗の本葉2枚が完全に展開した時点で貯蔵試験を開始した.

2. 貯蔵条件

実験1. 明暗周期が貯蔵中の苗の生育と光合成能に及ぼす影響

貯蔵試験は、大型の保冷库内で行い、庫内に20W白色蛍光灯(FL20SSW/18, 三菱電機)を装着した40 x 40 x 75 cm(縦 x 横 x 高)の箱を1区につき1個設置し、その中で苗を貯蔵した. 外部からの光を完全に遮断するため、箱の全面を不透明の銀色ビニルフィルム(サンシルバー, 三菱化学)で覆った. 貯蔵中の葉冠部におけるPPFDを $10.0 \pm 1.2 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ とし、24時間当たりの明期時間を0(暗黒区), 1, 3, 6, 24時間として苗を貯蔵した.

実験2. 1時間明期での光強度が貯蔵中の苗の生育と光合成能に及ぼす影響

大型の冷蔵庫内に、実験1と同じ箱を設置し、その中で苗を貯蔵した. 貯蔵中の明期時間は全ての区において1時間とし、23時間を暗黒とした. 黒色ダイオネット(#600, クラレ)を数枚重ねて苗を遮光し、明期における葉冠部のPPFDをそれぞれ0(暗黒区), 0.5 ± 0.1 , 1.8 ± 0.2 , 5.5 ± 0.6 , $10.0 \pm 1.2 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ とした.

実験1, 2ともに、貯蔵温度は10℃とし、1区につき64本の苗を貯蔵した. 貯蔵は14

日間行い、灌水は貯蔵7日目に1回だけ行った。貯蔵中の相対湿度は85%以上で推移し、苗の萎れは貯蔵期間内を通して認められなかった。

3. 調査項目

貯蔵開始時と終了時に、セルトレイの周辺2列を除いた株の中から、無作為に苗を14個体採取し、茎葉部の生体重、乾物重、乾物率、草丈、光合成速度および葉中のクロロフィル含量を測定した。茎葉部の生育調査には、1区当たり8個体を供試した。光合成速度の測定は、1区当たり6個体を供試し、貯蔵前の苗では明期開始後5時間から7時間の間に、貯蔵後の苗では出庫後直ちに育苗時と同じ条件のファイトトロンに移し、出庫後2時間から4時間の間に第1章に準じて計測した。貯蔵開始時および終了時ともに、同じ葉位の葉の光合成速度を測定した。クロロフィル含量は、光合成速度を測定した葉と同じ葉位の葉を用いて測定した。光合成速度を測定した後、リーフディスク（直径1cm）を1個体から4枚を抜き取り、分析時まで -20°C で冷凍保存した。クロロフィル含量の測定はArnon法（Arnon, 1949）に準じて行い、測定数は1区当たり4個体とした。

結果および考察

実験1. 明暗周期が貯蔵中の苗の生育および光合成能に及ぼす影響

茎葉部乾物重は、暗黒区では貯蔵前の107 mgから86 mgに低下したが、照射時間が長いほど、乾物重は高まり、24h区では111 mgと貯蔵前と同程度となった（第3-2表）。暗黒区では、苗が著しく徒長したため、生体重は貯蔵前の1073 mgから1366 mgに増加し、草丈は貯蔵前の10.8 cmから14.1 cmに増加した。それに対し、1h区と3h区では、生体重はそれぞれ1166 mg, 1199 mgと暗黒区に比べ低く、草丈はともに11.5 cmと貯蔵前との間に有意差は認められなかった、しかし、照射時間が長いほど生体重と草丈は増加し、24h区では生体重が暗黒区と同程度まで増加し、草丈も貯蔵前より2 cm以上増加した。乾物率は、暗黒区では貯蔵前の9.9%から6.3%に低下したが、弱光照射区ではいずれも7.5%~7.7%の範囲となり、暗黒区よりも高く維持された。これらの結果から、短時間の弱光照射でも、暗黒下で低温貯蔵した苗の徒長に対して十分な抑制効果があることが認められた。しかし、いずれの照射時間でも、茎葉部の乾物率が貯蔵前より低下するため、照射時間の延長に伴い乾物重の低下が抑制されると、苗の茎葉部は貯蔵前より肥大する傾向にあった。したがって、外観的品質の維持を図るためには、貯蔵中の乾物率低下を考慮し、茎葉部が肥大しない程度に光合成量を抑える必要があると考えられる。

光合成速度は、暗黒区では貯蔵前の $12.4 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ から $4.4 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ に大きく低下したのに対し、1h区、3h区、6h区では $10 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上に維持された。しかし、24h区では $7.7 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ と他の弱光照射区より低かった。葉のクロロフィル含量は、暗黒区では貯蔵前の $3.8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ から $2.3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ に減少したが、弱光照射区ではいずれも $3.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上に維持され、照射時間による有意差は認められなかった。連続明期やそ

Table 3-2 Effect of photoperiod on shoot fresh weight, dry weight, percentage dry matter, and length, and leaf photosynthetic rate and chlorophyll content of cabbage plug seedlings stored at 10 °C for 14 days.

Photoperiod ^z (h 24h ⁻¹)	Fresh weight (mg)	Dry weight (mg)	Dry matter (%)	Shoot length (cm)	Photosynthetic rate ($\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Chlorophyll content (g m^{-2})
	<i>Before storage</i>					
	1073c ^y	107a	9.9a	10.8c	12.4a	3.8a
	<i>After storage for 14 days</i>					
0 (darkness)	1366a	86b	6.3d	14.1a	4.4d	2.3c
1	1166bc	87b	7.5bc	11.5c	10.3b	3.2b
3	1199bc	91b	7.6bc	11.5c	10.6b	3.2b
6	1288ab	96ab	7.5c	11.6c	10.4b	3.4b
24	1439a	111a	7.7b	13.0b	7.7c	3.4b

^z PPFD in all treatments was 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ supplied by a white fluorescent lamp.

^y Mean values followed by the same letter in each column are not significantly different at $p \leq 0.05$, according to Tukey's multiple range test.

れに近い光周期は、光合成速度の低下を引き起こすことがダイズ (Kerr ら, 1985) やキュウリ (Robbins・Pharr, 1987) など、いくつかの高等植物で知られている。明期と暗期に行われる代謝のバランスが乱れることで、葉内における活性酸素の生成 (柴岡, 1990) や光合成産物の過剰蓄積 (Kerr ら, 1985) が生じると考えられている。このことから、24h 区における光合成速度の低下は、植物体内における光合成産物の代謝リズムが乱れたために生じたものと推測され、光合成能の維持には連続的な弱光照射より適度な暗期を設けた断続的な弱光照射が適すると考えられた。

実験 2. 1 時間明期での光強度が貯蔵中の苗の生育および光合成能に及ぼす影響

弱光照射によって、貯蔵中の徒長や光合成能低下を抑制しつつ、乾物重の維持を図るためには、貯蔵中の苗の乾物率や乾物重の変化を予測して、光量を調節する必要があり、作業も煩雑となる。しかし、果菜類や花き類に比べ安価である葉菜類の苗では、貯蔵に要する労力は抑える必要がある。弱光照射の目的を徒長と光合成能低下の抑制に限定する場合には、むしろこれらの効果が得られる範囲内で光量を低く抑え、乾物重に及ぼす影響を少なくすることで、省力的に苗を貯蔵することができると考えられる。

そこで次に、明期 1 時間、暗期 23 時間の断続照射を実施したときの光強度が、貯蔵中の苗の生育および光合成能に及ぼす影響を調査した。茎葉部の乾物重は、全ての処理区において減少し、これらの処理区間に有意差は認められなかった (第 3-3 表)。暗黒区では、苗が徒長し、生体重は貯蔵前の 1074 mg から 1496 mg に増加し、草丈も貯蔵前の 10.8 cm から 14.6 cm に増加したのに対し、弱光照射した区の生体重と草丈は、いずれも暗黒区より低かった。乾物率は、暗黒区では貯蔵前の 11.0% から 6.3% に低下したが、弱光照射した区ではいずれも 7.6%~8.0% と暗黒区より高く維持された。光合成速度は、暗黒区では貯蔵前の $11.7 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ から $4.1 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ と低下したのに対し、弱光照射区ではいずれも $7 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上に維持され、これらの処理区間に有意差は認められなかった。また、葉のクロロフィル含量も、暗黒区が貯蔵前の $3.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ から $2.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ に減少したのに対し、弱光照射区はいずれも $3.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上に維持された。これらの結果から、明期 1 時間、暗期 23 時間の断続照射において、PPFD 0.5 から $10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の光強度でほぼ同程度の徒長抑制および光合成能維持の効果が得られることが認められた。これは、弱光照射の効果が光強度に比例するものではなく、ある一定の閾値を超えた光強度がシグナルとなって誘導されるためと考えられた。

以上より、貯蔵中の苗の徒長と光合成能低下は、断続的な弱光照射によって抑制されることが明らかとなった。これらの効果は 24 時間当たり 1 時間の短い断続照射でも得られ、 0.5 から $10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の範囲では光強度の影響が認められなかった。したがって、苗の葉冠部の光強度を厳密に揃える必要がなく、1 つの光源で多量の苗を照射することが可能であることから、安価で簡易な貯蔵用の照射技術として利用できるものと考えられた。

Table 3-3 Effect of PPFD in intermittent lighting on shoot fresh weight, dry weight, percentage dry matter, and length, and leaf photosynthetic rate and chlorophyll content of cabbage plug seedlings stored at 10°C for 14 days.

PPFD ^z ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Fresh weight (mg)	Dry weight (mg)	Dry matter (%)	Shoot length (cm)	Photosynthetic rate ($\mu\text{molCO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Chlorophyll content (g m^{-2})
<i>Before storage</i>						
	1074c ^y	119a	11.0a	10.8c	11.7a	3.6a
<i>After storage for 14 days</i>						
0 (darkness)	1496a	94b	6.3c	14.6a	4.1c	2.6c
0.5	1246b	96b	7.7b	11.5bc	7.7b	3.3b
1.8	1199bc	91b	7.6b	11.8b	8.3b	3.4ab
5.5	1186bc	92b	7.8b	11.5bc	8.6b	3.4b
10.0	1133c	92b	8.0b	11.0bc	8.3b	3.5ab

^z Lit with a 1-h light / 23-h dark cycle by a white fluorescent lamp.

^y Means followed by the same letter in each column are not significantly different at $p \leq 0.05$, according to Tukey's multiple range test.

要 約

低温貯蔵中の明暗周期および1時間明期での光強度がキャベツセル成型苗における苗の生育と光合成能に及ぼす影響について調査した。暗黒区では徒長のため茎葉部が伸長し、葉のクロロフィル含量と出庫後の光合成速度が低下した。PPFD $10\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で光照射した区では、断続照射区、連続照射区とも、苗の徒長が抑えられた。光照射時間が長いほど、乾物重が増加し、それに伴って草丈も増加した。葉のクロロフィル含量と光合成速度は光照射区はいずれの区も暗黒区より高く維持された。光合成速度は連続照射より断続照射で高く維持された。明期1時間、暗期23時間の断続照射では、PPFD 0.5 から $10\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の光強度の範囲では光強度に関係なく苗の徒長が抑えられ、光合成速度に差がなかった。これらの結果から、断続的な弱光照射によって低温貯蔵中のキャベツセル成型苗の苗質を高く維持できることが明らかとなった。

第4章 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

緒言

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）。第3章では、悪天候や圃場準備の遅れなどに対処するための1週間程度の貯蔵を目的としたが、この場合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）。第3章では、キャベツセル成型苗を10℃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） $0.5\sim 10\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ 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。しかし、このような弱光照射を行っても、苗の乾物重低下を抑制するには至らないので、より長期間の貯蔵においては、呼吸による乾物重の損失が懸念され、また、貯蔵中の弱光照射によって発育異常が起こることも考えられるので、実用化を図るためには移植後の生育や収量の調査などもあわせて行う必要がある。

そこで、ここ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

キャベツ品種（*Brassica oleracea* L.）‘金系201号’を供試した。2001年12月20日に市販の育苗用培養土（野菜養土）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、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施用した。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°C-L 区, 5°C-D 区, 10°C-L 区, 10°C-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/10a を, また, 炭酸苦土石灰 100kg/10a 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) および第 3 章で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明らかにした。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°C-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 4-1 図)。しかし, 苗の徒長は間欠弱光照射によって抑えられ, 10°C-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°C-L 区と 5°C-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°C 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しなかった。

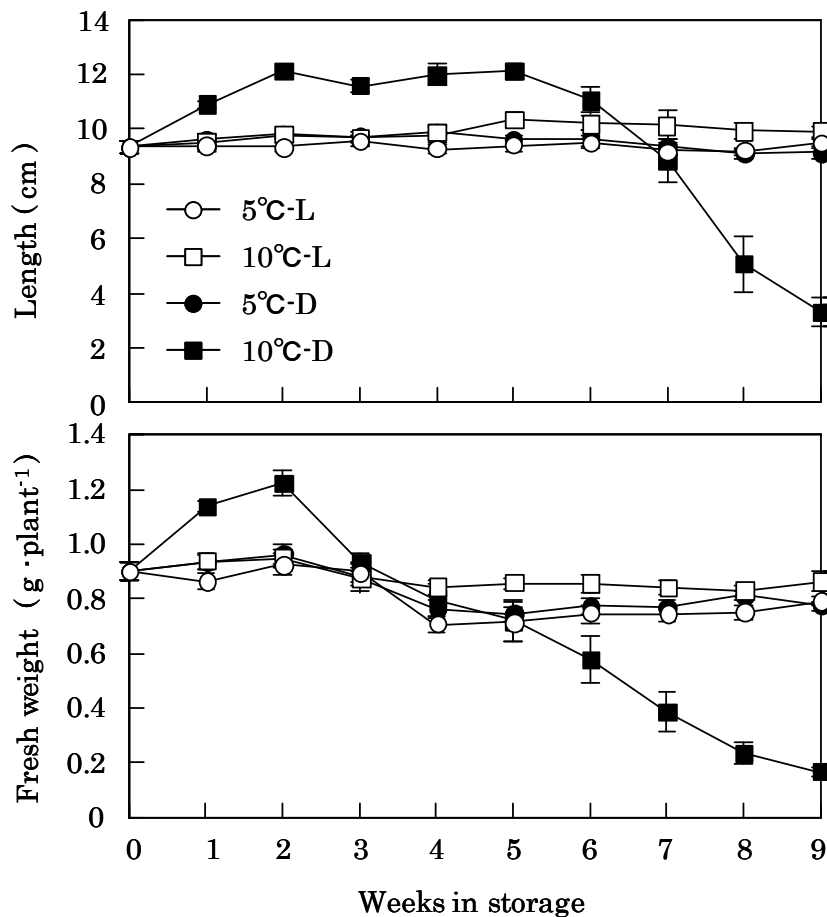


Fig. 4-1 Effect of storage temperature (5°C, 10°C) and intermittent lighting (Light : L, Dark : D) on shoot length and fresh weight of cabbage plug seedlings during storage. Vertical bars indicate SE (n = 9).

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4-2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°C-L区は10°C-D区より乾物重が高く維持されたが、5°C-L区と5°C-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

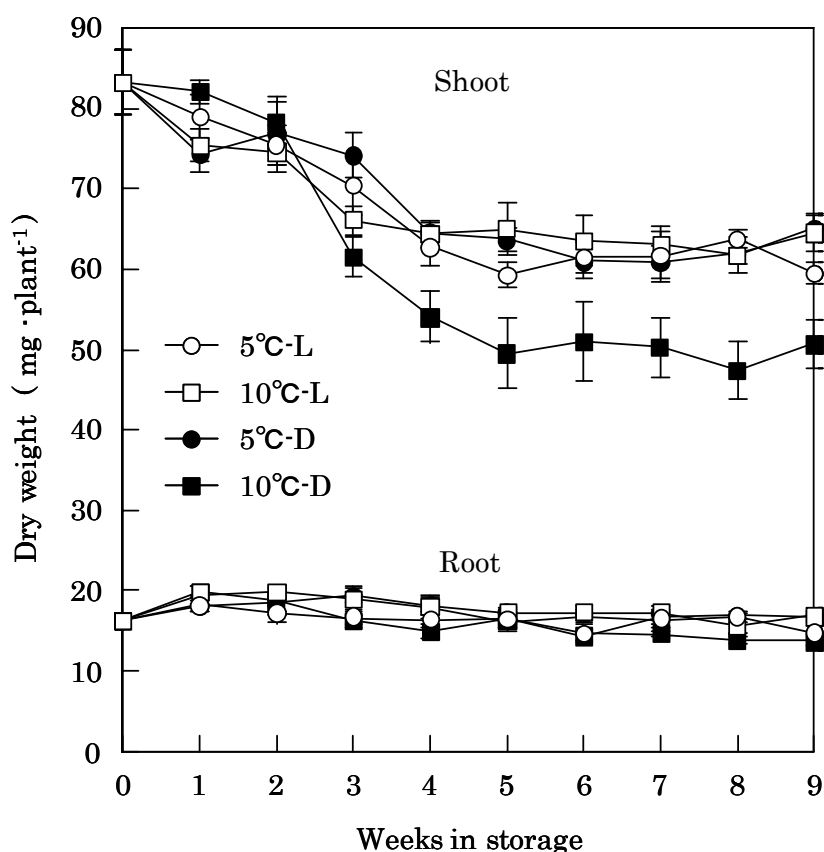


Fig. 4-2 Effect of storage temperature (5°C, 10°C) and intermittent lighting (Light : L, Dark : D) on dry weight of cabbage plug seedlings during storage. Vertical bars indicate SE (n = 9).

部乾物重は、PPFD $10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 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第 3 章で認められている。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 区のその値は、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 4-3 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℃-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．無貯蔵の苗に比べて貯蔵 9 週目の苗は，間欠弱光照射を行った 5℃-L 区と 10℃-L 区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（第 4-4 図）．しかし，5℃-D 区では，一部の葉が黄化し，10℃-D 区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℃の場合には低温によって徒長が抑制されるが，10℃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℃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．

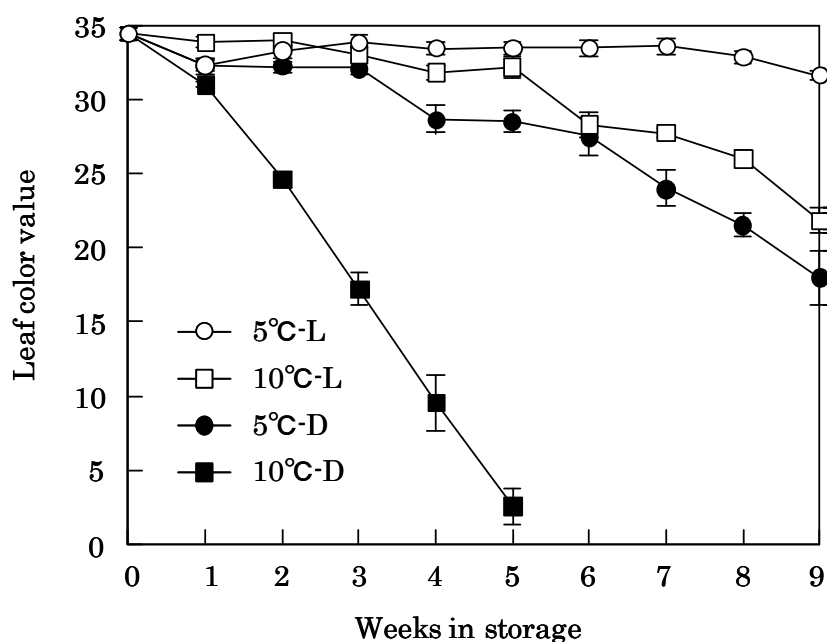


Fig. 4-3 Effect of storage temperature (5℃, 10℃) and intermittent lighting (Light : L, Dark : D) on leaf color of cabbage plug seedlings during storage. Leaf color value means measurement value by a leaf chlorophyll meter (SPAD-502, Minolta). Vertical bars indicate SE (n = 9).

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

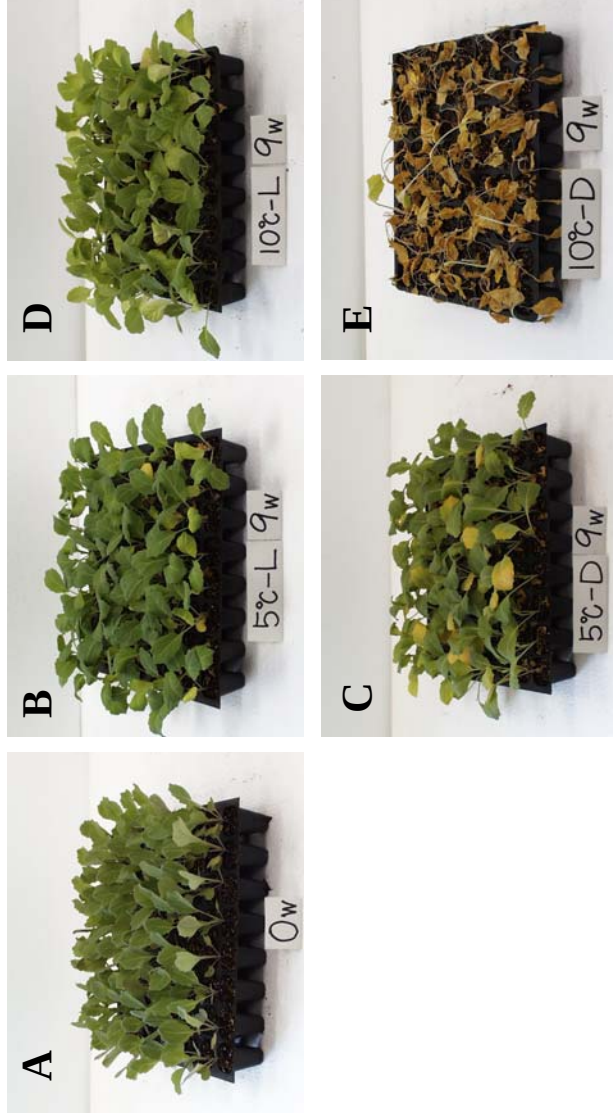


Fig. 4-4 Cabbage plug seedlings before storage (A), or after storage for 9 weeks under 5°C with the intermittent lighting (B), under 5°C in darkness (C), under 10°C with the intermittent lighting (D), under 10°C in darkness (E).

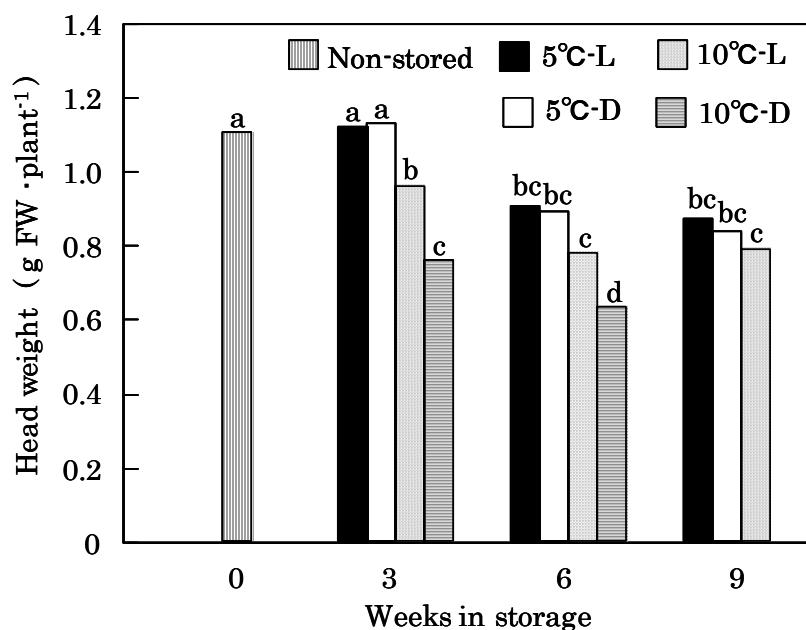


Fig. 4-5 Effect of storage temperature (5°C, 10°C), duration (3, 6, 9 weeks) and intermittent lighting (Light : L, Dark : D) on head weight at the harvest. Seedlings were sowed on 20th Dec. (9 weeks in storage), 10th Jan. (6 weeks in storage), 31st Jan. (3 weeks in storage), 21st Feb. (Non-stored) and raised for 35 days before storage. All plants were transplanted on 28th Mar. and harvested on 13th Jun. The same letter are not significantly different at $P \leq 0.05$, according to LSD test.

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分が失われ、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、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た。

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℃-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 4-5 図）、10℃-L 区では、貯蔵週数の増加に伴う結球重の低下が 10℃-D 区より小さく、9 週間貯蔵でも 0.8 kg であった。一方、5℃で貯蔵した 5℃-D 区と 5℃-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℃-D 区と 5℃-L 区では結球重に差が認められなかった。前章では、貯蔵温度 5℃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℃で貯蔵した苗より 1.5 倍高く、貯蔵温度が 10℃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℃で 80%、10℃で 90%低下することから、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、1996b）。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℃-L 区の結球重は 5℃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℃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的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 $1.7 \sim 7.8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 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にあるため、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、1996b）。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た。

要 約

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 $1.7 \sim 7.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ）、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は低下したが、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。

総合摘要

育苗の分業化と定植作業の機械化には、セル成型苗の利用が不可欠である。しかし、セル成型育苗は移植適期が短く、移植適期を過ぎた苗は移植後に生育遅延を起こしやすいという問題がある。そのため、移植後に良好な初期生育を示すキャベツセル成型苗を安定的に供給する技術が必要とされている。本研究では、キャベツセル成型苗の移植後の初期生育に関連した苗質の評価を炭水化物代謝特性の解明により試み、さらに、エブ&フロー方式灌水を取り入れた高品質苗生産技術と低温貯蔵による苗の品質維持技術の開発を行った。

キャベツセル成型苗では、移植後の初期生育に関与する要因として苗の炭水化物代謝の重要性が指摘されている。そこで、キャベツセル成型苗の炭水化物代謝と移植後の初期生育との関係を、根域容量、育苗日数および栽植密度と関連づけて解析し、移植時の初期生育における炭水化物の役割について検討した。

育苗期のキャベツ苗に含まれる炭水化物のほとんどがデンプンとして葉に存在し、その含量は根域容量が小さいと増加し、移植によって根域が拡大すると急速に低下した。デンプン含量が低下した苗では葉の光合成速度が増加し、葉から根への光合成産物の転流が活発化した。

茎葉部の相互遮蔽の影響を除外して育苗した場合には、育苗日数が長い苗ほど葉のデンプン含量が増加したが、移植直後の相対生長率は低下した。移植後の葉の展開速度が緩い葉ほど遅いことがその一因と考えられた。育苗日数が長い苗は、移植後の根の生育が茎葉部より旺盛であった。また、移植後に遮光しても安定した根の生育を示した。育苗期において葉に蓄積した光合成産物は移植後根に再転流することが認められた。

通常の栽植密度で育苗した場合には、育苗日数が多くなるにつれて相互遮蔽が顕著となり、苗が徒長的な様相を示した。可溶性糖含量は相互遮蔽の影響を受けなかったが、デンプン含量は相互遮蔽によって低下した。苗のデンプン含量が低下した時期より、移植後の根鉢からの発根が遅れた。

これらのことから、育苗中の根域容量制限によって生育が抑制されると、葉から根への転流が停滞し、余剰となった光合成産物が葉にデンプンとして蓄積することが明らかとなった。また、葉に蓄積されたデンプンは移植後速やかに分解され、根の生育に寄与することが認められた。このような炭水化物代謝の特性から、デンプンの蓄積が少ない若い苗は、移植後、光合成で得られる同化産物を主に利用して発根するのに対し、育苗日数が長い苗は移植後の光合成で得られる同化産物に加え、展開後日数が経過した古い葉に蓄積したデンプンをより多く利用して発根すると考えられた。しかし、セル成型苗は高い栽植密度で育苗するため、育苗日数が増加するにつれ相互遮蔽によって移植後に葉から根へ供給されるべき蓄積炭水化物の蓄積が少なくなるものと考えられた。

移植後に苗が安定して活着するためには、育苗後半の相互遮蔽による苗の徒長を回避することが重要であると考えられたので、次に、省力的な灌水が可能なエブ&フロー方式灌水セル成型育苗に取り入れ、肥培環境制御によるキャベツセル成型苗の徒長抑制と機械移植適性の向上を試みた。試験では、肥料成分を含まない培養土を用い、播種直後に灌水液の肥料濃度を圃試処方 1/5 濃度 (1/5 区) と 1/10 濃度 (1/10 区)、または、1.5 葉期にそれぞれの濃度 (後半 1/5 区、後半 1/10 区) として苗を育苗した。肥料の添加時期が遅いほど、また、添加時の肥料濃度が低いほど、育苗後半の苗の生育が遅かった。生育が遅い苗は、秋期、冬期、夏期、いずれの育苗時期においても同様の生育量を示した。機械移植の際に苗のサイズが大きすぎると損傷株の増加、また、小さすぎると欠株と不良姿勢株の増加によって、移植精度が低下した。苗のサイズは収穫時の結球重に影響しなかった。これらの結果から、試作したエブ&フロー方式灌水装置では 1/10 区、または、後半 1/5 区の肥料施用条件とすることで、育苗後半の徒長を回避することができ、機械移植適性の高い苗を育成できることが明らかとなった。

セル成型育苗を行う場合、相互遮蔽によって苗が徒長する前に苗を定植することが望まれるが、悪天候による定植圃場の準備不足などで定植作業の延期を余儀なくされることがある。このような事態に対処するためには、定植適期となった苗の状態を維持する貯蔵技術が必要である。そこで、移植適期に達した苗の品質維持を目的に、貯蔵温度、培養土水分および光照射が、貯蔵中の苗の外観品質、炭水化物含量および光合成能に及ぼす影響について検討した。

貯蔵温度が高いほど草丈が増加し、茎葉部乾物率が低下して徒長苗の様相を示した。葉のデンプン含量は温度に関係なく著しく低下したが、可溶性糖含量は温度が低いと一時的に増加した。苗の光合成速度は貯蔵温度が低いほど高かった。

培養土の乾燥処理によって貯蔵中に葉の水ポテンシャルが低下した苗では徒長が抑えられた。株あたりの茎葉部デンプン量は乾燥処理によって低下が抑えられ、可溶性糖量は増加した。出庫後に移植した苗の光合成と蒸散は乾燥処理によって回復が速まった。

暗黒下では苗が徒長し、葉のクロロフィル含量と光合成速度が低下したが、蛍光灯による弱光照射を行うことで、徒長が抑えられ、クロロフィル含量と光合成速度が高く維持された。これらの効果は連続照射より断続照射で高く、明期 1 時間、暗期 23 時間の断続弱光照射の場合、光強度による差は認められなかった。

これらの結果から、貯蔵温度の低下、培養土水分の低下および蛍光灯による断続的な弱光照射は苗質維持に効果があり、これらの処理によって貯蔵中の苗の徒長が抑えられ、光合成能が高く維持あるいは出庫後に速やかに回復できることが明らかとなった。また、貯蔵中の低温や乾燥は体内の糖蓄積を促すため、炭水化物量が長く維持されることが考えられた。

苗の需要の季節変動に対処し、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長期貯蔵技術が必要である。そこで、低温と蛍光灯の間欠弱光照射を利用して苗の長期貯蔵を試みた。貯蔵温度 10℃、または、5℃、間欠弱光照射 (1h 明期 : 23h 暗期, PPFD 1.7~7.6 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、または、暗黒下で、9 週間苗を貯蔵した。10℃暗黒区では苗が徒長したが、他の区では徒長が抑制された。本葉の葉色は 5℃、10℃ともに暗黒区より照射区で高く維持された。10℃暗黒区では定植後の生存率が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。収穫時の結球重はいずれの区も貯蔵週数の増加に伴って低下したものの、10℃区では照射により結球重低下が軽減した。これらのことから、間欠弱光照射を行えば、10℃程度の比較的高い温度で苗を長期間貯蔵しても高い苗質を維持できることが明らかとなった。

謝 辞

本論文をとりまとめるにあたり，終始懇切なる御指導を賜りました神戸大学大学院自然科学研究科 安田武司教授に謹んで感謝の意を表します．また，有意義な御指導と御校閲を賜りました神戸大学大学院自然科学研究科 稲垣 昇教授，同 杉本敏男教授，並びに同 東 哲司助教授に心より御礼申し上げます．

本研究を遂行するにあたり，野菜・茶業試験場作型開発研究室長 吉岡 宏博士（現在 野菜茶業研究所葉根菜研究部長）には，終始御指導と御鞭撻をいただき，深甚なる謝意を表します．同試験場作型開発研究室 藤原隆広博士（現在 近畿中国四国農業研究センター野菜部），同試験場生理機構解析研究室 大和陽一博士（現在 九州沖縄農業研究センター野菜花き研究部），野菜茶業研究所葉根菜部生産システム研究チーム長 東尾久雄博士には，御指導と貴重な御助言を賜り，心より感謝いたします．また，本研究の遂行に日々協力していただいた作型開発研究室非常勤職員 吉川常子氏，並びに野菜茶業研究所 業務科職員の方々に厚く御礼申し上げます．

引用文献

- Antikainen, M., Pihakaski, S. 1994. Early developments in RNA, protein, and sugar levels during cold stress in winter rye (*Secale cereale*) leaves. *Ann. Bot.* 74: 335-341.
- Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.* 24: 1-15.
- Boyer, J.S. 1985. Water transport. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 36, 473-516.
- Carmi, A., Hesketh, J. D., Enos, W. T., Peters, D. B. 1983. Interrelationships between shoot growth and photosynthesis, as affected by root growth restriction. *Photosynthetica* 17: 240-245.
- Carmi, A., Heuer, B. 1981. The role of roots in control of bean shoot growth. *Ann. Bot.* 48: 519-527.
- Davis, T. D., Potter, J. R., 1985. Carbohydrates, water potential, and subsequent rooting of stored rhododendron cuttings. *Hortscience* 20: 292-293.
- Dufault, R. D., Waters, L. J. 1985. Container size influences broccoli and cauliflower transplant growth but not yield. *HortScience* 20: 682-684.
- Fitter, A. H., Hay, R. K. M. 1987. Environmental physiology of plants. Academic Press. London.
- Forrest, S. I., Verma, D. P. S., Dhindsa, R. S. 1991. Starch content and activities of starch-metabolizing enzymes in effective and ineffective root nodules of soybean. *Can. J. Bot.* 69: 697-701.
- Frantz, J. M., Welbaum, G. E., Shen, Z., Morse, R. 1998. Comparison of cabbage seedling growth in four transplant production system. *Hortscience*, 33, 976-979.
- Fuchigami, L. H., Cheng, T. Y., Soeldner, A. 1981. Abaxial transpiration and water loss in aseptically cultured plum. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 106, 519-522.
- 藤原隆広・吉岡 宏・四方 久・佐藤文生. 1998a. キャベツセル成型苗の定植時における根鉢水分状態が活着と生育の斉一性に及ぼす影響. *園学雑.* 67: 773-777.
- 藤原隆広・吉岡 宏・四方 久・佐藤文生. 1998b. 全自動機械定植におけるキャベツセル成型苗の定植適期の総合評価. *農作業研究.* 33: 73-79.
- 藤原隆広・吉岡 宏・佐藤文生. 1999. キャベツセル成型苗の形態的・物理的性状が全自動移植期による機械定植適応性に及ぼす影響. *農作業研究.* 34, 77-84.
- 藤原隆広・吉岡 宏・佐藤文生. 2000. 栽植密度と定植後の苗の初期生育がキャベツ生育の斉一性に及ぼす影響. *園学雑.* 69: 315-322.
- 藤原隆広・吉岡 宏・佐藤文生. 2001. エブ&フロー灌水と培養液への NaCl 添加によるセル成型育苗の省力化とキャベツ苗品質の向上. *農作業研究.* 36, 153-161.

- 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.
- 福地信彦・青柳森一. 1996. キャベツ, レタス, パセリーのセル成型苗の育苗法—育苗日数, 培養土, 被服肥料の利用が生育に及ぼす影響—. 千葉農試研報. 37: 73-84.
- 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. 1996a. キャベツ・ブロッコリーセル成型苗の根の呼吸活性と定植後の発根力との関係. 園学雑. 65: 95-103.
- 福岡信之・吉岡 宏・清水恵美子・藤原隆広. 1996b. 遮光下におけるキャベツセル成型苗の根の生理的变化と定植後の発根力との関係. 園学雑. 65: 545-551.
- Gifford, R. M., Evans, L. T. 1981. Photosynthesis, carbon partitioning, and yield. Ann. Rev. Plant Physiol. 32: 485-509.
- Guy, C. L., Huber, J. L. A., Huber, S. C. 1992. Sucrose phosphate synthase and sucrose accumulation at low temperature. Plant Physiol. 100: 502-508.
- Hameed, M. A., Reid, J. B., Rowe, R. N. 1987. Root confinement and its effects on the water relations, growth and assimilate partitioning of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). Ann. Bot. 59: 685-692.
- Hurley, M. B., Rowarth, J. S. 1999. Resistance to root growth and changes in the concentrations of ABA within the root and xylem sap during root-restriction stress. J. Exp. Bot. 50: 799-804.
- 岩崎泰永・佐々木丈夫・千葉佳朗・三枝正彦. 1999. 土壌を培地としたトマトの循環型灌水施肥システムにおける排液イオン組成の変動. 園学雑. 68: 1161-1169.
- Kaczperski, M. P., Armitage, A. M. 1992. Short-term storage of plug-grown bedding plant seedlings. HortScience 27, 798-800.
- Kaiser, W. M. 1987. Effects of water deficit on photosynthetic capacity. Physiol. Plant. 71: 142-149.
- 唐橋 需・井上喬二郎・澤村宣志. 1981. 結球野菜収穫機の開発研究. 農事試研報. 33: 19-56.
- Kerr, P. S., Rufty, T. W. Jr., Huber, S. C. 1985. Endogenous rhythms in photosynthesis, sucrose phosphate synthase activity, and stomatal resistance in leaves of soybean (*Glycine max* [L.] Merr.).
- Kharkina, T. G., Ottosen, C. O., Rosenqvist, E. 1999. Effects of root restriction on the growth and physiology of cucumber plants. Physiol. Plant. 105: 434-441.
- 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.
- Kratky, B. A., Wang, J. K., Kubojiri, K. 1982. Effects of container size, transplant age, and plant spacing on Chinese cabbage. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 107: 345-347.
- Krizek, D. T., Carmi, A., Mirecki, R. M., Snyder, F. W., Bunce, J. A. 1985. Comparative effects of soil moisture stress and restricted root zone volume on morphogenetic and physiological responses of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. J. Exp. Bot. 36: 25-38.
- Kubota, C., 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.
- Kubota, C., Rajapakse, N.C., Young, R.E. 1997. Carbohydrate status and transplant quality of micropropagated broccoli plantlets during low temperature storage under different light environments. Postharvest Biol. Technol. 12, 167-173.
- Lafta, A. M., Lorenzen, J. H. 1995. Effect of high temperature on plant growth and carbohydrate metabolism in potato. Plant Physiol. 109: 637-643.
- Leskovar, D. I., Cantliffe, D. J. 1991. Tomato transplant morphology affected by handling and storage. HortScience 26: 1377-1379.
- Liptay, A Edwards, D. 1994. Tomato seedling growth in response to variation in root container shape. Hortscience. 29: 633-635.
- Liu, A., Latimer, J. G. 1995. Water relations and abscisic acid levels of watermelon as affected by rooting volume restriction. J. Exp. Bot. 46: 1011-1015.
- 楼 恵寧・加藤 徹. 1988. ナス苗の素質に関する研究. (第 1 報) 日長時間と日照の強さの影響. 生物環境調節. 26: 69-78.
- Macduff, J. H., Jarvis, S. C., Larsson, C-M., Oscarson, P. 1993. Plant growth in relation to the supply and uptake of NO_3^- : A comparison between relative addition rate and external concentration as driving variables. J. Exp. Bot. 44: 1475-1484.
- Marr, C. W., Jirak, M. 1990. Holding tomato transplants in plug trays. HortScience 25: 173-176.
- 正木 敬・大野 元. 1979. 鉢育苗に関する研究. I 育苗鉢の大きさ及び育苗日数を異にしたトマトの初期生育. 野菜試報. A5: 81-93.
- 峯 洋子・稲永 忍・崎山亮三・坂 齊. 2000. 緩速砂ろ過が NFT システムにおける循環培養液の無機要素と菌濃度に及ぼす影響. 園学雑. 69: 323-331.
- Morgan, J. M. 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. Annu. Rev. Plant Physiol. 35: 299-319.
- 村田公夫・金子一也・沖嶋壽彦・加藤 晃. 1992. 野菜育苗における水管理の自動化. 群

- 馬農業研究. A9: 1-8.
- Nicola, S., Cantliffe, D. J. 1996. Increasing cell size and reducing medium compression enhance lettuce transplant quality and field production. HortScience 31: 184-189.
- 日本施設園芸協会編. 1999. 野菜生産機械化の手引き. p 7-9. 日本農業機械化協会. 東京.
- 西本登志・泰松恒男. 1996. キャベツ苗の耐倒伏性の品種間差について. 奈良農試験. 27: 17-23.
- 農林水産先端技術産業振興センター編. 1999. 平成 10 年度成型苗の生産・流通に関する実態調査報告書. p 1-8.
- 小田雅行・高戸淳二・池田英男・古川 一. 2002. レタス育苗時のセル容量が定植前後における生育, 糖濃度および根の呼吸に及ぼす影響. 園学研. 1: 27-30.
- 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.
- Panton, F., Schwabe, W. W. 1987. Storage of cuttings of *Pelargonium* × *hortorum* Bailey. J. Hort. Sci. 62: 79-87.
- Peterson, T. A., Reinsel, M. D., Krizek, D. T. 1991. Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill., cv. 'Better Bush') plant response to root restriction. II. Root respiration and ethylene generation. J. Exp. Bot. 42: 1241-1249.
- Preece, J. E., 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., Wang, H. 1991. Low-temperature storage effects on sugar content, respiration and quality of Anthurium flowers. J. Hort. Sci. 66: 209-214.
- Pryor, R. T., Stewart, R. N. 1963. Storage of unrooted soft azalea cuttings. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 82: 483-484.
- Quick, P., Siegl, G., Neuhaus, E., Feil, R., Stitt, M. 1989. Short-term water stress leads to a stimulation of sucrose synthesis by activating sucrose-phosphate synthase. Planta 177: 535-546.
- Richards, D., Rowe, R. N. 1977. Effects of root restriction, root pruning and 6-benzylaminopurine on the growth of peach seedlings. Ann. Bot. 41: 729-740.
- Risse, L. A., Kretchman, D. W., Jaworski, C. A. 1985a. Quality and field performance of densely packed tomato transplants during shipment and storage. Hortscience 20: 438-439.
- Risse, L. A., Moffitt, T., Bryan, H. H. 1985b. Effect of storage temperature and duration on quality, survival, and yield of containerized tomato transplants. Proc. Fla. State Hort. Soc. 92: 198-200.

- Robbins, N. S., Pharr, D. M. 1988. Effect of restricted root growth on carbohydrate metabolism and whole plant growth of *Cucumis sativus* L. *Plant Physiol.* 87: 409-413.
- Robbins, N. S., Pharr, D. M. 1987. Regulation of photosynthetic carbon metabolism in cucumber by light intensity and photosynthetic period. *Plant Physiol.* 85: 592-597.
- Robinson, N. L., Hewitt, J. D., Bennet, A. B. 1988. Sink metabolism in tomato fruit. I. Developmental changes in carbohydrate metabolizing enzymes. *Plant Physiol.* 87: 727-730.
- Ruff, M. S., Krizek, D. T., Mirecki, R. M., Inouye, D. W. 1987. Restricted root zone volume: Influence on growth and development of tomato. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 112: 763-769.
- Sasaki, H., Ichimura, K., Oda, M. 1996. Changes in sugar content during cold acclimation and deacclimation of cabbage seedlings. *Ann. Bot.* 78: 365-369.
- 佐藤文生・清水恵美子・吉岡 宏・藤原隆広. 1996. 葉菜類セル成型苗の根鉢形成と定植後の発根力との関係. *園学雑.* 65 (別 1) : 250-251.
- 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.
- Schulze, E. D. 1986. Carbon dioxide and water vapour exchange in response to drought in the atmosphere and in the soil. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 60: 286-289.
- Schwabe, W. W. 1963. Morphogenetic responses to climate. In: *Environmental control of plant growth* (ed. Evans, L. T.), Academic Press, New York, p 311-334.
- 清水恵美子・吉岡 宏・福岡信之・藤原隆広. 1995. ホウレンソウセル成型苗の苗齢が根の呼吸活性と定植後の生育に及ぼす影響. *園学雑.* 64 (別 1) : 298-299.
- 白木己歳. 1999. 果菜類のセル苗を使いこなす. p 32-42. 農文協. 東京.
- 柴岡 弘郎. 1990. 現代植物生理学 3. 生長と分化. p 156. 朝倉書店. 東京.
- 渋谷俊夫・中原正一・古在豊樹. 1999. セル成型苗個体群の蒸発散量計測に基づく自動干満灌水システムの開発. *生環調.* 37: 57-61.
- 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.
- Stewart, C. R. 1971. Effect of wilting on carbohydrates during incubation of excised bean leaves in the dark. *Plant Physiol.* 48: 792-794.
- 須田 晃・西尾謙一・福田正夫. 1996. シクラメンのエブ・アンド・フローシステムにおける培養液窒素濃度と給液開始点が生育・開花に及ぼす影響. *愛知農総試研報.* 28: 219-225.
- 菅沼健二・岩瀬博貞. 1993. キャベツセル成型苗における苗質と生育及び収量. *愛知農総*

- 試研報. 25: 179-186.
- Sutter, E., Langhans, R. W. 1979. Epicuticular wax formation on carnation plantlets regenerated from shoot tip culture. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104: 493-496.
- 竹川昌宏・大西忠夫. 1999. 秋まき春・初夏どりキャベツにおけるセル成型苗のは種時期が収穫時期, 収量に及ぼす影響. 兵庫農技研報 (農業). 47: 16 - 21.
- Tognetti, J. A., Calderon, P. L., Pontis, H. G. 1989. Fructan metabolism: reversal of cold acclimation. *J. Plant Physiol.* 134: 232-236.
- Volence, A. O., Joern, B. C. 1996. A role for nitrogen reserves in forage regrowth and stress tolerance. *Physiol. Plant.* 97: 185-193.
- Walker, R. L., Burns, I. G., Moorby, J. M. 2001. Responses of plant growth rate to nitrogen supply : A comparison of relative addition and N interruption treatments. *J. Exp. Bot.* 52: 309-317.
- Weston, L. A., Zandstora, B. H. 1986. Effect of root container size and location of production on growth and yield of tomato transplants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111: 498-501.
- Wien, H. C. 1997. Transplanting. In Wien, H.C. (Ed.). *The Physiology of Vegetable Crops*. CAB International. London. p 37-68.
- Wilson, S. B., Iwabuchi, K., Rajapakse, N. C., Young, R.E. 1998a. Responses of broccoli seedlings to light quality during low-temperature storage in vitro: I. Morphology and survival. *HortScience* 33. 1253-1257.
- Wilson, S. B., Iwabuchi, K., Rajapakse, N. C., Young, R.E. 1998b. Responses of broccoli seedlings to light quality during low-temperature storage in vitro: II. Sugar content and photosynthetic efficiency. *HortScience* 33. 1258-1261.
- 山下市二・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.
- 柳澤淳二. 2000. 機械化一貫体系によるキャベツ大規模経営の展開条件. 愛知農総試研報. 32: 73 - 80.
- 吉岡 宏・高橋和彦. 1979. 果菜類における光合成産物の動態に関する研究. II トマトの生育に伴う ^{14}C 同化産物の転流・分配と摘心及びしゃ光の影響. 野菜試報. A6: 71-84.
- 吉岡 宏. 1989. 果菜類における光合成産物の動態に関する研究. X 育苗鉢の大きさがトマトの生育及び光合成産物の転流・分配に及ぼす影響. 野菜・茶業試研報. A.3: 23-34.
- 吉岡 宏・中川 泉・西村仁一. 1994. 花芽分化促進のための低温・短日処理がイチゴ苗の生育と根の呼吸活性に及ぼす影響. 近畿中国農研. 88: 39-43.
- 吉岡 宏. 1996. セル成型苗の生育特性と機械定植. 平成 8 年度園芸学会秋季大会シンポジウム講演要旨集. p 62-73.
- 吉岡 宏・清水恵美子・福岡信之・藤原隆広・佐藤文生. 1998. 苗の引き抜き抵抗値を利

用したキャベツセル成型苗の発根力評価. 園学雑. 67: 589-594.

Zrenner, R., Stitt, M. 1991. Comparison of the effect of rapidly and gradually developing water-stress on carbohydrate metabolism in spinach leaves. *Plant Cell Environ.* 14, 939-946.