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

佐藤文生^{1*}・吉岡 宏²・藤原隆広³・東尾久雄¹・浦上敦子¹・徳田進一¹

¹野菜茶業研究所つくば研究拠点 305-8666 つくば市観音台

²野菜茶業研究所 514-2392 三重県安濃町草生

³中国近畿四国農業研究センター 623-0035 綾部市上野町

Effects of the Age of Cabbage Plug Seedlings on Initial Growth and Carbohydrate Partitioning after Transplanting

Fumio Sato^{1*}, Hiroshi Yoshioka², Takahiro Fujiwara³, Hisao Higashio¹, Atsuko Uragami¹ and Shinichi Tokuda¹

¹National Institute of Vegetable and Tea Science, Tsukuba Vegetable Research Station, Tsukuba 305-8666

²National Institute of Vegetable and Tea Science, Ano, Mie 514-2392

³National Agricultural Research Center for Western Region, Ueno, Ayabe 623-0035

Summary

We investigated the effects of the age of cabbage plug seedlings on the initial growth and carbohydrate partitioning after transplanting. Seedlings grown in 9-ml cells were transplanted into 350-ml pots 14, 21 or 28 days after sowing. Analyses for soluble sugar and starch revealed that they accumulated more in leaves than in roots. Starch concentration in leaves was higher than that of soluble sugar; it increased with seedling age. During seven days after transplanting, the relative growth rate decreased with increasing seedling age; this decrease was greater in shoots than in roots. Lower leaves enlarged more slowly after transplanting than did leaves at upper positions. The accumulated starch in the 1st leaf decreased rapidly after transplanting. Root growth of 28-day seedlings after transplanting was retarded less by shading of the 1st leaf than by leaf removal, while that of 14-day seedlings was retarded equally by both treatments. In 21-day seedlings, the distribution rate of ¹⁴C-photoassimilates from the 1st leaf to roots increased after transplanting. These results indicate that starch, accumulating in leaves before transplanting, hydrolyzed to sugars that rapidly translocated to the roots after transplanting.

Key Words: cabbage, plug seedling, starch, transplanting, translocation of photoassimilates.

緒 言

セル成型育苗は、育苗管理の省力化と移植作業の機械化が可能なことから、近年急速に普及しつつある。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するため、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りやすい(唐橋ら, 1981; 藤原ら, 2000)。したがって、移植後安定した活着を示す苗を用いることは、収量の安定化と作業の効率化を図るうえで重要であり、そのためには移植後の初期生育に影響する苗質を正確に評価することが必要と考えられる。

キャベツセル成型苗では、育苗日数の増加に伴い移植後の初期生育が遅延することが知られている(福地・青柳, 1996; 藤原ら, 1998)。これは、高密度で根域を小さく制限して育苗することから、生育が進むにつれ、相互遮蔽が顕著となり光不足に陥ることや、根の密度が早期に高まり根域制限に起因するストレスを受けやすいためと考えられている(佐藤, 1997)。この点に関して福岡ら(1996a, b)は、遮光や摘葉、短日処理によって育苗期の光合成量が低下したキャベツセル成型苗は、葉や根の炭水化物濃度が低下し、移植後の根重増加が遅延することを認め、移植後の初期生育に対する炭水化物濃度の重要性を指摘した。しかし、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濃度との関係を詳しく検討した報告はない。

そこで本研究では、キャベツセル成型苗について、苗の器官別炭水化物濃度および含有量を調査し、また、育

2002年6月14日 受付。2003年2月21日 受理。

* Corresponding author.

苗日数が移植後の初期生育、葉の炭水化物濃度の挙動、摘葉および遮光処理が根の生育に及ぼす影響について検討した。さらに、移植前の葉に取り込まれた光合成産物の移植後の転流・分配についても検討を加え、移植後の初期生育に係る苗質としての苗の炭水化物濃度の評価について有益な知見を得たので報告する。

材料および方法

本実験では、キャベツ (*Brassica oleracea* L.) '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パー内で行った。容量 9 ml のセルに育苗用培養土 (野菜養土、ヤンマー) を詰め、1セル当たり 3粒ずつ播種した。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 1/5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。また、本実験では相互遮蔽の影響を除外して検討するため、隣接するセル間に 4 cm の間隔を設け、相互遮蔽の影響を受けないようにした。チャンパ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濃度および含有量

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とデンプンの濃度と含有量を測定した。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 回抽出した。可溶性糖 (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、市販の測定キット (F-キット、ペーリンガー・マンハイム) を用いて測定した。また、デンプンの測定は Lafta・Lorenzen (1995) の方法に準じて行った。抽出残さに 5 ml の 0.2 N KOH を加えて 100℃ でデンプンを抽出し、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。

実験 2. 移植時の葉の炭水化物濃度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、園芸培養土 (クレハ園芸培土、呉羽化学) 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パー内で 7 日間栽培した。移植後も育苗時と同様に 1 日 1 回園試処方 1/5 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とデンプンの濃度を測定した。

実験 3. 移植後の葉の炭水化物濃度の変化

実験 2 と同様に 14 日苗、21 日苗、28 日苗をプラスチックポットに移植した。移植時と移植後 2、4、7 日目に第 1 葉を採取し、実験 1 に準じて可溶性糖とデンプンの濃度を測定した。

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 Sato ら (2001) 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 kBq・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℃ で通風乾燥した。 ^{14}C の測定は吉岡・高橋 (1979) の方法に準じて行った。試料をサンプルオキシダイザー (ASC-113, アロカ) で燃焼させると同時に、発生した $^{14}\text{CO}_2$ をカーボソルブ・トルエンシンチレーターに吸収させ、各部位の放射活性を液体シンチレーションカウンター (LSC-3500, アロカ) で測定した。

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濃度および含有量

播種後 21 日の苗において、可溶性糖は全器官で認められ、その濃度は茎と葉で高く、根で最も低かった (第 1 表)。一方、デンプンは葉、茎、子葉で認められたものの、

Table 1. Soluble sugar and starch concentrations and contents 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)	(mg · plant ⁻¹)	(%) ^z
Leaves	91.5 ± 5.8 ^y	251.4 ± 12.6	342.9 ± 14.3	24.9 ± 1.0	77
Stem	105.6 ± 5.6	104.8 ± 4.5	210.4 ± 8.4	2.2 ± 0.2	7
Cotyledons	55.4 ± 2.2	168.7 ± 18.8	224.1 ± 18.5	4.8 ± 0.6	15
Root	34.3 ± 4.1	n.d. ^x	34.3 ± 4.1	0.5 ± 0.1	1

^zPercentage of soluble sugar and starch content in a plant.^yMean ± SE (n = 6).^xNot detected. **Fig. 1.** Soluble sugar and starch concentrations in leaves of cabbage plug seedlings of different ages. Vertical bars indicate SE (n = 6).

根では認められなかった。デンプン濃度は、茎では可溶性糖濃度とほぼ同じであったが、葉と子葉では、可溶性糖濃度に比べて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の合計濃度は葉で最も高く、さらに、葉は可溶性糖とデンプンの合計含有量も最も高く、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含有量は最も少なく、苗全体の1%であった。

2. 移植時の葉の炭水化物濃度と移植後の初期生育との関係

葉の可溶性糖濃度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図)、デンプン濃度は、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、デンプン濃度は可溶性糖濃度に比べ高く、28日苗では、デンプン濃度が可溶性糖濃度の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2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3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. 2. Shoot and root 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. Vertical bars indicate SE (n = 6). **Fig. 3.** Changes in leaf area of cabbage plug seedlings of different ages (14, 21 and 28 days after sowing). Vertical bars indicate SE (n = 6).

Fig. 4. Changes in soluble sugar and starch concentrations in the 1st leaf of cabbage plug seedlings of different ages (14, 21 and 28 days after sowing). Vertical bars indicate SE (n = 6).

Fig. 5. Distribution rate of ^{14}C -photoassimilates at transplanting time and 4 days later (2 and 6 days after $^{14}\text{CO}_2$ feeding). $^{14}\text{CO}_2$ was fed to the 1st leaf. Vertical bars indicate SE (n = 4).

3. 移植後の葉の炭水化物濃度の変化

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日苗では可溶性糖濃度が移植後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4図)。一方、デンプン濃度は、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、デンプン濃度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

Table 2. 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.

デンプン濃度が高かったが、移植後7日目にはいずれの苗も同程度となった。

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2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。

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5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

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)など多くの植物で知られている。キャベツについても、本実験と同様の育苗条件で異なる根域容量(9 ml~50 ml)で苗を育苗すると、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が認められている(Satoら, 2001)。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、その濃度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、育苗日数の長い苗ほどデンプン濃度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ると考えられた。

福岡ら(1996a, b)は、育苗期のキャベツセル成型苗に短日や遮光など葉や根の可溶性糖とデンプンの濃度の低下を招く処理を行なうと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、葉のデンプン濃度は高まるものの、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大が旺盛であるのに対し、下位の葉ほど増大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た。このように、移植後の生育と蓄積炭水化物濃度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(2001)は、異なる根域容量で育苗したレタスセル成型苗で、可溶性糖濃度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濃度が増加した苗では、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。移植時のデンプン濃度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、デンプン濃度が異なる播種後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唆している。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、根の炭水化物濃度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濃度は高まるものの、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、葉の炭水化物濃度が高い苗は、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、葉のデンプン濃度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。本実験では、グロースチャンパー内の安定した環境で、かつ、育苗時の苗に適度な間隔を設け相互遮蔽の影響を除外して検討した結果であるが、実際には、自然条件下での様々な環境要因や、生育が進むにつれ顕著となる相互遮蔽の影響が成熟葉のデンプン濃度や移植後の生育に大きく影響するものと推測される。したがって、これらの点についても考慮した検討が必要であり、今後は移植時の葉のデンプン濃度と露地条件での活着の安定性との関係や、この関係に及ぼす相互遮蔽の影響についてさらに検討する予定である。

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。

葉のデンプン濃度は可溶性糖濃度より高く、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¹⁴C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。

引用文献

- 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・四方 久・佐藤文生. 1998. 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.
- 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.
- Hurley, M. B. and J. S. Rowarth. 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.
- 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.
- Kratky, B. A., J. K. Wang and K. Kubojiri. 1982. Effects of container size, transplant age, and plants spacing on chinese cabbage. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107: 345-347.
- Krizek, D. T., A. Carmi, R. M. Mirecki, F. W. Snyder and J. A. Bunce. 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.
- Lafta, A. M. and J. H. Lorenzen. 1995. Effect of high temperature on plant growth and carbohydrate metabolism in potato. Plant. Physiol. 109: 637-643.
- Liu, A. and J. G. Latimer. 1995. Water relations and abscisic acid levels of watermelon as affected by root volume restriction. J. Exp. Bot. 46: 1011-1015.
- Marr, C. W. and M. Jirak. 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.
- Nicola, S. and D. J. Cantliffe. 1996. Increasing cell size and reducing medium compression enhance lettuce transplant quality and field production. HortScience 31: 184-189.
- 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.
- Peterson, T. A., M. D. Reinsel and D. T. Krizek. 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.
- Robbins, N. S. and D. M. Pharr. 1988. Effect of restricted root growth on carbohydrate metabolism and whole plant growth of *Cucumis sativus* L. Plant Physiol. 87: 409-413.
- Ruff, M. S., D. T. Krizek and R. W. Inouye. 1987. Restricted root zone volume: Influence on growth and development of tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112: 763-769.
- 佐藤文生. 1997. 葉菜類セル成型苗の生理生態特性. 農および園. 72: 585-592.
- Sato, F., H. Yoshioka and T. Fujiwara. 2001. Effect of root volume restriction on growth and carbohydrate status of cabbage seedlings. Environ. Control in Biol. 39: 235-243.
- 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¹⁴C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.