

セル成型苗を利用したキャベツの斉一化・省力化栽培技術の開発[†]

藤 原 隆 広*

(平成 15 年 11 月 19 日受理)

Development of Labor-saving Cultivation Techniques Using Plug Seedlings
to Promote Uniform Cabbage Growth

Takahiro FUJIWARA

Synopsis

In this report, cabbage cultivation techniques to improve the uniformity of growth to establish a labor saving cultivation system which corresponded to mechanization were examined. Early growth in the field was the most important factor influencing subsequent growth and uniformity of growth at harvest. To suppress the dispersion of the individual early growth of seedlings after transplanting, 1) techniques to promote uniform growth and quality of cabbage plug seedlings, and 2) cultivation techniques to ensure uniform cabbage growth at transplanting time, were developed. The combination of these techniques will contribute to promote uniform cabbage growth at harvest.

Key words: Cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*), Growth uniformity, Plug seedlings, Labor-saving, Cultivation techniques

目 次

	1 苗の機械定植適応性	179
	2 底面給水の活着促進・生育斉一化効果	180
	3 植え付け深さと活着・生育の斉一性との関係	184
I 緒 言		147
II 材料および方法	VI 総合考察	149
III キャベツの生育・収量の変動要因解析	VII 総合摘要	151
1 育苗期間における生育の変動要因	引用文献	151
2 定植後の変動要因	Summary	154
IV キャベツ苗の生育・品質の斉一化技術		161
1 種子の選別と最適播種深度		161
2 エブ&フロー灌水システムの適用		162
3 追肥の好適施用量とその時期		164
4 NaCl 施用による徒長抑制と順化		169
V 定植時のキャベツの生育斉一化技術		179

I 緒 言

キャベツ (*Brassica oleracea* var. *capitata*) は、地中海地方を原産とする野菜で、世界で最も重要な野菜の

〒514-2392 三重県安芸郡安濃町大字草生 360
農林水産省野菜・茶業試験場生理生態部

* 現 独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構近畿中国四国農業研究センター野菜部

† 本論文は千葉大学審査学位論文を基に編集加筆したものである。本論文の一部は、園学雑, 67, 767-772 (1998); 園学雑, 67, 773-777 (1998); 園学雑, 69, 315-322 (2000); 園学雑, 71, 796-804 (2002); 農作業研究, 33, 73-79 (1998); 農作業研究, 34, 77-84 (1999); 農作業研究, 36, 153-161 (2001); 農作業研究, 37, 223-229 (2002) において発表した。また、本論文の一部(論文未発表分)は、園芸学会平成 13 年度秋季大会(園学雑70 別 2, 280, 2001), 14 年度春季大会(園学雑70 別 1, 250, 2002)で講演した。

一つである。1994年の世界での生産量は4千万tであり、日本は、中国、ロシア、インドに続く主要生産国となっている（GHOSHら、1998）。

わが国におけるキャベツ栽培の歴史は、明治時代に遡り、明治初年に導入され、明治末期には全国で約2,000haの面積で栽培されたと記されている（岩間、1974）。導入後約130年の時代を経た現在、全国で約38,000haの栽培があり、年間約150万tが生産されている（農水統計、2000）。

キャベツの生育適温は5～25℃であり、葉根菜類の中では温度適応性が最も広いとされている（吉川、1996）。わが国は、緯度の違いや標高差を備えた国土を有することから、夏の高温期には、比較的緯度の高い地域や標高の高い地域において、冷涼な気候を生かした栽培が行われ、また、冬の低温期には、緯度の低い西南暖地や、標高が低く暖流の影響により温暖な気候となる関東、東海地域での生産が盛んである。このように、キャベツは作物としての特性と日本の地域的气候の多様性を生かして、現在は周年的に生産が行われている。

土地利用型の野菜であるキャベツは、水田を利用した栽培が可能であり、米麦と比較して収益性が高いという魅力がある。このため、水田の裏作・転換作物としてのキャベツ導入に対する強いニーズがある。しかし、キャベツ生産は米麦生産と比べ労働負荷が大きく作業時間も長くなることから、安価な労働力の供給または機械化の導入のいずれかが重要とされている。殊に安価な労働力を入手しにくいわが国にあっては、機械化が最重要課題とされ、米麦生産の機械化に比べ遅れていたキャベツの機械化（金光ら、1994；唐橋ら、1983；山本、1992）が大きくとり上げられるようになった。

1991年5月、農林水産省内に「新しい食料・農業・農村政策検討本部」が設置され、翌年1992年6月に、今後のわが国の農政の基本方向を示した「新しい食料・農業・農村政策の方向」（新農政）が公表された。この新農政の中で、野菜政策については「供給事情の変化を踏まえ従来の生産過剰基調における政策運営を転換し、供給力低下の懸念に対応する必要」があり、そのために「所要の政策を講じていく」ことが示され、野菜生産の省力化・機械化に向けて国を挙げて推進して行くこととなった。これを受けて、農林水産省内に、食品流通局長を本部長とする「野菜生産機械化・省力化推進本部」が設置されると共に、シンクタンクとしての役割を果たすべく、生産、流通、消費、機械開発、行政、研究、普及等の関係者から構成される「野菜生産機械化・省力化検

討委員会」が設置された。同委員会においては、「機械開発・省力化技術部会」、「労働力調整部会」、「出荷規格簡素化部会」の三つの部会を設けて、それぞれの専門的な観点から検討を行った結果、今後の機械開発・省力化、労働力調整、出荷規格の簡素化のための指針が示された（野菜生産機械化・省力化研究会、1993）。

この指針に従い、効率的な機械の導入を推進する上で重要な全自動移植機に対応したセルトレイの規格の標準化（吉岡、1999）が図られた。同時に、国内のキャベツセル成型苗生産における技術の現状調査と、試験研究結果をとりまとめること（藤原ら、1996）により、育苗マニュアル（農林水産省野菜・茶業試験場、1997）を作成し、全国に情報を提供する（藤原ら、1998d）ことで、生産現場における育苗技術の向上を図る試みが行われた。また、定植後の栽培様式の標準化（吉岡、1995）を図ることで、圃場管理の機械化の促進が図られた。

このような背景の下、セル成型苗を利用した全自動機械移植に関する研究では多くの成果が挙げられ（藤原ら、1998c、1999；森山ら、2000；菅沼ら、1993；鈴木ら、1998；弓野ら、1996）、定植作業の機械化とセル成型育苗によるキャベツ苗生産が定着しつつある（社団法人農林水産先端技術産業振興センター、1999）。一方、キャベツ栽培の中で最も労働負荷が大きく、作業時間の短縮が必要とされる収穫作業の機械化については農業機械の分野では早くから研究が進んでおり（唐橋ら、1981）、全自動収穫機が開発され市販されている。ただし、一斉収穫が前提である全自動収穫機の利用に当たっては、収穫時のキャベツの機械収穫適応性（HALSEYら、1968）の中でも、とりわけ、収穫時の生育の斉一性が重要であり、収益に大きく影響する。しかし、セル成型苗を利用した現状のキャベツ栽培においては、生育揃いが不十分であり、このことが、全自動収穫機の普及を遅らせている原因の一つとなっている。従って、キャベツの機械収穫技術がキャベツ生産に導入され、普及するためには、キャベツの生育斉一化技術の確立が不可欠と考えられる。

機械収穫を前提とした、野菜の生育斉一化技術に関する報告は、これまで、BENJAMIN（1984）がリーキについて詳細に検討しており、種子サイズ、播種の深さ、子葉展開期の実生の時期、異なる生育ステージ、株間等の栽培様式などの各種項目について、収穫時の生育の斉一性を高める際の栽培管理項目の重み付けを行い、収穫時の斉一性を高めるための具体的栽培管理方法を提示している。キャベツ栽培に関しては、これまで、STOFFELLAら（1990）は栽植密度が収穫物の斉一性に及ぼす影響に

について、HALSEYら（1966）は品種と栽植密度が収量等に及ぼす影響について、さらに、MILLERら（1969）は栽植密度、苗の植え付け深さ、施肥量などの栽培管理の組み合わせがキャベツの一斉収穫適応性に及ぼす影響について報告している。しかし、キャベツに関するいずれの研究も収穫時のデータを統計的手法を用いて解析し、その有意性を評価したものであり、生育斉一性低下の過程を検討し、斉一化技術を解析・体系化した研究は見られない。また、キャベツ栽培に関して、特に、近年急速に普及したセル成型苗を用いた機械化一貫体系においては、生育斉一化技術の開発と体系化が急務であると考えられる。

本研究では、セル成型苗を用いた機械化による省力化栽培を前提に、一斉収穫に対応しうるキャベツの斉一栽培技術の確立を目的として、まず、播種から収穫までの栽培期間中の生育斉一性に関する変動要因の解析を行った。これに基づき、苗の生育・品質の斉一化技術の開発、定植時のキャベツの生育斉一化技術の開発を行った。

本論文を取りまとめるにあたり、前千葉大学副学長・園芸学部教授伊東 正博士には懇切丁寧な御指導、御校閲ならびに暖かい激励を賜った。ここに記して深甚なる謝意を表する。また、千葉大学園芸学部教授、松井弘之博士、安藤敏夫博士ならびに篠原 温博士には多くの御助言と御校閲の労を賜った。厚く御礼申し上げる。

本研究のテーマを与えて頂いた上、実験の遂行から取りまとめに至るまで懇切丁寧な御指導とご鞭撻を賜った農業・生物系特定産業技術研究機構野菜茶業研究所葉根菜研究部長吉岡 宏博士に深く感謝の意を表する。また、研究開始当初から、本研究の社会的重要性を理解して頂き、幾度も暖かい激励と御指導を賜った前農業技術研究機構理事（園芸担当）中村 浩博士に深く感謝の意を表する。

本研究の遂行に当たっては、野菜茶業試験場（現野菜茶業研究所）の多くの方々の御支援を頂いた。研究の遂行を暖かく支援して頂いた果菜研究部長野口正樹博士をはじめ、企画調整部業務科元技官小坂良明氏、上舞修氏、同技官浅生建司氏、上村敏彦氏、北角昌彦氏、山下大介氏、山内克之氏、その他ご協力を頂いた業務科の多くの方々に深く感謝の意を表する。また、実験に協力して頂いた作型開発研究室（現生産システム研究チーム）研究員佐藤文生氏、非常勤職員吉川常子氏に心から感謝の意を表す。

II 材料および方法

1 栽培方法

a 供試品種・育苗方法

供試品種は原則として、‘松波’とし、市販のセル成型育苗用培養土（ヤンマー野菜用土）を詰めた128穴セルトレイに播種した。覆土後、野菜・茶業試験場内（以下、場内と表記する）のガラス室、ファイロンハウス、ビニルハウスまたは人工気象室（明期／暗期の日長12／12時間、気温25／20℃、光合成有効光量子束密度 $360\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ に設定、湿度制御は行わなかったが概ねRH50～60％程度で推移）のいずれかで約30～35日間育苗した。播種後10日～14日目から、園試処方標準培養液の1／5濃度液を灌水替わりに灌漑した。

b 栽培管理

圃場試験はすべて場内圃場で行った。栽培様式は、2条植え（畝幅120cm、畝高20cm）または1条植え（畝幅60cm、畝高15～20cm）とし、株間は原則として35cmとした。施肥はN、P、K各30kg/10aとなるよう、40日タイプの被覆緩効性肥料（NPK:424）150kg/10a、CDU化成（NPK:555）60kg/10a、苦土重焼燐8.6kg/10aを施用し、これに粒状炭酸苦土石灰150kg/10aを加えて全量基肥として与えた。定植後の管理は中耕・除草、薬剤散布を適宜行った。なお、連作障害の発生を抑える目的で、栽培試験終了後には、必ず収穫後の残さを圃場外に持ち出した。その後、適宜、エンバクまたはソルゴーをクリーニングクロップとして栽培し、地上部を刈り取って圃場外に持ち出した後、有機物として10a当たり約2tの堆肥（牛糞パーク堆肥等）を施用した。

2 調査方法

a 生育評価法

1) 斉一性

斉一性は変動係数（標準偏差／平均値×100、単位は％）を求めることで評価した。

2) 草姿指数

苗の草高（苗が生育している自然の状態での株もとから一番高い位置までの鉛直方向への距離を示し、地際から切り取って葉を伸ばした状態の長さを示す草丈とは異なる指標）をH、開張幅をWとしたとき、草姿指数（S）を次式により求めた。

$$S = H / W \times 100$$

3) 相対生長率

t_1 , t_2 時に調査した地上部乾物重をそれぞれ W_1 , W_2 とし, $t_2 - t_1 = N$ としたとき, 相対生長率 (RGR) を次式により求めた.

$$RGR = (\log W_2 - \log W_1) / N$$

4) 苗の機械定植適応性の評価

試験は市販の全自動移植機 (ヤンマー全自動移植機ナブラ ACP-1, WB) を用いて行った. この移植機の定植速度は約 39 株/分であった. 定植後の根鉢が地表面に露出した株数を a, 本葉の葉身が土中に埋没した株数を b, 定植を試みた株数を c, 定植できなかった株数を d としたとき, 浅植え株率 (S), 深植え株率 (D), 欠株率 (V) および適正定植率 (P) を次式より求めた.

$$S = a / c \times 100$$

$$D = b / c \times 100$$

$$V = d / c \times 100$$

$$P = (c - a - b - d) / c \times 100$$

5) 葉面積

葉面積計 (林電工 AAC-400) を用いて測定した.

6) 根鉢からの発根数

根鉢を 1.5mm メッシュの寒冷紗に包んでビニルハウス内に定植した. 定植後 2 日目に根鉢を掘り出し, 根鉢の中央部を境として上部と下部に 2 分割し, それぞれの部位から伸長した 5mm 以上の長さの根数を調査した.

7) 引き抜き抵抗値

市販の培養土 (「クレハ園芸培土」) を詰めた 5 号素焼き鉢に苗を定植し, 1 週間後に引き抜き抵抗値を, 吉岡ら (1998b) の方法に準じ, 2 種類の万能引っ張り試験機 (安田精機製作所, LRX Ver2.13; 島津オートグラフ, IM-1000) を用いて, $12\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$ の速度で引き上げた際の最大抵抗値 (単位: N) とした.

b 化学分析

1) 無機成分含量 (乾物 1g 当たりの含量)

(1) 試料の調整 (分解)

試験管に採取した試料に, 特級硝酸 (H_2NO_3) を 5mg 加えた後, アルミブロックヒーター (Yamato HF61) を用いて徐々に 200°C まで加熱し, 分解した. 分解促進剤は過酸化水素 (H_2O_2) を用いた.

(2) N 分析

凍結乾燥または通風乾燥 (70°C で 2 日間) した試料を

粉碎後, 約 150mg を (1) の手順で分解し, セミマイクロケルダール法 (日本ゼネラル, KJELTEC SYSTEM 1026 Distilling Unit を使用) により測定した.

(3) P, K, Ca, Mg, Na の分析

通風乾燥後, 粉碎した試料, 約 200mg を (1) の手順で分解した後, ICP 発光分析装置 (島津, ICP-1000IV) を用いて測定した. 次に, 分解液を 50ml に定量し, ろ液 (ろ紙は Advantec の No.5C を使用) を 50ml 瓶に採取し, これを ICP 発光分析装置用の試料とした.

2) 炭水化物含量 (乾物 1g 当たりの含量)

葉身を液体窒素で凍結させた後, 凍結乾燥機を用いて乾燥し, 粉碎した. 粉碎試料約 10mg に, 80% エタノールを 3ml 加え, 75°C で 30 分間加熱した. 次に, 冷却後遠心分離した後, 上澄液を試験管に移した. さらに, 同様の抽出を 2 回くり返し, 上澄液をスクロース, グルコース, フルクトースの分析に用いた. また, 沈殿物は, デンプンの分析に用いた.

(1) デンプン

沈殿物に 0.2M KOH を加えて攪拌した後, 熱湯で加熱し, 冷却後 0.1M 酢酸を加えて中和した. pH4.5 の酢酸バッファー液にグルコアミラーゼを 4 ユニットに溶かした液を遠沈管に $50\mu\text{l}$ 用意し, これに中和したサンプルを $50\mu\text{l}$ 加えて 37°C で 2 時間加温した. その後, 1 分間煮沸し, 冷却後, 1ml の発色剤 (「ワコーグルコース B テスト」) を加え, さらに 37°C で 15 分間加温した. 25,000rpm で 5 分間遠心分離した後の上澄液を分光光度計 (島津, UV-1600) を用いて 505nm における吸光度を測定し, デンプンの含有量を算出した.

(2) 可溶性糖類

上澄液を真空遠心濃縮器で乾固した. 次に, 2ml の蒸留水を加え溶解した後, スクロース, グルコース, フルクトースについて, 市販の可溶性糖測定キット (ベーリンガーマンハイム株式会社「F-キット」) を用いて測定した. 分光光度計は島津 UV-1600 を用い, 340nm における NADPH の吸光度の変化を測定した.

c その他の計測方法

1) 地上部水ポテンシャル

苗の地際部を切断し, 地上部の水ポテンシャルをプレッシャーチャンバー (大起理化工業, DIK-7000) を用いて測定した.

2) 苗の水利用効率

苗の光合成速度 (P), 蒸散速度 (T) を携帯型光合成蒸散測定装置 (ライカ社, LI-6400, LB-2) を用いて測

定し、水利用効率（WUE）を次式により求めた。

$$WUE = P / T$$

3) 根鉢の水ポテンシャル

サイクロメータ法（Decagon Tru PsiSC10 を使用）により根鉢の中心部の培養土について測定した。

4) 葉の表面の粗ワックス量

育苗終了後の苗の第2葉を採集し、15枚を一束として、葉柄を持って軽く振りながらビーカーに用意した80mlのクロロホルムに葉身を約30秒間浸漬した。浸漬液をろ過して不溶物を除いた後、真空エバポレーターを用いて、クロロホルムを気化させ濃縮した。さらに1晩ドラフト内で自然乾固させた後、電子天秤を用いて粗ワックスの重量（W）を測定した。クロロホルム浸漬後の葉身の面積（L）を計測し、単位面積当たりのワックス量（Wax：mg・cm⁻²）を次式により求めた。

$$Wax = W / L / 2$$

Ⅲ キャベツの生育・収量の変動要因解析

収穫機を利用したキャベツの一齐収穫を実現するためには、収穫時のキャベツ生育の斉一性を高めることが重要である。実際にキャベツの生育斉一化技術を確立するためには、播種から収穫までの全生育期間を通しての生育の斉一性の変動を知る必要がある。これまで、キャベツの栽培管理と生育の斉一性との関係について、直播栽培では子葉展開期の実生の斉一性が収穫時の生育揃いに大きく影響すること（SHANMUGANATHANら、1992）、収穫物の斉一性を高めるには苗の大きさを揃える必要があること（MILLERら、1969）、結球期に斉一性が向上すること（中川ら、1988）、栽植密度が収穫時の生育の斉一性に影響すること（STOFFELLAら、1990）などが報告されている。しかし、育苗期間中の生育の斉一性の変動やセル成型苗を用いた栽培における圃場での生育の斉一性の変動に関する報告はこれまではない。そこで、本章では、キャベツの生育・収量の変動要因について、育苗期間中と定植後の在圃期間中に分けて、生育の斉一性の視点から検討した。

1 育苗期間における生育の変動要因

種子の品質や播種してから出芽に至るまでの育苗条件により、子葉展開期の実生の生育速度が異なることが知られている（SHANMUGANATHANら、1992）。しかし、

セル成型育苗における、子葉展開期の実生の生育の斉一性がその後の生育の斉一性に及ぼす影響については、ほとんど知られていない。そこで、育苗期間中の生育の変動要因を知る目的で、まずはじめに、育苗期間中のキャベツの生体重の変動係数を経時的に調査した。次に、子葉展開期の生育の斉一性とその後の育苗環境が苗生育と品質の斉一性に及ぼす影響について検討した。本報告で用いる苗の生育とは、草丈、葉面積、地上部生体重、地上部（地下部）乾物重を含み、苗の品質とは、葉色、乾物率、T/R比を含むものと定義する。

a 材料および方法

実験 1.1.1.では、1996年8月21日、実験 1.1.2.～3.では、1999年10月13日にそれぞれ播種し、ガラス室で育苗した。ただし、実験 1.1.2.～3.では、10月20日に欠株をすべて補植した。追肥は、実験 1.1.3.の多肥区を除く全ての区について、10月28日から行った。

1) 育苗期間中の生育斉一性の変動（実験 1.1.1.）

播種日に種子50粒の生体重を、また、子葉展開期（8月28日）、1葉期（9月4日）、2葉期（9月9日）、3葉期（9月21日）、4葉期（9月30日）にはそれぞれ50株の地上部生体重を測定し、その変動係数を求めた。なお、試験は全て2反復で行った。

2) 子葉展開期の生育がその後の苗の生育・品質の斉一性に及ぼす影響（実験 1.1.2.）

試験区は、対照区と不斉一処理区の2区を設けた。不斉一処理は、子葉展開期（10月21日）に1株おきに子葉の片方を摘除した。

1.5葉期（11月1日）、2.5葉期（11月8日）、3.5葉期（11月12日）に量的形質（生育）としての草丈、地上部乾物重および質的形質（品質）としての地上部乾物率を調査し、それぞれの値の変動係数を求めた。調査個体数は1区30株3反復（計90株）とした。さらに、処理区における非摘葉株と摘葉株の地上部乾物重について、それぞれ分けて解析した。ただし、対照区については、摘葉区の非摘葉株、摘葉株に対応するものとして、それぞれ、対照株A、対照株Bとして調査した（図-1）。また、このときの調査個体数は1区15株3反復とした。

3) 遮光処理および多肥処理が不斉一処理における苗生育と品質の斉一性に及ぼす影響（実験 1.1.3.）

試験区は、対照区、遮光区、多肥区を設けた。さらに、10月21日にそれぞれの区について、1株おきに子葉の片方を摘除し（摘除処理）、非摘葉株と摘葉株の2区に分けて調査した。遮光区は摘除処理後、直ちに遮光率

50%の黒寒冷紗で被覆して育苗した。また、多肥区は不斉一処理後の毎日の灌水を、液肥を用いて行った。

調査は実験 1.1.2.と同様、1.5 葉期、2.5 葉期、3.5 葉期に草丈、地上部乾物重および地上部乾物率を調査し、それぞれの値の変動係数を求めた。調査個体数は 1 区 30 株 3 反復（計 90 株）とした。また、それぞれの区における、非摘葉株と摘葉株の地上部乾物重について、それぞれ分けて調査した。このときの調査個体数は、1 区 15 株 3 反復（計 45 株）とした。なお、1.5 葉期、2.5 葉期および 3.5 葉期の調査日は、対照区で、それぞれ 11 月 1 日、11 月 8 日、11 月 12 日、遮光区で、それぞれ 11 月 1 日、11 月 9 日、11 月 15 日、多肥区で、それぞれ 10 月 29 日、11 月 4 日、11 月 9 日であった。さらに、対照区、遮光区、多肥区それぞれの非摘葉株と摘葉株につ

いて、3.5 葉期に、地上部と地下部の乾物重を測定し、T/R 比を求めた。調査個体数は 1 区 2 株 3 反復とした。

b 結 果

1) 育苗期間中の生育の斉一性（実験 1.1.1.）

播種時の種子重の変動係数は 15.3%であった（図-2）。地上部生体重の変動係数は、子葉展開期では 28.8%と、種子重のそれと比較して著しく増加した。しかし、その後は生育とともに減少した。

2) 子葉展開期の生育が苗の生育・品質の斉一性に及ぼす影響（実験 1.1.2.）

対照区と子葉の片方を摘除した不斉一処理区との変動係数の差は、草丈と地上部乾物重では 1.5 葉期には認められたが、2.5 葉期および 3.5 葉期では認められなかつ

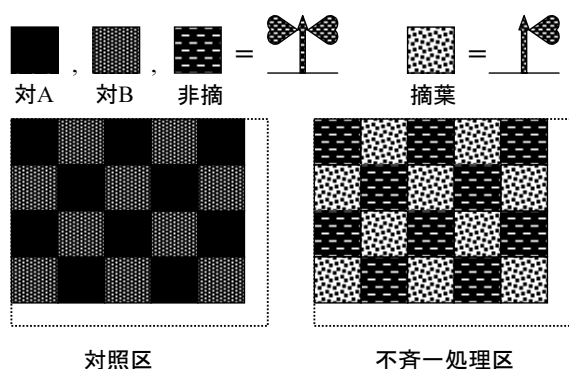


図-1 対照区と不斉一処理区におけるセルトレイ中の株の配置（実験 1.1.2.）

注）対 A：対照株 A，対 B：対照株 B，
非摘：非摘葉株，摘葉：摘葉株

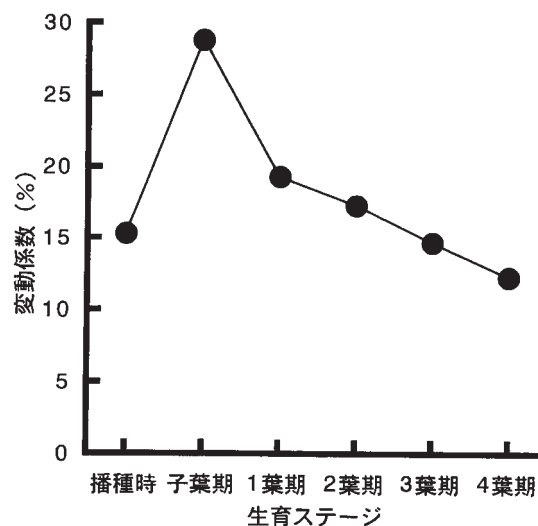


図-2 育苗期間におけるのキャベツ生育（生体重）の斉一性の変化（実験 1.1.1.）

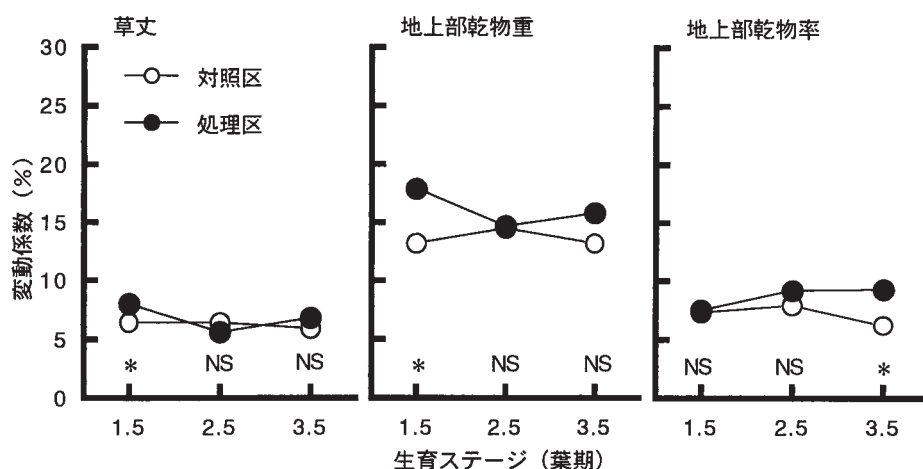


図-3 不斉一処理がキャベツセル成型苗の生育および品質の斉一性に及ぼす影響（実験 1.1.2.）

注）*：LSD で 5%水準の有意差あり，NS：有意差なし

た（図-3）。しかし、乾物率では、育苗終了時の3.5葉期に有意差が認められ、不斉一処理区の変動係数が対照区よりも大きくなった。

対照区での地上部乾物重は、いずれの生育ステージでも対照株Aと対照株Bとの間に有意差は認められなかった（表-1）。これに対し、摘葉処理区では、いずれの生育ステージでも非摘葉区が摘葉区よりも有意に大きく、その差は生育ステージが進んでも解消しなかった。

3) 遮光処理および多肥処理が不斉一処理における苗生育と品質の斉一性に及ぼす影響（実験 1.1.3.）

草丈の変動係数は、1.5葉期では、多肥区が最も高く、次いで遮光区、対照区の順となったが、その差は生育ステージが進むにつれて縮小し、3.5葉期では処理間差がなくなった（図-4）。これに対し、乾物重の変動係数は、いずれの時期でも多肥区で最も高く、生育ステージによる大きな変化は認められなかった。地上部乾物率の変動係数は、1.5葉期および2.5葉期では処理区間で差が認められなかったが、3.5葉期では多肥区が他区よりも大きくなった。

非摘葉株と摘葉株の地上部乾物重の間には、全ての区で、有意差が認められ、非摘葉株が大きかった（表-2）。また、摘葉、非摘葉区の生育差は、多肥区が最も大きく、次いで、遮光区、対照区の順となり、生育ステージが進んでもその傾向は変わらなかった。

T/R比は、いずれの処理区においても、摘葉区が非摘葉区よりも高く、遮光処理や多肥処理によって大きくなった（図-5）。

表-1 子葉展開期の摘葉処理がキャベツセル成型苗の地上部生育に及ぼす影響（実験 1.1.2.）

試験区		地上部乾物重 (mg)		
		生育ステージ		
		1.5 葉期	2.5 葉期	3.5 葉期
対 照	対照株 A	28.2	83.2	126.4
	対照株 B	29.5	85.1	129.4
	有意性	NS	NS	NS
摘葉処理	非摘葉株	26.7	77.2	127.0
	摘葉株	20.4	66.1	113.2
	有意性	**	**	**

注) NS：有意差なし、

**：LSDにより1%水準で有意差有り

表-2 摘葉処理後の育苗環境がキャベツセル成型苗の地上部生育に及ぼす影響（実験 1.1.3.）

試験区		地上部乾物重 (mg)		
		生育ステージ		
		1.5 葉期	2.5 葉期	3.5 葉期
対 照	非摘葉	26.7	77.2	127.0
	摘葉	20.4	66.1	113.2
	有意性	**	**	**
遮 光	非摘葉	26.1	79.3	124.3
	摘葉	18.1	57.9	96.5
	有意性	**	**	**
多 肥	非摘葉	27.3	77.0	171.9
	摘葉	16.2	48.9	117.3
	有意性	**	**	**

注) **：LSDにより1%水準で有意差有り

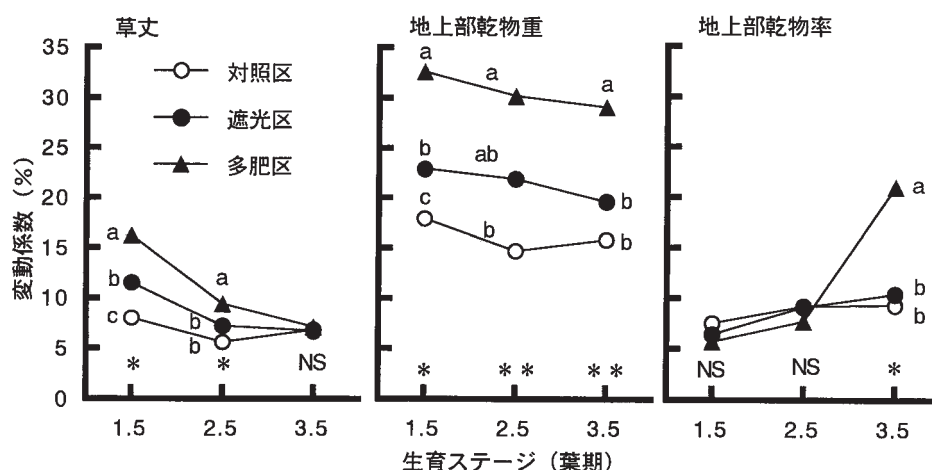


図-4 不斉一処理が遮光および多肥条件下におけるキャベツセル成型苗の生育および品質の斉一性に及ぼす影響（実験 1.1.3.）

注) Tukeyの多重検定により同一生育ステージ間の異なる英文字間に1% (**) または5% (*) 水準の有意差あり, NS：有意差なし

2 定植後の変動要因

本節では、定植後の生育の斉一性の変動要因の解析を行った。特に、定植後の初期生育の斉一性と栽植密度の影響に注目し、生育斉一化のための栽培管理項目の重点化について検討した。

a 材料および方法

1) 在圃期間の生育の斉一性の変化 (実験 1.2.1.)

1996年3月28日に株間40cmの1条植えて定植した。定植時、10葉期(5月9日)、結球始期(6月11日)、収穫前期(7月2日)、収穫後期(7月18日)にそれぞれ50株の地上部生体重を測定し、その変動係数を求めた。また、収穫前期および収穫後期については結球重についても地上部と同様の方法で変動係数を求めた。試験は全て2反復で行った。ただし、収穫期の判断については、栽植株の30%が収穫適期に達した時期を収穫前期、栽植株の60%が収穫適期に達した時期を収穫後期とし、収穫適期株は球径が19cm以上に達していることを目安とした。

2) 栽植密度が定植後の地上部生育の斉一性に及ぼす影響 (実験 1.2.2.)

試験区は株間15cm区、25cm区、35cm区、45cm区の4区を設け、1996年8月30日に定植した。定植時、10葉期、結球始期、収穫前期、収穫後期に地上部生体重を測定し、その変動係数を求めた。調査株数は1区50株3反復とした。

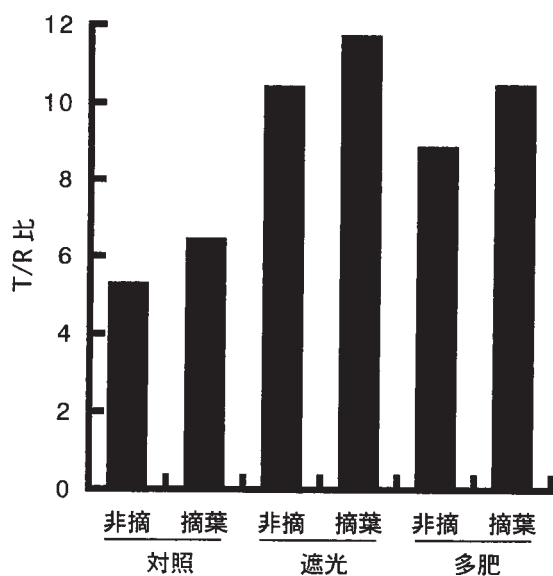


図-5 育苗環境が不斉一処理時のキャベツセル成型苗のT/R比に及ぼす影響 (実験 1.1.3.)
注) 非摘: 非摘葉

3) 定植後の初期生育の斉一性が栽植密度の異なる栽培条件下でのその後の生育の斉一性に及ぼす影響 (実験 1.2.3.)

試験区は対照区と初期生育不斉一化区を設け、1997年4月17日および4月22日に定植した。ただし、対照区は、実験 1.2.2.と同様に異なる株間の4区から構成した。また、初期生育不斉一化区は、対照区と同じ日に定植した株を標準株、定植日を5日遅らせた株を定植遅延株とし、標準株と定植遅延株が交互に混在した状態で、対照区と同様に異なる株間の4区から構成した(図-6)。10葉期、結球始期、収穫前期にそれぞれの地上部生体重を測定し、その変動係数を求めた。調査株数は1区20株2反復とした。ただし、初期生育不斉一化区については標準株と定植遅延株の地上部生体重を個々に分けて測定し、それぞれについても変動係数を求めた。

4) 定植後の初期生育の斉一性が栽植密度の異なる栽培条件下での結球重の斉一性に及ぼす影響 (実験 1.2.4.)

試験区は実験 1.2.3.と同様とし、1997年8月21日および26日に定植した。収穫前期および収穫後期に一斉収穫して結球重量を測定し、その変動係数を求めた。調査株数は1区50株3反復とした。

5) 圃場での欠株および摘葉処理による生育遅延株の隣接が生育の斉一性に及ぼす影響 (実験 1.2.5.)

栽植密度の異なる25cm株間区および40cm株間区を設け、1998年3月19日に定植した。さらに、各々の株

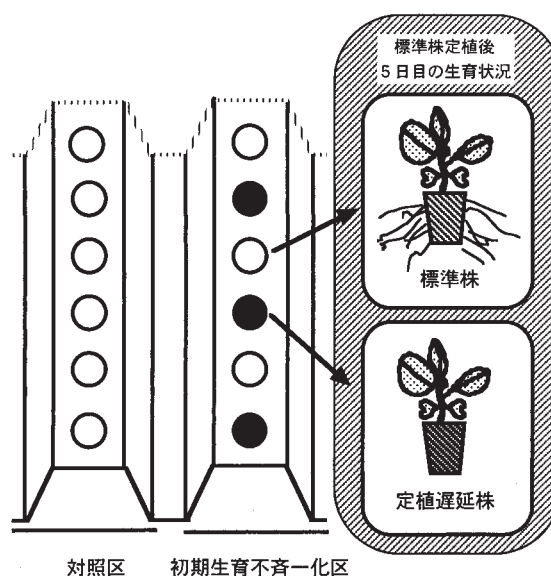


図-6 初期生育不斉一化区の構成 (実験 1.2.3.)
注) ○: 標準株, ●: 定植遅延株

間区の中に、7株おきに地上部を除去した株または本葉の下位葉2枚を摘葉した株を含む区を設け、それぞれを欠株区および生育遅延株区とした。地上部の除去と本葉2枚の摘葉は3月24日に行った。6月12日に収穫し、地上部生体重と結球重量を測定した。調査は群落内の標準的生育を示す株（標準株）、生育遅延株または欠株に隣接する株（隣接株）および生育遅延株について行った（図-7）。調査株数は1区2株3反復とした。

b 結 果

1) 在圃期間の生育の斉一性の変化（実験 1.2.1.）

地上部生体重の変動係数は定植時の13.5%から10葉期の28.7%に大きく増加した（図-8）。その後、生育が進むにつれて、結球始期、収穫前期、収穫後期でそれぞれ、19.4%、17.0%、16.7%と減少した。結球重の変動係数は、統計的有意差は認められなかったものの、収穫前期の26.6%が、収穫後期には19.4%と減少した。

2) 栽植密度が定植後の地上部生育の斉一性に及ぼす影響（実験 1.2.2.）

栽植密度別の各生育ステージにおける地上部生体重の変動係数を見ると、10葉期では栽植密度による変動係数への影響は認められなかった（図-9）。しかし、結球始期では、有意な差が見られ、15cm区で29.5%、25cm区で22.6%、35cm区で19.1%、45cm区で14.9%と栽植密度が高い区ほど変動係数が大きかった。また、15cm区と45cm区の変動係数の較差は14.6%であった。収穫始期では、15cm区で45.1%、25cm区で27.1%、

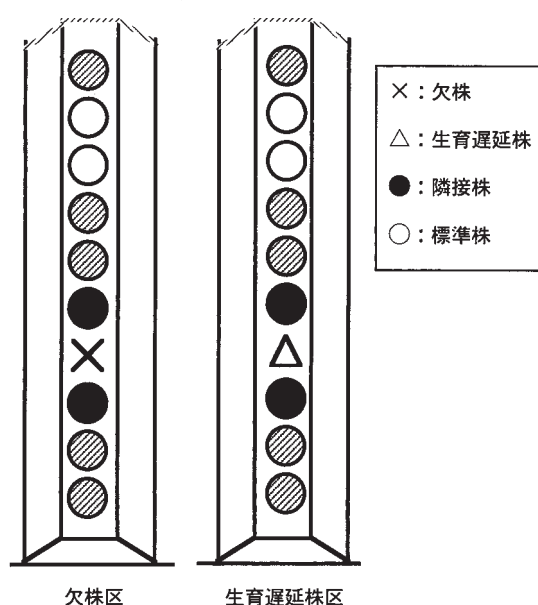


図-7 欠株区と生育遅延株区の構成（実験 1.2.5.）

35cm区で22.0%、45cm区で18.8%と結球始期と同様の結果となった。また、15cm区と45cm区の変動係数の較差は26.3%に拡大した。収穫後期では、15cm区のみ菌核病の発生と寒さによる生育の停滞により調査できなかった。その他の区では、25cm区で25.7%、35cm区で18.7%、45cm区で16.9%と栽植密度が高い区ほど変動係数が大きな値となったが、区間の有意差は認められなかった。

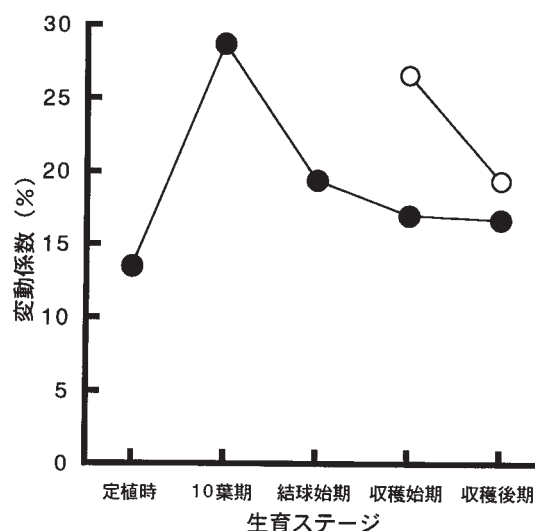


図-8 定植後のキャベツ生育の斉一性の変化（実験 1.2.1.）

注) ●：地上部重，○：結球重

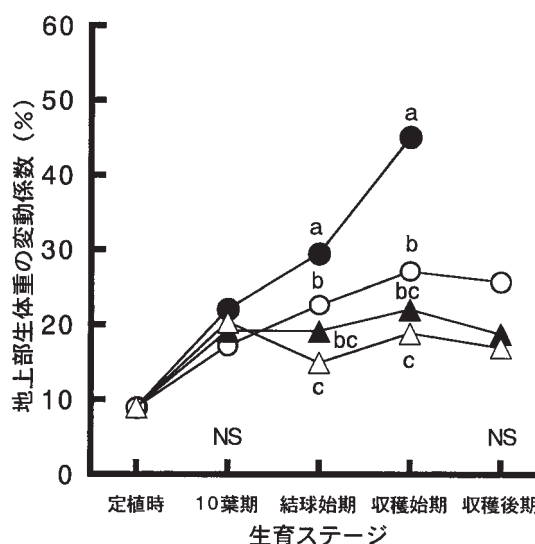


図-9 株間が定植後の地上部生育の変動係数に及ぼす影響（実験 1.2.2.）

注1) ●：15cm区，○：25cm区，▲：35cm区，△：45cm区

注2) Tukeyの多重検定により同一生育ステージの異なる英文字間に5%水準の有意差あり，NS：有意差なし

3) 定植後の初期生育の斉一性が栽植密度の異なる栽培条件下でのその後の生育の斉一性に及ぼす影響 (実験 1.2.3.)

初期生育の不斉一化処理が栽植密度別の各生育ステージにおける地上部生体重の変動係数に及ぼす影響について調査した結果、対照区、初期生育不斉一化区ともに実験 1.2.2.と同様、10 葉期では区間の変動係数に有意差は認められなかったが、結球始期では有意差が認められた (図-10)。しかし、対照区では 15cm 区と 45cm 区の変動係数の差が 6.0%なのに対して、初期生育不斉一化区では 26.3%とその較差が大きく、栽植密度の違いが生育の変動係数に及ぼす影響は初期生育不斉一化区で大きかった。

各生育ステージにおいて、栽植密度別に対照区と初期生育不斉一化区間の変動係数の差の有意性を検定した結果、定植時には全ての栽植密度で対照区と初期生育不斉一化区との間に有意差が認められなかった。これに対して、10 葉期では全ての栽植密度において、初期生育不斉一化区の変動係数が対照区のそれよりも有意に大きくなった (表-3)。株間 15cm~35cm の栽植密度では結球始期でも 10 葉期と同様に有意差が認められたが、株間 45cm の粗植栽培では有意差が認められなかった。

さらに、初期生育不斉一化区において、地上部生体重の変動係数を標準株と定植遅延株とにそれぞれ分けて調査した。その結果、いずれの株でも栽植密度による変動係数への影響は認められなかった (図-11)。また、各生育ステージにおける標準株と定植遅延株との間の変動係数の有意差は、結球初期の 35cm 区で 5%水準で認められた他は、全ての区で認められなかった (表-4)。

初期生育不斉一化区の各栽植密度下での標準株と定植遅延株の生育比 (初期生育不斉一化区全体の平均生体重

を 100 としたときに標準株および初期生育遅延株の生体重が示す比率) は、定植時には有意差が認められなかった。10 葉期では定植遅延株が有意に劣ったが、栽植密度による違いは認められなかった (図-12)。結球始期では定植遅延株が有意に劣ったほか、栽植密度が高くなるほど標準株では大きく、定植遅延株では小さくなり、株間の較差が大きくなった。

4) 定植後の初期生育の斉一性が栽植密度の異なる栽培条件下での結球重の斉一性に及ぼす影響 (実験 1.2.4.)

初期生育の不斉一化処理が、異なる栽植密度で栽培したときの結球重の変動係数に及ぼす影響について調査し

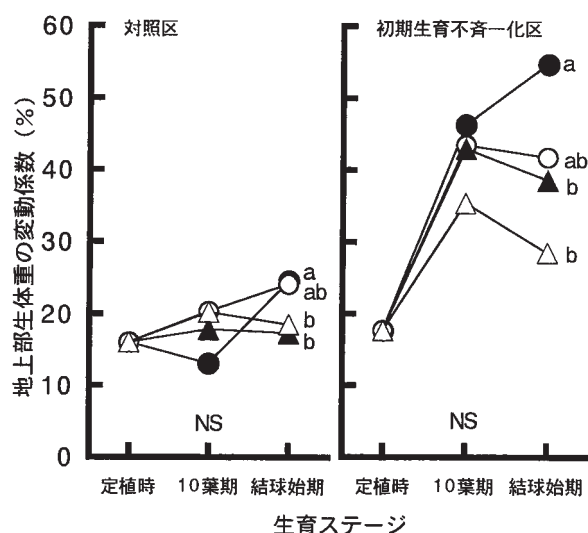


図-10 初期生育不斉一化処理が地上部生育の変動係数に及ぼす影響 (実験 1.2.3.)

注 1) ●: 15cm 区, ○: 25cm 区, ▲: 35cm 区, △: 45cm 区

注 2) Tukey の多重検定により同一生育ステージの異なる英文字間に 5%水準の有意差あり, NS: 有意差なし

表-3 異なる栽植密度条件下における対照区と初期生育不斉一化区の地上部生育の変動係数の比較 (実験 1.2.3.)

生育ステージ		変動係数 (%)			
		15cm 株間区	25cm 株間区	35cm 株間区	45cm 株間区
定植時	対照区	16.0	16.0	16.0	16.0
	初期生育不斉一化区	17.4	17.4	17.4	17.4
	有意性	NS	NS	NS	NS
10 葉期	対照区	13.0	20.3	17.8	20.2
	初期生育不斉一化区	46.3	43.5	43.0	35.4
	有意性	*	*	*	*
結球始期	対照区	24.5	24.1	17.3	18.5
	初期生育不斉一化区	54.8	41.8	38.6	28.5
	有意性	*	**	*	NS

注) NS: LSD で 1% (**) または 5% (*) 水準で有意差あり

表-4 異なる栽植密度条件下での標準株と定植遅延株の地上部生体重の変動係数の比較 (実験 1.2.3.)

生育ステージ		変動係数 (%)			
		15cm 株間区	25cm 株間区	35cm 株間区	45cm 株間区
定植時	標準株	15.8	15.8	15.8	15.8
	定植遅延株	17.7	17.7	17.7	17.7
	有意性	NS	NS	NS	NS
10 葉期	標準株	13.8	17.1	15.1	13.3
	定植遅延株	17.3	19.6	17.6	16.4
	有意性	NS	NS	NS	NS
結球始期	標準株	18.4	17.3	13.9	12.3
	定植遅延株	20.4	23.4	23.1	18.9
	有意性	NS	NS	*	NS

注) NS: 有意差なし, *: LSD で 5%水準で有意差あり

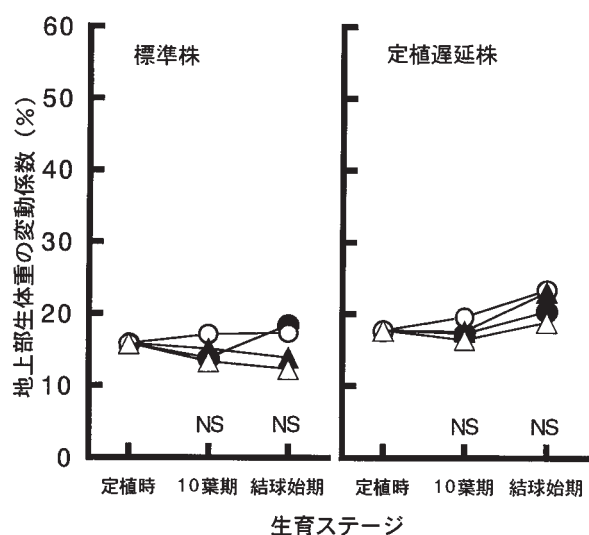


図-11 標準株と定植遅延株の変動係数の比較 (実験 1.2.3.)

注 1) ●: 15cm 区, ○: 25cm 区, ▲: 35cm 区, △: 45cm 区

注 2) NS: 有意差なし

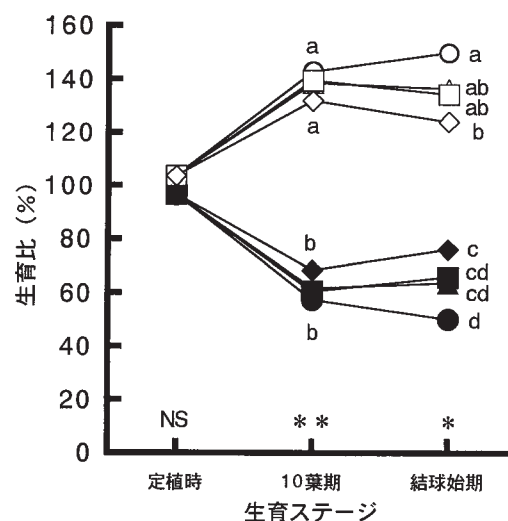


図-12 初期生育不斉一化区における標準株と定植遅延株の生育比の変化 (実験 1.2.3.)

注 1) ○●: 15cm 区, △▲: 25cm 区, □■: 35cm 区, ◇◆: 45cm 区, 白色記号: 標準株, 黒色記号: 定植遅延株

注 2) Tukey の多重検定により同一生育ステージ間の異なる英文字間に 1% (**) または 5% (*) 水準の有意差あり, NS: 有意差なし

た結果, 35cm と 45cm の株間間では有意差が認められず, 15cm~35cm の株間間では, 株間が小さくなるほど変動係数が大きくなった (図-13). 初期生育不斉一化区は対照区よりも結球重の変動係数が大きくなる傾向を示した. 対照区, 初期生育不斉一化区とも, 収穫前期と収穫後期の結球重の変動係数に有意な差は認められなかった.

5) 圃場での欠株および摘葉処理による生育遅延株の隣接が生育の斉一性に及ぼす影響 (実験 1.2.5.)

欠株および摘葉した株がそれに隣接した株の生育に及ぼす影響について調査した結果, 欠株区における隣接株

の地上部生育は, 標準株よりも株間 25cm で 33%, 株間 40cm で 31%大きくなった. また, 隣接株の結球重は, 株間 25cm で標準株よりも 77%大きくなったが, 株間 40cm では有意差が認められなかった (表-5). 次に, 生育遅延株区における隣接株の地上部生育は, 標準株との間に有意差は認められなかったものの, 株間 25cm では標準株より 32%大きく, 株間 40cm では標準株との差が小さかった. 生育遅延株の地上部生育は, 株間 25cm では, 標準株および隣接株よりも小さく, 標準株および隣接株との生育差は, それぞれ 30%, 62%と

なったが、株間 45cm では、標準株および隣接株との生育差が小さく、標準株および隣接株との間の有意差も認められなかった。また、隣接株の結球重は、株間 25cm で標準株のそれよりも 58% 有意に大きくなったが、株間 40cm ではその差が小さかった。生育遅延株の結球重は、株間 25cm で 45%、株間 40cm で 31% 標準株よりも小さく、地上部生育に比べて減少の割合が大きかった。

c 考 察

1) 育苗期間中の変動要因

育苗期間中の生育の斉一性の変化を調査した結果、子

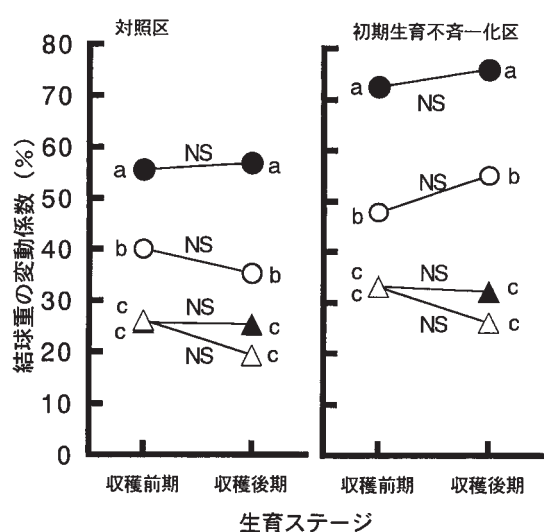


図-13 収穫時期が結球重の変動係数に及ぼす影響 (実験 1.2.4.)

注 1) ●: 15cm 区, ○: 25cm 区, ▲: 35cm 区, △: 45cm 区

注 2) Tukey の多重検定により異なる英文字間に 5% 水準の有意差あり, NS: 有意差なし

葉展開期になると地上部生体重の変動係数は、播種時の 2 倍に増加し、生育の斉一性が大きく低下した。このことから、播種から子葉展開期にかけて斉一性を低下させる要因が存在すると考えられる。キャベツの種子サイズと子葉展開期の実生の生育との関係について、SHANMUGANATHAN ら (1992) は、大きい種子由来の子葉展開期の実生は小さい種子由来のそれよりも大きくなることを報告している。また、TAYLOR ら (1988) は、大きい種子の野菜ほど 1 粒に含まれる化学エネルギーの量が多く、最大出芽圧力が高くなるとしている。本研究では SHANMUGANATHAN ら (1992)、よりも詳細な種子選別を行ったが、一定のサイズを境にして子葉の大きさが異なるのではなく、種子サイズと子葉のサイズは連続的に関連し合っており、1mg 単位での選別でも芽生えの大きさに違いが認められた。この原因としては、TAYLOR ら (1988) がいうように、発芽から子葉展開に至るまでの間の個体当たりのエネルギー消費割合が種子の大きさにより異なるためと考えられる。たとえば、異なるサイズの種子は同じ出芽のステージを経過するが、小さい種子ほど出芽後に残された体内の炭水化物等のエネルギーが少なく、その後の子葉展開までの間に、大きい種子由来の株よりも相対的にさらに小さくなってしまふものと考えられる。このような要因で斉一性が低下するものと推察される。

一方、子葉展開期以降は、生育ステージが進むにつれて生育の斉一性が向上した。この原因としては、根域制限による地上部生体重の増加率が低減したためと考えられる。セル成型育苗では、従来の地床育苗と比較して苗が小さくなる (藤原ら, 1998c)。PETERSON ら (1991) は根域制限の影響として、育苗の進行に伴う地上部生育

表-5 異なる栽植密度条件下での欠株と生育遅延株が隣接する株の結球重に及ぼす影響 (実験 1.2.5.)

		欠 株 区		生育遅延株区	
		25cm 株間区	40cm 株間区	25cm 株間区	40cm 株間区
地上部全重 (g)	標準株	1792 (100) b	2525 (100) b	1750 (100) ab	2350 (100)
	隣接株	2375 (133) a	3317 (131) a	2317 (132) a	2333 (99)
	生育遅延株	—	—	1233 (70) b	2067 (88)
	有意性	**	**	*	NS
結球重 (g)	標準株	933 (100) b	1908 (100)	842 (100) b	1617 (100)
	隣接株	1650 (177) a	1900 (100)	1333 (158) a	1517 (94)
	生育遅延株	—	—	463 (55) c	1108 (69)
	有意性	*	NS	*	NS

注 1) () 内の数字は標準株を 100 としたときの結球重の指数を示す

注 2) NS: 有意差なし, 同一試験区内の異なる英文字間に LSD (欠株区) または Tukey の多重検定 (生育遅延株区) により 1% (**) または 5% (*) 水準で有意差あり

の抑制を報告している。セル成型育苗では根域が狭く僅かな培養土量で苗を育成するため、苗が早い時期から根域制限の影響を受けると考えられる。育苗中の群落内では、相対的に生育の進んだ苗は根鉢が早く形成され、他の苗よりも早く根域制限の影響を受けた結果、生育の個体間差が縮小し、斉一性が向上したと推察される。

次に、育苗時の子葉展開期の実生の生育斉一性が苗の生育・品質に及ぼす影響を調査した結果について考察する。子葉展開期の摘葉処理によって生じた1.5葉期の草丈と乾物重の不揃いは育苗が進むにつれて解消された。これは、先に述べた生体重の調査結果と同様、セル成型育苗では苗生育の斉一性が高まることを示している。ただし、育苗終了時の苗の乾物率の斉一性は、摘葉処理区で低く、これは摘葉株と非摘葉株が混在した状態では、乾物重の差が解消されず、乾物重の小さい苗で含水率が高まった可能性がありこのことが斉一性と低下の原因ではないかと推察される。なお、乾物重の小さい苗の含水率が高まる理由としては、乾物重の大きいものよりも蒸散量が少なくなること、相対的に培地水分含量が高い状態になることがあげられる。いわゆる徒長苗等の低品質苗では一般に乾物率が低く、このような苗は折れやすく、定植後の植え傷みもひどくなる。このため、苗の含水率の斉一性も苗質を評価する一つの目安となると考えられる。

以上のことから、セル成型育苗による斉一化は、草丈や生体重の斉一化現象であり、機械定植を行う上では好ましい面もあるが、定植後の生育に影響するような苗の乾物率の斉一化にはつながらなかった。よって、苗の乾物率の斉一化を図るためには、子葉展開期の実生の生育の斉一性を高く保つことが重要であるといえる。

摘葉処理後の育苗環境が苗の生育・品質の斉一性に及ぼす影響を調べた結果、草丈の変動係数は1.5葉期では、多肥区で最も高く、遮光区、対照区と小さくなった。1.5葉期以降は多肥区および遮光区の変動係数が減少し、対照区との差が小さくなった。このように、根域制限が草丈に及ぼす影響は多肥条件や遮光条件でも認められた。ただし、乾物重の変動係数は多肥区で最も高く、遮光区、対照区と小さくなったが、生育の進行に伴う斉一化の進行は認められなかった。また、乾物率は、多肥区で育苗終了時に他の区と比較して変動係数が2倍になった。このことから、育苗時の多肥条件は苗質の斉一化を図る上で最も避けなければならないと考えられる。なお、T/R比については、摘葉株で非摘葉株よりも高くなることが認められ、遮光区と多肥区ではこの傾向がより強く認め

られた。このことから、苗質の斉一性を高める上でも、子葉展開期の実生の生育揃いを高め、多肥、遮光条件を避けた育苗管理が好ましいと考えられる。

2) 定植後の変動要因

植物の生育の斉一性は植物体重の変動係数で評価することができる(HARA, 1988)。キャベツのセル成型苗では10%前後の変動係数(地上部乾物重の変動係数)で定植され(藤原ら, 1998b)、これが収穫時には20~40%(結球重の変動係数)にまで増加し、生育の斉一性が低下する(藤原ら, 1998a)。しかし、実際のキャベツ栽培においては、いつの時期から、どのように生育の斉一性が低下するのかが明確にされていない。

そこで、まずはじめに、定植後の生育の斉一性について、定植時から収穫時までの地上部生育の斉一性の変化を調査した。その結果、10葉期の変動係数は、定植時の2倍以上の値となった。このことから、定植後から10葉期にかけて、生育の斉一性を低下させる要因が存在すると考えた。10葉期以降は、統計的有意差は認められなかったものの、斉一性が高くなる傾向が認められた。このことについては、さらに詳しく検討する必要があるが、作物の生育が進行し熟期に達することで生育量の逓減現象が生じたため、生育の進んだ株に遅れた株が追いついたためと推察することも可能である。また、本実験では株間を40cmと比較的広く取ったが、栽植密度の影響も考慮した検討がさらに必要であると考えられた。

次に、異なる栽植密度で栽培した時の生育の斉一性を生育ステージごとに調査した。その結果、栽植密度による生育の斉一性への影響は10葉期では認められず、結球始期で認められ、その後の収穫前期にはその影響がさらに大きくなることが明らかとなった。結球始期に栽植密度が生育の斉一性に影響したのは、10葉期前後から結球始期にかけて、栽植密度が小さい区ほど早い時期から個体間競合が起こったためと考えられる。実際、栽培期間中に株同士の重なり合いが認められたのは密植栽培区ほど早く、10葉期前後からであった。一方、収穫後期における栽植密度による変動係数への影響は明確に認められなかった。このことについて、本実験では栽植密度が高くなるほど収穫時期が遅れ、外葉の枯れ等が発生したことから、得られたデータのばらつきが大きくなったことが影響していると考えられた。

一方、著者ら(藤原ら, 1998a)は苗の活着が収穫時の生育揃いに影響することを、セル成型苗の植え付け深さに関する研究の中で明らかにしている。そこで、本研究では、活着の良否によって初期生育に差が現れる現象

をモデル的に再現するため、定植日を遅らせる処理を行い、初期生育の斉一性が、異なる栽植密度条件下でのその後の斉一性の低下にどのように影響するかを解明しようと試みた。その結果、定植後の初期生育の斉一性が低い場合には、密植栽培による生育の斉一性の低下が顕著に認められた。このことは、初期生育の斉一性の低下が、群落内でのキャベツの生長に伴う個体間競争によって助長され、さらに低下したことを意味すると考えられた。これに対して、初期生育の斉一性の低下が少ない場合、密植栽培による生育の斉一性の低下が小さかった。これらの結果は、定植後の初期生育の斉一性を向上させることにより密植条件下での個体間競争による生育の斉一性の低下を抑えることが可能なことを意味すると考えられる。また、株間 45cm の粗植栽培では、定植後の初期生育の斉一性が結球始期の生育の斉一性に及ぼす影響が小さかった。これは、粗植条件によって、群落内でのキャベツの生長に伴う個体間競争を小さくすることで、定植後初期の生育期間に生じた生育の斉一性の低下が助長されるのが抑制されたためと考えられる。

次に、初期生育の斉一性の低下が密植栽培条件下でどのように助長されたのか、初期生育不斉一化区の標準株と定植遅延株（標準株よりも 5 日遅く定植した株）の生育に注目して考察する。群落内のキャベツの生育を標準株と定植遅延株とに分けて解析した結果、定植遅延株と標準株の生育の斉一性に大差が見られず、両株とも対照区と同等の生育の斉一性が認められた。また、定植遅延株と標準株の生育の斉一性について、栽植密度や生育ステージの影響は少なかった。このことから、本実験の初期生育不斉一化区において定植後の生育の斉一性が低下したのは、標準株または定植遅延株それぞれの生育の斉一性が低下したためでなく、両株が混在したためと考えられる。さらに、標準株と定植遅延株を生育比で見た場合、まず、10 葉期については、標準株と定植遅延株の生育比の較差が大きくなったものの、栽植密度による影響は見られなかった。このことから、10 葉期の生育の斉一性の低下は初期生育の斉一性に大きく依存し、栽植密度による影響は小さいと考えられる。

次に、結球始期の生育比では、栽植密度の影響がみられ、10 葉期と比較して、密植栽培では標準株と定植遅延株の生育比の較差がさらに増加し、粗植栽培ではその較差が減少した。このことから、10 葉期以降は、粗植栽培では定植遅延株が標準株に追いつくように生育するが、密植栽培では定植遅延株の生育がさらに抑制されると推察された。

以上のことから、密植栽培における生育の斉一性の低下は、平均的な生育をしている株に比べて、初期生育が優れた株ほどその後の生育が促進され、逆に初期生育が劣った株ほどその後の生育が抑制された結果により生じたと考えられる。

一斉収穫を行う場合、収穫時期の決定が重要である。中川ら（1988）は、畝幅 57.5cm、株間 43cm の比較的粗植条件でキャベツの周年栽培を行い、結球初期から、結球中期、結球後期になるに伴って結球重の斉一性が高まることを報告している。本実験では、栽植密度や初期生育の斉一性の異なる栽培でも収穫時期を遅らせることで、結球重の斉一性の向上が認められるかを調査した。その結果、いずれの条件下でも収穫時期を遅らせることで結球重の斉一性が向上することではなく、中川ら（1988）の結果と異なった。これは、供試した品種の特性の違いによるところが大きいと考えられる。キャベツの品種は十分な施肥量と栽培時の圃場環境を整えば、市場出荷の視点から収穫期とされる L 玉球（約 1.3kg）のサイズを過ぎて生育が旺盛で 2 倍以上の 3kg に達してから植物としての熟期を迎え、生育量が逡減する品種もある。一方で、経済栽培での収穫期と植物の熟期が同調している品種などでは収穫期に近づくことで生育量が逡減すると考えられる。本試験で用いた「松波」は草勢が強く前者に属すると考えられるが、このようなキャベツでは結球始期から収穫期にかけての生育の斉一化現象は起こりにくいと考えられる。次に、早生系に属する品種や比較的小玉で収穫するような品種などは、後者に属すると考えられるが、このようなキャベツでは、結球始期から収穫期にかけての生育の斉一化現象が生じやすいのではないかと考えられる。しかし、これはキャベツ栽培の経験と観察から得られた推察の範囲を脱しておらず、中川ら（1988）の用いた品種がすべて後者に属する品種であるとも考えにくいし、作型の影響も少なくないと考えられる。したがって、このことについては、さらに追試が行われ、個々の品種と作型に関して収穫時期の違いと生育斉一性の変化との関係を明確にする必要があると考えられる。また、実際の収穫適期の判定に当たっては、結球重の変動係数だけでなく、規格内収穫量が最大になる時期を予測する技術についてもさらに検討する必要がある。今後の課題である。

実際のキャベツ栽培では、苗質、圃場環境、定植方法等によって活着が左右され、欠株や生育遅延株が生じる。本実験では、欠株および生育遅延株の発生が、隣接した株（隣接株）の収穫時の地上部重および結球重に及ぼす

影響について、異なる栽植密度条件下で比較した。その結果、密植栽培では欠株、生育遅延株のいずれが発生した場合でも、隣接株の結球重が群落内の標準的生育を示す株（標準株）よりも大きくなった。このことは、密植栽培で収穫物の斉一性を低下させないためには、欠株や生育遅延株の発生を防ぐことが重要であることを意味する。これに対して、粗植栽培にすれば隣接株と標準株との結球重の差が小さくなった。また、生育遅延株と隣接株との結球重の差も小さくなった。このことから、不均一な苗質の苗を定植する場合や活着しにくい圃場環境に定植を行う場合は、株間を広くすることによって密植栽培で起こりやすい斉一性の低下を抑えられ、収穫時の生育の斉一性を高めることができると考えられる。

以上を総合して考察すると、キャベツ結球重の斉一性の低下は、定植後の初期生育で生じた生育の不揃いが引き金となり、その後の個体間競合によって生育の斉一性の低下が助長された結果もたらされることが考えられる。従って、収穫時の生育の斉一性を高める上で最も重要なポイントは苗の活着にあるといえる。均一で活着しやすい苗を用いて、水管理を中心として定植直後の圃場環境を整えてやることで収穫時の生育の斉一化を図る上で重要と考えられる。

d 摘 要

1) 育苗中の変動要因

子葉展開期の生育の斉一性と育苗環境がキャベツセル成型苗の苗質の斉一性に及ぼす影響について検討した。その結果、セル成型育苗では、草丈、地上部生体重などの定植時の機械定植適応性に関する形質については、斉一性が向上するが、苗質の斉一性は、子葉展開期の実生の斉一性がそのまま定植時に影響することが明らかとなった。また、日照不足や多肥栽培により、苗生育の斉一性や品質の低下が助長されることが考えられた。したがって、苗生育の斉一化と品質の向上を図る上で、子葉展開期の実生の生育の斉一化が最も重要であり、次いで、施肥量を控えて、光を十分に当てて育苗することが重要であると考えられた。

2) 定植後の変動要因

セル成型苗の定植時の栽植密度がキャベツの生育の斉一性に及ぼす影響ならびに定植後の初期生育の斉一性と栽植密度条件が地上部生育および結球重の斉一性に及ぼす影響について調査し、密植栽培条件下でキャベツ群落の生育斉一性が低下する機構の解明を試みた。その結果、収穫時の生育の斉一性は密植栽培ほど低下するが、定植

後の初期生育の斉一性が密植栽培による生育の斉一性の低下に大きく影響した。株間 30cm 程度の密植栽培条件下で生育の斉一性を高く保つには、欠株や生育不良株の発生をなくすることが不可欠であり、均一な苗の生産および活着促進が重要であると考えられた。

IV キャベツ苗の生育・品質の斉一化技術

作物の栽培に当たっては、苗半作といわれるように、従来より苗の品質が重要視されてきた。Ⅲでは、キャベツ収穫時の生育の斉一性を高く保つ上で、定植後の苗の初期生育の斉一性を高めることが重要であるとの結論を得た。セル成型苗の定植後の生育は、植え付け方法や定植時の灌水管理によって影響を受けるが、苗の大きさ等の生育が斉一であることも、定植後の初期生育の斉一性を高める上で重要である。また、定植後の植え痛みや苗の発根力も重要であり、ストレス耐性が低く、発根力の小さい苗は、定植後の圃場環境の局所的なわずかな違いや変化による影響を受けやすく、株ごとの生育にむらが生じやすいと考えられる。このように、定植後のキャベツの初期生育の斉一性を高く維持するには、量的・質的な苗質の個体間格差を無くすように努めるとともに、苗の品質そのものを高める必要がある。本章では、定植後の初期生育の斉一性を高めることを目的に、キャベツセル成型苗の生育および品質の斉一化技術の開発に関する研究を次の 4 つの観点から行った。①種子の選別と最適播種深度、②エブ&フロー灌水システムの適用、③追肥の好適施用量とその時期、④NaCl 施用による徒長抑制と順化。

1 種子の選別と最適播種深度

キャベツ栽培において、種子の大きさや播種方法が、結球重や上物収穫率（SHUMAKER, 1969）、苗の大きさ（SHANMUGANATHAN ら, 1992）に影響することが知られている。また、HEYDECKER（1956）は、直播栽培において、SHANMUGANATHAN ら（1992）はポット育苗において、それぞれ最適な播種深さを明らかにしている。

しかし、セル成型育苗システムにおいて、キャベツ種子の大きさや適切な播種深さについて、苗生育の斉一性を考慮して検討した報告は見られない。

そこで、セル成型育苗における均一苗生産技術の確立を目的に、種子の大きさと播種深さが育苗初期の苗生育に及ぼす影響について検討を行った。

a 材料および方法

ここでの実験に限り、288穴セルトレイに播種した後、2mmメッシュのふるいを通したパーミキュライトで覆土し、人工気象室で育苗した。

1) 種子の大きさが発芽および子葉展開期の地上部生育に及ぼす影響 (実験 2.1.1.)

キャベツ種子を大きさ別 (重量別) に、2mg区 (2.0~2.9mg)、3mg区 (3.0~3.9mg)、4mg区 (4.0~4.9mg)、5mg区 (5.0~5.9mg)、6mg区 (6.0~6.9mg)、7mg区 (7.0~7.9mg) の6段階に区分した。

各区分について、調査は野菜種子発芽試験法 (西, 1982) に準じて、発芽勢と発芽率を調査した。また、各区分の一部の種子をセルトレイに播種し、播種後8日目に地上部生体重を調査した。調査株数は1区10株とした。

2) 播種の深さが子葉展開期の地上部生育とその斉一性に及ぼす影響 (実験 2.1.2)

種子重で区分したもののうち、5.0~5.9mgの種子を用い、播種の深さを5mm、10mm、20mmの3水準で播種した。播種後6日間にわたり出芽率を調査した。また、播種後4日目の、子葉、胚軸、根の乾物重を測定した。

b 結 果

1) 種子の大きさが発芽および子葉展開期の実生の生育に及ぼす影響 (実験 2.1.1.)

(1) 発芽勢および発芽率

発芽勢は4mg未満の種子重区で劣ったが、4mg区~7mg区では94~95%となった (図-14)。発芽率も4mgから6mg区までが95%以上であったのに対し、2mg区、3mg区および7mg区では、95%以下と低くなった。

(2) 子葉展開期の実生の生育

子葉展開期の地上部生体重は、2mg区から6mg区まで直線的に増加し、種子が大きくなるにつれて実生の生育がよくなった (図-15)。これに対して、地上部生体重の変動係数はいずれの区でも13%前後の値を示し、種子の大きさによる子葉展開期の実生の生育の斉一性への影響は認められなかった。

2) 播種の深さが子葉展開期の実生の生育に及ぼす影響 (実験 2.1.2)

(1) 出芽率

いずれの区も播種後3日目から出芽が認められ、このときの出芽率は、5mm区で44.1%、10mm区で80.4%、20mm区で75.3%と、10mm区で最も高くなった (図-16)。出芽率が90%に達したのは、10mm区の播種後4日目に対し、5mm区と20mm区では6日目であった。

(2) 子葉展開期の実生の生育

実生の生育量を乾物重で調査した結果、10mm区で最も多く、次いで20mm区、5mm区と減少した (図-17)。また、乾物分配率は、播種の深さが深いほど子葉への分配率が低く、胚軸、根への分配率が高くなった。

2 エブ&フロー灌水システムの適用

セル成型苗生産施設では、上面噴霧灌水が最も一般的

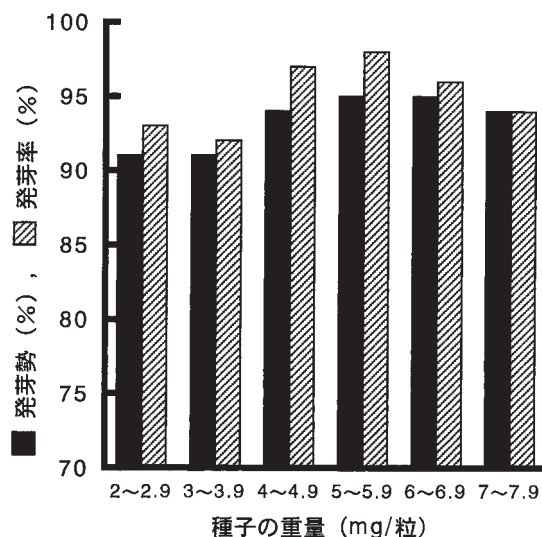


図-14 キャベツの種子重量と発芽勢・発芽率 (実験 2.1.1.)

注) 発芽勢と発芽率は野菜種子発芽試験法 (西, 1982) によるデータ

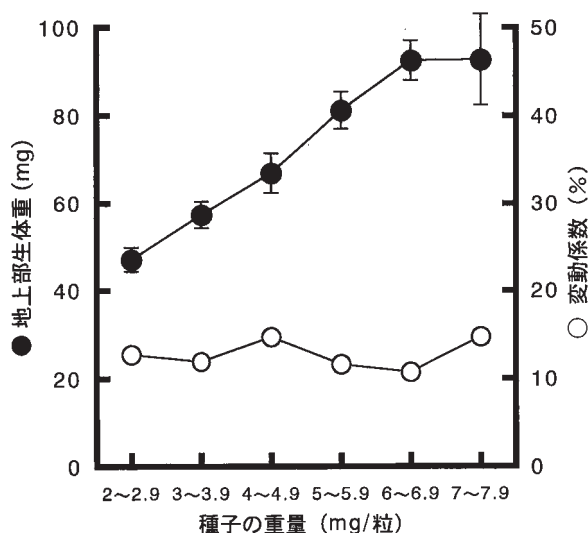


図-15 種子の重量がキャベツの子葉展開期における実生の生育とその斉一性に及ぼす影響 (実験 2.1.1.)

注) I: 標準偏差 (n=10)

な灌水方法として定着している。しかし、上面噴霧灌水は、茎葉に均一に灌水されること、少量で多回数灌水であること、茎葉を濡らすこと等の特徴の他に、苗の蒸散量が多くなる育苗後期は茎葉の遮蔽により根鉢の水分にむらが生じたり（藤原ら、1998b）、病原菌の胞子の飛散を助長する（窪田ら、1998）等の問題を含んでいる。これらの問題を解決する手段として、底面給水方式の一つであるエブ&フロー灌水法（THOMAS, 1993）の適用

が有効であると考えられる。

そこで、育苗管理の省力化と苗生育の均一化を目的に、エブ&フロー灌水法と慣行の上面噴霧灌水法とを比較・検討した。

a 材料および方法

試験はファイロンハウスで行った。1998年6月10日に播種した。試験区は、慣行育苗区（慣行区）、エブ&フロー区の2区を設けた。エブ&フロー区については、6月24日までは慣行区同様に市販の自走式自動灌水装置（ヤンマー、自動灌水ロボット AKS60）を用いて上面噴霧灌水した後、25日から自作したアクリル製のエブ&フロー灌水装置（図-18）を用いて、7月7日まで育苗した。いずれの試験区も25日からは市販の液肥（ナブラパワー5000倍液、N-P-K：30-40-30ppm）を用いた液肥灌水を行った。

1) エブ&フロー灌水がキャベツセル成型苗の苗質に及ぼす影響（実験 2.2.1.）

(1) 苗の性状

育苗終了時の苗の草丈、地上部生体重、葉面積、草姿指数を測定した。調査は1区6株3反復で行った。

(2) 生育揃い

育苗終了時の苗の草丈と地上部生体重を測定し、それぞれの変動係数を求めた。調査は1区30株3反復とした。

(3) 定植後の初期生育

定植後の苗の引き抜き抵抗値により、苗の発根量を比較した。また、定植1週間後の地上部乾物重を測定し、定植後の相対生長率を求めた。調査は1区4株3反復とした。

(4) 結球重

7月7日に場内圃場に定植した。9月30日に一斉収穫し結球重を測定した。調査は1区5株3反復とした。

b 結 果

1) エブ&フロー灌水がキャベツセル成型苗の苗質に及ぼす影響（実験 2.2.1.）

草丈、地上部生体重、葉面積のいずれも、エブ&フロー区で慣行区よりも大きくなった。また、草姿指数はエブ&フロー区が慣行区よりも小さくなった。（表-6）。苗の生育揃いについて、草丈の変動係数に差は認められず、地上部生体重の変動係数はエブ&フロー区が慣行区よりも小さく、生育揃いが向上した。定植後の生育を定植後の引き抜き抵抗値と定植後一週間の相対生長率で比較した結果、エブ&フロー区が慣行区よりも優れた。結球重

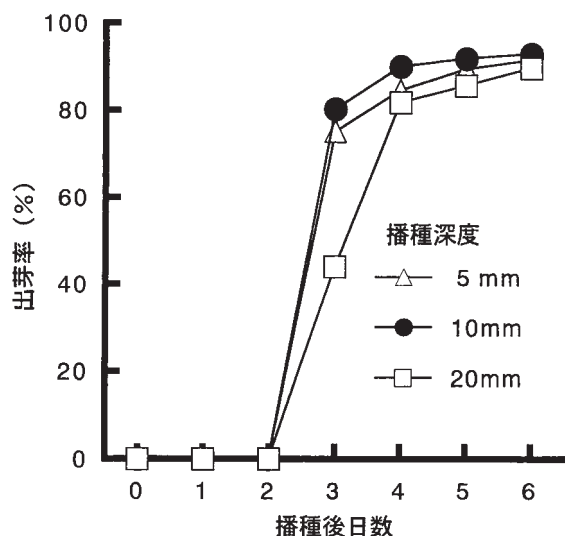


図-16 播種深度がキャベツの出芽に及ぼす影響（実験 2.1.2.）

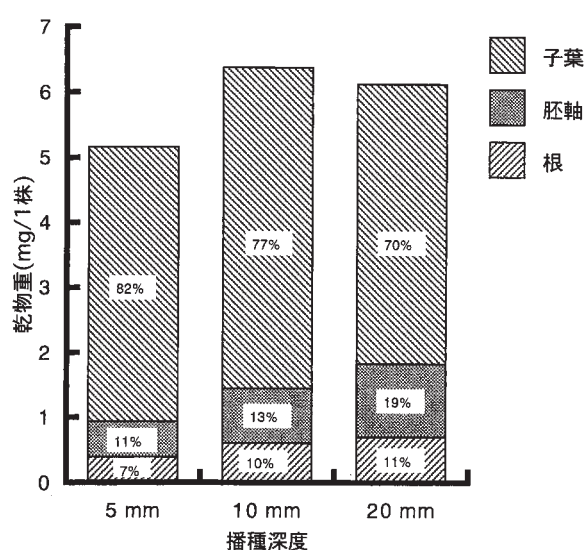


図-17 播種深度が子葉展開期におけるキャベツ実生の生育に及ぼす影響（実験 2.1.2.）

注）グラフ内の数字（%）は乾物分配率を示す

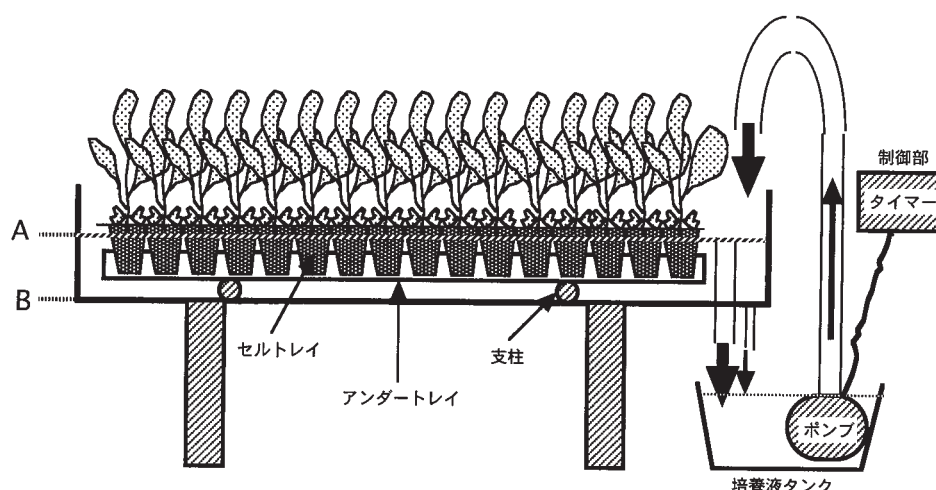


図-18 エブ&フロー灌水システムの概略図 (実験 2.2.1.)

注1) A: ポンプ稼働時の水位, B: ポンプ停止時の水位

注2) 太い矢印はポンプ稼働時の水の流れを示す

表-6 エブ&フロー灌水がキャベツセル成型苗の苗質に及ぼす影響 (実験 2.2.1.)

調査項目		試験区		有意性 ^y
		慣行	エブ&フロー	
性状	草丈 (mm)	109.8	127.6	*
	地上部生体重 (mg)	1.18	1.52	*
	葉面積 (cm ²)	28.1	35.2	*
	草姿指数 ^x	116	87	*
生育揃い (変動係数)	草丈 (%)	7.92	9.21	ns
	地上部生体重 (%)	19.5	7.5	**
定植後の生育	引拔抵抗値 ^z (N)	3.39	4.95	*
	相対生長率 (mg/mg/day)	0.08	0.11	*
	結球重 (g)	779	899	*

^z 定植1週間後の引拔抵抗値^y ns: 有意差なし, LSDで1% (**) または5% (*) 水準の有意差有り^x 草高/開張幅×100

はエブ&フロー区が慣行区よりも大きくなった。

3 追肥の好適施用量とその時期

効率的な育苗管理技術と高品質苗の育苗技術の確立を目的に、本節では以下の2項目について検討を行った。

1) 培養液濃度が苗質に及ぼす影響

苗の施肥管理は、苗品質に大きく影響し (ALONIら, 1991; DUFAULT, 1986), 定植後の生育や収量を左右する (GARTONら, 1990) ことから、育苗の最重要技術である。また、セル成型育苗では、少量の培養土で育苗するため、育苗期間中の培養土の乾湿差が大きく、実際の育苗では、根鉢の水分環境が関与することで、施肥管理と苗質との関係を複雑にしている。ところが、これまでのキャベツセル成型育苗に関する研究では、水分を十分

に与えた条件下で、施肥管理と苗質との関係について詳細に検討した報告は認められない。そこで、育苗管理として1日1回、液肥を用いた底面給水を行うことで、苗への水ストレスの影響を最小限に抑えた環境下で、培養液濃度が苗質に及ぼす影響について検討した。

2) 肥料切りの時期と肥料切り前の施肥前歴が苗質に及ぼす影響

実際のセル成型育苗では、低濃度の液肥を灌水代わりに与える追肥方法の他に、比較的高濃度の液肥を2~3回に分けて施与する方法も行われるほか、苗の徒長を抑制するために、液肥から真水に切り替えた灌水を行う等の肥料切り管理が行われている (菅沼ら, 1993)。このような施肥管理では、培地の肥料濃度の急激な変化を伴うものと考えられるが、施肥濃度の変化がセル成型苗の

苗質に及ぼす影響について詳細に検討した報告は少ない。そこで、肥料切り管理の時期と肥料切り前の施肥前歴が苗の生育と品質に及ぼす影響について検討した。

a 材料および方法

1) 施肥濃度がセル成型苗の生育と品質に及ぼす影響 (実験 2.3.1.)

播種後の育苗はガラス室で行った。播種後 15 日目以降は底面給水による液肥灌水を 1 日 1 回行った。試験区は園試処方 1/20 倍, 1/10 倍, 1/5 倍, 標準, 2 倍の 5 水準とし, それぞれ 1/20~2 倍の濃度に調整した園試処方標準培養液を用いて液肥灌水した。育苗は 2 回行い, 2000 年 2 月 29 日に播種し, 3 月 31 日まで育苗した苗を A 苗, 3 月 17 日に播種し, 4 月 17 日まで育苗した苗を B 苗とした。

(1) 苗の生育と草型

A 苗について, 草丈, 葉数, 地上部乾物重, 地下部乾物重, 乾物率, T/R 比を調査した。調査個体は, 草丈・葉数では, 1 区 10 株, その他の調査項目では 1 区 2 株 5 反復とした。次に, B 苗について, 草高, 草姿指数を調査した。調査個体は, 1 区 5 株とした。

(2) 定植後の生育と植え痛み

A 苗について, 定植時と 1 週間後の地上部乾物重を測定し, 相対生長率を求めた。調査個体は 1 区 2 株 4 反復とした。次に, A 苗について, 4 月 1 日に圃場に定植し, 4 月 19 日に着生葉数と枯死葉数を調査した。調査個体数は 1 区 9 株とした。

(3) 無機成分含有量

凍結乾燥した A 苗の葉身の N 含有量を測定した。また, 熱風乾燥した B 苗の地上部の P, K, Ca および Mg 含有量を測定した。測定は 1 区 4 反復とした。

(4) 光合成速度

A 苗について, 育苗終了時の苗の単位面積当たりの光合成速度および蒸散速度を測定した。測定時の光条件は光合成有効光量子束密度 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$, 測定件数は 1 区 4 株とした。

(5) デンプンおよび可溶性糖含有量

A 苗について, 葉身のデンプンおよび可溶性糖の含有量を測定した。サンプル数は 1 区 4 反復とした。

2) 肥料切りの時期が苗の生育と品質に及ぼす影響 (実験 2.3.2.)

育苗はガラス室で 2 回行った。1997 年 2 月 7 日に播種し 3 月 10 日まで育苗した苗を C 苗, 3 月 12 日に播種し 4 月 12 日まで育苗した苗を D 苗とした。何れも 31 日間

育苗した。試験区は, 育苗中期から後期にかけて液肥灌水を行った対照区, 育苗中期から液肥灌水を行った後に, 育苗後期に真水灌水に切り替えた後期肥料切り区 (W 区), 追肥開始を遅らせた区 (L 区) の 3 区を設けた。

(1) 苗の生育

育苗終了時における苗の形態について, C 苗では, 草丈, 葉数, 葉面積, 地上部と地下部の乾物重を調査した。調査株数は 1 区 10 株とした。

(2) 定植後の生育

C 苗について, 定植後 7 日目の引き抜き抵抗値と地上部乾物重を測定した。同時に相対生長率も調査した。調査個体数は 1 区 6 株 3 反復とした。

(3) N 含有量と光合成速度

熱風乾燥させた D 苗の地上部について, N 含有量を測定した。測定は 1 区 15 株 3 反復とした。また, D 苗について, 第 1 葉の光合成速度を測定した。測定条件は, 葉温 20°C , 相対湿度 35%, 光合成有効光量子束密度 $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$, CO_2 濃度 $350 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ とし, 測定個体数は 1 区 10 株とした。

3) 肥料切り前の施肥前歴がその後の苗の生育と品質に及ぼす影響 (実験 2.3.3.)

ガラス室で 2 回育苗し, 2000 年 2 月 29 日に播種し, 3 月 31 日まで育苗した苗を E 苗, 3 月 17 日に播種し, 4 月 17 日まで育苗した苗を F 苗とした。播種後 2 週間は上面より灌水を行い, 15 日目から底面給水による液肥灌水を 1 日 1 回行った。液肥灌水には, 1 倍または 1/5 倍の濃度に調整した園試処方標準培養液を用いた。試験区は 1 倍濃度区および 1/5 倍濃度区とし, さらにそれぞれの区について, 育苗終了時まで液肥を与えた対照区と, 育苗終了 7 日前から真水による灌水に切り替えた節減区を設けた。

(1) 苗の生育

E 苗について, 草丈, 地上部乾物重を調査した。調査個体数は, 1 区 2 株 5 反復とした。次に, F 苗について, 苗の草高, 開張幅および草姿指数を調査した。調査個体は, 1 区 5 株とした。

(2) 定植後の生育

E 苗について, 定植後 7 日目の引き抜き抵抗値と地上部乾物重を測定した。同時に相対生長率も調査した。調査個体数は 1 区 2 株 4 反復とした。

(3) 光合成速度

E 苗について, 育苗終了時の苗の単位面積当たりの光合成速度および蒸散速度を測定した。測定条件は光合成有効光量子束密度 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ とし, 調査個

体数は1区4株とした。

(4) 地上部水ポテンシャル

F 苗について、育苗終了時の地上部水ポテンシャルを測定した。測定日の灌水は午前9時に行い、測定は10時～11時にかけて行った。調査個体数は1区5株とした。

(5) 無機成分含有量

凍結乾燥したE苗の葉身のN含有量を測定した。次に、熱風乾燥したF苗の地上部を供試して、P, K, CaおよびMgの測定を行った。測定は1区4反復とした。

b 結 果

1) 施肥濃度がセル成型苗の生育と品質に及ぼす影響 (実験 2.3.1.)

草丈は、培養液濃度が高まるとともに増加したが、

1/5倍区を最高に、減少に転じた(表-7)。葉数と地上部乾物重は、培養液濃度の低下と共に減少した。これに対して、地下部乾物重は1/10倍区を最高に、濃度の上昇・低下に伴い減少した。乾物率は、1倍区、1/5倍区を最低に、培養液濃度の上昇・低下に伴い増加した。T/R比は、1倍区を最高に培養液濃度の上昇・低下に伴い低下した。苗の開張幅は、1倍区、1/5倍区で最も高く、1/10倍区、1/20倍区では低くなった(図-19)。草姿指数は1/10倍区で最も高くなった。

定植後の相対生長率は、1倍区が最も高くなったが、1/20倍区と2倍区では有意的に低下した(図-20)。定植後の植え傷みは、1/5倍以上の区で認められ、着生葉数は1/10倍区で最も多くなった(図-21)。

苗体内のN含有量は、2倍区と1倍区でともに最も

表-7 培養液濃度がキャベツセル成型苗の生育に及ぼす影響 (実験 2.3.1.)

培養液濃度 ^z	草丈 (mm)	葉数	乾物重 (mg)		乾物率 (%)	T/R 比
			地上部	地下部		
1/20 倍	89.4 c	2.5 d	100 c	26.1 bc	13.5 a	3.9 d
1/10 倍	128.5 b	3.0 c	150 b	33.0 a	10.6 b	4.4 d
1/5 倍	172.6 a	4.0 b	220 a	29.2 b	8.4 c	7.6 c
1 倍	164.6 a	4.5 a	260 a	23.1 c	8.3 c	11.1 a
2 倍	129.8 b	4.5 a	220 a	24.2 bc	10.2 b	9.3 b
有意性 ^y	**	**	*	*	**	**

^z 園試処方標準培養液を1倍としたときの濃度

^y Tukeyの多重検定により1%(**)または5%(*)水準の有意差あり

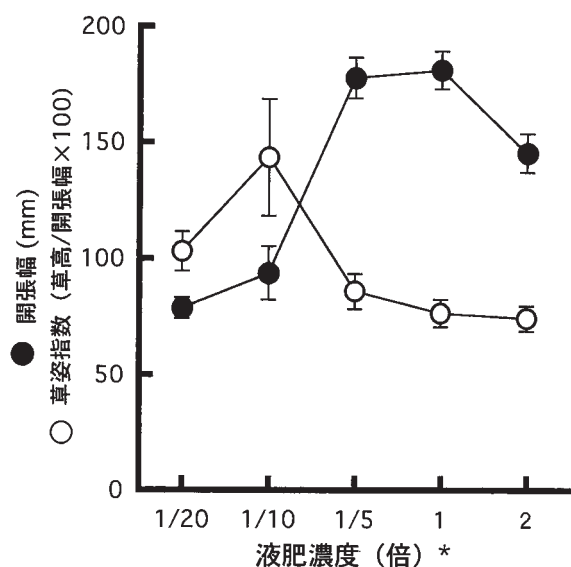


図-19 液肥濃度がキャベツセル成型苗の草姿に及ぼす影響 (実験 2.3.1.)

注1) * 園試処方標準培養液を1倍としたときの濃度

注2) I : 標準誤差 (n=5)

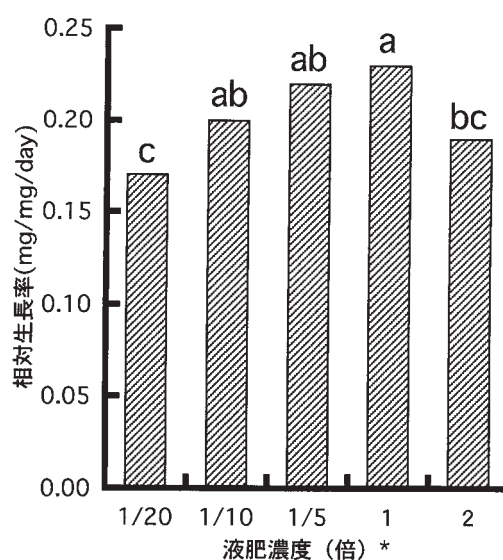


図-20 液肥濃度がキャベツセル成型苗の相対生長率に及ぼす影響 (実験 2.3.1.)

注1) * 園試処方標準培養液を1倍としたときの濃度

注2) Tukeyの多重検定により異なる英文字間に5%水準の有意差あり

高く、培養液濃度の低下に伴い徐々に減少した（図-22）。K含有量も、培養液濃度が減少するにつれて減少する傾向が認められたが、P、Ca、Mg含有量については培養液濃度の影響は認められなかった。

苗の光合成速度は、2倍区で、他の区よりも劣ったが、その他の区では、培養液濃度による影響は認められなかった（図-23）。

苗のデンプン含有量は、1/20倍区で最も高く、培養液濃度が高くなるに従って急激に減少した。その結果、

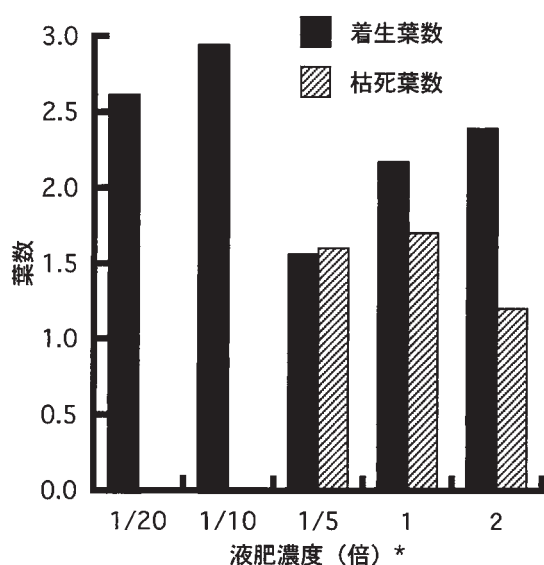


図-21 液肥濃度がキャベツセル成型苗の定植後の植え傷みに及ぼす影響（実験 2.3.1.）

注 1) * 園試処方標準培養液を 1 倍としたときの濃度

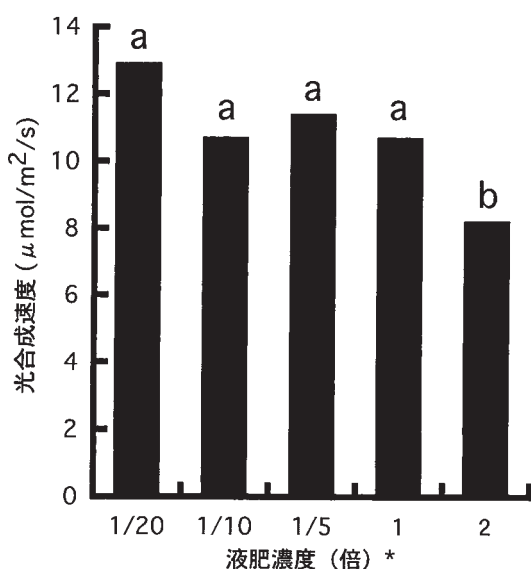


図-23 液肥濃度がキャベツセル成型苗の光合成速度に及ぼす影響（実験 2.3.1.）

注 1) * 園試処方標準培養液を 1 倍としたときの濃度

注 2) Tukey の多重検定により異なる英文字間に 5%

1/20 倍区と 2 倍区では 11 倍の差が認められた（図-24）。次に、可溶性糖の含有量は、2 倍区、1 倍区で低く、1/5 倍区、1/10 倍区、1/20 倍区で有意に高くなった（図-25）。可溶性糖の組成では、いずれの区でもスクロースの割合が少なく、グルコースとフルクトースが大部分を占めた。

2) 肥料切りの時期が苗の生育と品質に及ぼす影響（実験 2.3.2.）

草丈、葉数、葉面積、地上部乾物重について、対照区

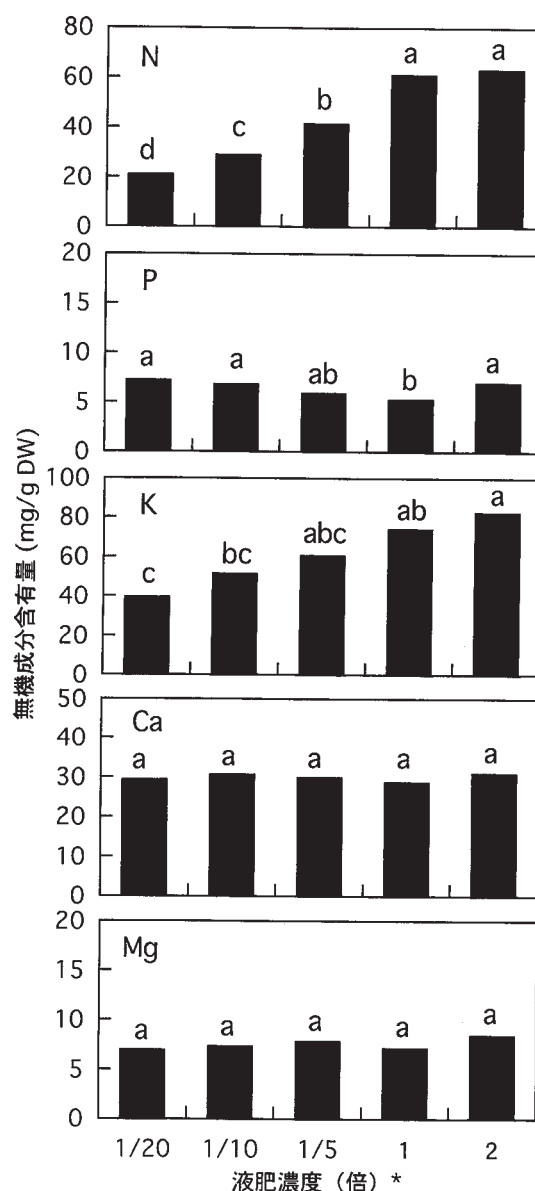


図-22 液肥濃度がキャベツセル成型苗の無機成分含有量に及ぼす影響（実験 2.3.1.）

注 1) * 園試処方標準培養液を 1 倍としたときの濃度

注 2) Tukey の多重検定により異なる英文字間に 1%水準の有意差あり

と比較した場合、後期肥料切り (W) 区では有意差が認められず、追肥開始遅延 (L) 区では有意に減少した (表-8)。また、根の乾物重は、区間の差が認められなかった。定植後7日目の生育について、引き抜き抵抗値と相対生長率を目安に、対照区と比較した場合、いずれも W 区では有意に低下し、L 区での低下は認められなかった。

N 含有量について、対照区と比較した場合、W 区では、15mg/gDW 以下と大きく低下したが、L 区では有意な差は認められなかった (図-26)。

光合成速度について、対照区と比較した場合、W 区では、約 1/2 の値まで低下したが、L 区での有意な差は認められなかった (図-27)。

3) 肥料切り前の施肥前歴がその後の苗の生育と品質に及ぼす影響 (実験 2.3.3.)

肥料切り前の施肥前歴が節減後の苗の生育に及ぼす影響について、肥料切り処理による影響を対照区と比較すると、草丈は、1 倍区では増加し、1/5 倍区では減少した (表-9)。開張幅は、1 倍区では肥料切り処理による影響は認められず、1/5 倍区では有意に減少した。苗の光合成速度と相対生長率は、1 倍区では差が認められず、1/5 倍区では減少した。苗の発根力は、1 倍区では増加し、1/5 倍区では減少した。

地上部水ポテンシャルについて、節減区と対照区を比

較した場合、1/5 倍区では有意差は認められなかったのに対して、1 倍区では、追肥の節減処理により水ポテンシャルが大きく上昇した (図-28)。

節減区の N 含有量について、対照区と比較した場合、1 倍区、1/5 倍区共に、追肥の節減処理により有意な低下が認められた (図-29)。P, K および Ca 含有量について、それぞれ対照区と比較した場合、いずれも、1 倍区では追肥の節減処理による有意差は認められず、1/5 倍区では追肥の節減処理により有意な低下が認められた。Mg 含有量について、対照区と比較した場合、1 倍区では追肥の節減処理による増加が認められ、1/5 倍区で

表-8 追肥の節減時期がキャベツセル成型苗の苗質に及ぼす影響 (実験 2.3.2.)

調査項目	試 験 区		
	対照	W	L
草丈 (cm)	11.4 a	10.8 a	9.1 b
葉数	2.8 a	2.8 a	2.3 b
葉面積 (cm ²)	25.9 a	23.8 a	18.5 b
地上部乾物重 (mg)	139.8 a	155.2 a	116.6 b
地下部乾物重 (mg)	22.8 a	24.9 a	22.1 a
引抜き抵抗値 (N)	3.48 a	2.78 b	3.14 ab
相対生長率 (mg/mg/day)	0.094 a	0.013 b	0.070 a

注 1) W 区：後期肥料切り区，L 区：追肥開始を遅らせた区

注 2) 異なる英文字間に Tukey の多重検定により 1%水準での有意差あり

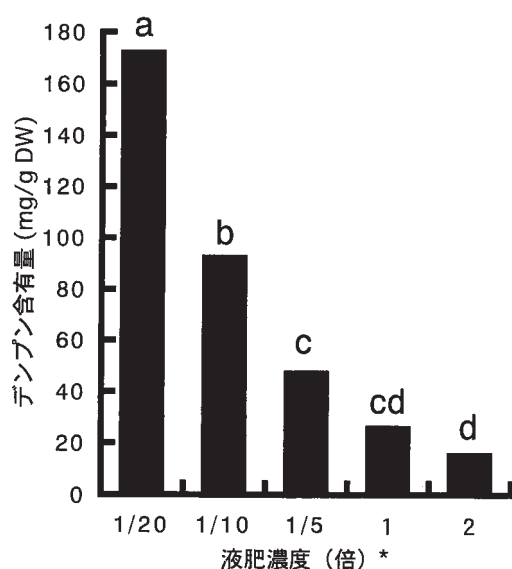


図-24 液肥濃度がキャベツセル成型苗のデンプン含有量に及ぼす影響 (実験 2.3.1.)

注 1) * 園試処方標準培溶液を 1 倍としたときの濃度

注 2) Tukey の多重検定により異なる英文字間に 1%水準の有意差あり

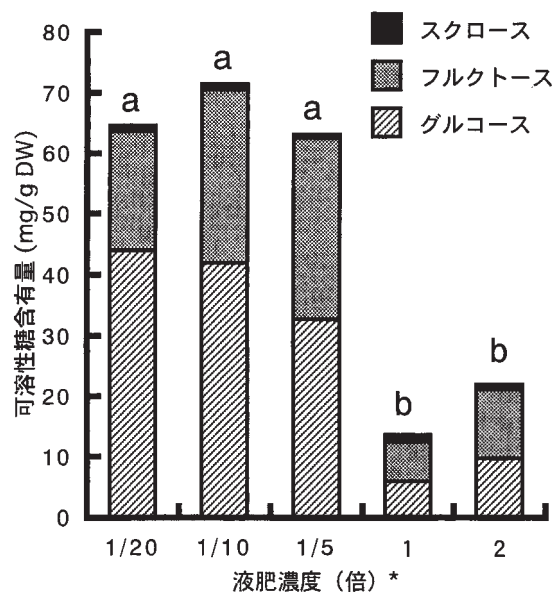


図-25 液肥濃度がキャベツセル成型苗の可溶性糖含有量に及ぼす影響 (実験 2.3.1.)

注 1) * 園試処方標準培溶液を 1 倍としたときの濃度

注 2) Tukey の多重検定により異なる英文字間に 1%水準の有意差あり

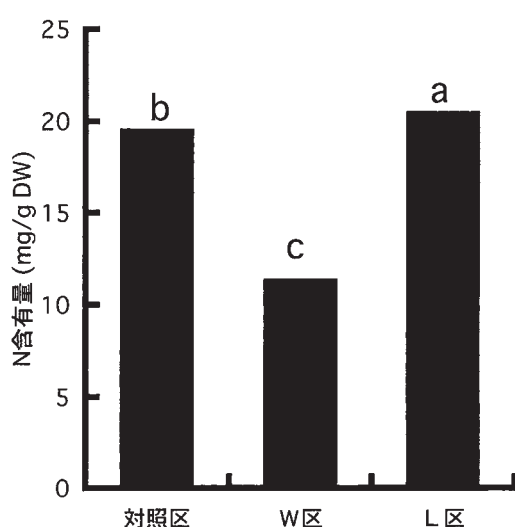


図-26 キャベツセル成型育苗における追肥の節減時期が苗のN含有量に及ぼす影響（実験2.3.2.）

注1) 異なる英文字間にはLSDで1%レベルでの有意差あり

注2) W区：後期肥料切り区，L区：追肥開始を遅らせた区

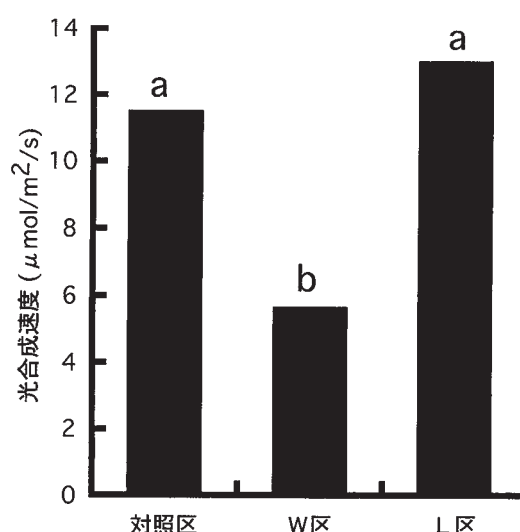


図-27 キャベツセル成型育苗における追肥の節減時期が苗の光合成速度に及ぼす影響（実験2.3.2.）

注1) 異なる英文字間にはLSDで1%レベルでの有意差あり

注2) W区：後期肥料切り区，L区：追肥開始を遅らせた区

表-9 追肥節減前の前歴がキャベツセル成型苗の生育と品質に及ぼす影響（実験2.3.3.）

前歴		性 状			生理活性	定植後の生育	
		草丈 (mm)	地上部乾物重 (mg)	開張幅 (mm)	光合成速度 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	発根力 ^y (N)	相対生長率 (mg/mg/day)
1倍区	対照区	162	257	181	10.7	8.6	0.23
	節減区	182	270	187	10.9	10.1	0.23
	有意性 ^z	**	ns	ns	ns	*	ns
1/5倍区	対照区	181	223	178	11.4	7.9	0.22
	節減区	140	200	110	9.9	6.3	0.17
	有意性	**	*	**	**	**	**

^z LSDで1%（**）または5%（*）水準で有意差あり，ns:有意差なし

^y 定植1週間後の引抜抵抗値

は減少が認められた。

4 NaCl 施用による徒長抑制と順化

徒長抑制や定植時の植え痛みの軽減を目的とした苗の順化方法として、‘水切り処理’が知られている（小寺，1996；LATIMERら，1994；LATIMER，1990，1997）。しかし、根域が制限された環境下であって、自然光下でのセル成型育苗では、日射量の変動に伴う蒸散量の変化が大きく、一定の水ストレスを安定して与えることが難しい。

根域の含水率に依存せずに、地上部への適度な水ストレスを与える方法として、根域の浸透圧制御が有効であると考えられる（GARCIAら，1996，2000；GUら1996，1998）。また、浸透圧調節物質としては、安価で入手し

易いことから、食塩（NaCl）の利用が実用的に優れると考えられるが、苗質改善の視点から、育苗時の培養液へのNaClの添加を検討した報告はこれまでに認められない。

そこで、育苗後期の‘水切り管理’の時期にあたる定植前約5日間の育苗管理において、培養液へのNaCl添加による苗の順化技術の開発を試みた。

a 材料および方法

育苗終了前の約5日間、NaCl 0.3%を添加した液肥（園試処方1/5濃度液）を1日1回底面給水した（以下、NaCl処理と表記する）、NaCl処理区と、液肥のみを底面給水した対照区を設けた。NaCl処理の濃度について

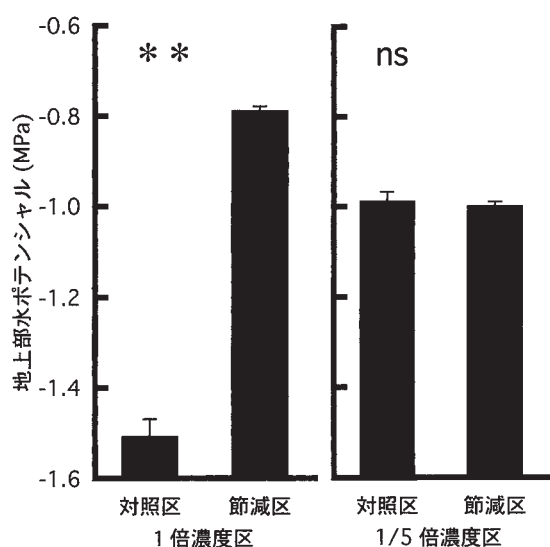


図-28 追肥節減前の前歴がキャベツセル成型苗の地上部水ポテンシャルに及ぼす影響（実験 2.3.3.）

注）**：LSDで1%水準の有意差あり，
ns：有意差なし

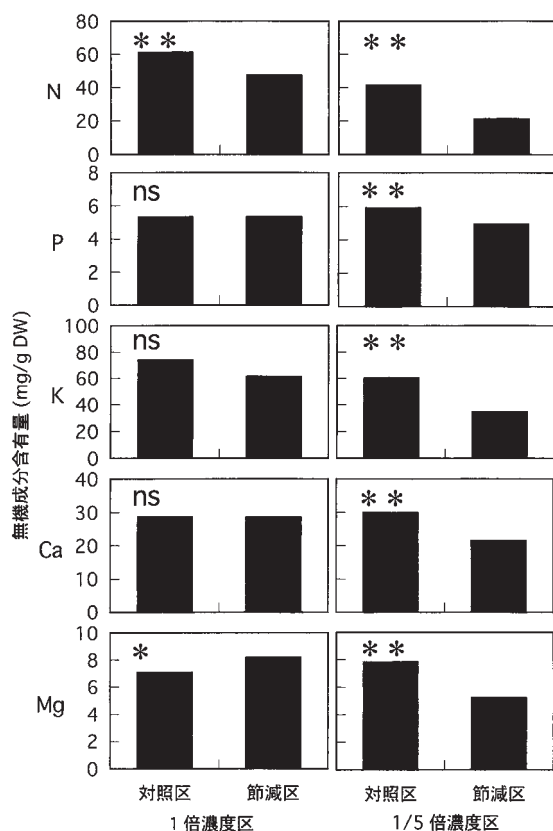


図-29 追肥節減前の前歴がキャベツセル成型苗の無機成分含有量に及ぼす影響（実験 2.3.3.）

注）LSDで1%（**）または5%（*）水準の有意差あり，ns：有意差なし

は、予備実験の結果から適当と判断した0.3%処理のみを採用したが、NaCl処理濃度の選定については、改めて検討しこれとほぼ同等の濃度での処理が適当であることを既に報告している（藤原ら、2002b）。

1) NaCl処理期間中のキャベツセル成型苗の根鉢および地上部水ポテンシャルの変化（実験 2.4.1.）

2000年3月23日に播種し、ガラス室で育苗した。4月18日～23日までNaCl処理を行った。処理開始から終了までの間、根鉢の水ポテンシャルと苗の地上部水ポテンシャルを測定した。NaCl処理中の灌水時刻は、9時を目安に行い、水ポテンシャルの測定は11時を目安に10時～12時までに行った。同時に測定時の日射量（10時～12時までの1時間ごとの日射量の平均値）を場内の気象測定データから調査した。調査個体数は、根鉢の水ポテンシャルでは1区4個体、地上部の水ポテンシャルでは1区7個体とした。

2) NaCl処理が苗質に及ぼす影響（実験 2.4.2.）

1998年11月20日に播種し、12月16日～21日までNaCl処理をした。育苗終了後の苗について、草丈、地上部生体重、地上部乾物重、地上部乾物率を調査した。調査個体数は、1区30株4反復とした。

3) NaCl処理が定植前後の苗の生育に及ぼす影響（実験 2.4.3.）

実験は、人工気象室で行った。1999年5月31日に播種し、6月21日～27日までNaCl処理した後、市販の園芸培養土（クレハ園芸培土）を詰めた3号プラスチック鉢に定植した。定植後は培養土が乾燥しないように十分に灌水し、定植後-5日（NaCl処理開始日）、-3日、0日、2日、5日、8日に葉面積を調査した。

4) NaCl処理が育苗終了後の根鉢および地上部含水率に及ぼす影響（実験 2.4.4.）

1998年10月8日に播種し、ガラス室で育苗した。11月5日～10日までNaCl処理を行った。11日は液肥灌水とした。12日に市販の園芸培養土（クレハ園芸培土）を詰めた5号素焼き鉢に定植し、十分に灌水した。その後の灌水は行わず、灌水から3日後までの根鉢と地上部の含水率について重量法により調査した。調査個体数は1区6株とした。

5) NaCl処理が苗の水利用効率に及ぼす影響（実験 2.4.5.）

1998年5月26日に播種し、人工気象室で育苗した。6月22日～25日までNaCl処理をした。NaCl処理開始から、6時間、1日、2日、3日および4日後に水利用効率を調査した。測定時における携帯型光合成蒸散測定装

置の測定チャンパ内の環境条件は、光合成有効光量子束密度 $300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ 、葉温 28°C とした。調査個体数は 1 区 7 株とした。次に、処理 4 日目の苗について、湿度環境以外は同様の条件とし、シリカゲルを通した相対湿度 0.3% の湿度乾燥空気を $500 \text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ の流量で流したときの、水利用効率の変化を連続的に測定した。

6) NaCl 処理がクチクラワックスの発生に及ぼす影響 (実験 2.4.6.)

1998 年 11 月 20 日に播種し、人工気象室で育苗した。12 月 16 日～21 日まで NaCl 処理をした。育苗終了後の苗について、葉の表面の粗ワックス量を測定した。測定は 4 反復で行った。

7) NaCl 処理が結球重に及ぼす影響 (実験 2.4.7.)

試験は 2 回行った。1 回目の試験は、1998 年 10 月 26 日に播種しガラス室で育苗した。11 月 19 日から NaCl 処理を開始し、11 月 24 日に場内圃場に定植した。6 月 3 日に収穫し、結球重を調査した。調査規模は、1 区 30 株 2 反復とした。2 回目の試験は、1 月 24 日に播種し、ファイロンハウスで育苗した。2 月 14 日から NaCl 処理を開始し、2 月 23 日に場内圃場に定植した。6 月 9 日に収穫し、結球重を調査した。調査規模は、1 区 30 株 3 反復とした。

b 結 果

1) NaCl 処理期間中のキャベツセル成型苗の根鉢および地上部水ポテンシャルの変化 (実験 2.4.1.)

根鉢の水ポテンシャルについて、対照区では -0.34MPa 前後ではほぼ一定に保たれたのに対して、処理区では徐々に低下し、 -0.6MPa 付近まで低下した。地上部水ポテンシャルについては、日射量が多いと低くなる傾向が認められたが、処理区では、常に対照区よりも低い値で推移した (図-30)。

2) NaCl 処理が苗質に及ぼす影響 (実験 2.4.2.)

草丈は、NaCl 処理によって対照区と比べて 44mm 低下した。地上部生体重は処理によって有意に減少したが、地上部乾物重では処理区間に有意な差は認められなかった。乾物率は NaCl 処理によって有意に増加した (表-10)。

3) NaCl 処理が定植前後の苗の生育に及ぼす影響 (実験 2.4.3.)

NaCl 処理開始から定植後 8 日目までの地上部乾物重には、処理による影響は認められなかった。葉面積については、NaCl 処理によって定植時には減少したが、定植後は再び増加し、定植後 5 日目以降は、対照区との差

が認められなかった (図-31)。

4) NaCl 処理が育苗終了後の根鉢および地上部含水率に及ぼす影響 (実験 2.4.4.)

地上部の含水率について、定植時に高かった対照区ではその後徐々に減少したのに対して、NaCl 処理区では

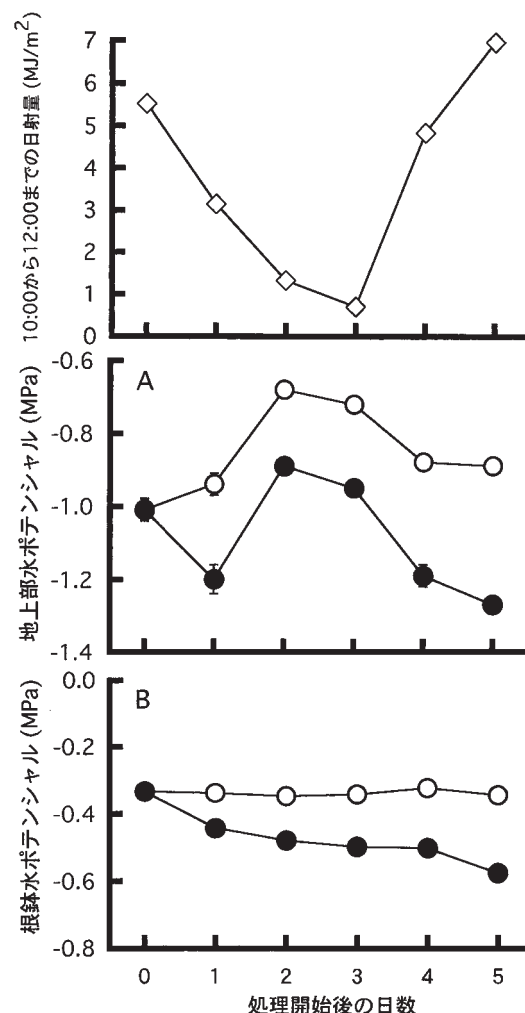


図-30 NaCl 処理がキャベツセル成型苗の根鉢および地上部水ポテンシャルに及ぼす影響 (実験 2.4.1.)

注 1) ○：対照区，●：NaCl 処理区

注 2) I：標準誤差 (A:n=7,B:n=4)

表-10 NaCl 処理がキャベツセル成型苗の苗質に及ぼす影響 (実験 2.4.2.)

	試 験 区		有意性
	対照	NaCl 処理	
草丈 (mm)	156.2	112.6	**
地上部生体重 (g)	2.45	1.83	**
地上部乾物重 (mg)	239.4	222.9	ns
乾物率 (%)	9.8	12.2	**

注) ns：有意差なし，**：LSD により 1%水準で有意差あり

定植時の含水率を維持した。その結果、定植後3日目では、NaCl 処理区で対照区よりも高くなった (図-32)。

5) NaCl 処理が苗の水利用効率に及ぼす影響 (実験 2.4.5.)

NaCl 処理による苗の水利用効率への影響は2日目以降で認められ、処理後4日目には対照区の2倍程度まで向上した。(図-33)。

さらに、乾燥空気に曝した場合の短期間の水利用効率

の変化を調べた結果、NaCl 処理区では、乾燥環境下での速やかな水利用効率の向上が認められた (図-34)。

6) NaCl 処理がクチクラワックスの発生に及ぼす影響 (実験 2.4.6.)

葉の表面のワックス量は、対照区で、 $40.2 \times 10^{-3} \text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 、NaCl 処理区で $48.0 \times 10^{-3} \text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ と、NaCl 処理によって約20%の増加が認められた (図-35)。

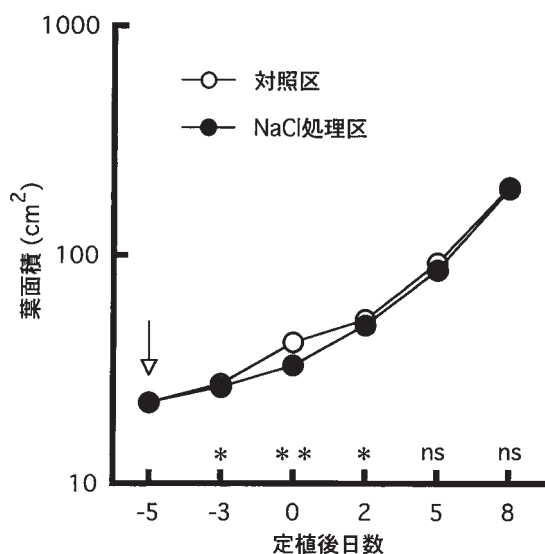


図-31 NaCl 処理がキャベツセル成型苗の定植後の葉面積に及ぼす影響 (実験 2.4.3.)

注1) LSDで1% (**) または5% (*) 水準の有意差あり, ns: 有意差なし
注2) 矢印はNaCl 処理開始を示す

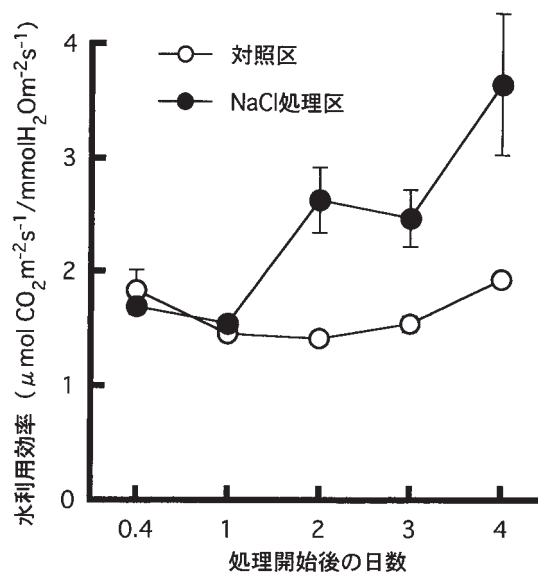


図-33 NaCl 処理がキャベツセル成型苗の水利用効率に及ぼす影響 (実験 2.4.5.)

注) I: 標準誤差

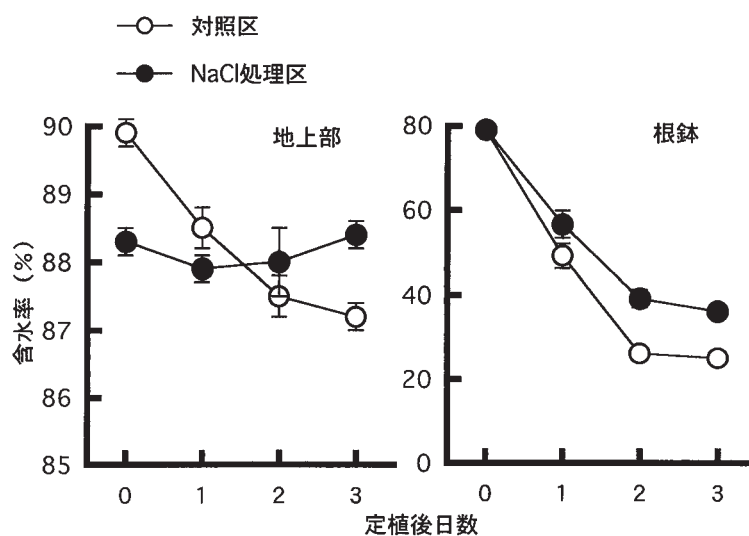


図-32 NaCl 処理が定植後のキャベツセル成型苗の地上部・根鉢の含水率に及ぼす影響 (実験 2.4.4.)

注) I: 標準誤差

7) NaCl 処理が結球重に及ぼす影響 (実験 2.4.7.)

2 回の圃場試験の結果、いずれの試験でも NaCl 処理による結球重の減少は認められなかった (表-11)。

c 考 察

1) 種子の選別と最適播種深度

種子サイズは、子葉展開期の実生や苗の大きさに影響する。SHANMUGANATHANら (1992) は、キャベツについて大きな種子由来の植物は小さな種子由来の植物よりも大きくなることを報告している。種子サイズによる苗の大きさへの影響に関しては、キャベツの他に、ブロッコリー (JETTら, 1996), レタス (WURRら, 1984), ダイズ, オオムギおよびビート (WOODら, 1977) について報告されている。いずれの報告も、キャベツと同様、大きな種子は大きな苗または植物になることを述べている。本実験では、これらの結果を前提として、種子重量によって 1mg 単位で種子を選別した。その結果、種子の大半は 2mg 台から 7mg 台に収まった。さらに、それぞれ重量別に播種した結果、2mg 台から 6mg 台までは種子重量による明確な地上部生育への影響が認められ、種子重量が大きいほど子葉展開期の実生の生育量が大きくなった。この結果から、6mg 以下の種子では重量による種子選別の区分を小さくすればするほど播種後の子葉展開期の実生の生育の斉一性を高めることが可能と考えられる。発芽率はいずれの区でも 100%には到らず、区によっては 5%前後の違いが認められたが、いずれの区でも 90%以上の値が得られたことから、同じ重量の種子を用いさえすれば、どのサイズの種子を用いても実用上遜色のない、均一な苗が得られるものと考えられる。

また、播種の深さも子葉展開期の実生や苗の大きさに影響する。キャベツの播種の深さについて、HEYDECKER (1956) は、キャベツを屋外で栽培する場合の播種深さについて検討し、15mm よりも浅くなると、土の表面が乾燥するため、降雨によって発芽が左右されることから、15~39mm が安全な播種深さであることを指摘している。また、SHANMUGANATHANら (1992) は、ポット育苗におけるキャベツの播種深さについて、5mm と 35mm の深さを比較した結果、35mm では 5mm よりも出芽が遅れ、胚軸への乾物分配が大きくなり、子葉が小さく、苗の相対生長率が低下することを報告している。本研究では、セル成型育苗システムでの播種深さの影響を検討した。その結果、5mm の深さでは、子葉展開期の実生の生育が抑えられた。セル成型育苗では覆土としてバーミキュライトを用いるが、5mm の深さでは、乾

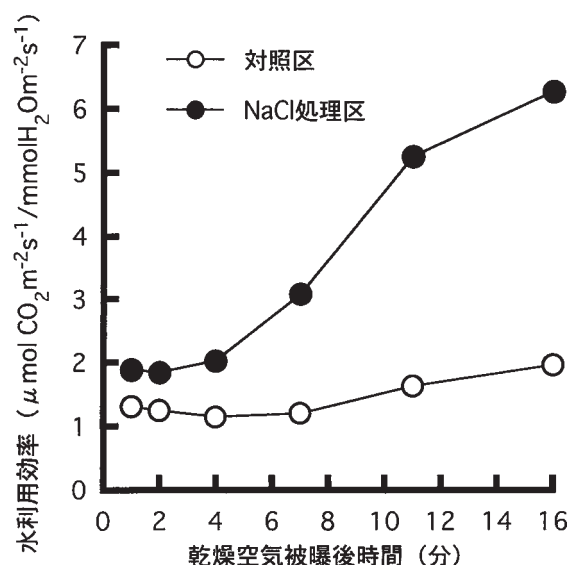


図-34 NaCl 処理が乾燥空気に曝した時のキャベツセル成型苗の水利用効率に及ぼす影響 (実験 2.4.5.)

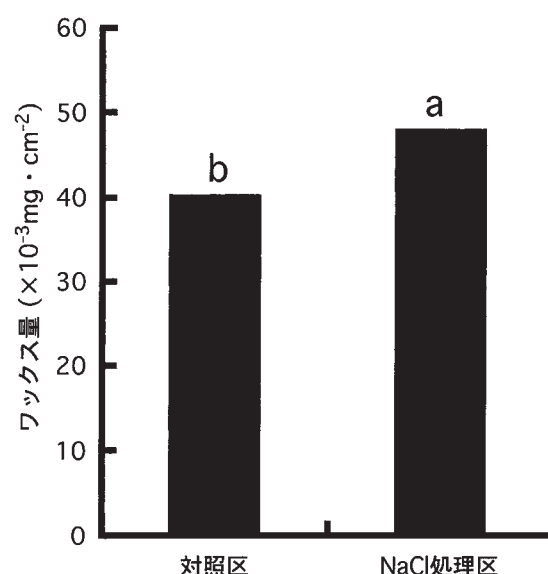


図-35 NaCl 処理がキャベツセル成型苗のクロロフィル含量に及ぼす影響 (実験 2.4.6.)

注) 異なる英文字間には LSD で 1%水準での有意差あり

表-11 NaCl 処理がキャベツの結球重 (g) に及ぼす影響 (実験 2.4.7.)

試験区	試験 1	試験 2
対照	773	1393
NaCl 処理	842	1268
有意性	ns	ns

注) ns: 有意差なし

燥による子葉展開期の実生の生育抑制が生じたものと考えられる。また、20mmの深さでは、5mm、10mmと比較して胚軸への分配率が高く、SHANMUGANATHANら(1992)の実験における35mm区と同様の結果となった。HEYDECKER (1956) および SHANMUGANATHAN ら(1992) がそれぞれに指摘している土壌表面の乾燥と乾物分配の視点をあわせて考えると、セル成型育苗における播種深さは、10mmが最も合理的であると結論付けることができる。一方、根の形態は、播種の深さが深くなるほど、主根の長さが小さくなり、二次根の発生が多く観察された。二次根の発生は、根の表面積の増加につながると考えられる。このことから、セル成型育苗では、出芽後の養水分の吸収の面からも10mm程度の深さに播くことが好ましいと考えられる。

以上の結果より、キャベツのセル成型育苗においては、できるだけ種子の重量を揃えて用い、10mm程度の深さで播種することで、子葉展開期の実生の生育を均一にすることが可能であると考えられる。

2) エブ&フロー灌水システムの適用

上面噴霧灌水と比較した結果、エブ&フロー灌水による苗生育への効果は顕著に現れ、草丈、地上部生体重、葉面積が増加した。FRANTZら(1998)も同様にキャベツの育苗方法を比較し、エブ&フロー灌水によって苗生育が促進され、窒素の吸収量が増加することを示している。本実験でもエブ&フロー灌水によって根鉢へ供給された培養液が上面噴霧灌水よりも多くなり、生育が促進されたと考えられる。

苗生育の斉一性は上面噴霧灌水に比べてエブ&フロー灌水で育苗することで向上した。本実験で用いた上面噴霧灌水ロボットは市販されている一般的なものであり、1回当たりの灌水が少量(300~350cc/トレイ)であることから、灌水は慣行に従い複数回を適宜行った。これに対して、エブ&フロー灌水では茎葉を介さずに灌水でき、1回の灌水で根鉢の養水分が飽和状態になることから1日1回を基準として朝に10分間行った。このため、エブ&フロー灌水では、著者ら(藤原ら, 1998b)が行った底面給水に関する実験の結果と同様に、根鉢の水分の高い斉一効果が得られ、生育の斉一性が向上したものと考えられる。

エブ&フロー灌水によって、上面噴霧灌水よりも定植後の苗の活着が優れた。定植前の施肥は活着を促進する(CIARDIら, 1998)。エブ&フロー灌水では上面噴霧灌水よりも体内窒素含有量が増加する(FRANTZら, 1998)ことも苗の活着が優れた原因の一つと考えられる。また、

エブ&フロー灌水によって上面噴霧灌水よりも結球重量が大きくなった。これも養水分の十分な供給による効果と考えられる。なお、MELTONら(1991)はトマトで、DUFALT(1986)はマスクメロンでそれぞれ、定植前の施肥処理による収量の増加を報告している。

なお、本実験では、エブ&フロー灌水により育苗した苗の地上部の草姿指数が高くなった。これは、機械移植には好ましくない結果であり、さらに草姿指数を小さくする育苗管理技術を開発する必要がある。

3) 追肥の好適施用量とその時期

(1) 培養液濃度が苗質に及ぼす影響

キャベツのセル成型苗の施肥について、市販の一般的な培養土(N成分で100~250mg/L)を用いた場合、追肥に用いる培養液濃度はN濃度を目安とすると、25~50ppmが適当と考えられている(藤原ら, 1996)。ただし、肥効は培養土の乾燥によって減少するため、灌水量によって大きく左右されることが考えられる。本実験では、培地中の水分含量の影響を最小限に抑えるため、液肥灌水を開始する時期からは、底面給水法による灌水を行い、施肥濃度が苗質に及ぼす影響について調べた。

まずはじめに、草丈や乾物重等の生育調査の結果から、今回の実験で用いた施肥濃度の範囲内に、実用上の過剰濃度と過不足濃度が含まれていると判断した。施肥濃度が苗の生育に及ぼす影響については、体内への養分吸収等が関係しているものと考えられるが、この影響については後に考察する。

次に、農作業の作業性の観点から、キャベツセル成型苗を用いる際に実用上最も重要な点は、苗の機械定植適応性である。機械定植適応性の目安として、開張幅および草姿指数を評価基準として苗を評価した場合、1/10倍区と1/20倍区が優れた。ただし、草丈が10cm以下と小さな1/20倍区では深植えになり易く、定植時の移植機に要求される植え付け精度の許容範囲が狭くなる欠点があることから、機械定植適応性においては1/10倍区が最も優れた苗と判断した。

さらに、定植後の生育では、定植後の苗の活着を苗の相対生長率(RGR)(佐伯, 1965; CIARDIら, 1998)を基準として評価した場合、1/10倍区、1/5倍区、1倍区が適当な施肥濃度と考えられた。また、苗の植え傷みを苗質の評価基準とし(山本, 1995)、実際に圃場に定植して植え傷みを調査したところ、1/10倍以下の培養濃度の区が優れていた。DUFALT(1986)はメロン苗について、N施用量が多いと植え傷みの発生が増加することを指摘しているが、本実験では、1/5倍以上の

濃度区での N 施用量の増加が植え傷み発生の原因になったと考えられる。したがって、定植後の生育から判断して 1/10 倍区が最も優れると判断した。

以下では、施肥濃度と苗の生理的側面との関係について考察する。苗の無機養分 (N, P, K, Ca および Mg) の含有量について調査した結果、P, Ca および Mg の含有量については特に顕著な違いは認められなかった。これに対して、N と K の含有量は施肥濃度が低くなるにつれて小さくなる傾向が認められた。植物体内の無機養分含有量の低下は、光合成能力と密接な関係があり、それ以下の濃度になると光合成速度が急激に低下する臨界濃度が存在する (花田ら, 1981)。イネにおける N の臨界濃度は 2% (乾物ベース) であることが知られている (石塚ら, 1958)。キャベツの苗では N 成分の臨界濃度を示した報告はみられないが、後で詳しく考察する光合成速度の測定結果では、光合成機能の低下が認められなかったことから、1/20 倍区の苗で認められた 2% 程度の N 含有率が臨界濃度を上回っていることは明らかである。ところで、IERSEL ら (1998) は、インパチェンスおよびペチュニアのセル成型育苗において、P や K が必要以上の体内濃度を越えても苗質に影響しない、いわゆる「贅沢吸収」をすることを明らかにし、セル成型苗の育苗に当たっては、N 成分に焦点を当てた施肥管理が重要であるとの見解を示している。本実験では、施肥濃度の違いによって N 含有量と K 含有量への影響が認められた。K 含有量については、後で考察するデンプンや可溶性糖の蓄積に何らかの影響を及ぼしている可能性も否定できないが、生育に及ぼした可能性は低いと思われる。

本実験では、培養液濃度の区間差が 40 倍であったにもかかわらず、苗の N, K 含有量では、最大 2~3 倍程度の区間差が認められたのみで、P, Ca および Mg の含有量には培養液濃度が影響しなかった。これは、施肥濃度に植物が適応し、低濃度の施肥条件では地上部の生育を抑制することで体内の無機養分濃度を一定に保った結果であると考えられる。また、低濃度施肥区で根量が多くなったことも、地上部への無機養分の供給能力を高めるための適応の一つであると考えられる。ALONI ら (1991) も N 施用量と根の生育には負の相関関係があることを指摘している。

苗の光合成能力も重要な苗質評価基準であると考えられる。本実験では、2 倍区でのみ他の区よりも光合成速度が小さかった、これは、培地の浸透ポテンシャルが低く、葉の水ポテンシャルが低下し、気孔が閉じたためで

はないかと推察された。また、1/20 倍区のように施肥濃度を非常に低い状態で育苗しても光合成能力が低下しなかったことは、興味深い現象である。追肥濃度を低下させることで、苗質を低下させずに施肥量の削減と苗の過繁茂を抑制できれば、農業の環境保全化と農作業の省力化の 2 つの視点での優位性が生まれると考えられる。

デンプンやグルコース、スクロースなどの可溶性糖の体内濃度も苗の品質を考える上で重要な要素となる。本実験では、施肥濃度が低くなるほどデンプン含有量が高く、区間で最大 10 倍近くの差が認められた。可溶性糖では、含有量の高い区 (1/5 倍濃度以下の区) と含有量の低い区 (1 倍濃度以上の区) の 2 つのタイプに分かれ、区間で約 3 倍の差が認められた。ALONI ら (1991) がピーマンの植物体内における低 N 条件でスクロースが速やかにデンプンに変わることを確認しているように、キャベツ苗でも、施肥濃度が低い区ほど N 含有量が低下した結果、デンプンの合成が盛んになり、含有量が高まったものと考えられる。本田ら (1960) は、イネの良質苗の条件として、体内のデンプン、可溶性糖および窒素の含有量が高いことをあげている。また、デンプンと可溶性糖の総量が窒素含有量よりも極端に多くなると、苗が老熟し、発根力が低下すると考察している。本実験における低濃度の施肥条件で育苗した区では、本田と臼田の指摘するようないわゆる「老化苗」的体内成分状態になっていたとも考えられる。しかし、苗が老化したか否かは、育苗期間中に蓄積されたデンプンおよび可溶性糖が、定植後呼吸基質として消費されるか否かによって判断すべきであり、スクロースを分解するインベルターゼ (MORRIS ら, 1984) などの酵素タンパク質の活性等を含めて詳しく検討する必要がある。なお、キャベツにおいては、育苗中に蓄積したデンプンは定植後速やかに消費されること (佐藤ら, 1998)、苗の貯蔵温度 (SATO ら, 1999) や定植後の温度条件 (佐藤ら, 1999) によっても消費が左右されることが明らかになっており、定植時の環境や作型によっても良質苗の基準は異なるものと考えられる。

以上のように、液肥濃度による苗の生理的変異が、農業的に持つ意味についてはまだ、不明瞭な点が多いが、実用的な培養液濃度としては、園試処方 1/10 倍培養液 (N 濃度: 13.2ppm) を用いるのが妥当であると考えられた。この濃度は、一般に行われている追肥濃度 (N 濃度: 25~50ppm) の半分以下の濃度であるが、従来の灌水方法よりも水ストレスが少ない底面給水法で育苗したことで、肥料の利用効率が向上したためと推察され

る。従って、本実験で明らかになった培養液濃度は、エブ&フロー灌水を含む底面給水法や、灌水量を制限しない灌水管理を行う場合に推奨できる培養液濃度であると考えられる。

(2) 肥料切りの時期と肥料切り前の施肥前歴が苗質に及ぼす影響

苗地上部の過繁茂の抑制を目的として、肥料切りの時期について検討した結果、育苗後期に肥料を切るよりも、追肥の開始時期を遅らせたほうが草丈の抑制効果が高かった。菅沼ら(1993)は、キャベツのセル成型育苗において、育苗後期に液肥灌水を水道水に切り替えることで、苗の徒長が抑制でき、収量にも影響を及ぼさないことを報告している。本実験では、育苗後期に肥料を切った区(W区)では草丈抑制効果は小さいだけでなく、追肥の開始時期を遅らせた区(L区)と比較して、苗が大きいにもかかわらず、定植後の発根力が劣り、定植後の相対生長率が小さかった。このように、育苗後期に肥料を切ると苗の活着が悪くなったのは、育苗後期の肥料切りでは、地上部生育が低下しなかったことで、体内の無機栄養分の含有量が極端に低下したためではないかと推察された。このことについては、後で考察するが、N成分の臨界濃度の観点から考えると興味深い結果である。

苗地上部のN含有量は、L区では対照区と同様に2%程度の値を示したのに対して、W区では1%程度であった。また、このときの苗の光合成速度は、L区では対照区と同等であったのに対して、W区では、対照区の1/2以下であった。これらの結果から、育苗後期に肥料を切ること定植後の活着が劣った直接の原因は、苗のN成分が臨界濃度を下回ったことであると結論付けられる。従って、キャベツセル成型苗におけるN成分の臨界濃度は、1%~2%の範囲内に存在すると推察される。

ここまでは、肥料切りの時期について考察してきた。この中で、育苗後期に肥料を切った場合、追肥を継続した場合よりも苗の乾物重が増加したのではと疑問に思われる結果が予備実験で得られた。そこで、以下ではこの疑問の解決も含めて、肥料切り前の施肥前歴(1倍区、1/5倍区)が育苗後期の肥料切り効果に及ぼす影響について考察する。

育苗後期の肥料切りの影響は、草丈、葉面積および地上部生体重で顕著に認められ、施肥前歴によって肥料切り処理に対する反応が全く異なった。すなわち、肥料切り処理による苗の生育反応は、1/5倍区では抑制され、1倍区では増加した。また、肥料切り処理による乾物率の変化は、1/5倍区では増加、1倍区では減少した。こ

のように、育苗後期の肥料切り管理によって必ずしも過繁茂抑制効果が得られる訳でなく、肥料切り前の施肥濃度が高い場合には過繁茂が促進され、逆効果となった。このような、生育反応の違いは、培地の浸透ストレスや植物体内への養分吸収が大きく影響しているものと推察されるので、以下では、これらの反応を苗の体内の水ポテンシャルと養分吸収の視点から考察する。

肥料切り処理による、苗の体内水ポテンシャルへの影響を調べた結果、1倍区では大幅に上昇したのに対して、1/5倍区では変化が全く認められなかった。培養液の濃度が高くなると培地の浸透ポテンシャルが低下し、植物体内の水ポテンシャルが低下することが知られている(GARCIAら, 2000)。植物体内の水ポテンシャルに対する植物の反応は多岐に渡り、僅かな差でも、光合成などの生育に関わる代謝過程に影響を及ぼす(石原, 1997)。本実験のように、肥料切り前の施肥濃度が比較的高く、苗体内の水ポテンシャルが低い場合には、肥料切り処理による体内の水ポテンシャルの上昇が生育を促進し、茎葉部の過繁茂につながると考えられる。

次に、葉のN, P, K, CaおよびMg含有量を測定した。その結果、1倍区、1/5倍区のいずれの区でも肥料切り処理によって濃度が低下したのはN成分であった。また、1/5倍区では、調査したすべての無機養分において、肥料切り処理により有意に減少したことから、肥料切り処理による生育抑制は、体内の各種養分の含有量の低下を伴う現象であり、施肥量の急激な減少に起因すると考えられた。

ところで、先にN成分の臨界濃度について考察したが、肥料切り前の施肥前歴が肥料切り後の光合成速度に及ぼす影響を調査した結果、1/5倍区で僅かであるが有意な低下が認められた。このことから、1/5倍区では肥料切り処理によって、いずれかの養分が臨界濃度を下回った可能性があり、体内の養分濃度がもう少し低下した場合、苗の光合成能力がさらに低下し、定植後の生育が極めて悪い苗となる可能性が高いと思われる。実際の育苗場面を想定した場合、育苗期間が長期化し、液肥施用の中断期間が長引いた場合などは、体内での施肥養分濃度が大きく低下する可能性があるため、注意が必要である。

以上の結果から、肥料切り管理によるキャベツセル成型苗の過繁茂抑制効果は、追肥の開始時期を遅らせることが最も効果的である。また、育苗後期に液肥灌水を中断した場合、節減前の施肥前歴によって、過繁茂を抑制する上で逆効果になることや苗質の低下につながるこ

から、注意が必要である。特に育苗後期の追肥の節減では、苗の体内養分の含有量に影響し易いことから、無機養分の臨界濃度を下回らないように育苗管理することが重要である。キャベツセル成型苗ではN成分の臨界濃度として2%程度を目安と考えて、育苗管理を行えば、極端な苗質の低下は避けられるものと考えられる。

4) NaCl 処理による徒長抑制・順化方法

NaCl 処理によって、根鉢培養土の浸透ポテンシャルを低下させることで、苗の地上部水ポテンシャルを0.2~0.4MPa 低い値に制御できた。また、地上部水ポテンシャルは、計測した時間帯の日射量と負の相関で同調した。これらの結果から、日射量の少ない曇天日などの徒長し易い環境下でも、地上部の水ポテンシャルをある程度低く保つことが可能であり、日射量が多いほど地上部への水ストレスが大きくなると考えられた。

NaCl 処理によって、苗の生育を低下させずに草丈が抑制でき、乾物率が上がったことから、NaCl 処理によって定植時の苗の過繁茂が抑えられ、いわゆる‘硬く締まった苗’になったとみることが出来る。実際の観察結果からも、NaCl 処理区は硬く締まった状態で、対照区が徒長的な草姿をしていたのとは対照的であった。

定植後の苗の活着には、根鉢の水分状態や地上部の水分状態が大きく影響することから、NaCl 処理が苗の水分保持に及ぼす影響について検討した。まず、根域を制限した状態で灌水を止めた場合、根鉢の含水率の減少はNaCl 処理によって大きく抑えられた。また、NaCl 処理区の苗地上部の含水率は、灌水直後は対照区より低かったが、2日後には逆転し、3日目では、対照区の約2倍の値で維持された。このように、NaCl 処理は、発根が抑制された状態で、苗の水分保持能力を高めることが可能であった。次に、定植により根域制限を解除した場合について、根鉢および苗地上部の含水率は、根域制限条件下と比較して減少の程度は少なかったものの、灌水後3日目ではいずれの含水率もNaCl 処理によって高く維持され、実際に苗を定植した場合でもNaCl 処理による苗の水分保持効果が得られた。これらの事実から、NaCl 処理は育苗終了後の定植が速やかに行えなくなった場合の育苗期間の延長時においても、苗の萎れによる影響を少なくし、灌水の回数も減らせると考えられる。また、苗の水分保持能力が向上したことで、定植後の乾燥した圃場環境に対しても、苗の植え傷みが少なくなることや、定植してから灌水作業を行うまでの時間的制限が緩和される等の利点があげられる。

NaCl 処理によるセル成型苗の水分保持効果は、蒸散

量が抑制された結果得られたものと考えられた。しかし、蒸散は、葉の代謝活性と密接な関係があり、葉の蒸散の減少に伴い光合成も大幅に低下する可能性が否定できない。このため、葉の光合成速度、蒸散速度を測定し、水利用率を求めた。水利用率は植物の耐干性を評価する指標として、多くの場面で用いられている(DARLINGTONら, 1996; IACONOら, 1998; LIU, ら, 1996; SANEOKAら, 1987)。まず、NaCl 処理開始から4日間の変化を調べた結果、4日間のNaCl 処理によって水利用率が約2倍に向上した。さらに、処理後4日目の苗について、乾燥空気に曝した場合の苗の反応を同様の視点から調べた結果、乾燥空気に対する植物の反応はごく短期間の間に行われ、NaCl 処理により、乾燥空気にさらしてから16分後の水利用率は対照区の3倍以上にまで向上した。このようにNaCl 処理によって、光合成の低下を最小限に抑えながら効率よく水分の損失を抑制しうる苗の育成が可能になることが、水利用率の観点からも明らかになった。

ところで、葉面からの蒸散には、気孔からの蒸散だけでなく、クチクラ表面からの蒸散が大きく影響する。クチクラ蒸散は広葉の草本では特に大きく、ヒマワリでは全蒸散量の約30%を占めることもある(広岡ら, 1981)。乾燥条件下では、気孔が十分に閉じた状態でも、クチクラ蒸散が多ければ苗の植え痛みがひどくなり、枯死する場合もある。このことは、多肥、多湿および寡日照条件で育苗した場合のいわゆる‘徒長苗’は、定植後の乾燥条件による植え痛みがひどいことなど、経験的に良く知られた事実からも推察される。このため、如何にしてクチクラ蒸散の少ない苗を育成するかが、育苗における重要なポイントとなる。

クチクラワックスは、クチクラ蒸散の抑制に重要な役割を果たしており(JENKSら, 1999)、ある程度の耐干性を備えた植物は、乾燥ストレスを受けることによって、葉組織内の脂質が増加し、クチクラ表面に多くのワックスを発達させることが知られている(SANEOKAら, 1987)。葉組織内の脂肪酸とクチクラワックスとの間には密接な関係があり、脂肪酸がいくつかの合成経路を経ることでワックスが生成される(POST-BEITENMILLER, 1996)。本実験を行う中で、NaCl 処理によって葉身の光沢が少なくなる現象が認められたことから、クチクラワックスの発生が促されたものと考えた。このことを実証するため、葉面積当たりのクチクラワックス量を測定した結果、NaCl 処理によってクチクラワックス量が20%増加することを確認した。このことから、NaCl 処理

による苗の水利用効率の向上には、クチクラワックスの増加が大きく関係しているものと推察される。

乾燥ストレスと塩ストレスに対して植物は、気孔の閉孔や葉面積および草丈の減少、さらにはクチクラワックスの発達 (JENKSら, 1999) など、非常によく似た反応を示すことが知られている。植物が乾燥ストレスに遭遇すると、体内での ABA 含量が増加する (MUNNSら, 1993) ように、塩ストレスに対しても全く同様の反応を示す (DUNLAPら, 1996) ことから、塩ストレスと乾燥ストレスに対する植物の反応は、体内の ABA 合成に始まると考えられる。ABA は蒸散抑制、老化促進の他に環境ストレス耐性の向上作用を持つ植物ホルモンとして一般に広く知られている (高橋ら, 1999)。ABA は、耐干性や耐塩性などのストレス耐性を獲得する過程で、体内の浸透圧調節で重要な働きをするポリオール類やグリシンベタインの生成を誘導すること (佐藤, 1993)、また、耐寒性や耐干性向上に重要な役割を果たすと考えられている LEA タンパク質の合成を誘導すること (大江田, 1999) が知られている。

CANOら (1991) は、発芽前のトマトに塩ストレスを与えることで出芽後の耐塩性が高まる原因として、出芽前の塩ストレスにより、体内の ABA 濃度が適度に上昇し、出芽後の塩ストレスに対する ABA の急激な上昇が起きなかったことに注目し、適度の ABA 濃度は苗のストレス耐性を高めるが、過度の ABA 上昇は苗生育にマイナスの作用を及ぼすことを指摘している。過度の ABA 上昇が塩害を助長していることについては、アブラナ科植物の耐塩性比較実験の結果からも同様に指摘されている (Heら, 1996)。これらの報告から、植物体内における ABA 濃度には、適正濃度が存在すると考えられる。本実験における NaCl 処理が植物体内の ABA 濃度に及ぼす影響については調査していないが、処理後の苗の形態や定植後の生育の面から判断して、体内の ABA 濃度は適正濃度の範囲内で維持されたものと思われる。

苗への NaCl 処理が、収量に及ぼす影響を明らかにするため、2 度にわたり圃場での栽培試験を行った結果、NaCl 処理による収量への悪影響は認められないといった結論を出すにとどまった。NaCl 処理が苗の徒長を抑え、移植機の定植精度を十分に引き出すのに有効であることは明らかであるが、NaCl 処理が生育揃いに及ぼす影響については、苗の生育と品質の均一性を向上させる可能性があることを明らかにしている (藤原ら, 2003) にとどまり、定植後の初期生育と収穫時の生育の斉一性

に及ぼす影響については十分に言及できるまでのデータを持ち合わせていない。圃場の水分環境や温度環境などの違いによって、NaCl 処理が定植後の生育の斉一性に好影響を及ぼすことも考えられるが、これらについては、今後さらに詳細な検討を加える必要がある。

以上より、培養土の浸透圧を安定した状態で低く維持する方法として、NaCl 処理が有効な技術になるものと考えられる。NaCl 処理の効果としては、灌水量をひかえることなく、苗の徒長抑制と順化効果を同時に得ることが可能であることが挙げられ、実用面では、全自動機械定植による省力化と生産の安定化の視点から、有効な育苗管理技術になりうると考えられる。

d 摘 要

1) 種子品質と播種法

キャベツのセル成型育苗における子葉展開期の実生の生育の斉一化を図ることを目的に、種子の大きさおよび播種の深さが子葉展開期の実生の生育に及ぼす影響について検討した結果、大きさを揃えた種子を用いて、10mm 程度の深さで播種することで、子葉展開期の実生の生育の斉一化と生育促進を図ることが可能であると考えられた。

2) 灌水法

上面噴霧灌水の問題点である培地水分の不均一化を解消するために育苗半ばより、エブ&フロー灌水による育苗を試みた。その結果、エブ&フロー灌水により、苗の生育斉一性と定植後の生育が向上することが明らかとなった。

3) セル成型育苗による施肥法

(1) 施肥濃度の影響

培養液濃度 (園試処方標準培養液を使用) が、キャベツセル成型苗の生育と品質に及ぼす影響について検討した。その結果、機械定植を前提とした苗質としては、1/5 倍濃度以上は不適切であり、定植後の植え傷み等を考慮すると、1/10 倍濃度での育苗が適当と考えられた。なお、1/10 倍濃度で育苗した際の体内のデンプンや可溶性糖の蓄積については、定植後の苗生育の促進に働く可能性があると考えられた。

(2) 追肥の節減時期と節減前の前歴の影響

キャベツのセル成型育苗における茎葉部の過繁茂抑制を目的として、追肥の節減時期および節減前の前歴が苗の生育と品質に及ぼす影響について検討した。その結果、追肥の節減時期は育苗中期に行うことで苗質を低下させずに効果的に過繁茂を抑制できると考えられた。また、育苗後期の追肥の節減は、節減前の前歴によって生育や

品質に全く正反対の影響を及ぼすことが明らかになった。液肥節減前に根鉢の浸透圧が高く、苗の水ポテンシャルが低い状態にある場合は、追肥の節減によって過繁茂を助長する可能性があるため注意が必要である。キャベツセル成型苗ではN養分の臨界濃度として2%程度を目安と考えて、それを下回らないように育苗管理すれば、極端な苗質の低下は避けられるものと考えられる。これらの知見を現場で活用するには、RQフレックス等を用いた簡易栄養診断技術の開発が待たれるところである。

4) NaCl 処理による徒長抑制・順化方法

根鉢を乾燥させずに、地上部へ適度な水ストレスを与える方法として、育苗後期に液肥へNaCl添加する方法(NaClを用いた順化法)を考案し、その実用性について検討した結果、キャベツセル成型育苗におけるNaClを用いた順化法は、灌水量を制限せずに、苗の水ポテンシャルを抑制し、苗の徒長抑制と順化効果を得る上で有効な手段であることが示された。

V 定植時のキャベツの斉一化技術

これまでに、キャベツ収穫時の生育の斉一性を高く保つ上で、定植後の苗の初期生育の斉一性を高めることが重要であること、セル成型苗の生育および品質の斉一性の向上技術について明らかにしてきた。一方、定植後の苗の初期生育の斉一性は、定植後の苗周辺の局所的圃場環境の違いによっても影響を受ける。また、セル成型苗の機械定植時に生じる植え付け姿勢が生育に及ぼす影響も無視できないと考えられる。

キャベツセル成型苗は、全自動移植機への適応性が高い点で、従来の苗よりも優れている。しかし、従来の地床苗等と比較して苗の性状が大きく異なることから、セル成型苗の特性をよく把握したうえで、そのメリットを十分に発揮させる栽培管理を行うことが重要である。

本章では、定植時におけるキャベツの斉一化技術の確立を目的に、セル成型苗の機械定植適応性、定植時の灌水管理、植え付け方法について検討した。

1 苗の機械定植適応性

セル成型苗のメリットを十分に発揮させるためには、苗の定植適期と機械定植適応性を明確にする必要がある。キャベツセル成型苗の機械定植適応性に関しては、これまで、草丈・葉数(福地ら, 1996; 菅沼ら, 1993), 耐倒伏性(西本ら, 1996)を指標として捉えられてきた。このほか、苗の斉一性も機械定植を行ううえでの重要な

条件と考えられる。しかし、苗の斉一性を含めたセル成型苗の機械定植適応性について、詳細に検討した報告が少ない。そこで、本節では、苗の斉一性、発根力、機械定植適応性などの視点から苗の定植適期を評価するとともに、苗の草姿と機械定植適応性との関係について検討した。

a 材料および方法

1) 生育ステージが苗生育の斉一性に及ぼす影響(実験 3.1.1.)

1996年3月6日に播種し、ガラス室で育苗した。苗が1.5, 3.5, 4.5 および 5.0 葉期に達した3月27日, 4月8日, 4月16日および4月23日に地上部乾物重を調査し、その変動係数を求めた。調査個体数は1区120株とした。

2) 生育ステージが機械定植適応性、引き抜き抵抗値、結球重に及ぼす影響(実験 3.1.2.)

1996年3月6日, 3月29日, 4月9日および4月16日の4回にわたって播種を行い、それらを5月7日まで温室内で育苗管理した。試験区は、定植時の本葉数の違いにより、2.5葉区, 3.5葉区, 4.5葉区および5.0葉区の4区とした。調査は以下の4項目について行った。

(1) 機械定植適応性

5月7日に、1条畝を設けた圃場で機械植えによる定植試験を行った。定植後、定植適正率を調査した。1区当たりの定植面積は30m²とし、調査数は100株とした。

(2) 引抜抵抗値および結球重

5月7日に5号素焼き鉢に定植し、3日後および1週間後に引抜抵抗値を測定して発根力を推定した。さらに、地上部乾物重を調査し、定植後1週間の苗の相対生長率と乾物増加量を求めて定植後の初期生育を比較した。調査個体数は1区10株とした。また、5月7日に、圃場に手植えで定植し、栽培管理を行った後、7月19日に結球重を調査した。調査個体数は1区60株3反復とした。

3) 品種および育苗日数が苗の草姿・定植精度に及ぼす影響(実験 3.1.3.)

キャベツ‘松波’, ‘金系201号’, ‘アーリーボール’を1996年10月2日, 9月25日, 9月18日にそれぞれ播種した。発芽器(ヤンマー発芽器WR64CH)で発芽させた後、昼温20℃, 夜温15℃に設定した人工気象室で育苗した。10月22日に苗の草姿と機械定植時の定植精度について調査した。ただし、定植試験は、場内の黒ぼく土壌圃場に作畝した1条畝にて、株間を35cmに設定して行った。試験の2日前に十分な降雨があったこと

から、圃場の土壌はある程度の水分を含んでおり、また、碎土状況も良好であったことから、圃場は移植機の精度を十分に発揮させる条件であると考えられた。また、苗の茎葉部を濡らさずに根鉢の水分状態を均一にするために、定植の約1時間前に供試苗に底面給水を行った。定植精度については、定植後、浅植え率、深植え率、欠株率および定植適正率を調査した。なお、調査規模は、苗の草姿については1区につき10株、定植精度については30株の定植が可能な面積である6.3m²とした。

b 結 果

1) 生育ステージが苗生育の斉一性に及ぼす影響（実験3.1.1.）

生育ステージが進むにつれて、地上部乾物重は増加したが、それらの変動係数は、減少した（図-36）。

2) 生育ステージが機械定植適応性、引き抜き抵抗値、結球重に及ぼす影響（実験3.1.2.）

定植適正率は、2.5葉区、3.5葉区、4.5葉区、5.0葉区でそれぞれ91%、96%、96%、0%となり、3.5葉区と4.5葉区が最も高く、2.5葉区はやや低くなった。これに対して5.0葉区では全く定植することができなかった（図-37）。

引抜抵抗値は、定植後3日目の調査から、苗齢による差が認められ、大苗で定植した区ほど大きくなった。7日目になると、その差はさらに大きく広がり、2.5葉区で特に小さく、他の区では苗齢の高い苗で高い値を示した（図-38）。また、収量についても、大きな苗を植えた区ほど結球重が大きくなった（図-39）。

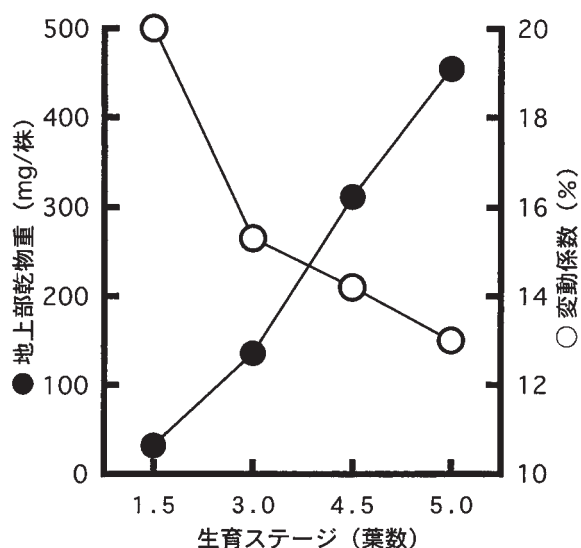


図-36 セル成型苗の生育ステージと乾物重およびその斉一性との関係（実験3.1.1.）

3) 品種および育苗日数が苗の草姿・定植精度に及ぼす影響（実験3.1.3.）

苗の草姿の違いは、特に34日育苗区において顕著に認められ‘松波’では草高が高く草姿指数が高い形、‘アーリーボール’では葉が横に広がり草姿指数が低い形、‘金系201号’ではこれらの中間の草姿となった（図-40）。

定植適正率を調べた結果、‘松波’が最も機械定植適応性が高く、定植適期幅が広がった（表-12）。‘金系201号’は定植適期幅が‘松波’よりも狭くなった。‘アーリーボール’は、いずれの育苗日数でも定植適正率が60%以下となり、機械定植適応性が最も低かった。

2 底面給水の活着促進・生育斉一化効果

セル成型苗の特徴は、育苗時の培養土と根からなる根鉢を形成することである。定植時には育苗時の培養土と一緒に定植するため、培養土の水分がキャベツの活着に少なからず影響すると考えられる。KRATKYら（1980）は、カリフラワーのセル成型苗では、定植後の根鉢周囲の土壌水分よりも、根鉢の水分が活着に大きく影響することを報告している。これは、セル成型苗の定植後の初期生育の斉一性について考える上でも重要な知見である。しかし、定植時の根鉢の水分状態とその後の初期生育の斉一性に関する報告は、これまでに認められない。そこで、定植前の灌水管理による根鉢の水分環境が定植後の活着と生育の斉一性に及ぼす影響について検討した。

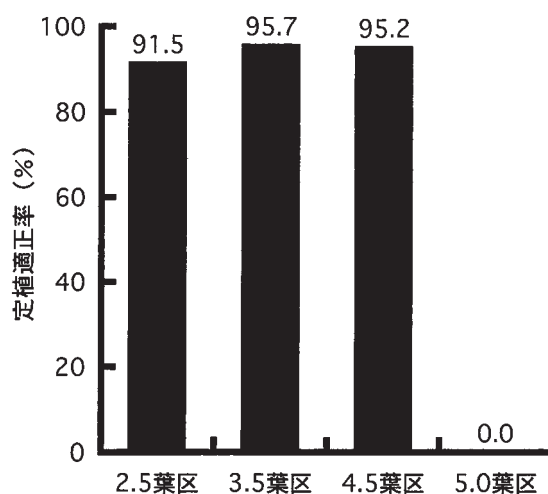


図-37 キャベツセル成型苗の苗齢が全自動機械定植時の定植適正率に及ぼす影響（実験3.1.2.）

a 材料および方法

育苗はガラス室で行った。実験には根鉢の含水率が40～50%の状態にある苗を1処理区につき1トレイずつ供試した。実験3.2.1～3.2.3では、無灌水区（定植直前に灌水を行わなかった区）と底面給水区（定植直前に底

面給水を行った区）の二つの試験区を設けた。灌水処理後は根鉢の上面部を1cm程度覆土して植え付け、その直後および翌日の2回を原則として、1回につき1株当たり100mlずつ灌水した。実験3.2.4では、灌水量を0、1セルトレイ当たり500mlの上面散布灌水、1000mlの

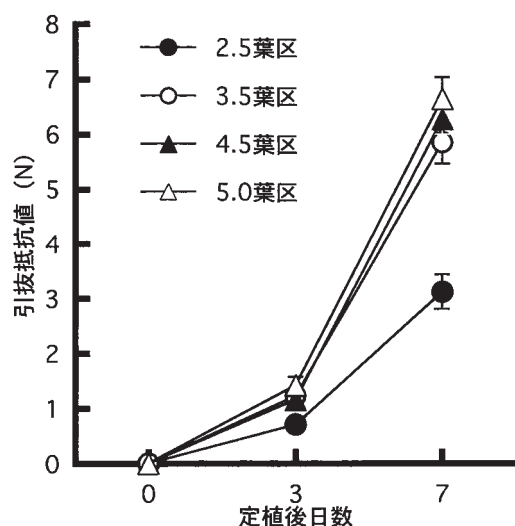


図-38 キャベツセル成型苗の定植時の苗齢が引抜抵抗値に及ぼす影響（実験3.1.2.）

注）I：標準誤差（n=10）

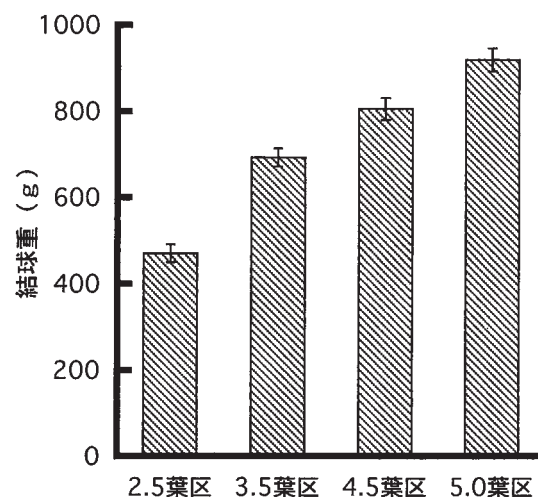


図-39 キャベツセル成型苗の定植時の苗齢が結球重に及ぼす影響（実験3.1.2.）

注）I：標準誤差（n=3, nは60株の平均値）

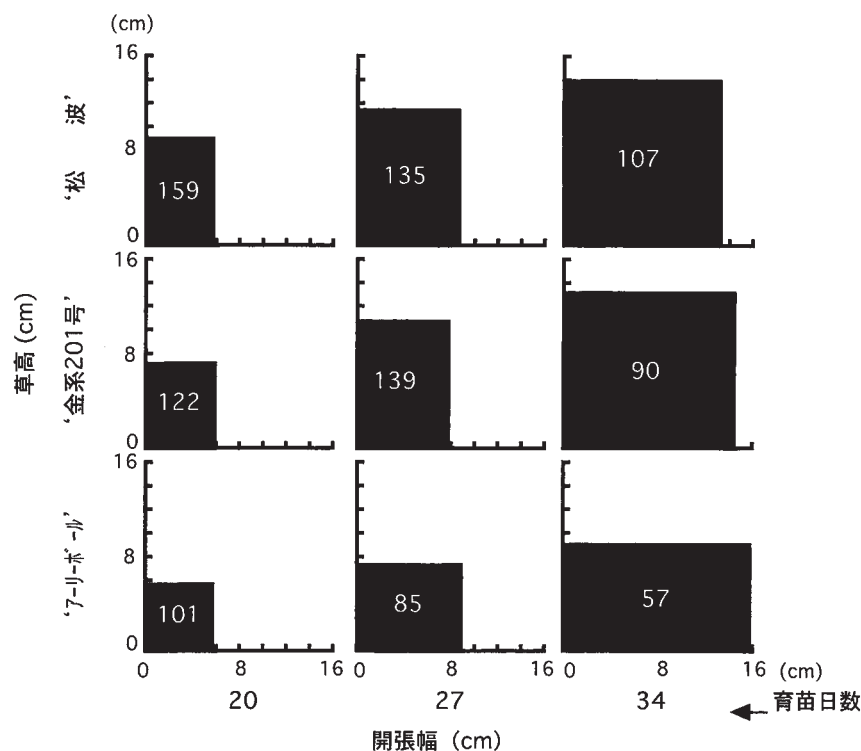


図-40 キャベツの品種と育苗日数がセル成型苗の草姿に及ぼす影響（実験5.1.3.）

注）図中の数字は草姿指数（草高／開張幅×100）を示す

上面散布灌水，ならびに底面給水の4試験区を設けた。
なお，底面給水は容器内に5cmの深さに満たした水に約30秒間セルトレイごと浸した。

1) 根鉢の水分状態が定植後の発根に及ぼす影響（実験3.2.1.）

1995年5月22日に播種し，6月15日に灌水処理した後，根鉢の含水率を測定し，その変動係数を求めた。さらに，根鉢からの発根数を調査した。1区当たりの調査株数は10株とした。

2) 根鉢の水分状態が定植後の地上部水ポテンシャルの変化に及ぼす影響（実験3.2.2.）

定植後の苗の地上部水ポテンシャルの変化を調査した。調査は，1) 定植後2日目の日変化，2) 定植後2日目から6日目にかけての変化，3) 定植後7日目から15日目にかけての変化の3項目に分けて行った。播種日は1)，2)，3)のいずれも11月2日とし，定植日は1)，2)では12月11日，3)では12月6日とした。定植場所は，1)，2)では，最低気温15℃に設定した場内ガラス室，3)では場内ビニルハウスとし，いずれも灌水処理を行った後に定植した。1回の測定株数は，1)では7株，2)，3)では5株とした。

(1) 定植後2日目の日変化

定植後2日目の7時～17時の間，2時間おきに地上部の水ポテンシャルを測定した。

(2) 定植後2日目から6日目にかけての変化

定植後2日目～6日目にかけて毎日12:30～13:30の間に地上部の水ポテンシャルを測定した。なお，定植後4日目には水ポテンシャル測定後に1株当たり100mlずつ灌水した。

(3) 定植後7日目から15日目にかけての変化

定植後7日目～15日目にかけて2日おきに12:30～13:30の間に地上部の水ポテンシャルを測定した。

3) 根鉢の水分状態が定植後の苗の初期生育とその齊

一性に及ぼす影響（実験3.2.3.）

1995年5月22日に播種し，6月15日に底面灌水処理した後，場内ビニルハウス内に定植し，定植後7日目と14日目の地上部乾物重を調査し，その変動係数を求めた。なお，1区当たりの調査株数は10株とした。

4) 定植直前の灌水方法が根鉢の水分とその斉一性に及ぼす影響（実験3.2.4.）

1995年5月22日に播種し，7月14日に底面灌水処理した後，直ちに1区につき30株の根鉢の含水率を重量法により測定し，測定値の平均値と変動係数を求めた。

b 結 果

1) 根鉢の水分状態が定植後の発根に及ぼす影響（実験3.2.1.）

定植時の根鉢の含水率は無灌水区よりも底面給水区で約2倍で，その変動計数は無灌水区で25%程度であったのに対し，底面給水区では，1%台の非常に高い均一性が認められた。定植後の根鉢からの発根数もこれに反映し，無灌水区に比べて底面給水区では発根数は3倍以上，その変動係数は1/4以下となった（表-13）。

2) 根鉢の水分状態が定植後の地上部水ポテンシャルの変化に及ぼす影響（実験3.2.2.）

(1) 定植後2日目の日変化

無灌水区では日中に水ポテンシャルの低下が見られた

表-13 定植時の根鉢の水分状態が定植後の根鉢からの発根に及ぼす影響（実験3.2.1.）

		試 験 区	
		無灌水	底面給水
根鉢水分の状態	含水率 (%)	42.4	79.3
	変動係数 (%)	24.8	1.5
根鉢からの発根	発根数 (本)	13.9±3.2	46.2±2.2
	変動係数 (%)	69.0	14.2

注) 平均値±SE (n=10)

表-12 品種と育苗日数が全自動移植機による機械定植時の定植精度に及ぼす影響（実験3.1.3.）

品種	育苗日数	適正定植率 (%)	浅植え株率 (%)	深植え株率 (%)	欠株率 (%)
松波	20日	100	0	0	0
	27日	100	0	0	0
	34日	80	3	0	17
金系201号	20日	80	20	0	0
	27日	100	0	0	0
	34日	57	26	0	17
アーリーボール	20日	60	37	3	0
	27日	53	27	13	7
	34日	27	50	3	20

が、底面給水区では大きな低下は見られず、測定値の変動係数は常に無灌水区よりも小さくなった（図-41）。

(2) 定植後2日目から6日目にかけての変化

地上部の水ポテンシャルは常に底面給水区の方が高く、変動係数は低く推移した。一方、定植後4日目まで低下していた水ポテンシャルは、4日目の灌水によって上昇したが、その上昇程度は、無灌水区よりも底面給水区で高かった（図-42）。

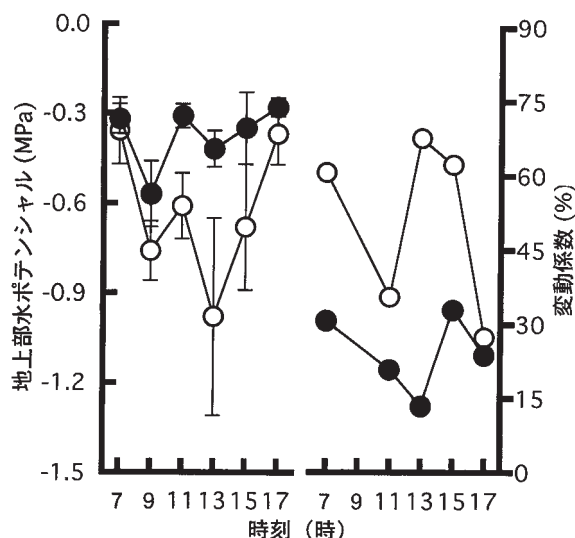


図-41 定植時の根鉢の水分状態が定植後2日目のキャベツセル成型苗の地上部水ポテンシャルの日変化に及ぼす影響（実験3.2.2.）

注1) ●：底面給水区，○：無灌水区

注2) I：標準誤差（n=5）

(3) 定植後7日目から15日目にかけての変化

測定開始時にみられた無灌水区と底面給水区の地上部水ポテンシャル値の差はその後次第に小さくなり、両区ともに -0.4MPa 前後で安定した。特に底面給水区ではより早い時期での地上部水ポテンシャルの安定が認められ、底面給水処理によって地上部水ポテンシャルの上昇が促進された（図-43）。

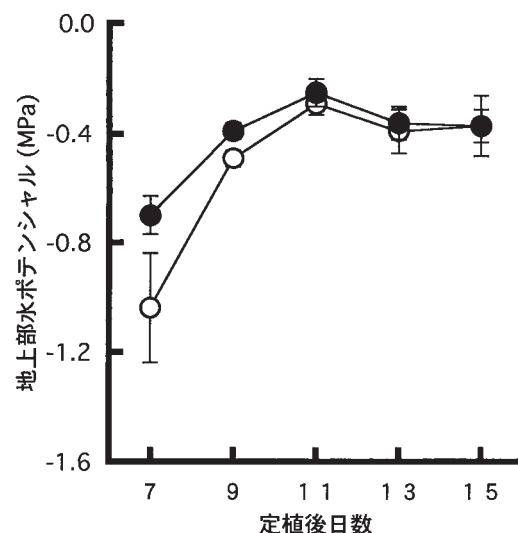


図-43 定植時の根鉢の水分状態が定植後7日目からのキャベツセル成型苗の地上部水ポテンシャルの変化に及ぼす影響（実験3.2.2.）

注1) ●：底面給水区，○：無灌水区

注2) I：標準誤差（n=5）

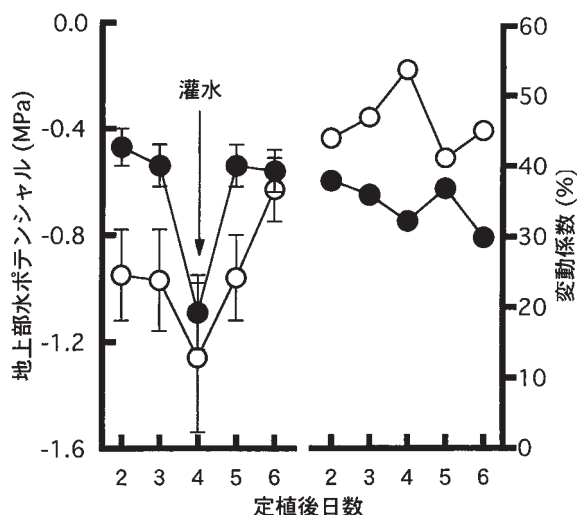


図-42 定植時の根鉢の水分状態がキャベツセル成型苗の地上部水ポテンシャルの変化に及ぼす影響（実験3.2.2.）

注1) ●：底面給水区，○：無灌水区

注2) I：標準誤差（n=5）

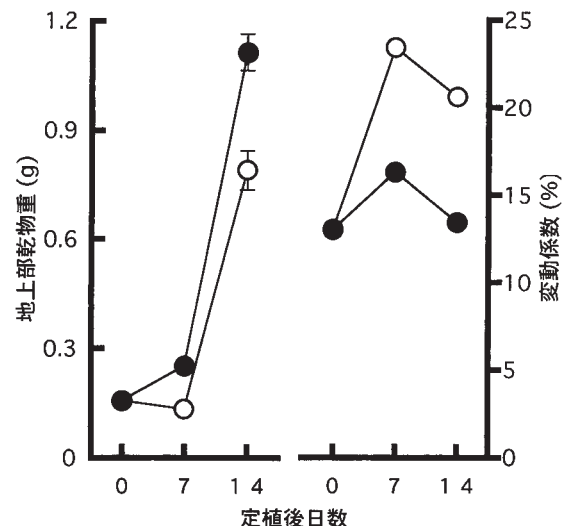


図-44 定植時の根鉢の水分状態がキャベツセル成型苗の生育とその斉一性に及ぼす影響（実験3.2.3.）

注1) ●：底面給水区，○：無灌水区

注2) I：標準誤差（n=10）

3) 根鉢の水分状態が定植後の苗の初期生育とその斉一性に及ぼす影響 (実験 3.2.3.)

無灌水区では定植後7日間は生育が停滞し、第1葉の落葉により乾物重が減少したものの、その後の生育は回復した。一方、底面給水区では定植後7日目、14日目と順調に生育した。その結果、14日目の地上部乾物重は無灌水区では0.79gであったのが、底面給水区では1.11gと、大きな差が現れた。さらに、地上部生育の斉一性は、定植時には両処理区とも変動係数が13.0%であったが、定植後7日後と14日後の無灌水区では20%以上、底面給水区では15%前後と推移した(図-44)。

4) 定植直前の灌水方法が根鉢の水分とその斉一性に及ぼす影響 (実験 3.2.4.)

根鉢の含水率は、無灌水に対して、500ml, 1000ml, 底面給水区と順次高くなった。また、根鉢の含水率の変動係数は、上面散布灌水の場合、少量の灌水で増加し、多量の灌水で低下したが、底面給水の場合は極めて低い値となった(図-45)。ただし、すべての試験区において、外見上の苗の萎凋は認められず、上面散布灌水を行った苗の地上部が濡れていること以外の違いはみられなかった。

3 植え付け深さと活着・生育の斉一性との関係

セル成型苗を植え付けるに当たっては、適切な植え付けの深さを明らかにする必要がある。全自動移植機による機械定植では、苗の形態や、圃場の碎土性によって浅植え株や深植え株が生じる(森山ら, 2000)。実際の栽

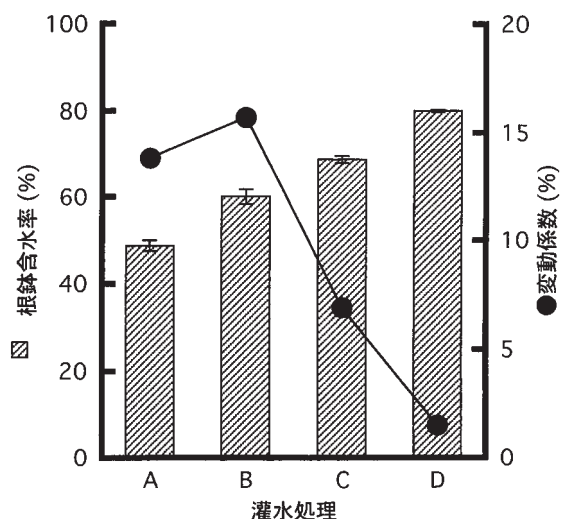


図-45 定植前の灌水方法が根鉢の水分状態に及ぼす影響 (実験 3.2.4.)

注1) A: 無灌水区, B: 500ml 灌水区,
C: 1000ml 灌水区, D: 底面給水区
注2) I: 標準誤差 (n=30)

培圃場では、植え付けの深さが不均一であったり、不適切であるために、定植後の生育が不斉一になることが考えられる。キャベツ苗の植え付け深さについては、従来から「深植えは厳禁」とされているが、セル成型苗でも同様の考えから、根鉢の上面を畝の表面と同じレベルになるように普及指導が行われている。この点、弓野ら(1996)は、根鉢が1~2cmの深さで完全に覆土された状態が適当であること、森山ら(2000)は、植え付け深さよりも、根鉢の露出程度が苗の活着率に与える影響が大きく、根鉢の露出は避けるべきであることを報告している。このように、セル成型苗の植え付け深さに関しては、根鉢が露出するか否かが活着を左右し、根鉢の水分状態が関係していると推察されるが、植え付け深さと根鉢の水分環境との関係を明らかにした報告は認められない。そこで、第3節では、キャベツセル成型苗の植え付け深さが、定植後の活着と収穫時の生育の斉一性に及ぼす影響について、定植後の初期生育と苗の水分状態の視点から検討を加えた。

a 材料および方法

試験は、場内の圃場(実験 3.3.1~3.3.2)またはビニルハウス(実験 3.3.3~3.3.7)で行った。試験区は、実験 3.3.1~3.3.2では、根鉢上端が地表面と同一になるように定植した処理区(GL区)を基準に、1cmと2cmの2水準でそれぞれ浅植えと深植えをした区で計5区を、実験 3.3.3~3.3.7では、植え付け深さの違いを2cmの1水準として、浅植え区、GL区ならびに深植え区の3区を設けた。栽培様式は、実験 3.3.1~3.3.2では、畝幅120cm, 条間50cm, 株間35cmの2条植えとし、実験 3.3.3~3.3.7では、畝高15cm, 畝幅60cm, 株間20cmの1条植えとした。また、すべての実験において、定植直後とその翌日に灌水を行い、1回の灌水量は1株当たり約100mlとした。

1) 植え付けの深さが圃場での生育に及ぼす影響 (実験 3.3.1.)

(1) 活着率

1994年9月1日に定植し、10月5日に活着率〔(定植株数-枯死株数)/定植株数×100〕を調べた。調査個体数は1区50株の反復なしとした。

(2) 結球重量およびその斉一性

1994年9月1日に定植し、11月29日に一斉収穫を行い、結球重量とその変動係数を求めた。調査個体数は1区50株の2反復とした。

2) 植え付けの深さが定植後の苗の生育に及ぼす影響 (実験 3.3.2.)

(1) 根鉢からの発根

1995年5月23日に定植し、根鉢からの発根数を調査した。また、深植え区を100としたときの根鉢からの発根総数の比率を求めた。調査個体数は1区10株とした。

(2) 葉面積

1996年3月16日に定植し、定植日から2日ごとに8日間の1株当たりの葉位別葉面積の変化を調査した。調査個体数は1区10株とした。

(3) 乾物重

1995年5月13日に定植し、定植後5日間隔で25日間の地上部の乾物重量の変化を調査した。調査個体数は1区10株とし、灌水は1回の灌水量を1株当たり約100mlとし、定植後5日ごとに行った。

3) 植え付け深さが苗の地上部および地下部の水分状態に及ぼす影響 (実験 3.3.3.)

(1) 地上部の水ポテンシャル

1996年2月16日に定植し、定植日から2日おきに8日間の苗の地上部の水ポテンシャルを測定した。なお、測定時刻は13時とした。灌水は定植後6日目の調査後にも行い、灌水量は1株当たり約100mlとした。調査個体数は1区5株とした。

(2) 地下部の水分環境

1995年2月25日に定植し、定植日から5日おきに15日間の根鉢の周囲の土壌含水率および根鉢の含水率を調査した。なお、根鉢の周囲の土壌含水率および根鉢の含水率は、直径5cm、高さ10cmの採土管を用いて同時に採取し、それぞれに分けて重量法により求めた。さらに、3月23日に定植し、定植日から1日おきに3日間の根鉢の水分含量の変化を調査した。調査個体数は1区10株とした。ただし、本実験では、定植後に根鉢から伸長した根についても根鉢と一緒に調査し、根鉢の含水量とした。

b 結 果

1) 植え付けの深さが圃場での生育に及ぼす影響 (実験 3.3.1.)

植え付けの深さが深くなるにつれて活着率が上昇する傾向がみられた(図-46)。また、植え付けの深さが深くなるにつれて結球重量が増加する傾向がみられ、特に、根鉢が覆土された深植え1cm区および深植え2cm区では他の区の1.5倍以上となった(図-47)。また、結球重量の変動係数は、GL区および浅植え区では35~40%以上と高かったのに対し、深植え区では28%以下となった。

たのに対し、深植え区では28%以下となった。

2) 植え付けの深さが定植後の苗の生育に及ぼす影響 実験 (実験 3.3.2.)

根鉢からの発根数は深植え区ほど多くなり、その発生部位は、各区とも根鉢の下部で多くみられた(表-14)。次に、株当たりの葉面積は、深植え区で順調に増加した(図-48)。葉位別にみると定植後4日目以降に上位葉で深植えによる葉面積の増加促進が認められた。地上部の

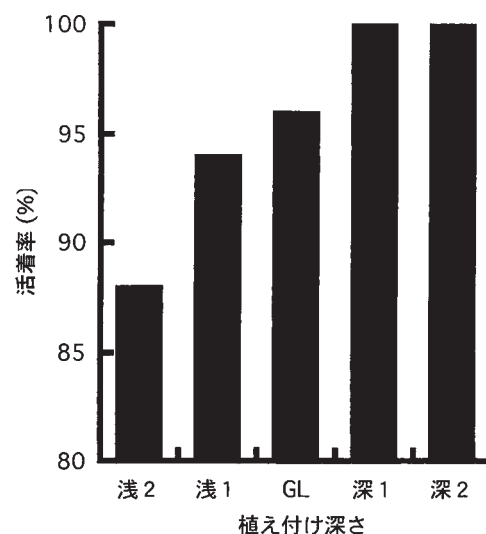


図-46 植え付け深さが定植後の活着率に及ぼす影響 (実験 3.3.1.)

注1) 浅2: 浅植え 2cm, 浅1: 浅植え 1cm, 深1: 深植え 1cm, 深2: 深植え 2cm

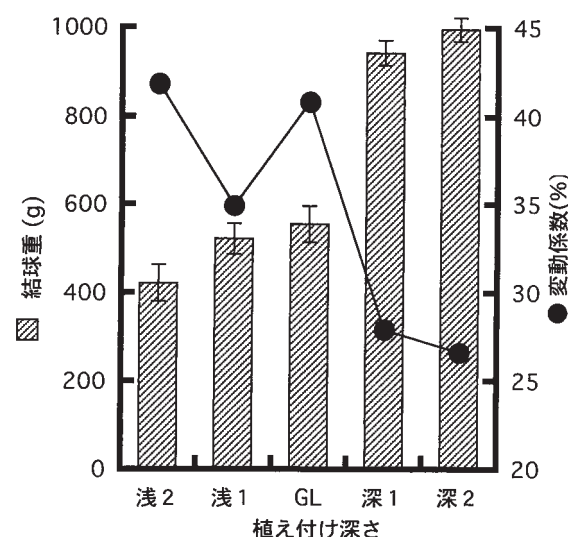


図-47 植え付け深さが結球重とその変動係数に及ぼす影響 (実験 3.3.1.)

注1) 浅2: 浅植え 2cm, 浅1: 浅植え 1cm, 深1: 深植え 1cm, 深2: 深植え 2cm

注2) I: 標準誤差 (n=50)

表-14 植え付けの深さがキャベツセル成型苗の根鉢からの発根に及ぼす影響 (実験 3.3.2.)

試験区	根鉢からの発根数		
	根鉢上部	根鉢下部	合計
浅植え	0.0	6.8±1.6	6.8±1.6
GL	5.5±0.9	16.8±1.5	22.3±2.0
深植え	11.6±1.4	20.9±2.0	32.5±3.2

注) 平均値±標準誤差 (n=10)

乾物重量は、植え付けの深さが浅いほど、増加が少ない傾向が認められた。定植後 10 日目から処理区間に差が認められ、その後、その差は増大した (図-49)。

3) 植え付け深さが苗の地上部および地下部の水分状態に及ぼす影響 (実験 3.3.3.)

地上部の水ポテンシャルは、各区とも定植後徐々に低下した。6 日目には -1.4MPa 以下になり、8 日目には灌水による上昇が認められた。2 日目には処理区間の差は明らかに認められ、以降、深植え区が常に高い値で推移した (図-50)。根鉢の周囲の土壌の含水率は、定植

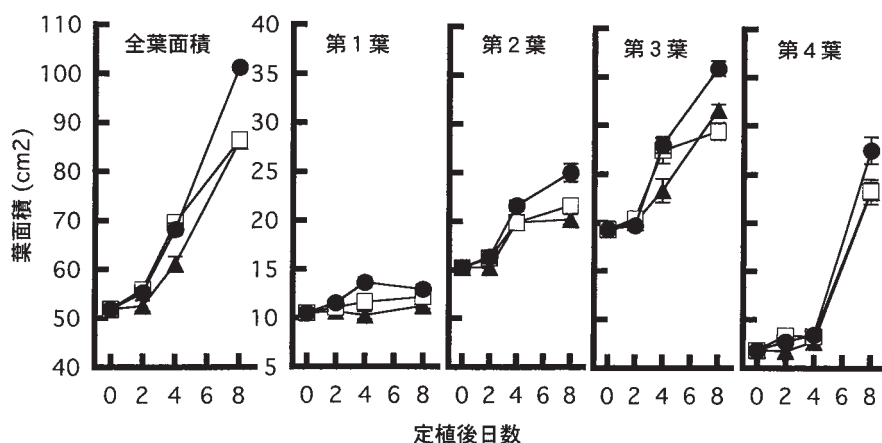


図-48 植え付け深さがキャベツセル成型苗の葉面積に及ぼす影響 (実験 3.3.2.)

注 1) ▲: 浅植え区, □: GL 区, ●: 深植え区

注 2) I: 標準誤差 (n=10)

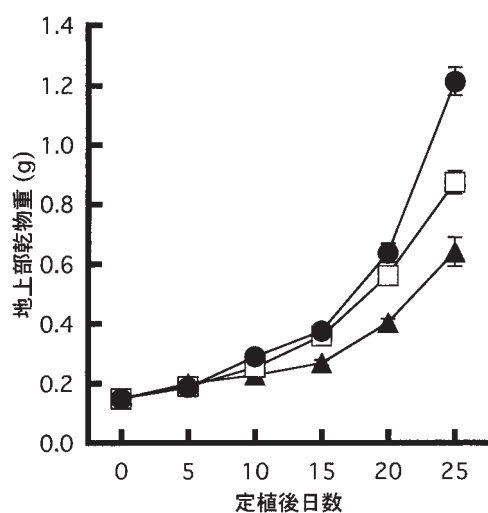


図-49 植え付け深さがキャベツセル成型苗の生育に及ぼす影響 (実験 3.3.2.)

注 1) ▲: 浅植え区, □: GL 区, ●: 深植え区

注 2) I: 標準誤差 (n=10)

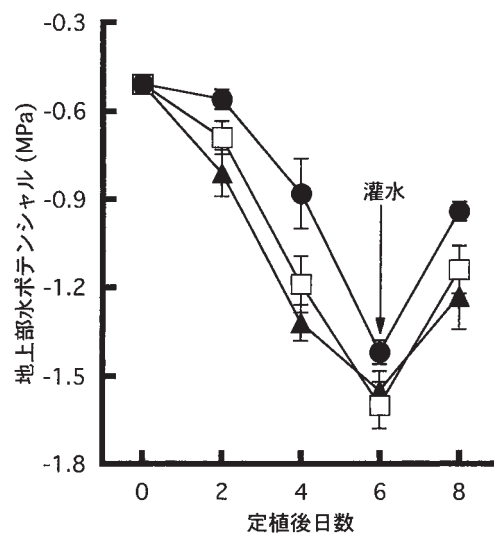


図-50 植え付け深さがキャベツセル成型苗の地上部水ポテンシャルに及ぼす影響 (実験 3.3.3.)

注 1) ▲: 浅植え区, □: GL 区, ●: 深植え区

注 2) I: 標準誤差 (n=5)

時から15日間、処理区の影響はみられず、定植後30%から20%と緩やかに推移した(図-51)、これに対して、根鉢の含水率は、定植後、5日間に急激に減少した。根鉢の含水率は植え付けの深さが浅いほど顕著に低下し、浅植え2cm区およびGL区では、周囲の土壌よりも低い値を示した。さらに、根鉢の水分に対する植え付けの深さの影響は定植後まもなくから認められ、根鉢の非覆土処理による根鉢の乾燥は、定植後2日目には見られた(図-52)。

c 考 察

1) 苗の機械定植適応性について

48日間にわたる育苗期間中の生育を調査した結果、苗齢が高くなるにつれて生育の斉一性が向上した。このことについて、予備実験において、地床育苗やエアープルーニング(セルトレイの底面の穴から伸張する根を空気によって遮断すること)を解除したセルトレイ育苗では、このような斉一化の促進は認められなかったことから、根域制限による生育抑制が生育の斉一化に大きく影響しているものと考えた。

キャベツセル成型苗の定植適期苗について、農業機械メーカー等の育苗マニュアルによれば、本葉2.5~3.5枚、草丈9~11cm(A社)、本葉3~4枚、草丈8~10cm(B社)、本葉3~4枚、草丈10~12cm(C社)が適当としている。このように、定植適期とみなされる苗の葉数と草丈は各社のマニュアルによって個々に異なっている。

苗の発根は定植後の活着を促進することから、発根力が高いことが良質苗の一条件である。苗の発根量と定植後の苗の引抜抵抗値との間には正の比例関係があることから、引抜抵抗値によって苗の発根力を評価することができる(吉岡ら, 1998b)。引抜抵抗値によって苗の発根力を評価した結果、2.5葉苗では発根力が劣ったことから、3.5葉以上の大苗を用いることが望ましいと考えられる。ただし、4.5葉区と5.0葉区は育苗期間が長いにも関わらず、3.5葉区に比較して発根力に大きな違いは見られなかった。セル成型苗では、苗の生育が進むにつれて地上部からの蒸散量が増加し苗が萎れやすくなる。また、茎葉の繁茂により苗が徒長しやすくなる。このため育苗後期の灌水管理には特に細心の注意が必要となり、これが育苗管理作業の負担となる。このことから、3.5葉苗より大きな苗の生産を行うと育苗効率が劣るばかりでなく、苗の発根力においても育苗管理作業に見合った利点が得られにくくなると思われる。

全自動移植機の利用に当たっては、移植能力を最大限に発揮せうる性状の苗を用いなければならない。一般に、定植適期判定の目安として草丈が用いられるが、本実験で全自動移植機への適応性が高いと考えられた3.5葉区および4.5葉区の苗の草丈は14~16cmであった(データ省略)。これは、農業機械メーカー等のマニュアルによる定植適期苗の基準よりも大きい。ところで、キャベツセル成型苗の草姿は、草高と開張幅で示されるが、これは品種によって大きく異なる。また、苗の草丈は苗

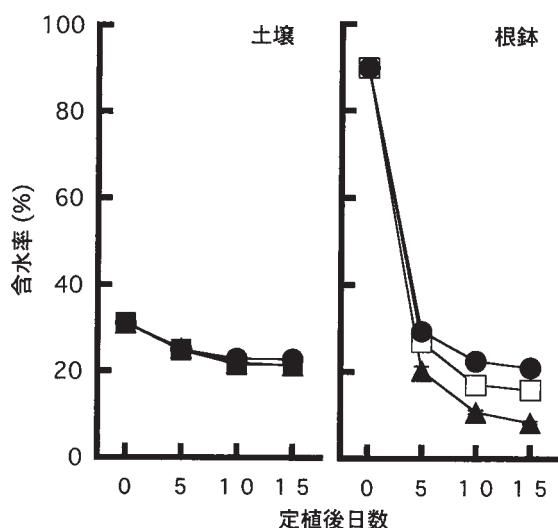


図-51 植え付け深さが根鉢周囲の土壌と根鉢の含水率に及ぼす影響 (実験 3.3.3.)

注1) ▲: 浅植え区, □: GL区, ●: 深植え区
注2) I: 標準誤差 (n=10)

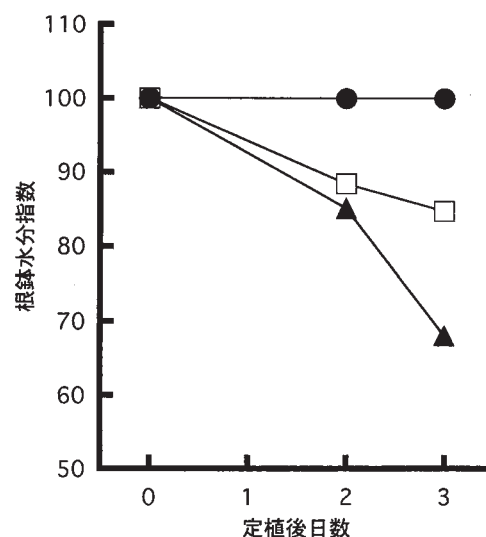


図-52 植え付け深さが根鉢の水分に及ぼす影響 (実験 3.3.3.)

注1) ▲: 浅植え区, □: GL区, ●: 深植え区
注2) 根鉢水分指数: 深植え区の根鉢の含水率を100としたときの指数

を平面上に置いたときの地際部から葉身先端部までの長さで示される。5.0 葉区で定植適正率が0%となったのは、抜き取り工程において苗の地上部が絡み合い、1回に複数の苗が抜き取られたほか、植え付け行程では苗の開張幅が大きいために開孔器に落下した際につかえたり、適正な姿勢での畝への落下が阻止されたりすることによるものであった。このように葉の開張幅（株張り）が定植精度に直接影響した。従って、セル成型苗の全自動移植機への適応性は、草丈よりも葉の開張幅によって評価するほうが妥当であると考えられる。なお、移植機のメーカーが異なっても、セル成型苗の移植機構は基本的には同じであることから本研究の機械定植適応性の考え方は特定のメーカーに限られたものではないことを付け加えておく。

結球重について調査した結果、定植時の苗齢が高い苗ほど結球重が大きくなり、高齢苗での生育の低下は認められなかった。また、定植時の苗の大きさおよび発根力と結球重は正比例する傾向を示し、苗が大きく発根力の大きい苗ほど結球重が大きくなった。このことから、セル成型苗は、全自動移植機への適応性を低下させない範囲である程度の大きさを確保することが適当であると考えられる。

ところで、わが国で栽培されているキャベツの品種は、一般に寒玉系、春系（サワー系）およびボール系の三つのタイプに分けられる。本実験では、寒玉系として‘松波’、春系として‘金系 201 号’、ボール系として‘アーリーボール’を用いて、育苗日数を違えた場合の生育について調査した。その結果、苗の生育や形態的性状は用いた品種によって大きく異なった。特に、苗の草姿に注目すると、‘松波’は縦長の草姿、‘アーリーボール’は横に広がる草姿、‘金系 201 号’はその中間型であった。

本研究で供試した全自動移植機では、機械定植時の定植適正率は、品種や生育ステージによって大きく異なり、‘松波’は、他の品種よりも全自動移植機への適応性が高く、定植適期幅も大きかった。‘金系 201 号’では‘松波’と比較すると定植適期幅が小さく、‘アーリーボール’では機械定植への適応性が全体的に低かった。

このように、キャベツセル成型苗の生育および草姿は品種や育苗日数によって大きく異なり、全自動移植機を用いた定植時の定植精度を大きく左右した。定植適正率は苗の草姿によって左右され、株張りが大きく、草姿指数の高い苗は、機械の定植精度を低下させた。

以上のことから、現在普及している全自動移植機を用いてセル成型苗の定植を行う場合、株張りが小さく草姿

の草姿指数が高い苗が、定植適期幅も広く移植機の定植能力を十分に発揮させうる苗と考えられる。

2) 根鉢の水分状態の影響

定植後の苗が活着するためには新根の発生と伸長が必要（山本，1995）で、セル成型苗では根鉢の水分が定植後の活着に影響する（KRATKYら，1980）。本実験では、キャベツセル成型苗の定植前の底面給水处理が根鉢の含水率とその斉一性に及ぼす影響を検討し、定植後の活着の促進とその斉一性の向上を図ることを試みた。

葉の水ポテンシャルは日中に低下し、夜間には上昇することが知られている（BOYER，1985）。本実験において、定植時に根鉢の含水率を高くすることで、定植後における日中の地上部の水ポテンシャルの低下を抑えることができた。さらに、定植後4日目の灌水において苗の水ポテンシャルの回復が定植前の底面給水处理によってより速やかになったことから、根域が拡大したことによると推察した。これは、荒木（1993）がトマトのポット栽培において根域が大きいほど土壌の乾燥に対する葉の水ポテンシャルの低下がみられにくいとしていることと一致しているものと思われる。

ところで、地上部の水ストレスと生育には密接な関係があり、わずかな水ポテンシャルの低下でも、細胞の分裂と伸長生長が抑えられ、葉面積の拡大が抑制される（伊藤，1995）。葉面積の拡大抑制はその後の受光量を減少させ、乾物生産を抑制する。本実験において、定植後一定期間を経ることで、根鉢の含水量にかかわらず、地上部の水ポテンシャルが -0.4MPa 付近で安定したのは、地下部からの水の吸収と地上部の蒸散による収支が平衡状態になったためと考えられる。従って、定植直前の根鉢の含水率を高くすることによって、地上部の水ポテンシャルが早い時期から安定したことで、活着が速やかに進行したとみなすことができる。

一方、底面給水处理によって個体間の萎れ程度の斉一性が向上したのは、定植時に根鉢の水分が斉一であったことによるものと考えられる。

水稻の移植栽培では移植後の乾物重の急上昇が活着の目安の一つとされている（石塚ら，1969）。本実験において、定植時に根鉢の含水率とその斉一性を高めることで定植後の生育が促進され、定植時の苗の斉一性が維持されたことは、活着が順調かつ斉一に進行したことを示している。

定植直前の上面散布灌水と底面給水の二つの灌水方法を比較すると、上面灌水では、灌水量によって根鉢の水分の斉一性が大きく異なり、特に灌水量が少ない場合に

は根鉢の水分が不均一になるという点で底面給水に劣る。この原因として、苗の地上部による遮蔽と培養土の撥水化の二つがあげられる。キャベツセル成型苗の地上部形質は、品種（西本ら、1996）、育苗日数および肥培管理（福地ら、1996；菅沼ら、1993）によって大きく異なる。特に、定植時の苗は地上部が十分に生育しているため、地上部が互いに重なり合い、根鉢への均一な水分の供給ができなくなり、根鉢の含水率にばらつきがでてくると考えられる。一方、セル成型苗に用いられている培養土の多くがピートモスを主体としたものである（小林、1995）ことから、培養土の乾燥によって根鉢が水をはじきやすい状態となる（加藤、1991）ことが多い。セル成型苗の地下部は個々に仕切られているため、根鉢の水分環境が苗ごとに異なりやすく、特に乾燥傾向の根鉢ほど培養土が水をはじきやすくなる。このように、上面散布灌水を行う場合、苗の地上部の遮蔽や培養土の疎水性が根鉢の水分を均一にする上で問題となる。これに対して、底面給水では根鉢に水分を直接供給できることから、地上部の遮蔽については一切考慮に入れる必要はなく、給水時にある程度の水圧が加わるため、培養土が水をはじく問題も解消することができるので、根鉢の水分の斉一性を最大限に高めることが可能になる。よって、底面給水は灌水作業の効率化と根鉢の水分の斉一化を図る上で有効な手段と考えられる。

以上より、本実験で行われた定植前の底面給水がキャベツの生育の斉一化を図るうえで有効な技術になりうるものと言える。

3) 植え付けの深さの影響

キャベツセル成型苗の全自動移植機を用いた機械定植では、品種による苗の倒伏性の違い（西本ら、1996）や、移植機の定植精度（土肥ら、1994）、育苗管理および圃場条件（菅沼ら、1993）等の影響により様々な植え付け時の苗の姿勢が生じることが認められている。本実験では、特に植え付けの深さが結球重量およびその斉一性に及ぼす影響について調査した。キャベツ（MILLERら、1969）では、苗を深く植えることで収量が増加することが報告されている。本実験でも同様に結球重量が大きくなる結果が得られた。一方、植え付けの深さと生育の斉一性について、MILLERら（1969）は、苗を深く植え付けると生育の斉一性が低下するとしているが、本実験では、2cmの深さで深植えすると結球重量の斉一性が高くなり、MILLERら（1969）と異なる結果が得られた。このことは、深植えにより、地下部の水分環境が安定し、活着が促進され、GL区や浅植え区に見られる欠株の発

生や活着の遅延を防止できたことによるものと考えられる。活着率の低下は、結果的に栽植密度を不均一にし、株間の不斉一化を招くことが知られている。株間と結球重量との間には密接な関係があり、株間が大きいほど結球重量も増加する（CSIZINSKYら、1985; HALSEYら、1966; KNAVELら、1981; MILLERら、1969; STOFFELLAら、1990）。このことから、収穫時の生育の斉一性を向上させるためには、欠株の発生を防ぐことが最も重要であり、植え付けの深さと活着との関係を明らかにする必要がある。

苗が活着するためには新根の発生・伸長が前提条件とされている（山本、1995）。本実験では、浅植えになると、根鉢からの発根が抑制された。その原因として、根鉢の接地面積の減少が推定されるが、深植え区では根鉢の上面部からの発根は認められなかったことから、GL区との発根数の違いを接地面積だけで説明することは難しく、土壌の乾燥が関与していることも考えられる。根系の発達には土壌水分と密接な関係があり（山内、1994）、過度の土壌の乾燥ストレスは根の発育に抑制的に働くと報告されている（TAYLOR、1983）。本実験の結果において、根鉢の周囲の土壌水分については大きな変化はみられなかったが、根鉢自体の含水率は、浅植えになるほど急激に低下し、根鉢の乾燥が顕著であった。従って、深植え区とGL区の発根数の差は根鉢の含水率の差により生じたものと考えられ、定植後の発根は根鉢の含水率が高い場合に促進されると推察した。

植物の生育や生理作用には体内の水分状態が大きく関係する（HSIAO、1973）ことが知られている。植え付けの深さと定植後の地上部の水ポテンシャルとの関係において、深植え区はGL区および浅植え区よりも常に高い値で推移した。荒木（1993）はトマトのポット栽培において、土量が多く根域が大きいほど、土壌の乾燥に対する葉の水ポテンシャルの低下が起りにくくとしている。本実験の結果でも、深植え区では根域の拡大が促進され、地下部から地上部への水分の供給能力が上昇したのと考えられる。葉面積の拡大には主として葉組織を構成する細胞の肥大が関与しており、細胞の肥大には細胞内膨圧（CLELAND、1971）や葉の水ポテンシャル（BOYER、1985）が密接に関係することが知られている。本実験では、根鉢の覆土処理により、地上部の水ポテンシャルの上昇が認められており、その結果、葉面積の拡大が促進されたものと考えられる。

葉面積の拡大は、植物体当たりの受光量を増大させ乾物の生産性を高める。定植後25日間の地上部の乾物重量の変化では、深植えにより地上部の乾物重量が著しく

増加した。このことは、葉面積の増加に伴うものと考えられる。

以上の結果から、セル成型苗の定植時における地下部の水分環境は、根鉢の含水率が周囲の土壌の含水率よりも高い状態にあることが重要である。特に定植直後の根鉢からの発根は、根鉢が保有している水分に大きく依存するため、定植時に根鉢の含水率を高くするとともに、定植後の急激な含水率の低下を抑えることが発根を促進する上で重要である。根鉢からの発根は、地上部の水ポテンシャルの低下を抑制し葉面積の拡大を促進させた。その結果として、光の受容量の増加に伴う植物体当たりの光合成量の増加が乾物重量の増加を生じ活着する。深植えでは根鉢が覆土されることで、根鉢が露出するような浅植えと比べて、根域の拡大により活着が促進され、活着率が上昇した。活着の促進は、初期生育の斉一性を維持するとともに欠株の発生を抑制し、その結果、活着以降の生育の斉一性の低下を抑制した。従って、キャベツセル成型苗を利用する場合、根鉢が露出しない程度の深さで植えることにより、キャベツの生育の斉一性を高く維持することが可能と考えられる。

d 摘 要

1) 苗の機械定植適応性について

キャベツセル成型苗の定植適期の評価を目的に、キャベツの苗齢が苗生育の斉一性、発根力および全自動移植機への適応性に及ぼす影響について検討し、さらに定植後の生育についても検討した。その結果、全自動機械定植を前提として、苗を総合的に評価すると、キャベツセル成型苗の定植適期は3.5葉期であった。また、株張りが小さく草姿指数が高いセル成型苗が全自動移植機による機械定植に適した苗と考えられた。

2) 定植直前の灌水方法

キャベツの生育斉一化を目的として、定植時のセル成型苗の根鉢の水分状態が活着と定植後の生育の斉一性に及ぼす影響について検討した。その結果、定植時の根鉢の水分は、定植後の苗の生育に大きく影響し、根鉢の含水率を高く均一な状態にする事が重要であった。また、キャベツセル成型苗の活着とその斉一性を高める方法として定植前の底面給水が有効であることが示された。

3) 定植方法

キャベツセル成型苗の根鉢の上面部を基準とした植え付けの深さが、結球重量とその斉一性に及ぼす影響について調査した。さらに、植え付けの深さと活着との関係を明らかにするため、定植後の苗の生育、発根、地下部

の水分環境ならびに苗の地上部の水ポテンシャルを調査した。その結果、キャベツセル成型苗の定植時に根鉢が覆土された植え付け状態は、セル成型苗の活着を促し、苗生育の促進、結球重量の増加およびその斉一性の維持に有効であり、これらの結果は定植後の発根、根鉢の水分環境の推移、地上部の水ポテンシャルの推移からも裏付けられた。

VI 総合考察

キャベツは、他の園芸作物と比較して土地利用型の野菜である。このため、米麦中心で進んできた日本の農業にあっては、野菜の収益性の高さは魅力的であり、輪作体系の中でのキャベツの導入に対する強いニーズが生じている。しかし、キャベツ生産は米麦生産と比べ労働負荷が大きく作業時間も長い。実際のキャベツ生産では、定植作業と収穫・調製作業が総労働時間の2大ピークを形成している(塩谷, 1999)。このため、これらの2つの作業の機械化を図ること、すなわち、移植機と収穫機の効率的な導入を達成することで、キャベツ生産の省力・軽作業化を図ることが可能になると考えられる。定植作業については、全自動移植機に対応したセルトレイの規格の標準化(吉岡, 1999)が図られ、市販の全自動移植機が普及するまでに至っている。一方、収穫機については、市販の段階には至っているものの、一斉収穫を前提としているため、収穫時のキャベツの斉一性が低い場合には上物収穫率が低くなり、収益性の面で採算がとれなくなることから、普及が遅れている。このように、一斉収穫を行う上での障壁となっている生育の不揃いを解消することが収穫作業の機械化を図る上での急務となっている。

そこで、セル成型苗を用いた機械化による省力・軽作業化栽培を前提に、一斉収穫に対応しうるキャベツ生育の斉一化技術の確立を目的とした研究を行った。本研究では、①栽培期間中の生育斉一性の変動要因の解析、②苗の生育・品質の斉一化技術の開発、③定植時のキャベツの生育斉一化技術の開発、以上の3項目について検討した。

1 キャベツ生育の不斉一化要因

生育の斉一化技術を確立する上で、収穫時の生育揃いがいかなる要因によって決定されるのかを明らかにする必要がある。そこで、播種から収穫に至るまでの生育の斉一性の変化を調査した。

まず、育苗期間中の生育状況を調べた結果、植物体の生育揃いは播種後から子葉展開期にかけて低下し、その後、定植適期に至るまで、徐々に向上した。このことから、育苗期間中における生育揃い低下要因は、播種から子葉展開期にかけて存在すると考えられ、これは、種子サイズの不揃いが、種子のエネルギー代謝効率の違いによって増幅されたためであると推察された。一方、子葉展開期以降は、生育ステージが進むにつれて生育揃いが向上した。これは、セル成型育苗特有の培養土量が一定で根域が制限された環境で育苗されるためと推察された。さらに、子葉展開期の実生の不揃いが苗の品質の斉一性に及ぼす影響についても検討した結果、実生の生育の不揃いは、育苗終了時の苗の乾物率を不揃いにし、小さい実生に由来する苗は、乾物率が低く、徒長的苗質を示すことが明らかになった。したがって、苗質を均一にするためには、子葉展開期の実生の生育揃いを高く保つことが重要であるといえる。また、多肥条件は、苗質の均一性を低下させたことから、育苗中の肥培管理では肥料の与えすぎを避けるべきであると提言する。

次に、定植後の生育揃いについて、定植時から収穫時までの地上部生育の斉一性を調べた結果、定植時から10葉期にかけて不揃いとなったことから、定植時から10葉期にかけて、斉一性低下要因が存在すると考えられた。また、10葉期以降は、統計的有意差は認められなかったものの、斉一性が高くなる傾向が認められた。このことについては、栽植密度も含めて更に詳しく検討する必要があると考えられた。そこで、異なる栽植密度で栽培した時の生育揃いを生育ステージごとに調査した。その結果、栽植密度による生育揃いへの影響は10葉期では認められず、結球始期で認められ、その後の収穫前期にはその影響がさらに大きくなることが明らかとなった。さらに、定植後の初期生育の斉一性と栽植密度が収穫時の生育の斉一性に及ぼす影響について検討した結果、密植条件は、定植直後の初期生育期に生じた生育の不揃いを助長することが明らかになった。従って、収穫時の生育の斉一性の低下を避けるには、定植後の初期生育を揃えるか、栽植密度を低くすることが必要であると考えられる。しかし、単位面積当たりの収量を考慮した場合、ある程度の密植栽培は避けられず、実際にはこれに耐え得るような初期生育の揃いを確保することが重要であり、そのためには、高品質苗を利用するとともに活着時の圃場環境の好適化を図る必要があると考えられる。

2 高品質セル成型苗の育苗方法

定植後の初期生育を揃えるためには、苗の生育・品質を均一に高める必要がある。そこで、キャベツセル成型苗の生育・品質の斉一化と苗質の向上を目的として、播種方法、灌水方法、肥培管理方法、順化方法等、多方面から検討を行った。

苗質の斉一化を図る上で子葉展開期の実生の斉一化が重要であることはすでに述べた。子葉展開期の実生の斉一化には種子の品質と播種方法が大きく影響すると考えられる。そこで、種子品質として播種サイズを、播種方法として播種の深さを取り上げ、それぞれ検討した。種子サイズについては、種子重量が大きいほど子葉展開期の実生の生育量が大きくなった。6mg以下の種子では重量と子葉展開期の実生の生育との間に正の相関関係が認められたことから、種子選別の区分を小さくすればするほど播種後の子葉展開期の実生の生育の斉一性が向上すると考えられた。また、播種の深さについては、根の発育と実生の生育が優れたことから、セル成型育苗では、10mm程度の深さで播種することが最も望ましいと考えられた。

現在普及しているセル成型育苗の灌水装置は、少量の水を多回数に分けて行うもので、特に育苗の後期は茎葉による遮蔽や乾燥による培地の撥水化により、根鉢の水分にムラが出来やすく、このことが苗生育の斉一性低下要因の一つであると考えられる。そこで、茎葉を介さず、底面からの十分な灌水が可能でエアープルーニングも可能なエブ&フロー灌水のセル成型育苗への適用について検討した。その結果、エブ&フロー灌水の適用により苗生育の促進と斉一性の向上が認められた。

キャベツセル成型育苗では、追肥に用いる培養液濃度はN濃度を目安として、25~50ppmが適当と考えられている(藤原ら, 1996)。しかし、実際の育苗管理では天候によって灌水量を控える等、肥培管理が複雑なことから、実際に苗が根鉢から肥料を吸収するまでの過程には、培養液濃度の影響と根鉢の水分状態の影響が複雑に絡み合って作用しているものと考えられる。特に、セル成型苗では培養土が少なく乾湿の差が大きくなることから、セル成型苗の育苗では、培地の含水率を指標として、灌水基準を決めることは難しい。そこで、培地水分の影響を最小限に抑えるため、液肥灌水では、底面給水法により行い、施肥濃度が苗質に及ぼす影響について検討した。機械定植への適応性、定植後の相対成長率、植え痛み等の点から評価した結果、園試処方培養液で1/10倍(N濃度: 13.2ppm)濃度が実用的な濃度であり、一般

に適当な濃度とされている範疇に含まれる1/5倍(N濃度:26.4ppm)濃度では、苗が最も徒長の生育を示しやすいことが明らかになった。本結果から、エブ&フロー灌水を用いて十分な灌水を行うような育苗では、13.2ppm程度のN濃度で十分な苗を作ることが可能であることが示された。

地上部の徒長や過繁茂を抑える目的で、液肥施用の中断等の肥料切り管理が行われている。しかし、肥料切りやその時期が苗の生育や品質に及ぼす影響について、詳細に検討した報告は少ない。そこで、まず肥料切りの時期と肥料切り前の施肥前歴がキャベツセル成型苗の生育・品質に及ぼす影響について検討した。その結果、追肥の開始時期を遅らせるのが苗質を低下させずに草姿が小さくなるため、最も実用的であった。一方、育苗後期の肥料切りでは、体内のN含有量が低下し、苗質が低下しやすいことが明らかとなった。次に、肥料切り前の前歴がキャベツセル成型苗の生育・品質に及ぼす影響について調べた結果、比較的施肥濃度が高く地上部に水ストレスがかかっていた場合には、肥料切り管理によって苗が徒長した。一方、比較的低濃度で育苗していた場合は、体内の無機養分の含有量が低下した。以上のことから、草丈制御には追肥の開始時期を遅らせることが効果的である。また、育苗後期に肥料を切った場合は、一概に、徒長・過繁茂抑制効果が認められるとは言い切れず、苗質を低下させる可能性があるので注意が必要である。

NaCl処理が、苗の水分状態に及ぼす影響について調査した結果、根鉢の浸透ポテンシャルが低くなり、地上部の水ポテンシャルを低くすることができた。NaCl処理区の地上部水ポテンシャルの5日間の平均値は-1.1MPaであり、苗を順化する上で適度と考えられる体内水ポテンシャル-1.0~-1.4MPaの範疇(藤原ら, 2002a)に含まれていたことから、NaCl処理は灌水制限を行わずに適度の水ストレスを付与することが可能な技術になりうると考えられる。次に、NaCl処理によって、育苗期間中に抑制された葉面積は、定植後速やかに回復し、対照区と遜色ない生育が認められた。このことから、NaCl処理は、定植時の苗の過繁茂や徒長を抑制し、移植への適応性を向上させるだけでなく、定植後の活着促進効果も期待できるものと考えられた。また、NaCl処理は、苗の耐干性を向上させたことから、定植後の活着が安定することで、安定した収量を確保できると思われた。

3 定植時の栽培管理方法

キャベツの生育の斉一性を高めるには、定植後の初期生育の斉一化と、在圃時の個体間競合をいかに制御するかが重要と考えられる。そこで、定植時・定植後の栽培管理技術の開発について検討した。

機械定植を考える上で、苗の機械定植への適応性が重要となる。そこで、キャベツセル成型苗の形態的・物理的性状や苗齢が全自動移植機への適応性に及ぼす影響について検討した。その結果、キャベツの機械定植適応性は、苗の株張りや草姿によって大きく左右され、機械定植適応性が高いのは、株張りが小さく草姿指数が高い‘松波’のような品種であった。また、苗の発根力や生育の斉一性の観点も加えて総合的に評価した場合‘松波’の定植適期は3.5葉期であった。

苗の活着と定植時の土壤水分とは密接な関係があると考えられる。特に、キャベツなどの露地野菜では、土壤表面が乾きやすく、セル成型苗では定植時の根域の深さが4~5cmと浅くなる。セル成型苗は、根鉢に水分を含むことが可能で、根鉢の水分が定植後の活着に影響することが知られている(KRATKYら, 1980)。そこで、キャベツセル成型苗の定植前の灌水方法が根鉢の含水率とその斉一性に及ぼす影響ならびに定植後の活着および初期生育の斉一性に及ぼす影響について検討した。その結果、根鉢の水分は、苗体内の水ポテンシャルの低下を抑え、定植後の苗の活着を早めた。また、定植時の根鉢の水分の斉一性を高めると、定植後の生育の斉一性が向上した。実際の栽培管理では根鉢の含水率とその斉一性を高める方法として、定植前の底面給水が有効であると思われる。

セル成型苗の機械定植では、圃場の状態や移植機のパフォーマンスによって、様々な植え付け深さが生じる。そこで、植え付け深さと苗の活着について検討した結果、根鉢が地表面に露出した状態の植え付け深さでは、根鉢が覆土された状態の植え付け深さと比べて定植後の欠株の発生が多く、結球重とその斉一性が低下した。根鉢が露出しているか否かの違いは、定植後の根鉢の含水率に現れ、根鉢が露出することで、根鉢の含水率が低下し、根鉢からの発根が抑制された結果、定植後の初期生育が劣った。これらの結果から、すべての根鉢が覆土されるような深さで植え付けることで、活着が促進され、定植後の初期生育が均一になる結果、収穫時の生育の斉一性が向上すると考えられた。

VII 総合摘要

機械化によるキャベツの省力・軽作業化栽培の確立を目的として、キャベツの生育斉一化技術の開発に関して行った本研究の要旨は次の通りである。

1 キャベツの生育・収量の変動要因解析

栽培期間中の生育・収量の変動要因の解析を行った結果、育苗期間中においては、子葉展開期の芽生えの生育が育苗終了時の苗の生育・品質を高める上で最も重要であり、多肥条件や遮光条件は、苗生育の不揃いを助長し、品質を低下させることを明らかにした。また、定植後の生育期間中においては、定植後の苗の初期生育が収穫時の生育・品質を高める上で最も重要であること、密植条件は、定植後の初期生育に不揃いが生じた場合、その後の生育の斉一性低下を助長することを明らかにした。

2 キャベツ苗の生育・品質の斉一化技術

セル成型育苗において、子葉展開期の実生の揃いを高めるには、可能な限りサイズを揃えた種子を用いて、1cm 程度の深さで播種することが有効であることを明らかにした。

育苗管理の省力化と苗生育の斉一化を図る上で、セル成型育苗へのエブ&フロー灌水法の適用が有効であることを明らかにした。

高品質苗生産のための施肥管理技術の開発を目的に、セル成型育苗における施肥濃度の影響について検討した。その結果、根鉢の乾燥条件を極力小さくすることが可能な底面給水法によって、液肥灌水をする場合、灌水量を制限する従来の上面灌水法と比較して約半分の濃度（園試処方培養液 1/10 倍濃度程度）の液肥を使用することで機械定植に適した高品質苗が育成可能であることを明らかにした。また、育苗後期の肥料切り管理は苗質を低下させ、苗の無機体内成分の減少により定植後の活着が著しく低下したり、水ポテンシャルの上昇によって徒長が助長されることがあることを示した。

培養液へ NaCl を添加して地下部の浸透圧を高めることで、十分に灌水しても苗の徒長抑制効果と苗の順化効果が得られることを明らかにした。

3 定植時のキャベツの斉一化技術

セル成型苗の定植適期を、苗の斉一性、発根力、機械定植適応性などの複数の視点から評価した結果、3.5 葉

期程度の生育ステージで定植するのが最も好ましいと判断した。さらに、機械定植適応性については、根鉢が形成されていることは勿論のこと、地上部の草姿が移植時の植え付け精度に大きく影響し、開張幅が小さいことが好ましいことを明らかにした。

セル成型苗の定植後の活着は、根鉢の水分環境によって大きく左右されることを明らかにした。定植直前の底面給水を行うことや、根鉢を十分に覆土して植え付けることで、根鉢の含水量を高く維持することにより活着が促進され、初期生育の斉一性が向上することを明らかにした。

参考文献

- 1) ALONI, B., T. PASHKAR and L. KARNI (1991): Nitrogen supply influences carbohydrate partitioning of pepper seedlings and transplant development. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **116**, 995–999.
- 2) 荒木陽一 (1993): 環境条件がトマトの体内水分状態に及ぼす影響. 園学雑, **61**, 827–837.
- 3) BENJAMIN, L. R. (1984): The relative importance of some different sources of plant-weight variation in drilled and transplanted leeks. *J. Agric. Sci., Camb.*, **103**, 527–537.
- 4) BOYER, J. S. (1985): Water transport. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **36**, 473–516.
- 5) CLELAND, R. E. (1971): Cell wall extension. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **22**, 197–222.
- 6) CANO, E. A., M. C. BOLARIN, F. PEREZ-ALFOCEA and M. CARO (1991): Effect of NaCl priming on increased salt tolerance in tomato. *Journal of Horticultural Science*, **66**, 621–628.
- 7) CIARDI, J. A., C. S. VAVRINA and M. D. ORZOLEK (1998): Evaluation of tomato transplant production methods for improving establishment rates. *HortScience*, **33**, 229–232.
- 8) CSIZINSZKY, A. A. and D. J. SCHUSTER (1985): Response of cabbage to insecticide schedule, plant spacing, and fertilizer rates. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **110**, 888–893.
- 9) DARLINGTON, A., K. VISHNEVETSKAIA and T. J. BLAKE (1996): Growth enhancement and antitranspirant activity following seed treatment with a derivative of 5-hydroxybenzimidazole (Ambiol) in four drought-stressed agricultural species. *Physiol. Plant.*, **97**, 217–222.
- 10) 土肥 誠・藤浦建史・中尾清治・岩尾俊男・竹山光一 (1994): 野菜用多機能ロボットの研究. 第2報. 葉菜類移植・収穫作業への適用. 農機誌, **56**, 101–108.
- 11) DUFAULT, R. J. (1986): Influence of nutritional conditioning on muskmelon transplant quality and early yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **111**, 698–703.
- 12) DUNLAP, J. R. and M. L. BINZEL (1996): NaCl reduces indole-3-acetic acid levels in the roots of tomato plants independent of stress-induced abscisic acid. *Plant Physiol.*, **112**, 379–384.
- 13) FRANTZ, J. M., G. E. WELBAUM, Z. SHEN and R. MORSE

- (1998): Comparison of cabbage seedling growth in four transplant production systems. *HortScience*, **33**, 976–979.
- 14) 藤原隆広・西畑秀次 (1996): セル成型育苗における技術開発の現状と育苗技術のマニュアル化. キャベツ. 平成8年度課題別研究会資料葉茎菜類セル成型育苗における技術開発の現状と今後の課題. p26–39. 野菜・茶業試験場.
 - 15) 藤原隆広・吉岡宏・佐藤文生 (2002a): 萎れ処理がキャベツセル成型苗の苗質に及ぼす影響. 園学雑, **71**, 591–593.
 - 16) 藤原隆広・吉岡宏・熊倉裕史・佐藤文生・井上昭司 (2002b): NaClの施用条件がキャベツセル成型苗の苗質に及ぼす影響. 園学研, **1**, 169–173.
 - 17) 藤原隆広・吉岡宏・熊倉裕史・佐藤文生・中川泉 (2003): NaCl施用によるキャベツセル成型苗の根鉢水分の均一化. 園学研, **2**, 15–20.
 - 18) 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植え付けの深さが活着および生育の斉一性に及ぼす影響. 園学雑, **67**, 767–772.
 - 19) 藤原隆広・吉岡宏・四方久・佐藤文生 (1998b): キャベツセル成型苗の定植時における根鉢の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.
 - 20) 藤原隆広・吉岡宏・四方久・佐藤文生 (1998c): 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.
 - 21) 藤原隆広・吉岡宏・佐藤文生 (1998d): キャベツのセル成型育苗管理システム. 総合農業の新技术, **11**, 295–301.
 - 22) 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機による機械定植適応性に及ぼす影響. 農作業研究, **34**, 77–84.
 - 23) 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, 被覆肥料の利用が生育に及ぼす影響. 千葉農試研報, **37**, 73–84.
 - 24) GARCIA, A. L., V. FUENTES and J. GALLEG0 (1996): Influence of nitrogen supply on osmoregulation in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants under moderate water stress. *Plant Science*, **115**, 33–38.
 - 25) GARCIA, A. L., V. FUENTES and N. NICOLAS (2000): Interactive effect of nitrogen and long-term moderate water stress on water relations in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants. *J. Plant Physiol.*, **156**, 563–566.
 - 26) GARTON, R. W. and I. E. WIDDERS (1990): Nitrogen and phosphorus preconditioning of small-plug seedlings influence processing tomato productivity. *Hortscience*, **25**, 655–657.
 - 27) GHOSH, S. P. and MADHAVI, D. L. (1998): Cabbage, p.299–321. Edited by Salunkhe, D. K. and Kadam, S. S.. Handbook of vegetable science and technology. MARCEL DEKKER, Inc. New York.
 - 28) GU, S., L. H. FUCHIGAMI, S. H. GUAK and C. SHIN (1996): Effects of short-term water stress, hydrophilic polymer amendment, and antitranspirant on stomatal status, transpiration, water loss, and growth in 'Better Boy' tomato plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **121**, 831–837.
 - 29) GU, S., L. H. FUCHIGAMI, L. CHENG, S. H. GUAK and C. SHIN (1998): Effects of antitranspirant and leaching on medium solution osmotic potential, leaf stomatal status, transpiration, abscisic acid content and plant growth in 'Early Girl' tomato plants (*Lycopersicon esculentum*). *Journal of Horticultural Science & Biotechnology.*, **73**, 473–477.
 - 30) HALSEY, L. H., J. F. BEEMAN, D. R. HENSEL, W. W. DEEN, Jr., and V. L. GUZMAN (1968): Certain Physical Properties of Cabbage in Relation to Harvest Mechanization. *Proc. Amer. Soc. Hort. Soc.*, **92**, 438–445.
 - 31) HALSEY, L. H., J. F. BEEMAN, D. R. HENSEL, W. W. DEEN and V. L. GUZMAN (1966): Influence of variety and spacing on yields of cabbage from a single harvest. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, **79**, 194–201.
 - 32) 花田俊雄・高橋和彦・長岡正昭・吉岡宏 (1981): キュウリ個葉の光合成に及ぼす N・Mg・P 濃度の影響. 野菜試研報 A, **9**, 83–96.
 - 33) HARA, T. (1988): Dynamics of size structure in plant populations. *Tree*, **3**, 129–133.
 - 34) HE, T. and G. R. CRAMER (1996): Abscisic acid concentrations are correlated with leaf area reductions in two salt-stressed rapid-cycling Brassica species. *Plant and Soil*, **179**, 25–53.
 - 35) HEYDECKER, W. (1956): Establishment of seedlings in the field I. Influence of sowing depth on seedling emergence. *Journal of Horticultural Science.*, **31**, 76–88.
 - 36) 広岡芳年・佐藤仁彦・諏訪内正名 (1981): 植物種における葉面ろう物質中炭化水素の炭素数の変化. 生環調, **19**, 1–7.
 - 37) 本田靖・白田純雄 (1960): 水稻苗に関する生理生態的研究. 日作紀, **27**, 429–431.
 - 38) HSIAO, T. C. (1973): Plant responses to water stress. *Ann Rev. Plant Physiol.*, **24**, 519–570.
 - 39) IACONO, F., A. BUCCELLA and E. PETERLUNGER (1998): Water stress and rootstock influence on leaf gass exchange of grafted and ungrafted grapevines. *Scientia Horticulturae.*, **75**, 27–39.
 - 40) IERSEL, M. W. V., P. A. THOMAS, R. B. BEVERLY, J. G. LATIMER and H. A. MILLS (1998): Nutrition affects pre- and posttransplant growth of impatiens and petunia plugs. *Hortscience*, **33**, 1014–1018.
 - 41) 石原邦 (1997): 水環境に対する植物の反応についで. 土壌の物理, **76**, 23–29.
 - 42) 石塚喜明・田中明 (1958): 水稻の葉の栄養生理学. 3. 農及園, **33**, 1631–1634.
 - 43) 石塚喜明・田中明 (1969) 稲の生育史. 発芽, 苗および活着. 活着. p.102–109. 水稻の栄養生理. 養賢堂. 東京.
 - 44) 伊藤亮一 (1995): 作物と水. 水ストレスと作物の生長. p.38–44. 池田武編著. 作物の生理・生態学大要. 養賢堂. 東京.
 - 45) 岩間誠造 (1974): キャベツの原産と来歴. p.3. 加除式農業技術体系. 野菜編7. キャベツ・ハクサイ・ホウレンソウ・ツケナ類. 農山漁村文化協会. 東京.
 - 46) JENKS, M. A. and E. N. ASHWORTH (1999): Plant epicuticular waxes: function, production, and genetics. *Horticultural Reviews.*, **23**, 1–68.
 - 47) JETT, L. W. and G. E. WELBAUM (1996): Changes in broccoli (*Brassica oleracea* L.) seed weight, viability, and vigour during development and following drying and priming. *Seed Sci. & Technol.*, **24**, 127–137.
 - 48) 金光幹雄・山本健司 (1994): ハクサイ収穫機の 研究研

- 究. 農機報, 28, 1-51.
- 49) 唐橋 需・井上喬二郎・澤村宣志 (1981): 結球 穫機の開葉収獲研究. 農事試験報, 33, 19-56.
- 50) 唐橋 需・伊藤茂昭 (1983): 結球野菜収獲機の 究研究. キャベツの機械収獲精度に対する諸影響因子. 農機誌, 45, 71-77.
- 51) 加藤哲郎 (1991): ピートモス. p.175-176 の 2. 加除式農業技術体系. 土壤施肥編 7. 各種肥料・資材の特性と利用. 育苗用資材, 用土. 野菜, 花, 果樹. 農山漁村文化協会. 東京.
- 52) KNAVEL, D. E. and J. W. HERRON (1981): Influence of tillage system, plant spacing, and nitrogen on head weight, yield, and nutrient concentration. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 106, 540-545.
- 53) 小林五郎 (1995): 育苗培地, 容器の種類と特徴. p.93-102 の 1 の 4. 加除式農業技術体系. 野菜編 12. 共通技術・先端技術. 施設・資材. 農山漁村文化協会. 東京.
- 54) 小寺孝治 (1996): セル成型苗生産の基本と実際. p.120-130. 加除式農業技術体系. 野菜編 7. キャベツ・ハクサイ・ホウレンソウ・ツケナ類. 農山漁村文化協会. 東京.
- 55) KRATKY, B. A., E. F. COX and J. M. T. MCKEE (1980): Effects of block and soil water content on the establishment of transplanted cauliflower seedlings. *Journal of Horticultural Science*, 55, 229-234.
- 56) 窪田昌春・我孫子和雄 (1998): キャベツのセル成型苗に発生した病害. 関西病虫研報, 40, 55-63.
- 57) LATIMER, J. G (1990): Drought or mechanical stress affects broccoli transplant growth but not yield. *HortScience*, 25, 1233-1235.
- 58) LATIMER, J. G (1997): Effect of mechanical and moisture-stress conditioning on growth and cuticle composition of broccoli transplants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 122, 788-791.
- 59) LATIMER, J. G. and R. B. BEVERLY (1994): Conditioning affects growth and drought tolerance of cucurbit transplants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 119, 943-948.
- 60) LIU, Z. and D. I. DICKMANN. (1996): Effects of water and nitrogen interaction on net photosynthesis, stomatal conductance, and water-use efficiency in two hybrid poplar clones. *Physiol. Plant*, 97, 507-512.
- 61) MELTON, R. R. and R. J. DUFAULT (1991): Tomato seedling growth, earliness, yield, and quality following pretransplant nutritional conditioning and low temperatures. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 116, 421-425.
- 62) MILLER, C. H., W. E. SPLINTER and F. S. WRIGHT (1969): The effect of cultural practices on the suitability of cabbage for once-over harvest. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 94, 67-69.
- 63) 森山友幸・姫野修一・井手 治 (2000): キャベツの機械移植栽培における土壌および移植条件が生育, 収量に及ぼす影響. 福岡農総試研報, 19, 45-48.
- 64) MORRIS, D. A. and E. D. ARTHUR (1984): An association between acid invertase activity and cell growth during leaf expansion in *Phaseolus vulgaris* L.. *J. Exp. Bot.*, 35, 1369-1379.
- 65) MUNNS, R. and R. E. SHARP (1993): Involvement of abscisic acid in controlling plant growth in soils of low water potential. *Aust. J. Plant Physiol.*, 20, 425-437.
- 66) 中川 泉・四方榮一・直井利雄 (1988): キャベツの周年安定生産技術体系. 近畿中国農研, 76, 31-34.
- 67) 西 貞夫 (1982): 野菜園芸ハンドブック. 西 貞夫監修, p.1144-1145, 養賢堂. 東京.
- 68) 西本登志・泰松恒男 (1996): キャベツセル苗の耐倒伏性の品種間差異について. 奈良農試研報, 27, 17-23.
- 69) 大江田憲治 (1999): 水分ストレスと LEA タンパク質. p.81-85. 渡邊 昭・篠崎一雄・寺島一郎監修. 細胞工学別冊. 植物細胞工学シリーズ 11. 植物の環境応答. 生存戦略とその分子機構. 秀潤社. 東京.
- 70) PETERSON, T. A., M. D. REINSEL and D. T. KRIZEK (1991): Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill., cv. 'Better Bush') plant response to root restriction. *Journal of Experimental Botany*, 42, 1233-1240.
- 71) POST-BEITENMILLER, D (1996): Biochemistry and molecular biology of wax production in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 47, 405-430.
- 72) 佐伯敏郎 (1965): 植物の「生長解析」. *Bot. Mag. Tokyo*, 78, 111-119.
- 73) SANEOKA, H. and S. OGATA (1987): Relationship between water use efficiency and cuticular wax deposition in warm season forage crops grown under water deficit conditions. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 33, 439-448.
- 74) 佐藤文彦 (1993): 耐塩性植物の分子育種. 植物細胞工学, 5, 439-445.
- 75) 佐藤文生・吉岡 宏・藤原隆広 (1998): 定植前後の遮光処理がキャベツセル成型苗の定植後の生育および炭水化物含量に及ぼす影響. 園学雑. 67 (別 2), 291.
- 76) 佐藤文生・吉岡 宏・藤原隆広 (1999): キャベツセル成型苗の定植後の生育と炭水化物代謝に及ぼす温度の影響. 園学雑. 68 (別 2), 125.
- 77) SATO, F., YOSHIOKA, H. and FUJIWARA, T (1999): Effects of storage temperature on carbohydrate content and seedling quality of plug seedlings. *Environ. Control in Biol.*, 37, 24-255.
- 78) SHANMUGANATHAN, V. and L. R. BENJAMIN. (1992): The influence of sowing depth and seed size on seedling emergence time and relative growth rate in spring cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata L.) *Annals of Botany*, 69, 273-276.
- 79) 塩谷幸治・佐藤和憲・大浦裕二 (1999): キャベツ全自動収獲機の普及状況の課題. 農業技術, 54, 16-20.
- 80) SHUMAKER, J. R. (1969): Response of direct seeded cabbage using different spacings and thinning methods. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 82, 112-115.
- 81) STOFFELLA, P. J. and M. F. FLEMING (1990): Plant population influences yield variability of cabbage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 115, 708-711.
- 82) 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.
- 83) 鈴木尚俊・武井利彰・斉藤康一・袖山栄次・但馬 勇・桐山英一 (1998): 全自動移植機によるキャベツ, レタス, ハクサイ移植作業の省力化研究. 長野農総試研報, 5, 1-10.
- 84) 高橋久光・増岡彩子・李 玲子 (1999): アブシジン酸, ブラシノステロイド, およびジャスモン酸の種子発芽に対する実用効果と作用性について. 植物の化学調節, 34, 97-105.
- 85) TAYLOR, A. G. and C. W. TEN BROECK. (1988): Seedling emergence forces of vegetable crops. *HortScience*, 23, 367-369.
- 86) TAYLOR, H. M. (1983): Limitations to efficient water use in crop production. p.87-113. In: H. M. Taylor et al.

- (eds.). *Am. Soc. Agron.* Madison.
- 87) THOMAS, B.M. 1993. Overview of the speedling, incorporated, transplant industry operation. *Hort Technology*, **3**, 406–408.
- 88) WOOD, D.W., P. C. LONGDEN, and R. K. SCOTT. (1977): Seed size variation; its extent, source and significance in field crops. *Seed Sci. & Technol.*, **5**, 337–352.
- 89) WURR, D. C. E. and J. R. FELLOWS. (1984): The effects of grading and ‘priming’ seeds of crisp lettuce cv. Saladin, on germination at high temperature, seed ‘vigor’ and crop uniformity. *Ann. appl. Biol.*, **105**, 345–352.
- 90) 山本健司 (1992): 野菜作における機械化の現状と展望. 農機誌, **54**, 122–129.
- 91) 山本由徳 (1995): 植物の根に関する諸問題. 29. 水稻苗の発根と活着. 農及園, **70**, 1333–1340.
- 92) 山内 章 (1994): 植物の根に関する諸問題. 9. 作物の根系発達と土壌ストレス環境. 農及園, **69**, 521–526.
- 93) 吉川宏昭 (1996): 各論篇. アブラナ科葉菜・果菜類. キャベツ. p.301–303. 伊東 正監修. そ菜園芸. 社団法人全国農業改良普及協会. 東京.
- 94) 吉岡 宏 (1995): 機械化のための野菜栽培様式の標準化. 植調, **29**, 223–230.
- 95) 吉岡 宏・清水恵美子・福岡信之・藤原隆広・佐藤文生. 1998b. 苗の引き抜き抵抗を利用したキャベツセル成型苗の発根力評価. 園学雑, **67**, 584–594.
- 96) 吉岡 宏 (1999): 機械化栽培と苗生産. 苗生産の現状と課題. p23–26. 農林水産省農産園芸局野菜振興課・肥料機械課監修. 社団法人日本施設園芸協会編集. 野菜生産機械化の手引き. 社団法人日本農業機械化協会. 東京.
- 97) 弓野 功・木野内和夫・間谷敏邦 (1996): 野菜移植機の利用技術に関する研究. 茨城農総セ農研報, **3**, 55–78.
- 98) 農林水産省統計情報部 (2000): 野菜生産出荷統計. キャベツ. p20. 平成10年産野菜生産出荷統計 (併載: 種苗生産統計).
- 99) 農林水産省野菜・茶業試験場 (1997): キャベツセル成型苗育苗管理マニュアル.
- 100) 社団法人農林水産先端技術産業振興センター. (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.
- 101) 野菜生産機械化・省力化研究会 (1993): 野菜生産機械化・省力化の推進方向. ゆとりある野菜経営の育成のために. p1–205. 創造書房. 東京.

Development of Labor-saving Cultivation Techniques Using plug Seedlings to Promote Uniform Gabbage Growth

Takahiro FUJIWARA

Summary

To establish a mechanized, labor-saving technique for the cultivation of cabbage, factors that affect uniformity of growth in cabbage were studied. The summary of this study is as follows.

1. Analysis of factors affecting growth and yield of cabbage

Factors that affect uniform growth during the cultivation period were analyzed. For seedlings in the nursery, ensuring uniform stand was most important for quality improvement. Shading or excessive nutrients affected the quality of seedlings. Moreover, after transplanting, early field growth was the most important factor influencing subsequent growth and quality at harvest. If the early field growth was uneven, the uniformity of growth at succeeding stages was further decreased especially in high density planting.

2. Techniques to promote uniform growth and quality of cabbage seedlings

To improve the uniformity of plug tray seedlings in the nursery, two factors were found to be effective:

- i) seed size should be uniform, and
- ii) depth of sowing should be about 1cm.

Ebb-and-flow irrigation saves labor and improves root ball moisture content in plug tray seedlings.

To develop a technique for producing high quality seedlings, the relation between the nutrient solution concentration and seedling quality was examined.

The subirrigation method resulted in better growth of seedlings because it avoided extreme dryness of the root ball, as compared with the seedlings grown under conventional sprinkler irrigation.

Nutrient interruption rapidly decreased the quality of the nursery seedlings because of the reduced rooting ability due to nutrient deficiency and the development of useless shoots in response to the increased water potential.

Adding NaCl to the nutrient solution controlled the osmotic pressure of the solution, bringing about control of succulent growth and improved acclimation and growth uniformity.

Received: November 19, 2003

Department of Applied Plant Physiology
360 Kusawa, Ano, Mie, 514-2392 Japan

Present address:

Department of Vegetable Science, National Agricultural Research Center for Western Region
200 Ueno, Ueno, Ayabe, Kyoto, 623-0035 Japan

3. Cultivation techniques to ensure uniform cabbage growth at transplanting time

The time of proper transplanting of cabbage plug seedlings was evaluated from several aspects, such as uniformity of growth, rooting ability and adaptability to use machine transplantation. The most desirable transplanting time was estimated to be about the 3.5-leaf stage. In addition, the formation of the root ball and the shape of the seedlings both greatly influenced the adaptability of the transplanter. Seedlings with reduced leaf spread were judged most suitable for the transplanter.

The establishment of the plug seedlings after transplanting was greatly influenced by the moisture content of the root ball. Establishment of seedlings was promoted by maintaining a high percentage of moisture in the root ball. This can be attained by i) subirrigation of seedlings just before transplanting, and ii) covering the root ball with soil at the time of transplanting.