育苗初期の温度条件がケール苗の下胚軸伸長および活着力に及ぼす影響

小高宏樹¹・高橋加奈²・相部かおり²・鈴木克己¹・切岩祥和^{1*}

¹ 静岡大学農学部 422-8529 静岡市駿河区大谷

² ファンケル総合研究所 244-0806 神奈川県横浜市戸塚区上品濃

Effect of Different Temperature Conditions during Early Seedling Stage on Hypocotyl Length and Rooting Ability in Kale

Koki Odaka¹, Kana Takahashi², Kaori Aibe², Katsumi Suzuki¹ and Yoshikazu Kiriwa^{1*}

¹ Faculty of Agriculture, Shizuoka University, Ohya, Suruga-ku, Shizuoka 422-8529

² FANCL Research Institute, FANCL Corporation, Kamishinano, Totsuka-ku, Yokohama, Kanagawa 244-0806

Abstract

In a plug seedling nursery, seedlings are raised densely in a plug seedlings tray. Thus, seedlings may show spindly growth since the cells are dense under high temperature and high humidity conditions. Kale tends to show hypocotyl elongation, it is important to control this elongation for good-quality seedlings, and the result is directly related to the yield. Therefore, in order to clarify the influence of the nursery temperature on the production of good-quality seedlings of Kale, the hypocotyl length and root viability of seedlings were investigated. It was revealed that the hypocotyl length of kale is influenced by temperature, and a high temperature from 4 days after sowing makes it easier to elongate the hypocotyls. Therefore, when treated for 4 days from 4 to 7 days after sowing, the elongation of hypocotyls was suppressed at a low temperature of about 15°C, but rooting 9 days after planting was improved. This temperature condition had a noticeable effect in the photoperiod, and the high temperature in the photoperiod made it easier to extend the hypocotyls. Moreover, since the root weight did not increase even when treated at a low temperature, it was considered that the improved rooting was due to the increase of root activity. Thus, temperature control in the daytime during the 4 days from the 4th day after sowing may promote good-quality seedling production in kale nurseries.

Key Words : cooling treatment, good-quality seedling, plug seedling nursery, spindly growth seedling

キーワード : 良質苗, セル苗生産, 低温処理, 徒長苗

緒 言

ケール (*Brassica oleracea* var. *acephala*) は栄養価の高い葉茎菜で、国内では主に加工用途として栽培されている。生育適温は20°C前後であるが、耐寒性と耐暑性を併せ持つため、降雪地域を除いて周年生産が可能な露地野菜の1つである。しかし、その生産性は季節によって変動するため、加工用に原料を安定供給するためには課題も多い。著者らは、このような課題の解決を模索する中で、閉鎖型苗生産システム（以下、苗テラス、三菱樹脂アグリドリーム（株））で育苗したセル苗が、ビニルハウスで育苗したセル苗に比べて、定植後の活着率が向上し、定植から1か月半後の生育も良好であったことを報告した（高橋ら, 2016）。岡部（2012）によると、苗テラスで育苗した苗は、下胚軸が太く短く、新根の発生も旺盛で根張りが良く、新葉の展開が早まると報告されている。また、人工光下において強

光、好適湿度、好適気流速度下で育てた苗は、環境ストレスにも強くなることも知られており（古在, 2009）、苗テラスは圃場定植後も生育が良好な苗を育成できるすぐれた技術を有する。しかし、苗テラスで育苗した苗はハウスで育苗した慣行苗に比べてコストが高く、収穫物の収益性を劇的に向上させない限り苗テラスで育苗した苗を露地生産苗として利用できる見込みは低い。そこで著者らは、なるべく低コストでより良い苗を育成する条件について検討することとした。

セルトレイを利用した育苗は、育苗管理や苗の運搬、定植作業などを省力できるため、より快適な生産体系を達成できる技術として急速に普及した。それに伴い多くの作物の育苗管理に関する知見が蓄積され、良苗と不良苗の形質的な特徴も明らかにされた。特に定植後の環境条件が作物にとって不適な場合に苗の良し悪しが成育に大きく影響する傾向がある（小寺, 1996）。上述したように苗テラスで育苗したケールが定植後の活着と圃場での良好な生育を示したことは、ケールは育苗条件の影響を受けやすいことを示し、より生産性を安定化するためにも良い苗を育成することは重要である。

2018年9月7日 受付. 2018年12月21日 受理.

本報告の一部は園芸学会平成28年度秋季大会で発表した。

* Corresponding author. E-mail: kiriwa.yoshikazu@shizuoka.ac.jp

セル成型苗を利用した育苗は短期間で大量に行う必要があり、管理を効率化するために密植される。すると受光の競合や灌水された水分でハウス内は高温多湿となり、その結果茎葉が軟弱徒長しやすいという課題がある。その解決を目指してセルトレイの容積、灌水量、肥料濃度および成長調節剤の利用など、苗の徒長防止を目的とした多くの研究がある（磯崎ら、2000; 竹川・大西、1996）が、ケールの育苗に関する研究はない。ケールは不結球性草本で、茎が伸長し草丈1m程度になり、アブラナ科作物の中では特徴的な形質を有する。また、予備実験としてケールとコマツナを苗テラスで育苗して苗質を比較したところ、ケールの下胚軸はコマツナに比べて長いという特徴を示した（未発表データ）。通常子葉が緑化する光条件になると下胚軸の伸長は抑制されるが、ケールでは子葉が緑化したにもかかわらず、コマツナに比べ下胚軸は長かった。このことはケールの下胚軸伸長が光によって抑制されにくい、別の要因が関与している可能性がある。そして、苗テラスよりも強い光強度条件（自然光）のハウス内で育苗すると下胚軸はさらに長くなったため、ケールの下胚軸の伸長には光以外にも温度などの要因も影響すると考えられる。このように下胚軸が長くなった苗は徒長し、根量も少なくなりやすいことから、下胚軸が短く徒長を抑える育苗技術は重要である。

そこで本実験では、ケールの良苗生産技術の確立を目的として、育苗初期における温度条件がケール苗の下胚軸伸長と根の活着に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

1. 異なる育苗温度が下胚軸伸長に及ぼす影響（実験1）

実験にはコラード系のケール（*Brassica oleracea* var. *acephala*）を供試した。培養土（プライムミックス TKS-2、（株）サカタのタネ）を充填したプラスチック製の128穴セルトレイに種子を播種し、苗テラスにて子葉が展開するまでの3日間育苗した。苗テラスの設定条件は23℃/18℃（昼/夜温）、16時間/8時間（明/暗期）、蛍光灯光源を用いて光強度110 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、CO₂濃度700 ppmとし、灌水は園試処方培養液2/3単位（EC 1.8 dS $\cdot \text{m}^{-1}$ ）を毎日15分間底面給液した。播種した種子の9割以上の出芽が確認された播種4日後から14日後までの11日間、気温18、23および28℃一定、12時間日長とした蛍光灯光源を備えた人工気象器（LPH-410SPC、（株）日本医化器械製作所）にて異なる3水準での温度処理を行い、下胚軸長を毎日測定した。人工気象器での栽培・管理条件は、温度以外は苗テラスと同じになるように設定し、灌水も底面給液により毎日行った。各処理区当たり32株供試した。

2. 播種4～7日後の温度条件が苗の下胚軸長と乾物重に及ぼす影響（実験2）

実験1と同様に発芽させた苗を供試し、人工気象器を用いて温度処理を行った。温度処理は播種4～7日後の4日

間で、13、18、23および28℃の4水準の温度を明期（8時間）と暗期（16時間）でそれぞれ組み合わせた16処理区（第1表）を設けた。4日間の温度処理後は、苗テラスにて育苗した。温度処理終了直後に下胚軸長を測定し、播種21日後に地上部および根の乾物重を測定した。処理区当たり32株を供試した。

3. 4日間の低温処理開始時期が下胚軸伸長に及ぼす影響（実験3）

実験1と同様に発芽させた苗に、人工気象器を用いて15℃の低温処理を行った。25℃を標準温度として、異なる時期に15℃の低温処理を行い、低温処理後は再び25℃の人工気象器に戻して育苗した。日長は12時間日長とした。低温処理は播種後4～14日までの期間において4日間の低温処理を行い、処理するタイミングを2日ずつずらすことで処理時期の異なる6処理区を設けた。また15℃での低温処理を行わない25℃一定で育苗した無処理区も設けた。播種22日後に下胚軸長を測定した。処理区ごとに32株を供試した。

4. 低温処理期間が下胚軸伸長に及ぼす影響（実験4）

実験1と同様に発芽させた苗を供試し、人工気象器を用いて15℃の低温処理を行った。播種4日後にすべての苗を15℃の人工気象器に移動し、処理区ごとに25℃の人工気象器に移動して後述する異なる低温処理期間での処理を行った。日長は12時間日長とした。処理は1、2、3、4、5、6または7日間の7処理区とし、低温処理しない25℃の人工気象器で育苗した無処理区も設けた。播種後日数の違いが、低温処理直後の下胚軸長に影響すると思われることから、本実験では実験終了後の播種22日後に下胚軸長を測定した。処理区ごとに32株を供試した。

5. 育苗初期の温度処理が定植後の苗の活着に及ぼす影響（実験5）

実験1と同様に発芽させた苗を供試し、人工気象器を用いて温度処理を行った。温度処理は播種4～7日後の4日間、15、25または35℃一定とした人工気象器にて行い、処理後は25℃一定の人工気象器にて育苗した。処理区当たり32株を供試し、温度処理直後の下胚軸長および、播種22日後の地上部および根の乾物重を調査した。また各処理区のうち標準的な苗10株を引き抜き試験に使用した。播種時と同じ培養土を詰めた3号硬質ポット（直径約9 cm）に、播種22日後の苗を移植し、25℃、12時間日長の人工気象器にてさらに9日間栽培し、その後吉岡ら（1998）の実験を参考に引き抜き抵抗値（gf）を測定した。引き抜き抵抗値の測定は、オートグラフ（AGS-5kNX、（株）島津製作所）を使用した。オートグラフのクロスヘッド部分に、ポットに移植した苗の下胚軸部分を固定し、垂直に2.5 cm $\cdot \text{min}^{-1}$ の速度で引き上げた際の最大抵抗値を測定した。

結 果

1. 異なる育苗温度が下胚軸伸長に及ぼす影響 (実験 1)

ケールの下胚軸長の推移に及ぼす温度条件の影響を調査したところ、いずれの温度条件でも播種5～12日後にかけて伸長したが、その後はほとんど伸びなくなるという傾向を示した (第1図)。播種13日後の下胚軸は28℃区で長かったが、23℃区と18℃区では有意差はなかった。温度処理を開始して2日後 (播種6日後) には、28℃区の下胚軸は18℃区と23℃区に比べ有意に長くなり、それ以降では播種13日後まで23と18℃区に比べ有意に長かった。このように、18～28℃の間では、28℃区で下胚軸が顕著に長くなり、特に播種4～7日後の3日間は1日3mm以上も伸長し、この3日間で23℃区の播種13日後の下胚軸長よりも長くなった。これらのことから、下胚軸の伸長しやすい時期の28℃程度の高い温度が苗を徒長させ、18～23℃の範囲内の温度は下胚軸長に大きく影響しないことが明らかとなった。

2. 播種4～7日後の温度条件が苗の下胚軸長と乾物重に及ぼす影響 (実験 2)

播種後4～7日にかけての4日間、異なる明期温度と暗期温度を組み合わせた16処理を行ったところ、下胚軸長は処理の影響を受けた (第1表)。

まず明期と暗期の温度を一定とした13/13区、18/18区、23/23区および28/28区の4区の下胚軸長は、それぞれ12.6 mm, 17.4 mm, 24.8 mm, 37.0 mmと温度が高いほ

第1図 異なる温度条件が下胚軸伸長に及ぼす影響 (実験 1)
^a 異なる英小文字は各播種後日数において Tukey の多重検定において 5%水準で有意差あり
 エラーバーは標準偏差

ど有意に長かった。暗期温度の上昇についてみると、明期温度が13℃である処理区においては、暗期温度が13℃ (13/13区)、18℃ (13/18区)、23℃ (13/23区)、28℃ (13/28区) と上昇するのに従って下胚軸長が12.6 mm, 14.7 mm, 17.4 mm, 20.0 mm と伸長しており、他の明期温度に設定した処理区においても同様の傾向を示した。そして、各明期の温度ごとに暗期温度の変化に伴う下胚軸長との一次回帰式を求めたところ、明期温度が高い28℃で回帰式の傾きが大きく、明期28℃では暗期温度の変化の影

第1表 育苗初期の温度処理が苗の形質に及ぼす影響 (実験 2)

処理区		下胚軸長 (mm)	乾物重 (g)		
明期 (8 h)	暗期 (16 h)		地上部	根	T/R 比
13/13 区	13℃	12.6 h ^z	0.27 bc	0.06	4.40
13/18 区	18℃	14.7 h	0.31 abc	0.12	3.03
13/23 区	23℃	17.4 gh	0.31 abc	0.10	3.23
13/28 区	28℃	20.0 fg	0.29 abc	0.10	3.46
18/13 区	13℃	16.6 gh	0.32 abc	0.09	4.00
18/18 区	18℃	17.4 gh	0.31 abc	0.09	3.36
18/23 区	23℃	21.5 fg	0.26 bc	0.07	4.34
18/28 区	28℃	23.4 ef	0.23 c	0.07	3.65
23/13 区	13℃	21.3 fg	0.36 abc	0.08	4.77
23/18 区	18℃	23.3 ef	0.37 abc	0.10	3.93
23/23 区	23℃	24.8 def	0.41 a	0.10	4.51
23/28 区	28℃	30.2 bcd	0.38 ab	0.09	4.88
28/13 区	13℃	28.0 cde	0.35 abc	0.07	5.80
28/18 区	18℃	31.4 bc	0.36 abc	0.08	5.17
28/23 区	23℃	34.3 ab	0.30 abc	0.05	6.15
28/28 区	28℃	37.0 a	0.31 abc	0.06	5.34
ANOVA		$P < 0.05$	$P < 0.05$	n.s. ^y	n.s.

^z 調査項目内において異なる英小文字は Tukey の多重検定において 5%水準で有意差あり

^y 有意差なし

第2図 暗期温度 (A) および明期温度 (B) が下胚軸長に及ぼす影響 (実験2)
エラーバーは標準偏差

第3図 低温処理開始時期が下胚軸長に及ぼす影響 (実験3)
^a異なる英小文字は Tukey の多重検定において1%水準で有意差あり
エラーバーは標準偏差

響を受けやすい可能性が示された (第2図A)。同様に明期温度の変化の影響についてみると、暗期温度が13°Cである処理区においても、明期温度が13°C (13/13区)、18°C (18/13区)、23°C (23/13区)、28°C (28/13区)と上昇するのに従って下胚軸長が12.6 mm, 16.6 mm, 21.3 mm, 28.0 mmと有意に伸長し、他の暗期温度に設定した処理区においても同様の傾向を示した。次に各暗期の温度ごとに明期温度の変化に伴う下胚軸長との一次回帰式を求めた。その結果、回帰式の傾きは暗期温度の上昇による傾きよりも約2倍程度に大きくなり、明期温度の上昇は、下胚軸をより伸長する傾向を示した (第2図B)。

播種4～7日後の温度条件は、播種21日後の苗の地上部乾物重にも影響し (第1表)、23/23区で最大値の0.41 g、18/28区で最小値の0.23 gとなった。しかし処理区全体の地上部乾物重について、明期温度、暗期温度および平均温度との相関を調べたところ、相関係数はそれぞれ $r=0.50$, $r=-0.15$ および $r=0.08$ となり、地上部乾物重と温度条件との間に相関はなかった。根乾物重は処理による有意差がなかった。処理区ごとに T/R 比を求めたところ、明期温度を28°Cに設定した4つの処理区においては、

5.17～6.15と比較的高く、地上部は大きくなるが、地下部が小さくなる傾向が示された。

3. 4日間の低温処理開始時期が下胚軸伸長に及ぼす影響 (実験3)

15°Cの低温処理を開始する時期によって播種22日後の下胚軸長は影響を受けた (第3図)。播種4日後と6日後から低温処理を開始した両処理区の下胚軸長は有意に短く、播種8日後以降からの低温処理を行った処理区は対照区と差がなく、ケールの下胚軸伸長を抑制するための低温処理は、播種6日後までに開始する必要があることが明らかとなった。

4. 低温処理期間が下胚軸伸長に及ぼす影響 (実験4)

播種22日後における苗の下胚軸長は、播種4日後からの15°Cの低温処理によって有意に影響を受けた (第4図)。低温処理を行わなかった無処理区と比較して、1日以上での低温処理により、下胚軸長は短くなった。4日から7日までの低温処理では、処理期間が長くなっても下胚軸長に有意差はなかった。

第4図 低温処理期間が下胚軸長に及ぼす影響 (実験4)

^z異なる英小文字は Tukey の多重検定において 1%水準で有意差あり
エラーバーは標準偏差

第5図 育苗初期の温度処理が苗の形質および定植後の活着に及ぼす影響 (実験5)

^z異なる英小文字は Tukey の多重検定において 5%水準で有意差あり
エラーバーは標準偏差

5. 育苗初期の温度処理が定植後の苗の活着に及ぼす影響 (実験5)

播種4～7日の4日間での温度処理は処理直後の下胚軸長に影響し、処理温度が高くなるにつれて有意に伸長した (第5図A)。さらに播種22日後の苗の地上部乾物重にも温度処理は影響し、25°C区に対して35°C区で有意に増加した (第5図B)。一方で根の乾物重に有意差はなかった (第5図C)。これらの苗をポットに移植して、9日後の苗の活着力を引き抜き抵抗値として比較したところ、その値は15°C区で最大となり、処理温度が高くなるにつれて有意に減少した (第5図D)。

考 察

ケールの下胚軸長は育苗初期に温度の影響を受け、温度が高くなると播種後5～7日にかけて下胚軸が急激に長く

なった。そこで、下胚軸伸長の抑制を目的としてこの時期の育苗温度を低くしたところ、伸長の抑制効果が確認された。このようにケールの下胚軸は温度によって伸長が影響されやすく、本実験の結果からケールの下胚軸の伸長を抑制する温度処理は、播種4～7日後の4日間を15°Cで処理することが望ましいと考えられた。このような下胚軸長に及ぼす温度の影響は、下胚軸の長短が外観的な品質として重要な要素となるカイワレダイコンでも同様で、15°C区43 mm, 20°C区61 mm, 25°C区79 mmと温度の上昇とともに長くなることが報告されている (松本ら, 2009)。このような下胚軸の伸長に及ぼす温度の影響についてハボタン (*Brassica oleracea* var. *acephala*. 'Tsugumi') を供試して20°C一定の条件下での推移を調査した結果によると、その伸長は1日のうちでも一定の緩急リズムを示し、そのリズムは日数が経過するほど小さくなり、結果的に伸長量も小さく

なる傾向を示し(清水ら, 2008a), ケールでも同様の特徴を示した. さらに明暗条件におけるハボタンの下胚軸伸長の詳細な解析により, その伸長は明期ではわずかで, 暗期の開始後に顕著に長くなるという特徴を示した. その伸長量は昼夜温較差(DIF)の影響を受け, 20°C一定に比べ25°C/15°C(+10DIF)区で大きく, 15°C/25°C(-10DIF)区で小さくなり, 暗期の温度が低いほど促進されたと報告されている. これに対し, ヒャクニチソウ(*Zinnia elegance* L.)の下胚軸伸長は-10DIF(15°C/25°C)区で大きく+10DIF(25°C/15°C)区で小さくなり, 特に暗期における伸長は温度が高いほど大きかった(清水ら, 2008b). ケールの下胚軸伸長では, 暗期に比べ明期の温度の方が大きく影響する傾向を示したが, DIF条件による影響はみられなかった. このように, 下胚軸の伸長に対する温度の影響は植物種によっても異なり, その伸長を制御するメカニズムは作物によって特異的である可能性がある.

下胚軸伸長に対する光条件や植物ホルモンが関与する仕組みについては, 光受容体や植物ホルモンの作用機構が明らかになっていることから多くの報告がある(Chenら, 2013; Faveroら, 2017; Kunihiroら, 2010). その一方で, 植物が温度条件に敏感に応答する仕組み解明の鍵となる, 温度シグナルの受容センサーに関しては明らかでなかったことから, 温度が下胚軸伸長を制御する仕組みの解明は遅れていた. Jungら(2016)はシロイヌナズナのフィトクロムの5重変異体(*phyABCDE*)を用いた解析により, 野生型の下胚軸伸長でみられた温度応答が変異体でみられなくなることを明らかにした. そして, この変異体と野生型の高温(27°C)条件下での転写産物の日変化のパターンから, 温度形態形成が主に夜に起こり, PHYTOCHROME INTERACTING FACTOR 4(PIF4)などが関与していることを明らかにした. また, Gangappa・Kumar(2017)は, 温度上昇による胚軸伸長は温度によるシグナルがPIF4を経由してオーキシン生合成に関与するYUC8や細胞肥大に関与するEXP8, XTR7の発現を増加させたことを明らかにし, これらの知見から胚軸伸長のメカニズムに対する温度応答が分子レベルでも解明されつつある. ケールに関しては下胚軸伸長への植物ホルモンの関与や, 分子生物学的な解析に基づく知見はないが, アブラナ科作物の中でも旺盛な茎伸長を特徴とする植物として, 初期成長で温度に敏感に反応した習性は, 下胚軸を含めた細胞伸長に関する興味深い材料となるかもしれない.

本実験では, 良質苗の特徴として定植後の活着も指標とした. 著者らは, 苗テラスで育成した苗が定植後も良好な初期生育を示し, 活着率が高いことを確認しており(高橋ら, 2016), 徒長を抑えた苗は, 圃場での旺盛な生育が得られると期待される. そこで, 育苗初期の温度処理が定植後の活着に及ぼす影響を評価したところ, 処理温度が低いほど引き抜き抵抗値が高かった. この引き抜き抵抗値は, 定植後の根の増加量と高い相関があることがキャベツで報

告されている(吉岡ら, 1998). 本実験において定植前の苗の根の乾物重は, 温度処理によって影響されなかったことから, 育苗初期の低温処理は根量を増加させるのではなく, 定植後の発根力に影響した可能性がある. 高温条件における根の呼吸活性の低下は, 光合成産物の根への分配率の低下や, 同化産物の消耗が呼吸によって増大することによるものである(穴戸・熊倉, 1994). 従って, 高い呼吸活性を維持できた低温の処理ほど発根のために多くのエネルギーを利用でき, 高い引き抜き抵抗値を示したと推察される. 苗テラスの苗は, 新根の発生が旺盛で活着力が向上することが知られており(岡部, 2012), ケールにおいては下胚軸の伸長を抑える低温の処理により苗テラスで期待される活着の向上を得ることができた.

以上のように育苗期における温度条件はケールの良質苗生産のための重要な環境要因の一つであり, 育苗初期の日中の温度が高いほど下胚軸伸長を促進し, 苗のT/R比を増加させ, 定植後の活着を低下させることが明らかとなった. ケールを周年生産している現地においては, 8月に秋植え用の育苗をハウスで行っており, 高温育苗を避けることができず徒長気味の苗となる. その結果圃場での活着率が低下する可能性が大きく, 収量を確保するうえでの課題となっている. 育苗環境が高温多湿の場合, 多くの作物で葉形が細長く徒長し, 苗が絡まって定植時にダメージを与えると同時に著しく作業性を低下させる(深澤, 1997; 吉岡, 1998). キャベツの育苗において, 高温は発芽および苗の生育を妨げてしまうため, 風通しを良くし, 遮光やミスト灌水によって温度を下げる工夫や, 白色セルトレイの使用などの高温対策が行われている(小寺, 1996). しかし, ハウス育苗において育苗環境を常に快適に制御するための対策は, 露地葉物野菜にとっては経済的な観点からも困難なことも多い. 本実験は約3週間の育苗期間におけるケール苗の生育特性を理解し, 良苗を育成する条件を明らかにすることを目的として行った. その結果, 播種4~6日後から最低4日間の低温処理が良苗生産にとって有効であった. このような短期間の温度処理で下胚軸の伸長を抑えた良質なセル苗が生産できればコストを抑えた育苗技術としても期待できる. そして, より収益性の高いケールの生産が可能な技術開発を目指し, 苗テラス等の育苗施設も活用した作型についても検討したいと考えている.

摘 要

露地野菜のセル育苗は, 高温多湿で過密植条件で行われ, 徒長気味の苗となりやすい. 下胚軸が伸長しやすいケールにおいても, 圃場での苗の活着率には苗の良し悪しに影響し, 収量性にも影響する. そこで, ケールの良質苗生産のための育苗温度条件の影響について, 苗の下胚軸長および根の活着力を調査した. ケールの下胚軸長は温度に影響され, 播種4日後からの育苗温度が高いと下胚軸が伸長しやすく, 育苗初期の温度条件が重要な環境要因である

ことが明らかとなった。そこで下胚軸が伸長しやすい播種4～7日後までの4日間を15℃程度の低温で処理すると下胚軸の伸長が抑制され、定植後の活着が向上した。この温度条件は明期に特に大きく影響し、明期の高温は下胚軸が伸長しやすいため不適であると考えられた。また低温で処理しても根量は増加しなかったことから、活着力の増大は根の活性の増大によるものと推察された。以上のことから、ケールの育苗において、播種4日後からの4日間における日中の気温を低く管理することが良質な苗生産につながると考えられた。

引用文献

- Chen, J., K. Sonobe, N. Ogawa, S. Masuda, A. Nagatani, Y. Kobayashi and H. Ohta. 2013. Inhibition of Arabidopsis hypocotyl elongation by jasmonates is enhanced under red light in phytochrome B dependent manner. *J. Plant Res.* 126: 161–168.
- Favero, D., K. N. Le and M. Neff. 2017. Brassinosteroid signaling converges with SUPPRESSOR OF PHYTOCHROME B4-#3 to influence the expression of SMALL AUXIN UP RNA genes and hypocotyl growth. *Plant J.* 89: 1133–1145.
- 深澤郁男. 1997. セル成型苗の苗質. 基 291–294. 農業技術大系野菜編2. トマト. 追録第22号. 農文協. 東京.
- Gangappa, S. N. and S. V. Kumar. 2017. DET1 and HY5 Control PIF4-mediated thermosensory elongation growth through distinct mechanisms. *Cell Rep.* 18: 344–351.
- 磯崎真英・戸谷 孝・小西信幸・田中一久. 2000. キャベツ, ブロッコリーのセル成型苗育苗技術に関する研究. 三重農技セ研報. 27: 15–26.
- Jung, J., M. Domijan, C. Klose, S. Biswas, D. Ezer, M. Gao, A. K. Khattak, M. Box, V. Charoensawan, S. Cortijo, M. Kumar, A. Grant, J. C. W. Locke, E. Schafer, K. Jaeger and P. Wigge. 2016. Phytochromes function as thermosensors in *Arabidopsis*. *Science* 354: 886–889.
- 小寺孝治. 1996. セル成型苗移植栽培. 基 117–134. 農業技術大系野菜編7. キャベツ・ハクサイ・ハウレンソウ・ツケナ類. 追録第21号. 農文協. 東京.
- 古在豊樹. 2009. 人工光型植物工場. p. 121–148. 古在豊樹編著. 太陽光型植物工場 先進的植物工場のサステナブル・デザイン. オーム社. 東京.
- Kunihiro, A., T. Yamashino and T. Mizuno. 2010. Phytochrome-interacting factors PIF4 and PIF5 are implicated in the regulation of hypocotyl elongation in response to blue light in *Arabidopsis thaliana*. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 74: 2538–2541.
- 松本恵子・多田雄一・清水 浩・澁澤 栄. 2009. カイワレダイコン (*Raphanus sativus* L. ‘Kaiwaedaikon (Japanese radish sprout)’) の生育および抗酸化活性に与える気温の影響. 植物環境工学. 21: 29–34.
- 岡部勝美. 2012. 葉菜類の育苗を「苗テラス」で行うことで、どのくらい本圃生産量がUPしますか? ハイドロポニックス. 25: 48.
- 清水 浩・對馬ゆかり・小松佳菜子. 2008a. ハボタン (*Brassica oleracea* var. *acephala*. ‘Tsugumi’) 下胚軸のDIF環境下における伸長解析. 植物環境工学. 20: 21–25.
- 清水 浩・對馬ゆかり・小松佳菜子・椎木友朗・西津貴久・Kiong, C. V.・近藤 直. 2008b. 明暗期温度がジニア (*Zinnia elegance* L.) の伸長成長に与える影響. 植物環境工学. 20: 253–256.
- 宍戸良洋・熊倉裕史. 1994. トマトにおける光合成・蒸散・光合成産物の転流・分配および根の呼吸に及ぼす培地温の影響. 園学雑. 63: 81–89.
- 高橋加奈・小高宏樹・相部かおり・切岩祥和. 2016. 閉鎖型苗生産システムで育苗したケールの収量および品質. 園学研. 15 (別1): 178.
- 竹川昌宏・大西忠男. 1996. キャベツセル成型苗の徒長防止のための生育調節剤利用. 兵庫農技セ研報 (農). 44: 35–38.
- 吉岡 宏. 1998. 苗の生育診断のポイント. 基 153–155. 農業技術大系野菜編6. レタス・サラダナ・セルリー・ハナヤサイ・ブロッコリー. 追録第23号. 農文協. 東京.
- 吉岡 宏・清水恵美子・福岡信之・藤原隆広・佐藤文生. 1998. 苗の引き抜き抵抗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.