

遮光下におけるキャベツセル成型苗の根の生理的变化と 定植後の発根力との関係

石川県農業総合研究センター
砂丘地農業試験場

主任技師 福岡 信之

はじめに

キャベツセル成型苗の定植後の発根力は、定植時の根の呼吸活性で評価でき、育苗期の遮光、摘葉、短日等の同化産物の低減を招く処理は、根の呼吸活性を低下させ発根を抑える¹⁾ 根の呼吸は、組織の維持・生長や養水分の吸収に必要なエネルギーを得るために、根中あるいは地上部から供給される同化産物の分解により行われるので²⁾、発根力に關与する根の呼吸活性の高低は、植物体内における炭水化物含有量と密接に關係しているものと考えられる。

植物体全体の炭素収支に直接的に影響を及ぼす遮光処理は、光合成能の減退³⁾ や糖含量の低下⁴⁾ を誘起するので、遮光下で苗の生理的变化と根の呼吸活性との關係を検討することは、発根の基礎的な生理現象を解明し、活着技術の向上を図る上で意義がある。これまでに、苗の発根力と炭水化物含量との關係をみた報告は多いが^{5-8, 18)}。光合成能、炭水化物含量ならびに糖の分解に關与する酵素活性と発根との關係を総括的にみた報告は少ない。

本研究では、遮光率を95%とし、同化産物の生成量を著しく抑えた場合の光合成能、炭水化物含量ならびに糖の分解にかかわる主要な酵素の一つとしてインベルターゼ活性を調査し、これら内的要因と根の呼吸活性との關係を検討することによって、発根にかかわる生理現象の解明を試みた。さらに、遮光期間中の糖添加が根の呼吸活性や定植後の発根に対する影響も調査した。

材料および方法

発根にかかわる根の生理現象を究明するため、3種類の実験を農林水産省野菜・茶業試験場ガラス室で行った。

実験1 遮光下における根の呼吸活性と光合成能ならびに炭水化物含量との關係

材料はキャベツ“松波”を用いた。1994年11月9日に、128穴セルトレイに1穴3粒になるように播種し、播種後7日目に1穴1株に間引きした。培養土は、市販の園芸培養土(ヤンマー野菜養土)を用い、播種後10日目より園試処方標準培養液の1/5濃度液を適宜灌水した。その他の管理は、慣行法にならって行った。処理区として、12月20日より7日間ダイオネット(黒, #1010)を2枚被覆する遮光区(遮光率95%)と自然状態の対照区の2区を設けた。調査は、処理期間中の茎葉・根重、光合成速度、根の呼吸速度について行い、光合成速度の測定用材料は本葉第2葉の葉身中央部を根の呼吸速度の測定用材料は主根から生じた側根を用い、それぞれ酸素電極法⁷⁾で測定した。いずれも反応温度は25℃とし、光合成速度は1,600 mol/m²/sec下で測定した。また、光合成ならびに呼吸速度と同様な測定用材料を用いて、葉・根部のデンプン、スクロース、グルコース、フラクトース含量を測定した。糖含量は、葉部では3gを、根部では1gを採取し、80%エタノールで糖液を抽出後、高速液体クロマトグラフィーで測定した。デンプンは、上記で得られた残さをジメチルスルホキシド(DMSO)で加水分解し、遠心分離後、上澄液をグルコアミラーゼで3時間反応させ、Somogyi-Nelson法で比色定量した。

実験2 遮光下における根の呼吸活性とインベルターゼ活性との關係

材料はキャベツ“松波”を用いた。1994年11月21日に、遮光区と自然状態の対照区の2区を設けて128穴セルトレイに播種した。遮光処理は実験1と同様にダイオネットを被覆することによって

行い、被覆期間は1月12日より12日間とした。調査は、処理期間中の光合成ならびに根の呼吸速度、インペルターゼ活性について行い、光合成と根の呼吸速度の測定手順は実験1と同様とした。インペルターゼ活性を測定するため新鮮根0.5gに40倍量の0.2Mクエン酸-リン酸緩衝液(pH4.96)を加え、ホモジナイズ後、6000gで15分間遠心分離し粗酵素液を調整した。上澄液1mlを採取し、0.05Mスクロースを1ml加えて30℃で1時間反応、5分間100℃で反応を停止させた後、生成された還元糖をSomogyi-Nelson法で比色定量した。対照区としてスクロースの代わりに脱塩水1ml加えたものを用いた。

実験3 遮光下における糖添加が根の呼吸活性ならびに発根に及ぼす影響

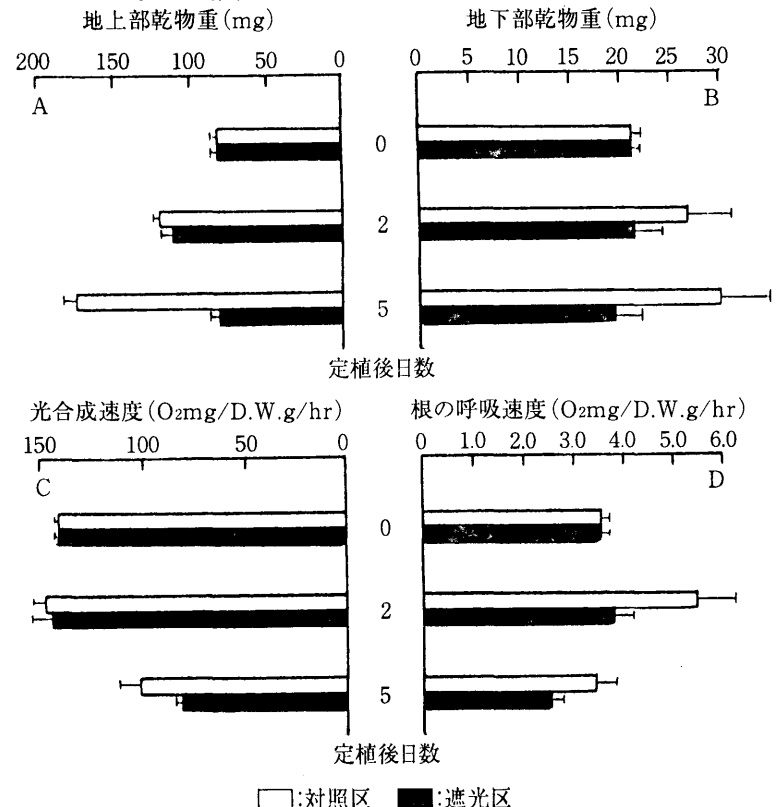
材料はキャベツ“金春”を用いた。1994年9月26日に、128穴セルトレイに播種し、11月7日より10日間実験1と同様に遮光を行った。処理区として、遮光期間中スクロースの0.2、0.4%水溶液を毎日1穴当り0.4ml灌注する2区と対照区の計3区を設けた。対照区は、スクロースの代わりに水道水を毎日1穴当り0.4ml灌注した。処理終了後、直ちに5号素焼き鉢に定植した。調査は、茎葉・根重、根の呼吸速度ならびに苗の引抜き抵抗値について行った¹⁾。また、定植後4日目と8日目にルートボックス(3×30×40cm)を用いて根群の分布状況を観察した。

結果

実験1 遮光下における根の呼吸活性と光合成能ならびに炭水化物含量との関係

植物体の生長に対する遮光処理の影響をみると、対照区では茎葉・根重ともに処理期間中直線的に増大したが、遮光区は重量増加がみられず、生育抑制が認められた(第1図.A, B)。光合成能に対する遮光処理の影響は、特に、処理5日目に認められ、遮光区の光合成速度は80mg/D.W.g/

第1図 育苗期間中の遮光処理が地上部(A)・地下部乾物重(B)、光合成速度(C)ならびに根の呼吸速度(D)に対する影響

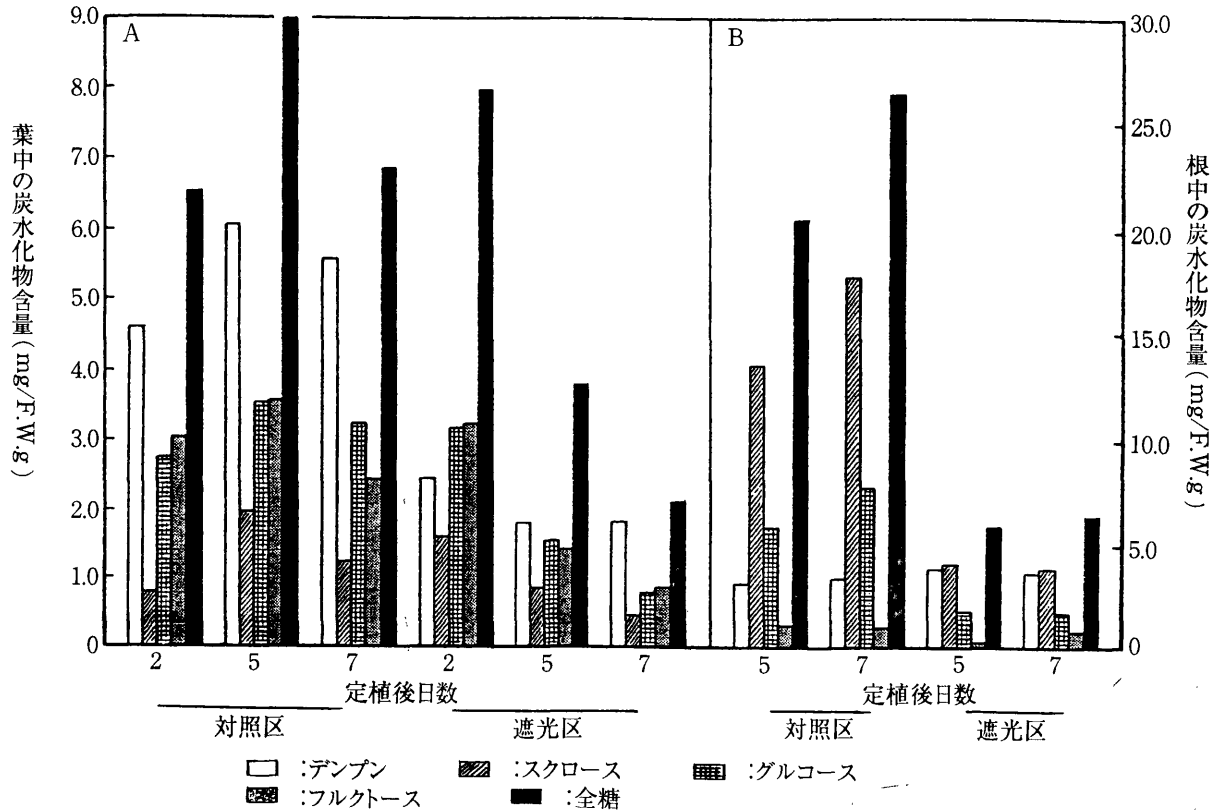


hrと対照区より20%程度小さかった(第1図C)。根の呼吸速度は、遮光処理によって低下し、対照区に比べて処理2日目で31%、5日目で26%それぞれ小さかった(第1図.D)。葉部のデンプン含量は、対照区で処理期間中4~6mg/F.W.gと高く推移し、遮光区では処理2日目以降2mg/F.W.g前後と対照区の1/2程度に低下した(第2図)。また、葉部の糖含量をみると、スクロース、グルコース、フラクトースいずれも処理2日目では遮光区で対照区を上回ったが、5日目以降遮光区の低下が甚だしく、7日目の全糖含量は対照区の約70%減となった。根部の糖組成の主体はスクロースとグルコースで、いずれも葉部と同様に遮光区で含有量が少なく、7日目の全糖含量は対照区のおよそ80%減となった。根のデンプン含量は、遮光区と対照区との間で大差なかった。

実験2 遮光下における根の呼吸活性とインペルターゼ活性との関係

光合成速度をみると、対照区、遮光区ともに処理期間中低下したが、低下速度は後者が前者に比

第2図 遮光処理が葉根部の炭水化物含量に対する影響

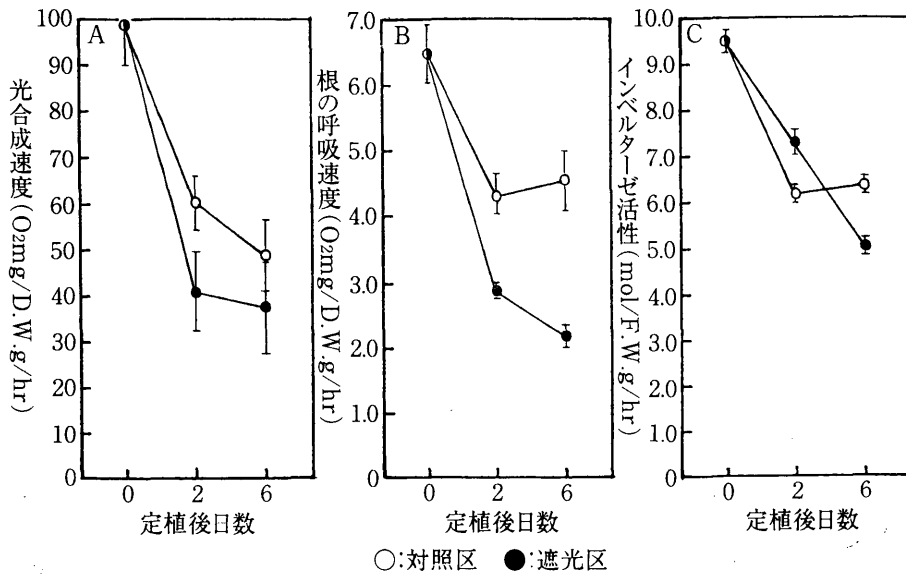


べて大きく、処理6日目の遮光区の測定値は対照区の約30%減となった(第3図. A)根の呼吸速度も光合成速度と同様で、対照区では処理2日目以降3.5~4.5mg/D. W.g/hrと高く推移し、遮光区では2~3 mg/D. W. g/hr と低かった(第3図. B)。

インペルターゼ活性は、処理2日間は遮光区で対照区より高く、6日目では逆に対照区が遮光区を上回った(第3図. C)

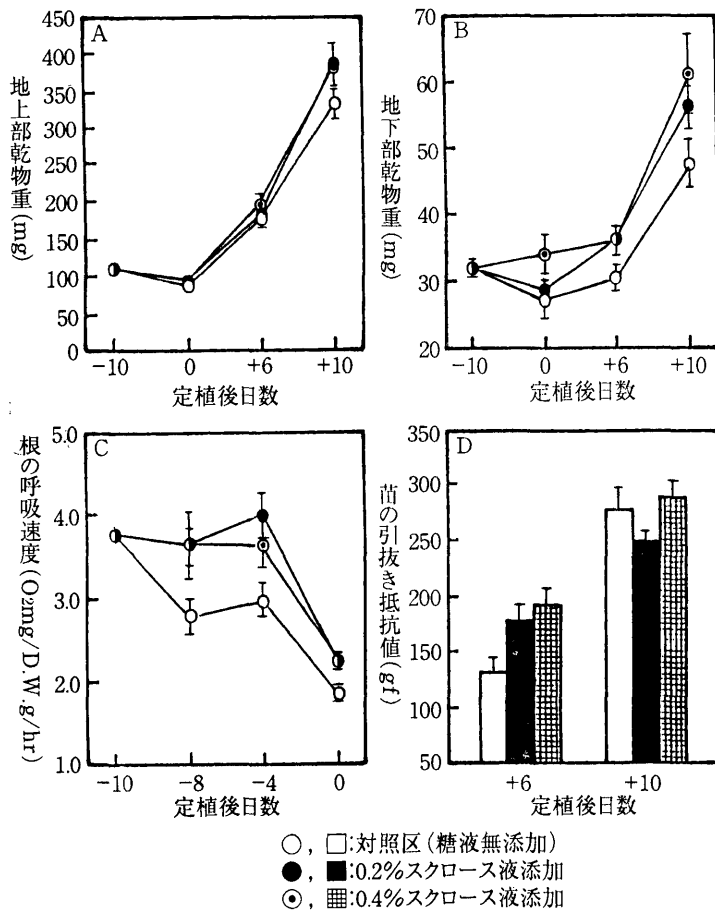
第3図 育苗期間中の遮光処理が光合成速度，根の呼吸速度ならびに根のインペルターゼ活性に対する影響

実験3 遮光下における糖添加が根の呼吸活性ならびに発根に及ぼす影響



スクロースの土壌添加が植物体の生長に対する影響は、茎葉部では定植後に、根部では処理期間中より認められ、対照区に比べてスクロース添加区で生育が旺盛となった(第4図. A. B)特に、処理の効果は茎葉部より根部で大きく、定植後10日目の根重は対照区の1.3倍となった。根の呼吸速度は、対照区では処理開始直後より急速に低下し、2日目で処理開始時の約25%減、10日目には約50%減の1.8mg/D.W.g/hr となっ

第4図 遮光期間中の糖添加が葉根部の生育・根の呼吸活性ならびに定植後の苗の引抜き抵抗値に対する影響



た(第4図.C)。一方、スクロース添加区では、処理6日間は3.6~4.0mg/D.W.g/hrと処理開始時とほぼ同等で、その後、急速に低下したものの、10日目でも開始時の約40%減にとどまった。スクロース添加が苗の引抜き抵抗値に対する影響は定植後6日目に認められ、添加区の抵抗値は190gf前後と対照区の130gfに比べて高かったが、10日目では引抜き抵抗値の差は明らかでなかった(第4図.D)。根群の分布状況を観察した結果、定植後4日目の根群の最高深度は対照区で8cm前後と浅かったが、0.4%添加区では15cmに達した。その傾向は処理8日目でも同様で、スクロース添加区で根群の発達状況が良かった(第5図)。

考察

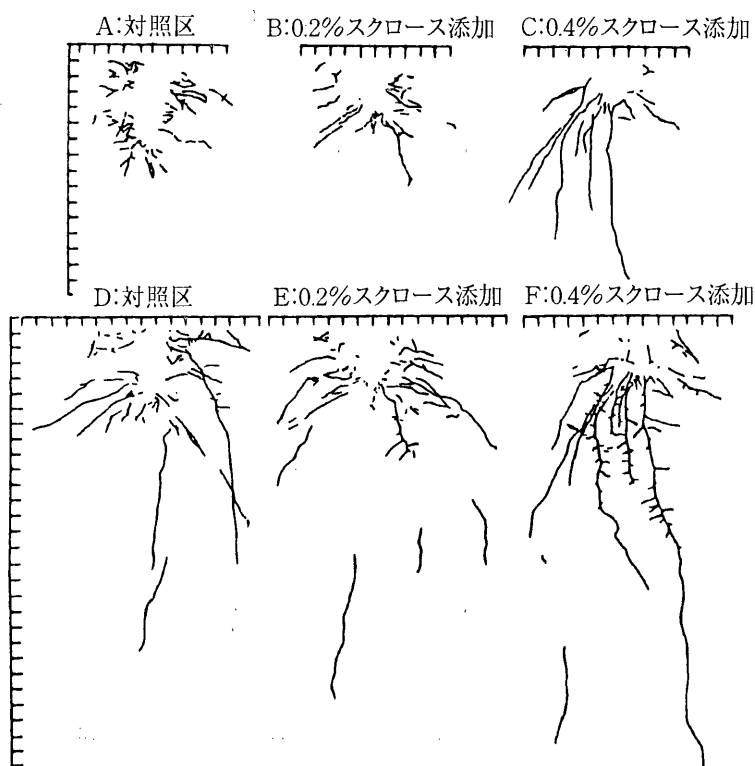
セル成型苗の発根力は、基本的には根の生理的機能に起因するものであり、その機能の一つとして根の呼吸活性を挙げることができる¹³⁾。前報で¹⁾、育苗期の遮光、摘葉、短日等の同化産物の

低減を招く処理は、根の呼吸活性を低下させ発根を抑えることを示した。本実験では、遮光率を95%とし、同化産物の生成量を顕著に抑えた場合の生体内における炭水化物含有量と根の呼吸活性との関係を検討した。その結果、95%の遮光によって光合成能や茎葉・根部におけるデンプン、糖含量が低下し、根の呼吸活性が顕著に抑えられることが認められた。炭水化物含有率の高い苗で定植後の発根力が旺盛なことは、ナス⁸⁾、イネ^{4, 17)}、タバコ⁹⁾などいくつかの高等植物において報告がある。一方、ナス苗の遮光処理は、茎中のデンプン、糖、不溶性窒素ならびに全窒素含量の低下を招き⁸⁾、低温・暗黒貯蔵したキャベツセル成型苗の葉部の糖含量は貯蔵開始直後に一時的に高まるものの、その後急速に減少する²⁾。また、地上部から地下部への同化産物の分配は短日処理によって抑えられ¹⁵⁾、低温・暗黒貯蔵したイチゴ苗の根の糖含量は貯蔵開始

直後より急速に低下する¹⁸⁾。発根に参与する根の呼吸は、地上部から供給される同化産物を分解し、発根に必要なエネルギーを獲得するための生理的手段として評価できるので⁵⁾、遮光下で根の呼吸活性が低下し発根が抑えられたのは、光合成能の減退や根への同化産物の転流の低下に伴う根中の炭水化物の量的不足によるものと考えられる。さらに、本実験においても、遮光直後に葉部の糖含量が一時的に高まる事が認められたが、これは根を含めた植物体の維持に必要な炭素源の供給低下の補償作用として、葉部の蓄積デンプンの糖への転化が促進された結果と考える。

発根に要するエネルギーの獲得手段としての呼吸には、呼吸に参与する代謝系への基質の安定的な供給とともに、呼吸基質を分解し代謝過程を円滑にする多様な酵素の介在が不可欠である。本実験において、キャベツセル成型苗の根中の糖の蓄積形態の主体がスクロースであったことは(第2

第5図 遮光期間中の糖添加が定植初期の根群分布に対する影響



A, D: 対照区(糖液無添加)

B, E: 0.2%スクロース液添加

C, F: 0.4%スクロース液添加

上段は定植4日後、下段は8日後の根群の分布状況を示す

図)。スクロースを分解するインベルターゼ¹⁰⁾が呼吸に参与する代謝系の鍵酵素となっている可能性が推察される。本実験では、遮光区と対照区で根の呼吸活性とインベルターゼ活性を調査したが、呼吸活性は遮光処理による低下の度合いが甚だしく、また、インベルターゼ活性は遮光直後は若干高く、遮光開始6日目には対照区より低くなることが認められた。暗黒処理したインゲンの莖部では、細胞の伸長に必要なエネルギー源を蓄積したスクロースの分解により補完するため、インベルターゼ活性が一時的に急増することが知られている¹¹⁾。上記したように、遮光下では根の呼吸活性は葉部から根部へ供給される同化産物の絶対量の不足により低下するが、遮光開始初期では葉部からの同化産物の供給不足を根中に蓄積したスクロースの分解によって補完する作用が働き、そのためインベルターゼ活性が高く保持されたものと考えられる、根中における呼吸活性の低下がイ

ンベルターゼ活性の低下に先行したことは、遮光による呼吸活性の低下が酵素活性の低下に直接的に起因するのではなく、呼吸基質の量的不足が律速要因として呼吸系全体に作用したことを示唆している。

本実験では、遮光期間中にスクロース溶液を土壌灌注することによって、根の呼吸活性の低下が抑えられ、定植後の発根力が旺盛になることが認められた。通常、葉面に施与されたスクロースは生体内に急速に取り込まれて代謝に利用されることが知られている^{14)・16)}。また、スクロース溶液の葉面散布は、根の呼吸活性の低下を抑えたり¹⁸⁾、発根力を旺盛にすることが報告されている¹²⁾。したがって、本実験で施与されたスクロースは、根部より速やかに植物体内に取り込まれたことは明らかで、施与されたスクロースが呼吸基質として呼吸に利用された結果、根の発根に要するエネルギーの獲得が可能となり、発根力が高まったもの

と考える。ところで、苗の発根力の低下は、いわゆる「老化苗」でも同様に認められる現象で¹⁴⁾、長期育苗したハウレンソウセル成型苗の発根力の低下は根の呼吸活性の低下に起因する¹³⁾。一方、著者らはキャベツセル成型苗において苗齢の進行に伴う体内成分の変動を調査した結果、長期間の育苗によって根の呼吸活性が低下した苗では、根中のインベルターゼ活性が低下し、スクロース含量が急速に高まることが認められた(福岡ら、未発表)。このことは、発根力の指標となる根の呼吸活性の低下の原因には、根への呼吸基質の供給量の不足以外に、酵素活性等で評価される根の生理的な機能の減退に伴う呼吸基質の利用効率の低下があることを示している。巽・景山¹⁴⁾は、トマト苗の苗齢の進行に伴う発根力の低下の原因について、苗体内での栄養的な飢餓による場合と、細胞膜構成物質の比率の増大など組織的な変化に伴う生理代謝の活性低下による場合があることを指

摘している。

以上より、遮光下でキャベツセル成型苗の定植後の発根力が低下した原因について、以下のように推論することができる。即ち、遮光下では光合成能や根のシンク活性が低下し、根部に転流し蓄積する同化産物の絶対量が不足する。根部に内在する基質が量的に不足すると、インペルターゼ等の呼吸系に關与する酵素の生合成や活性化が阻害される。根部への基質の供給量の不足や、これに伴う呼吸系に關与する酵素活性の低下は、根の呼吸を抑制する。根の呼吸活性が低下すると、呼吸系で獲得されたエネルギーの大半が生体の維持に使われ、発根への寄与率が低下し、定植後の発根が抑えられる。発根が抑えられた苗では、定植後の活着が遅れ、生育が遅延するものと考えられる。本実験では、呼吸基質の根部への供給量が律速要因として発根力に關与していることを明らかにしたが、このことは呼吸基質の人為的な補給が呼吸活性を高め発根を旺盛にしたことから明らかである。

引用文献

- 1) 福岡信之・吉岡宏・清水恵美子・藤原隆宏
キャベツ・ブロッコリーセル成型苗の根の呼吸活性と定植後の発根力との関係。
1996. 園学雑. 65 (1) : 95-103.
- 2) 福地信彦・吉岡宏・市村一雄・清水恵美子・藤原隆広. 1955. キャベツセル成型苗の低温貯蔵が苗の炭水化物含量と生育に及ぼす影響. 園学雑. 64 (別1) : 294-295.
- 3) 平野哲也・小野寺守一・竹村武雄. 1959. 水稻苗の活着に關する研究. 日作紀. 26 : 199-202.
- 4) 本田靖・臼田純雄. 1958. イネ苗に關する生理生態的研究. 日作紀. 27 : 429-431.
- 5) 位田藤久太郎. 1952. そ菜の根の生理に關する研究 (第1報) そ菜の根の酸素要求量について. 園学雑. 21 (4) : 11-16.
- 6) 今津正・荒西能久. 1948. 育苗技術に關する二三の実験. 園学雑. 17 : 54 : 58.
- 7) 石井龍一. 1985. 酸素電極法. 作物生理実験法—IV光合成・呼吸—p : 197-199. 北條良夫・石塚潤爾編著 農業技術協会. 東京.
- 8) 楼惠寧・加藤徹. 1988. ナス苗の素質に關する生理的研究 (第1報) 日長時間と日照の強さの影響. 生環調. 26 : 69-78.
- 9) 宮崎督三・時津忠臣・村岡洋三. 1957. タバコ苗の栄養条件が定植後の生長に及ぼす影響. 日作記. 26 : 141-142.
- 10) 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.
- 11) Morris, D. A. and E. D. Arthur. 1985. Invertase activity, carbohydrate metabolism and cell expansion in the stem of *Phaseolus vulgaris* L. J. Exp. Bot. 36 : 623-633
- 12) 長尾照義. 1958. タバコの発根力について (第2報) 葉たばこ研究. 15 : 59-66.
- 13) 清水恵美子・吉岡宏・福岡信之・藤原隆広. 1995. ホウレンソウセル成型苗の苗齡が根の呼吸活性と定植後の生育に及ぼす影響. 園学雑. 64 (別1) : 298-299. 1995.
- 14) 巽籬・景山美葵陽. 1964. 育苗に關する研究. II. トマト苗の素質について (2). 園試報. A 3 : 133-159.
- 15.) 塚越覚・伊東正・篠原温. 1993. 育苗期間中の短日と低温処理がイチゴ“女峰”の体内生理に及ぼす影響. 生環調. 31 : 223-229.
- 16) Went, F. W. and M, Carter. 1948. Growth responses of tomato plants to applied sucrose. Amer. J. Bot. 35 : 95-106.
- 17) Yamada, N. and Ota, Y. 1957. Physiological character of rice seedling (II). Pro. Crop Soc. Sci. Japan. 26 : 78-80.
- 18) 吉岡宏・中川泉・西村仁一. 1994. 花芽分化促進のための低温・短日処理がイチゴ苗の生育と根の呼吸活性に及ぼす影響. 近畿中国農研. 88 : 39-43.