

平成 22 年 5 月 19 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007 ～ 2009
 課題番号：19580300
 研究課題名（和文） 水管理による植物苗の中長期保存に関する研究
 研究課題名（英文） Studies on preservation of mid/long term of plant seedling
 in water management
 研究代表者
 宮本 眞吾 （ MIYAMOTO SHINGO ）
 日本大学 生物資源科学部 准教授
 研究者番号：20174211

研究成果の概要（和文）：本研究は与える養液の量を中心として、光の種類や量を管理することで植物苗の中長期保存を目的にして行った。その結果、研究に用いたトマト苗では、給液量を3～5 g 程度に調節し、光の強さを $20 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ として、LED の光質を赤：青＝1：2もしくは青の比率がもっと多い1：3とすることで、苗を正常な状態に維持しながら3～4週間遅らせることができた。これらの結果は、植物苗の中長期保存や外国への輸出、更には宇宙での生産などに活用できるものである。

研究成果の概要（英文）：

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2008 年度	60,000	180,000	780,000
2009 年度	50,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：水ストレス，生長抑制，給液量，LED，光質，光量

1. 研究開始当初の背景

植物苗の保存および品質保持に関する研究は、10年ほど前から国内外の一部の研究者によって行われ始めた。富士原らは「セル成型苗の低温貯蔵における微弱照明の効果」（1996，農業および園芸71(6)，61-66）において、セル苗を低温障害の少ない温度範囲内で、かつ苗の生命維持のために必要な最低限の微弱光を与えることで、苗の貯蔵実験を行い、その可能性と問題点などについて述べて

いる。同じように、古在らもHeinsら（1992）の研究を参考にしながら、「弱光下低温貯蔵によるナスセル成型苗の生育抑制および苗質維持」（1996，生物環境調節34(2)，135-139）と題して、低温弱光下でのセル苗の品質保持実験を行っている。Heinsらや古在らが示しているように、暗黒化での苗の貯蔵は品質の低下を招くだけでなく、低温に対する耐性も悪くなり、貯蔵のメリットが失われてしまうことを指摘している。これらの報告はセル成

型苗に微弱光照射をすることにより、セル苗の二酸化炭素交換速度がおおよそゼロ付近に維持され、苗の生育や品質および移植後の生長に影響を及ぼすことを指摘した。本田らは「花壇苗のセル成型苗における低温貯蔵中の照明の効果」(2000, 静岡県総合技術センター研究報告) 12品目の花壇苗を用いて低温障害が起こりにくい範囲の温度(7~11℃)において、照射する光の光質と温度の関係などについて検討し、やや高めの温度(11℃)において貯蔵中における照明の効果が見られたことを報告している。

しかしながら、これらの研究では貯蔵に関する技術的な面の可能性については述べているが、実用面における解決すべき問題であるコスト面については、いずれも言及しておらず、また、実用化に至っていないことから、これらの問題を解決する技術面のさらなる研究が必要である。

本研究ではこれらの解決すべき問題を克服するために、通常の苗生産とあまり変わらない生産環境下で、苗の貯蔵および品質の保持ができないかについて検討を行うものである。本研究は苗の貯蔵の実用化を目指したものである。

2. 研究の目的

本研究では以下の事柄を主な目的として研究を行う。

(1) 給液量制御試験: ロックウールキューブを用いた場合のトマト苗の最少生育水分量を把握し、その時の苗の生長量、茎の肥大量、葉の増加数、養液消費量(蒸散量)などについての基本的なデータを収集し、苗の生育に必要な水分量について検討する。

(2) 光量制御試験: 光の基本的な条件として、光量の差がトマト苗の生長に与える影響について検討し、今後の光量調節のときの基本的なデータとする。

(3) 光質制御試験: トマト苗が、光の状態でのような影響を受けるかについて基本的なデータを収集するため、LEDの色配合割合(光質)を変えて照射した場合の、トマト苗の生長量、茎径の肥大量、葉の増加数、養液の消費量などに与える影響について検討する。

(4) 給液量・光質同時制御試験: 給液量と光質を同時に制御した場合のトマト苗の生長について、常時照射並びに日長をつけた場合について検討する。

以上のようなことを総合して、水ストレスおよび光質を利用した制御による苗の中長期保存の可能性について検討する。

3. 研究の方法

本実験は目的の中の各項目に合わせて以下のような方法で行った。

(1) 給液量制御試験

実験に用いた供試植物は、プラスチック容器に入れたロックウールキューブ(ロックミニ, 30×28×30, (株)柴田園芸)に播種し、本葉が3枚以上になったとき、アルミホイルで苗だけが出るように覆い、容器等からの蒸発と根に光が当たるのを極力防ぐようにした。これは今後実験に使用したすべての苗に共通である。実験に供試したトマト苗(桃太郎T93, タキイ(株))は本葉が4枚以上の苗である。実験はBIOTRON(日本医科器械製作所, NC-350SC)内で、温度26℃, 湿度70%, 日長12h, 光合成有効光量子束密度(PPFD) $65 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ の条件で全期間通して行った。

実験ではA~Eの5試験区(各区5株)と対照区(3株)を次のような総量制御(苗+ロックウール+容器+アルミホイル+養液)の形で給液量を制御した。A19g, B20g, C21g, D22g, E23g, 対照区60gとしたが、各質量のうち容器等の平均質量はおおよそ14.5gである。

測定項目は苗丈、茎径、本葉数、養液消費量である。苗丈および茎径はデジタル写真撮影後、画像解析ソフトにて計測し、養液消費量は総質量を計測した。

(2) 光量制御試験

実験に用いた供試植物はトマト(桃太郎はるか, タキイ(株))で、本葉5枚展開以下の苗を3株を1組として使用した。実験は恒温恒湿庫(日本フリーザー(株), 1800×1800×2400mm)内で庫内温度25℃, 庫内湿度40%一定として行った。用いたLED装置(110×75mm, シップス(株))には砲弾型LED素子100個を装着し、電流制御による調光を行い、各供試苗の頭頂部における光量子束密度を正確に必要な量に調光した。各苗に与える給液量は総量60g(養液+苗+容器等の質量)一定とした。光量制御実験に用いた光はLED赤:青=2:1(以後、LED2:1と表記)および高圧ナトリウムランプ(以後、HPSと表記)で、それぞれのPPFDを20, 30, 40, $60 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ とし、24時間照射を行った。それぞれの試験区表記を以下のようにして表した。

①LED20, ②LED30, ③LED40, ④LED60, ⑤HPS20, ⑥HPS30, ⑦HPS40, ⑧HPS60

測定項目は苗丈、茎径、節間長、本葉数、養液消費量で、節間長は苗丈同様、デジタル写真撮影後、画像解析ソフトにて計測した。

(3) 光質制御試験

実験に用いた供試植物は本葉3枚展開以上のトマト(桃太郎はるか, タキイ(株))で、実験装置、庫内温湿度、給液量、照射時間は光量制御実験と同じである。本実験では、供

試植物に与える光質を変えて LED 8 試験区と HPS 1 試験区の 9 試験区を設けた。各試験区の色配合比は以下の通りで、各区で照射した光量は $PPFD60 \mu mol/m^2s$ である。各区同時に用いた供試植物は 3 株である。

- ①LED 赤, ②LED 青, ③LED1:1:1, ④LED1:2, ⑤LED1:1, ⑥LED2:1, ⑦LED3:1, ⑧LED4:1, ⑨HPS



LED 赤 LED 青 LED2:1 LED1:1:1

図 1 LED の色配合例

ただし、各 LED 色配合比は赤 : 青 (: 緑) の順番である。図 1 には使用した LED の色配合例を示している。

測定項目は苗丈、茎径、節間長、本葉数、養液消費量、蒸散量、二酸化炭素吸収量である。蒸散量はリーフポロメーター (メイワフォーシス SC-1) を使用し、二酸化炭素吸収量は CO_2 アナライザ (メイワフォーシス (株)) により計測した。他の計測項目は前述の方法と同じである。

(4) 給液量・光質同時制御試験

実験に用いた供試植物は本葉 3 ~ 4 枚展開のトマト (桃太郎はるか, タキイ (株)) で、実験装置、庫内温湿度は光質制御実験と同じである。本実験では、供試植物に与える給液量と光質を同時に変えて実験を行った。給液量については総質量 (養液+苗+容器等の質量) を管理し、苗が萎れない限界点で保持する方法をとったため、各供試植物で総質量に若干差が出た。本試験で用いた試験区は大きく分けて、常時照射区と明期 12 時間日長照射区である。それぞれの区に LED の配合比を変えた区と日長照射区に HPS 区を設けた。設けた試験区は以下の 7 通りである。各試験区における光量は、苗の生長を抑制するために、光量制御実験の結果を踏まえて、全ての試験区において $PPFD20 \mu mol/m^2s$ とした。

常時照射区 ; ①常時 LED2:1, ②常時 LED1:1, ③常時 LED1:2

日長照射区 ; ④日長 LED2:1, ⑤日長 LED1:1, ⑥日長 LED1:2, ⑦日長 HPS

測定項目は苗丈、茎径、節間長、本葉数、養液消費量、二酸化炭素吸収量である。

4. 研究成果

(1) 給液量制御試験

トマト苗の給液量を制限する上で、苗が必要する養液量を 15 日間測定した結果、養液の平均減少量は $8.57 \pm 2.13 g$ であった。ロックウールおよび容器等の質量が平均 $14.5 g$ であることから、供試苗の総質量は $20.9 \sim 25.2 g$

ほどあれば十分生育することが分かった。このため、今回の実験では予備実験の中間値である $23 g$ を最大の給液量として、そこから $1 g$ ずつ $19 g$ まで減少させた 5 段階の給液量区と十分な量 ($60 g$) の対照区を設けた。

その結果、図 2 に示すように苗丈の生長量は給液量が少ないほどその生長量は小さく、 $22 g$ 以下の区では 52 日間でおおよそ $40 mm$ ほどの生長量であったが、 $23 g$ を与えた区は $65 mm$ ほど生長し、対照区は $178 mm$ 生長した。その間に出現した葉の枚数は、対照区以外の区ではおおよそ 3 ~ 4 枚ほど増加して平均 8 ~ 9 枚着生しており、試験区間ではほぼ変わらない増加量であった。対照区ではおおよそ 8 枚ほどの増加し平均 12 枚になっていたの、給液量を制限した区では確実に生長が抑制されているのが分かる。

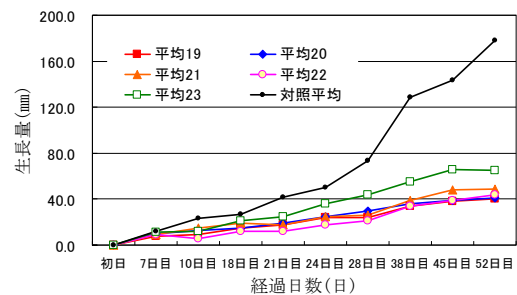


図 2 給液量が平均苗丈生長量に与える影響

つまり、給液量を制限することで、トマト苗の生長を十分抑制することが可能であることが分かる。しかしながら、今回は給液量を限界まで制限したことから、葉の萎れがかなりみられ、その後の生育に影響が出る可能性を否定できなかった。

また、52 日間という長期にわたって保持したことから、トマト苗の葉の段数が 8 段を超え、1 番花が着生する段数に達してしまっ。このため、実験終了後に定植してその後の様子を観察した結果、1 番花が落ちてしまっている苗がみられた。

以上のことから、苗に与える水ストレスはあまり強くない程度に制限し、保持期間も花が着生する本葉数に達する前に終了する必要があるということが分かった。苗に与える水ストレスは 1 日の給液量を $2 g$ 以上とする方がよいと思われた。

(2) 光量制御試験

本実験では光量差の影響を調べるために行ったことから、与える給液量は各苗とも $60 g$ と十分な量を与えた。このため、試験に供した各苗はその光量の下での標準的な生長を示したのと同じと考えることができる。設定区は同じ光量で LED 区と HPS 区の 2 つに分けて、その光質等の影響も考慮した。

結果を図 3 に示しているが、当然ながら、

光量の少ないものほど生長量は少なく、図3に示しているように、両区とも20, 30, 40, 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ の順に大きくなった。最も小さいLED20区では15.9mm, 最も大きいHPS60区では35.2mmと2倍以上の生長差となった。

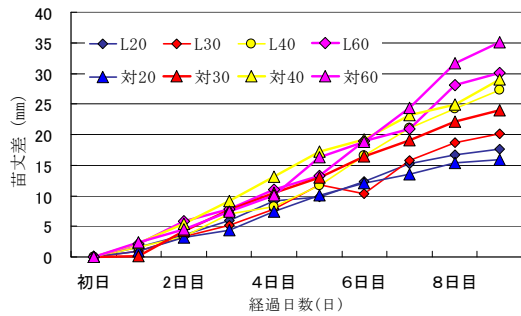


図3 光量が苗丈生長量に与える影響

表1には経過日数による茎径の肥大量を示しているが、生長量同様に光量が少ないほど茎の肥大量も小さく、LED20区では10日後で0.19mmほどの肥大量であった。LED区とHPS区を比較すると、40 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 以下では両者の差はそれほど大きくはなく、60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ になると両者の差が生長量、茎の肥大量ともに大きくなって現れた。これは光の当たっている面積内の平均光量子量の差が大きく影響しているものと思われ、今回用いたLEDとHPSの植物全体に対する光量の差が現れたものではないと思われる。

表1 各試験区の平均茎径の経日変化

	初日	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目
LED20	0.00	0.01	0.05	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	0.18	0.19
LED30	0.00	0.04	0.08	0.11	0.13	0.17	0.19	0.25	0.37	0.42
LED40	0.00	0.11	0.14	0.17	0.21	0.22	0.30	0.37	0.51	0.51
LED60	0.00	0.03	0.10	0.17	0.20	0.23	0.28	0.42	0.58	0.63
HPS20	0.00	0.06	0.07	0.12	0.15	0.18	0.18	0.20	0.23	0.32
HPS30	0.00	0.05	0.06	0.09	0.18	0.26	0.29	0.33	0.40	0.55
HPS40	0.00	0.02	0.12	0.19	0.23	0.28	0.33	0.37	0.44	0.57
HPS60	0.00	0.04	0.13	0.27	0.32	0.39	0.47	0.63	0.79	0.89

以上の結果から、トマト苗においては、LED区、HPS区ともにPPFDは20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ でも十分生長でき、また、10日間の保持でもその生長はわずかであることが分かった。

(3) 光質制御試験

① 苗丈の生長差

計測開始日の苗丈の大きさを基準に取り、計測日までの生長量の平均値を図4に示した。図4から全体が大きく3つのグループに分かれた。最もよく生長したのはLED1:1で、次にLED赤であった。LED1:1では、実験開始当初から苗丈がよく生長しており、赤と青の比率が等しいときが苗丈の生長には最も有効であったと思われる。表2に各配合色ごとの苗丈の生長量のt検定を行っているが、LED1:1はLED青、LED赤、LED1:1:1以外の各区と1%または5%で有意差が認められている。HPS区を標準と考えると、促進側に働いたのはLED1:1、LED赤で、同程度はLED1:1:1、LED

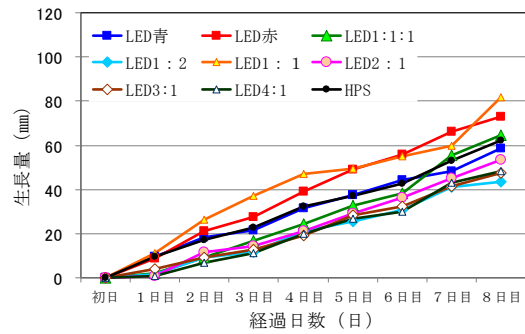


図4 光質が苗丈生長量に与える影響

表2 各光質による生長差のt検定

	LED赤	LED1:1:1	LED1:2	LED1:1	LED2:1	LED3:1	LED4:1	HPS
LED青	-	-	-	-	-	-	-	-
LED赤	-	-	*	-	-	-	*	-
LED1:1:1	-	-	*	-	-	*	*	-
LED1:2	-	-	-	**	-	-	-	*
LED1:1	-	-	-	-	*	*	*	*
LED2:1	-	-	-	-	-	-	-	-
LED3:1	-	-	-	-	-	-	-	-
LED4:1	-	-	-	-	-	-	-	**

有意差 * 5% ** 1%

青であり、抑制側に作用したのはLED2:1、LED4:1、LED3:1、LED1:2で、最も抑制されたのはLED1:2であった。どの区も光量子束密度は同じ60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ であるから、光質の違いにより、苗丈の生長に差が現れたものと考えられる。赤と青が混じっている場合は1:1の同程度の混合割合が最もよく、混合色の場合は赤の割合が多くなるほど、または青の割合が多い場合は、いずれも生長抑制側になっている。これはLED1:1:1が、混合色区の中ではHPS区と同程度と大きくなっていることから、トマト苗の苗丈の生長には、赤青の比率は同程度が最も促進作用があると考えられる。しかし、LED色の配合割合に明確な法則的な一定の傾向は見いだせなかった。

② 茎径の肥大量と苗の状態

次に、図5には茎径の肥大量を示している。茎の肥大量は基準として用いたHPS区が最も大きくなったが、苗丈の生長量では大きくならなかったLED3:1、LED1:2、LED4:1なども肥大する傾向を示している。また、LED1:1もHPS区などと同じくらいに茎の肥大が進んでいる。最も肥大しなかったのはLED1:1:1で、次いでLED2:1であった。

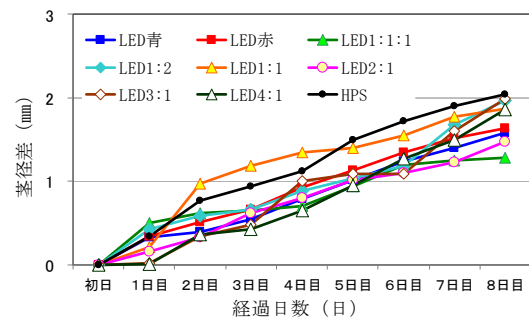


図5 光質が茎径肥大量に与える影響

図6に実験開始後9日目の各区の苗の状況を示す写真を示しているが、茎が肥大している区の葉の展開状況が、水平方向に広がるように展開しているのが特徴的である。それに比べて、LED1:1:1は葉が横方向に展開しておらず、光を受けにくい斜めになっているのが見て取れる。これはLED青も同じ傾向にあり、茎径がそれほど大きくなっていない。また、LED赤は葉が垂れたようになっていることが特徴的である。最も小さかったLED1:2は横方向に展開する傾向を示しているが、苗が生長しておらず、葉の大きさが他より小さめであったり、枚数が少ないようである。これらの要因が茎径の肥大を抑制しているものと思われる。

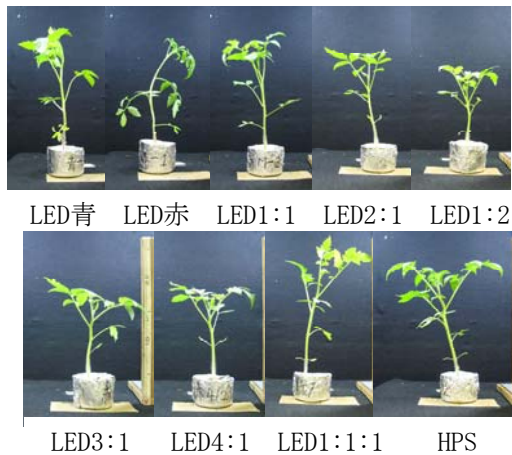


図6 各光色区の生長状況

以上のようなことから、LED1:1はトマト苗の生長(苗丈並びに茎径)に促進側に働く傾向にあり、最も抑制側に働く傾向をもつ光色は、LED1:2であることが分かった。

光質はトマト苗の生長に微妙に影響を与えており、光受容体が光質の差異を細かく感知し、葉の展開の仕方や茎の生長に大きく影響を与えているものと思われる。

(4) 給液量・光質同時制御実験

前述のように、給液量を制限することで苗の生長抑制が可能なことから、給液量を徐々に減少させ、苗が萎れない程度に保持し、光量は生長が最も抑制されたPPFD20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 下で、光質は抑制側に作用したLED1:2と促進側に作用したLED1:1とHPS(日長のみ)の光を中心にして、常時(24時間)照射と日長(12時間明期)照射について実験を行った。しかし、今回使用したLED素子は赤と青では光量の差が大きく、LED1:1とした場合、実際には赤対青の光量比が1:1になっていなかったことから、その比を1:1に近づけるためにLED2:1を追加して用いた。

① 給液量の変化

図7に各実験区の平均給液量の変化を示している。苗が萎れない程度という制約から、各個体により給液量が若干異なったが、11日目くらいからはその幅も小さくなり、多少日による変動はしているものの、ほぼ一定値に近い値をとっている。給液量試験結果から、あまり強い水ストレスをかけない方が苗の状態がよいことが分かっているため、最低でも2g以上の液量を与えた。この試験での給液状態はうまく保持されているとあってよく、先の試験結果から、今回の供試苗は十分な水ストレス下に置かれており、かつ正常な生育範囲内のものであると思われる。

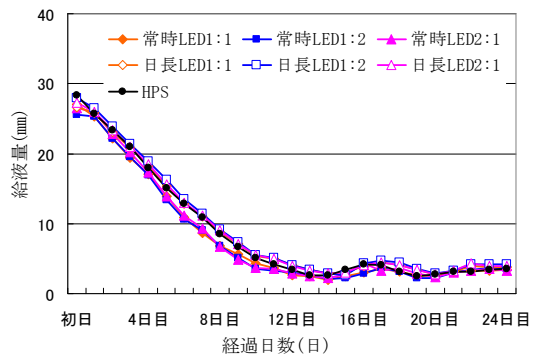


図7 各試験区の給液量変化

② 苗の生育

図8には25日間生育させた苗の生長量を示している。最も抑制されたのは日長LED1:2で24日目に生長量は平均28.9mmである。常時照射と日長照射の場合の差は、同じ光質間では有意な差は見られなかった(表3)。今回の光質による生長差を見ると、光質だけについて試験を行ったときに最も促進側に影響したLED1:1がそれほど大きく影響せず、

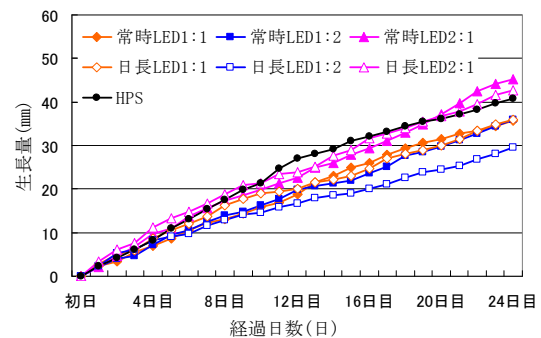


図8 各試験区の給液量変化

表3 光質が苗丈生長量に与える影響

	常時LED1:2	常時LED2:1	日長LED1:1	日長LED1:2	日長LED2:1	HPS
常時LED1:1	-	**	-	*	*	-
常時LED1:2		**	-	-	*	-
常時LED2:1			*	**	-	-
日長LED1:1				*	-	-
日長LED1:2					*	*
日長LED2:1						-

有意差 * 5%, ** 1%

LED2:1 が促進側に働いている結果が出ている。これは先にも述べたが、近年 LED 素子の色による光量の差が大きくなってきており、特に、実験で用いている 660nm 付近にピークをもつ赤色の素子は、青色に比べて出力が小さいため、この影響が出ているのではないと思われる。今回はそれを考慮して、LED2:1 を実験に取り入れた結果、常時照射でも日長照射でも他の区と比べて大きく生長しており、他の区との間に 1% もしくは 5% で有意差が認められた。今回の試験結果を見る際には、これに注意しながら結果を考える必要がある。

生長量を光質制御の場合と同じ 8 日目と比較してみると、その差は大きく現れており、光質制御で最も抑制された LED1:2 で開始後 8 日目には 43.5 ± 13.3 mm であるが、給液量・光質同時制御では 8 日目では常時照射と日長照射の平均で 13.4 ± 3.4 mm と半分にも満たない生長量である。同時制御で最も促進側に働いた LED2:1 でもその生長量は 8 日目では常時照射 18.1 ± 4.2 mm であることから、水ストレスをかけて生長させた場合は、正常に生長させた場合と比べて、その抑制効果は明かである。その中でも光質の違いにより生長抑制作用が現れており、日長 LED1:2 区では 28.9 ± 4.9 mm と 25 日間生育させたも僅か 30mm 程度とその抑制効果が顕著に表れている。

給水量制御だけの場合と比較すると多少大きく生長するものの、本葉の出現枚数を比較すると同時制御の場合、全体平均で 5.4 枚であるのに対して、給水量制御のみの場合は 7.0 枚となっている。これは、同時制御では花が着生するまでにはまだ十分な時間があり、このまま苗として用いることができることを示している。また、図 9 には苗の状態を比較した写真を示しているが、これを見ても同時制御を行った場合は普通に生育していることが



19 g 区 21 g 区 対照区



常時LED2:1 常時LED1:2 HPS

図 9 給液量制御(上)と給液量・光質同時制御(下)の場合の苗の状態

分り、正常な生育を考えると、萎れないことを条件に行った幅を持たせた養液補充を行う方法が活きており、かつ光量と光質を制御するのが望ましいと考えられる。

HPS 区を水ストレス下の標準と考えると、赤と青の色の割合は 1 : 2 もしくはもっと青色が多い状態が適していると思われる。

今回は上述したような光質による光量差をカバーできていないことから、今後更にこの点を詰める必要がある。

(5) 総括

本研究の主題である植物苗の中長期保存を、水ストレスによって行うことを目的にして、与える光の量および光質を調節しながら研究を行った。

その結果、苗の状態を正常な状態に維持しながら、与える給液量を調節することで、十分苗の生長を遅らせることができることが分かった。今回のようなロックウールを培地として植物を個々に管理した場合は、およそ 3 ~ 5 g 程度に調整することで、3 ~ 4 週間は十分に苗としての状態を保持できることが分かった。また、光量は苗に障害が出ない程度の PPF $20 \mu \text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ が適当であり、その光質はトマト苗の場合は赤 : 青の比を 1 : 2 もしくは青の比率がもっと多い 1 : 3 が生長を遅らせる光質であるという結果を得た。

これらの結果は、大量に生産されている植物苗の中長期保存のために活用でき、外国への輸出および宇宙での生産のための苗作りとして活用できるものである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 2 件)

1 : 宮本 眞吾, 植物苗の中長期保存を目的とした生長制御に関する研究, 日本農作業学会, 平成 21 年 4 月 3 日, 福岡県前原市

2 : 宮本 眞吾, LED を利用したトマト苗の生長制御に関する研究, 農業施設学会, 平成 20 年 8 月, 筑波大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮本 眞吾 (MIYAMOTO SHINGO)
日本大学 生物資源科学部 准教授

研究者番号 : 20174211

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号 :