小型冷蔵施設を閉鎖型苗生産システムとして利用する ためのユニット型多段式育苗装置の簡易気温制御

渋谷俊夫¹・和田光生¹・富樫雄三²・大西鉄男³・清田 信¹

¹ 大阪府立大学大学院農学生命科学研究科 599-8531 大阪府堺市学園町 1-1

² 大阪府立大学農学部 599-8531 大阪府堺市学園町 1-1

³ 関西電力株式会社 530-8270 大阪市北区中之島 3-3-22

A Simplified Temperature Control System of the Unit-type Multistage Transplant Culture System for using a Small-sized Refrigeration Chamber as the Closed Transplant Production System

Toshio SHIBUYA¹, Teruo WADA¹, Yuzo TOMIKASHI², Tetsuo OHNISHI³ and Makoto KIYOTA¹

¹ Graduate School of Agriculture and Biological Science, Osaka Prefecture
University, Gakuen-cho 1-1, Sakai, Osaka, 599-8531, Japan

² College of Agriculture, Osaka Prefecture University, Gakuen-cho 1-1, Sakai, Osaka, 599-8531, Japan

³ The Kansai Electric Power Co. Inc. Nakanoshima 3-3-22, Kita-ku, Osaka, 530-8270, Japan

Abstract

A simplified temperature control system for the unit-type multistage transplant culture system was developed and applied to tomato transplant culture using a small-sized refrigeration chamber. The transplant culture unit was installed into the chamber maintained at approximately 15°C. Air temperature inside of the culture unit rose to a higher temperature than the outside during the photoperiod. When the temperature inside of the culture unit reached a set point of 25°C, ventilation fans located above the transplants were turned on with a temperature controller, thereby decreasing the temperature inside the culture unit. The fans were turned off when that ventilation reduced the temperature inside of the culture unit below a predetermined temperature. In this manner, the culture unit temperature was controlled between 24.5°C and 26.5°C during the photoperiod even though the outside temperature fluctuated between 13.5°C and 17.5°C. After culture of 16 d, height of the tomato transplants in winter season culture were significantly more developed than in summer season culture, despite use of the semi-closed chamber of the equal temperature setting and artificial lights for both cultures. We infer that such growth resulted from the higher relative humidity in the winter culture than in the summer culture by seasonal variation of cooling load and refrigerator ability. The relative humidities inside of the culture unit in the summer and winter season cultures were 40% and 60%, respectively.

Keywords : air current, artificial light, relative humidity, tomato transplant, ventilation

緒 言

2004年2月16日受付

2004年4月15日受理

Corresponding author : Toshio Shibuya

(shibuya@envi.osakafu-u.ac.jp)

前報²⁾において、農業用閉鎖型施設の多目的利用を目的としたユニット型多段式育苗装置の概要を紹介した。

この装置は小型・軽量の育苗ユニットを複数台積み重ねることによって多段式の育苗装置を構築できることから、

既存の閉鎖型施設への導入が容易であるという特徴を持つ。現在、農業用の閉鎖型施設として、青果物の貯蔵などに用いられる小型冷蔵施設が比較的普及している。これらの施設の多くは設定気温の上限が苗の生育適温よりも低いことから、育苗装置を導入して閉鎖型苗生産システムとして利用するためには、冷蔵施設の気温とは別に各育苗ユニットの気温を制御する必要がある。本研究では、育苗ユニット内の気温を連続的に計測して、育苗ユニット上方に取り付けられた換気用ファンの動作にフィードバックすることで育苗ユニット内の気温を簡易に制御するシステムを試作した。この気温制御方法は、育苗装置外の気温が育苗ユニット内の設定気温よりも低いことが前提となる。また、ある程度の気温変動がある空間でも、育苗ユニット内の気温を簡易に制御できるという特徴を持つ。

本研究ではこの気温制御方法の実用性を検討するために二つの実験をおこなった。実験1ではコンピュータおよび入出力装置を用いた気温制御システムを試作し、ファンの動作と気温および気流速度の変動との関係を詳細に調べた。実験2では、汎用の小型冷蔵施設を閉鎖型苗生産システムとして利用することを想定して、この気温制御方法を用いた育苗試験を異なる季節でおこない、育苗期間中における気温および相対湿度、苗の生育を調べた。

材料および方法

1. ユニット型多段式育苗装置の概要

ユニット型多段式育苗装置の育苗ユニット (Fig. 1) は、市販のプラスチック製容器 (セキスイコンテナ・S-72, 積水化学工業㈱製) に照明装置、換気装置および灌水装置を取り付けたもので、育苗ユニットを複数台積み重ねることによって多段式の育苗装置を構築できる⁶⁾。本稿では灌水装置を含めた多段式のシステム全体を育苗装置と呼び、その中に構成される照明装置および換気装置を含めた1段分のユニットを育苗ユニットと呼ぶ。光源には55 W ツイン型白色蛍光灯 (FPL55EX-N, 松下電器産業㈱製) を2灯または4灯用いた。蛍光灯を取り付けた合板には反射用のアルミフィルムを貼り付けた。育苗ユニット4側面にはアルミニウム製の反射板を設置した。照明装置に取り付けられた換気用ファン (MU825S-13, オリエンタルモーター㈱製, 9.5 W) が動作することによって育苗ユニット内の空気は照明装置上部の空間に送られ、照明装置上部側面の換気窓から育苗ユニット外へ排気された (Fig. 2)。育苗ユニット外の空気は育苗ユニット側面の換気窓から育苗ユニット内に流入した。育苗ユニット内の気温を連続的に計測し、ファンの動作にフィードバックすることによって育苗ユニット内の気温を制御した。

2. 実験1：ファンの動作制御による育苗ユニット内の気温および気流速度の変動

ファンの動作制御による気温および気流速度の変動を

Fig. 1 Schematic diagram of the culture unit. Unit of length : mm

調べるために、気温、気流速度およびファンの動作を連続的に記録できるシステムを試作した (Fig. 3). 気温は T 熱電対 (線径: 0.1 mm) によって計測され、入出力装置 (Green kit 88, ㈱イー・エス・ディー製) を介してコンピュータに送られた。計測された気温が、コン

Fig. 2 Schematic diagram of air flow due to ventilation.

ピュータ内のプログラム (自作) で設定された値よりも高くなると、コンピュータから入出力装置に信号が送られファンが作動した。信号の入出力は 1 秒間隔でおこなった。本実験ではファンの動作と気温、気流速度の関係を詳細に調べるために、比較的応答の速い熱電対を用いて 1 秒間隔で計測・制御したが、後述の実験 2 のように汎用の温度調節器でも気温制御は可能である。気温およびファンの動作状況はコンピュータに記録された。育苗ユニット外の気温は約 22°C、育苗ユニット内の気温の設定値は 25°C とし、蛍光灯の点灯本数は 2 本または 4 本とした。育苗ユニット内にパーミキュライト培地を含む育苗トレイ (長さ: 530 mm × 幅: 270 mm, 72 穴) を設置した。育苗ユニット内の気流速度を熱式風速計 (クリモマスター Model 6511, カノマックス㈱製) を用いて測定した。気温および気流速度の測定位置は育苗ユニットの中央、培地面からの高さ 50 mm とした。

3. 実験 2: 小型冷蔵施設を利用したトマトの育苗

育苗装置を小型冷蔵施設に導入して、トマト (*Lycopersicon esculentum* Mill, 品種: 桃太郎) の育苗試験をおこなった。試験は 2003 年 6 月 4 日～6 月 20 日および 2003 年 11 月 12～11 月 28 日のそれぞれ 16 日間おこなった。128 穴の育苗トレイ (長さ: 530 mm × 幅: 270 mm) に播種し、27°C の発芽室で発芽させた後、育苗装置にトレイを設置して育苗を開始した。培地にはロックウール細粒綿 (日東紡㈱製) を用いた。育苗装置は大阪府立大学構内の小型冷蔵施設 (ダイキン工業㈱製、幅: 1.7 m × 奥行: 1.7 m × 高さ: 2.1 m) 内に設置し

Fig. 3 Schematic diagram of the temperature control and measuring system for evaluation of the temperature control system.

A general-purpose temperature controller was used for the tomato transplant culture instead of the computer and I/O device.

た。冷蔵施設の設定気温は終日 15°C とした。育苗ユニットの光源には 55 W ツイン型白色蛍光灯 (FPL55EX-N, 松下電器産業(株)製) を 2 灯用い、午前 9 時から翌午前 1 時の 16 時間点灯した。育苗ユニット内の育苗トレイ培地表面上における光合成有効光量子束密度は $250 \sim 300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ であった。明期において、照明の熱負荷によって育苗ユニット内の気温が 25°C 以上になると育苗ユニット上部のファンが動作するように on/off 制御した。暗期は、育苗ユニット内の気温を制御せずに成りゆきとした。これによって育苗ユニット内の気温は明期 25°C 、暗期 15°C に設定された。ファンの動作制御には市販の汎用温度調節器 (デジタルパルスサーモ DP-3, アズワン(株)製) を用いた。育苗試験において、実験 1 で用いたコンピュータおよび入出力装置に代えて、より廉価な市販の汎用温度調節器を用いたのは、現場への普及性を考慮したためである。温度調節器の温度センサ (JPt 100 Ω , 直径: 4 mm, 長さ: 200 mm) は苗個体群直上にワイヤーで固定した。育苗ユニット内の気温および相対湿度を連続的に計測した。気温および相対湿度の計測には、6 月の育苗試験では T 熱電対 (線径: 0.32 mm) および相対湿度センサ (CHS-GSS, TDK (株)製) を、11 月の育苗試験では温湿度記録器 (TR-72S, (株)ティアンドデイ製) を用いた。毎日 13 時に灌水装置を作動させて培養液をトレイ底面から与えた。培養液には大塚ハウス A 処方 1/2 単位を用いた。灌水用の養液タンクは育苗ユニットの下に設置した。灌水方法の詳細については前報⁹⁾を参照されたい。育苗終了時に 5 個体の苗の生体重および草丈を測定した。苗を温室内の養液栽培装置に定植して栽培することで花芽の着生葉位を調べた。

結果および考察

1. ファンの動作制御による育苗ユニット内の気温

および気流速度的変動

育苗ユニット内の気温は、ファンの動作を制御することによって、蛍光灯 2 本、4 本点灯時ともに $24^{\circ}\text{C} \sim 26^{\circ}\text{C}$ の範囲に制御された (Fig. 4 および Fig. 5)。蛍光灯 4 本点灯時にはファンの動作時間が蛍光灯 2 本点灯時よりも長くなり、育苗ユニット内の気流速度が増大した。ファンの作動時間は蛍光灯 2 本点灯時において全時間帯の約 1/6、4 本点灯時において全時間帯の約 1/2 であった。平均気流速度は蛍光灯 2 本点灯時には 0.18 m s^{-1} 、4 本点灯時には 0.28 m s^{-1} であった。このことから、ファンの動作による気温制御では、育苗ユニット内への熱負荷が大きくなることによってファンの動作時間が長くな

Fig. 4 Time courses of air temperature inside and outside of the culture system with (a) two and (b) four lamps.

り、その結果、育苗ユニット内の気流速度が大きくなることが示された。苗個体群周辺の気流速度は苗の光合成や蒸散などのガス交換に大きく影響をおよぼす^{2-4,9)}ことが知られている。特に本研究において測定された気流速度の範囲 (0.5 m s^{-1} 以下) では、気流速度が植物のガス交換に及ぼす影響が顕著である¹²⁾。したがって、ファンの動作による気温制御では、このような熱負荷の変動による気流速度的変動に留意する必要がある。ファンの送風能力や換気窓の大きさは、育苗ユニット内の気流速度やその変動幅に影響をおよぼす。苗の生育に好適な気流速度条件するには、換気窓の大きさやファンの送風能力などを、育苗ユニット内の熱負荷の条件に応じて調節する必要があると考えられる。

2. 冷蔵施設を利用したトマト育苗時における気温

および相対湿度の経時変化

冷蔵施設を利用したトマト育苗時において、冷蔵施設内の気温 (育苗ユニット外気温) は $13.5^{\circ}\text{C} \sim 17.5^{\circ}\text{C}$ の範囲に制御された (Fig. 6)。育苗ユニット内の気温は、6 月の育苗試験、11 月の育苗試験ともにほぼ設定値に制御され、明期において $24.5^{\circ}\text{C} \sim 26.5^{\circ}\text{C}$ の範囲、暗期において $14.5^{\circ}\text{C} \sim 15.5^{\circ}\text{C}$ の範囲であった (Fig. 6, Fig. 7)。明期における育苗ユニット内気温の変動幅は約 2°C で、

Fig. 5 Time courses of air temperature and air current speed in the culture unit with controlling fans when (a) two or (b) four lamps were turned on.

Fig. 6 Time courses of air temperature inside and outside of the culture unit during the tomato transplant culture.

A general-purpose temperature controller was used for controlling the temperature inside of the culture unit instead of the computer and I/O device shown in Fig. 3.

冷蔵施設内の気温（育苗ユニット外気温）の変動幅約 4°C の約 $1/2$ であった。育苗ユニット内の気温が 13 時に一時的に低下したのは、灌水装置によって育苗ユニット底部に比較的温度の低い培養液が供給されたためである。明期における育苗ユニット内の相対湿度は 6 月の育苗試験では約 40%，11 月の育苗試験では約 60% であった

Fig. 7 Time courses of air temperature inside and outside of the culture unit, and outside of the refrigeration chamber with the culture unit installed during the tomato transplant culture in different seasons.

AMeDAS data in Sakai served as the record for the air temperature outside of the refrigeration chamber.

Fig. 8 Time courses of relative humidity inside of the culture unit during the tomato transplant culture in the different seasons.

(Fig. 7). 育苗ユニット内の相対湿度が6月の育苗試験において11月の育苗試験よりも低かったのは、閉鎖施設の冷房負荷やエアコンの成績係数が閉鎖施設外の気温によって異なる^{5,6)}ことに起因すると考えられる。すなわち6月の育苗試験では冷蔵施設外の気温が11月の育苗試験よりも高かった (Fig. 8) ことから、冷蔵施設の冷房負荷が比較的大きくなり、またエアコンの成績係数が低下した結果、冷蔵施設のエアコンの動作時間が長くなり、エアコンによる除湿量が増大したと推察される。6月および11月の育苗において、気温、光強度など、湿度環境以外の環境要素はほぼ同じであった。また、育苗ユニットへの照明の熱負荷は、6月および11月の育苗において同じであることから、気流速度もほぼ同じであったと考えられる。

3. トマト育苗終了時における生体重、草丈および花芽の着生葉位

育苗終了時におけるトマト苗の生体重は、6月の育苗では 1.44 ± 0.12 g/plant、11月の育苗では 1.76 ± 0.23 g/plant (平均値 $\pm$ 標準誤差, $n=5$) で、両者には有意差は認められなかった。育苗開始16日後における苗の草丈は6月の育苗では 102 ± 7 mm/plant、11月の育苗では 152 ± 6 mm/plant (平均値 $\pm$ 標準誤差, $n=5$) であり、両者には1%水準で有意差が認められた。花芽の着生葉位は、6月の育苗では 9.3 ± 0.4 、11月の 10.4 ± 0.2 (平均値 $\pm$ 標準誤差, $n=10$) で、両者には5%水準で有意差が認められた。このように、人工光源を用いて同じ期間で育苗しても、時期によって苗の生育が異なったのは、前述の湿度環境の変動が一因と考えられる。6月育苗および11月育苗における花芽の着生葉位はこ

れまで報告されている閉鎖型苗生産システムでの事例^{1,7)}と同等であり、苗の品質として正常な範囲であったと考えられる。

まとめ

以上より、育苗ユニット内の気温を換気用ファンの動作にフィードバックすることによって育苗ユニット内の気温を比較的簡易に制御できた。小型冷蔵施設でトマトの育苗をおこなった結果、人工光源を用いて閉鎖施設で育苗したにもかかわらず、季節によって苗の生育が異なった。これは、冷蔵施設の冷房負荷やエアコンの成績係数の季節的な変動によって、冷蔵施設内の相対湿度が変動したことが一因であると考えられた。育苗期間の湿度環境は苗の成長、移植後の環境ストレス¹⁰⁾、苗の貯蔵性¹¹⁾などに大きく影響することから、湿度調節ができない閉鎖施設を用いて苗生産システムを構築するときには、このような季節による閉鎖施設内の湿度環境の変動に留意すべきであろう。

文 献

- 1) 金子健一, 渋谷俊夫, 古在豊樹: 閉鎖型苗生産システムに関する研究 (1) トマトセル成型苗の生育特性, 日本植物工場学会平成10年度大会学術講演要旨集: 48-49 (1998)
- 2) Kitaya, Y., Tsuruyama, J., Kawai, M., Shibuya, T. and Kiyota, M.: Effects of air current on transpiration and net photosynthetic rates of plants in a closed plant production. In "Transplant Production in the 21 st Century." (Ed. by C. Kubota and C. Chun.) Kluwer Academic Publishers, pp. 83-90 (2000)
- 3) Kitaya, Y., Tsuruyama, J., Shibuya, T., Yoshida, M., Kiyota, M.: Effects of air current speed on gas exchange in plant leaves and plant canopies. Adv. Space Res. 31: 177-1824 (2003)
- 4) Kitaya, T., Shibuya, M., Yoshida, M., Kiyota, M.: Effects of air current speed on photosynthesis of plant canopies under elevated CO₂ levels in a plant culture system. Adv. Space Res.: In press (2004)
- 5) 古在豊樹: 照明装置, 冷凍機および室内設備の消費電力, 古在豊樹編著, 閉鎖型苗生産システムの開発と利用—食料・環境・エネルギー問題の解決を目指して—, 養賢堂, pp. 79-87 (1999)
- 6) 大山克己, 古在豊樹: 人工光型植物苗工場における消費電力量と電力料金の試算例, 植物工場学会雑誌, 10(2): 96-107 (1998)
- 7) 大山克己, 真辺幸治, 大村好孝, 久保田智恵利, 古在豊樹: 閉鎖型苗生産システムと開放型苗生産

- システムの夏季におけるトマトセル成型苗の品質と資源消費量の比較例, 生物環境調節, 41(1): 57-61 (2003)
- 8) 渋谷俊夫, 猪田博子, 山口健一, 清田 信: 農業用閉鎖型施設の多目的利用を目的とした多段式育苗装置の簡易ユニット化, 植物工場学会誌, 15(4): 239-244 (2003)
 - 9) 渋谷俊夫, 古在豊樹: 気流速度が人工光源下におけるトマトセル成型苗個体群の純光合成速度および蒸発散速度に及ぼす影響, 生物環境調節, 36(3): 131-136 (1998)
 - 10) 渋谷俊夫, 寺倉涼子, 清田 信: 短期間の湿度処理がキュウリ実生の成長, 蒸散特性および挿し木後の成長に及ぼす影響, 生物環境調節, 41(4): 347-352 (2003)
 - 11) 寺倉涼子, 渋谷俊夫, 北宅善昭, 清田 信: トマト挿し穂採取用実生の育成中における低相対湿度が低温・低光強度下貯蔵中の挿し穂の品質に及ぼす影響, 生物環境調節, 41(4): 381-385 (2003)
 - 12) 矢吹万寿, 宮川秀夫: 風速と光合成に関する研究(第2報) 風速と光合成との関係, 農業気象 26(3): 137-141 (1970)