短　報

生物環境調節 41(1), 57-61, 2003

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

大山克己[1]・真辺幸治[2]・大村好孝[2]・久保田智恵利[2]・古在豊樹[2]

[1]日本学術振興会特別研究員・[2]千葉大学園芸学部

A Comparison between Closed-type and Open-type Transplant Production Systems with Respect to Quality of Tomato Plug Transplants and Resource Consumption during Summer

Katsumi OHYAMA[1], Koji MANABE[2], Yoshitaka OMURA[2], Chieri KUBOTA[2] and Toyoki KOZAI[2]

[1] *Research Fellow of the Japanese Society for the Promotion of Science*
[2] *Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo, Chiba 271-8510, Japan*

(Received January 21, 2002)

Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill., cv. Momotaro) plug transplants were grown in a closed-type (CTPS) and an open-type (OTPS ; i.e., greenhouse) transplant production systems during summer (11-15 August to 1 September, 2000). The quality of transplants and water consumption in the CTPS were compared with those in the OTPS. Electric energy consumption per transplant was estimated in the CTPS. The CTPS was a system designed to produce transplants under artificial light in a relatively airtight structure with thermally insulated walls, and to produce high quality transplants using minimal resources. The CTPS employed a sub-irrigation system. Air temperature in the CTPS was maintained at 28°C during a 16 h photoperiod and at 19°C during an 8 h dark period by using an air conditioner. The OTPS employed an overhead irrigation system. Air temperature in the OTPS was partly controlled by using roof and side ventilators, but varied from 23 to 43°C depending on the weather conditions. The quality of transplants was higher in the CTPS than in the OTPS. Electric energy consumption per transplant in the CTPS was 0.7 MJ (0.2 kWh), which corresponded to a cost of 2.9-3.2 Japanese Yen. The amount of water consumed during the transplant production period in the CTPS was 1/12-1/16 of that in the OTPS. These results suggested that value-added transplants could be produced at a lower water consumption of resources in the CTPS than in the OTPS at low electricity consumption.

Keywords: artificial lighting, electricity cost, *Lycopersicon esculentum*, water utilization efficiency of the system

2002年1月21日受付

はじめに

閉鎖型苗生産システム（以下，閉鎖型システム）では，システム外の環境に影響されることなく，システム内の環境を容易に調節できるので，苗育成期間の短縮や苗の高付加価値化が，温室などの開放型苗生産システム（以下，開放型システム）を用いた場合と比べ

Corresponding author: Katsumi Ohyama, fax: +81-47-308-8949, e-mail: ohyama@green.h.chiba-u.ac.jp

て容易である(Kozai, 1999)．閉鎖型システムとは，人工光源を用いて，システム内外間のエネルギおよび物質輸送が人為的に制御もしくは抑制されている空間の中で，苗を生産するシステムである．これまでにも，閉鎖型システムにおいてトマト（Kaneko et al., 1998），ハクサイ（Ohyama et al., 2000a），ナス（Ohyama et al., 2001）のセル成型苗の育成期間が短縮できることや，苗育成期間中の明期の長さを調節することにより夏季のホウレンソウ生産において，定植後の抽だいを抑制できる（Chun et al., 2000）などの高付加価値苗が生産できることが報告されている．

他方，トマト栽培において，夏季に生産された苗由来の植物体の第1花房の分化節位の上昇に起因して，果実の初期収量が低下することが問題となっている(Ito and Fujita, 1959 ; Obana, 1998)．これまでに，苗育成時の暗期における気温を低くすることで，トマト植物体の第1花房の分化節位は低下することが知られている（Itagi et al., 1992 ; Obana, 1998)．

閉鎖型システム内の気温や光強度，明期などの物理環境を適切に制御した場合，夏季においても第1花房の分化節位が低い植物体を得ることが容易にできると考えられる（Kaneko et al., 1998)．閉鎖型システムでは，従来の開放型システムと比べて，苗生産コストは同等もしくは減少することが予想されているが，電力コストなどの加算にともない苗の生産コストが上昇した場合でも，上記のような苗の高付加価値化にともなう苗の販売価格の上昇により，それを補える可能性がある（Kozai, 1999)．

本研究では，閉鎖型システムにおいて高付加価値をもつ苗を生産することを目的として，夏季におけるトマトセル成型苗生産を例として取り上げ，閉鎖型および開放型システムにおいてトマトセル成型苗を育成し，その終了時の生育，移植後の第1花房の分化節位および水消費量を比較した．あわせて，閉鎖型システムでは，苗育成にかかわる電気エネルギ消費量を調べた．

材料および方法

供試植物は，トマト（*Lycopersicon esculentum* Mill., 品種：桃太郎）とした．128穴のセルトレイ（128角プラグトレイ，日新農工産業(株)，0.28×0.55 m，以下，トレイ）にセル成型苗用培地（ナプラ養土，ヤンマー農機(株)）を充填した後，各セルに種子を1粒ずつ播種した．

閉鎖型システムとして，Ohyama et al.（2000c）と同じシステムを用いた．育成期間は17日間とした．播種後0～3および4～16日目のトレイ面上における光合成有効光量子束（以下，PPF）は，それぞれ0および320 μmol m^{-2} s^{-1} に設定した．1日あたりの明期は16時間とした．この場合の日積算PPF（1日あたりの明期×PPF）は17.3 mol m^{-2} となり，Kaneko et al.(1998)の示している9月中旬の晴天時における温室内の日積算PPFとほぼ同じである．

システム内の気温は，Itagi et al.（1992）の報告ならびに使用した家庭用エアコンの制御範囲により，育成期間を通して28/18°C（明期/暗期）に設定した．システム外の気温は，東京の夏季（7～9月）における平均気温（23～27°C，1961～1990，Tokyo Astronomical Observatory，2000)にもとづき，25°Cに設定した．システム内の CO_2 濃度は，播種後7日目以降の明期では1000 μmol mol^{-1} に設定した．相対湿度は制御しなかった．

播種後0および5日目には水を，9，12，14および16日目の明期開始時には培養液（大塚A処方，大塚ハウス肥料1号：0.75 g l^{-1}，2号：0.5 g l^{-1}，大塚化学(株)）を，それぞれトレイ底面から与えた．ここで，かん水方法として，余剰水および培地からもれでる重力水は回収し再利用する循環式底面かん水法を用いることを想定した．

開放型システムとして，千葉大学園芸学部（北緯：35.5°，東経：139.5°）にあるガラス温室（東西棟）を用いた．開放型システムにおける育成期間は，2000年8月11，13および15日から9月1日までのそれぞれ，21，19および17日間とした．ここで，開放型システムにおける播種日を3日設けたのは，天候等により育苗日数が影響されるためである．開放型システム内の物理環境制御およびかん水方法は，開放型システムでの慣行法に準じた．結果的に，天窓および側窓はほぼ全開であった．開放型システム内の気温は，天窓および側窓の開閉により手動で制御した．PPF，相対湿度および CO_2 濃度は制御しなかった．播種後0～8日目までは水を，9日目以降は培養液をトレイ上方から適宜与えた．ここで，余剰水および培地からもれでる重力水の回収は，行なわないことを想定した．

第1花房の分化節位を目視で確認するために，両システムでの苗育成終了後(2000年9月1日)，セル成型苗用培地を充填した直径12 cmのプラスチック製のポットに苗を移植して，千葉大学園芸学部にあるガラ

ス温室内で育成した．移植後，水または培養液を適宜与えた．

苗育成終了時に，15個体の生体重，乾物重，普通葉の葉枚数（以下，葉数）および茎長を測定した．移植後32日目に，第1花房の分化節位を15個体の植物体について調べた．ここで，植物体の第1花房の分化節位は，第1花房の分化前に分化した葉数で表すこととした．それぞれの測定項目の平均値間の差は，t検定用プログラム（SAS Inst., Ver. 6.12）を用いて検定した．

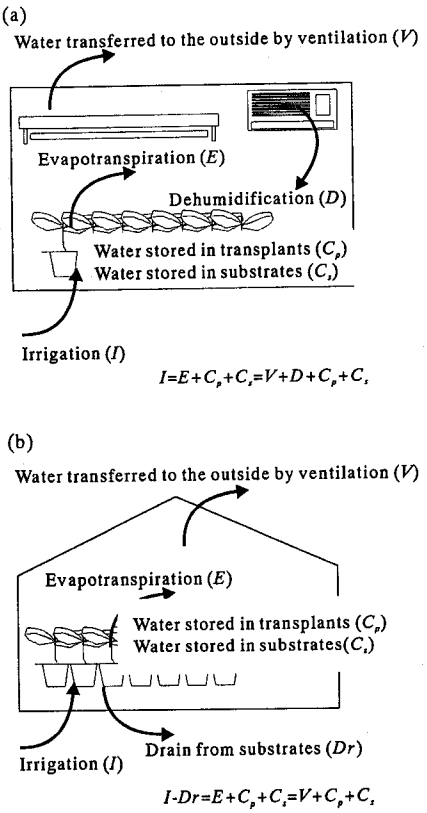

Fig. 1 Schematic diagram of water balance of (a) the closed-type and (b) the open-type transplant production systems.

両システムにおいて，システム内気温を気温センサおよびデータロガ（サーモレコーダ RS-11，タバイエスペック（株））を用いて測定した．測定間隔は，10分とした．閉鎖型システムの照明器具，空調器具および室内設備の電気エネルギ消費量は，それぞれ積算電力計を用いて測定した．Fig. 1に示したようなシステムの水収支に関する項目については，Ohyama et al. (2000b) と同じ手法を用いて測定もしくは推定した．かん水量（I）は，かん水前後のトレイ重量の差より求めた．蒸発散量（E）は，トレイ重量の経時変化より求めた．閉鎖型システムの除湿量（D）は，空調器具からの排水量と等しいと仮定した．苗育成終了時に苗および培地の含水量（それぞれ C_p および C_s）を求めた．閉鎖型および開放型システムにおける苗育成にかかわる水消費量（U）およびシステムの水利用効率（W）は以下の式を用いて推定した．ただし，開放型システムでは，$D=0$である．

$$U = I - D \quad (1)$$

$$W = \frac{D + C_p + C_s}{I} \quad (2)$$

ここで，システム内空気中の水（水蒸気）の変化量は，無視しうるほど小さいとした．

結果および考察

閉鎖型および開放型システムにおける育成終了時の苗乾物重，乾物率，茎長および葉数をTable 1に示す．閉鎖型システムで育成した苗由来の植物体の第1花房の分化節位は8.9となり開放型システムで育成した苗由来の植物体のそれよりも1.7～2.8低かった（Table 2）．

Table 1 Growth of tomato transplants grown in the closed-type (CTPS) and the open-type (OTPS) transplant production systems. Means±standard deviations of 14-15 samples are shown.

System	Transplant production period (d)	Dry weight (mg)	Percent dry matter	Stem length (mm)	No. of unfolded leaves
CTPS	17	160±20	10.2±1.4	112±0.7	3.9±0.3
OTPS	17	100±20**	6.7±1.0**	130±1.4**	3.9±0.3^{NS}
	19	140±20*	6.2±0.4**	172±1.0**	4.0±0.4^{NS}
	21	180±30^{NS}	7.1±0.6**	200±0.8**	4.5±0.5**

^{NS,*,**} Non significant or significant difference from transplants produced in the CTPS at $P<0.05$ or 0.01 by t-test, respectively.

Table 2 Number of nodes below the first flower cluster of tomato plants originating from transplants produced in the closed-type (CTPS) and the open-type (OTPS) transplant production systems at 32 days after transplanting into the pot ($n=15$).

System	Transplant production period (d)	Number of nodes	Coefficient of variation
CTPS	17	8.9	14.7
OTPS	17	10.6**	7.8
	19	11.6**	4.4
	21	11.7**	6.8

** Significant difference from transplants produced in the CTPS at $P<0.01$ by t-test.

閉鎖型システムで育成した苗を用いてトマト生産を行った場合，第1花房の分化節位が低いことに起因して，開放型システムで育成した苗を育成してトマト生産を行った場合と比べて初期収量が増大することが予想される．また，閉鎖型システムで育成した苗は，茎長が短く，かつ乾物率が高くなった．これらの結果より，閉鎖型システムで育成した苗の品質は，開放型システムで育成した苗のそれと比べて，相対的に高いと判断される．

閉鎖型システム内の明期および暗期における平均気温は，それぞれ28および19°Cであった．一方，開放型システム内の日中（5～19時）および夜間（19～翌5時）の平均気温は，それぞれ32および26°Cであった．これまでに，苗育成期間中の暗期における平均気温を低くすることで，夏季においても，トマト植物体の第1花房の分化節位は低下することが知られているが，本実験の結果はそれと一致した．

閉鎖型システムにおける育成期間中の照明器具，空調器具および室内設備のトレイ面積あたりの電気エネルギ消費量は，それぞれ，416，153および36 MJ m^{-2}（115，43および10 kWh/m^2）であった．苗あたりの電気エネルギ消費量を推定すると，0.7 MJ（0.2 kWh）となった．閉鎖型システムにおける苗育成にかかわる水消費量およびシステムの水利用効率は，それぞれ11 kg m^{-2}および0.98となった．一方，開放型システムにおける苗育成にかかわる水消費量およびシステムの水利用効率は，それぞれ131～175 kg m^{-2}および0.03～0.06となった．

閉鎖型システムにおける主要なランニングコストの1つである電力料金を，本実験での苗あたりの電気エネルギ消費量の結果をもとに，東京電力の低圧電力契約（基本料金：1020円/kW，電力量料金：11.30円/kWh(夏季：6～8月)；10.05円/kWh(その他の季節：1～5月，9～12月)）を用いて試算すると，夏季では3.2円，その他の季節では2.9円となる．他方，現状では，閉鎖型システムでのイニシャルコストは，開放型システムのそれの3～4倍であるが，次第に両者の差はなくなると予想されている(Kozai, 1999)．また，閉鎖型システムでは，苗育成にかかわる水消費量の削減だけではなく，CO_2消費量の削減，人件費の削減，商品化率の向上，農薬使用量の削減などによるランニングコストの低減が見込まれている．これらより，閉鎖型苗生産システムでは，開放型苗生産システムと比べてより低コストで，苗の高付加価値化が可能となることが示唆された．

トマト植物体の第1花房形成は，子葉展開後9日目以降に開始すること（Calvert, 1957），および子葉展開後9-12日間は第1花房形成におよぼす環境要素の影響が強いこと（Lewis, 1953）が報告されている．閉鎖型システムにおける子葉展開は播種後7日目であり，本実験での苗育成終了時（子葉展開後10日目）は，上記の報告の第1花房の形成開始時期および形成におよぼす環境要素の影響が強い時期と重なる．本実験における育成終了時では，第1花房の形成を開始した個体と開始していない個体が混在していたことが予想され，それにより，移植後の環境要素が植物体の発達におよぼす影響が個体ごとに異なったために，分化節位の変動係数は大となった（Table 2）と考えた．他方，苗育成期間を3～4日間程度延長し，すべての苗で第1花房が形成された後に出荷する場合には，第1花房の分化節位のばらつきを小さくできる可能性がある．ただし，苗育成期間を4日間延長した場合(苗育成期間：21日間)には，苗あたりの電力コストは0.8円上昇し，3.7～4.0円となる．

千葉大学園芸学部の野島博助教授には，実験で利用

した温室の管理などに際し，数々の便宜を図っていただいた．ここに，感謝の意を表する．

文　献

Calvert, A. 1957. Effect of the early environment on the development of flowering in the tomato. I. Temperature. J. Hortic. Sci. **32** : 9-17.

Chun, C., T. Kozai, C. Kubota and K. Okabe. 2000. Bolting and growth of spinach (*Spinacia oleracea* L.) can be altered by using artificial lighting to modify the photoperiod during transplant production. HortScience **35** : 624-626.

Itagi, T., H. Sato, S. Nagashima and K. Nakanishi. 1992. Studies on the avoidance of high summer temperature stress which induce quality reduction of the tomato seedlings. I. Recovery of a normal condition by the low night temperature in some characters, flower setting position, growth and fruit yield. (Japanese text) J. Jpn. Soc. Hortic. Sci. **61** (Suppl. 1). p 252-253.

Ito, K and T. Fujita. (伊藤潔・藤田卓良) 1959. Flowering order of tomato plant (トマトの着花節位について) (Japanese text) Agric. Hortic. (農業および園芸) **34** : 829-830.

Kaneko, K., T. Shibuya and T. Kozai. (金子賢一・渋谷俊夫・古在豊樹) 1998. Study on closed-type transplant production system I. Growth characteristics of tomato plug transplant. (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) (Japanese text) Proc. Annual meeting of Soc. High Technology in Agric. (日本植物工場学会平成 10 年度大会講演要旨) 48-49.

Kozai, T. (古在豊樹) 1999. Development of a closed transplant production system and its application. (閉鎖型苗生産システムの開発と利用) (Japanese text) Yokendo (養賢堂), Tokyo, 191 pp.

Lewis, D. 1953. Some factors affecting flower production in the tomato. J. Hortic. Sci. **28** : 207-220.

Obana, S. (尾花純美代) 1998. Technique for tomato transplants production during high air temperature season. (高温期トマト育苗安定技術) (Japanese text) Cult. Hortic. (農耕と園芸) **53** : 128-131.

Ohyama, K., M. Fujiwara, T. Kozai and H. Kimura. 2000a. Growth and development of transplants in a closed-type transplant production system. Intl. Ann. Meeting ASAE, Milwaukee, Wisconsin. Paper No. 004084. ASAE, 2950 Niles Road, St. Joseph, MI 49085-9659 USA.

Ohyama, K., M. Fujiwara, T. Kozai and H. Kimura. 2000b. Water consumption and utilization efficiency of a closed-type transplant production system. Intl. Ann. Meeting ASAE, Milwaukee, Wisconsin. Paper No. 004085. ASAE, 2950 Niles Road, St. Joseph, MI 49085-9659 USA.

Ohyama, K., K. Yoshinaga and T. Kozai. 2000c. Energy and mass balance of a closed-type transplant production system. (Part 1) Energy balance. (Japanese text with English abstract) J. High Technology in Agric. **12** : 160-167.

Ohyama, K., M. Fujiwara, T. Kozai and C. Chun. 2001. Consumption of electric energy and water for eggplant plug transplant production in a closed-type transplant production system. (Japanese text with English abstract) J. High Technology in Agric. **13** : 1-6.

Tokyo Astronomical Observatory. (東京天文台編) 2000. Chronological Scientific Tables. (理科年表 2000 年度版) (Japanese text) Maruzen, Tokyo, pp 1064.