

## 閉鎖型苗生産システムのエネルギーおよび物質収支(第2報)

## —水収支—

大山克己・吉永慶太・古在豊樹

千葉大学園芸学部 271-8510 千葉県松戸市松戸 648

## Energy and Mass Balance of a Closed-type Transplant Production System(Part 2)

## —Water Balance—

Katsumi OHYAMA, Keita YOSHINAGA and Toyoki KOZAI

Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo, Chiba 271-8510, Japan

## Abstract

Water balance of the closed-type transplant production system with artificial lighting was investigated. Sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam. cv. Beniazuma) plants were grown for 15 days at photosynthetic photon flux (PPF) on the tray surface of 100, 200 and 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  on days 0-2, 3-11 and 12-14, air temperature of 30°C, CO<sub>2</sub> concentration of 1000  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ , relative humidity of 80/100% (photoperiod/dark period) inside the system and photoperiod of 16 h d<sup>-1</sup>. Daily amounts of evapotranspired and dehumidified water were increased with time due to increases in evapotranspiration area and PPF. Daily amount of dehumidified water was 90-95 % of the sum of evapotranspired and humidified water. The amounts of irrigated, evapotranspired, humidified and dehumidified water during the experiment were 49.5, 36.7, 24.3 and 55.9 kg m<sup>-2</sup>, respectively. Water contents of plants and soil at the end of the experiment were 1.6 and 10.8 kg m<sup>-2</sup>, respectively. Water utilization efficiency of the system was 0.93. These results show the amount of water use for transplant/plant production can be decreased to 24% of the amount of irrigated and humidified water when dehumidified water was reused for irrigation and humidification. Thus, the closed-type transplant production system is suitable for minimizing the water use in transplant/plant production.

**Keywords** : dehumidification, evapotranspiration, humidification, irrigation, water utilization efficiency of the system

## 緒言

近年、苗生産と作物生産とは業種的に分離される傾向にあり、高品質な苗の計画的安定生産が必要とされている。筆者らは、エネルギーや水、肥料、農薬等の使用を削減し、かつ高品質な苗を計画的安定生産するためのシステムとして、閉鎖型苗生産システムの開発に取り組んでいる<sup>1)</sup>。ここで、閉鎖型苗生産システムとは、システム

内外間におけるエネルギーおよび物質の輸送を人為的に制御できる空間内において、光源として蛍光灯などの人工光源を用いて苗を生産するシステムである。

閉鎖型苗生産システムの開発および実用化の上で、苗生産にかかわるエネルギーや水、肥料、農薬等の使用を削減し、かつ、システム内の環境調節技術を確立するための知見として、物質およびエネルギー収支を把握することは重要である。前報では、植物体(苗および増殖のための母株)育成時における閉鎖型苗生産システムのエネルギー収支について把握した<sup>2)</sup>。本報では、植物体育成時における閉鎖型苗生産システムの水収支について着目する。

2000年3月10日受付

2000年6月26日受理

閉鎖型苗生産システムで植物体を育成する場合、システム内では植物体個体群(植物体、培地および培地を入れるための容器を含む系と定義する)の蒸発散、かん水、加湿、除湿などの水もしくは水蒸気の輸送が行われる。また、換気によるシステム内外間の水輸送が多少おこなわれる。システム内の水分環境を植物体の生育に適切に調節し、植物体生産にかかわる水使用量を削減するためには、システム内およびシステム内外間の水輸送を把握する必要がある。これまでに、人工光源下でのセル成形苗個体群上の湿度分布<sup>3,4)</sup>や、気流速度が苗個体群の蒸発散速度におよぼす影響<sup>5)</sup>など、苗個体群とその周辺大気との間の水輸送に関して研究されてきた。しかし、システム内およびシステム内外間の水輸送、すなわちシステムの水取支を把握した例は見あたらない。他方、除湿により回収した水をかん水や加湿に再利用することができれば、閉鎖型苗生産システムにおける植物体育成にかかわる水使用量を削減することが可能である。これまでも、システム内で蒸発散した水をペルチェクーラを用いて回収・再利用する方法について検討されている<sup>6,7)</sup>。閉鎖型苗生産システムでは、水を回収・再利用することにより、水使用量の削減だけではなく、システムからの排水量の削減をももたらす。それゆえ、システム外の環境汚染の防止にも貢献すると考えられる。

本研究では、植物体育成時における閉鎖型苗生産システムの水取支を把握することを目的として、試作した閉鎖型苗生産システム内でサツマイモ植物体を生育させて、1日あたりの蒸発散量、加湿器による加湿量(以下、加湿量)および空調器具の冷房時における除湿量(以下、除湿量)を調べた。さらに、除湿した水をかん水や加湿に再利用した場合としない場合の植物体育成にかかわる水使用量およびシステムの水利効率を比較した。

## 材料および方法

### 1. 供試植物および実験環境条件

供試植物は、サツマイモ(*Ipomoea batatas* (L.) Lam., 品種: ベニアズマ)とした。光合成有効光量子束(Photosynthetic Photon Flux, 以下、PPF)、気温、相対湿度、CO<sub>2</sub>濃度および明期時間が、それぞれ100–300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、30°C、80%、1000  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  および16 h d<sup>-1</sup>の条件下で16日間育成したサツマイモ植物体を、葉1枚を含む単節(乾物重: 0.10 ± 0.02 g, 葉面積: 21.3 ± 3.5 cm<sup>2</sup>)に切り分けて増殖体とした。38穴トレイ(38穴プロトレイ, 日新農工産業(株), 533(L) × 267(W) mm, セル容積: 100 cm<sup>3</sup>, 以下、トレイ)にセル

成型苗用培地(ナブラ養土, ヤンマー農機(株))を充填して増殖体を植え付けた。その後、閉鎖型苗生産システム内の気温、CO<sub>2</sub>濃度、相対湿度および明期時間をそれぞれ30°C、1000  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ 、80% および16 h d<sup>-1</sup>に設定した条件下で15日間育成した。植え付け後0–2, 3–11 および12–14日目のトレイ面上におけるPPFは、それぞれ100, 200 および300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ に設定した。ただし、植え付け後2, 5, 8, 11 および14日目には、次報<sup>8)</sup>で述べる、PPFが異なる条件下におけるシステムへのCO<sub>2</sub>供給速度を調べるために、PPFを2時間おきに100, 200, 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ と段階的に高めた。測定終了後は、それぞれのPPFの設定値に戻した。植え付け後0日目には水を、3, 6, 8, 11 および13日目の明期開始時には養液(A-2: 1.2 g l<sup>-1</sup>, B-2: 0.6 g l<sup>-1</sup>, C: 0.1 g l<sup>-1</sup>, 日本たばこ産業(株))を、それぞれ底面から与えた。

### 2. 閉鎖型苗生産システムの諸元およびシステム内の環境制御方法

本研究では、前報<sup>2)</sup>と同じ閉鎖型苗生産システム(外寸2.1 m(L) × 1.3 m(W) × 1.9 m(H), 内容積: 4.6 m<sup>3</sup>)を用いた。システムの天井、床および壁面には、ベニヤ板および硬質ポリウレタンにより構成される断熱パネルを用いた。閉鎖型苗生産システムの内面は、水の吸着および放出を防ぐためにビニルフィルムにより覆った。このシステムを環境制御していない部屋(3.0 m(L) × 1.5 m(W) × 2.2 m(H))の中に設置した。閉鎖型苗生産システム内には、5枚のトレイを収納することのできる育成棚を3段設置した。光源として白色高周波蛍光灯(FHF 32 EX-W, 松下電器産業(株))を用い、各々の育成棚に8本設置した。空調器具として、家庭用エアコン(AS 22 CHR および AO 22 CHR, (株)富士通ゼネラル)を用いた。育成棚の天井面および床面には、硬質ポリウレタンを用いた。育成棚内の天井面および壁面の表面は、反射フィルム(Silverlux, (株)3 M)で被覆した。育成棚の両端にはファンを設置して、30分ごとに交互に稼働させた。システム内の相対湿度の測定およびその制御には、ヒューミディスタット(ヒューミアイ 100, (株)鷲宮製作所)および遠心式加湿器(D-505, ピーエス工業(株))を用いた。システム内のCO<sub>2</sub>濃度は、赤外放射式CO<sub>2</sub>分析計(ZFP 9, 富士電気(株))を用いて測定し、その測定値をもとに、データコントローラ(Greenkit 100, (株)ESD製)、記録・制御用ソフトウエア(DL-300, (株)ESD製)、パーソナルコンピュータおよび電磁弁(AB 31-02-1, (株)CKD)をそれぞれ用いて1030 ± 50  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ に制御した。

### 3. 閉鎖型苗生産システムにおける水収支

閉鎖型苗生産システムにおける水収支は、システム内への輸送を正とすると、植物体個体群の蒸発散量( $T$ )、加湿量( $H$ )、換気によるシステム内外間の水輸送量( $V$ )、壁面への水蒸気の吸着・放出量( $B$ )および除湿度( $D$ )より、(1)式のように表される(Fig. 1)。ただし、システム内空気中の水の変化量は無視し得るほど小さい、と仮定した。

$$T + H + V = D + B \quad (1)$$

かん水された水( $I$ )は、蒸発散によりシステム内空気

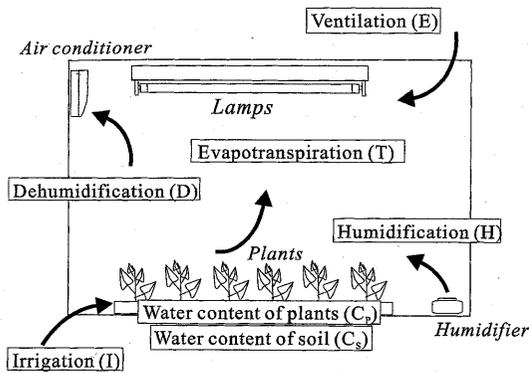


Fig. 1 Schematic diagram of water balance of the closed-type transplant production system.

中へ輸送、もしくは植物体およびトレイに充填されている培地中に貯留(それぞれ、 $C_p$ および $C_s$ )される。

$$I = T + C_p + C_s \quad (2)$$

ここで、かん水の際に水の損失、すなわち培地からの余剰水分の排出はおこらないと仮定した。循環式の干満かん水方法(例えば、渋谷ら、1999)<sup>9)</sup>や村瀬の提案したかん水方法<sup>10)</sup>を用いれば、この仮定は満たされると考えられる。

(1)式および(2)式より、かん水量、加湿量および換気によるシステム内外間の水輸送量の和は、除湿度、壁面への水蒸気の吸着・放出量、植物体および培地の含水量の和と等しくなる。

$$I + H + V = D + B + C_p + C_s \quad (3)$$

### 測定および算定方法

#### 1. かん水量、蒸発散量、加湿量および除湿度

植え付け後 $t$ 日目の1日あたりのかん水量( $I_t$ )は、かん水前( $M_{bt}$ )およびかん水後( $M_{at}$ )のトレイ重量およびトレイの面積( $A: 0.14 \text{ m}^2$ )から算定した。

$$I_t = \frac{1}{A} \cdot (M_{at} - M_{bt}) \quad (4)$$

ただし、植え付け後0日目のかん水量は、予備実験により求めたトレイおよび培地の乾燥重量( $4.5 \text{ kg m}^{-2}$ )お

Table 1 Summary of variables and their meanings used in this paper

Variables	Descriptions	Unit	Eq.*
$A$	Planting area	$\text{m}^2$	4, 5, 7
$B$	Amount of water absorbed by walls during experimental period	$\text{kg m}^{-2}$	1, 3
$C_p$	Water content of plants at the end of measurement	$\text{kg m}^{-2}$	2, 3, 6, 9
$C_s$	Water content of substrate containing the trays at the end of measurement	$\text{kg m}^{-2}$	2, 3, 7, 9
$D$	Amount of dehumidified water during experimental period	$\text{kg m}^{-2}$	1, 3, 8, 9
$D_f$	Dry weight per plant at the end of the experiment	$\text{kg}$	6
$D_s$	Dry weight per plant(propagule)at the start of the experiment	$\text{kg}$	6
$E$	Water utilization efficiency of the system	—	9
$F_f$	Fresh weight per plant at the end of the experiment	$\text{kg}$	6, 7
$F_s$	Fresh weight per plant(propagule)at the start of the experiment	$\text{kg}$	6
$H$	Amount of humidified water during experimental period	$\text{kg m}^{-2}$	1, 3, 8, 9
$I$	Amount of irrigated water during experimental period	$\text{kg m}^{-2}$	2, 3, 8, 9
$I_t$	Daily amount of irrigated water on day $t$	$\text{kg m}^{-2}$	4
$M_{at}$	Tray weight after irrigation $t$ days after planting	$\text{kg}$	4, 5
$M_{bt}$	Tray weight before irrigation $t$ days after planting	$\text{kg}$	4, 5
$M_d$	Tray dry weight (including substrate dry weight)	$\text{kg}$	7
$M_f$	Tray weight at the end of the experiment	$\text{kg}$	7
$P$	Planting density	$\text{plants m}^{-2}$	6
$T$	Amount of evapotranspired water during experimental period	$\text{kg m}^{-2}$	1, 2
$T_t$	Daily amount of evapotranspired water on day $t$	$\text{kg m}^{-2}$	5
$U$	Amount of water used in the system	$\text{kg m}^{-2}$	7
$V$	Amount of water transfer by ventilation during experimental period	$\text{kg m}^{-2}$	1, 3

\*: Equation number used in the present paper

よび増殖体の生体重の和をかん水前のトレイ重量として、(4)式より推定した。トレイ重量は、電子てんびん(EB 4300 S, 島津製作所(株))を用いて、明期開始時に毎日測定した。

植え付け後  $t$  日目の1日あたりの蒸発散量( $T_t$ )は、 $t$  日目のかん水後のトレイ重量( $M_{at}$ )と  $t+1$  日目のかん水前( $t$  日目の明期開始時)のトレイ重量( $M_{bt+1}$ )から求めたトレイ重量の変化量およびトレイ面積より算定した。ただし、トレイ重量の変化量と比べて植物体の生体重の増加量は無視しうるほど小さいと仮定した。

$$T_t = \frac{1}{A} \cdot (M_{at} - M_{bt+1}) \quad (5)$$

植え付け後  $t$  日目の1日あたりの加湿量( $H_t$ )は、加湿器のタンクに入れた水の減少量およびトレイの合計面積より算定した。植え付け後  $t$  日目の1日あたりの除湿量( $D_t$ )は、家庭用エアコンのドレン水の量およびトレイの合計面積より算定した。加湿器のタンクおよび家庭用エアコンのドレン水の量は、メスシリンダ(最小秤量  $10 \text{ cm}^3$ )を用いて測定した。かん水時およびトレイ重量測定時に、閉鎖型苗生産システムのドアを30-60分間開放した。

## 2. 植物体およびトレイの含水量

測定終了時の植物体の含水量( $C_p$ )は、測定期間中の生体重増加量( $F_f - F_s$ )、乾物重増加量( $D_f - D_s$ )、および栽植密度( $P: 271 \text{ plants m}^{-2}$ )から推定した。

$$C_p = P \cdot ((F_f - F_s) - (D_f - D_s)) \quad (6)$$

測定開始時および終了時に任意の10個体の増殖体もしくは植物体を採取し、生体重および乾物重を測定した。植物体の生体重および乾物重は、電子天秤(EB 430 S, 島津製作所(株))を用いて測定した。

測定終了時のトレイの含水量( $C_s$ )は、測定終了時のトレイの重量( $M_f$ )、トレイおよび培地の乾燥重量( $M_d$ )、植物体の生体重( $F_f$ )およびトレイ面積より推定した。

$$C_s = \frac{M_f - (M_d + F_f)}{A} \quad (7)$$

## 3. 換気によるシステム内外間の水輸送量

換気によるシステム内外間の水輸送量は、植物体個体群の蒸発散量、加湿量および除湿量の算定値、植物体および培地の含水量の推定値をもとに、(3)式から推定した。ただし、閉鎖型苗生産システムの壁面内側をビニルフィルムで覆っていることから、壁面への水蒸気の吸着・放出量は無視しうるほど小さい( $B \approx 0$ )と考えた。

## 4. 植物体育成にかかわる水使用量

除湿した水をかん水や加湿に再利用する場合の植物体育成にかかわる水使用量( $U$ )は、システム内に輸送した

水の量(かん水量および加湿量)と除湿量の差として表すこととした。

$$U = I + H - D \quad (8)$$

除湿した水をかん水や加湿に再利用しない場合には、植物体育成にかかわる水使用量は、システム内に輸送した水の量(かん水量および加湿量)で表すこととした。

## 5. システムの水利用効率

除湿した水を回収・再利用する場合のシステムの水利用効率( $E$ )は、除湿量、植物体および培地の含水量、およびシステム内に輸送した水の量(かん水量および加湿量)から、以下のように定義した。

$$E = \frac{D + C_p + C_s}{I + H} \quad (9)$$

ここで、換気によるシステム外への水輸送が行われない場合、(3)式より  $I + H = D + C_p + C_s$  となり、システムの水利用効率は1になる。他方、除湿した水を回収・再利用しなかった場合のシステムの水利用効率は、 $D = 0$  として算定した。

一般には、水利用効率は単位量あたりの乾物を生産する間に蒸発散によって消費される水の量である<sup>11)</sup>と定義されているが、本稿では、“システムの水利用効率”としてこれと区別し、扱うものとする。

## 結 果

植え付け後0, 3, 6, 8, 11および13日目における1日あたりのかん水量は、それぞれ、17.0, 4.8, 6.3, 4.7, 8.4および8.3  $\text{kg m}^{-2}$  となった(Fig. 2)。PPFを100

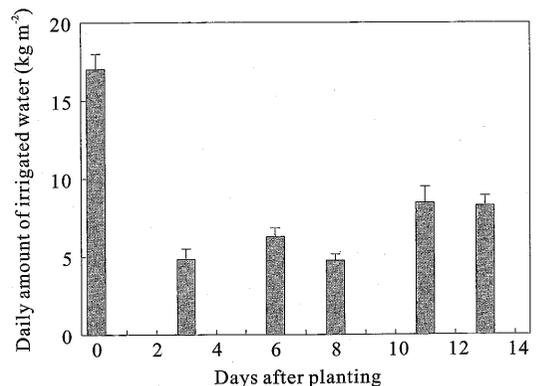


Fig. 2 Daily amount of irrigated water per planting area. PPF was set at 100, 200 or  $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  on days 0-2, 3-11 or 12-14, respectively. Irrigation were made on 0, 3, 6, 8, 11 and 13 days after planting. Vertical bars indicate standard deviation of 15 trays.

$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  に設定した植え付け後0-2日目の1日あたりの蒸発散量, 加湿量および除湿量は, それぞれ1.0-1.3  $\text{kg m}^{-2}$ , 0.8-1.3  $\text{kg m}^{-2}$  および1.0-2.4  $\text{kg m}^{-2}$  となった(Fig. 3, 4 および 5). PPF を200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  に設定した植え付け後3-11日目の1日あたりの蒸発散量, 加湿量および除湿量は, それぞれ1.9-3.0  $\text{kg m}^{-2}$ , 1.6-2.0  $\text{kg m}^{-2}$  および3.4-4.3  $\text{kg m}^{-2}$  となった. PPF を300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  に設定した植え付け後12-14日目の1日あたりの蒸発散量, 加湿量および除湿量は, それぞれ3.2-4.5  $\text{kg m}^{-2}$ , 1.5-2.0  $\text{kg m}^{-2}$  および4.9-6.0  $\text{kg m}^{-2}$  となった. 植え付け後0日目をのぞき1日あたりの除湿

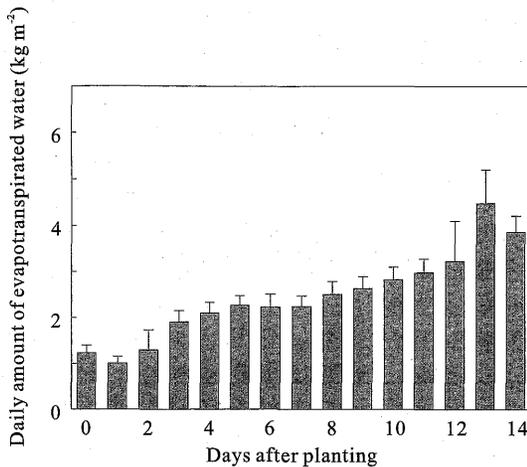


Fig. 3 Daily amount of evaporated water per planting area. PPF was set at 100, 200 or 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  on days 0-2, 3-11 or 12-14, respectively. Vertical bars indicate standard deviation of 15 trays.

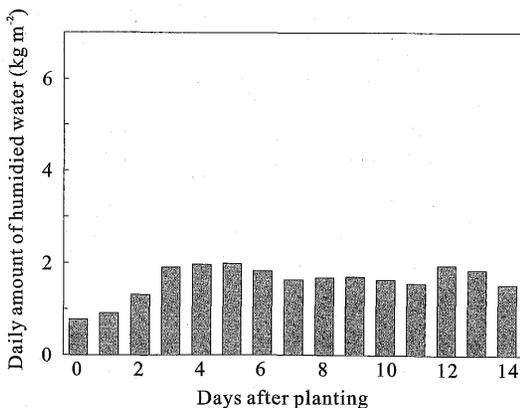


Fig. 4 Daily amount of humidified water per planting area. PPF was set at 100, 200 or 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  on days 0-2, 3-11 or 12-14, respectively.

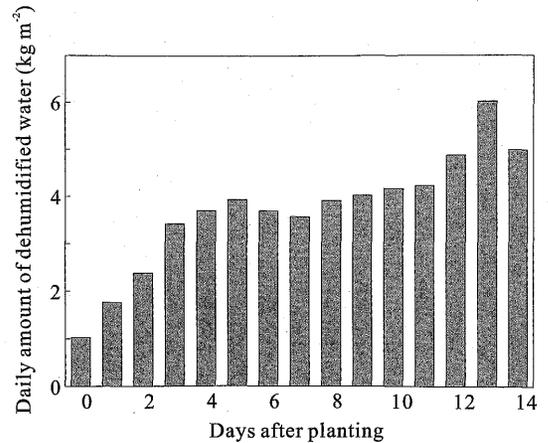


Fig. 5 Daily amount of dehumidified water per planting area. PPF was set at 100, 200 or 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  on days 0-2, 3-11 or 12-14, respectively.

量は, 1日あたりの蒸発散量と1日あたりの加湿量との和の90-95%となった(Fig. 6). 測定期間中のかん水量, 蒸散量, 加湿量および除湿量の積算値は, それぞれ, 49.5, 36.7, 24.3, 55.9  $\text{kg m}^{-2}$ であった(Fig. 7). また, 測定終了時の植物体および培地の含水量は, 1.6および10.8  $\text{kg m}^{-2}$ であった. これらの結果より, 換気によるシステム内からシステム外への水輸送量の積算値は5.1

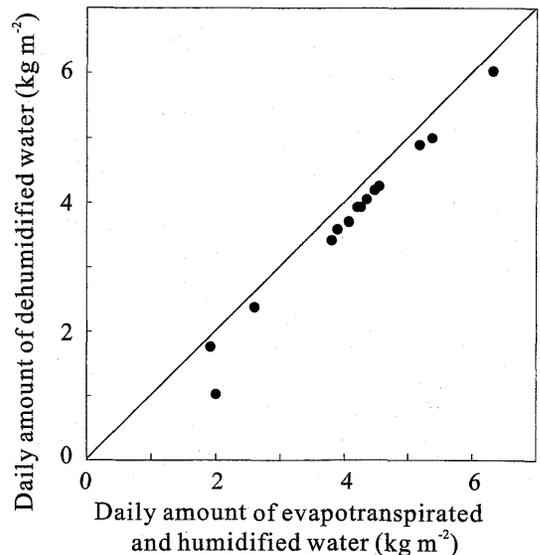


Fig. 6 Relationship between the sum of daily amount of evaporated and humidified water per planting area and the daily amount of dehumidified water per planting area. The solid line indicates 1:1.

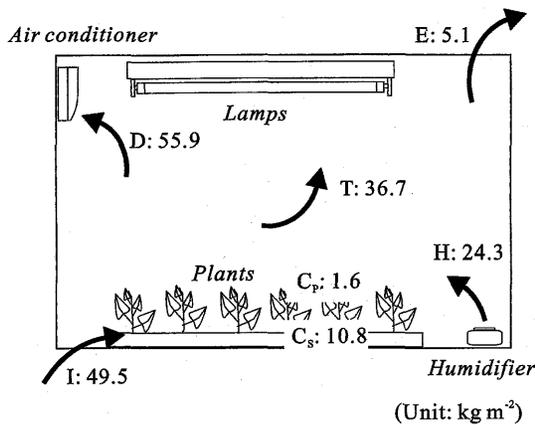


Fig. 7 Water balance of the closed-type transplant production system in this experiment. Numbers indicate cumulative values at the end of the experiment. For the variables and their meanings, see Table 1.

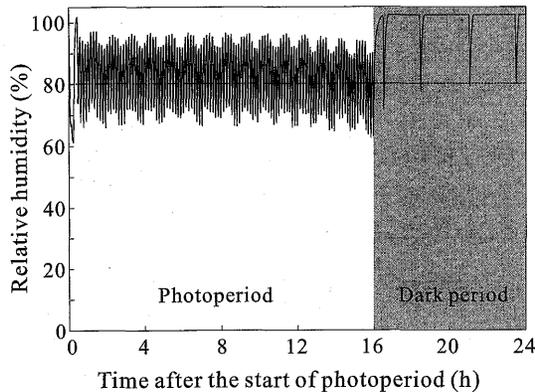


Fig. 8 Time course of relative humidity inside the closed-type transplant production system on day 14. Photoperiod and dark period were started at 0 h and 16 h every day, respectively. The horizontal dotted line indicates set point of relative humidity inside the system.

kg m<sup>-2</sup> と推定され、システム内に輸送した水(かん水量および加湿量)の量の積算値の7%であった。植え付け後14日目における閉鎖型苗生産システム内の相対湿度の測定例を Fig. 8 に示す。明期における相対湿度は、ほぼ80%であったが、暗期における相対湿度は100%となっていた。除湿した水をかん水や加湿に再利用とした場合、植物体育成にかかわる水使用量およびシステムの水利用効率は、それぞれ、17.9 kg m<sup>-2</sup> および0.93であった。一方、除湿した水を再利用しない場合、植物体育成にかかわる水使用量およびシステムの水利用

効率は、それぞれ、73.8 kg m<sup>-2</sup> および0.17であった。

## 考 察

空調器具により除湿された水は、かん水やシステム内空気の加湿に再利用することも可能である。仮に、カビや塵埃が混入したとしても、滅菌や濾過することにより、容易にかん水やシステム内空気の加湿に再び用いることができると考えられる。本測定条件下では、空調器具により除湿された水をかん水やシステム内空気の加湿に再利用した場合の水使用量(17.9 kg m<sup>-2</sup>)は、再利用しなかった場合のそれ(73.8 kg m<sup>-2</sup>)と比べて1/4となった。他方、空調器具により除湿された水をかん水やシステム内空気の加湿に再利用した場合のシステムの水利用効率(0.93)は、再利用しなかった場合のそれ(0.17)と比べて5倍になった。これらより、閉鎖型苗生産システムにおける空調器具により除湿された水をかん水やシステム内空気の加湿に再利用することは、植物体育成にかかわる水使用量を削減する上で、重要な技術であると考えた。

本稿では、閉鎖型苗生産システムにおいて除湿した水の回収・再利用をした場合としなかった場合の植物体育成にかかわる水使用量およびシステムの水利用効率を比較した。現在、一般的に苗生産の行われている温室などの開放型苗生産システムでは、水の回収・再利用は行われていない。それゆえ、開放型苗生産システムの植物体育成にかかわる水使用量およびシステムの水利用効率は、閉鎖型苗生産システムで除湿した水を回収・再利用しない場合とほぼ同等もしくはそれ以下であることが予想される。

Kamichika *et al.*<sup>12)</sup> は、乾燥地における植物生産を想定し、地温と気温の差を利用して植物体が蒸散した水を回収する方法(地気熱交換蒸留)を用いて、かん水量の削減について検討した。その結果、植物体から蒸散した水の30%を回収でき、その水を再びかん水に用いることで、露地における植物生産と比べてかん水量を40%削減できたことを報告している。一方、本測定で用いた閉鎖型苗生産システムでは、空調器具を用いてシステム内で発生する熱エネルギーをシステム外へ輸送する際に、蒸散および加湿した水の90-95%を回収できたことから、乾燥地のように水資源が少ない地域における植物体生産にも有用であると考えられる。

1日あたりの蒸発散量は、植物体個体群に照射される放射エネルギーの増大および植物体の葉面積増大ともなう蒸発散面の増加に起因して、植え付け後日数の経過とともに増大する傾向が見られた(Fig. 3)。1日あたりの

除湿量も同様に、植え付け後日数の経過とともに増大する傾向が見られた(Fig. 5)。これは、PPFの増大にともなう照明器具からの発熱速度の増大により空調器具の稼働時間が長くなったためであると考えた。他方、1日あたりの蒸散量と加湿量の和と除湿量との差は、1)トレイ重量測定時およびかん水時にシステムのドアを開放したことに起因するシステム内からシステム外への水の輸送、2)換気によるシステム外への水の輸送、3)測定誤差、により生じたと考えられる。本測定で用いた閉鎖型苗生産システムよりも換気量の小さいシステムを用い、植物体育成期間を通じてシステム外への水の輸送を抑制することで、システムに投入した水をより高い割合で再利用することが可能となると考える。

空調器具の稼働および停止により、閉鎖型苗生産システム内の相対湿度は変動した(Fig. 8)。植物体のCO<sub>2</sub>吸収速度は、植物体周辺の相対湿度の変化により過渡的な変化を示す<sup>13)</sup>ことから、システム内の相対湿度変動により植物体個体群のCO<sub>2</sub>吸収速度は過渡的な変化を繰り返す、さらには植物体の生育が影響をおよぼされた可能性がある。この相対湿度の変動は、空調器具の制御方式を変更することで、小さくすることが可能である。今後、植物体周辺の相対湿度などの環境要素の変動が、植物体の生育におよぼす影響について検討する必要があると考える。他方、本測定条件下では、閉鎖型苗生産システム内の暗期における相対湿度は、ほぼ100%となっていた。相対湿度が高い条件下では、植物体の徒長が引き起こされる<sup>14)</sup>ことから、高品質な植物体を育成するためには、今後、暗期の相対湿度を低く保つための方策が必要となると考える。

## 結 論

閉鎖型苗生産システムを試作して、植物体育成時のシステムの水収支を調べた結果、測定期間中のかん水量、蒸発散量、加湿量および除湿量の積算値は、それぞれ、49.5、36.7、24.3および55.9 kg m<sup>-2</sup>となっていた。また、測定終了時の植物体および培地の含水量は、1.6および10.8 kg m<sup>-2</sup>であった。これらの結果より、換気によりシステム内からシステム外へ輸送された水の量は5.1 kg m<sup>-2</sup>と推定され、システム内に輸送した水(かん水量および加湿量)の量の7%であった。空調器具により除湿された水は、かん水やシステム内空気の加湿に再利用することも可能であり、その場合の植物体を育成するための使用量は、再利用しなかった場合のそれと比べて1/4にできることが実験的に示された。また、除湿さ

れた水を回収・再利用した場合のシステムの水利用率は、しなかった場合のそれと比べて、5倍となることが明らかになった。これらのことから、閉鎖型苗生産システムは、温室などの開放型苗生産システムと比べて、植物体育成にかかわる水使用量を1/4以下にできることが示された。さらに、閉鎖型苗生産システムは、水資源の少ない乾燥地における植物体生産に有用であると考えた。次報<sup>9)</sup>では、植物体育成時の閉鎖型苗生産システムの二酸化炭素収支について述べる。

## 謝 辞

千葉大学の久保田智恵利博士ならびに全租厚博士には、データをまとめる際に有益なご意見をいただいた。また、松下電工(株)の工藤章英氏ならびに宮丸正人氏には、閉鎖型苗生産システムの作成にあたり、照明器具の設置方法などの技術的なご指導をいただいた。ここに、感謝の意を記す。

## 引用文献

- 1) Kozai, T., Ohyama, K., Afreen, F., Zobayed, S., Kubota, C., Hoshi, T. and Chun, C.: Transplant production in closed systems with artificial lighting for solving global issues on environment conservation, food, resource and energy, Proceeding of ACESYS III conference, Rutgers University: 31-45(1999)
- 2) 大山克己, 吉永慶太, 古在豊樹: 閉鎖型苗生産システムのエネルギーおよび物質収支(第1報)エネルギー収支, 植物工場学会誌, 12(3): 160-167(2000)
- 3) Kim, Y. H., Kozai, T., Kubota, C. and Kitaya, Y.: Effects of air current speeds on the microclimate of plug stand under artificial lighting, Acta Hort., 440: 354-359(1996)
- 4) Kitaya, Y., Shibuya, T., Kozai, T. and Kubota, C. 1998. Effects of light intensity and air velocity on air temperature, water vapor pressure, and CO<sub>2</sub> concentration inside a plant canopy under an artificial lighting condition, Life support and Biosphere Science, 5: 199-203(1998)
- 5) 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およぼす影響, 生物環境調節, 36(3): 131-136(1998)
- 6) 谷 晃, 大熊 健, 田中茂樹, 安田 浩: 宇宙実験用植物栽培装置の開発(1)—水循環利用システムの検討—, 日本植物工場学会平成10年度大会学術講演要旨集: 94-95(1998)
- 7) 谷 晃, 大熊 健, 北宅善昭, 斎藤高弘, 後藤英司, 高橋秀幸: 微小重力場植物栽培装置の開発—

- 長期栽培における水蒸気回収循環システムの性能一, 日本植物工場学会平成 11 年度大会学術講演要旨集: 326-327(1999)
- 8) 吉永慶太, 大山克己, 古在豊樹: 閉鎖型苗生産システムのエネルギーおよび物質収支(第 3 報) 二酸化炭素収支, 植物工場学会誌, 12(4): 225-231(2000)
  - 9) 渋谷俊夫, 中原正一, 古在豊樹: セル成型苗個体群の蒸発散量計測に基づく自動干満灌水システムの開発, 生物環境調節, 37(1): 57-61(1999)
  - 10) 村瀬治比古: プラグトレイ用噴射式底面灌水装置の開発, 日本植物工場学会平成 11 年度大会学術講演要旨集: 328-329(1999)
  - 11) Kramer, P. J. and Boyer, J. S.: Water relations of plants and soils., Academic press, pp. 377-404(1995)
  - 12) Kamichika, M., Yamamoto, T., Otsuki, K. and Abe, Y.: Recycling use of irrigated water by earth-air heat exchange distillation, J. Agric. Meteorol., 48(5): 667-669(1993)
  - 13) 清田 信, 矢吹万寿: 湿度の変化にともなうキュウリ葉の CO<sub>2</sub> 吸収速度の過渡変化, 農業気象, 36(4): 275-278(1981)
  - 14) Styer, R. C. and Koranski, D. S.: Environment, In: Styer, R. C. and Koranski, D. S.(Ed.), Plug and transplant production: A grower's guide, Ball publishing, pp. 147-175(1997)