

## セル成型苗個体群の連続秤量に基づく 自動灌水システムの試作

渋谷俊夫・北宅善昭\*・古在豊樹

千葉大学園芸学部・\*大阪府立大学農学部

### Development of an Automatic Watering System for Plug Seedling Production with Continuous Weighing of the Plug Sheet

Toshio SHIBUYA, Yoshiaki KITAYA\* and Toyoki KOZAI

*Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo, Chiba 271, Japan*

*\*College of Agriculture, Osaka Prefecture University, Sakai 593, Japan*

Water (or moisture) content of soil-mix in a plug tray with limited-volume can easily be changed by evapotranspiration from a plug sheet and watering. Thus, timing and the amount of watering are the most important skills in plug seedling production. An automatic watering system for controlling water content of soil-mix in a plug tray was developed. A tomato plug sheet consisting of plug seedlings, soil mix in a greenhouse was watered by the watering system. The weight of the plug sheet was measured continuously with an electronic balance. When the weight of the plug-sheet decreased to a lower-limit setpoint by evapotranspiration, a solenoid switch of the watering system with overhead mist spray nozzles was turned on, and the plug sheet was watered. When the weight of the plug-sheet increased to a higher-limit setpoint by watering, the solenoid switch of the watering system was turned off. Watering was conducted only during the daytime. In this way, the weight of the plug sheet was controlled accurately in a range between the lower- and higher-limit setpoints during the culture period.

(Received March 28, 1997)

1997年3月28日受付

#### 緒 言

セル成型苗生産では、セルあたりの培地量が少なく、培地が保持できる水の量が少ないことから、蒸発散および灌水に伴う培地の含水率の変動が大きく、このことが苗の光合成および蒸散に大きく影響を及ぼす (Shibuya *et al.*, 1997b)。苗および培地からの蒸発散量は天候および苗の生育状態によって大きく異なるために、苗生産者は灌水時期および灌水量に常に注意しなければならない。セル内の培地の水分状態を天候と苗の生育状態に応じて適正範囲内に制御できる自動灌水システムが要望されている。

温室での植物生産において、積算日射量から蒸発散量を推定して灌水時期を決定する自動灌水方法が一部

で普及している (Nelson, 1991)。この方法は、天候にかかわらず一定時間間隔で行う従来の自動灌水方法に比べて、土壌の水分不足または水分過多が起こる危険性は少ない。しかし、蒸発散量は積算日射量以外の環境条件や植物の生育段階などの影響を受ける (例えば、Nakayama and Yamanaka, 1975) ために、積算日射量から推定された蒸発散量は多くの誤差を含むと考えられ、積算日射量のみを用いて土壌の水分状態を正確に制御することは困難である。

セル成型苗個体群 (苗および培地を含む系と定義し、以下、苗個体群と呼ぶ) の蒸発散量は苗個体群の重量の減少量から比較的正確に求めることができる (Shibuya *et al.*, 1997a)。従って、この方法によって求めた蒸発散量を灌水時期決定の指標とすることによって、セル内の培地の水分状態を比較的正確に制御でき

ると考えられる。本研究では灌水時期および灌水量を決定するための指標として苗個体群の連続秤量から求めた蒸発散量を用いることによって、セル内の培地の水分状態を任意の範囲に制御できるシステムを試作した。そのシステムと従来のタイマー制御による自動灌水システムを用いてセル成型苗の育成を行い、両者の性能の比較を行った。

### 材料および方法

本自動灌水システムの試験を茨城県農業総合センター園芸研究所内の温室内（アクリル被覆，南北棟）の育苗ベンチで行った。植物材料はトマト（*Lycopersicon esculentum* Mill., 品種：桃太郎）とし、培地としてピートモスを主成分とする市販培土（ピートポットV，北海道ピートモス（株）製）を用い、セルトレイ（セルサイズ：25 mm 角，セルあたりの容積：12.5 ml，セル数：100，トレイサイズ：幅 300 mm×長さ 300 mm×高さ 43 mm，市販のセルトレイを半分に切断した）で育苗した。本自動灌水装置による灌水は播種後 6 日目から 13 日間（1995 年 6 月 5 日～6 月 18 日）行った。

本自動灌水システムの模式図を Fig. 1 に示す。苗個体群の重量を電子天秤（EB-2800，（株）島津製作所製）を用いて連続計測した。電子天秤からの出力信号は汎用パーソナルコンピュータ（日本 IBM（株）製）に入力された。苗個体群の重量が蒸発散によって減少して、コンピュータ内の自作プログラムで設定された下限値以下になると、コンピュータから信号入出力装置（Green kit 88，（株）イー・エス・ディ製）を経由して

電磁弁へ信号が送られ、電磁弁が開き、苗個体群の上方に設置されたミストノズル（矢野散水（株）製）から灌水が行われた。灌水開始後、苗個体群の重量が培地含水量の増加によって増加し、コンピュータ内のプログラムで設定された上限値以上になると、コンピュータから信号入出力装置を経由して電磁弁へ信号が送られ、電磁弁が閉じ、灌水が終了した。本試験では苗個体群の重量の下限および上限値をそれぞれ 850 g および 950 g に設定し、灌水を行う時間帯は午前 9 時から 14 時の間とした。本試験で用いたセルトレイのセル数は 100，セル容積は 12.5 ml であるので、苗個体群重量の上下限値の差 100 g（=950-850）は、セルあたりに換算すると、1 g に相当し、体積含水率の差は 8% に相当する。

育苗ベンチ上における短波放射束密度を簡易全天日射計（MS-100，英弘精機産業（株）製）を用いて計測した。苗個体群上の高さ 100 mm における気温および露点温度を熱電対（銅-コンスタンタン，線径 0.1 mm）および鏡面式露点計（Model 911，Digital Humidity Analyzer，EG&G 製）を用いてそれぞれ計測した。気温と露点温度から相対湿度を算定した。育苗ベンチ周辺の気流速度を熱式風速計（アネモマスター Model 6071，日本カノマックス（株）製）を用いて計測した。苗個体群の重量の減少速度を蒸発散速度とほぼ等しいと仮定して、苗個体群の蒸発散速度を下式（Shibuya *et al.*, 1997a）によって求めた。培地の体積含水率を苗個体群の重量，苗個体群の乾燥重量，苗の含水量の推定値から先に報告した方法（Shibuya *et al.*, 1997b）によって求めた。

$$E = \frac{W_1 - W_2}{t_2 - t_1} \cdot \frac{1}{A}$$

$E$ ：苗個体群の蒸発散速度 ( $\text{gH}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

$W_1, W_2$ ：時間  $t_1, t_2$  ( $t_1 < t_2$ ) における苗個体群の重量 (g)

$A$ ：重量計測に用いた苗個体群の面積 ( $\text{m}^2$ )

本自動灌水システムによる灌水方法（以下，秤量灌水法）を従来法と比較するために，同温室内においてタイマー制御による自動灌水システム（以下，タイマー灌水法）を用いた育苗を行った。タイマー灌水法では毎日午前 9 時から 5 分間灌水を行った。タイマー灌水法においても秤量灌水法と同様に苗個体群の重量を電子天秤を用いて連続計測し，苗個体群の蒸発散速度を求めた。

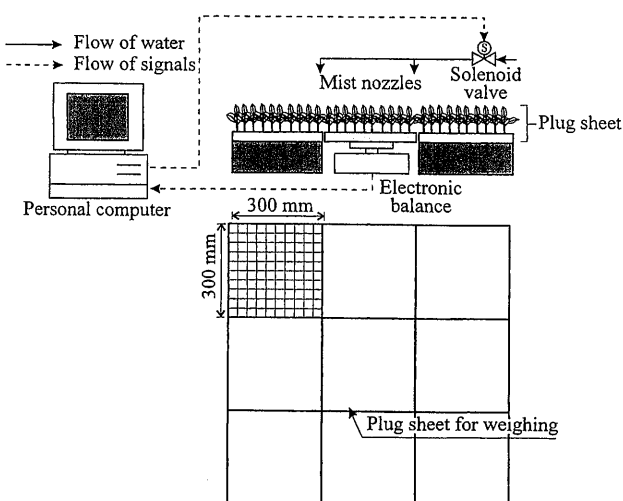


Fig. 1 Schematic diagram of the watering system.

## 結果および考察

播種後 11 日目から 8 日間の温室における短波放射密度、気温、相対湿度および気流速度の経時変化を Fig. 2 に示す。苗個体群の重量および苗個体群の蒸発散速度の経時変化をそれぞれ Fig. 3 および Fig. 4 に示す。苗個体群の重量は蒸発散によって経時的に減少するが、灌水が行われると苗個体群の重量は増加した。苗個体群の重量の減少量および増加量からそれぞれ蒸発散量および灌水量を求めることができた。

秤量灌水法では苗個体群の重量は蒸発散によって経時的に減少するが、苗個体群の重量が下限値（苗個体群あたり 850 g）以下になると灌水が行われ、苗個体群の重量が増加した。灌水によって苗個体群の重量が上限値（苗個体群あたり 950 g）以上になると灌水が終了

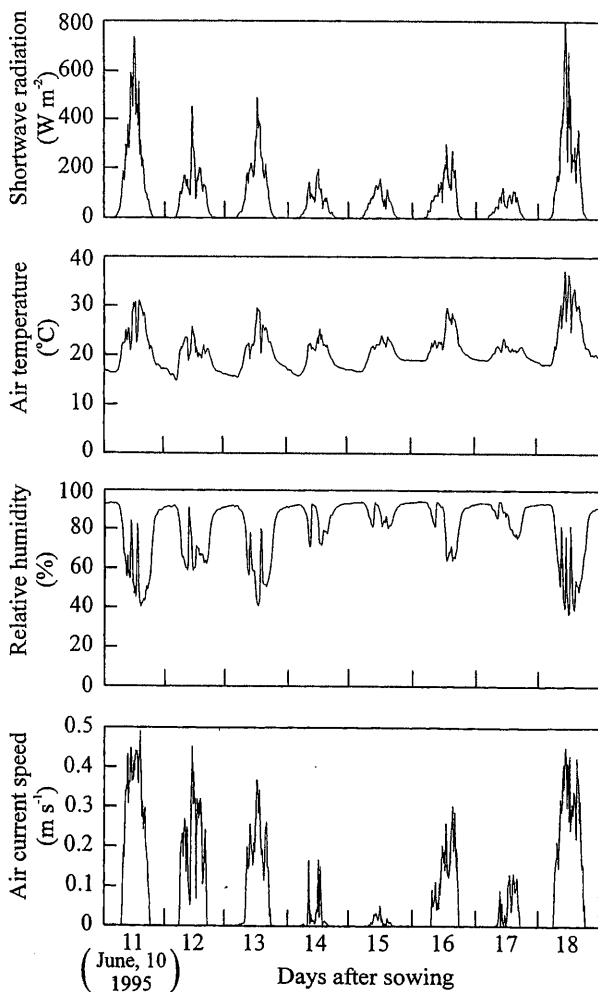


Fig. 2 Diurnal changes in shortwave radiation, air temperature, relative humidity and air current speed in the greenhouse.

Data are shown as running average for 20 minutes.

し、再び蒸発散によって苗個体群の重量は経時的に減少した。その繰り返しのよって、苗個体群の重量は灌水を行った時間帯（午前 9 時から 14 時の間）において設定範囲内（苗個体群あたり 850~950 g）に制御できた。苗個体群の重量は灌水時間帯以外の時刻（14 時から翌日の午前 9 時の間）では下限値を下回った。播種後 11 日目から 8 日間における培地の体積含水率の平均値は秤量灌水法において約 24% であった。

タイマー灌水法では蒸発散によって苗個体群の重量は経時的に減少するが、毎日午前 9 時に 5 分間灌水が行われ、苗個体群の重量が増加した。日によって苗個

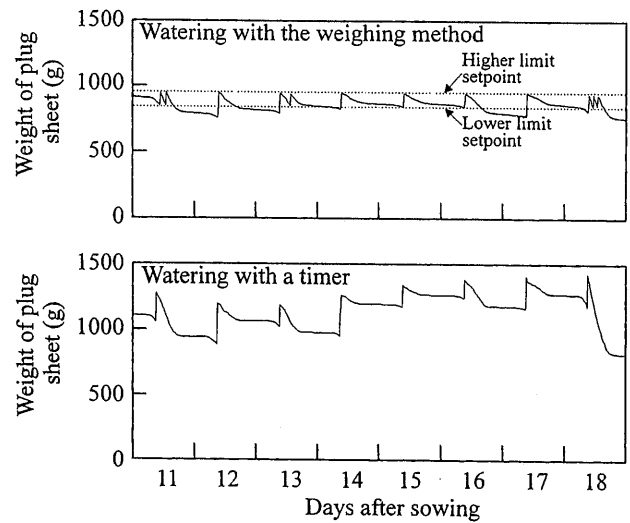


Fig. 3 Diurnal changes in weight of the plug sheet consisting of plug seedlings and soil mix.

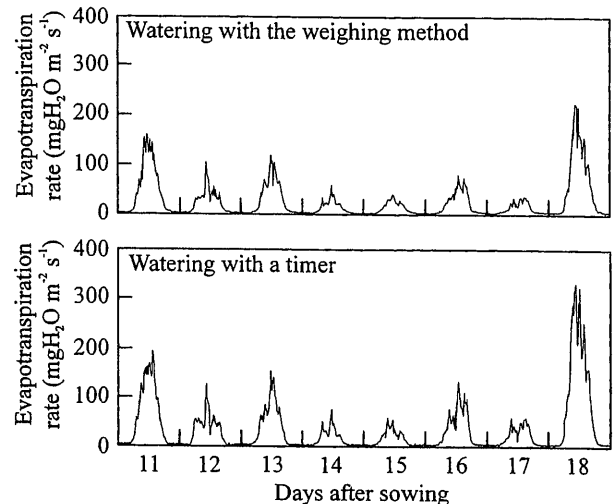


Fig. 4 Diurnal changes in evapotranspiration rates of the plug sheet consisting of plug seedlings and soil mix.

Data are shown as running average for 20 minutes.

体群の重量の増加量にばらつきが見られるのは、ミストノズルにかかった水圧の違いなどが影響したものと考えられる。タイマー灌水法では蒸発散速度の大小にかかわらず同じ時刻に同じ時間の灌水を行ったために、蒸発散速度が大きい日では苗個体群の重量は大きく低下し（例えば、播種後 11, 18 日目）、蒸発散速度が小さい日が続くことによって、苗個体群の重量は経時的に増加した（例えば、播種後 14, 15, 16, 17 日目）。タイマー灌水法では播種後 11 日目から 8 日間における苗個体群の重量の最大値は 1 437 g, 最小値は 821 g であった。播種後 18 日目における苗個体群重量の最大値と最小値の差は 616 g であった。これはセルあたりに換算すると 6.16 g の差に、体積含水率に換算すると 49% の差に相当する。播種後 11 日目から 8 日間における培地の体積含水率の平均値はタイマー灌水法において約 50% であった。

播種後 11 日目から 8 日間における 1 日あたりの積算日射量, 気温, 相対湿度および気流速度の平均値を

Table 1 に、1 日あたりの積算蒸発散量, 灌水量および灌水回数を Table 2 に示す。積算日射量が多い日は、積算蒸発散量が多くなる傾向がみられた。秤量灌水法では積算蒸発散量が多い日は、灌水回数および灌水量が多くなる傾向がみられた。タイマー灌水法では灌水回数は毎日 1 回, 灌水時間は毎日同じであったため、灌水回数および灌水量は積算蒸発散量と無関係であった。播種後 11 日目から 8 日間の積算蒸発散量の合計は、秤量灌水法においてタイマー灌水法の 0.79 倍であった。秤量灌水法において播種後 11 日目から 8 日間の積算蒸発散量の合計がタイマー灌水法よりも少なかったのは、秤量灌水法では培地の水分状態がタイマー灌水法よりも乾燥気味に制御されたためである。播種後 11 日目から 8 日間の灌水量の合計は、秤量灌水法においてタイマー灌水法の 0.81 倍であった。播種後 19 日目における苗の生育状態はほぼ同程度であったことから、本試験において秤量灌水法ではタイマー灌水法よりも水利用率（単位量の乾物を生産する間に

**Table 1** Daily integrated shortwave radiation, average air temperature, relative humidity and air current speed in the greenhouse from 11 to 18 days after sowing.

Days after sowing (d)	Daily integrated shortwave radiation (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	Air temperature (°C)		Relative humidity (%)		Air current speed (m s <sup>-1</sup> )	
		Day	Night	Day	Night	Day	Night
11	12.5	24.0	17.2	63	91	0.23	0.00
12	6.4	20.7	16.3	71	91	0.16	0.00
13	8.0	22.2	16.9	66	91	0.13	0.00
14	3.3	20.4	16.8	85	93	0.02	0.00
15	3.2	21.1	18.0	88	94	0.01	0.00
16	5.3	23.5	19.4	82	93	0.10	0.00
17	2.8	21.1	19.2	86	93	0.04	0.00
18	12.4	27.1	19.2	62	92	0.22	0.00

**Table 2** Daily integrated evapotranspiration of the plug sheet, amount of watering and frequency of watering in the weighing and timer methods from 11 to 18 days after sowing.

Days after sowing (d)	Watering method	Daily integrated evapotranspiration (kg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )		Amount of watering (kg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )		Frequency of watering (d <sup>-1</sup> )	
		Weighing	Timer	Weighing	Timer	Weighing	Timer
11		3.7	3.9	2.3	2.5	2	1
12		1.9	1.4	2.2	2.8	1	1
13		2.3	2.9	2.6	1.9	2	1
14		1.1	1.1	1.4	3.5	1	1
15		1.1	1.3	1.1	2.1	1	1
16		2.0	3.0	1.2	2.0	1	1
17		1.2	1.7	1.9	2.8	1	1
18		5.1	7.9	3.9	2.9	3	1
Total		18.3	23.2	16.6	20.4	12	8

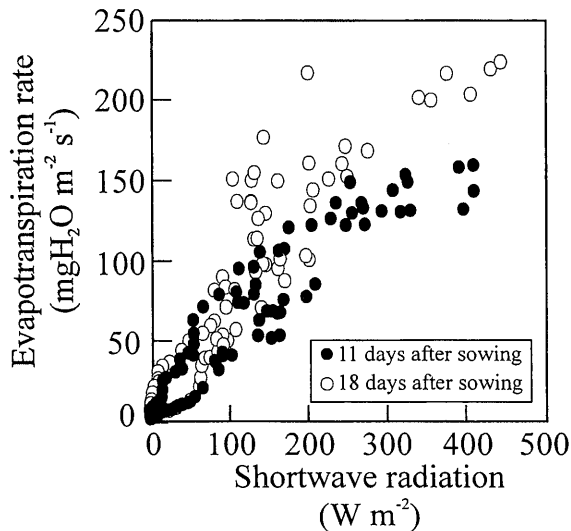


Fig. 5 Effects of shortwave radiation on evapotranspiration rates of the plug sheet watered with the weighing method.

蒸発散によって消費された水量、Kramer, 1983) が低かったと考えられる。すなわちこれは、秤量灌水法においてより無駄のない灌水が行われたことを示す。

秤量灌水法において制御されたのは苗および培地を含む苗個体群の重量である。従って、育苗期間中に苗の生体重が増加することによって、培地の含水量の上限および下限値はそれぞれ減少する。秤量灌水法において播種後 19 日目における苗個体群の乾燥重量は 460 g であった。苗個体群の重量は自動灌水を行った期間を通して 850~950 g であったことから、苗個体群の含水量は 390~490 g であったことになる。播種後 19 日目における苗個体群あたりの苗の生体重は約 80 g であったことから、播種後 19 日目における培地の含水量の上限および下限値は、苗個体群の含水量、390~490 g よりも約 80 g 低い値であった。このことから、培地の含水量を任意の範囲に制御するためには、苗個体群の重量の上限値および下限値を苗の生体重によって補正する必要がある。この補正值を考慮した灌水システムに関しては現在検討中である。

短波放射束密度が苗個体群の蒸発散速度に及ぼす影響を Fig. 5 に示す。短波放射束密度が等しい場合、播種後 18 日目の蒸発散速度は播種後 11 日目よりも高くなった。これは苗の生育に伴って苗個体群の葉面積指数が大きくなり、蒸発散面が拡大したこと、気温、相

対湿度、気流速度などの短波放射束密度以外の環境条件が播種後 11 日目と 18 日目とで異なることに起因すると考えられる。また、播種後 11 日目と 18 日目のそれぞれに、短波放射束密度が等しい場合に蒸発散速度に比較的大きなばらつきが見られた。これは、気温、相対湿度、気流速度などの短波放射束密度以外の環境条件の影響であると考えられる。このことから、従来行われている積算日射による蒸発散量の推定には比較的大きな誤差が含まれることが確認できた。

## 結 論

灌水時期および灌水量を決定する指標として苗個体群の連続秤量から求めた蒸発散量を用いることによって、天候にかかわらず、苗個体群の含水量を設定範囲内に制御できた。育苗期間中の苗の生体重の増分を補正することによって、セル内の培地の水分状態を制御することができる。この方法は、セル成型苗生産における新しい灌水方法としての実用面だけでなく、培地の水分状態がセル成型苗の生育に及ぼす影響を定量的に明らかにするための研究方法としても有用である。

本研究を遂行するにあたり、種々のご援助をいただいた茨城県農業総合センター園芸研究所野菜研究室の浅野伸行元室長、中原正一氏、宮城 慎氏に謹んで感謝の意を表す。

## 文 献

- Kramer, P. J. 1983. Water Relations of Plants. Academic Press, Orlando, pp 489.
- Nakayama, K., Yamanaka, S. 1975. Evapotranspiration of tomato crop in a plastic house. (Japanese text with English abstract) *J. Agr. Met.* **31**: 17-22.
- Nelson, P. V. 1991. Greenhouse operation and management. Ed. 4. Prentice-Hall, New Jersey, pp 612.
- Shibuya, T., Kitaya, Y., Kozai, T. 1997a. Dynamic measurements of net photosynthetic and evapotranspiration rates, and sensible and latent heat transfer rates of plug sheets based on micrometeorological and weighing methods. (Japanese text with English abstract) *Environ. Control in Biol.* **35**: 71-76.
- Shibuya, T., Kitaya, Y., Kozai, T. 1997b. Changes with time in rates of net photosynthesis, evapotranspiration and sensible and latent heat transfers of the plug sheet after watering. (Japanese text with English abstract) *Environ. Control in Biol.* **35**: 227-234.