

MISCELLANEOUS PUBLICATION OF
NARO WESTERN REGION AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

No.10 March, 2013

近畿中国四国農業研究センター研究資料

第10号 平成25年3月

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構

近畿中国四国農業研究センター

NARO WESTERN REGION AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

近畿中国四国農業研究センター研究資料 第 10 号

所 長 長 峰 司

編集委員会

委 員 長	佐野 資郎	
委 員	児嶋 清	川上 秀和
	松村 修	田坂 幸平
	佐藤 隆徳	篠田 満
	渡邊 修一	菊地 淳志
	川瀬真市郎	長崎 裕司
	村上 健二	大谷 一郎
	十鳥 博	十鳥 政信

MISCELLANEOUS PUBLICATION OF
NARO WESTERN REGION AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

No.10

Tsukasa NAGAMINE, Director General

EDITORIAL BOARD

Shirou SANO, Chairman

Kiyoshi KOJIMA	Hidekazu KAWAKAMI
Osamu MATSUMURA	Kouhei TASAKA
Takanori SATO	Mitsuru SHINODA
Syuuichi WATANABE	Atsushi KIKUCHI
Shinichirou KAWASE	Yuji NAGASAKI
Kenji MURAKAMI	Ichiro OTANI
Hiroshi JUUTORI	Masanobu JUUTORI

(NARO: National Agriculture and Food Research Organization)

近畿中国四国農業研究センター研究資料 第 10 号

(平成 25 年 3 月)

目 次

夏秋トマト栽培への循環式・かけ流し式ハイブリッド養液栽培装置の適用

笠原賢明・渡邊修一・吉川弘恭・柴田昇平 1

標高条件などの異なる建設足場資材利用温室における夏秋トマト栽培時の環境計測

長崎裕司・畔柳武司 13

MISCELLANEOUS PUBLICATION OF NARO WESTERN REGION AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

No.10 March 2013

CONTENTS

- Application of an Open/Closed Hybrid Hydroponic Culture System for Summer/Fall Tomato Cultivation
Yoshiaki KASAHARA, Shuichi WATANABE, Hiroyasu YOSHIKAWA and Shohei SHIBATA..... 1
- Climate Measurement of Scaffold-pipe Greenhouses on Different Altitude during Tomato Cultivation
in Summer
Yuji NAGASAKI and Takeshi KUROYANAGI..... 13

夏秋トマト栽培への循環式・かけ流し式 ハイブリッド養液栽培装置の適用

笠原賢明・渡邊修一¹・吉川弘恭²・柴田昇平

キーワード：養液栽培，給液制御，トマト，夏秋栽培

目 次

I 緒 言	1	IV 循環式・かけ流し式ハイブリッド養液栽培装置を用いたトマトの夏秋栽培	7
II ハイブリッドシステムの概要	2	1 方法	7
III 制御方法の原理的な比較と給液量管理の考え方	2	2 結果および考察	8
1 参照ベッドの排液の一部を廃棄する方法（方法1）	2	V ハイブリッド養液栽培装置を利用したトマトの夏秋栽培のための給液管理マニュアルの概要	9
2 かけ流しベッドで参照ベッドよりも吐出量が多い点滴資材を用いる方法（方法2）	5	VI 摘 要	10
3 かけ流しベッドへの培養液供給時間を参照ベッドよりも長くする方法（方法3）	6	謝 辞	10
4 ハイブリッドシステムを使用した給液管理	6	引用文献	10
		Summary	12

I 緒 言

四国地域の中山間地では夏期の冷涼な気候を利用して夏秋トマトの栽培が行われている。土壌病害の回避，栽培管理の省力化や高品質野菜果実の多収化を図るためには養液栽培の利用が有効であるが，装置の導入に要する初期投資が小さくないことが問題となっている。四国地域の中山間傾斜地に多い小規模農家で養液栽培を導入するには，平坦地以上にこのコストを低く抑える必要がある¹⁾。また，これらの地域では生産者の高齢化が進んでいるため，低コストであるだけでなく，高齢者にも扱いやすいように，装置の使用法が簡便であることも重要であり，さらには従来の経験が生かせるような技術であることが望ましい。

近畿中国四国農業研究センター四国研究センターでは，これまでに傾斜地で利用可能な，低廉な上面給液（点滴灌水資材を用いた給液）による固形培地耕の養液栽培装置を開発している¹⁾。さらに筆者らはかけ流し式固形培地耕のための培養液供給制御法

を考案し，この制御方法に基づく養液栽培装置を試作した³⁾。本養液栽培装置はタイマー制御を基本として，循環式養液栽培装置への培養液供給動作を参照しながら，固形培地への培養液供給のタイミングを制御するものである。この装置は，循環式養液栽培装置とかけ流し式養液栽培装置を組み合わせたものであることから，循環式・かけ流し式ハイブリッド養液栽培装置と命名した。また，培養液供給制御の方法をハイブリッドシステムと呼ぶこととした。

ハイブリッド養液栽培装置においては，循環式養液栽培装置部分の栽培ベッド（以下，参照ベッド）への新しい培養液の株あたり供給量とかけ流し式養液栽培装置部分の栽培ベッド（以下，かけ流しベッド）への株あたりの培養液供給量を一致させた場合，もし両ベッドですべての作物の株あたり吸水量が一致していれば，原理的にかけ流しベッドから排液は発生しない。しかし一般的に，上面給液の固形培地耕では株ごとに吸水量にバラツキがあるため，ある程度排液が発生するように給液管理せざるを得ない。例えば，培養液不足となる株が発生しないように生

育旺盛で吸水量が多い株に合わせて給液を行えば、それよりも生育の劣る株に対しては培養液が余剰となって排水が発生する。その上、点滴灌水資材の時間あたり吐出量に誤差があることも、排水が発生する要因になる。したがって、ハイブリッドシステムにおいても、何らかの方法で参照ベッドに比べてかけ流しベッドへの培養液供給量を多くし、かけ流しベッドから排水を発生させる必要がある。

そこで、本研究では、ハイブリッドシステムにおいてかけ流しベッドから排水を発生させる方法を数理モデルに基づき、比較検討した。さらに、ハイブリッド養液栽培装置をトマトの長段どり夏秋栽培に適用し、実用的な収量水準が得られるか否かを確認するとともに、問題点の抽出を行った。また、果実生産に対する施肥効率を調査した。それら結果に基づいて、ハイブリッド養液栽培装置を夏秋トマト栽培に利用する場合の、具体的な給液管理手順を提案する。

II ハイブリッドシステムの概要

循環式・かけ流し式ハイブリッド養液栽培装置の一部は、一般的な循環式養液栽培装置と類似の構成であり、栽培ベッドから排出される排水を10～15L程度のバケツを利用した排水タンクに回収して再び同じ栽培ベッドへ再供給するようにしている(第1図の点線で囲った部分)。ハイブリッドシステムはこの一部分への培養液供給動作を参照して、養液栽培装置全体への給液を制御する。循環式養液栽培装置類似の部分を「参照区」、参照区の栽培ベッドを「参照ベッド」とここでは呼ぶ。また、培養液のみを供給し、排水を再供給しない栽培ベッドを「かけ流しベッド」と称して区別することにする(第1図の上部2ベッド)。さらに、本資料では参照区において排水を一旦貯留するためのタンクを「排水バケツ」と呼ぶことにする。一般に養液栽培装置全体から発生する排水を貯留するための「排水タンク」は通常、大型であり、便宜上区別するためである。

ハイブリッドシステムでは参照区は閉鎖式養液栽培装置であるため、参照ベッドへ供給される培養液量と参照ベッド上の作物の吸水量は等しい。また、参照ベッドとかけ流しベッドでは株あたりの培養液供給量は同じである。つまり、かけ流しベッドの作物と参照ベッドの作物の株あたり吸水量が同じであれば、かけ流しベッドでは作物に対する培養液供給量に過不足はない。すなわち、かけ流しベッドにおいても、原理的に排水は発生せず、排水として施設外に廃棄される水分と肥料成分の無駄を抑制できる。さらに、かけ流しベッドの代わりに土耕の作物へ培養液を点滴で供給することにより、ハイブリッドシステムは養液土耕栽培の培養液供給制御にも利用可能であることを確認している⁶⁾。

本装置の培養液供給制御は、市販の24時間タイマーとサブタイマーの2種類のタイマーおよび液面センサを組み合わせ、排水バケツ内の排水の水位に応じて給液用の電磁弁を開閉または排水供給ポンプを作動・停止することで行う(第1図および第2図)。

すなわち、24時間タイマーで1日の培養液または排水の供給(以下、両者合わせて給液)回数と給液時間帯(給液時刻)を設定し、サブタイマーで給液時間の長さを設定することで1回あたりの給液量を調節する。日射などの環境センサ類や制御用のコンピュータなどを使用しないため安価である。また、本装置を用いた養液栽培の給液量管理手順は、一般に普及しているタイマー制御の養液栽培装置と同等の簡便さであり、農家に受け入れられやすいと期待できる。さらに、参照ベッドの株に病害が発生した場合などには、参照ベッドから発生する排水を施設外に廃棄することで、排水を介した病害の蔓延を防ぐことが可能である。この場合、本装置は通常のタイマー制御のかけ流し式養液栽培装置となる。

既報³⁾では、かけ流しベッドから排水が発生するように、参照ベッドへの排水供給時に排水の一部を廃棄する方法(方法1)を用いた。すなわち、排水供給管に点滴資材を追加し、そこから吐出する排水を参照ベッドに供給せず、施設外に廃棄することで参照区における作物の吸水量を見かけ上多くする。つまり、参照区の培養液消費量が参照区の作物の吸水量よりも多くなる。これにより参照区への培養液供給量、ならびにかけ流しベッドへの培養液供給量は作物の実際の吸水量よりも多くなり、かけ流しベッドから排水が発生する。また、この方法以外に排水がかげ流しベッドから発生するような給液制御の方法を2種類考案している。その制御方法は次の通りである。参照ベッドよりも時間あたりの吐出量の多い点滴資材をかけ流しベッドで用いる(方法2)。かけ流しベッドの培養液供給系統に、独立の電磁弁を設け、参照ベッドよりも電磁弁の開いている時間を長く設定することで、1回あたりの給液量をかけ流しベッドの方が多くなるようにする(方法3)。

III 制御方法の原理的な比較と給液量管理の考え方

1 参照ベッドの排水の一部を廃棄する方法(方法1)

参照ベッドの排水の一部を排水供給時に排水供給管に追加した点滴資材から施設外へ廃棄する方法について論じる。装置の設定と作物へ供給される培養液量、施設外に廃棄される排水量、および排水率(供給する培養液に対する、発生する排水の割合)の関係を数理モデルに基づいて明らかにする。議論を単純化するため、給液されるタイミングを考慮せずに、給液間隔に比べて十分に長い任意の期間について装置から廃棄される排水量および装置に供給される新しい培養液量の定式化を行う。数式の簡略化のため以下に示す液量を表す代数は特に断らない限りすべて株あたりのものとする。培養液量および排水量を表す代数は大文字で統一してある。これらは体積の次元である。時間は添字付きのtに統一する。ここで、一般的な吐出量 2 L hr^{-1} 程度の点滴資材を1株につき1個使用した場合の液量および時間のスケールを例示する。1日で考えると、夏秋栽培トマトの場合、1株あたり栽培ベッドに供給される培養液量

は定植直後の 0.5L から夏期の 3.6L 程度の範囲であり、給液時間の長さは 0.25 hr から 1.8 hr 程度になる。

参照ベッドでは、作物の吸水量 V_A と施設外へ廃棄される排水量 D の和は、参照区に供給される新しい培養液の量 V_S と等しい。

$$V_S = V_A + D \quad (1)$$

$$D = V_S - V_A \quad (1)$$

時間あたりの給液量（培養液または排水の供給量）を s 、任意の期間におけるタイマーで設定した給液時間の長さを t_{max} 、参照ベッドへの培養液供給量

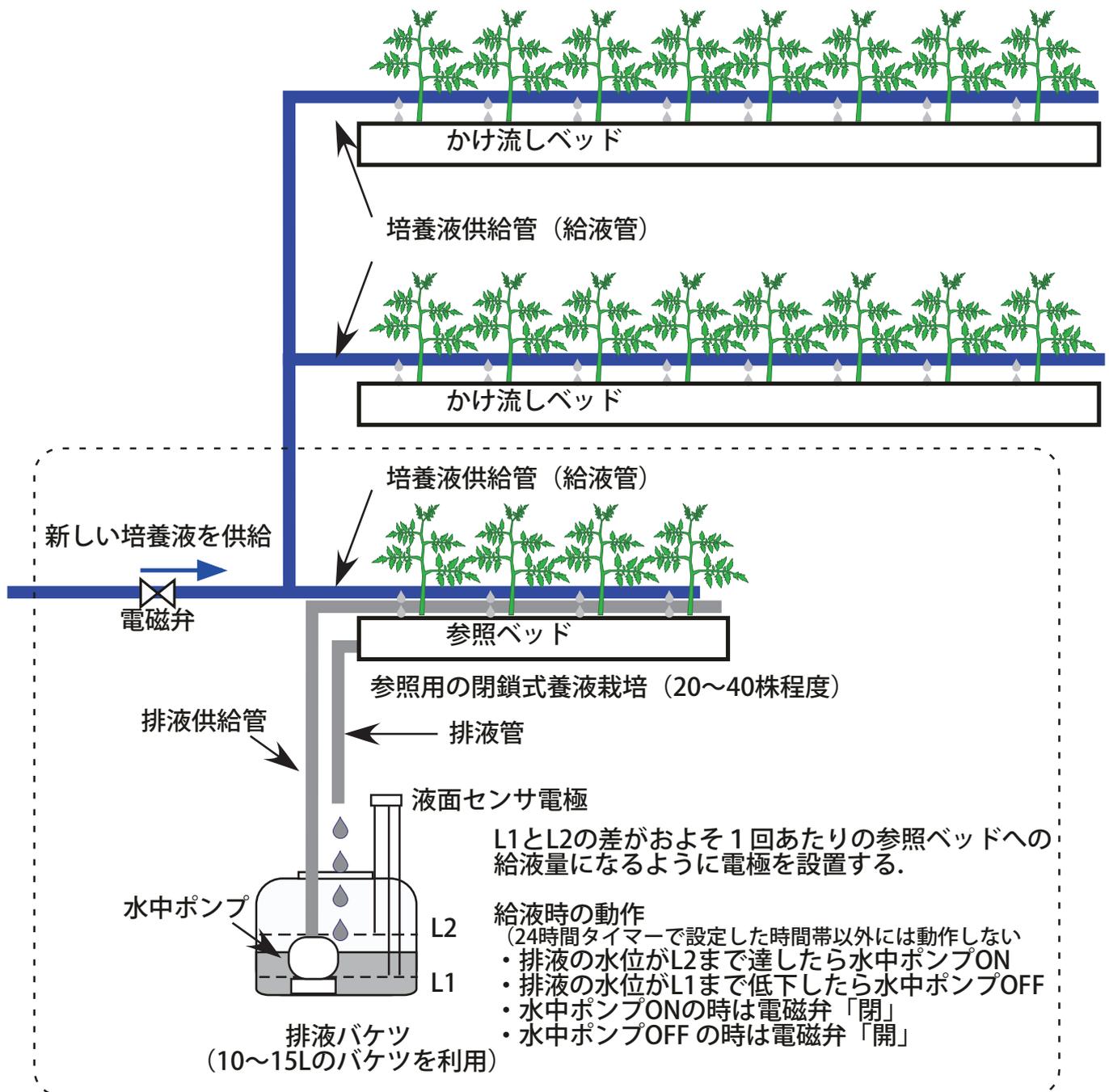
の最大値（排水が参照ベッドにまったく供給されず、給液時には新しい培養液のみが供給された場合の培養液供給量） V_{MAX} は次式で表される。

$$V_{MAX} = s \cdot t_{max} \quad (2)$$

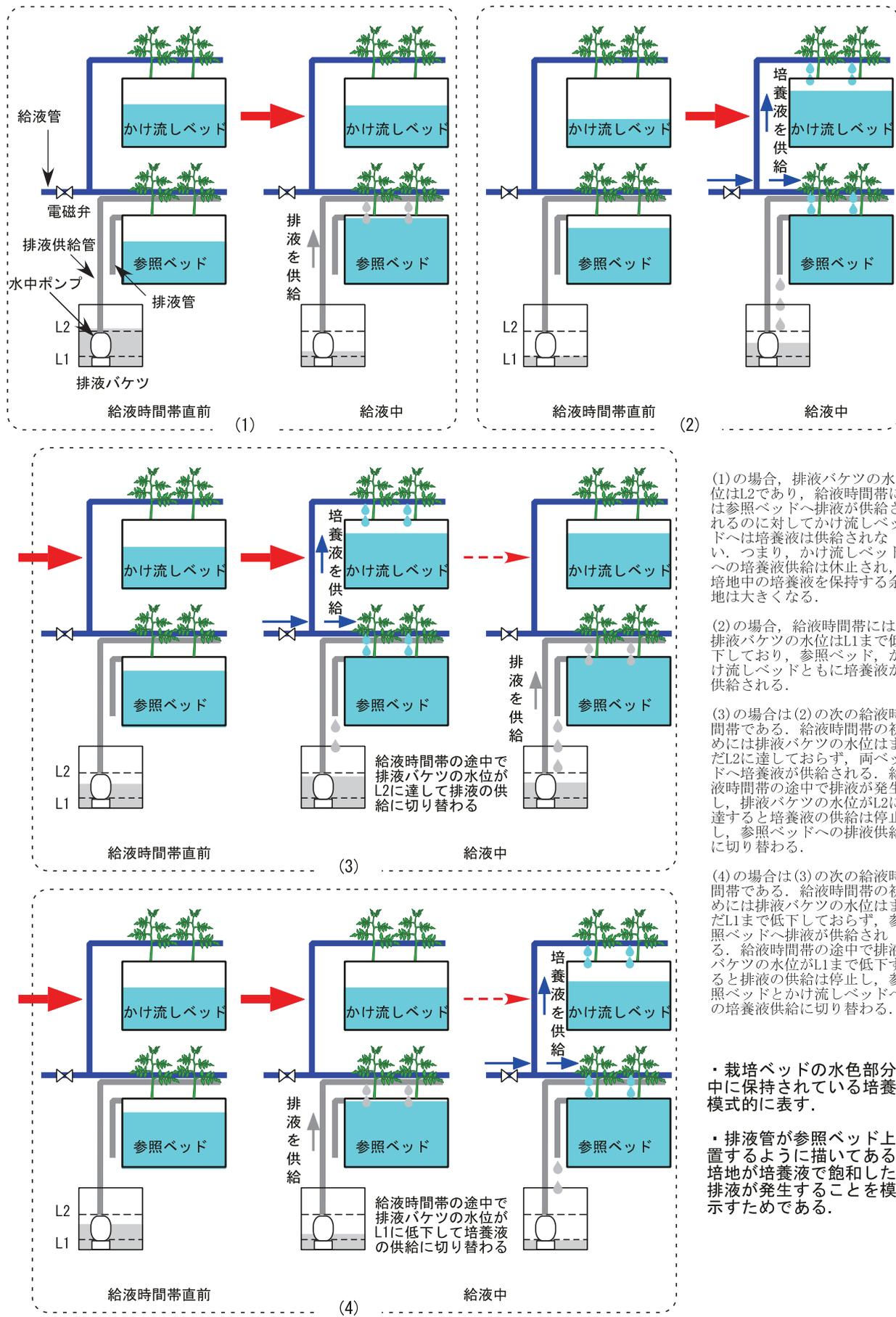
培養液が供給される時間を t_s 、参照ベッドに排水が供給される時間を t_d とすると、 t_{max} に対して任意の期間が十分に長い場合、以下の関係式が成り立つ。

$$V_S = s \cdot t_s \quad (3)$$

$$t_{max} = t_s + t_d \quad (4)$$



第1図 循環式・かけ流し式ハイブリッド養液栽培装置の概略
点線で囲った部分が一般的な循環式養液栽培装置と類似の構成になっている



(1)の場合、排水バケツの水位はL2であり、給液時間帯には参照ベッドへ排水が供給されるのに対してかけ流しベッドへは培養液は供給されない。つまり、かけ流しベッドへの培養液供給は休止され、培地中の培養液を保持する余地は大きくなる。

(2)の場合、給液時間帯には排水バケツの水位はL1まで低下しており、参照ベッドとかけ流しベッドともに培養液が供給される。

(3)の場合は(2)の次の給液時間帯の初めには排水バケツの水位はまだL2に達しておらず、両ベッドへ培養液が供給される。給液時間帯の途中で排水が発生し、排水バケツの水位がL2に達すると培養液の供給は停止し、参照ベッドへの排水供給に切り替わる。

(4)の場合は(3)の次の給液時間帯である。給液時間帯の初めには排水バケツの水位はまだL1まで低下しておらず、参照ベッドへ排水が供給される。給液時間帯の途中で排水バケツの水位がL1まで低下すると排水の供給は停止し、参照ベッドとかけ流しベッドへの培養液供給に切り替わる。

・栽培ベッドの水色部分は培地中に保持されている培養液量を模式的に表す。

・排水管が参照ベッド上端に位置するように描いてあるのは、培地が培養液で飽和したときに排水が発生することを模式的に示すためである。

第2図 循環式・かけ流し式ハイブリッド養液栽培装置動作例

さらに、排液バケツから参照ベッドへの排液供給時の、株あたりの時間あたり排液廃棄量 d については次式が成り立つ。

$$D = d \cdot t_d \quad (5)$$

また、参照ベッドへ供給する排液に対する施設外へ廃棄する排液の割合を r とすると次式の関係になる。

$$d = r \cdot s \quad (6)$$

以上の関係式から D および V_s を V_{MAX} , V_A , r で表す。式 (2) から $t_{max} = V_{MAX}/s$, 式 (3) から $t_s = V_s/s$, 式 (5) から $t_d = D/d$, 以上を式 (4) に代入して

$$\frac{V_{MAX}}{s} = \frac{V_s}{s} + \frac{D}{d} \quad (7)$$

式 (1) および式 (6) を式 (7) に代入して両辺に s を乗ずる。

$$V_{MAX} = V_A + D + \frac{D}{r} \quad (8)$$

D についてまとめる。

$$V_{MAX} = V_A + D \cdot \left(1 + \frac{1}{r}\right) \quad (9)$$

$$D \cdot \left(\frac{r+1}{r}\right) = V_{MAX} - V_A \quad (10)$$

$$\therefore D = \frac{r \cdot (V_{MAX} - V_A)}{r+1} \quad (11)$$

式 (11) を式 (1') に代入する。

$$\frac{r \cdot (V_{MAX} - V_A)}{r+1} = V_s - V_A \quad (12)$$

$$V_s = \frac{r \cdot V_A + V_A + r \cdot V_{MAX} - r \cdot V_A}{r+1} \quad (13)$$

$$\therefore V_s = \frac{r \cdot V_{MAX} + V_A}{r+1} \quad (14)$$

ところで、かけ流しベッドにおける作物への培養液の供給量 V_s' , 作物の吸水量 V_A' , かけ流しベッドから排出する排液量 D' の関係は次式で表される。

$$D' = V_s' - V_A' \quad (15)$$

方法 1 では、参照ベッドとかけ流しベッドで同じ点滴資材を用いて、かつ同時に培養液の供給がなされるため、参照ベッドでもかけ流しベッドでも株あたりの培養液供給量は同じである ($V_s' = V_s$)。参照ベッドとかけ流しベッドの作物の吸水量が等しい場合 ($V_A' = V_A$) には式 (1') および式 (15) から $D' = D$ が成り立つ。かけ流しベッドからの排液率 a (かけ流しベッドへ供給する培養液に対するかけ流しベッドから発生する排液の割合) は次式で定義される。

$$a = \frac{D'}{V_s'} \quad (16)$$

よってかけ流しベッドからの排液率は式 (11) および式 (14) により次式で表される。

$$a = \frac{r \cdot (V_{MAX} - V_A)}{r \cdot V_{MAX} + V_A} \quad (17)$$

式 (17) から、排液率は、排液を廃棄する割合 r , 培養液供給量の最大値 V_{MAX} , 作物の吸水量 V_A に依存することがわかる。

以上の定式化に基づき、排液を廃棄する割合を一定の $r = 1/4$ とし、晴天時の作物の吸水量が $V_A = 0.6V_{MAX}$ および $V_A = 0.9V_{MAX}$ である 2 つの場合について培養液供給量, 排液廃棄量, 排液率を試算する。式 (17) の V_A に、 V_{MAX} の倍数として吸水量を代入すれば計算することができる。ここでは曇天時には V_A は晴天時の $1/2$, 雨天時には晴天時の $1/5$ として試算した結果を第 1 表に示す。この試算結果から明らかなように、排液の一部を廃棄するハイブリッドシステムでは排液率を一定にすることはできない。作物の吸水量が V_{MAX} に比べて少ないほど排液率は高くなるが、作物の吸水量に応じて培養液供給量がある程度自動で調整されることがわかる。また、排液の発生を抑制するには作物の吸水量に対して、培養液供給量の最大値を極端に大きくすることを避ける必要があると結論づけられる。

2 かけ流しベッドで参照ベッドよりも吐出量が多い点滴資材を用いる方法 (方法 2)

続いて、参照区を、排液を廃棄しない閉鎖式養液栽培として、かけ流しベッドで参照ベッドよりも時間あたりの吐出量の多い点滴資材を用いる方法について論じる。かけ流しベッドの点滴資材に参照ベッドの点滴資材の n 倍の時間あたり吐出量の点滴資材を用いた場合、かけ流しベッドへ供給される培養液量 V_s' は次式で表される。

$$V_s' = n \cdot V_s \quad (18)$$

かけ流しベッドの排液率 a の定義式に式 (15) を代入すると次式が得られる。

$$a = \frac{V_s' - V_A'}{V_s'} \quad (19)$$

ここで、参照区は閉鎖式養液栽培装置であり、参照ベッドへの培養液供給量は作物の吸水量に等しく $V_A = V_s$ である。かけ流しベッドの作物の吸水量と参照ベッドの作物の吸水量が等しい場合は $V_A' = V_A = V_s$ である。これを式 (18) とともに式 (19) に代入すると次式の関係が得られる。

$$a = \frac{n \cdot V_s - V_s}{n \cdot V_s} \quad (20)$$

$$\therefore a = 1 - \frac{1}{n} \quad (21)$$

式(21)により、かけ流しベッドからの排液率は点滴資材の時間あたり吐出量の規格で決まり、作物の吸水量やタイマーの設定に依存しないことがわかる。

3 かけ流しベッドへの培養液供給時間を参照ベッドよりも長くする方法(方法3)

かけ流しベッドの培養液供給系統に、独立の電磁弁を設け、参照ベッドよりも電磁弁の開いている時間を長く設定することで、1回あたりの給液量をかけ流しベッドの方が多くなるようにする場合について論じる。かけ流しベッドの1回あたりの時間を参照ベッドの n 倍に設定した場合、かりに、給液時間帯の初めから培養液の供給がなされたとすれば、1回あたりの給液量も n 倍となり式(18)が成り立つ。しかし、第2図における(4)のように給液時間帯の途中で参照ベッドの排液供給から培養液の供給に切り替わった場合には式(18)が成り立たない。例えば、1回の給液時間の長さの設定値が参照ベッドで5分間、かけ流しベッドで6分間とした場合、給液時間帯の初めから培養液が供給されれば、 $V_S' = 1.2V_S$ であるのに対して、給液時間帯の初めの3分間に排液が供給された後、培養液の供給に切り替わると参照ベッドでは2分間の培養液供給、かけ流しベッドでは3分間の培養液供給となり、 $V_S' = 1.5V_S$ になる。逆に、第2図における(3)のように給液時間帯の途中で培養液の供給から排液の供給に切り替わる場合には参照ベッドへの培養液供給量とかけ流しベッドへの培養液供給時間は等しくなり、培養液の供給量も同じになる。つまり、給液時間帯の参照ベッドへの排液供給と培養液供給の切り替わるタイミングに依存することになり、前述2つ

の方式のような定式化は困難である。

4 ハイブリッドシステムを使用した給液管理

ハイブリッドシステムにおいては参照ベッドの作物を健全に育てることが必須であり、そのためには作物の生長に応じて適切に給液量を増やさなければならない。固形培地耕における給液量管理の基本的な考え方は以下の通りである。ロックウールなど保水性のある培地を用いた固形培地耕では、作物は培地に保持されている培養液を吸収している。したがって、作物に吸収されて減少した培地中の培養液を点滴給液で補うという考え方に基づいて給液制御する。供給する培養液の過不足については、固形培地から排液が発生すれば、作物の吸水量に対して、培養液の供給は足りているということが判断できる。4月定植の夏秋栽培トマトの場合、日射の増加する時期および生長に伴う水分要求量の増大の時期が一致していることから、単純に定植後日数の経過に伴って培養液供給量を、排液が発生するように増やしていけばよい。この基本的な考え方に基づいて、ハイブリッドシステムでは定植後から、参照ベッドから排液が発生するように、すなわち $V_{MAX} > V_A$ となるように V_{MAX} を増やしていくという管理とする。このハイブリッドシステムはタイマー制御が基本であり、培養液の供給量を増やすには1日の給液回数を増やす方法と1回あたりの給液時間を長くして1回あたりの給液量を増やす方法の2通りが考えられるが、給液回数を増やすという設定変更が妥当と判断できる。なぜならば、固形培地中の培養液の減少分が1回の培養液供給量に等しくなるまでの時間は、トマトの生長に伴って短くなるため給液頻度を増やすことが合理的であり、また、春から夏にかけては日照時間が延びるため朝夕に給液時間帯を追加していくことが理にかなっているからである。

第1表 参照ベッドの排液の一部($r = 1/4$)を廃棄するハイブリッド養液栽培装置における培養液供給量、排液量および排液率の試算値

作物の状態※	天候***	培養液供給量 (V_{MAX}) ****	排液廃棄量 (V_{MAX}) ****	排液率 (%)
晴天時 $V_A = 0.6V_{MAX}$ のとき	晴天	0.680	0.080	11.8
	曇天	0.440	0.140	31.8
	雨天	0.296	0.176	59.5
晴天時 $V_A = 0.9V_{MAX}$ のとき	晴天	0.920	0.020	2.2
	曇天	0.560	0.110	19.6
	雨天	0.344	0.164	47.7

※作物の状態を、晴天時の吸水量 V_A として表現。

***曇天時の V_A は晴天時の1/2、雨天時の V_A は晴天時の1/5として試算(代数による表記は省略)。

****「 V_{MAX} 」は液量の単位ではなく、 V_{MAX} の倍数の意味である。

IV 循環式・かけ流し式ハイブリッド養液栽培装置を用いたトマトの夏秋栽培

1 方法

1) 装置の構成

考案したハイブリッドシステムを傾斜地用養液栽培装置に適用し、トマトの夏秋栽培を行った。北向き傾斜約 10 度の斜面にある平張り型傾斜ハウス内（近中四農研四国研究センター生野地区：標高約 100m）に長さ 8m の栽培ベッドを 9 列（ただし 9 列目のみ長さ 6 m）1.5m 間隔で設置した。固形培地としてロックウール（日東紡製ロックファイバーベッド 75 × 300 × 910mm）を使用した。山側（南側）から 1 列目および 9 列目は境界効果を避けるための除外区として養液栽培を行った。2 列目以降はハイブリッドシステムとした。2 列目を参照ベッド、3～8 列目をかけ流しベッドとした。3～5 列目は排液を排液タンクに一旦貯留し、アスピレーターを用いて培養液に混入して再利用する養液栽培とした（排液再利用区）²⁾⁴⁾。排液の混入率は最大で 2 割程度である。排液を完全に再利用すれば、肥料成分を施設外に廃棄しない閉鎖式養液栽培となり、施肥効率を評価する基準となる。6～8 列目のかけ流しベッドは排液を施設外に廃棄した（かけ流し区）。給液用電磁弁の開いている時間をタイムカウンタで計測し、点滴資材の時間あたり吐出量から培養液の供給量を推算した。排液供給ポンプに電磁カウンタを取り付けて排液供給回数を確認できるようにした。

2) 供試品種および栽培条件

品種は「桃太郎 8」（タキイ種苗）、2010 年 4 月 20 日に 5～6 葉のセル成型苗を定植し、活着するまでの 7 日間培養液をかけ流した。株間 20cm、1 列あたり 40 株とし、左右に振り分けて吊り下げ誘引した。10 月 6 日に 18～20 段目で摘芯し、11 月 30 日まで収穫を行った。収穫調査は列ごとに行い、各列を 1 反復として、各処理区 3 反復として扱った。栽植密度 3.3 株 m^{-2} として総果実収量を 10a あたりに換算した。

1 日の給液回数は 3 回から開始し、生育に伴って参照ベッドからの排液供給回数が減少した場合、すなわちおおむね 24 時間タイマーで設定した給液回数 2 割以下になった場合に 1 日の設定給液回数を 1.5 倍に増やした。培養液の濃度と組成管理は既報にならった³⁾⁴⁾。すなわち 0.5 倍濃度の大家 SA 処方の組成と SC 処方の組成の範囲となるように無動力液肥混入器（ネタフィム社ネタトロン）により調製した。混入率を適宜実測して設定とのずれが生じた場合には調整を行った。かけ流し区においては排液バケツ内の排液 EC（電気伝導度）、排液再利用区では排液タンク内の排液 EC を確認し、収穫開始までは 1.0dS m^{-1} 、収穫開始以降は 1.5dS m^{-1} 以上となったら、培養液の代わりに水を供給し、水を供給した翌日、または翌々日には培養液の供給に戻すという管理を行った。収穫時期の排液 EC の目安の

変更は、排液中養分濃度は根の養分吸収力と培地中の水分および養分の移動のしやすさに依存するという文献 4) の数理モデル解析に基づく判断である。トマトへの窒素肥料成分の供給量は液肥原液の混入率と培養液の供給量（排液再利用区の場合は培養液の調製量）および肥料（大家 S1 号、大家 2 号）の保証成分量から推算した。排液の発生量は以下に述べる方法で測定した。6 列目からの排液を 10L のバケツに貯留、およそ 4～5L 溜まる毎に、水位センサによりポンプが作動して排液をバケツから排出、排出時に積算流量計を通して排液の流量を計測、排液量を算出した。排液再利用区の排液量は測定していない。

栽培期間を 3 つの時期に分けてかけ流しベッドから排液を発生させる 3 つの方法を実施した。なお、点滴資材に用いたドリッパーおよび点滴チューブの製品名は括弧内にカタログの表記のままとする（例：2 L/H）。

A) 前期（4 月 28 日～6 月 7 日）

方法 2 のかけ流しベッドで参照ベッドよりも吐出量が多い点滴資材を用いる方法を実施した。点滴資材は吉川の極微量灌水法を参考にした⁷⁾。この方法では点滴資材は、時間あたりの給液量を一定に保つための 1 次給液管と、培養液を複数の株下に導くための 2 次給液管から構成される。1 次給液管に取り付けた圧力補正機能付きのドリッパーから吐出する培養液を 2 次給液管で複数の株に振り分けることにより、一般的な点滴給液に比べて時間あたりの給液量を微量に設定できる。本試験では、圧力補正・後だれ防止機能付きのドリッパー（ネタフィム社 PCJ-LCNL ドリッパーウッドペッカータイプ 2L/H）を 16mm ポリエチレンパイプに取り付けたものを 1 次給液管に、点滴チューブ（ネタフィム社ラム 17・2.3L/H・0.20m）を 2 次給液管に用いた。ドリッパー 1 個あたりの吐出量は約 2 L hr^{-1} であり、参照ベッドではドリッパー 1 個につき点滴チューブの吐出口 5 穴に振り分けることで培養液の吐出量 0.4 L hr^{-1} 、かけ流しベッドではドリッパー 1 個につき点滴チューブの吐出口 4 穴に振り分けることで培養液の吐出量 0.5 L hr^{-1} とした。

B) 中期（6 月 8 日～9 月 7 日）

方法 3 のかけ流しベッドへの培養液供給時間を参照ベッドよりも長くする方法を実施した。点滴資材を圧力補正・後だれ防止機能付きの点滴チューブ（ネタフィム社ユニラム 17・1.6L/H・0.20m）に交換し、かけ流しベッドへの培養液供給を制御する電磁弁の開く時間を、参照ベッドに対して 1.2 倍に設定した。点滴孔 1 個あたりの吐出量は約 1.6～1.8 L hr^{-1} である。

C) 後期（9 月 8 日～11 月 30 日：栽培終了）

方法 1 の参照ベッドの排液の一部を廃棄する方法を実施した。排液供給管に圧力補正・後だれ防止機能付きのドリッパー（ネタフィム社 PCJ-LCNL ドリッパーウッドペッカータイプ 8 L/H）を 4 個取り付け、排液の一部を廃棄できるようにした。ドリッパー 1 個あたりの吐出量は約 8 L hr^{-1} である。排液

廃棄に使用しないドリッパーを塞ぐことで、式(6)における r の値を変更することが可能である。参照ベッドへの時間あたりの排液供給量は約 64 L hr^{-1} であるから r の値は $0, 8/64, 16/64, 24/64, 32/64$ に設定できる。2010年は病害の発生もなく、参照ベッドの欠株も無かったため、排液発生抑制のために r の値は $8/64=1/8$ で制御を行った。

2 結果および考察

各給液方法の期間中の排液率の期間平均(期間中の総排液量を培養液の総供給量で除したものの)、最大値、最小値を示す(第2表)。日最大排液率が93.3%を示した日は、固形培地内の培養液が飽和に近い状態で、かつ排液バケツの水位がL2に達してなかった翌日に、雨天など、日射の減少によりトマトの吸水量が減少した状態でかけ流しベッドに培養液が供給された場合と考えられる。この場合、排液バケツの水位がL2に達した後、かけ流しベッドへの培養液供給は休止される。日最小排液率が0%の日は、トマトの生長にともない、培養液の供給量をトマトの吸水量が上回った場合と考えられる。この場合、タイマーの設定変更により翌日の V_{MAX} を増やすため、培養液の供給不足にはならない。つまり、日々の排液率に変動があっても、培養液の供給過剰や供給不足の状態が継続する状況は生じない。また、かけ流しベッドのトマトの生育が参照ベッドより勝る場合には、かけ流しベッドから排液が発生しなくなる可能性が懸念されたが、いずれの方法においても排液を発生させつつ、過剰な培養液供給を防ぐことができたと考えられる。ただし、方法2の極微量灌水ではトマトの細根が吐出口付近で非常に発達し、適宜吐出口周辺の細根を取り除く必要が生じた。最終的に点滴チューブ内への根の侵入を防ぐことができず、目詰まりを起こした。このため6月7日の給液終了後に点滴チューブを交換し、方法3を実施するに至った。参考までに吐出口周りの根の発達状況の写真を2009年の試験³⁾から示す(写真1)。また、方法1を実施した9月8日以降の排液率が方法2、方法3の実施期間に比べて大きい原因は、日照が減少する時期にあたり、 V_{MAX} がトマトの吸水量 V_A に対して、常時多めの設定であったためと考えられる。方法1の実施期間の排液率は2割を超えており、排液再利用区においても排液率が2割を超えたものと考えられ、排液を完全に再利用することができず、閉鎖式養液栽培とならなかった。

各栽培区の果実収量を第3表に示す。かけ流し区におけるトマトの総果実収量は $19.8 \pm 0.5 \text{ t/10a}$ (\pm :標準誤差)であり、果実生産 1 t あたりの肥料使用量は、窒素 2.99 kg である。排液再利用区におけるトマトの総果実収量は $17.7 \pm 0.3 \text{ t/10a}$ であり、果実生産あたりの肥料使用量は、窒素 2.55 kg/t である。総果実収量および可販果収量はかけ流し区の方が有意に多かった。ただし、使用したハウスは傾斜地に立地しているため、施設内環境の均一性が担保されておらず、収量差が排液再利用の有無に起因するものとは限らない。なお、参照ベッド

の総果実収量は 17.0 t/10a である。トマトの果実生産では 2.4 kg/t の窒素が必要と考えられており⁵⁾、排液再利用区はこの水準に近いものである。果実生産あたりの肥料の利用効率は排液再利用区には及ばないが、かけ流し区においても排液として廃棄される肥料や水の無駄をハイブリッドシステムにより抑制することができたと考えられる。試験に使用したハウスの立地はトマトの夏秋栽培に不利な低標高地であるにもかかわらず、約 20 t/10a の総果実収量が得られたことから、実際の栽培現場においても実用的な収量水準を得られるものと期待できる。可販果収量は 12 t/10a 程度であり、四国中山間地域における夏秋トマト養液栽培の実績の約 14 t/10a ¹⁾に比べて劣るものの、冷涼地域であれば裂果が本試験よりも抑制されると考えられるためである。

本試験で比較した3つの給液方法のうち、方法2は、吐出量の異なる2種類の点滴資材が必要であることからコストが割高になる。方法3は制御回路が複雑で電磁弁も2つ必要なことから装置のコストが割高になるばかりでなく故障のリスクも大きくなる。方法2および方法3は、参照ベッドに対するかけ流しベッドへの培養液供給量の割合を任意に設定する必要があるような試験研究の場面で利用することが考えられる⁶⁾。栽培現場に適用するには配管、制御回路ともに単純な方法1が適している。

第2表 ハイブリッドシステムのかげ流しベッドにおける期間毎の排液率

期間 (月・日)	方法	日最大 排液率(%)	日最小 排液率(%)	期間 平均(%)*	変動 係数**
4.27~6.7	方法2	36.3	0.0	17.2	0.406
6.9~9.7	方法3	62.1	0.0	18.2	0.651
9.9~11.30	方法1	93.3	14.2	34.8	0.417

(方法の変更直後2日間の値は除く。反復、統計処理は無し)

*期間中の排液量を期間中の培養液供給量で除したもの。

**1日ごとの排液率の標準偏差を1日ごとの排液率の平均値で除したもの。



写真1 給液管吐出口周りの根の発達状況
極微量灌水(左) 通常灌水(右)

吐出量 0.4 L hr^{-1} の極微量灌水(左)と 2.3 L hr^{-1} の通常灌水(右)で栽培したトマトの根。極微量灌水はハイブリッドシステムによる給液制御、通常灌水は排液発生量に応じて給液休止を行う制御である。2009年6月24~26日に5~6葉のセル苗を定植、9月初旬の状況。極微量灌水では夏期の晴天時に日中ほぼ連続して培養液が供給されるのに対して、通常灌水では給液頻度は最大でも30分間に1回であり、少なくとも約25分間のインターバルが生じる。

第3表 ハイブリッドシステムで栽培したトマトの果実収量 (±σ/√n, n=3, t/10a)

	総果実	可販果	裂果	尻腐れ果	乱形果等
参照ベッド 反復なし；参考値	17.0 (100%)	8.7 (51.2%)	6.9 (40.6%)	0.3 (1.8%)	1.1 (6.4%)
かけ流し区	19.8±0.5* (100%)	12.4±0.1** (62.6%)	5.4±0.3 (27.3%)	0.4±0.06 (2.0%)	1.6±0.07 (8.1%)
排水再利用区	17.7±0.3* (100%)	10.4±0.1** (58.8%)	5.1±0.1 (28.8%)	0.3±0.02 (1.7%)	1.8±0.1 (10.3%)

() 内は総果実重に対する割合

*: 5%水準で有意差有り, **: 1%水準で有意差有り

V ハイブリッド養液栽培装置を利用したトマトの夏秋栽培のための給液管理マニュアルの概要

市販の機器を利用してハイブリッドシステムを自作する場合の必要部材と価格(概算)を第4表に例示する。本制御装置はおよそ6万円以下で作製可能であり、施設の規模に依存しない。これまでに単一のタイマー制御装置で4~5a規模の傾斜ハウス内で養液栽培が可能であった実績から¹⁾、これと同程度の規模の施設での利用を想定している。施設内環境がある程度均一であれば、一斉定植を行う限り、より大きな施設でも利用可能と考えられる。回路と動作については第3図に示す。

第4表 ハイブリッドシステム制御装置自作のために必要な主要部材例(価格は概算)

部材	メーカー	型番	価格
タイムスイッチ (24時間式)	パナソニック	TB32109	5600
コードコネクタ	パナソニック	WH 4515	200
ソリッドステートタイマ	オムロン	形 H3CR-A	4000
ソケット	オムロン	形 P2CF-11	680
フロートレススイッチ	オムロン	形 61F-GP-N	7450
ソケット	オムロン	形 PF113A	1040
電極ホルダ	オムロン	形 PS3-S	1700
電極棒(2本)	オムロン	形 PS03-01 SUS304	800
タイムカウンタ*	オムロン	形 H7ET-NFV1	7450
ブラボックス	河村電器産業	SPN 3030-14	2520
テラダ水中ポンプ**	寺田ポンプ	SL-102	18000
ポリバケツ(15L)	汎用品		1500
コード、圧着端子など	汎用品		3000
合計			53940

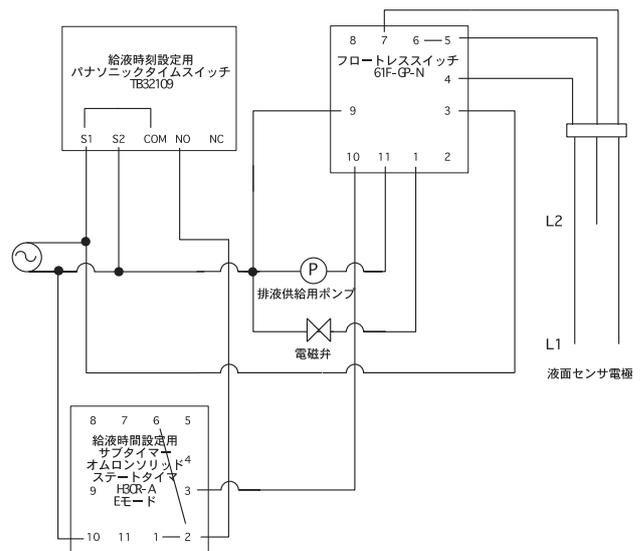
・給液のタイミングを制御する装置であるため、コストは施設の規模に依存しない。タイマー制御の装置の過去の実績から5a程度の規模での利用を想定。

・排水供給関係の配管部材は含めていない(かけ流しベッドで用いた資材の端材の利用を想定しているため)。

*流量計よりも安価である。培養液供給量を流量計で計測する場合には不要。

**5~40株規模までの参照ベッドに対応可能であることを確認している。

4月下旬定植のトマト夏秋栽培の培養液管理は次段落以降に示す手順にしたがって行う。ハイブリッド養液栽培装置の原理上、管理手順の適用地域は問わない。ただし実用的な水準の可販果収量を得るには夏期冷涼な、例えば中山間地域などで栽培を行う必要がある。固形培地にはトマト1株あたり2L程



第3図 ハイブリッドシステム制御回路の例

24時間タイマー(パナソニックタイムスイッチ)で1日の給液回数と給液時間帯を設定する。1回あたりの給液量はサブタイマー(オムロンソリッドステートタイマ:Eモード)で設定する。電磁弁に並列してタイムカウンタを接続すれば電磁弁の開いている時間を測定することができ、培養液の供給量を計算できる(図中省略)。

- 1) 24時間タイマーで設定した時間帯になると[COM][NO]間で通電する。
- 2) [COM][NO]間で通電すると給液時間設定用サブタイマーがonになると同時に設定した時間[1][3]間で通電する。
- 3) 参照区の閉鎖式養液栽培の排水バケツ内の排水がL2よりも多いときは液面センサ(オムロンフロートレススイッチ)の[10][11]間が接続しており、排水供給用ポンプが作動する。排水の水位がL1まで低下すると、[10][1]間が接続し、電磁弁が開く。

度の容積があることが望ましい。

まず、培養液濃度の管理手順について述べる。培養液の濃度および組成の管理は文献4)で実施した方法を踏襲する。すなわち、組成は0.5倍濃度の大家SA処方の組成とSC処方の組成の範囲とすることを基本とする。補足すると、液肥混入器を用いて培養液を調製する場合、大家S1号と大家2号の液肥原液をそれぞれ等量原水に混入すると大家SA処方となり、1:0.8の割合で混入すると大家SC処方と

なる。栽培現場において2つの液肥原液を原水に精密に比率を設定して混入することは、液肥混入器に誤差があるため困難である。よって大塚S1号液肥原液の原水への混入率1単位に対して大塚2号の原水への混入率を0.8～1.0単位の範囲となるように液肥混入器を設定し、培養液の調製を行うものとする。排液バケツ内の排液ECを確認し、収穫開始までは 1.0dS m^{-1} 、収穫開始以降は 1.5dS m^{-1} 以上となったら、培養液の代わりに水を供給し、水を供給した翌日、または翌々日には必ず培養液の供給に戻す⁴⁾。3日以上続けて水のみを供給するとトマトでは欠乏症(生長点付近の障害)が発生する。

次に、培養液供給量の管理手順を以下に箇条書きで記す。

- 1) トマト1株、1回あたりの給液量は160～200mLを基本とする。培養液の供給量は流量計で測定するか、タイムカウンタで測定した電磁弁の開いている時間から計算する。
- 2) 定植前に点滴資材の時間あたり吐出量を実測して、確認しておく。
- 3) 5～6葉展開のセル苗またはポット苗定植後、活着するまでは参照ベッドからの排液を廃棄して、培養液をかけ流す。1日の給液回数は6回、1回あたりの給液量は1株につき80～100mLとなるようにサブタイマーを設定する。
- 4) 1週間程度培養液をかけ流して活着を確認後、参照ベッドからの排液を排液バケツに回収し、ハイブリッドシステムを稼働させる。同時にサブタイマーの設定を変更して1回1株につき給液量を160～200mLに変更する。
- 5) 1日の培養液供給量(V_S)が、設定した培養液供給量の最大値(V_{MAX})の8割を超えたら、給液回数を1.5倍程度に増やす。設定する給液時間帯の1例を第4図に示す。
- 6) 1日の給液回数が19回に達した後も、1日あたりの V_S が、 V_{MAX} の8割を超えるような場合にはサブタイマーの設定時間をさらに1割程度長くすることで V_{MAX} を増やす。
- 7) 9月以降、日長が短く、日射が弱くなる時期には給液回数を減らす。晴天時にもかかわらず、1日あたりの V_S が、 V_{MAX} の2/3に満たない場合に第4図の例に従い、設定給液回数を減らす。

VI 摘 要

循環式・かけ流し式ハイブリッド養液栽培装置において、かけ流しベッドから排液を発生させる方法について、比較検討した。参照ベッドへの排液供給時に排液の一部を廃棄する方法(方法1)、かけ流しベッドで参照ベッドよりも時間あたり吐出量が多い点滴資材を用いる方法(方法2)、かけ流しベッドへの培養液供給時間を参照ベッドよりも長くする方法(方法3)、いずれの方法においてもかけ流しベッドから排液を発生させることができた。栽培現場に適用するには装置の単純さと動作の確実性およびコストの点で方法1が適している。本装置を用

いたトマトの夏秋栽培では、かけ流しベッドにおける総果実収量は2010年の実績で約20t/10a、果実生産に要する窒素施用量は約3kg/tである。

謝 辞

本研究の一部はプロジェクト研究「省資源プロ・省化学肥料型」および地域農業確立総合研究「中山間地域農家の所得拡大を目指した夏秋トマト20t採り低コスト・省力・安定生産技術体系の確立」の援助で実施した。本研究のトマト栽培にあたり、近畿中国四国農業研究センター研究支援センターの渡辺修一氏、加賀宇昌宏氏、塩本知氏、上枝博樹氏、請川美香氏、西山英美氏にご協力いただいた。感謝の意を表す。

引用文献

- 1) 東出忠桐 2010. わが国の中山間傾斜地における施設園芸作物の安定多収生産に向けての養液栽培技術の開発 近中四農研報 9:37-98.
- 2) 笠原賢明・東出忠桐・角川修・伊吹俊彦 2005. 養液栽培においてアスピレーターの使用により排液を再利用する方法 土肥誌 76:49-52.
- 3) 笠原賢明・渡邊修一・吉川弘恭・柴田昇平 2011. 循環式養液栽培装置への培養液供給動作を参照して給液制御するかけ流し式養液栽培装置の開発. 近中四農研報 10:99-108.
- 4) 笠原賢明・吉川弘恭・東出忠桐・伊吹俊彦 2009. 養液栽培における排液再利用法の検討 近中四農研報 8:91-101.
- 5) 六本木和夫・加藤俊博 2000. 野菜・花卉の養液土耕. 農文協, 東京. 野菜の養液土耕の実際 151-155.
- 6) 渡邊修一・笠原賢明・吉川弘恭 2011. トマトの養液土耕栽培におけるリン酸無施肥および極微量灌水がリン酸収支に及ぼす影響 近中四農研報 10:41-51.
- 7) 吉川弘恭 2009. 有機質培地を利用した養液栽培. 伊吹俊彦・家常高編著, 近畿中国四国農業研究叢書2 傾斜地特有の資源を活用した低コスト施設栽培—四国傾斜地農業の経営改善に向けた総合研究— 155-159.

6回（給液回数，以下同様）

6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
		■		■		■		■		■	

9回

6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
		■		■	■	■	■	■		■	

15回

6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
■		■		■	■	■	■	■	■	■	

19回

6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

14回（9月以降）

6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
■		■		■	■	■	■	■	■	■	■

9回

6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
■		■		■	■	■	■	■	■	■	

6回

6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
			■	■	■	■	■	■			

4回

6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
			■		■	■	■	■			

第4図 給液時間帯の設定例

数字は時刻を示す。■は給液する時間帯。24時間タイマが on になるように，コマを倒して設定する。夏秋栽培ではトマトの吸水量は最大 3L/株/日程度であるため，1株，1回あたりの給液量が 160 mL の場合，給液回数は最大で1日19回になる。

Application of an Open/Closed Hybrid Hydroponic Culture System for Summer/Fall Tomato Cultivation

Yoshiaki KASAHARA, Shuichi WATANABE¹, Hiroyasu YOSHIKAWA² and Shohei SHIBATA

Key words : hydroponic culture, nutrient solution management, tomato, summer/fall cultivation

Summary

We previously devised a hydroponic culture apparatus in which a run-to-waste type (open-type) hydroponic culture system was combined with a closed hydroponic culture system placed in a greenhouse to control nutrient solution supply to the entire greenhouse so that it can be balanced against nutrient solution requirement affected by crop growth and solar radiation. This apparatus was termed “the open/closed hybrid hydroponic system”. Using this culture system, we compared the following control methods to supply the nutrient solution to crops. Method 1: When drainage is supplied to the bed of the closed-type hydroponic culture system, part of the drainage is discarded as waste. Method 2: For the bed of the open-type system, irrigation drippers with a higher flow rate than those for the bed of the closed-type system are used. Method 3: The nutrient solution supply time for the bed of the open-type system is prolonged compared with that for the bed of the closed-type system. Using each method, the nutrient solution drainage/supply rate was 17-35%. This suggests that the nutrient solution supply was more than sufficient for its requirement using each method. Method 1 is the most appropriate for farms due to the simplicity of the system, accuracy, and low cost. The tomato yield using this system in the greenhouse at the NARO / Western Region Agriculture Research Center Ikano Campus was 20 kg m⁻² from April to November, 2010. To produce 1 kg of tomato fruits, 3 g of nitrogen was applied.

Hillside Horticulture Research Division, NARO Western Region Agricultural Research Center

¹Farming Systems and Agro-Environmental Technologies Research Division, NARO Western Region Agricultural Research Center

² NARO Agricultural Research Center

標高条件などの異なる建設足場資材利用温室における 夏秋トマト栽培時の環境計測

長崎裕司, 畔柳武司

キーワード：建設足場資材利用園芸ハウス, 片屋根型ハウス, 日射透過率, 気温, 飽差

目 次

I 緒 言	13	1 日射透過率	14
II 材料および方法	13	2 気温および飽差	16
1 対象温室	13	3 総合考察	17
2 計測方法	14	摘 要	17
3 データ処理	14	謝 辞	17
4 直達日射透過シミュレーション	14	引用文献	18
III 結果および考察	14	Summary	19

I 緒 言

平成 20 年度 (2008 年度) から地域農業確立総合研究「中山間地域農家の所得拡大を目指した夏秋トマト 20 t 採り低コスト・省力・安定生産技術体系の確立 (略称: 中山間 20 t 採りトマト)」が開始され, 著者らはトマトの低段密植栽培の実証試験に取り組んでいる。営農試験地として, 中国四国地域の夏秋トマト産地である広島県神石高原町 (高標高小規模産地), 山口県萩市 (低標高中規模産地), 愛媛県久万高原町 (高標高大規模産地) の農家などの圃場を関係県の公設試験研究機関の協力を選定した。標高は 320 ~ 750m に位置し, それぞれに建設足場資材利用園芸ハウスを建設し, 2009 年より栽培実証試験を開始している。

これまでに設置された同構造の温室は, 北は岩手県より南は鹿児島県まで十数棟になる。その特徴は, 外径 48.6mm の足場用鋼管をクランプなどで組み立て主骨組みとし, 軒高を約 3m と高くとり, 側窓面積を増やし, 換気性を高めるようにした構造にある。これまでの施工事例から, 同程度の強度水準である鉄骨補強パイプハウスよりも低コストであること, 引き抜きに強い基礎や適切な補強により高い耐風性が得られることが実証されており¹⁾。施工法の改善などが行われている²⁾。一方, 一般的な地中押し込み式パイプハウスに比較して高軒高であることから, すべての側面を開放することにより自然換

気性に優れているとされているが, 内部環境に関する資料は限られている^{3),4)}。

前述した「中山間 20 t 採りトマト」研究では, 各地の標高などの立地条件や圃場条件に合わせて規模, 形状の異なる建設足場資材利用園芸ハウスが設置され, 同一の計測機器を用いて温室内外の環境を計測する機会に恵まれた。そこで, 本資料では, 屋根の方位および傾斜角, ならびに一部ハウスの屋根面に適用した吹き付け型の遮光資材が日射透過率に及ぼす影響について考察するとともに, 温室内の温湿度環境計測事例について報告する。

II 材料および方法

1 対象温室

計測対象とした建設足場資材利用園芸ハウスは, 愛媛県久万高原町 (北緯 33.7 度, 東経 133.0 度, 標高 752m) のハウス (以下, 温室 A (間口 5.4m, 奥行 15m) の片屋根型) および山口県萩市 (北緯 34.5 度, 東経 131.6 度, 標高 320m) のハウス (以下, 温室 B (間口 5.4m, 奥行 48m) の片屋根型), および広島県神石高原町 (北緯 34.8 度, 東経 133.3 度, 標高 510m) のハウス (以下, 温室 C (間口 8.1m, 奥行 36m) のスリークウォータ型) である。各温室の詳細な寸法および諸元は既報の通りである²⁾。

各温室の屋根の方位と傾斜角は, 温室 A が東向き 10 度, 温室 B が西向き 15 度, 温室 C が南向き

(平成 24 年 9 月 10 日受付, 平成 25 年 1 月 31 日受理)

農研機構 近畿中国四国農業研究センター

傾斜地園芸研究領域

10度である。被覆資材は、温室Aが屋根のみ空気膜POフィルム(厚さ0.1mmの2枚重ね)、温室BおよびCはPOフィルム(厚さ0.15mm)であり、温室A、BおよびCの屋根フィルムの設置時期は、それぞれ2009年4月15日、3月10日、3月25日である。いずれの温室も防虫ネットを展張した巻き上げ式の側窓を備え、防虫ネットの目合いは、温室Aは4×4mm、温室BおよびCは0.4×0.4mmであった。温室Aには1台、温室Cには2台の循環扇を設置し、日中は15分で運転と停止を繰り返す間欠運転を行った。温室Aの空気膜は、観測期間中は使用しなかった。温室Bには屋根外面に遮光カーテンが設置され、手動で開閉操作を行った。温室Cでは、遮光材(ReduSol, Mardenkro B.V., the Netherlands) 5Kgを水道水16Lで希釈したもの(メーカー想定持続期間20週間相当)を、2010年6月29日に屋根へ吹き付けた。

各温室では隔離床によるトマトの年2作の低段密植栽培を行った。いずれも定植時の苗の状態は第1果房開花前後であり、10aあたりの栽植株数は温室Aが3700株(1作目5/29定植)および1850株(2作目7/6定植)、温室Bが5170株(1作目4/27定植, 2作目7/29定植)、温室Cが4500株(1作目4/30定植, 2作目6/24定植)であった。ただし、温室A(久万高原町)では8月下旬、温室B(萩市)では9月上旬に灌水トラブルおよび病害などが併発し、健全株の少ない状態となった。

2 計測方法

計測項目は各温室で共通とし、温室内外の水平面全天日射量、気温および相対湿度の各1点を計測した。水平面全天日射量は全天日射計(MS-601, 英弘精機株式会社, 東京, 日本)、気温および相対湿度は白金測温抵抗体および静電容量式湿度センサ(2119A, 江藤電気株式会社, 東京, 日本)により計測した。気温および相対湿度のセンサ部は自作の強制通風筒内に設置し、通風条件下とした。

計測位置は、温室外では地表面より1.0～1.5m、温室内では床より2.0～2.5mの作物群落より上の位置とした。各計測項目はデータロガー(サーミック2300A, 江藤電気株式会社, 東京, 日本)に記録した。計測期間は、温室Aでは2010年5月27日から同年11月24日、温室Bでは2010年5月15日から同年12月7日、温室Cでは2010年5月22日から同年11月26日であった。

3 データ処理

水平面全天日射量、気温および湿度は1秒間隔で計測し、10分間で平均した値を検討に使用した。いずれの温室においても停電、観測機器の故障などによる欠測、および栽培上のトラブルによる欠株が生じたことから、欠測や欠株が生じていない期間から一定期間のデータを抽出して比較・検討を行った。

日射透過率は、2010年7月1日～21日、同年9月1日～21日の期間のデータを比較に用いた。周辺地形および構造物によって温室内外の日射計が遮蔽される時刻のずれを除くために11:00から

13:00の値を抽出し、さらに温室骨材、遮光資材などによる一時的な日射遮蔽の影響を取り除くために、その時間帯の最大透過率を抽出し、各期間の平均値を算出した。気温および相対湿度は、各温室内の栽培状況が健全であった2010年7月1日～21日の期間のデータを比較に用いた。

4 直達日射透過シミュレーション

日射透過率の実測値と比較するため、各温室の屋根を周囲に障害物のない無限平面とみなした場合の直達日射透過率をストークスの定理、フレネルの公式、スネルの公式(例えば、Kreider, 1979)⁵⁾より算出した。

$$\tau = \frac{\tau'(\rho_{\perp}') + \tau'(\rho_{\parallel}')}{2} \dots\dots(1)$$

$$\tau(\rho', \tau') = \tau' \left(\frac{(1 - \rho')^2}{1 - \rho'^2 \tau'^2} \right) \dots\dots(2)$$

$$\rho_{\perp}' = \frac{\sin^2(i - \theta_r)}{\sin^2(i + \theta_r)} \dots\dots(3)$$

$$\rho_{\parallel}' = \frac{\tan^2(i - \theta_r)}{\tan^2(i + \theta_r)} \dots\dots(4)$$

$$\tau' = e^{-KL} \dots\dots(5)$$

$$\frac{\sin i}{\sin \theta_r} = n_r \dots\dots(6)$$

ただし、 i :入射角(rad)、 K :吸収係数(mm⁻¹)、 L :光線の透過経路長(mm)、 n_r :屈折率(-)、 τ :日射透過率(-)、 τ' :内部透過率(-)、 ρ :日射反射率(-)、 θ_r :屈折角(rad)、

\perp :直角成分、 \parallel :平行成分、である。

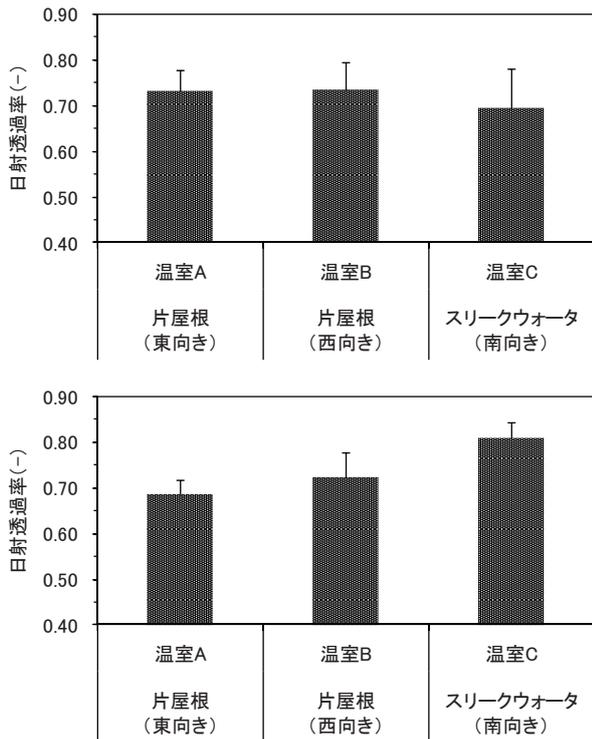
光線の入射角は、太陽位置、屋根の方位角と傾斜角の関数である(例えば、田中ら⁶⁾, 1999)。入射角がゼロとなった時間の透過率は計算結果から除いた。屈折率はポリエチレンの数値1.53⁷⁾を使用し、吸収係数は日射透過率の7月1日の実測値と計算値が同程度となる数値をあらかじめ算出し、シミュレーションに使用した。

III 結果および考察

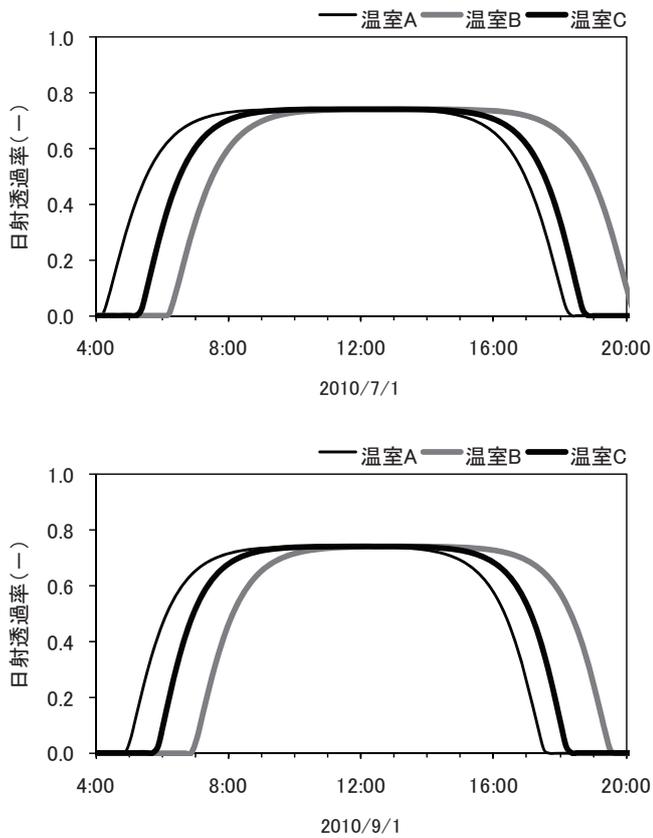
1 日射透過率

各温室の日射透過率の実測値を比較すると、7月はほぼ同等であったが、9月になると温室AおよびBで微減した一方で温室Cは増加して最も高い日射透過率を示した(第1図)。日射透過率は、温室Aでは2ヶ月後に約6%減少したのに対し、温室Bでは約1%減少した。温室Cは7月から9月にかけて約17%増加した。

各温室の直達日射透過率のシミュレーション結果を比較すると、屋根の方位角によって透過率が最大となる時間帯は異なるものの、最大値は時期によ



第1図 11:00~13:00の日射透過率の期間平均値
(上：2010年7月1~21日，下：同年9月1~21日)



第2図 直達日射透過率の日変化の計算値
(上：2010年7月1日，下：同年9月1日)



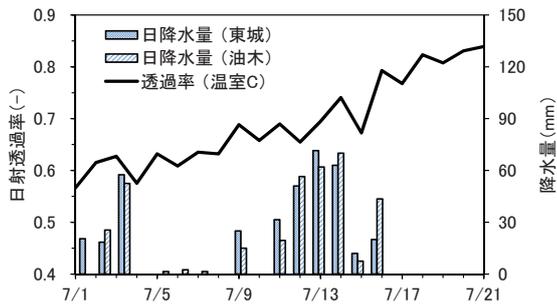
写真1 計測を行った現地ハウスの外観
注：上から温室A (愛媛県久万高原町)，
B (山口県萩市)，C (広島県神石高原町)

らず一定であった (第2図)。また最大値が持続する時間帯は太陽高度が低くなる9月にはやや短くなった。

実測結果から各温室の日射量は時期によって変化することが示された。しかし、シミュレーション結果から、7月と9月の日射透過率は日中で約0.7と違いはない。シミュレーションの入力値とした屋根の傾斜角や方位角、太陽高度の時季変化に伴う太陽光線の入射角が実際の温室内部への日射量の変動に影響しないことが示唆された。なお比較に用いた日射透過率は日中の数値であるため、フィルムの内側に結露が残っていたとは考えられない。また温室Aにおいても同時期においては空気膜の2層フィルム間に空気を送り膨らましていないことから、空気膜

による日射透過率の低下が生じたとは考えられない。したがって、温室AおよびBの日射透過率の低下は、屋根フィルムへの塵埃の堆積による直達および散乱日射量の低下が主要因と考えられる⁸⁾。それに対して、温室Cでは日射透過率が増加したのは、吹き付けられた遮光資材が徐々に流れ落ちたためと考えられる。温室Cの最寄りにある東城と油木のアメダス (AMeDAS) の日降水量の観測値⁹⁾と日射透過率を比較したところ、両者の間に明確な因果関係は認められなかったが、日射透過率は徐々に上昇し、7月1日から21日で吹き付け以前の水準の0.8に戻った (第3図)。

遮光資材の影響のない温室Cの9月の日射透過率は、同時期の温室A, Bよりも高い傾向にあった。塵埃の付着量の差以外の原因としては、温室Cは周囲に隣接する構造物がないことに対し、温室A, Bは東西に温室が隣接しているため、散乱日射の一部が遮られたことが考えられる。散乱日射が支配的となる、屋外の日積算日射量が最も低い日を2010年9月1日から21日の期間より選び、11:00から13:00の平均日射透過率を算出すると、温室Aは0.67 (9月8日)、温室Bは0.63 (9月8日)、温室Cは0.71 (9月15日)であり、温室Cが最も高い数値を示した。



第3図 温室Cの日射透過率の日変化と日降水量

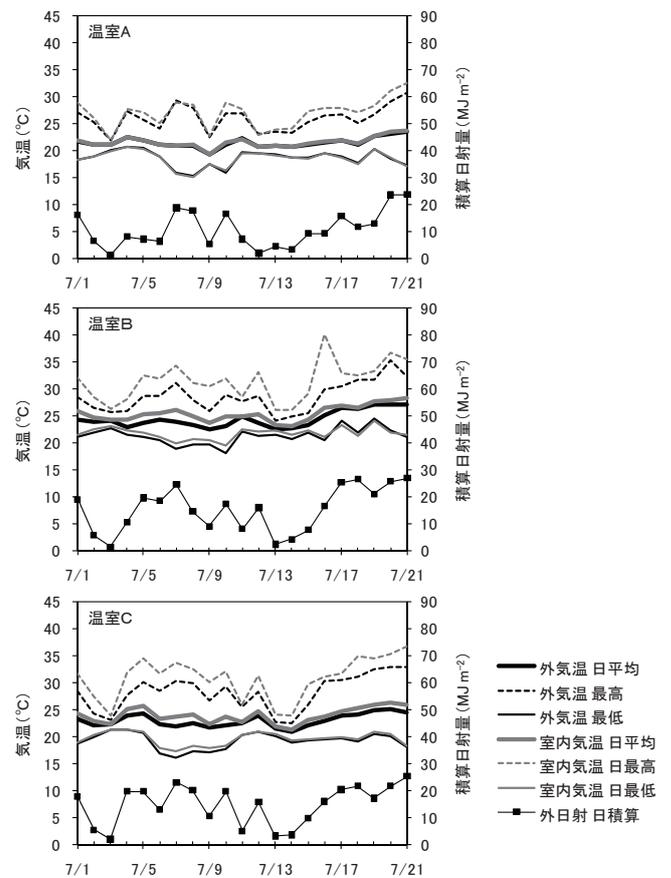
注：当該温室C (広島県神石高原町小野) はアメダス観測点の東城と油木のほぼ中間にあることから両地点の降水量を示す

2 気温および飽差

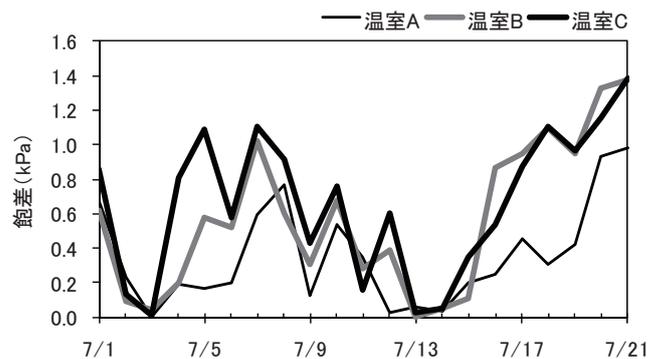
各温室所在地の7月1日から21日の外気温の期間平均値は、温室Aの屋外で21.5℃、温室Bは24.3℃、温室Cは22.9℃であった。主に所在地の標高の違いが影響していると示唆される。屋外の日積算日射量の期間平均値は、温室Aの屋外で10.8 MJm⁻²、温室Bは15.2 MJm⁻²、温室Cは14.7 MJm⁻²であった。ハウス西側に森林が迫っている温室Aは他の温室よりも早く日陰に入ることから積算日射量は他の温室よりも少なくなるとみられる。一方、各温室の室内気温の期間平均値は、温室Aは21.5℃、温室Bは25.4℃、温室Cは23.9℃であった (第4図)。温室Bでは、7月16日の日最高気温が40.1℃となったが、これは側窓を開ける時間が遅れたためである。

日射の多い環境にある温室の日中ほど内外気温差は大きくなる傾向にあり、温室A, B, Cの日平均気温の内外差の期間平均値は0.1℃, 1.0℃, 1.0℃であったが、日最高気温の内外気温差の期間平均値は1.0℃, 2.9℃, 2.6℃であった。側窓開放部に展開した防虫ネットの目合いが4mmと大きい温室Aの内外気温差が小さいことが明らかであった。しかし、遮光資材の吹き付けによる日射透過率の低下が温室内の気温を下げる効果は、温室Cの内外気温差が処理を行わなかった温室Bと大差ないことから確認できなかった。

温室内の6:00～18:00における飽差の期間平均値は、温室Aは0.36 kPa、温室Bは0.57 kPa、温



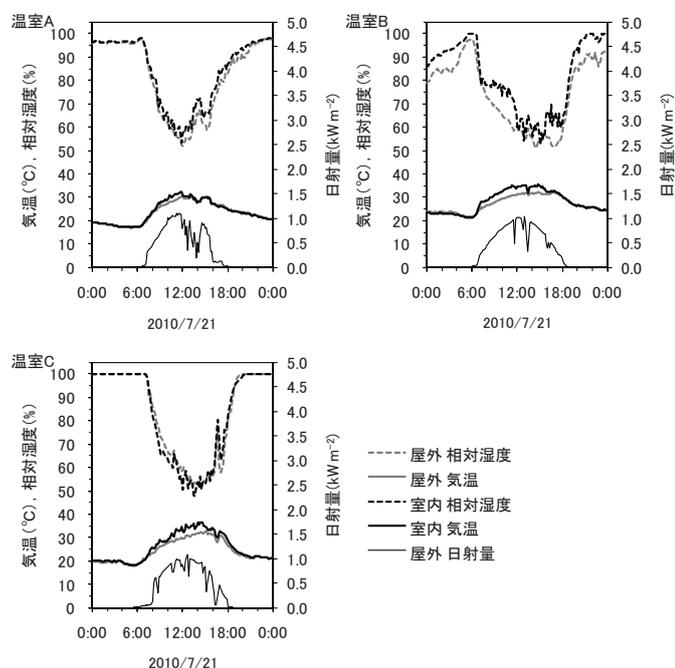
第4図 温室内外の気温の期間平均値、最高値、最低値と屋外日射量の日積算値



第5図 温室内の飽差の日変化

室Cは0.66 kPaであり、その期間内における変動は屋外の日射量に左右される傾向にあった(第5図)。飽差が日本のトマト品種の生育、収量に及ぼす影響は不明であるが、一般に飽差が大きくなり低湿度環境になると、灰色かび病など高湿度環境で多発する病害は抑制される。ただし、飽差が0.5 kPaから1.5 kPaに増加するにつれて、気孔開度の低下を一因としてトマト苗のCO₂吸収速度は徐々に減少する傾向を示すことが確認されたことから¹⁰⁾、晴天日の供試温室内はトマトの生育に好適な湿度環境が日中常に保たれていない可能性が考えられる。

各温室の屋外の日積算日射量が最大となった7月21日をみると、温室内外の気温および相対湿度の変化は屋外の水平面全天日射量の増減の影響を受ける傾向が示された(第6図)。各温室の室内環境は無暖房温室の日中の典型的な特徴を示したと考えられるが、温室の内外気温差、相対湿度および飽差は、日射量の多寡のほか、外風による自然換気、室内蒸発散量の影響を受ける¹¹⁾。自然換気量は、温室周辺の風況のほか温室形状、寸法、開口面積、防虫ネットの孔隙率¹²⁾、室内蒸発散量は作物の葉面積、土壌水分量など¹³⁾に左右される。温室A, B, Cは周辺環境、温室の仕様、栽培状況ともさまざまであるため、温室内の温湿度環境の違いに寄与する主たる要因を今回の計測だけで特定することはできなかった。ただし、当該温室は比較的軒高が高く換気性に優れていることから、屋外の温湿度環境と大きな違いは生じなかった。



第6図 晴天日における温室内外の気温と相対湿度と屋外日射量

3 総合考察

中山間地の棚田などに設置するハウスは周辺に森林に囲まれている場合も多く、本計測では温室A,

Cが該当する。ハウス内に到達する日射については、屋根形状・方位による影響よりも、立地条件にともなう、森林由来の塵埃の多寡が大きく影響するとみられる。

また、フィルム面に遮光資材を塗布することによる遮光効果の持続期間は、今回の温室Cのケースでは約3週間とメーカーの示す標準的な持続期間よりは短かったが、降雨状況に応じて変動する範囲と考えられ、当該資材の適用を制限する要因にはならない。ただし、遮光率が比較的低いことから顕著な気温低下につながらないこともあり得る。

気温については一般に同一緯度であれば標高が高いほど低くなるが、本計測でもその傾向を確認できた。標高差約400mで約3℃の外気温差があった。ハウス内については、日照条件の影響以上に側窓開閉などの管理が大きく影響する。高温期は側窓を開放した状態のままでもよいが、春秋期は寒暖の差が大きいことから開け閉め管理を適切に行うことが重要である。温室Cにおいては自動側窓開閉装置を導入しており、異常昇温は発生しなかったことから、中山間の雨よけ的な利用でも導入することが望ましい。

摘 要

標高条件などの異なる中山間夏秋トマト栽培温室内外の水平面全天日射量、気温および相対湿度を計測した。供試した建設足場資材利用園芸ハウスについて、片屋根型では、屋根の方位角の東西の違い、屋根の傾斜角の差に関わらず、2ヶ月の間に日射透過率は徐々に低下した。遮光資材の吹き付け処理を行ったスリークォータ型では、約0.6まで低下した日射透過率は約3週間で元の水準の0.8近くに戻った。各温室の7月の平均内外気温差は、側窓開放部の防虫ネットの目合いで大きく異なり、4mm目合いでは日平均値で0.1℃、日最高値でも1.0℃の差にとどまったのに対し、0.4mm目合いではそれぞれ1.0℃、2.9℃であった。同期間の各温室内の飽差は、0.36～0.66 kPaであった。

謝 辞

本研究については、平成20年度(2008年度)から開始された農研機構交付金プロジェクトである地域農業確立総合研究「中山間地域農家の所得拡大を目指した夏秋トマト20t採り低コスト・省力・安定生産技術体系の確立(略称:中山間20t採りトマト)」で実施した。

現地ハウスの計測にあたり、広島県、愛媛県、山口県の関係者にご協力いただいた。代表して広島県立総合技術研究所農業技術センター栽培技術研究部の岡田牧恵副主任研究員、愛媛県農林水産研究所農業研究部栽培研究室の河内博文主任研究員、山口県農林総合技術センター農業技術部園芸作物研究室の古橋典子専門研究員に深甚な謝意を表す。

引用文献

- 1) 長崎裕司・畔柳武司・田中宏明・中元陽一・伊吹俊彦 2009. 平張型傾斜ハウス施工法を活用した片屋根型ハウスの設計および施工法, 近中四農研資 6: 21-29.
- 2) 長崎裕司・川嶋浩樹・畔柳武司・田中宏明・中元陽一 2010. 中山間棚田における建設足場資材利用園芸ハウスの施工技術の実証と改善方向, 近中四農研資 7: 33-43.
- 3) Kuroyanagi, T., Nagasaki, Y., Nakamoto, Y., Tanaka, H. and Ibuki, T. 2008. Simulation of microclimate in a sloping greenhouse using CFD. *Acta Horticulturae*, 801: 909-916.
- 4) 川嶋浩樹・野中瑞生・長崎裕司 2007. 平張型傾斜ハウスにおける換気時の温度特性, 農業生産技術管理学会 14(1): 61-66.
- 5) Kreider, J.F. 1979. *Medium and high temperature solar processes*, Academic Press Inc., Burlington, MA, US, 49-61.
- 6) 田中俊六・武田仁・足立哲夫・土屋喬雄 1999. 最新建築環境工学改定第2版, 井上書院, 東京, 69-103.
- 7) 独立行政法人物質・材料研究機構材料情報ステーション 2011. 高分子データベース (PoLyInfo), <http://polymer.nims.go.jp/>
- 8) Geoola, F., Peiper U. M. and Geoola, F. 1994. Outdoor testing of the condensation characteristics of plastic film covering materials using a model greenhouse, *J. agric. Engng, Res.*, 57, 167-172.
- 9) 国土交通省気象庁 2011. 気象庁ホームページ気象統計情報, <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 10) 安東赫・池田英男・中野明正 2010. 光強度および飽差がトマト苗のCO₂吸収速度に及ぼす影響, 園芸学研究, 第9巻別冊1, 132.
- 11) 林真紀夫 2006. 施設内環境の特性と制御. 日本施設園芸協会, 五訂施設園芸ハンドブック. 日本施設園芸協会, 東京. 102-104.
- 12) 佐瀬勘紀 2006. 換気・気流制御. 日本施設園芸協会, 五訂施設園芸ハンドブック. 日本施設園芸協会, 東京. 182-195.
- 13) 高市益行 2006. 湿度制御. 日本施設園芸協会, 五訂施設園芸ハンドブック. 日本施設園芸協会, 東京. 158-169.

Climate Measurement of Scaffold-pipe Greenhouses on Different Altitude during Tomato Cultivation in Summer

Yuji NAGASAKI and Takeshi KUROYANAGI

Key words : greenhouses using scaffold materials, an inclined roof greenhouse, transmittance of solar radiation, air temperature, vapor pressure deficit

Summary

Horizontal global solar radiation, air temperature and relative humidity were measured inside and outside greenhouses at three regions with different altitude in hilly and mountainous area, Japan. For the north-south oriented greenhouses with an inclined roof, the transmittance of solar radiation slightly decreased in 2 months, regardless of azimuth and inclination angle of the roof. For the east-west oriented greenhouse with two inclined roofs, the transmittance decreased to ca. 0.6 after spraying shading coat, and was restored to the former state, ca. 0.8, in three weeks. The differences of air temperature between inside and outside greenhouses ranged from 0.1 to 1.0 K on daily average, and from 1.0 to 2.9 K on daily maximum. The vapor pressure deficit in the greenhouses ranged from 0.36 to 0.66 kPa in the same period.

近畿中国四国農業研究センター研究資料 第10号

平成25年3月19日 印刷

平成25年3月19日 発行

発行所 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構
近畿中国四国農業研究センター

〒721-8514 広島県福山市西深津町6-12-1

発行者 長峰 司

印刷所 株式会社デルタプリント

〒732-0802 広島県広島市南区大州2丁目12-15

