

近中四農研報  
Bull.NARO West.  
Reg.Agric.Res.Cent.

BULLETIN OF  
NARO WESTERN REGION AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

No.16 March 2016

# 近畿中国四国農業研究センター 研究報告

第16号 平成28年3月



NARO

農研機構

国立研究開発法人 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報告 第16号

所長 竹中重仁

編集委員会

委員長	水町功子	
委員	中野正明	笹倉修司
	船附秀行	亀井雅浩
	佐藤隆徳	山本直幸
	尾島一史	富岡啓介
	猿田正恭	畔柳武司
	伊藤陽子	大島一修
	濱崎洋好	

---

BULLETIN OF  
NARO WESTERN REGION AGRICULTURAL RESEARCH CENTER  
**No. 16**

Shigehito TAKENAKA, Director General

EDITORIAL BOARD

Koko MIZUMACHI, Chairman

Masaaki NAKANO

Hideyuki FUNATSUKI

Takanori SATO

Kazushi OJIMA

Masayasu SARUTA

Yoko ITO

Hiroshi HAMASAKI

Shuji SASAKURA

Masahiro KAMEI

Naoyuki YAMAMOTO

Keisuke TOMIOKA

Takeshi KUROYANAGI

Kazunaga OSHIMA

(NARO: National Agriculture and Food Research Organization)



# 近畿中国四国農業研究センター研究報告

## 第16号

(平成28年3月)

### 目 次

ブドウコンテナ栽培のための太陽電池駆動ポンプによる灌水装置の開発 笠原賢明・松森堅治・渡邊修一・姫宮雅美 .....	1
短穂飼料用イネ品種の効率的種子生産方法の検討 藤本 寛・松下 景・中込弘二・森 伸介 .....	13
簡易設置型パッドアンドファン冷房が塩ストレス下のトマトの光合成速度、果実収量 および品質に及ぼす影響 村上健二・生駒泰基・山崎敬亮・吉田祐子・長崎裕司・浜本 浩・嶋津光鑑 .....	29



BULLETIN OF  
NARO WESTERN REGION  
AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

No. 16 March 2016

CONTENTS

- Development of Solar-Radiation-Dependent Drip-Irrigation Apparatus  
for Container Cultivation of Grape  
Yoshiaki KASAHARA, Kenji MATSUMORI, Shuichi WATANABE and Masami HIMEMIYA..... 1
- Studies on Optimum Cultivation Methods for Seed Production of Rice Cultivars  
with Short Panicles  
Hiroshi FUJIMOTO, Kei MATSUSHITA, Koji NAKAGOMI and Shinsuke MORI..... 13
- Effect of a Simply Installed Pad and Fan Cooling System on Photosynthesis,  
Fruit Yield and Quality of Tomato under Salinity Stress  
Kenji MURAKAMI, Hiroki IKOMA, Keisuke YAMAZAKI, Yuko YOSHIDA,  
Yuji NAGASAKI, Hiroshi HAMAMOTO and Teruaki SHIMAZU ..... 29





# ブドウコンテナ栽培のための太陽電池駆動ポンプによる 灌水装置の開発

笠原賢明・松森堅治・渡邊修一・姫宮雅美<sup>1</sup>

Key words : ブドウ, コンテナ栽培, 灌水装置

## 目 次

I 緒 言	1	4 過剰な灌水を避ける制御方法	6
II 拍動灌水装置の改良	2	5 ソーラー灌水装置の効果	8
1 簡易な灌水量調節法の開発	2	IV 試作した装置のブドウコンテナ栽培への適 用例	9
2 灌水量調節法の改良による効果	4	V 摘 要	11
III 高設タンクを必要としない構成の装置	4	謝 辞	11
1 拍動タンクと電磁弁の省略	5	引用文献	11
2 ソーラーポンプの送水水頭圧を調節する 方法	5	Summary	12
3 目詰まりに起因する吐出量低下への対応	6		

## I 緒 言

近年、家庭で手軽に果樹栽培を楽しめる方法としてコンテナ栽培が知られるようになってきている<sup>3)</sup>。農業現場においても、1) 農業用ハウスや、養液栽培や養液土耕栽培の灌水装置など既存施設の有効利用ができる、2) 土作りの必要がなく、管理が容易で早期成園化が可能である、3) 車椅子での移動を想定した地面の均平化(舗装など)や防草シート設置が可能となり、作業環境が改善される、など多くの利点があることからコンテナ栽培が導入されている<sup>1)</sup>。特に、新規就農者や、高齢者や障がい者など多様な農業従事者にとって2)、3)は大きな利点となり得る。一方で、コンテナ栽培では根域が小さく保水量に限られることから、特に夏期には灌水作業が欠かせない。このため、農業現場で実施するためには灌水設備が必須とされる。これまでに、太陽電池で

駆動するポンプを利用した低コストな点滴灌水装置(日射対応型拍動灌水装置、以下拍動灌水装置)が開発され、露地栽培への導入が進んでいる<sup>4)</sup>。この装置は商用電源を必要とせず、本格的な灌水設備に比べて価格も安いいため、新規参入者には利用しやすい。しかし、水の供給を灌水に頼らざるを得ないコンテナ栽培やハウス栽培で利用する場合には、いくつかの点で問題がある。すなわち、1) 灌水量の細かい調節が難しく、操作に熟練を必要とする。2) 灌水量が日射に対して比例せず(装置の動作に必要な日射量に下限があり、かつ、日射が強いときには飽和する)、灌水量が不足しないように晴天時に合わせて設定しても曇天時には不足気味となる場合があり、雨天時には灌水されない、などである。また、3) 灌水量の調節やタンクの洗浄などメンテナンス作業のために高設タンクに上る必要があるため、高齢者や障がい者などが使用するには困難がともなう。

そこで、著者らは主にブドウのコンテナ栽培での利用を想定し、従来の拍動灌水装置の欠点の解消を目指して改良を行った。その過程で、標準的な拍動灌水装置とは異なる灌水装置を開発したため、報告する。

## II 拍動灌水装置の改良

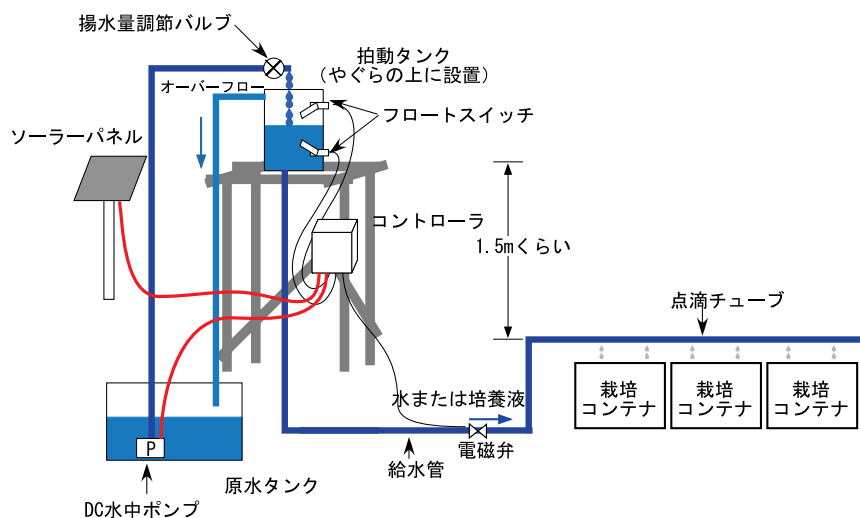
### 1 簡易な灌水量調節法の開発

標準的な拍動灌水装置の動作は次のとおりである(第1図)。太陽電池(ソーラーパネル)で駆動するDC水中ポンプ(以下この組み合わせをソーラーポンプと称す)を用いて原水を1.5m程度の高さのタンク(以下拍動タンク)に揚水する。拍動タンクに一定量の水が貯留して上側のフロートスイッチに水位が達すると電磁弁が開き、拍動タンクと点滴チューブの落差により、灌水される。拍動タンク中の水位が下側のフロートスイッチまで低下すると電磁弁が閉じて灌水が休止し、拍動タンクへの水の貯留が再開する。灌水中もソーラーポンプは稼働し続けており、点滴チューブの時間あたり総吐出量を時間あたり揚水量が上回った場合は、余剰な揚水は拍動タンクからオーバーフローし、原水へ戻される。点滴チューブの総吐出量は栽培規模が大きければ多く、小さければ少ないことから、栽培規模に応じて揚水量を調節する必要がある。点滴チューブの時間あたり総吐出量が揚水量を上回れば、灌水中、拍動タンク内の水位は低下するため、拍動灌水装置は灌水・

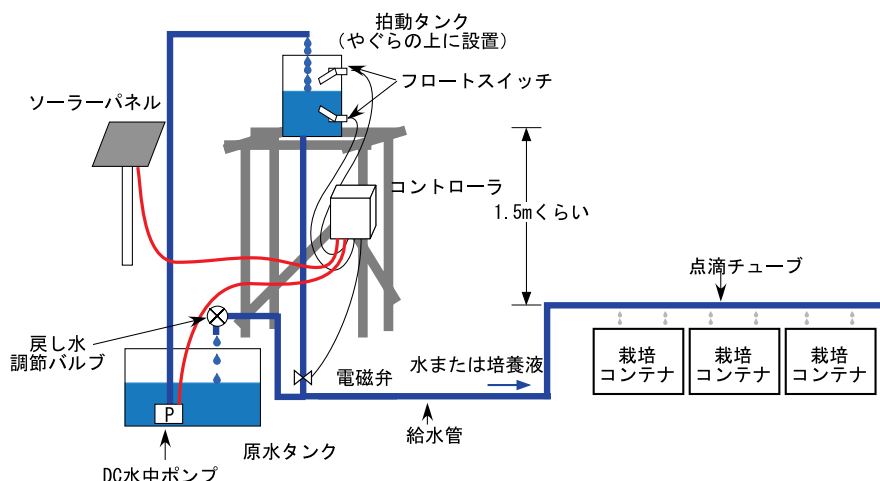
休止を繰り返す。その場合、総灌水量は揚水量と等しくなり、株あたりの灌水量は、揚水量を株数で除した値となる。作物の水分要求量は、生育ステージなどに依存することから、生育状況に応じて揚水量を調節する必要もある。これまで拍動灌水装置では、ソーラーポンプから拍動タンクへの途中にバルブを設け、その絞り具合で揚水量を調節していた。この方法ではソーラーポンプが最大の能力を発揮する晴天時に、拍動タンクの高さまで上り下りしながら、揚水量を実測しつつバルブの絞り具合を調節する必要があり、操作が煩雑であった。

#### 1) 原水タンクへの戻し水による灌水量調節

改良した灌水量調節法の概略は次のとおりである。電磁弁の下流を点滴チューブへ向かう配管と原水タンクに戻る配管に分岐し、原水タンクに戻る配管の先端にバルブを取り付けておく(第2図)。ソーラーポンプの時間あたり揚水量が点滴チューブからの時間あたり総吐出量を上回った場合、余剰な水を拍動タンクからオーバーフローさせる代わりに、給水管を流れる水の一部を原水タンクに戻す。原水タンクに戻す水(以下戻し水)の量はバルブ(戻し水調節バルブ)で調節する。戻し水の量を適切に設定すれば拍動タンクはオーバーフローすることなく、栽培規模に応じた総灌水量の調節が可能になる。この改良により、灌水量調節作業のために拍動タンクの高さまで上り下りする必要がなくなる。



第1図 標準的な拍動灌水装置



第2図 改良した拍動灌水装置

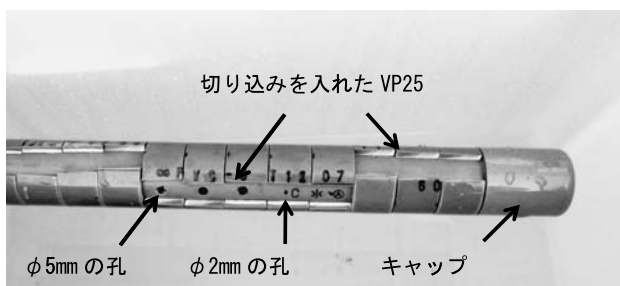
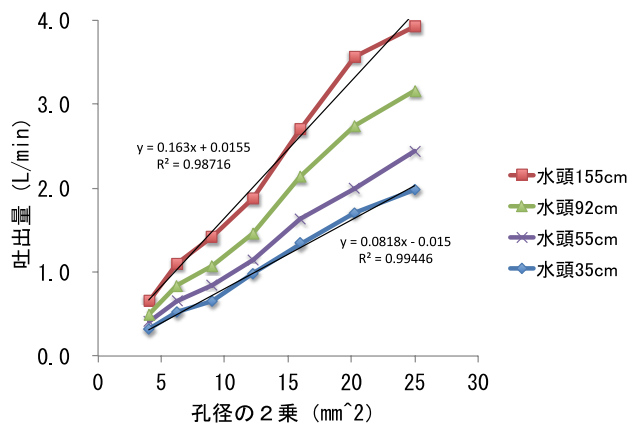


写真1 孔あきパイプ

長さ2cm程度に切断したVP25に、縦に幅1cm程度の切れ込みを入れ、VP20に被せる。被せたVP25の位置に合わせて、VP20にドリルで孔を開けて作製する。



第3図 孔径の2乗と吐出量

## 2) 孔あきパイプを利用した戻し水量の簡易調節

従来の拍動灌水装置では、揚水量の調節にボールバルブを用いるのが一般的である。ボールバルブは、全開・全閉の切り替えに適した部材であるため、流量の微調整には不向きである。また、ゲートバルブ、グローブバルブ、ニードルバルブなどを利用する場合、ハンドルの回転数により揚水量を調節することになるが、バルブの開き具合がわかりにくい。以上のバルブに関する欠点の解消を目的として、塩ビパイプに複数の孔を開け、これを適当な方法で塞ぐことにより、戻し水の量を調節する方法を考案した。パイプに開けた孔を塞ぐ方法は次のとおり。孔あきパイプに一回り大きいサイズのパイプを短く切断して切れ込みを入れたものを被せる(写真1)。この例では孔を開ける塩ビパイプにVP20、被せる塩ビパイプにVP25を使用している。切れ込みの位置と孔の位置を一致させれば孔から水が吐出する。被せ

たパイプを回転させて切れ込みの位置をずらせば、孔を塞ぐことができる。このようにして孔ごとに水の吐出・停止の切り替えが可能である。水圧が一定であれば、時間あたりの吐出量は孔径の2乗、すなわち断面積におおよそ比例する(第3図)。よって、吐出させる孔の大きさと数を適宜組み合わせた孔の総断面積の調整により、戻し水量を変えることが簡便にできる。水を吐出させる孔の数は見て容易に分かるため、灌水量の調節が容易になる。

## 3) 孔あきパイプを利用した揚水量調節

これまでに普及している拍動灌水装置は、拍動タンクに緩効性肥料を投入することで、灌水同時施肥にも利用されている。原水を直接水路などの水源から得ている場合、前節の戻し水による灌水量の調節では、肥料成分が原水に戻り流去してしまうため

肥料が無駄になる。この問題に対して、水源に水を戻すのではなく、孔あきパイプを用いて揚水量を調節して灌水量を調節する方法を考案した。原水からソーラーポンプにより汲み上げられる水を孔あきパイプを通して、拍動タンクに注水する方法である。孔あきパイプは、第1図の揚水量調節バルブの位置に取り付ける。この方法では、開放する孔の数が多いほど、つまり孔の総断面積が大きいほど、拍動タンクへの注水量が多くなることは自明である。ただし、作物の生長に応じて灌水量を増やす目的で揚水量を調節するためには、戻し水量調節用のパイプとは異なった孔径の構成とする必要がある。論拠は次のとおりである。

パイプに開けた孔からの水の吐出量は、水圧が高いほど多くなる。一方、ソーラーポンプは電源の電力が一定の場合、送水量が少ないほど送水圧は高くなる。実際に、ポンプに孔あきパイプを直結した場合、孔径が大きいときは水の吐出の勢いは弱い、孔径が小さくなるにつれて、吐出する勢いが強くなるのが観察される。孔の断面積が小さいほど送水流量が少なくなることでポンプの送水圧が高くなり、断面積あたりの吐出量が増加するためである。このことから、例えば、ソーラーポンプの送水量を、孔を通すことで1/10とするには、孔の断面積を、ポンプ吐出口断面積の1/10よりも大幅に小さくしなければならぬことになる。

以上の考察に基づき、著者らは、一般的なドリルセットで開けられる大きさの孔の組み合わせで、孔

第1表 揚水量を調節するために開放する孔の組み合わせ例

孔径 (mm)				孔総断面積 (mm <sup>2</sup> )	揚水量 (L min <sup>-1</sup> )
1.5	2	3	5		
○	×	×	×	1.8	1.0
○	○	×	×	4.9	2.0
○	○	○	×	12.0	3.2
○	○	○	○	31.6	6.0
孔あきパイプのキャップを開放				345.8	9.0

○：開，×：閉

水中ポンプC4SP2と45Wのソーラーパネル (YJ6-45) の組み合わせ (プテリオ社)。厳密には揚水量は、日射量やポンプやソーラーパネルの規格だけでなく、それぞれの経年劣化や温度 (水の物性やソーラーパネルの効率に関連) に影響を受ける。ここで示すのはあくまで1例であり、目安である。

揚程 (原水水面から孔あきパイプまでの高さ) は約 2 m。

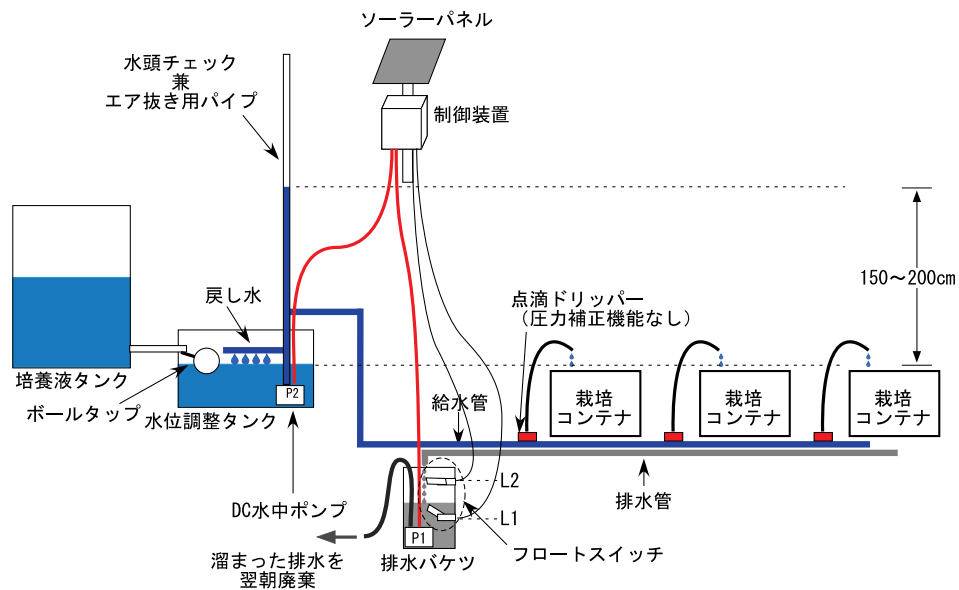
あきパイプからの吐出量を変え、拍動タンクへの揚水量を調節する方法を検討した (第1表)。その結果、1分あたりおおよそ1, 2, 3, 6, 9 Lの揚水量に調節することができた。作物の生長に応じて1.5倍ずつ灌水量を増やしていく場合には、このパイプを利用することで、バルブを用いるよりも調節が簡単になる。

## 2 灌水量調節法の改良による効果

前項1)で示した、戻し水による灌水量調節法では、灌水量調節のために高設拍動タンクへ上り下りする必要は無くなり、作業者の負担は軽減する。また、2)で示した、バルブの代わりに孔あきパイプを利用することで、開き具合がわかりにくいバルブの使用に比べて、灌水量調節の正確性の向上が期待できる。さらに、3)で示した孔あきパイプを用いた揚水量調節では、開放する孔の組み合わせと吐出量の関係をあらかじめ調べておくことで、拍動タンクの高さに上る必要は残るが、吐出量を確認しつつバルブで揚水量を調節する従来の方法に比べて労力が軽減され、調節が簡単になる。

## Ⅲ 高設タンクを必要としない構成の装置

バルブの工夫により、灌水量の調節作業は軽減されたが、依然メンテナンス作業のためには1.5mほどの高さに上る必要がある。そこで拍動タンク的位置を下げる方法を検討した。拍動灌水装置で拍動タンクを用いる理由は次のとおりである。1)電磁弁の開閉に最低でも1m水柱程度の水圧が必要である。2)点滴チューブ内を一気に水で満たして末端まで灌水されるようにする。3)多少圃場に凸凹があったとしても点滴チューブ内に1.5m以上の水頭圧を確保することで灌水ムラを少なくする。以上を踏まえ、平坦地でのブドウコンテナ栽培への点滴灌水を想定して、拍動タンクを用いない形式の灌水装置を考案した (第4図参照;ソーラー灌水装置)。なお、第4図中の培養液タンクに貯留し、栽培コンテナへ供給されるのは、水または培養液であるが、この章で装置の動作を説明する場合には「水」に統一する。



第4図 全自動のソーラー灌水装置

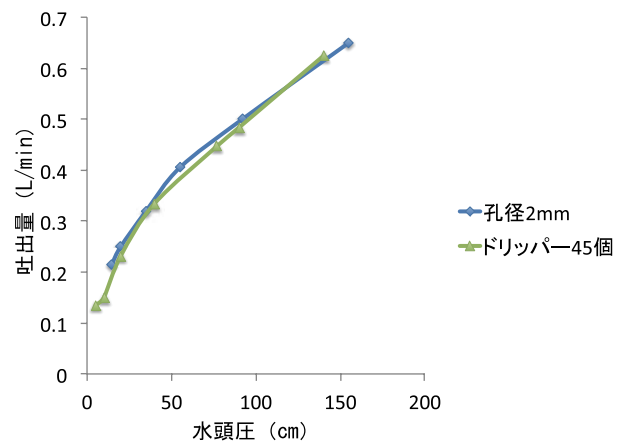
### 1 拍動タンクと電磁弁の省略

まず、点滴チューブのかわりに次のような構成の点滴給水管を使用する。すなわち、点滴ドリッパーの吐出口を給水管よりも高い位置に、かつ、できる限り同じ高さに設置する。すると、灌水休止中も給水管内は常に水に満たされた状態になる。これにより、拍動タンクを用いる2) および3) の理由が存在しなくなる。

次に、1.5 m程度の高さに設置する拍動タンクの代わりに、地面近くにボールタップを用いた水位調整タンクを設け、その水面を点滴ドリッパーの吐出口よりもわずかに低い位置に設定する。給水管とソーラーポンプは直結する。これによりソーラーポンプが稼働して水頭圧が吐出口の高さを上回ると同時に点滴灌水が開始する。ソーラーポンプの送水によりタンク内の水位が低下すると、ボールタップが開いて培養液タンクから水が供給され、水位調節タンク内の水位は一定に保たれる。ソーラーポンプが停止し、送水圧がなくなれば速やかにドリッパーからの水の吐出は停止する。この構成では電磁弁は不要である。

### 2 ソーラーポンプの送水水頭圧を調節する方法

圧力補正機能を持たない点滴チューブや点滴ドリッパーなどの点滴灌水資材は、水圧が高いほど吐出量が多くなる。一般にポンプは送水量が少ないほど



第5図 孔径2mmの孔からの吐出量とドリッパー45個からの吐出量の比較

送水圧が高くなるため、ドリッパー数が少ないほど送水水頭圧（以下送水圧）が高くなる。このためソーラー灌水装置のドリッパー数が少ないほど、すなわち栽培規模が小さいほど送水圧が高くなり、ドリッパーあたりの吐出量が多くなる。そこで栽培規模に応じて送水圧を調節し、コンテナあたりの灌水量を調節する方策が必要となる。

ドリッパーとしてネタフィム社圧力補正なしボタンドリッパーウッドベッカータイプ（パーブ）赤（水圧1 barのときの吐出量2 L/時）を使用した場合の水頭圧と吐出量の関係を第5図に示す。なお、ドリッパーの規格の記述にある「1 bar」はおおよそ10m水柱である。このドリッパー1個あたりの吐出

量は、少なくとも水頭圧1.5 m程度までは直径2 mmの孔の吐出量のおよそ1/45である。また、第3図に示した関係から、直径2 mmの孔の吐出量は直径5 mmの孔の吐出量のおよそ1/6である。このことから2種類の孔を適宜組み合わせた孔あきパイプを給水管の代わりにすることで、多数のドリッパーを取り付けた給水管を実際に用意しなくてもソーラーポンプの送水量と送水圧の関係、つまり送水能力を調べることが可能になる。例えば、あるソーラーポンプで孔あきパイプに送水して、2 mmの孔2個と5 mmの孔2個から水を吐出させたときの送水圧が1.5～2 m水柱程度になったとすれば、ドリッパーを630個取り付けた給水管にこのソーラーポンプで送水すると送水圧が1.5～2 m水柱程度になると判断できる。つまり、送水圧1.5～2 m水柱でドリッパー630個に送水できる能力のソーラーポンプであることがわかる。

上で示した、ソーラーポンプの送水能力を知る方法を応用すれば、ソーラー灌水装置の送水圧を調節できる。すなわち、ソーラーポンプに孔あきパイプと給水管の両方を取り付けておき、給水管のドリッパー数に応じて孔を塞ぐことで送水量を調節し、送水圧を調整する。給水管に孔あきパイプを取り付け

る代わりに、水位調整タンク側に孔あきパイプを取り付け、戻し水調節用パイプとしたものが第4図のソーラー灌水装置である。

この装置は次のように用いる。1) 始めに給水管へ接続しないで、晴天時にソーラーポンプを稼働する。送水圧が1.5～2 m水柱になるように、戻し水調節用パイプの開放する孔の組み合わせを調べる。これによりポンプの能力を確認する。2) ドリッパーの数に応じて孔あきパイプの孔を閉じる。例えばドリッパー数が40～50個であれば、前述1)で開放した孔のうち、2 mmの孔を1つ閉じる。実際に試作した装置の孔の組み合わせ例を第2表に示す。3) ポンプの連続使用により、性能が低下した場合には閉じる孔の数を増やすことで送水圧を確保する。

以上のように栽培規模に応じて、ソーラーポンプが最大出力のとき、灌水装置の送水圧を1.5～2 m水柱程度に調整することが可能である（この送水圧に設定する理由については、3で後述）。

### 3 目詰まりに起因する吐出量低下への対応

ドリッパーの性能を確認するために、近畿中国四国農業研究センター圃場内の農業用水を使用して、水頭圧を1 m未満で吐出試験を行ったところ、ドリッパーからの吐出量の低下が認められた。その後、水頭圧を1.5 mとすると吐出量は回復した。このことから曇天など、日射の弱いときに送水圧が1 m水柱未満の状態が続くとドリッパーが目詰まりを起こし、晴天時に1.5 m水柱以上の送水圧が確保されれば、目詰まりは解消することが示唆された。このことを踏まえると、灌水量を減らすために送水圧を低く保った場合には、ドリッパーが目詰まりを起こす危険性が高くなる。よって、晴天時の送水圧を1.5 m水柱以上とすることが適当と判断できる。

### 4 過剰な灌水を避ける制御方法

作物の水要求量は、生育ステージによって変わる。ブドウコンテナ栽培においても新梢の伸長にとまない、水要求量は増大するため、適切に灌水量を少量から徐々に増やす必要がある。ソーラー灌水装置を使用した場合、前述3で記述したとおり、晴天時の水頭圧を1.5 m以上に設定する必要があることから、送水圧を変えることで時間あたり灌水量を任意に変

第2表 水頭圧を1.5～2 m程度に調整するために開放する孔の数の目安

ドリッパー数	開放する孔の数	
	孔径 5 mm	孔径 2 mm
20～65	2	1
65～115		0
115～160	1	5
160～205		4
205～250		3
250～295		2
295～340		1
340～385		0
385～430		5
430～475	0	4
475～520		3
520～565		2
565～600		1

水中ポンプC4SP2と24Wパネル(YJ6-24)の組み合わせ(プティオ社)の場合、水中ポンプ、ソーラーパネルの規格により組み合わせは変わる。経年劣化に伴う性能の変化の程度によっても変わる。

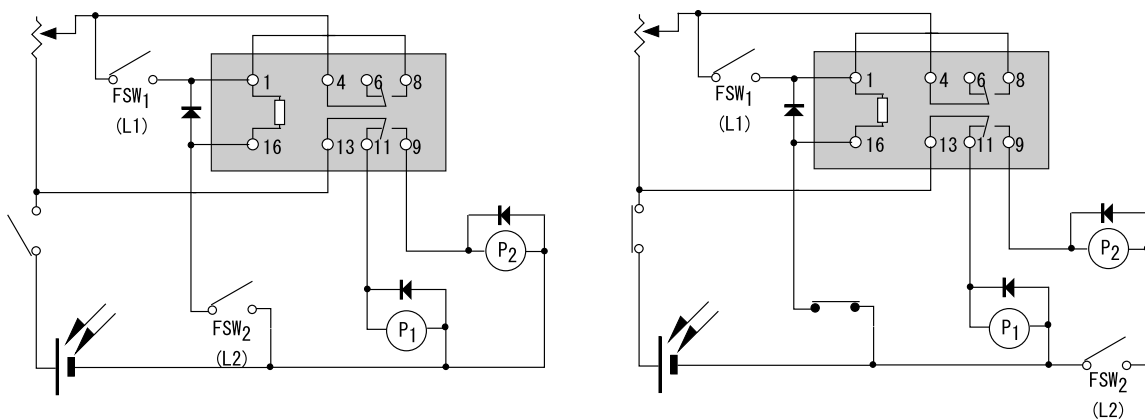
えることはできない。したがって、生育に応じて灌水量を増やしていくには、日灌水量を制限する方策が必要となる。すなわち、新梢が短いときは、晴天時に最大となる日灌水量に対して、給水が少なくなるように制限し、新梢伸長にともなってその制限を緩めていくという手順になる。

### 1) フロートスイッチを利用する方法

この方法は、コンテナからの排水量が一定量に達すると給水停止するものである。ソーラーパネルと水中ポンプの間の電線にフロートスイッチを挟んでおく。排水を受けるバケツに、水位が上昇すると回路が切断する向きにフロートスイッチを設置する(第4図のL2の位置)。バケツ内の水位が上昇すると、ソーラーパネルからポンプへの電力供給がフロートスイッチにより切断されて給水が停止する。あ

るいは、排水の代わりに、ドリッパーから吐出する水を受けるバケツにフロートスイッチを設置する。これにより、給水量が一定量に達するとソーラーポンプを停止する制御も可能である。バケツ内に溜まった水を夕方または翌朝に廃棄することで、再び給水が行われる。

上記の方法では、毎日バケツ内の水を廃棄する必要があるが、一般的な給排水制御を応用すれば水の廃棄も自動化できる。全自動のソーラー灌水装置の構成を示したものが第4図である。給排水制御装置は、市販のフロートレススイッチ(オムロン社など)を用いればメーカーの説明書を参照することで簡単に作製可能である<sup>2)</sup>。しかし、小電力の直流電源に対応したものは市販されておらず、電子部品とユニバーサル基板を購入して制御回路を自作する必要がある。以下に、全自動のソーラー灌水装置の給排水



第6図 制御回路の例

(左：標準的な給排水制御回路，右：ソーラー灌水装置の灌水制御のために変更した回路)

標準の給排水制御回路の動作(先に排水される設定)は次のとおり。c接点の2接点リレーを使用し、1つ目の接点をポンプの切り替えに用いて、2つ目の接点を動作の保持に用いる。回路図中のリレーの接点4-6-8および13-11-9の組み合わせで利用するとc接点となる(a接点あるいはb接点として利用する場合の説明はここでは省略)。P1:排水ポンプ、P2:給水ポンプ、L2の位置にフロートスイッチ2を設置、L1の位置にフロートスイッチ1を設置。いずれも水位が上昇するとoffになる向きとする。初期状態ではリレーの1-16は通電しておらず、c接点の4-6、13-11が接続している。

(1) 電源がonになると13-11が通電する。P1が作動してバケツからの排水が始まり、水位が低下する。水位がL2よりも低いとFSW2がonになる。(2) 水位がL1以下に低下するとFSW1がonになり、1-16が通電、c接点は4-8、13-9に切り替わる。13-9が接続して通電することで、P2が作動してバケツへの給水が開始する。(3) バケツ内の水位が上昇し、L1よりも高くなるとFSW1がoffとなるが、4-8が接続していることで1-16は通電したままとなり、c接点の状態が維持される。(4) さらに水位が上昇してL2よりも高くなると、FSW2がoffになり1-6の通電が停止する。c接点は4-6、13-11の接続に切り替わり、ポンプの動作はP2からP1に切り替わる。再び(1)以降の動作を繰り返す。

注) ここで示したのはあくまで給排水制御回路の一例である。24Wソーラーパネル(プティオ社YJ6-24)、DC水中ポンプ(プティオ社G4SP2)の組み合わせの場合、制御回路にフロートスイッチCynergy3製、RSF73Y050QMとリレーHSIN DA PRECISION CO., LTD. 製941H-2C-5Dが利用できる。ソーラーパネルとDC水中ポンプの規格に応じて回路の電流および電圧を考慮して部品の規格を選択する。ソーラーパネルやポンプの能力を大きくするには、リレーまたは電磁スイッチの追加など、回路の変更が必要な場合もある。

制御装置の動作の原理を示す。

まず、標準的な給排水制御回路の例を第6図(左)に示し、一般的な給排水制御について説明する。この回路は、フロートスイッチとc接点タイプ(接点の接続を切り替えるタイプ)の2接点リレー(同時に作動する接点が2組あるリレー)を使用したものである。標準的な給排水制御では電源がonになると排水ポンプ(P1)が作動し、水位がL1まで低下するとフロートスイッチ1(FSW1)が接続し、給水ポンプ(P2)が作動する。水位がL2まで上昇するとフロートスイッチ2(FSW2)が切断して給水ポンプが停止し、排水ポンプが作動する。この動作を繰り返す。

次に、一般的な給排水制御を応用した、ソーラー灌水装置の灌水制御のための回路について説明する。標準的な給排水制御回路を第6図(右)のように変更することで、バケツ内に溜まった水を朝に排出し、バケツに水が溜まると給水ポンプを停止する制御が可能になる。すなわち、L1のフロートスイッチを取り付ける接点を短絡し、L2のフロートスイッチをソーラーパネルと給水ポンプの間に挟んでおく。すると次の動作をする。(1)朝ソーラーパネルからの電力供給が始まると、まず排水ポンプが作動し、バケツ内の水が排出され、水位が低下する。(2)L1まで水位が低下すると、リレーのc接点が切り替わって排水ポンプが停止し、給水ポンプが作動する。ソーラーパネルからの電力が供給される限り、この状態が保持される。(3)バケツ内の水位が上昇し、L2に達するとフロートスイッチが切断して給水ポンプは停止するが、c接点の状態は保持されているため排水ポンプは動作しない。(4)夜間日射がなくなり、ソーラーパネルからの電力供給がなくなるとc接点の状態が解除される。電力供給がないため排水ポンプも給水ポンプも作動しない。(5)翌朝、ソーラーパネルからの電力供給が開始すると(1)の動作が開始する。

第4図に示した装置では、P1が排水バケツから水を廃棄するためのDC水中ポンプ、P2が栽培コンテナへの給水のためのDC水中ポンプである。

## 2) タイムスイッチを利用する方法

前述1)のフロートスイッチの代わりに市販の24



写真2 乾電池で駆動する24時間  
タイムスイッチ

時間タイムスイッチを利用する方法である。この方法ではソーラーパネルとポンプを結ぶ電線の間に、指定した時間帯に回路の接続・切断を行う24時間タイムスイッチを挿入する。例えば、朝、昼、夕のおおよそ3つの時間帯ごとにソーラーポンプを稼働する時間を設定し、その合計時間を新梢伸長に合わせて長くすることで日灌水量を増やす。写真2は乾電池駆動のスナオ電気株式会社製、24時間タイムスイッチSTB-15Sである。赤いピンでonになる時刻、白いピンでoffになる時刻を設定するものである。夏秋栽培トマトの場合のタイマ灌水の時間帯設定を参考にすると、新梢の伸長に応じて、次のような設定例が考えられる<sup>1, 2)</sup>。

- i) 9:30 - 10:00, 13:30 - 14:00, 15:00 - 15:30 (合計90分)
- ii) 9:00 - 10:00, 13:30 - 15:30 (合計180分)
- iii) 8:00 - 15:30 (合計450分)
- iv) 終日 (off時刻設定用のピンをすべて外す)

## 5 ソーラー灌水装置の効果

ソーラー灌水装置は、地面が水平かつ均平な場所で、ドリッパーの吐出口の高さを完全に揃えることができるような場所での利用が前提である。このため多少の地面の凹凸が許される拍動灌水装置に代わる技術ではないが、次のような利点がある。タンクを地面付近に設置することで、メンテナンスのため



に高設タンクへ上り下りする必要はなくなる。そればかりでなく、原理的には、ソーラーポンプが稼働して送水圧が発生するとすみやかにドリッパーからの吐出が始まることから、日射量に対する灌水量の比例性が改善されるものと期待できる。

#### IV 試作した装置のブドウコンテナ栽培への適用例

##### 1) 方法

(1) 新梢の伸長にともなう給水量管理の方法を検討するために、近畿中国四国農業研究センター（広島県福山市西深津町）の雨よけハウス内において、試作した第4図のソーラー灌水装置（水中ポンプC4SP2, 24WパネルYJ6-24のセット；プティオ社）をブドウコンテナ栽培に適用した。なお、このハウスは低軒高（軒高2.6m, 肩高1.3m, 間口5.4m）であるためブドウ栽培には適しておらず、新梢長が左右対称となるように誘引できなかつた（後述）。試験実施は2014年3月からである。コンテナ数は7個、ドリッパー数はコンテナあたり2個を基本とし、栽培期間中に1個と3個も試みた。メッシュコンテナ（50L, 521×364×305mm）に防根シート（防根ラプシート20701/FLD, ユニチカ製）を敷き、2年生のシャインマスカット苗を定植した。パーライトとバーク堆肥を2：1の割合で混合したものを合計30L充填した。コンテナごとに防水シートで下側から覆い、1箇所切り込みをいれて開けた孔から、地下に埋設した塩ビ管に排水を誘導した。排水は10Lのバケツに回収した。バケツから水中ポンプで排水するときに積算流量計で排水量を測定した。地面から90cm程度の高さから発生する新梢を主枝候補として2本選んだ。これを高さ90cmに誘引し、東西合計1.5mとなるように摘芯した。この新梢から発生する副梢を南北方向に振り分け、60度程度上方におよそ20cm間隔となるように誘引した。副梢を新梢に見立てて南北方向に伸長させたのは試験1年目で最終樹形に近い葉面積まで、できる限り拡大させるためである。コンテナを設置したハウスの構造上、南側は約1mで摘芯、北側は約2mを目標として伸長させた（写真3）。樹体作りを優先し、基本的には花穂を除去した。北側の棚高は1.8mである。給水は、3月6日から開始し、4月21日ま

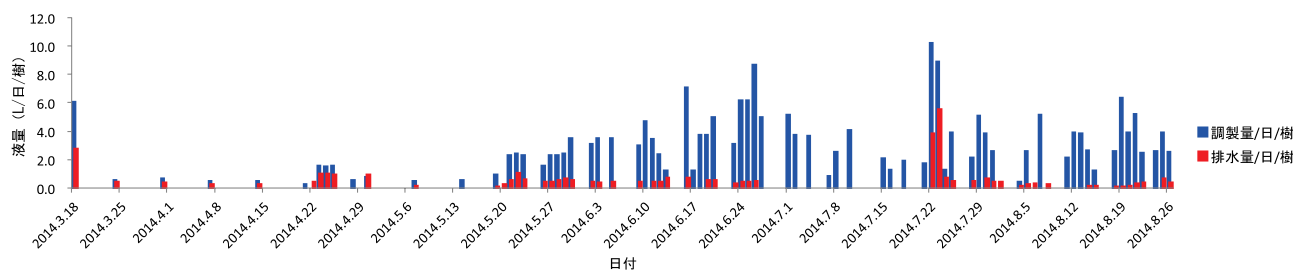


写真3 ブドウの仕立て方

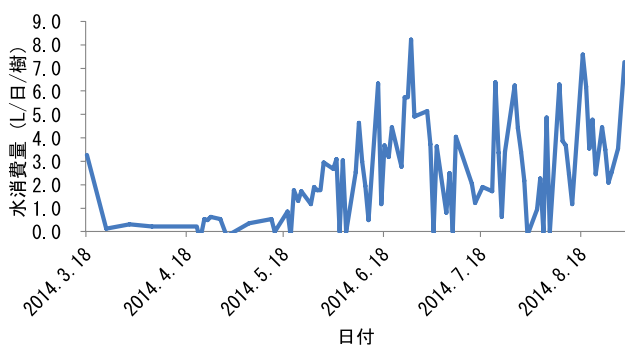
では週に1～2回ソーラー灌水装置を稼働させた。4月22日から排水バケツ内の水量が約5Lに達したら給水を停止する制御を開始した。液肥混入器（TEFEN社MixRite12502）を用いて大塚1号、大塚2号の2液混合により0.4～0.8倍濃度に調製した大塚A処方（N：18.9, P：1.7, K：8.6 mmol L<sup>-1</sup>）の培養液を与えた。培養液の調製は培養液タンクに液面センサを設置し、電磁弁の開閉により自動で行い、積算流量計で調製量を計測した。

灌水装置の送水圧は、晴天時に150cm水柱程度となるように設定した。戻し水調節用パイプの開放する孔の組み合わせは、設置当初、径5mm×2個+径2mm×4個とし、暑熱期および経時劣化によるソーラーポンプの性能低下に伴い、径5mm×2個+径2mm×3個に変更した。

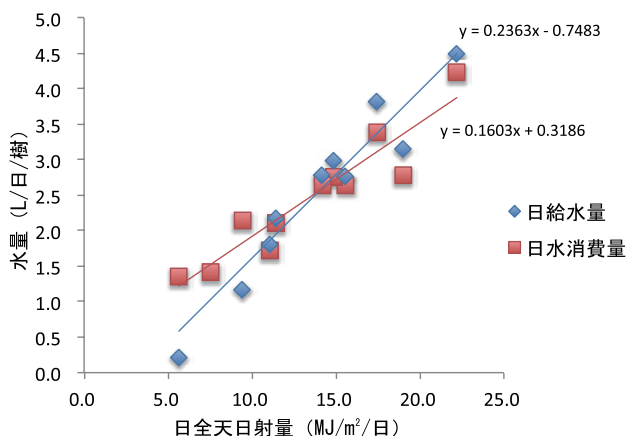
(2) 島根県農業技術センター（島根県出雲市芦渡町）のブドウ栽培用のハウス内において、シャインマスカットのコンテナ栽培に対して第4図のソーラー灌水装置を2014年3月に導入し、従来のタイマ灌水との比較を行った。ただし、水位調整タンクの水位は、ボールタップの代わりに、フロートスイッチに連動した電磁弁の開閉により、培養液供給を行うことで保った。ソーラー灌水では生育に応じた給水量の制御を行わないのに対して、タイマ灌水では新梢の伸長に応じて灌水量を増やし、天候にかかわらず日灌水量は同量とした。培養液は150g L<sup>-1</sup>の大塚1号を液肥混入器で0.2～0.5%濃度に希釈した培養液（N：2.1～5.3, P：0.34～0.85, K：1.7～4.3 mmol L<sup>-1</sup>）を与えた。使用コンテナサイズ、培地組成は（1）と同じ、仕立て方は主枝長東西1.5m、



第7図 培養液調製量の変化



第8図 推定水消費量



第9図 全天日射量と給水量・水消費量

新梢を南北に振り分け斜め上方に誘引，南北とも1.5 mで摘芯した．着果はコンテナあたり6果房である．

2) 結果および考察

(1) 1日あたりの培養液調製量の変化を第7図，給水量から排水量を差し引いた推定水消費量を第8図に示す．2014年4月22日以降，排水が排水バケツに貯まると給水を停止する制御を行ったところ，生育にともなう水消費量の変化に応じて自動で培養液調製量が変化した．ただし，7月下旬の日照不足時には給水量不足の疑いがあり，手動で灌水を行わざるを得なかった．梅雨明け後の暑熱期には低軒高のハウスのため，高温による落葉が多発したが，梅雨末期の，給水不足の影響の可能性も否定できない．葉面積の拡大が収まったと考えられる時期の給水量，水消費量と日射の関係を示す．日射がなくてもブドウは水を消費するのに対し，全天日射量が  $5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  以下だと灌水されないため，梅雨時など日照不足が続く場合には灌水量不足になる危険がある．したがって，ハウス栽培の場合は手動で灌水できるようにしておく必要がある．なお，2015年春には新梢の発芽，花穂形成は正常に認めら

れ，5月現在，新梢2本あたり1果房以上確保できている．

第3表 生育期間中の全灌水量と窒素施用量

	灌水量(L m <sup>-2</sup> )	窒素施用量(g m <sup>-2</sup> )
Aタイマ灌水装置	303.0	9.09
Bソーラー灌水装置	348.1	12.89
B/A	115%	142%

れ，5月現在，新梢2本あたり1果房以上確保できている．

(2) ソーラー灌水装置とタイマ灌水装置とで比較した，生育期間中の全灌水量と窒素施用量を第3表，果実収量・品質調査結果について第4表に示す．ソーラー灌水装置でもタイマ灌水並みの果実が得られた．1粒重，果房重はソーラー灌水装置がまさる．一方で，糖度は18%の基準を満たしながらもタイマ灌水に比べてやや低いことから，灌水量，窒素施用量は過剰と考えられ，生育にともなう灌水量制御の必要性が示唆された．

第4表 果実収量・品質調査結果

	収量 (g 樹 <sup>-1</sup> )	果房重 (g)	1 粒重 (g)	糖度 (Brix %)
A タイマ灌水装置	3,524	584.2	14.3	19.7
B ソーラー灌水装置	4,111	656.9	15.5	18.2
B/A	117%	112%	108%	92%

## V 摘 要

日射対応型拍動灌水装置は、揚水量調節バルブの代わりに、塩ビ管に開けた複数の孔を開閉する孔あきパイプを用いることで灌水量を簡便に調節できる。また、高設タンクや電磁弁を必要としない新しい形式のソーラー灌水装置を開発した。この装置では給水管と点滴資材の高さを工夫し、拍動タンクの代わりに低位置に水位調整タンクを設置する。これにより高設タンクに上る必要があった拍動灌水装置よりもメンテナンスが容易となる。ソーラー灌水装置はフロートスイッチやタイムスイッチを利用することで、過灌水を避けた自動灌水が可能である。この装置をブドウコンテナ栽培に利用すると、従来のタイマ灌水と同程度の果実が得られる。

## 謝 辞

本技術開発は、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「高齢・障がい者など多様な主体の農業

参入支援技術の開発」の援助で実施した。ブドウの栽培管理には島根県農業技術センターの明正吉夫氏、岩井保治氏、装置の試作には近畿中国四国農業研究センターの山崎孝昭氏の協力を得た。感謝の意を表する。

## 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・渡邊修一・吉川弘恭・柴田昇平 2013. 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 近中四農研資料 10 : 1 - 12
- 3) 大森直樹 2013. 一年中楽しめるコンテナ果樹の育て方. 東西社, 東京.
- 4) 吉川弘恭・中尾誠司 2010. ソーラーポンプを利用した拍動自動灌水装置の組み立て方法 近中四農研資料 7 : 21 - 31

## Development of Solar-Radiation-Dependent Drip-Irrigation Apparatus for Container Cultivation of Grape

Yoshiaki KASAHARA, Kenji MATSUMORI, Shuichi WATANABE and Masami HIMEMIYA <sup>1</sup>

### Summary

We devised new procedure to regulate water supply on solar-radiation-dependent drip-irrigation system by using holed pipe instead of a valve. Utilization of a water level adjustment tank and device of irrigation pipe location improved an electric valveless solar-radiation-dependent drip-irrigation apparatus. We developed an automatic controller for the apparatus to prevent surplus water supply.

## 短穂飼料用イネ品種の効率的種子生産方法の検討

藤本 寛・松下 景<sup>1</sup>・中込弘二・森 伸介

Key words : 飼料用イネ, 短穂, たちすずか, たちあやか, 直交表, 種子生産, *sp1*, WCS

### 目 次

I 緒 言	13	果	20
II 材料および方法	14	4 2011年「たちあやか」精籾収量の要因効果	21
1 2010年要因実験	14	果	21
2 2011年要因実験	16	5 2011年「クサノホシ」, 「ホシアオバ」精籾収量の要因効果	21
3 要因実験結果に基づく「たちすずか」種子生産の実規模栽培	17	6 要因実験結果に基づく「たちすずか」種子生産の実規模栽培	21
III 結 果	17	IV 考 察	21
1 要因実験における精籾収量と収量構成要素	17	V 摘 要	25
2 2010年「たちすずか」精籾収量の要因効果	19	謝 辞	25
3 2011年「たちすずか」精籾収量の要因効果	19	引用文献	25
		Summary	27

### I 緒 言

イネをホールクroppサイレージ (以下WCS) として利用する飼料用イネは, 飼料の安心安全確保のための粗飼料自給率の向上, しばしば高騰する不安定な国際飼料価格の影響の低減, 水田の耕作放棄を抑制するための転作作物としての利用などの目的で近年普及が拡大している<sup>23)</sup>。しかし, 飼料用イネはほかの飼料作物と比較し, 茎葉中の糖含量が低く, 乳酸発酵が進みにくいことや, 穂部に栄養が局在する比率が高く, 乳用牛などでは籾が消化されずに排泄される比率が高いなどの問題が指摘されている<sup>6, 22)</sup>。

これらの問題を解決するため, 短穂遺伝子 *sp1*<sup>4, 7)</sup> を持ち<sup>8)</sup>, 穂が小さく, 茎葉型の飼料用イネ品種「たちすずか」<sup>8, 9, 11)</sup> および「たちあやか」<sup>10, 12)</sup>

が育成された。これらの品種は, 通常品種では穂に多く蓄積されるデンプンが, 穂が小さいために茎葉部にも糖として多く蓄積するので, ホールクroppとして高糖分<sup>9)</sup>, 高消化性となっている<sup>6, 22)</sup>。この特性は, イネWCSの利用者である畜産農家から好評価を得ている。また, 穂が小さいために耐倒伏性が強く<sup>12)</sup>, 収穫適期が長い<sup>5)</sup> ことから飼料用イネの生産者である耕種農家やコントラクターの評価も高い。このように短穂であることは, WCS用途飼料用イネ品種として多面的に長所の要因となっているが, 反面, 種子生産においては短所となる。短穂品種の種子収量は, 一般的な栽培条件では通常品種の1/3程度である<sup>8)</sup>。つまり, 短穂品種では種子生産に3倍程度の圃場面積が必要となる<sup>8)</sup>。飼料用イネは, 輸入粗飼料と対抗するためにも低コスト生産が重要なので, 種子生産コストの増大による種苗

費、生産費の増加は、円滑な普及の妨げとなる。したがって、短穂品種の種子を効率的に生産する栽培方法を解明することは重要な課題である。

しかし、短穂品種の子実の多収方策は多肥や早植など通常の品種で一般的に行われる方法と同じなのか、そもそも短穂遺伝子 *sp1* による変異体の穂を大きくすることは可能なのか、などの疑問に対して参考となる報告は、「たちすずか」が品種登録出願された2010年時点では皆無であった。一方で、「たちすずか」は、育成段階における生産力検定など各種試験圃場での観察から、穂の大きさは条件によりある程度変化することを筆者らは認識していた。したがって、効率的な種子生産方法の確立のためには、穂の大きさを変動させる要因を特定し、それら要因の水準をどう設定すると種子収量がどれ位増減するのか、すなわち、要因の特定と要因効果の量的把握が求められる。そこで、本研究では実験計画法<sup>18, 19, 20, 21)</sup>を用いて問題の解決を試みた。種子収量を変動させる可能性がある、あるいは、通常品種とは反応が異なると考えられる条件として、作期、栽植様式、施肥条件を因子として採り上げ、試験を行った。2010年は「たちすずか」、2011年は「たちすずか」と「中国飼205号（のちの「たちあやか」。本報内では以下育成段階も含めて「たちあやか」と表記する）」をそれぞれ対照品種とともに供試して要因実験を行い、さらに、2011年には「たちすずか」の効率的種子生産の実規模栽培を並行して行った。

本報では、*sp1* 遺伝子を持つ短穂品種の種子生産が主題なので、*sp1* 遺伝子を持つ品種を短穂品種、*sp1* 遺伝子を持たない品種を通常品種と区別し呼称した。

## II 材料および方法

要因実験は、農研機構近畿中国四国農業研究センター圃場（広島県福山市、北緯34°30′、東経133°23′、標高2 m、灰色低地土）で実施した。

要因実験では採り上げる因子の選定が重要である。そこでまず、本研究で作期、栽植様式、施肥条件を因子として採り上げた経緯について述べる。

作期については、沖縄県名護市における二期作生産力検定の結果（水稻奨励品種決定基本調査成績デ

ータベース<sup>16)</sup> 参照) が参考となった。これによると、*sp1* 遺伝子を持たない「ひとめぼれ」、「クサノホシ」、「ホシアオバ」の玄米収量は、いずれも一期目（3月上旬移植，7月上中旬頃成熟期）より二期目（8月上旬移植，10月下旬頃成熟期）が低く、それぞれ一期目の半分程度まで減少した。これに対して「中国飼198号（のちの「たちすずか」。本報内では以下育成段階も含めて「たちすずか」と表記する）」は、一期目の玄米収量は10.3kg/aで上記3品種の1/5程度しかなかったが、二期目の玄米収量は28.3kg/aで他品種とは逆に増加し、二期目だけで比較すれば*sp1* 遺伝子を持たないほかの品種と同等の収量であった。このことから、「たちすずか」は通常品種とは収量性に及ぼす作期の影響が異なると考えられたので、作期を因子に採用した。

栽植密度について。水田では圃場周縁部1列の水稲は群落内部の水稲よりも光、栄養などの環境が良いので生育や収量が良い。この現象は「周縁効果」と呼ばれている<sup>17)</sup>。周縁効果は、通常品種では主に穂数が増加することで多収となるのに対し、「たちすずか」では最周縁だけ顕著に穂が大きいことが観察された。この「周縁効果」を種子生産に適用するためには、圃場内部にも周縁部と類似の環境を作り出す必要がある。このため、2条植えて1条空ける並木植えによって各条片側は広い空間となる環境を設定し、これを栽植様式の水準として採用した。対照は標準の条間30 cmとした。

施肥について。一般に多収のためには多肥とする。一方、「たちすずか」は、育成段階における生産力検定など各種試験圃場での観察から、多肥では穂が小さく、また、出すくむ（穂が止葉葉鞘の内にとどまり出穂に至らない）分けつも多く、一般の品種とは異なる施肥反応があることを観察していた。このため施肥を因子として採用した。

### 1 2010年要因実験

5 a 圃場1筆に品種「たちすずか」と「クサノホシ」を供試した。「たちすずか」は「中国147号」（のちの「クサノホシ」）を母、「極短穂（00個選11）」を父とする後代より育成された品種<sup>9)</sup>であり、「たちすずか」と「クサノホシ」は、穂の大きさが大きく異なるものの出穂特性など生育特性に共通する点

が多い。そこで「クサノホシ」を、短穂品種「たちすずか」の収量性を検討するための対照品種とした。

第1表に示す因子と水準を品種毎に2水準系直交表L<sub>16</sub>に割り付けて、1区13.5㎡で、作期を1次因子、栽植様式、基肥量、穂肥施用を2次因子とする分割区法で試験を実施した(写真1)。

移植は稚苗を機械移植した。栽植様式の並木植え区については移植後に3条につき1条を手で間引いた(したがって、条間は30cmと60cmの交互となる)。株間は約20cm、株あたり植付け本数は平均で3.0本

第1表 因子と水準および精粗収量(2010年「たちすずか」)

因子	A:作期 (移植日)	B:栽植様式	C:基肥量 (窒素成分)	D:穂肥施用 (窒素成分)	精粗収量
第1水準	6月24日	並木植え	5.6 g/㎡	4 g/㎡	たちすずか
第2水準	5月10日	標準条間	14 g/㎡	—	
	(1)	(4)	(8)	(15)	g/㎡
	6月24日	並木植え	5.6	4	329
	6月24日	並木植え	14	—	249
	6月24日	標準条間	5.6	—	144
	6月24日	標準条間	14	4	125
	6月24日	並木植え	5.6	—	306
	6月24日	並木植え	14	4	217
	6月24日	標準条間	5.6	4	176
	6月24日	標準条間	14	—	126
	5月10日	並木植え	5.6	—	92
	5月10日	並木植え	14	4	64
	5月10日	標準条間	5.6	4	82
	5月10日	標準条間	14	—	19
	5月10日	並木植え	5.6	4	113
	5月10日	並木植え	14	—	80
	5月10日	標準条間	5.6	—	83
	5月10日	標準条間	14	4	66
				平均	142

L<sub>16</sub> (2<sup>15</sup>) 2水準系直交表への割付。1区面積13.5㎡。

配置は、Aを1次因子、B、C、Dを2次因子とする分割区法を用いた。

並木植えは条間を30cmと60cmの交互、標準条間は条間30cm。

株間は、並木植え、標準条間のいずれも約20cm。

基肥は、複合444-E80号(LP-140を窒素成分の80%含む)。穂肥は硫安。

精粗収量は唐箕を用いた風選による精粗の重量。水分15%換算値。

であった。栽植密度は、標準条間区が16.7株/㎡、並木植え区が11.1株/㎡である。施肥は第2表のとおり行った。基肥は近畿中国四国農業研究センター水稲育種研究グループの生産力検定試験における施肥法に準じ、複合444-E80号(生産:ジェイカムアグリ株。窒素,リン酸,カリを各14%含む。緩効性肥料LP-140を窒素成分量の80%含む)を用いた。試験区間は波板で仕切り、異なる施肥が隣接する区に影響しないよう注意を払った。雑草,病害虫の防除は適宜行った。黄熟期に各区1.8㎡を地際刈りし、乾燥機で絶乾して地上部乾物重を求めた。収量調査は、成熟期に各区1.8㎡を刈りし、穂数を調査、風乾の後、脱穀してしいなを含むすべての籾を回収、夾雑物および芒を取り除いた後、唐箕を用いた風選により精粗と屑籾に分け、それぞれ粒数を調査し、その合計から単位面積あたり籾数を求めた。一穂粒数は単位面積あたり籾数を単位面積あたり穂数で除して求めた。登熟歩合は風選による精粗が全籾の中

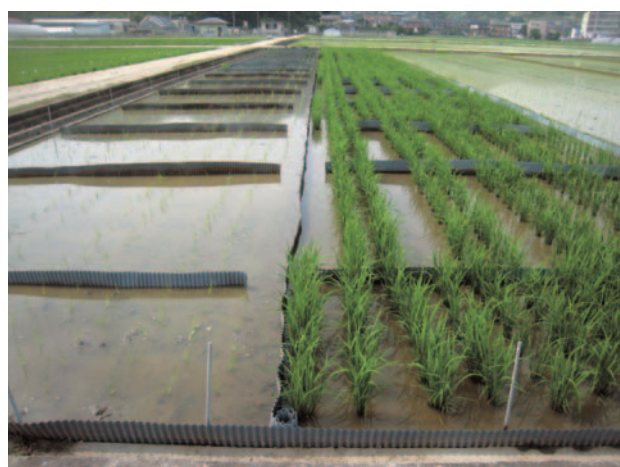


写真1 要因実験圃場(2010年)

第2表 施肥時期(2010年)

移植時期	品種	幼穂形成期		
		窒素施用日	出穂期前日数	出穂期
早植区	たちすずか	8月9日	20日	8月29日
5月10日移植	クサノホシ	8月9日	15日	8月24日
晩植区	たちすずか	8月18日	17日	9月4日
6月24日移植	クサノホシ	8月18日	15日	9月2日

供試圃場全面に代かき前、PK化成(リン酸,カリを各20%含有)を40kg/10a施用した。

基肥は複合444-E80(窒素,リン酸,カリを各14%含む。緩効性肥料LP-140を窒素成分量の80%含む)を第1表のとおり窒素成分量で5.6g/㎡ないし14g/㎡を移植直後に土壌表面施用した。

幼穂形成期の窒素施用は硫安を窒素成分量で4g/㎡土壌表面施用した(施用区)。

出穂期には同一品種・移植時期の区間に2日程度の幅があったが中間値で示した。

第3表 因子と水準および精籾収量 (2011年)

因子	A: 作期 (移植日)	B: 栽植様式 栽植方法	C: 植付本数 植付本数	D: 穂分期 窒素施用	F: 幼形期 窒素施用	精籾収量 g/m <sup>2</sup>			
第1水準	7月7日	並木植え	1本	—	8 g/m <sup>2</sup>				
第2水準	6月2日	標準条間	3本	6 g/m <sup>2</sup>	—				
直交表割付列						たちすずか	クサノホシ	たちあやか	ホシアオバ
(1)	(4)	(8)	(6)	(11)					
7月7日	並木植え	1本	—	8	347	583	150	543	
7月7日	並木植え	3本	—	—	325	503	198	435	
7月7日	標準条間	1本	6	8	423	698	110	574	
7月7日	標準条間	3本	6	—	312	676	151	654	
7月7日	並木植え	1本	6	—	339	613	129	567	
7月7日	並木植え	3本	6	8	359	638	118	553	
7月7日	標準条間	1本	—	—	317	591	201	502	
7月7日	標準条間	3本	—	8	418	668	225	597	
6月2日	並木植え	1本	—	—	201	445	227	512	
6月2日	並木植え	3本	—	8	404	597	116	643	
6月2日	標準条間	1本	6	—	138	682	187	745	
6月2日	標準条間	3本	6	8	114	701	255	757	
6月2日	並木植え	1本	6	8	138	661	105	656	
6月2日	並木植え	3本	6	—	141	575	155	694	
6月2日	標準条間	1本	—	8	332	617	241	667	
6月2日	標準条間	3本	—	—	200	437	235	585	
平均					282	605	175	605	

L<sub>16</sub> (2<sup>15</sup>) 2水準系直交表への割付. 1区面積15m<sup>2</sup>.

圃場への配置は, Aを1次因子, B, C, D, Fを2次因子とする分割区法を用いた.

並木植えは条間を30cmと60cmに交互にとる2条並木植え. 標準条間は条間30cm.

株間は, 並木植え, 標準条間のいずれも約20cm.

基肥窒素施用はなし. 穂分期と幼形期の窒素施用は確安.

精籾収量は唐箕を用いた風選による精籾の重量. 水分15%換算値.

で占める粒数の比率として求めた. 精籾収量および精籾千粒重は水分15%に換算した値で示した. また, 坪刈りとは別に葉齢調査株(各区2株)の主稈を採取し, 籾数を調査した.

## 2 2011年要因実験

5 a 圃場2筆に品種「たちすずか」, 「クサノホシ」, 「たちあやか」, 「ホシアオバ」を供試した. 「たちあやか」は「中国146号」(のちの「ホシアオバ」)と「極短穂(00個選11)」との雑種第一代に「ホシアオバ」を二回戻し交配した後代より育成された品種<sup>10)</sup>であり, 「ホシアオバ」と「たちあやか」の生育特性には共通点が多い. そこで「ホシアオバ」を, 短穂品種「たちあやか」の収量性を検討するための対照品種とした.

第3表に示す因子と水準を品種毎に2水準系直交表L<sub>16</sub>に1/2実施で割り付けて, 1区15m<sup>2</sup>で, 作期を1次因子, 栽植様式, 植付本数, 穂首分化期窒素施用, 幼穂形成期窒素施用を2次因子とする分割区法で試験を実施した(写真2).



写真2 要因実験圃場(2011年)

畦際に設けた試験区間の通水路は, 施肥後1週間は波板で仕切った.

移植は株間20cmで手植えした. 栽植密度は, 標準条間区が16.7株/m<sup>2</sup>, 並木植え区(条間は30cmと60cmの交互)が11.1株/m<sup>2</sup>である. 施肥は第4表のとおり行った. 2011年の施肥は, 保科・上藤<sup>1)</sup>の報告を参考にし, 基肥として窒素は施用せず, 穂首分化期および幼穂形成期の窒素施用を因子として採



第4表 施肥時期 (2011年)

移植時期	品種	穂首分化期		幼穂形成期		出穂期
		窒素 施用日	出穂期前 日数	窒素 施用日	出穂期前 日数	
早植区	たちすずか	7月25日	37~39日	8月10日	21~23日	8月31日~9月2日
6月2日移植	クサノホシ	7月25日	36~37日	8月10日	20~21日	8月30日~31日
	たちあやか	7月11日	38~47日	7月29日	20~29日	8月18日~27日
	ホシアオバ	7月11日	35~43日	7月29日	17~25日	8月15日~23日
晩植区	たちすずか	8月9日	31~33日	8月22日	18~20日	9月9日~11日
7月7日移植	クサノホシ	8月9日	29~30日	8月22日	16~17日	9月7日~8日
	たちあやか	8月9日	34~37日	8月22日	21~24日	9月12日~15日
	ホシアオバ	8月9日	30~35日	8月22日	17~22日	9月8日~13日

供試圃場全面に代かき前、PK化成（リン酸、カリを各20%含有）を40kg/10a施用した。

窒素は基肥として施用しなかった。

穂首分化期の窒素施用は硫酸を窒素成分量で6g/m<sup>2</sup>土壌表面施用した（施用区のみ）。

幼穂形成期の窒素施用は硫酸を窒素成分量で8g/m<sup>2</sup>土壌表面施用した（施用区のみ）。

り上げた。試験区間は波板で仕切り、異なる施肥が隣接する区に影響しないよう注意を払った。雑草、病害虫の防除は適宜行った。地上部乾物重は、幼穂形成期に各区0.36m<sup>2</sup>、成熟期に各区0.72m<sup>2</sup>の稲株を地際刈りし、乾燥機で絶乾して求めた。収量調査は、成熟期に各区1.62m<sup>2</sup>を坪刈りし、行った。穂が出すくんだ分けつや遅れ穂が多い区があったので、これらの影響を除外するため穂数は常法によらず、株基で数えた莖数を穂数とした。風乾の後、脱穀してしいなを含むすべての粉を回収、夾雑物および芒を取り除いた後、唐箕を用いた風選により精粉と屑粉に分け、それぞれ粒数を調査し、その合計から単位面積あたり粉数を求めた。一穂粉数は単位面積あたり粉数を上記の株基で調査した単位面積あたり穂数で除して求めた。登熟歩合は風選による精粉が全粉の中で占める粒数の比率として求めた。精粉収量および精粉千粒重は水分15%に換算した値で示した。また、各区坪刈り地点に隣接した4株から1株あたり1本ずつ主稈を採取し、主稈の一穂粒数を調査した。発芽試験を収量調査終了後の2012年2月に行った。30℃の恒温器で培養し、6日目に発芽率を調査した。

### 3 要因実験結果に基づく「たちすずか」種子生産の実規模栽培

5a圃場1筆を用い、2010年の要因実験の結果などから有望と思われた栽培管理の組み合わせ（晩植）×（並木植え）×（1本植え）×（穂首分化期肥なし）×（幼穂形成期肥あり）を適用し、種子生産の実

規模栽培を行った。

2011年6月17日に1穴あたり1粒ずつ播種し、育苗したポット苗を用い、ポット苗専用の田植機で7月7日に機械移植した。したがって、株あたり植付本数は1本である。株間は約20cm、条間は30cmと60cmの交互にとる並木植えとした。欠株は補植した。栽植密度は11.1株/m<sup>2</sup>である。

施肥は、代かき前にPK化成（JA全農。リン酸、カリを各20%含有）を肥料現物量で40kg/10a施用した。基肥として窒素成分は施用しなかった。幼穂形成期の8月18日（出穂期前21日）に窒素成分を「一発穂肥」（住友化学株式会社製。窒素成分量の内40%が即効性、60%が緩効性。肥効期間は施用後40~60日）を用いて、窒素成分量で12kg/10a施用した。

出穂期は9月8日。収量調査のための坪刈りは成熟期の10月21日に行った。唐箕を用いた風選により精粉を選別した。収量調査後、2の要因実験と同様に発芽率を調査した。

## Ⅲ 結 果

### 1 要因実験における精粉収量と収量構成要素

第1表に2010年の各試験区の処理組合せと精粉収量を、第3表に2011年の各試験区の処理組合せと精粉収量を示した。第5表に2010年および2011年要因実験における各品種、作期の精粉収量、収量構成要素、地上部乾物重および発芽率を、それぞれ8区の平均値として示した。sp1遺伝子を持つ「た

第5表 収量および収量構成要素 (各年次, 各品種, 各作期ごとの平均値)

年	品種	移植日	精粗	穂数	一穂	粗数	登熟	精粗	地上部	発芽率
			収量	本/m <sup>2</sup>	粒数	粒/m <sup>2</sup>	歩合	千粒重	乾物重	
			g/m <sup>2</sup>	本/m <sup>2</sup>	粒	粒/m <sup>2</sup>	%	g	g/m <sup>2</sup>	%
2010年	たちすずか	6月24日	209	337	30	9,729	84.7	25.2	1,243	—
		5月10日	75	263	17	4,357	64.4	26.0	1,718	—
	クサノホシ	6月24日	287	291	145	42,122	24.6	27.7	1,090	—
		5月10日	527	239	181	43,092	44.5	27.5	1,567	—
2011年	たちすずか	7月7日	355	196	78	15,069	92.7	25.5	1,025	97.6
		6月2日	208	218	48	9,919	83.7	24.8	1,341	95.2
	たちあやか	7月7日	160	254	33	8,035	86.4	23.1	1,151	97.7
		6月2日	191	274	33	8,685	88.1	24.7	1,260	95.0
	クサノホシ	7月7日	621	197	137	26,818	82.2	28.3	1,007	98.3
		6月2日	589	174	182	31,089	70.1	27.5	1,215	98.0
	ホシアオバ	7月7日	553	206	107	21,984	73.2	34.5	1,138	98.4
		6月2日	657	243	123	29,419	68.5	32.8	1,245	94.1

それぞれ8区の平均値。各区の因子水準組合せは第1, 3表を参照。  
 2010年クサノホシは倒伏により登熟歩合および精粗収量が大幅に低い。  
 2011年の穂数は出すくみ茎や遅れ穂の影響を除くため、株基で数えた茎数を穂数とした。  
 精粗および登熟歩合は唐箕での風選による。精粗収量および精粗千粒重は水分15%換算値。  
 地上部乾物重は、2010年は黄熟期、2011年は成熟期に地際刈りし、絶乾した乾物重。  
 発芽率は、30℃の恒温器に入れて6日目に調査。2010年は未調査。

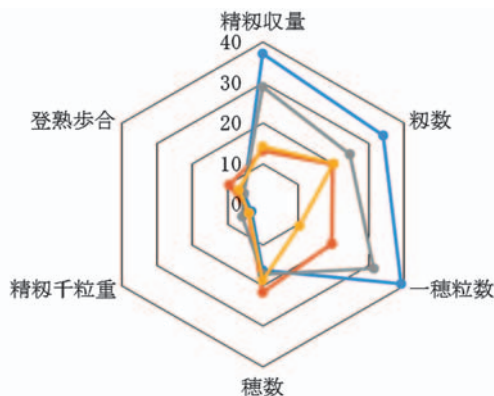
第6表 精粗収量と各収量構成要素との相関係数

年次	品種	穂数/m <sup>2</sup>	一穂粒数	粗数/m <sup>2</sup>	登熟歩合	精粗千粒重	地上部乾物重/m <sup>2</sup>
2010年	たちすずか	0.33 ns	0.95 **	1.00 **	0.70 **	-0.31 ns	-0.77 **
2011年	たちすずか	-0.42 ns	0.93 **	0.99 **	0.77 **	0.39 ns	-0.41 ns
	たちあやか	-0.16 ns	0.79 **	0.94 **	0.35 ns	0.72 **	0.18 ns
	クサノホシ	0.83 **	-0.14 ns	0.76 **	0.05 ns	-0.45 ns	0.69 **
	ホシアオバ	0.81 **	0.32 ns	0.93 **	-0.35 ns	-0.45 ns	0.81 **

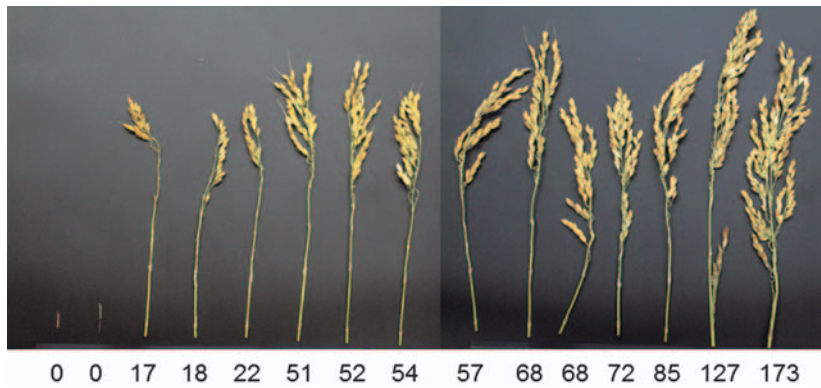
精粗収量と収量構成要素は要因実験の坪刈りデータを用いた。各品種 n = 16。  
 地上部乾物重/m<sup>2</sup>は、2010年は黄熟期、2011年は成熟期に地際刈りした地上部乾物重より算出。  
 \*\*は1%水準で有意であることを、nsは5%水準で有意でないことを示す。

ちすずか」, 「たちあやか」は対照とした通常品種の「クサノホシ」, 「ホシアオバ」と比較して、穂は顕著に小さく、一穂粒数は3~4割程度である。穂数は1割程度多いが、単位面積あたりの粗数は一穂粒数と同様に少ない。登熟歩合は1~2割程度短穂品種が高いが、精粗収量は半分以下である。地上部乾物重に品種間差はほぼない。‘地上部乾物重 = 穂重 + 茎葉部重’であり、短穂品種の穂重は通常品種の1/2~1/3であるが、短穂品種は通常品種よりも長稈で茎葉部が重い。発芽率については、いずれの品種、作期においても90%以上(94.1~98.4%)あり、問題なかった。

第6表に精粗収量と各収量構成要素との相関係数

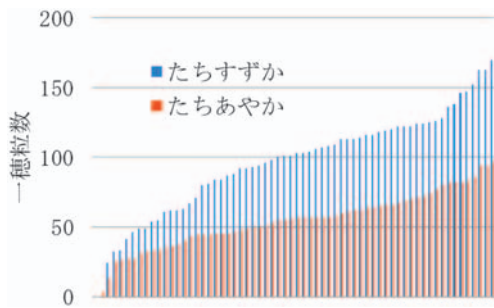


第1図 収量および収量構成要素の変動係数の品種間比較 (2011年)



第2図 「たちすずか」の穂の変異（2010年）

各区，葉齢調査株の主稈を調査．下段の数字は一穂粒数．昇順に並べた．



第3図 「たちすずか」と「たちあやか」の主稈一穂粒数（2011年）

要因実験の16区から各区4本，合計64本の主稈を調査．区の配列と関係なく昇順に並べた．  
「たちすずか」：0粒～170粒，「たちあやか」：0粒～97粒．

を，各年次，品種毎に示した．供試した4品種とも，精粉収量は単位面積あたりの籾数と強い正の相関を示した．‘籾数/㎡ = 穂数/㎡ × 一穂粒数’なので，籾数を穂数と一穂粒数に分けて精粉収量との関係を見ると，短穂品種と通常品種とでは対照的な関係を示した．短穂品種「たちすずか」，「たちあやか」の精粉収量は一穂粒数と1%水準で有意な正の相関を示したが，穂数とは有意な関係は認められなかった．一方，通常品種「クサノホシ」，「ホシアオバ」の精粉収量は穂数と1%水準で有意な正の相関を示したが，一穂粒数とは有意な関係は認められなかった．

第1図に2011年要因実験における各収量構成要素の変動係数（各品種  $n = 16$ ）を示した．変動係数は収量構成要素により大きく異なった．精粉収量および籾数関連の構成要素は大きな変動を示し，明確な品種間差が認められた．一方，登熟に関連する登

熟歩合と精粉千粒重は4品種とも10%以内の小さな変動であった．精粉収量の変動係数は短穂品種が通常品種よりも2倍以上大きく，一穂粒数の変動係数も同様に短穂品種が2倍程度大きかった．特に「たちすずか」の一穂粒数の変動係数は39%と大きかった．第2図に2010年要因実験における主稈の穂の写真とその一穂粒数を，第3図に2011年要因実験における主稈の一穂粒数を示す．区の配列と関係なく，一穂粒数の昇順に並べた．「たちすずか」の穂の大きさ（一穂粒数）が大きく変化する（0粒～170粒）ことがわかる．同じく第3図に示した2011年要因実験における「たちあやか」の主稈の一穂粒数は「たちすずか」に比べて全体に少なく，変動も小さかった（0粒～97粒）．

## 2 2010年「たちすずか」精粉収量の要因効果

「たちすずか」の精粉収量は16区の平均で142 g/㎡であった（第1表）．最高は329 g/㎡，最低は19 g/㎡であり，変動係数は63.4%であった．

試験に採り上げた各因子の主効果は，作期の寄与率が58.9%で最も大きく，次に栽植様式が19.8%，基肥窒素施用量が7.0%であり，それぞれ1%水準で有意であった（第7表）．一方，穂肥施用には有意な効果は認められなかった．また，作期と栽植様式には交互作用が認められ，この寄与率は9.1%であった．誤差項の寄与率は5.1%と小さく，試験は精度良く実施されたといえる．精粉収量に与える効果が最も大きかった作期では，晩植（6月24日移植，精粉収量209 g/㎡）が早植（5月10日移植，同75 g/㎡）よりも134 g/㎡収量を引き上げる大き

な効果であった。

有意と認められた主効果、交互作用はいずれも正負号がプラスであったので、これらの因子で第1水準を選択すれば、精籾収量は増加する。したがって、「たちすずか」の精籾収量を最も高くする因子の組み合わせは（晩植）×（並木植え）×（基肥少肥）であり、穂肥の有無は関係しなかった。各効果は相加的である<sup>20)</sup>ので、有意と認められた主効果と交互作用を平均値に加えて算出される期待値は299 g/m<sup>2</sup>であった。

第7表 精籾収量に及ぼす要因の効果と寄与率 (2010年)

因子	たちすずか	
	効果 g/m <sup>2</sup>	寄与率 %
A: 作期	67	58.9 **
B: 栽植様式	39	19.8 **
C: 基肥量	24	7.0 **
D: 穂肥施用	—	0.3 ns
A×B	27	9.1 **
誤差	5.1	
精籾収量平均	142	

効果は、平均に対する第1水準の増加量。

第2水準を選択した場合は平均からの減少量。

第1, 2水準については第1表を参照。

A×Bは作期と栽植様式との交互作用を示す。

\*\*は1%水準で有意であることを示す。

### 3 2011年「たちすずか」精籾収量の要因効果

「たちすずか」の精籾収量は16区の平均で282 g/m<sup>2</sup>であった（第3表）。最高は423 g/m<sup>2</sup>、最低は114 g/m<sup>2</sup>であり、変動係数は38.5%であった。

試験に採り上げた各因子の主効果は、作期の寄与率が48.5%で2010年と同様に最も大きく、次に穂首分化期窒素施用が11.6%、幼穂形成期窒素施用が10.8%であり、それぞれ1%水準で有意であった（第8表）。しかし、2010年に19.8%の効果を示した栽植様式は有意な効果は認められず、関連して、植付本数も効果は認められなかった。

交互作用は、作期と穂首分化期肥（寄与率（以下同）13.8%）、栽植様式と植付本数（4.5%）、穂首分化期肥と幼穂形成期肥（4.1%）、穂首分化期肥と植付本数（2.1%）と多数得られたが、このうち、穂首分化期肥と幼穂形成期肥以外の交互作用はマイナスの効果であり、水準の選択によっては主効果を逆に減じる。したがって、これらの交互作用は精籾収量向上のためにはあまり有効ではないと判断された。

誤差項の寄与率は4.5%と小さく、試験は精度良く実施されたといえる。精籾収量に与える効果が最も大きい作期は、晩植（7月7日移植、精籾収量355 g/m<sup>2</sup>）すると、早植（6月2日移植、同208 g/m<sup>2</sup>）よりも147 g/m<sup>2</sup>収量を引き上げるので、2010

第8表 精籾収量に及ぼす要因の効果と寄与率 (2011年)

因子	たちすずか		クサノホシ		たちあやか		ホシアオバ	
	効果 g/m <sup>2</sup>	寄与率 %	効果 g/m <sup>2</sup>	寄与率 %	効果 g/m <sup>2</sup>	寄与率 %	効果 g/m <sup>2</sup>	寄与率 %
A: 作期	73	48.5 **	16	3.2 *	—	7.1 ns	-52	35.7 **
B: 栽植様式	—	0.0 ns	-28	11.8 **	-25	24.0 **	-30	11.5 **
C: 植付本数	—	0.0 ns	—	0.0 ns	—	0.0 ns	—	0.7 ns
D: 穂分期肥	36	11.6 **	-50	38.3 **	24	21.1 **	-45	26.5 **
F: 幼形期肥	35	10.8 **	40	24.1 **	—	2.4 ns	19	4.2 **
A×D	-39	13.8 **						
B×C	-23	4.5 **						
B×F					-17	10.2 *		
D×C	-16	2.1 *						
D×F	22	4.1 **	21	6.1 *			33	14.5 **
誤差	4.5		11.2		25.2		7.0	
精籾収量平均	282		605		175		605	

効果は、第1水準を選択した場合の平均からの増加量。正負号が「-」の場合は平均からの減少量。

第2水準を選択した場合は第1水準とは正負号が逆の効果となる。

第1水準、第2水準については第3表を参照。

A×Dなどは交互作用を示す。平均に対する増減は効果の正負号と2要因の水準選定で決まる。

\*\*、\*はそれぞれ1%、5%水準で有意であることを示す。

年と同様に大きな効果であった。

以上、「たちすずか」の精籾収量を最も高くするのは（晩植）×（並木植え）×（3本植え）×（穂首分化期肥なし）×（幼穂形成期肥あり）の組み合わせであり、期待値は449 g/m<sup>2</sup>である。これは2010年に得た期待値299 g/m<sup>2</sup>を150 g/m<sup>2</sup>上回る収量であった。

#### 4 2011年「たちあやか」精籾収量の要因効果

「たちあやか」の精籾収量は16区の平均で175 g/m<sup>2</sup>であった（第3表）。最高は255 g/m<sup>2</sup>、最低は105 g/m<sup>2</sup>であり、変動係数は29.6%であった。

試験に採り上げた各因子の主効果は、栽植様式の寄与率が24.0%で最も大きかった。しかし、その効果は-25 g/m<sup>2</sup>、並木植えが標準条間よりも減収するという結果であった。これは並木植えの増収効果が認められた2010年「たちすずか」とは逆の結果であった。穂首分化期窒素施用の寄与率は21.1%であり（第8表）、「たちすずか」と同様、穂首分化期に窒素施用しない方が増収した。一方、「たちすずか」で安定して高い効果を示した作期は、寄与率7.1%と小さく、5%水準で有意とは認められなかった。交互作用は、栽植様式と幼穂形成期肥（10.2%）が5%水準で有意であった。効果は-17 g/m<sup>2</sup>であったことから、栽植様式に第2水準の標準条間を選択し、幼穂形成期肥を第1水準の施用を選択すれば、この交互作用は栽植様式の主効果に加算される。

誤差項の寄与率は25.2%と大きく、また、精籾収量の変動が「たちすずか」と比較し大幅に小さいことを考慮すると、要因実験に採り上げる因子の再検討が必要と考えられた。

以上、「たちあやか」の精籾収量を最も高くするのは（標準条間）×（穂首分化期肥なし）×（幼穂形成期肥あり）の組み合わせであり、期待値は242 g/m<sup>2</sup>であった。

#### 5 2011年「クサノホシ」,「ホシアオバ」精籾収量の要因効果

「クサノホシ」は2カ年試験に供試したが、2010年は登熟中期の9月20日に台風により倒伏し、登熟歩合、精籾収量の平均値はそれぞれ35%、407 g/m<sup>2</sup>と著しく低いため参考にとどめる（第5表）。

2011年、「クサノホシ」および「ホシアオバ」の

精籾収量は16区の平均でともに605 g/m<sup>2</sup>であった（第3表）。「クサノホシ」の最高は701 g/m<sup>2</sup>、最低は437 g/m<sup>2</sup>、変動係数は13.7%であった。「ホシアオバ」の最高は757 g/m<sup>2</sup>、最低は435 g/m<sup>2</sup>、変動係数は14.7%であった。精籾収量が最高であった区の水準組み合わせは両品種とも同じ（6月2日移植）×（標準条間）×（3本植え）×（穂首分化期肥あり）×（幼穂形成期肥あり）であった（第3表）。

試験に採り上げた各因子の効果の有無には、両品種共通する傾向が多く、要約すると、施肥は穂首分化期肥も幼穂形成期肥も施用し、栽植様式は並木植えではなく標準条間の収量が高かった（第8表）。両品種で異なったのは作期の効果である。「クサノホシ」では5%水準で有意ではあったが、その寄与率と効果は小さいのに対して「ホシアオバ」では寄与率35.7%、-52.0 g/m<sup>2</sup>の大きな効果であった。

以上のことより、「クサノホシ」の精籾収量を最も高くするのは（標準条間）×（穂首分化期肥あり）×（幼穂形成期肥あり）の組み合わせであり、期待値は719 g/m<sup>2</sup>である。「ホシアオバ」の精籾収量を最も高くするのは（普通期植え）×（標準条間）×（穂首分化期肥あり）×（幼穂形成期肥なし）の組み合わせであり、期待値は747 g/m<sup>2</sup>であった。

#### 6 要因実験結果に基づく「たちすずか」種子生産の実規模栽培

「たちすずか」種子生産の実規模栽培で採用した因子水準の組み合わせは（晩植）×（並木植え）×（1本植え）×（穂首分化期肥なし）×（幼穂形成期肥あり）であり、要因実験の中で処理が類似する区の前籾収量は347 g/m<sup>2</sup>であり、16区中5番目に高い収量であった。実規模栽培では、各収量構成要素は、穂数359本/m<sup>2</sup>、一穂粒数49粒/穂、籾数17,600粒/m<sup>2</sup>、登熟歩合（風選）91%、精籾千粒重26.3gであり、精籾収量は420kg/10aであった（写真3）。また、得られた種子の発芽率は98.6%であり、種子として問題なかった。

## IV 考 察

短穂品種と通常品種の収量構成要素を比較すると、短穂品種の精籾収量が少ないのは、各収量構成要素

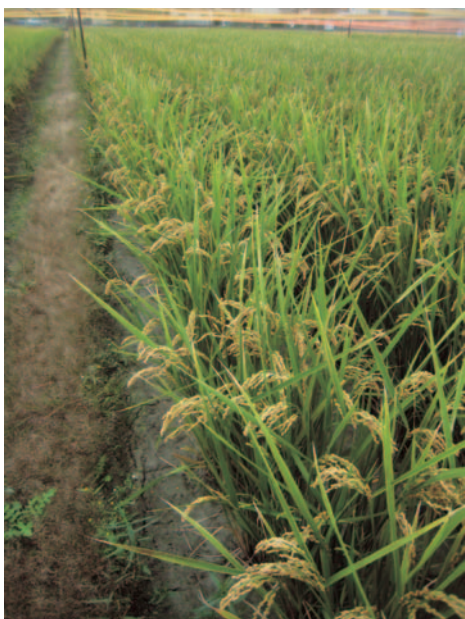


写真3 「たちすずか」種子生産の実規模栽培 (2011年登熟期)

が一樣に通常品種より小さいわけではなく、穂が小さいことに起因していた。また、短穂品種の一穂粒数は精籾収量と強い正の相関を示した。さらに、短穂品種の一穂粒数の変動係数は特に大きく、これらのことから、短穂品種の収量改善は、収量構成要素のうち、一穂粒数を多くすることが効果的であることが示唆される。これは、保科・上藤<sup>1)</sup>、Matsushitaら<sup>11)</sup>の報告と一致する。

しかしながら、短穂遺伝子 *sp1* により穂が小さい特徴を持つ「たちすずか」、「たちあやか」の穂が大きくなるのだろうか。第2図は、2010年要因実験における「たちすずか」の葉齢調査株の主稈を調査したものである。左端の2本は出すくみの穂である。穂は正常に形成されず出穂に至らなかった。中程に並んでいる穂は、穂首節から着粒籾までに間隔が開いているが、ここに *sp1* 遺伝子の特徴である分化した後伸長せずに発育を停止した枝梗と穎花<sup>7)</sup>が痕跡程度に確認できる。一方、右端の穂は大きく、通常品種と変わらず、穂首節まで一次枝梗が着生している。2011年も同様に「たちすずか」の一穂粒数は大きな変動を示した(第3図)。以上は主稈を対照とした調査結果であるが、坪刈り調査による籾数を穂数で除して得た一穂粒数と主稈の一穂粒数とは  $r = 0.90^{**}$  (2011年「たちすずか」。データ省略)

の高い正の相関があり、分けつの穂も主稈と同様大きく大きさが変動するといえる。以上、穂の大きさは、短穂遺伝子 *sp1* を持っても栽培方法により大きく変化させることが可能であり、本報の要因実験における因子と水準の組み合わせはそれを実証した。

一般に多収のためには、多肥や早植などイネを慣行よりも大きく育てる栽培方法がとられる。これは、「子実収量 = 全乾物収量 × 収穫指数」で表される関係があり、子実収量の増加は全乾物収量の増加によってなされる<sup>3)</sup>からである。要因実験の結果(第6表)を見てみると、通常品種「クサノホシ」、「ホシアオバ」では、精籾収量と地上部乾物重とは正の相関を示し、イネを大きく育てると子実多収となった。ところが、短穂品種ではこの関係は認められなかった。短穂品種において精籾収量と地上部乾物重とは負の相関(2010年「たちすずか」)、あるいは無相関(2011年「たちすずか」、「たちあやか」)を示した。このことから、短穂品種における増収の方策は通常品種と異なることがわかる。

次に、穂を大きくする環境条件を解明する必要がある。短穂品種の種子収量に關与する要因が既知であれば、その因子について最適な水準を探索すれば良い。しかし、精籾収量ないし穂の大きさに關与する要因がわからない中で、可能性がありそうな因子を多数供試すれば、膨大な区数の試験となる。そこで本研究では、最高収量を得るためよりも、収量に關与する要因の探索に重点を置き、2水準系の要因実験によって要因効果を量的に把握することを試みた。この方法は1因子実験のように供試する因子以外の外的要因を極力揃え、反復実施する試験とは異なり、多因子を一度に供試して、すべての区が相互に異なる処理組合せのもとで要因効果の量的把握を行う。特性値に影響を及ぼすと予想される因子をすべて試験に供試する。このため、得られる結果はより普遍性が高い。本研究の結果は各地の種子生産の現場で適用されることを目的としていることから、この点においても直交表を用いた要因実験は本研究に適當であったと考える。

さて、直交表を用いた要因実験では、特性値に影響を及ぼす因子の採用と水準設定が重要である。本

研究では短穂品種「たちすずか」の育成段階での種々の試験圃場における観察などから、作期、栽植様式、施肥に関する因子を採り上げ試験に供試した。以下に、「たちすずか」の精籾収量における各要因効果について考察する。

作期について、通常品種では一般に早植で多収となるが、「たちすずか」では晩植で精籾収量が多収となった。作期の寄与率は高く、かつ2カ年とも同様の結果であり、安定していた。晩植効果が得られる具体的な期間について考察すると、育成地における作期区分は周辺地域の慣行に従って、おおむね、5月上中旬を早期、6月上旬を普通期、6月下旬を晩期としている。要因実験での移植日はそれぞれ、2010年、5月10日早期、6月24日晩期、2011年、6月2日普通期、7月7日極晩期と区分される。晩植の効果は晩期の6月24日移植で得られたが、普通期の6月2日移植では得られていないので、この間のどこかに転換点があると考えられる。また、極晩期の7月7日移植でも晩植効果が得られていることから、育成地の広島県福山市では移植が晩期以後であれば晩植効果が得られると考えられる。ただし、地域の安全出穂晩限などの情報から、特に山間などでは登熟不良とならないように晩植の移植期を設定する必要がある。また、このためにも晩植の効果が得られる早限について、さらに詳細に検討しておく必要がある。

栽植様式について、2010年の結果において、「たちすずか」では栽植様式に作期に次ぐ大きな効果を認めた。一方、2011年は栽植様式に効果は認められなかった。これは、2011年は施肥法を変更し、穂首分化期までは窒素を施用しなかったことが影響したと考えられる。つまり、穂首分化期における生育量が疎植でなくても十分に小さかったため、疎植の効果が出にくかった可能性がある。精籾収量では効果は認められなかったが、一穂粒数では栽植様式に寄与率4.1%、5%水準で有意な5.3粒/穂の効果が認められた（データ省略）ので、施肥とのバランスが、異なる結果の原因と考える。なお、隣接圃場で実施した種子生産の実規模栽培では並木植えを採用し多収となっている。また、短穂遺伝子 *sp1* を持つ系統に共通して、最周縁1列の株の穂が大きいことはどの圃場においても安定して認められるので、栽植様

式の効果がある可能性は高いと考えられ、今後さらに検討したい。また、Matsushitaら<sup>11)</sup>は、「たちすずか」の栽植密度と単位面積あたりの籾数との間に負の相関、つまり疎植であるほど籾数が増えるという関係を認めたが、それは並木植え、標準条間という条の配置とは関係しなかったことを報告している。種子生産の現場において並木植えをするためには、田植機の仕様によっては困難な場合がある。並木植えが単に疎植の効果であれば、現場での適用はより容易となるので、この点についても併せて検討が必要である。

施肥について、2010年は、基肥については少肥が多肥よりも増収する結果が得られたが、穂肥について効果は認められなかった。しかし、保科・上藤<sup>1)</sup>は穂肥にあたる幼穂形成始期の窒素施肥の効果が極めて高いと報告している。本研究では、2010年の要因実験の基肥として、緩効性肥料を含む複合肥料を用いたが、これには穂肥分の窒素も含まれているので、適切ではなかったと考えられる。2011年は施肥を変更し、緩効性肥料をやめ、穂首分化期および幼穂形成期における窒素施用の有無により施肥の効果を検証した。この結果、穂首分化期窒素施用が寄与率11.6%で、この時期の窒素を施用しないことが施用するよりも72 g/m<sup>2</sup>増収し、幼穂形成期窒素施用が寄与率10.8%で、幼穂形成期には窒素を施用することが施用しないよりも70 g/m<sup>2</sup>増収した。また、これらには寄与率4.1%（1%水準で有意）の交互作用が認められ、併せて実施すれば、寄与率26.5%、93 g/m<sup>2</sup>の効果であり、これは作期と同等の大きな効果である。以上、穂首分化期までは窒素を施用せず、幼穂形成期から窒素を施用することが精籾収量を向上する効果が高く、保科・上藤<sup>1)</sup>と同様の結果を2011年は確認した。また、保科・高桑<sup>2, 15)</sup>は、WCS利用を想定して、地上部乾物重には穂首分化期をピークとした窒素施用の効果が極めて高いことを報告している。穂の大きさは、穂首分化期から幼穂形成期にかけて期間のどこかの時点において窒素栄養の状態が影響している可能性が示唆される。

以上、2010年と2011年に行った要因実験の結果から「たちすずか」の精籾収量については、作期と施肥の効果が高く、作期は晩植が早植より多収とな

り、施肥は幼穂形成期前までは窒素を施用せず、幼穂形成期で窒素施用を行う施肥体系が多収となる。栽植様式については、2010年の結果や既報<sup>11)</sup>、あるいは圃場での観察からは並木植えないし疎植の効果があると推察されるが、2011年の要因実験では効果が認められなかったため、判断は保留し、今後さらに検討したい。2011年の結果を主にまとめると、(晩植)×(穂首分化期肥なし)×(幼穂形成期肥あり)の組み合わせにより精籾収量の多収を得ることが可能であり、この条件での期待値は409 g/m<sup>2</sup>であった。

2011年に実施した種子生産の実規模栽培では、上記の組合せに並木植えと1本植えを加えた栽培管理を行い、種子収量420kg/10aを得た(写真3, 4)。

続いて「たちすずか」と同じく *sp1* 遺伝子を持つ短穂品種「たちあやか」について考察する。「たちあやか」では、「たちすずか」と同じ処理組合せでは多収とならなかった。各因子についてみると、「たちすずか」と同様の効果があったのは穂首分化期窒素を施用しないことだけである(第4表)。これ以外の因子については、「たちすずか」で安定して大きな効果を示している作期について5%水準で効果が認められなかった。栽植様式については、並



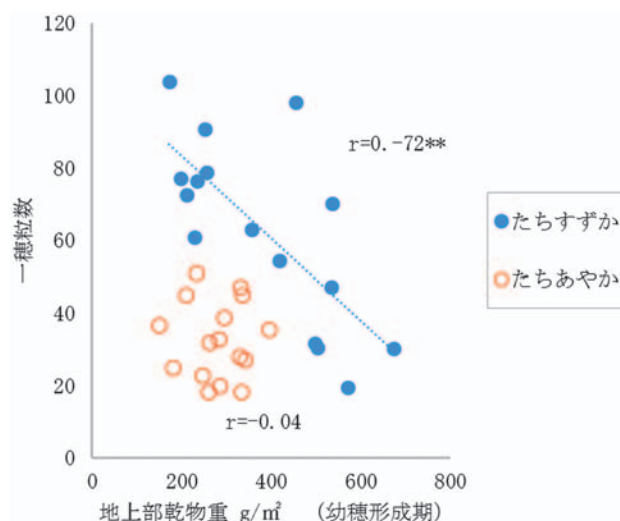
写真4 籾の大きさが大きく異なる種子生産用(左)とWCS用(右)の「たちすずか」の株

それぞれ種子生産の実規模栽培圃場と「たちすずか」の要因実験圃場からポットに株上げした標本。

木植えではなく標準条間が多収という「たちすずか」と逆の効果となった(第4表)。つまり、本試験では、通常考えられる多収方策以外の方策は示すことができなかった。

「たちすずか」と「たちあやか」は、その親品種である「クサノホシ」と「ホシアオバ」と同じく、早晚性および出穂特性が異なる。「クサノホシ」、「たちすずか」は感光性が強く、移植時期を大きく変化させても出穂期はあまり変化しなかった。これに対して、「ホシアオバ」、「たちあやか」は基本栄養生長性が強く、移植時期を大きく変化させると出穂期も大きく変化し、日長に関係なく、ある一定程度生育すると生殖生長に入った。つまり、穂首分化期における生育量が一定していた。第4図は幼穂形成期における地上部乾物重と成熟期の坪刈りにおける一穂粒数との関係を示すが、「たちすずか」は幼穂形成期の単位面積あたりのイネの大きさが大きく変動し、一穂粒数との間に負の相関を示したが、基本栄養生長性が強い「たちあやか」は一定の生育量に達すると穂首分化に入るため、この時期の生育量がほとんど変動しなかった。これだけでは因果関係は特定できないが、この *sp1* が関与する時期のイネの状態が穂の大きさに影響している可能性は十分考えられる。

Liら<sup>7)</sup>によれば、*Sp1* 遺伝子は、穂の形成に関与する種々の遺伝子の中でも特異であり、枝梗や穎花などの分化には関与せず、分化した後に続く器官の



第4図 幼穂形成期における地上部乾物重と成熟期に調査した一穂粒数との関係(2011年)



伸長に参与している。また、*Sp1* の発現は穂首分化期の後、1次枝梗が分化し、それが伸長する一定期間に限られる<sup>7)</sup>、と報告している。こう考えると施肥反応がこの時期に変わるとする保科・上藤<sup>1)</sup>の報告、また、「たちすずか」と「たちあやか」の種子生産方法の検討における各因子の反応の違いもこの特定の時期におけるイネの何らかの状態から説明できる可能性がある。今後はこの現象について解明し、「たちあやか」やさらに今後育成される *sp1* 短穂品種の種子生産問題の統一的な解明が望まれる。

## V 摘 要

短穂遺伝子 *sp1* を持つ茎葉型の飼料用イネ品種「たちすずか」および「たちあやか」について、普及上の重要課題である効率的種子生産のための栽培方法について検討した。短穂品種は通常品種と異なり、収量構成要素の中では穂数よりも一穂粒数が収量に強く影響した。直交表を用いた要因実験の結果、「たちすずか」の精籾収量には、作期と施肥の寄与率が高く、作期は晩植が早植より多収となり、施肥は幼穂形成期前までは窒素を施用せず、幼穂形成期で窒素施用を行う施肥体系が多収となった。栽植様式については2010年の結果や既報からは並木植えないし疎植の効果が示唆されたが、2011年の要因実験では効果が認められなかった。2011年の結果を主にまとめると、(晩植)×(穂首分化期肥なし)×(幼穂形成期肥あり)の組み合わせにより精籾収量の多収を得ることが可能であり、この条件での期待値は409 g/m<sup>2</sup>であった。また、同組合せによって面積5 aの実規模栽培を実施し、種子収量420 kg/10 aを得た。

一方、「たちあやか」は「たちすずか」で解明した多収条件では多収とならなかった。*sp1* 遺伝子を持つ品種同士で結果が異なる要因は出穂特性の違いである可能性が示唆された。「たちあやか」の効率的種子生産方法の確立は今後の課題である。

## 謝 辞

本論文を取りまとめるにあたり、懇切丁寧なご校閲をいただいた農研機構近畿中国四国農業研究セン

ター船附秀行研究領域長に感謝の意を表します。また、本研究の遂行にあたって、圃場試験の栽培管理、生育、収量など各種の調査を適切、確実に実施いただいた近畿中国四国農業研究センター業務第1科技術専門職員各位ならびに契約職員各位に深く感謝の意を表します。

## 引用文献

- 1) 保科 亨・上藤満宏 2011. イネ発酵粗飼料用品種「たちすずか」の収量及び収量構成要素に及ぼす施肥の影響. 日作紀80 (別1): 260 - 261.
- 2) ———・高桑将滋 2012. 発酵粗飼料用水稲品種「たちすずか」の収量に及ぼす移植条件及び窒素施用の影響. 日作紀81 (別1): 44 - 45.
- 3) 石井龍一 1990. 収量成立過程と光合成, 呼吸の役割. 稲学大成 第2巻生理編 p.351 - 358. 農文協. 東京.
- 4) 岩田伸夫・大村 武 1971. 相互転座法によるイネの連鎖分析 II. 染色体5, 6, 7, 8, 9, 10, 11に対応する連鎖群. 九大農学芸雑誌 25: 137 - 152.
- 5) 河野幸雄・城田圭子 2012. 高糖分飼料イネ「たちすずか」は出穂後の消化率の変化が小さく収穫適期幅が広い. 平成23近中四農研成果情報.
- 6) ———・新出昭吾・神田則昭・城田圭子・福馬敬紘・塚崎由子 2014. 極短穂型飼料イネ品種「たちすずか」によるホールクロップサイレージの栄養価と第一胃内分解性. 日草誌60: 91 - 96.
- 7) Li, S., Q. Qian, Z. Fu, D. Zeng, X. Meng, J. Kyojuka, M. Maekawa, X. Zhu, J. Zhang, J. Li and Y. Wang 2009. Short panicle 1 encodes a putative PTR family transporter and determines rice panicle size. Plant J. 58: 592 - 605.
- 8) Matsushita, K., S. Iida, O. Ideta, Y. Sunohara, H. Maeda, Y. Tamura, S. Kouno and M. Takakuwa 2011. 'Tachisuzuka', a new rice cultivar with high straw yield and high sugar content for whole-crop silage use. Breed Sci 61: 86 - 92.

- 9) 松下 景・飯田修一・出田 収・春原嘉弘・前田英郎・田村泰章 2012. 茎葉多収で消化性に優れ高糖分含量の飼料用水稻品種「たちすずか」の育成. 近中四農研報11: 1 - 13.
- 10) ———・石井卓朗・飯田修一・出田 収・春原嘉弘・前田英郎 2012. 茎葉多収で中生の稲発酵粗飼料用水稻新品種「たちあやか」. 平成23近中四農研成果情報.
- 11) Matsushita, K., S.Iida, O. Ideta, T. Ishii, H. Fujimoto, M. Takakuwa and Y. Takahashi 2013. Effect of low planting density on the spikelet number in 'Tachisuzuka', a rice (*Oryza sativa* L.) cultivar with a short panicle for whole crop silage use. *Grassl Sci* 59: 124 - 127.
- 12) ———, T. Ishii, O. Ideta, S. Iida, Y. Sunohara, H. Maeda and H. Watanabe 2014. Yield and lodging resistance of 'Tachiyaka', a novel rice cultivar with short panicles for whole-crop silage. *Plant Prod Sci* 17: 202 - 206.
- 13) 松下 景・長岡一朗・笹原英樹・前田英郎・高橋能彦・渡邊 肇 2015. 稲発酵粗飼料用品種「たちあやか」の籾数に及ぼす施肥法の影響. 日作講演会要旨集239: 24.
- 14) 中込弘二・神田則昭・福嶋 陽・藤本 寛・出田 収・重宗明子 2015. 出穂前の気温が極短穂稲発酵粗飼料専用品種「たちあやか」の穂長に及ぼす影響. 日作講演会要旨集239: 23.
- 15) 農研機構 近畿中国四国農業研究センター 2013. 高糖分飼料イネ「たちすずか」栽培技術マニュアル. 1 - 47.
- 16) 農研機構 作物研究所 低コスト稲育種研究チーム 2010. 水稻奨励品種決定基本調査成績データベースCD-ROM (2010/10版) Shdb2009.
- 17) 佐藤 庚・高橋 清 1983. 水田における周縁効果の一解析. 日作紀52: 168 - 176.
- 18) 執行盛之 2002. 遠くまで飛ぶ紙ひこうきを折る—直交表による実験計画法の適用—. 農作業研究37: 81 - 96.
- 19) ——— 2002. 遠くまで飛ぶ紙ひこうきを折る—統計学の真髄にふれる手計算—. 農作業研究37: 177 - 196.
- 20) ——— 2002. 遠くまで飛ぶ紙ひこうきを折る—機能的な分散分析表の形—. 農作業研究37: 259 - 274.
- 21) ——— 2003. 直交表の適用による農作業技術の改善—直交表が拓く計量技術学—. 農作業研究38: 39 - 55.
- 22) 新出昭吾 2010. 乳牛における飼料イネ WCS 給与と課題. 日草誌55: 365 - 372.
- 23) 高橋敏能・吉田宣夫・松山裕城 2009. 日本における肉用牛と乳用牛における稲発酵粗飼料の利用, 及び山形県における飼料イネの利用事例. 日畜会報80: 363 - 389.

## Studies on Optimum Cultivation Methods for Seed Production of Rice Cultivars with Short Panicles

Hiroshi FUJIMOTO, Kei MATSUSHITA, Koji NAKAGOMI<sup>1</sup> and Shinsuke MORI

### Summary

‘Tachisuzuka’ and ‘Tachiyaka’, which are promising new rice cultivars with short panicles, have been developed for whole crop silage (WCS) use. They offer improved lodging resistance, harvesting period, straw yield, sugar content, silage fermentation and feed value due to their morphological characteristics, which result from their short panicle (*sp1*) mutant gene. However, there is a problem in that their seed production is poor. We investigated a way of increasing the seed yields of these cultivars by optimizing their cultivation methods. In this study, we applied factorial design or fractional factorial design to the design and analysis of experiments whose aim was to evaluate the factors affecting seed production in short-panicle cultivars. We investigated four (in 2010) and five (in 2011) factors including planting time, planting density and fertilization methods, each at two levels, for two (in 2010) and four (in 2011) cultivars. The panicles of ‘Tachisuzuka’ varied greatly in size according to the treatment. In the short-panicle cultivars, there was a strong positive correlation between seed yield and panicle size, and no correlation between seed yield and panicle number. This is in contrast to wild-type panicle cultivars, which usually exhibit a positive correlation between yield and panicle number. Factors related to planting time and fertilization method had a strong effect on seed yield with ‘Tachisuzuka’. For a high yield with ‘Tachisuzuka’, late planting and no nitrogen application until topdressing is applied at the panicle formation stage are recommended. The expected seed yield with the treatment was 409g/m<sup>2</sup>. We obtained a seed yield of 420kg/10a for ‘Tachisuzuka’ using the optimized cultivation method in a demonstration field in 2011.

On the other hand, we never achieved a satisfactory result with ‘Tachiyaka’. ‘Tachiyaka’ is another short-panicle cultivar with an *sp1* mutant gene, but with different heading characteristics from ‘Tachisuzuka’. Further studies are required to obtain a comprehensive understanding of the function of the *sp1* gene in rice cultivars with short panicles.



# 簡易設置型パッドアンドファン冷房が塩ストレス下の トマトの光合成速度，果実収量および品質に及ぼす影響

村上健二・生駒泰基・山崎敬亮・吉田祐子・長崎裕司<sup>1</sup>・浜本 浩<sup>2</sup>・嶋津光鑑<sup>3</sup>

**Key words** : パッドアンドファン，施設冷房，トマト，塩ストレス，光合成速度，気孔コンダクタンス，糖度，尻腐れ

## 目 次

I 緒 言	29	1 試験1：簡易PF装置による冷房処理 (簡易PF冷房)が塩ストレスを与えた直 後のトマトの光合成速度に及ぼす影響	34
II 材料および方法	30	2 試験2：簡易PF冷房が塩ストレスを継 続的に与えたトマトの光合成速度，果実 収量および品質に及ぼす影響	37
1 簡易PF装置，栽培施設，栽培方法，測 定方法	30	IV 考 察	38
2 試験1：簡易PF装置による冷房処理 (簡易PF冷房)が塩ストレスを与えた直 後のトマトの光合成速度に及ぼす影響	33	摘 要	39
3 試験2：簡易PF冷房が塩ストレスを継 続的に与えたトマトの光合成速度，果実 収量および品質に及ぼす影響	33	引用文献	39
III 結 果	34	Summary	41

## I 緒 言

わが国の施設園芸においては，主要な果菜類であるトマトの高糖度果実を生産する技術が開発されている<sup>1, 14, 16)</sup>。トマトの果実を高糖度にするためには，果実への光合成産物の転流を維持しつつ根からの水の流入が制限されるように，培養液濃度やかん水量を管理して栽培する。その栽培管理の1つである塩ストレス処理は，養液栽培においてNaClを添加して培養液の浸透ポテンシャルを低下させることにより，根の水分吸収を制限する栽培法である<sup>9)</sup>。例えば，低段密植栽培で高糖度トマトを生産する場合，果実の生育ステージに合わせて，電気伝導度(EC)が1～2 dSm<sup>-1</sup>の培養液にNaClを添加して

ECを8～25dSm<sup>-1</sup>まで上昇させる<sup>14)</sup>。その結果，-0.07～-0.10MPaであった培養液の水ポテンシャルは，-0.34～-1.03MPaまで低下し，果実糖度が上昇する。

一般に，塩ストレス処理によりトマトの果実糖度は上昇するが，その反面，1果重が減少することと，尻腐れ果が発生しやすくなることが問題となる<sup>10)</sup>。水ストレスにより葉からの蒸散量が根からの吸水量を上回る時間が継続すると，次第に植物体内の水ポテンシャルが低下し，蒸散量を減らすため気孔開度が小さくなる。その結果，CO<sub>2</sub>ガスの葉内への拡散が制限されて光合成速度が低下する<sup>7)</sup>。トマト果実の尻腐れ果発生の原因は果実先端部におけるカルシウム不足であるが，トマト果実先端へのカルシウムイオンの移動は蒸散流(マスフロー)に依存する<sup>5)</sup>。

(平成26年6月26日受付，平成28年3月15日受理)  
農研機構近畿中国四国農業研究センター  
環境保全型野菜研究領域

<sup>1</sup> 企画管理部

<sup>2</sup> 現 農研機構野菜茶業研究所

<sup>3</sup> 岐阜大学応用生物科学部

そのため、尻腐れ果の発生を抑えるには、根の水分吸収を制限していても、気孔を閉鎖させずに蒸散を持続させる必要がある。

一方、わが国の夏季の園芸施設内における日中の気温は40℃を上回ることも多く、さらに、近年の異常気象も相まって、夏季の高温対策が必須となっている<sup>8)</sup>。35℃を超えるような園芸施設内の高温は、飽差の増大によって葉からの蒸散量を増加させる。このような高温条件下で高糖度トマトを狙って根の吸水を制限する栽培を行うと、葉の蒸散量と根の吸水量の差が拡大するために過剰な水ストレスが生じる。園芸施設内における日中の降温と加湿により飽差を低下させることができる従来型のパッドアンドファン（従来型PF）装置や細霧冷房装置などの蒸発冷房法の利用は、以上の理由から高温期の高糖度トマトの生産に有効である<sup>3)</sup>。しかし、既存の蒸発冷房法は中小規模の園芸施設では普及しておらず、その理由として以下の問題点が指摘されている<sup>12)</sup>。従来型PF装置については、①設置コストが細霧冷房装置より2～3倍高く<sup>3)</sup>、非常に高価である。②既存の園芸施設への設置が困難である。また、細霧冷房装置については、①作物を濡らさない噴霧制御が未確立である。②小規模園芸施設ではコスト高となる。

現在、中小規模の園芸施設での利用や施設内における育苗の局所冷房用に利用が期待される蒸発冷房装置として、簡易設置型パッドアンドファン（簡易PF）装置が開発されている<sup>12)</sup>。

そこで本研究では、高糖度トマトの生産を目的とした塩ストレスを付与する栽培において、高温乾燥期の過剰な水ストレスによるトマトの光合成速度および果実収量の低下を回避するために、簡易PF装置による加湿冷房がトマトの光合成速度、果実収量および品質に与える影響を調査した。

なお、本研究の一部は、農林水産省委託プロジェクト実用技術開発事業22062（既存の自然換気型温室に利用可能な簡易設置型パッドアンドファン冷房の開発）により実施した。

本研究の遂行にあたり、トマトの栽培管理および各種測定に多大な協力をいただいた農研機構近畿中国四国農業研究センター研究支援センターの岩本辰弘氏、ならびに契約職員の秋定有紀氏、また論文作成にあたり有益なコメントをいただいた萩森学博士に深く感謝いたします。

## II 材料および方法

### 1 簡易PF装置、栽培施設、栽培方法、測定方法

#### 1) 簡易PF装置

写真1に、本研究で使用した簡易PF装置を示した。本装置は、2010年に岐阜大学で試作された。装置は、重さ6.2kgで、発泡スチロール製（厚さ1cm）の筐体（幅99cm×奥行46cm×高さ46cm）、セルローズパッド（パッド、幅85cm×奥行15cm×高さ30cm）、送風ファン（幅30cm×高さ30cm、FY-20VF5、パナソニック株）、給水チューブで構成されている。

セルローズパッド（パッド）



給水チューブ

送風ファン

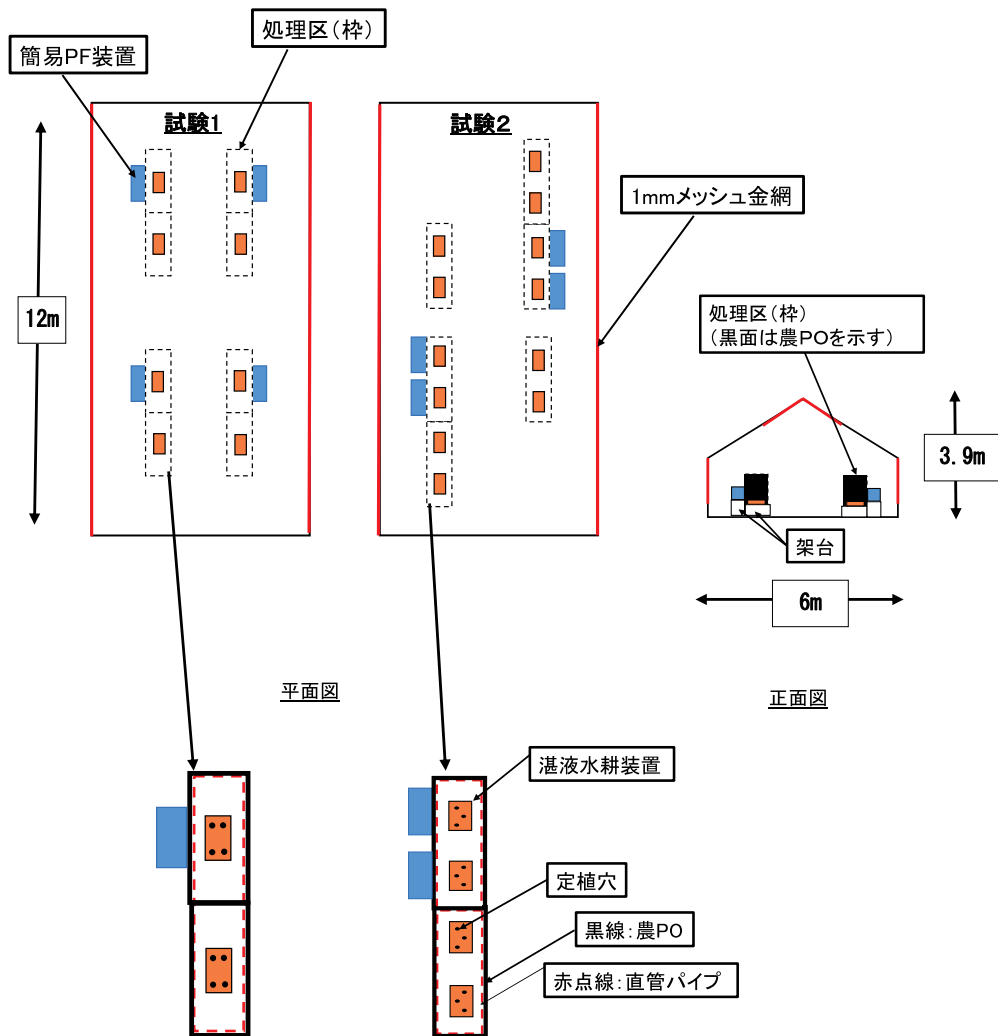
写真1 使用した簡易PF装置

パッドと送風ファンは、筐体前面と側面の片方にそれぞれ組み込まれ、パッドを湿らせるための給水チューブは、筐体内のパッド直上に設置されている。この簡易PF装置では、側面の送風ファンによって空気が筐体内に吸引され、筐体内に送り込まれた空気が前面にある湿らせたパッドを通過する際に気化冷却によって加湿冷気として本装置から放出される。送風ファン稼働時の風速および風量は、それぞれ1台あたり $0.09\text{ms}^{-1}$ および $83\text{m}^3\text{h}^{-1}$ であり、装置の稼働時間は、毎日8時から20時に設定した。

農研機構近畿中国四国農業研究センター綾部研究拠点（京都府綾部市）のガラス温室で行った。ガラス温室の大きさは間口 $6.0\text{m}$ ×奥行 $12.0\text{m}$ ×棟高 $3.9\text{m}$ （容積 $214\text{m}^3$ ）で、ガラス温室には開口部の面積が $21.6\text{m}^2$ の天窗（ $1\text{mm}$ メッシュ金網付）と $25.6\text{m}^2$ の側窓（ $1\text{mm}$ メッシュ金網付）が設置されており、被覆部面積に対する開口部面積の割合は約38%である。本研究では、天窗と側窓を常時開放した状態でガラス温室を使用した。供試ガラス温室の屋根に遮熱剤（レディヒート、マルデングローージャパン株）を、試験1では2011年7月13日に、試験2では2012年7月15日に塗布した。第1図および写真2で示したように、ガラス温室内の架台（高さ $0.4\text{m}$ ）

2) 栽培施設

試験は、2011年（試験1）、2012年（試験2）に



簡易PF装置、処理区(枠)、湛液水耕装置の拡大図

第1図 ガラス温室、簡易PF装置、処理区(枠)、湛液水耕装置の配置と大きさの関係  
 注) 図中のガラス温室、簡易PF装置(ガラス温室内)、処理区(枠:ガラス温室内)の大きさは、実際の大きさに比例している。



写真2 トマト栽培試験の様子

上に農業用直管パイプで枠を設けた。枠の大きさは、試験1では幅1.8m×奥行0.7m×高さ1.0m、試験2では幅2.4m×奥行0.7m×高さ1.0mとした。枠の上面は開放し、側面については四方を空気の動きを遮断するため農業用ポリオレフィンフィルムで囲ったものを無処理区とした。この側面の一方に簡易PF装置を設置したものをPF処理区とした。PF処理区あたりのPF装置の設置台数は、試験1では1台、試験2では2台とした。

上記の枠内にプラスチック製の培養液槽（特大ばんじゅうA：縦64cm×横38cm×深さ14cm、容量約33.4L、三甲株）に発泡スチロール製の定植パネル（縦72cm×横45cm×厚さ3cm）を載せた栽培ベッドと通気用の市販小型エアポンプで構成した湛液水耕装置を、試験1では枠あたり1台、試験2では2台設置した。簡易PF装置を設置する高さは、試験1では地面から0.55m、試験2では花房の高さとパッド（送風口）の中心が同じになるように地面から0.7mとした。

試験1、2とも、簡易PF装置はガラス温室に4台設置し、総風量は $332\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$ である。これは、供試ガラス温室（ $214\text{ m}^3$ ）の推定される換気量（換気回数 $20\text{回 h}^{-1}$ <sup>11)</sup>として $4,280\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$ ）に比べて十分小さいことから、簡易PF装置の加湿冷気が無処理区の気温や飽差に与える影響は無視できるものとみなした。

### 3) 栽培方法

供試品種は、トマト「ハウス桃太郎」（タキイ種苗株）とした。シャーレ内に敷いた湿らせた濾紙の

上で2日間 $25^\circ\text{C}$ の催芽処理を行い、セルトレイに播種した。本葉5枚展開時まで育苗後、湛液水耕装置に定植した。標準培養液として大塚A処方（OATアグリオ株）の2倍希釈液30Lを培養液槽に満たした。標準培養液は、水道水、大塚A処方の2倍濃度液、1N NaOHおよび5%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ を用いて、 $\text{EC } 1.0\sim 1.5\text{dSm}^{-1}$ 、 $\text{pH } 5.5\sim 6.5$ に調整し、3～4日ごとに半量交換した。

### 4) 測定方法

自作の通風乾湿球温度計で10分ごとに乾球温度（気温）と湿球温度を測定した。塩ビ製の通風筒（長さ30cm×直径4cm）の表面をアルミホイルで覆い、片側に小型ファン（風速 $2.3\text{ms}^{-1}$ ）を取り付けて反対側から吸気した。通風筒の中央下部には湿球給水用のタンクを装着した。乾球温度測定用として通風筒内の吸気側とタンクの間、湿球温度測定用として通風筒内のタンク直上に、それぞれ温度センサーを設置して、温度測定用データロガー（おんどとりTR-71Ui、株ティアンドデイ、温度センサーは標準センサー使用）で温度データを記録した。湿球温度測定用のセンサーでは、感知部を包んだガーゼをタンクへ垂らして感知部へ給水した。以下の式を用いて、測定した乾球温度と式（1）から乾球温度の空気の飽和水蒸気圧を、乾球温度と湿球温度から水蒸気圧（式（2））を計算し、その差である飽差（VPD：vapor pressure deficit）を算出した（式（3））<sup>2)</sup>。

$$e_s(T) = 6.1078 \cdot \exp\left(\frac{17.269 \cdot T}{T + 237.3}\right) \quad (1)$$

$$e(T_d) = e_s(T_w) - 0.000662 \cdot P \cdot (T_d - T_w) \quad (2)$$

$$\text{VPD} = e_s(T_d) - e(T_d) \quad (3)$$

$e_s(T)$  は温度  $T$  ( $^\circ\text{C}$ ) の空気の飽和水蒸気圧 (hPa)、 $e(T_d)$  は乾球温度  $T_d$  ( $^\circ\text{C}$ )、湿球温度  $T_w$  ( $^\circ\text{C}$ ) である空気の水蒸気圧、 $P$  は大気圧 ( $\approx 1,013\text{hPa}$ )、 $e_s(T_d)$  は乾球温度  $T_d$  ( $^\circ\text{C}$ ) の空気の飽和水蒸気圧である。

試験1、2とも通風乾湿球温度計を簡易PF装置のパッドから0.35m離れた枠内中央で植物体に接触しないように設置した。通風乾湿球温度計を設置し



た定植パネルからの高さは、試験1では0.15 m、試験2では0.3 mとした。

光合成速度と気孔コンダクタンスは、光合成蒸散測定装置 (LI-6400, LI-COR, Inc.) を用い、晴天日の10時から14時までの間に測定した。測定開始時 (10時) に、光合成蒸散測定装置の測定チャンバー (長辺 3 cm × 短辺 2 cm : 測定面積 6 cm<sup>2</sup>) 内の光合成有効光量子束 (PPF) を光合成蒸散測定装置付属の光量子センサー (LI-190S, LI-COR, Inc.) で測定したガラス温室のPPFに、気温を枠内の気温に制御し、下位葉から8～14葉の小葉を測定チャンバーで挟んで測定を行った。測定中、光合成蒸散測定装置の吸気孔から枠内の空気を吸入した。1葉あたりの測定時間は、5分から10分であった。

試験2では、トマトの完熟果を収穫し、果重、1株あたりの収量、果実の乾物率、糖度、酸度、尻腐れ果発生率を調査した。糖度および酸度として、デジタル糖度・酸度計 (フルーツテスターFT-1, 東京硝子機械株) を用いてそれぞれ可溶性固形分、クエン酸換算値を測定した。本研究では、果重と1株あたりの収量は正常果だけでなく空洞果、窓あき果、尻腐れ果も含めた全収穫果で比較した。糖度、乾物率、酸度は正常果のみで比較した。全収穫果数に対する尻腐れ果発生数の割合から尻腐れ果発生率を算出した。

## 2 試験1：簡易PF装置による冷房処理 (簡易PF冷房) が塩ストレスを与えた直後のトマトの光合成速度に及ぼす影響

処理区 (枠) として、標準培養液を用い、簡易PF冷房を行わない①標準培養液-無処理区 (対照区)、標準培養液を用い、簡易PF冷房を行う②標準培養液-PF区 (PF区)、塩ストレスを与えて、簡易PF冷房を行わない③塩ストレス-無処理区 (塩ストレス区)、ならびに塩ストレスを与えて、簡易PF冷房を行う④塩ストレス-PF区を設けた。1処理2反復とした。

2011年7月5日から催芽処理を行い、7月7日に200穴セルトレイに播種した。子葉が展開した幼苗を7月15日に72穴セルトレイに移植し、苗を7月29日に湛液水耕装置に定植した。定植株数は、湛液水耕装置1台あたり4株 (株間44 cm, 条間28 cmの

2条植え) とした。簡易PF装置による冷房処理 (簡易PF冷房) を8月14日に開始した。

簡易PF冷房開始後の栽培管理は、渡辺<sup>14)</sup>の提唱した低段密植による高糖度トマト栽培法に従った。8月27日の21時に、標準培養液30 Lに350 gのNaClを添加し、塩ストレス処理の最終段階に相当する25dSm<sup>-1</sup> (培養液の水ポテンシャル: -1.03MPa) までECを上昇させた。翌8月28日の10時に光合成蒸散測定装置の測定チャンバー内のPPFを740 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>に、気温を対照区および塩ストレス区では32.0℃に、PF区および塩ストレス-PF区では27.3℃にそれぞれ設定し、光合成速度と気孔コンダクタンスを測定した。測定は、1処理2反復8株のうち、7株の葉 (葉長36～41 cm) の小葉 (1株あたり1枚) について行った。

## 3 試験2：簡易PF冷房が塩ストレスを継続的に与えたトマトの光合成速度、果実収量および品質に及ぼす影響

処理区として、①標準培養液-無処理区 (対照区)、②塩ストレス-無処理区 (塩ストレス区) および③塩ストレス-PF区を設けた。1処理2反復とした。

2012年4月3日から催芽処理したトマト種子を、4月5日に128穴セルトレイへ一穴おきに播種した。発芽し成長した苗を5月14日に湛液水耕装置へ定植した。定植株数は、湛液水耕装置1台あたり3株 (株間38 cm, 条間10 cmの千鳥植え) とした。6月7日から、トマトトーン (日産化学工業株) 15ppmを第3花開花時の第1花房に散布した。果実の肥大を確認した後に花房あたり3～4果に摘果した。株は主枝1本仕立てとし、第1花房から2節上位で摘心した。簡易PF冷房は6月18日に開始した。

試験2では、一定の収穫量と果実糖度が確保できるように持続的に塩ストレスを付与した。すなわち、果実の直径が平均約1.5 cmになった6月21日に、30 Lの標準培養液に160 gのNaClを添加した。その後、水道水、大塚A処方<sup>15)</sup>の2倍濃度液、1 N NaOHおよび5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>を用いて、培養液のECを10～12dSm<sup>-1</sup> (培養液の水ポテンシャル: -0.45～-0.51MPa)、pHを5.5～6.5に調整した。さらに、3～4日ごとにECが10dSm<sup>-1</sup>の新鮮な培養液を用いて半量交換した。6月29日 (塩ストレス処理開始8日後) の10

時に光合成蒸散測定装置のチャンバー内のPPFを $1,400\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ に、気温を対照区および塩ストレス区では $30.2^\circ\text{C}$ に、塩ストレス-PF区では $25.7^\circ\text{C}$ にそれぞれ設定し、光合成速度と気孔コンダクタンスを測定した。測定は、1処理2反復12株のうち、8株の小葉（1株あたり1枚）について行った。

7月17日から7月29日に果実の収穫調査を行った。尻腐れ果発生率以外のデータについては、湛液水耕装置1台3株の平均を1反復として処理区あたり4反復とした。ただし、果重、乾物率、糖度、酸度では、1株ごと（3～4果）の平均値を算出し、その3株の平均を1反復とした。尻腐れ果発生率は無反復とした。

### Ⅲ 結 果

#### 1 試験1：簡易PF装置による冷房処理（簡易PF冷房）が塩ストレスを与えた直後のトマトの光合成速度に及ぼす影響

第1表にトマトの光合成速度および気孔コンダクタンスを測定した時の気温と飽差を示した。対照区および塩ストレス区の平均気温は $30.7^\circ\text{C}$ 、PF区および塩ストレス-PF区の平均気温は $27.0^\circ\text{C}$ であっ

た。一方、飽差については、PF区および塩ストレス-PF区の平均値は $2.7\text{hPa}$ であり、対照区および塩ストレス区の平均値、 $10.0\text{hPa}$ より $7.3\text{hPa}$ 小さかった。

第2図に光合成速度に及ぼす培養液および簡易PF冷房の影響を示した。光合成速度は、PF区>対照区>塩ストレス-PF区>塩ストレス区の順に高くなる傾向を示した。さらに、培養液および簡易

第1表 光合成速度、気孔コンダクタンス測定時における気温と飽差（試験1，2011年8月28日）

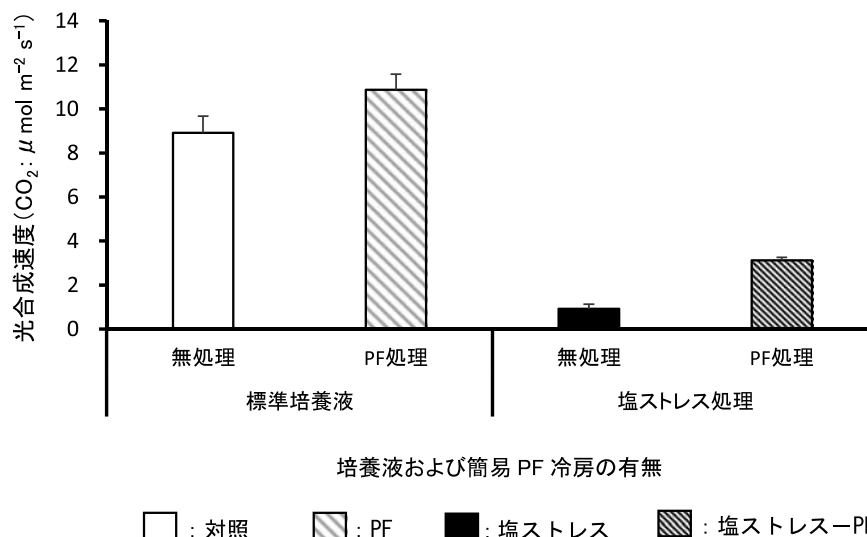
処理区	気温( $^\circ\text{C}$ )	飽差(hPa)
対照および塩ストレス	$30.7\pm 0.3$	$10.0\pm 0.6$
PFおよび塩ストレス-PF	$27.0\pm 0.0$	$2.7\pm 0.3$
有意性	**	**

注1) 簡易PF冷房による気温と飽差への影響は、無処理（対照区、塩ストレス区）の平均と、PF処理（PF区、塩ストレス-PF区）の平均を比較した。

2) 対照区および塩ストレス区、PF区および塩ストレス-PF区ともに、2処理区4反復の平均である。

3) 数値は10時から14時までの10分ごとの平均値 $\pm$ 標準誤差（ $n=25$ ）を示す。

4) 対応のある10分ごとのデータに対するt検定により、\*\*は1%水準で有意差あり。

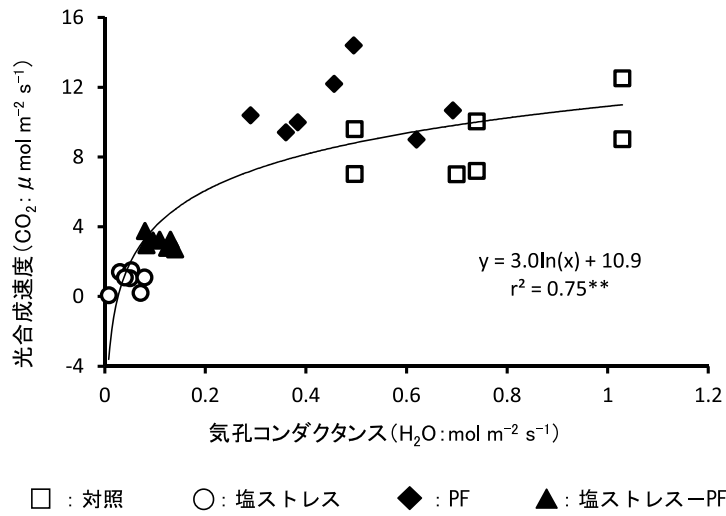


第2図 光合成速度に及ぼす培養液および簡易PF冷房の影響（試験1，2011年8月28日）

注1) 培養液は、標準培養液（対照区、PF区）と塩ストレス処理（塩ストレス区、塩ストレス-PF区）の2種類を示す。

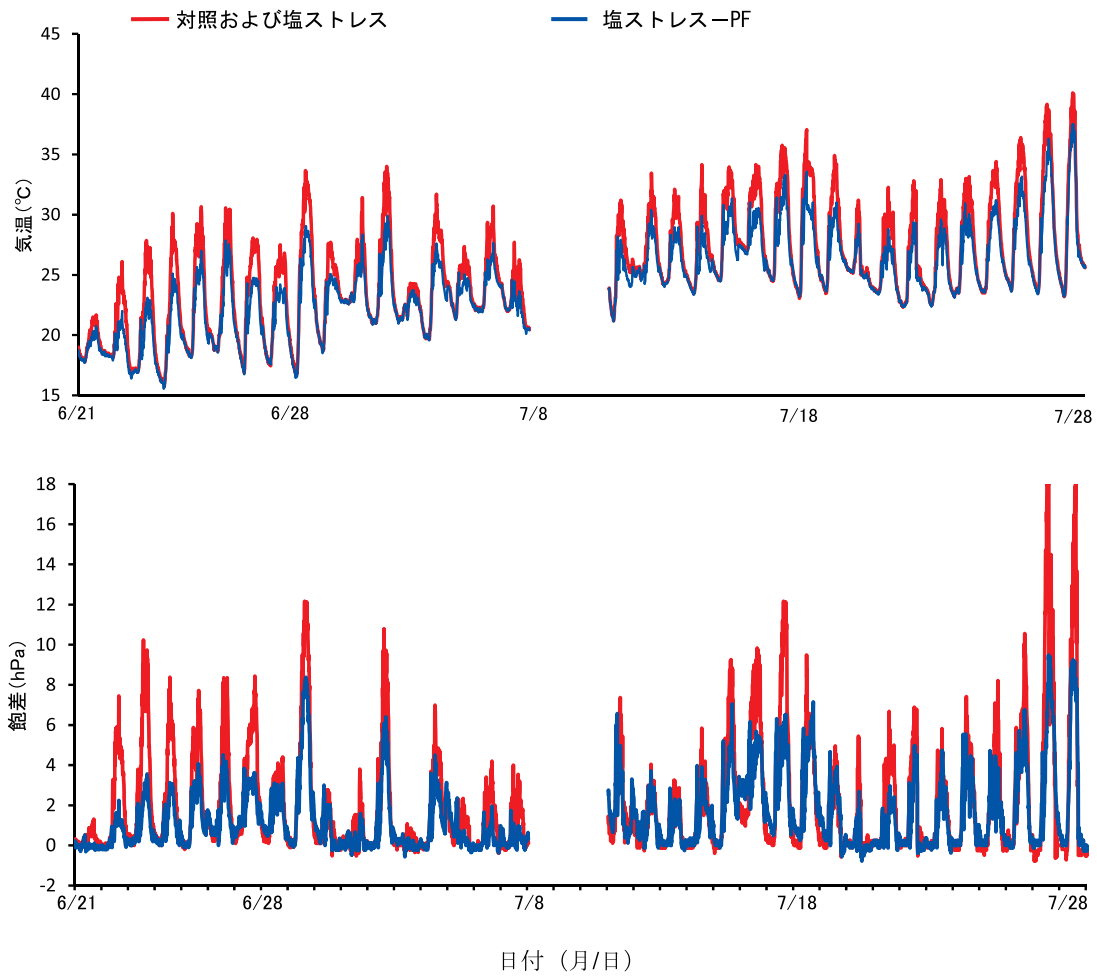
2) 簡易PF冷房の有無は、無処理（対照区、塩ストレス区）とPF処理（PF区、塩ストレス-PF区）を示す。

3) 垂線は標準誤差（ $n=7$ ）を示す。



第3図 塩ストレスを与えた直後のトマトの光合成速度と気孔コンダクタンスの関係 (試験1, 2011年8月28日)

注1)  $r^2$ は寄与率を, \*\*は1%水準で有意であることを示す.

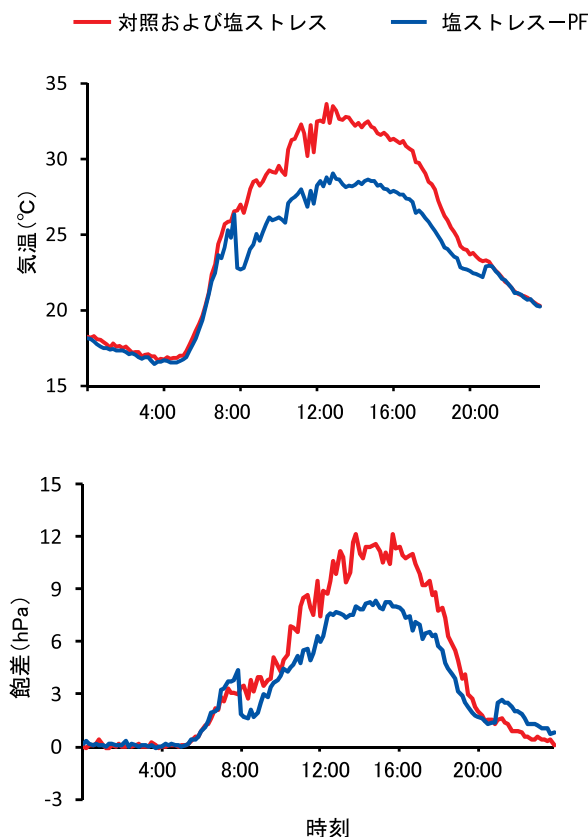


第4図 塩ストレス処理期間における気温と飽差の推移 (試験2, 2012年)

注1) 7月8日から7月11日までは, データが欠測している.

PF冷房の有無を主効果とする2元配置分散分析を行った。その結果、培養液および簡易PF冷房の有無によって、光合成速度に1%水準の有意差が認められた。しかし、交互作用では有意差が認められなかった。これらの結果から光合成速度は簡易PF冷房によって上昇し、塩ストレスによって低下することが明らかになった。

光合成速度と気孔コンダクタンスの関係を第3図に示した。光合成速度 (y) と気孔コンダクタンス (x) の間には、 $y = 3.01x + 10.9$  の関係が認められた。気孔コンダクタンスは、塩ストレス処理によって低下し、それに伴い光合成速度も低下した。気孔コンダクタンスが0からおよそ $0.2 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ の範囲では、気孔コンダクタンスの変化によって光合成速度が大きく変動したが、 $0.2 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 以上では光合成速度の変動は小さかった。また、標準培養液では、簡易PF冷房によって気孔コンダクタンスがやや低下する傾向を示したが、逆に塩ストレス条件下では、簡易PF冷房によって気孔コンダクタンスおよび光合成速度が上昇する傾向を示した。

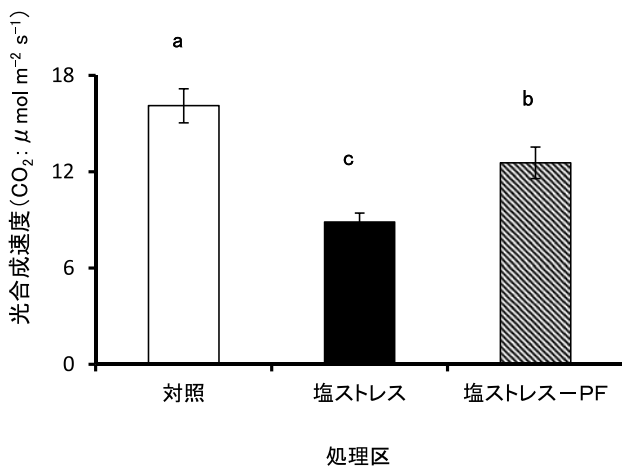


第5図 塩ストレス処理期間における気温と飽差の日変化 (試験2, 2012年6月29日)

第2表 簡易PF装置稼働時 (2012年6月18日~7月28日 (最終収穫日前日)), ならびに光合成速度と気孔コンダクタンス測定時 (2012年6月29日) における気温と飽差 (試験2)

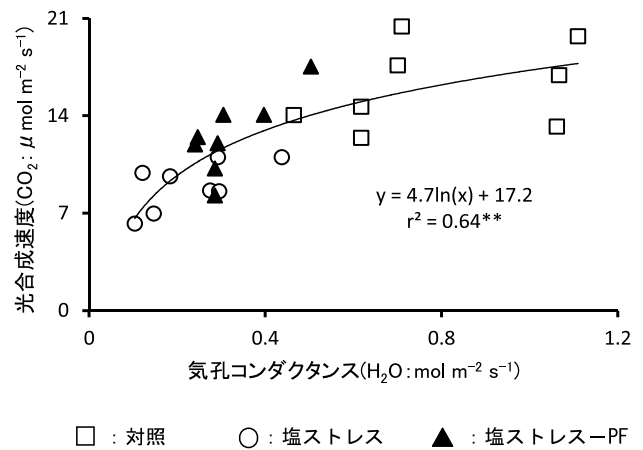
処理区	簡易PF装置稼働時		光合成速度, 気孔コンダクタンス測定時	
	気温 (°C)	飽差 (hPa)	気温 (°C)	飽差 (hPa)
対照および塩ストレス	27.4±0.0	3.9±0.0	31.0±0.0	8.0±1.7
塩ストレス-PF	25.2±0.0	2.1±0.0	27.0±1.0	3.0±1.0
有意性	**	**	**	**

注1) 簡易PF冷房による気温と飽差への影響は、無処理 (対照区, 塩ストレス区) の平均と、PF処理した塩ストレス-PF区の平均を比較した。  
 2) 対照区および塩ストレス区は、2処理4反復の平均である。  
 3) 塩ストレス-PF区は、1処理2反復の平均である。  
 4) 光合成速度, 気孔コンダクタンス測定時における気温と飽差は、10時から14時における10分ごとの平均である。  
 5) 簡易PF装置稼働時の気温および飽差は、8時から20時における10分ごとの平均である。ただし、7月8日から7月11日までのデータは欠測のため含んでいない。  
 6) 数値は平均値±標準誤差を示す。  
 7) 対応のある10分ごとのデータに対するt-検定により、\*\*は1%水準で有意差あり。



第6図 簡易PF冷房が塩ストレスを継続的に与えたトマトの光合成速度に及ぼす影響（試験2，2012年6月29日）

注1) 異なるアルファベット間にはTukeyの検定により5%水準で有意差あり。  
 2) 垂線は標準誤差 (n = 8) を示す。



第7図 塩ストレスを継続的に与えたトマトの光合成速度と気孔コンダクタンスの関係（試験2，2012年6月29日）

注1) r<sup>2</sup>は寄与率を，\*\*は1%水準で有意であることを示す。

第3表 簡易PF冷房が塩ストレスを継続的に与えたトマトの果実収量，品質に及ぼす影響（試験2，収穫期間2012年7月17日～7月29日）

処理区	果重(g)	収量(g/株)	乾物率(%)	糖度(%)	酸度(%)	尻腐れ果(%)
対照	233±11.4 a	799±71 a	5.50±0.20 c	7.01±0.03 c	0.84±0.04 b	0
塩ストレス	177± 3.2 b	625±30 b	7.24±0.11 b	8.70±0.08 b	1.09±0.04 a	11.6
塩ストレス-PF	156± 7.0 b	613±34 b	7.70±0.09 a	9.17±0.08 a	1.06±0.06 a	0

注1) 果重，収量は，正常果だけでなく空洞果，窓あき果，尻腐れ果も含めた全収穫果から算出した。  
 2) 数値は平均値±標準誤差 (n = 4) を示す。  
 3) 同列内の異なるアルファベット間にはTukeyの検定により5%水準で有意差あり。  
 4) 乾物率，糖度，酸度は，正常果のみを測定した。  
 5) 尻腐れ果発生率の調査果数は，対照区36果，塩ストレス区43果（尻腐れ果5），塩ストレス-PF区46果である。

## 2 試験2：簡易PF冷房が塩ストレスを継続的に与えたトマトの光合成速度，果実収量および品質に及ぼす影響

塩ストレス処理期間における気温と飽差の推移を第4図に示した。日中の気温および飽差とも，塩ストレス-PF区の値は，塩ストレス処理期間を通じて，対照区および塩ストレス区の値より低く推移する傾向を示した。第5図に一例として6月29日における気温と飽差の日変化を示した。簡易PF装置が停止している時間帯では塩ストレス-PF区と対照区，ならびに塩ストレス区の気温および飽差の差はほとんど認められなかったが，簡易PF装置が稼働している8時から20時では，正午頃を中心にその差が大きくなった。

簡易PF装置稼働時，ならびに光合成速度と気孔コンダクタンス測定時における気温と飽差を第2表に示した。簡易PF装置稼働時の平均気温は，塩ストレス-PF区では対照区および塩ストレス区より2.2℃低かった。飽差については，塩ストレス-PF区の平均値は対照区および塩ストレス区の平均値より1.8hPa小さかった。

光合成速度と気孔コンダクタンスの測定時の平均気温は，塩ストレス-PF区では対照区および塩ストレス区より4.0℃低かった。飽差については，塩ストレス-PF区の平均値は対照区および塩ストレス区の平均値より5.0hPa小さかった。

第6図に各処理区のトマトの光合成速度を示した。光合成速度は，対照区で最も高く，塩ストレス

区で低かった。塩ストレス-PF区は、対照区よりも低かったが、塩ストレス区より有意に高かった。この時の光合成速度と気孔コンダクタンスの関係を第7図に示した。光合成速度 ( $y$ ) と気孔コンダクタンス ( $x$ ) の間には、 $y = 4.71n(x) + 17.2$  の関係が認められた。塩ストレス処理により気孔コンダクタンスは低下し、それにともない光合成速度も低下した。塩ストレス処理による気孔コンダクタンスおよび光合成速度の低下は、簡易PF冷房を行うことで緩和された。

第3表に各処理区のトマトの果実収量、品質を示した。果重および1株あたりの収量は、対照区が最も高く、塩ストレス-PF区と塩ストレス区の間では有意差が認められなかった。乾物率と糖度は、塩ストレス-PF区>塩ストレス区>対照区の順に高かった。酸度は、対照区が最も低く、塩ストレス区と塩ストレス-PF区では有意差が認められなかった。また、尻腐れ果は塩ストレス区で約12%発生したが、対照区と塩ストレス-PF区では尻腐れ果の発生が認められなかった。

#### IV 考 察

塩ストレス処理により培地の水ポテンシャルを低下させ、トマトの根からの吸水を制限すると、一時的に吸水に対して蒸散が過剰となり、植物体内の水ポテンシャルの低下により気孔が閉鎖する。そのため、気孔コンダクタンスが低下し<sup>15)</sup>、CO<sub>2</sub>ガスの葉内拡散が制限される。その結果、光合成速度が低下し、最終的に収量が減少する<sup>7)</sup>。したがって、吸水に対して蒸散が一時的に過剰となるのを抑制し、気孔開度を維持することで、光合成速度および収量の低下が緩和されると考えられる。

試験1, 2では、標準培養液および塩ストレス条件下において、簡易PF冷房により気温および飽差が低下し(第1表, 第2表, 第4図, 第5図)、トマトの光合成速度は上昇した(第2図, 第3図, 第6図, 第7図)。簡易PF冷房による気温と飽差の低下が光合成を促進するメカニズムとして以下のことが考えられる。①気温が低下すると、高温による光合成代謝系の活性の低下が抑制される。②葉周囲の気温および飽差が低下すると、吸水と蒸散が均衡す

ることで、孔辺細胞の膨圧が維持されるため、気孔コンダクタンスが一定以上に保たれ、CO<sub>2</sub>ガスの葉内拡散が制限されない。

試験1の標準培養液の処理区では、簡易PF冷房により光合成速度は上昇したが、気孔コンダクタンスはやや低下する傾向にあった(第3図)。気孔コンダクタンスは葉の蒸散速度から算出され、簡易PF冷房により光合成速度は上昇したことから、この気孔コンダクタンスの低下は、気孔開度が小さくなったためではなく、蒸散量が低下したことによるものと考えられる。したがって、試験1の標準培養液で簡易PF冷房を行った場合に光合成が促進されたのは、①のメカニズムによると推察される。

野並<sup>6)</sup>は、植物の代謝生理と水ポテンシャルの一般的な関係から、おおよそ-0.3~-1.3MPaの水ポテンシャルで気孔開度が小さくなるとしている。試験1および2での塩ストレスを与えた培養液の水ポテンシャルは、それぞれ-1.03MPa (25dSm<sup>-1</sup>) および-0.45~-0.51MPa (10~12dSm<sup>-1</sup>) であったことから、両試験ともに塩ストレスにより気孔開度は小さくなったと考えられる。本研究では、試験1, 2とも、塩ストレス条件下における気孔コンダクタンスおよび光合成速度は、簡易PF冷房により上昇した(第2図, 第3図, 第6図, 第7図)。これは、②のメカニズムによると推察される。また、標準培養液に比較して、塩ストレス条件下での光合成速度は、簡易PF冷房により大きく上昇した。このことから、簡易PF冷房による光合成促進効果は、標準培養液より、気孔開度が小さくなる塩ストレス条件下で大きいと考えられた。さらに、試験2での塩ストレス処理期間中の日中の気温および飽差は簡易PF冷房により低下し(第2表, 第4図, 第5図)、光合成の低下を緩和する効果は塩ストレス処理期間を通じて持続したものと推察される。

試験2では、トマトの果重、ならびに1株あたりの収量は、標準培養液の対照区より塩ストレス区で低かった(第3表)。これは、塩ストレスにより根からの吸水量が減少し、果実への水分流入が制限されることにより、果実の肥大が抑制された結果であると考えられる。一方、塩ストレス区の乾物率、果実糖度および酸度は、対照区より高く、果実への水分流入が減少したことにより可溶性固形物の濃度が

上昇したと考えられる。塩ストレス条件下で簡易PF冷房を行うと、果重および1株あたり収量、ならびに果実酸度への影響は認められなかったものの、乾物率および糖度はさらに上昇した。これは、塩ストレスによる光合成の低下が簡易PF冷房によって緩和された結果、果実への可溶性固形物の転流が増加したことによると考えられる。

一方、試験2の塩ストレス区では尻腐れ果が発生したのに対して、塩ストレス-PF区では尻腐れ果の発生は認められなかった。トマト果実の尻腐れ果は、蒸散流による果実へのカルシウムイオンの流入が制限されることにより発生する<sup>5)</sup>。試験2での塩ストレス条件下の気孔コンダクタンスは簡易PF冷房により上昇し、蒸散流が維持されたことから、尻腐れ果の発生が抑制されたと考えられる。また、トマト果実の尻腐れ果の発生は、果実に風速 $1.0\text{ms}^{-1}$ で送風することにより抑制されると報告されている<sup>5)</sup>。本研究での簡易PF装置からの風速は $0.09\text{ms}^{-1}$ であり、尻腐れ果発生に及ぼす風速の影響については、さらなる検討が必要である。

本研究の結果から、夏季の高温期に塩ストレスを与えて高糖度トマトを生産する場合、簡易PF冷房を行うことで、気温および飽差が低下することにより光合成が促進され、糖度が上昇すること、ならびに尻腐れ果の発生が抑制されることが明らかになった。

本研究で使用した簡易PF装置は試作品であるが、長崎ら<sup>4)</sup>は、市販の簡易PF装置をトマトの土耕栽培に用いる場合、施設床面積 $20\text{m}^2$ あたりに1台必要であるとした。一方、本研究の塩ストレス条件下では、簡易PF冷房による増収効果は明らかではなかったが、渡邊ら<sup>13)</sup>は、夏季のトマトの土耕栽培で簡易PF冷房により着果率が向上し、1果重が大きくなることで、増収すると報告している。また、同氏らは、簡易PF装置の導入コストは約20万円/aであり、1棟が $300\text{m}^2$ 程度の中小規模の園芸施設では細霧冷房装置より安価であると試算した。今後、本研究での知見に加え、このような簡易PF装置の実際的な使用法についての検討や経営試算を行うことで、夏季の高温期での中小規模の園芸施設におけるトマト栽培において簡易PF装置の利用が進むものと期待される。

## 摘 要

本研究では、塩ストレスを与えたトマトの光合成速度、果実収量および品質に及ぼす簡易設置型パッドアンドファン（簡易PF）装置による冷房の影響について検討した。試験は、高温条件下でNaClを添加した培養液を用いて2回行った。培養液の電気伝導度（EC）は、1回目の試験では $25\text{dSm}^{-1}$ 、2回目では $10\text{dSm}^{-1}$ とした。塩ストレス処理によって気孔コンダクタンスおよび光合成速度が低下したが、簡易PF冷房により株周囲の気温、飽差は低下し、気孔コンダクタンスおよび光合成速度の低下が緩和された。果重、1株あたりの収量および果実酸度については簡易PF冷房の有無による差異は認められなかったが、果実糖度および乾物率は簡易PF冷房により上昇した。また、塩ストレス条件下での尻腐れ果の発生率は約12%に達したのに対して、簡易PF冷房を行うとその発生は認められなかった。簡易PF装置からの加湿冷気は、塩ストレスによる気孔の閉鎖を抑制することにより、光合成速度の低下を緩和した。その結果として、果実糖度および乾物率が上昇したと考えられる。さらに、気孔の閉鎖が抑制されたことで、葉の蒸散流が維持され、果実先端部へのカルシウムイオンの流入が低下しなかったため、尻腐れ果の発生が抑制されたと考えられる。

## 引用文献

- 1) 阿部晴夫・飯塚 浩・茂木正道 1994. 簡易な根域水分制御システムの開発. 群馬農研D. 8: 11-26.
- 2) 林真紀夫 1988. 湿度諸量の求め方. 久保祐雄・岡田益巳編, 農業気象の測器と測定法. 農業技術協会, 東京. 68-72.
- 3) —— 2006. 細霧冷房およびパッド&ファンによる夏季高温期の降温技術. 施設と園芸. 133: 10-16.
- 4) 長崎裕司・村上健二・嶋津光鑑・坂井田洋司 2013. 簡易設置型パッドアンドファンによるハウス内暑熱環境改善. 2013年度(平成25年度)近畿中国四国農業研究成果情報: <http://www.>

- naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/warc/2013/warc13\_s11.html?utm\_source=results&utm\_medium=rss.
- 5) 仁科弘重・趙 日煥・田中基司・橋本 康 1993. 果実送風によるトマト尻腐れ発生防止とそのメカニズムの解明. 植物工場学会誌. 5 (1): 26 - 38.
  - 6) 野並 浩 2001 a. 植物水分生理. 養賢堂, 東京. 6 - 7.
  - 7) ——— 2001 b. 植物水分生理. 養賢堂, 東京. 202 - 225.
  - 8) 農林水産省 2011. 平成22年度 高温適応技術レポート: [http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondanka/pdf/h22\\_tekiou\\_gijyutu\\_report.pdf](http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondanka/pdf/h22_tekiou_gijyutu_report.pdf).
  - 9) Sakamoto, Y., S. Watanabe, T. Nakashima and K. Okano 1999. Effects of salinity at two ripening stages on the fruit quality of single-truss tomato grown in hydroponics. *J. Hort. Sci. Biotech.* 74 (6): 690 - 693.
  - 10) Saito, T., N. Fukuda and S. Nishimura 2006. Effects of salinity treatment duration and planting density on size and sugar content of hydroponically grown tomato fruits. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 75 (5): 392 - 398.
  - 11) 佐瀬勘紀 2003. 温室の形態と換気率の関係. (社) 日本施設園芸協会編, 五訂 施設園芸ハンドブック. 園芸情報センター, 東京. 186 - 187.
  - 12) 嶋津光鑑 2013. 既存の自然換気型温室に利用可能な簡易設置型パッドアンドファン冷房の開発. 農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業 (新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業) 研究紹介2013: [http://www.s.affrc.go.jp/docs/research\\_fund/seika/pdf/p039\\_2013-22062.pdf](http://www.s.affrc.go.jp/docs/research_fund/seika/pdf/p039_2013-22062.pdf).
  - 13) 渡邊圭太・中西幸太郎・光川嘉則・櫻井基生・嶋津光鑑・長崎裕司・村上健二・浜本 浩・森川信也・坂井田洋司 2013. 簡易設置型パッドアンドファン装置を利用した夏季施設トマトの加湿冷却技術. 2013年度 (平成25年度) 近畿中国四国農業研究成果情報: [http://www.naro.affrc.go.jp/org/warc/research\\_results/h25/pdf/07\\_yasai/49-0702.pdf](http://www.naro.affrc.go.jp/org/warc/research_results/h25/pdf/07_yasai/49-0702.pdf).
  - 14) 渡辺慎一 2006. 低段密植栽培による新たなトマト生産. 野菜茶研集報. 3: 91 - 98.
  - 15) 矢吹萬寿 1981. 拡散抵抗. 宮地重遠編, 植物生理学2 光合成Ⅱ. 朝倉書店, 東京. 31.
  - 16) 吉田吉明 2015. ドレインベッドによる高糖度トマト栽培. 農文協編, トマト大事典. 農文協, 東京. 851 - 856.



## Effect of a Simply Installed Pad and Fan Cooling System on Photosynthesis, Fruit Yield and Quality of Tomato under Salinity Stress

Kenji MURAKAMI, Hiroki IKOMA, Keisuke YAMAZAKI, Yuko YOSHIDA, Yuji NAGASAKI<sup>1</sup>,  
Hiroshi HAMAMOTO<sup>2</sup> and Teruaki SHIMAZU<sup>3</sup>

**Key words** : pad and fan cooling system, cooling of horticultural structure, tomato, salinity stress, photosynthesis, stomatal conductance, total soluble solid, blossom-end rot

### Summary

The effects of a simply installed pad and fan (PF) cooling system on photosynthesis, fruit yield, and tomato quality under salinity stress at a high temperature were investigated. Tomatoes in the PF system were cultivated in a nutrient solution in which the electrical conductivity was set at 10 dSm<sup>-1</sup> or 25 dSm<sup>-1</sup> NaCl. Air temperature and vapor pressure deficits in the PF system were lower than those in the control (without PF). The photosynthetic rate and stomatal conductance of the tomato leaves cultivated in the PF system were higher than those of tomato leaves cultivated in the control. Fruit weight, total fruit weight per plant, and fruit acidity were not significantly different between the control and PF system under salinity stress. Total soluble solids and dry matter percentage of tomatoes cultivated in the PF system were higher than those of tomatoes cultivated in the control. The percentage of the occurrence of blossom-end rot of tomatoes was 12% in the control and 0% in the PF system.

We concluded that cooled, humidified air from the PF system, which restrained stomatal closure under salinity stress, alleviated the reduction of photosynthesis caused by that stress. We inferred that saccharide synthesis by photosynthesis was maintained under cooled, humidified air from the PF system, leading to increased total soluble solids in tomatoes cultivated under salinity stress.

Furthermore, we inferred that the retention of transpiration stream caused by stomatal closure inhibition under the PF system facilitated the persistent movement of calcium ions to the tip of tomatoes. Therefore, we concluded that the PF system prevents the occurrence of blossom-end rot of tomatoes under salinity stress.

---

Sustainable Vegetable Production Research Division, NARO Western Region Agricultural Research Center

<sup>1</sup> Department of Planning and General Administration, NARO Western Region Agricultural Research Center

<sup>2</sup> NARO Institute of Vegetable and Tea Science

<sup>3</sup> Faculty of Applied Biological Sciences, Gifu University



近畿中国四国農業研究センター研究報告 第16号

---

平成28年 3月31日 印刷

平成28年 3月31日 発行

発行所 国立研究開発法人 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

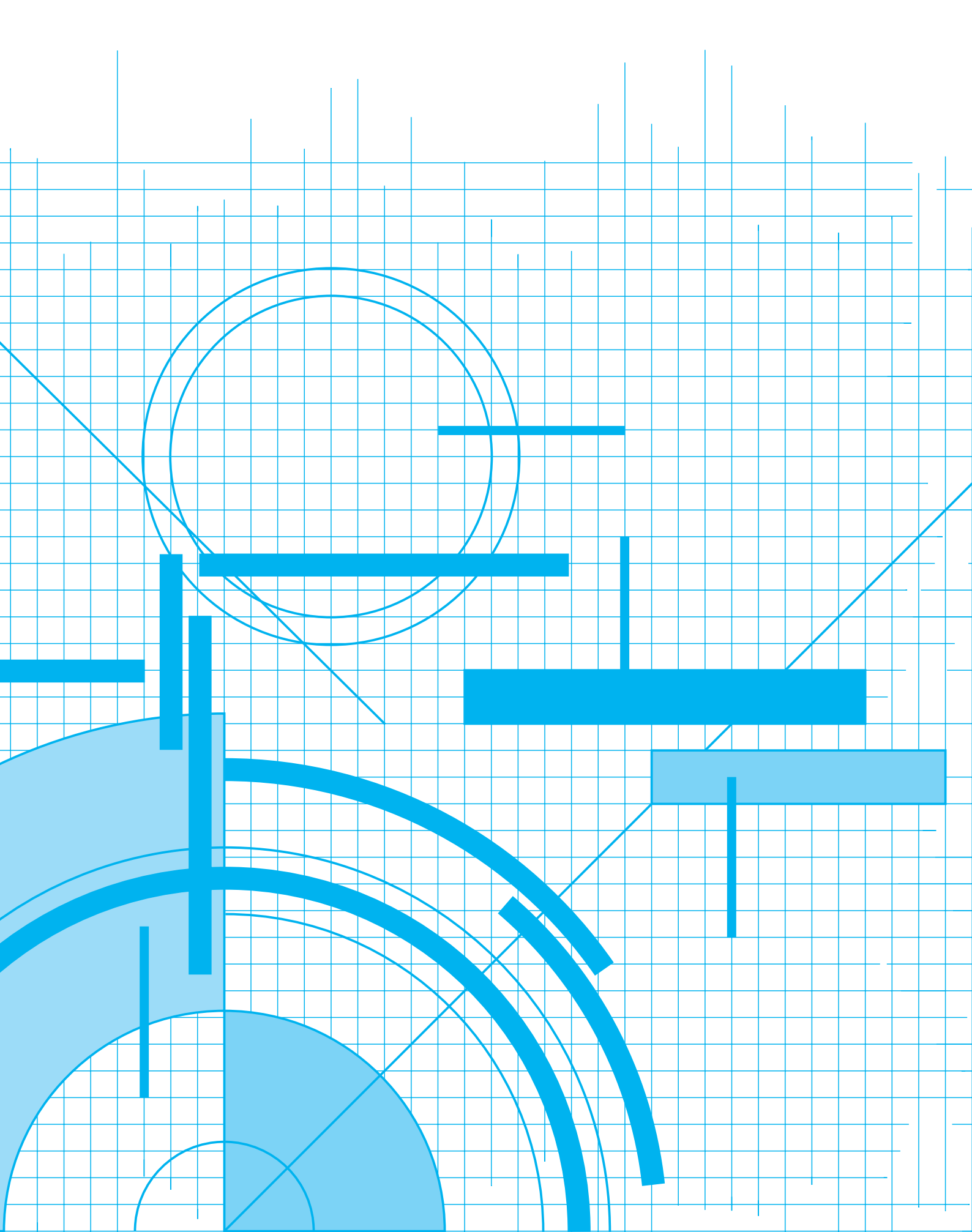
発行者 竹 中 重 仁

印刷所 株式会社 デルタプリント

〒732-0802 広島市南区大州 2丁目12-15

---

本研究報告から転載・複製する場合は、近畿中国四国農業研究センターの許可を得て下さい。



農研機構は、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネーム（通称）です。