

パッションフルーツ栽培における開花期間の延長による

安定多収生産技術の開発

山本雅史・島田温史

鹿児島大学農学部

〒890-0065 鹿児島市郡元一丁目 21 番 24 号

TEL: 099-285-8553

要 旨

パッションフルーツ (*Passiflora edulis* Sims) はアメリカ大陸の熱帯高地が原産であり、耐寒性および耐暑性が乏しく、高温により夏季に果実生産が不可能になる。その問題を解消するため本研究を実施した。遮光や細霧冷房の実施により、気温および樹体温度が低下した。特に両処理を併用したとき、その効果は顕著であった。しかしながら、遮光および細霧冷房処理が果実生産および果実品質の向上に及ぼす効果は、判然としなかった。既知の開花関連遺伝子の相同遺伝子は単離できなかった。

1 緒 言

パッションフルーツ (*Passiflora edulis* Sims) はブラジルのアマゾン川流域からパラグアイ、アルゼンチン北部の熱帯高地が原産とされている草本性果樹である⁴⁾。低温に弱いので、我が国では亜熱帯である南西諸島および小笠原諸島を中心に栽培されている。鹿児島県は2013年に栽培面積が38ha、生産量が260トンで、本種の第1位の生産県である³⁾。また、繁殖が容易ですぐに開花・結実が認められるため、冬季低温な地域でも春から夏にかけて栽培することで果実生産が可能である。

パッションフルーツの果実は、芳香を備え糖度が高く非常に商品性が高い。消費者の好評を博しており、更なる生産が望まれているが、その栽培においては種々の問題点が存在する。前述の通り、本種は熱帯性植物であるので低温に弱いが、原産地が高地のため、高温に対する適性も欠いている。気温30℃以上で樹体成長および開花・発芽が抑制され²⁾、実際に鹿児島で栽培すると、盛夏には開花・結実が認められない。

パッションフルーツ果実の収穫期を延長させ、生産量の向上を図るためには、盛夏期における気温や樹体温度を低下させる必要がある。しかし、大量のエネルギーを用いる冷房は、実際の農業生産には適さない上、化石燃料の大量使用による地球温暖化が地球規模の問題となっていることから、現実的ではない。そのため、費用負担が少なく環境に調和した技術によって気温および樹体温度を低下させる方法の開発が急務となっている。本研究においては、その目的を達成するため、環境に対する負荷がほとんどない細霧冷房¹⁾を単独で、または遮光処理と併用して実施した。さらに、これらの条

件下での栽培における光合成特性および花成関連遺伝子の発現についても研究し、環境条件の調節による樹体や果実の反応に関する基礎的な知見を得ることも目的とした。

2 実験

2.1 植物材料および処理区

本研究は鹿児島大学農学部附属農場唐湊果樹園内ビニルハウス（鹿児島市）で実施した。供試した品種はパッションフルーツ‘サマークイーン’である。処理区は無処理区、遮光区（遮熱寒冷紗使用）、細霧冷房区、遮光・細霧冷房併用区の4処理とした。遮熱寒冷紗としては遮光率が25%のクールホワイト（ダイオ化成）を用いた。細霧冷房は晴天日の13時から17時までとし、15分間隔で1分間の細霧とした。

植物材料は8号ポリポットに植え付け、1本仕立てで栽培した。各処理15個体を樹体生育、開花・結実および果実品質調査用として、それぞれ5個体ずつにわけた。

2.2 遮光と細霧冷房が樹体成長、開花・結実および果実品質に及ぼす影響

継時的に樹体伸長量、葉数、節数、花芽数およびSPAD値（葉緑素の量）（ミノルタ、SPAD-502）を測定し、開花した花については開花数、結実数を調査した。成熟した果実については果実品質（大きさ、着色、種子数、糖度、酸度、アスコルビン酸含量）を測定し、栽培終了後に植物体を解体して、総伸長量、新鮮重、乾物重を計測した。

2.3 遮光と細霧冷房が光合成特性に及ぼす影響

光合成特性は8月に調査した。測定項目は光合成速度、蒸散速度、気孔コンダクタンスである。光合成特性は携帯型光合成蒸散測定装置LCpro+（ADC社、（株）英弘精機）を用いて測定した。測定条件はチャンバー温度28℃、PPFDが900または1,200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、CO₂濃度が380ppmとした。

2.4 遮光と細霧冷房が花成関連遺伝子の発現に及ぼす影響

葉からDNeasy plant Mini Kit（キアゲン）を用いてDNAを、SV Total RNA Isolation System（Promega）を用いてRNAをそれぞれ抽出した。これらを用いてパッションフルーツのFT（開花関連）遺伝子の解析を実施した。広範囲の植物に適用できるFT関連遺伝子のプライマーを用いて、PCRおよびRT-PCRを実施した。その後、ライゲーションおよびトランスフォーメーションを実施して、クローンをチェックしてQ1Aprep Spin Miniprep Kit（キアゲン）によりプラスミドDNA精製を行った。精製終了後、電気泳動によりバンドを確認し、シークエンス反応（ABI シークエンサー）で塩基配列を明らかにし、NCBIのBlast検索によって、得られた遺伝子がFT関連遺伝子か否かについて検討した。

3 結果および考察

3.1 光条件、気温、相対湿度および葉温度

晴天日の2015年7月25日の11時から13時までににおける照度（PPFD）は、無処理区および細霧冷房区で約 $1,450 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、遮光区および遮光・細霧冷房併用区で約 $905 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であった。同日の細霧冷房処理時間帯である13時から17時の平均気温は、無処理区で 37.8°C 、細霧冷房区で 37.3°C 、遮光区で 36.7°C 、遮光・細霧冷房併用区で 35.4°C であった。同時間帯の相対湿度は、無処理区で 38.2% 、細霧冷房区で 41.4% 、遮光区で 45.6% 、遮光・細霧冷房併用区で 51.8% であった。以上のことから、遮光・細霧冷房は日中の気温を約 2°C 低下させることがわかったが、相対湿度の上昇も認められた。

さらに、葉の表面温度は細霧冷房で顕著に低下した。細霧冷房開始前には、各処理区で約 45°C であったのに対して、細霧冷房後には細霧冷房区で 35.3°C 、遮光・細霧冷房併用区で 33.2°C となった（Table 1）。遮光・細霧冷房併用区では無処理区と比べて 10°C 以上の低下が認められ、遮光処理と細霧冷房の併用は樹体温度の低下に極めて効果が高いことが判明した。

Table 1 Surface of leaf temperature before and after fogging in July, 2015 ($^\circ\text{C}$)

Treatment	Before fogging	After fogging
Control	46.8	43.1 a ²
Fogging	46.4	35.3 b
Shading	44.7	43.3 a
Fogging and shading	45.8	33.2 c

²Different letters indicate statistically significant differences between groups (Tukey test, $p < 0.05$).

3.2 遮光と細霧冷房が樹体成長、開花・結実および果実品質に及ぼす影響

樹体の累積伸長量は、無処理区で 485cm 、細霧冷房区で 546cm 、遮光区で 527cm 、遮光・細霧冷房併用区で 535cm であった。SPAD値は試験終了時の8月下旬でいずれの処理区でも約 54 であった。葉面積は遮光・細霧冷房併用区が無処理区よりも有意に大きかった（Table 2）。

花芽数および開花数は処理区間で大差無かったが、結実率は遮光・細霧冷房併用区が最低で、他の処理区の $1/2$ 以下であった（Table 3）。樹体の新鮮重および乾物重については、葉および茎では処理区間で差異が認められなかった。一方、根では無処理区で多く、遮光区で少なかった（Table 4）。

果実品質については Table 5 に示した。成熟期間、果実重、種子数、糖度、滴定酸含量およびアスコルビン酸含量のいずれの項目についても処理区間で有意差は認められなかった。しかしながら、遮光・細霧冷房併用区は成熟に要する期間が最も短く、果実

Table 2 Total vine length, SPAD value and leaf area of passion fruit

Treatment	Total vine length (cm)	SPAD value	Leaf area (cm ²)
Control	485.4	53.1	218.3 b ^z
Fogging	546.4	53.5	247.4ab
Shading	527.4	53.7	237.3ab
Fogging and shading	535.1	54.3	254.0 a

^zDifferent letters indicate statistically significant differences between groups (Tukey test, p<0.05).

Table 3 No. of flower buds and flowering and fruit set of passion fruit

Treatment	No. of flower buds	No. of flowering	Fruit set (%)
Control	42.7	5.4	42.2
Fogging	45.7	5.6	38.3
Shading	41.7	5.0	34.4
Fogging and shading	44.3	4.8	14.0

Table 4 Fresh and dry weight of each plant part of passion fruit

Treatment	Fresh weight (g/plant)			Dry weight (g/plant)		
	Leaf	Shoot	Root	Leaf	Shoot	Root
Control	436.5	211.7	136.8a ^z	112.1	49.5	16.2a
Fogging	477.0	252.8	104.0ab	114.0	60.2	12.2ab
Shading	398.6	227.2	66.3b	105.4	56.0	9.4b
Fogging and shading	416.5	232.2	105.0ab	99.5	54.4	13.4ab

^zDifferent letters indicate statistically significant differences between groups (Tukey test, p<0.05).

Table 5 Fruit quality of passion fruit

Treatment	Matura- tion (days)	Fruit weight (g)	No. of seeds per fruit	Brix (%)	Titratable acid (%)	Ascorbic acid (mg/100g)
Control	58.5	62.7	138.7	17.7	3.5	13.7
Fogging	52.0	61.1	111.7	17.6	3.7	12.4
Shading	51.3	53.4	106.2	17.6	3.9	13.1
Fogging and shading	51.7	70.9	149.0	17.0	3.5	16.0

が大きく、アスコルビン酸含量が高かった。今後検討する必要があるものの、遮光・細霧冷房の併用による高品質果実生産の可能性が明らかとなった。

以上のように、細霧冷房による夏季の高温時における気温および樹体温度の抑制効果は認められたが、それが開花期間の延長および果実品質の向上には反映されなかった。また、結実率に関しては他の処理区と比較して遮光・細霧冷房併用で著しく低くなった。遮光または細霧冷房単独区では結実率の顕著な低下は認められておらず、遮光・細霧冷房併用区における結実率の低下の原因は不明である。

細霧冷房においては相対湿度の上昇、遮光においては日射量の低下が懸念される。本研究においても遮光処理によって PPF_D が約 2/3 まで低下した。しかしながら、遮光区と無処理区では結実率や果実品質に差はなかった。島田ら⁵⁾は 50%以上の遮光は果実品質に悪影響を及ぼすものの 25%程度の遮光はむしろ開花数や果実品質の向上に効果があることを報告している。この結果と本研究の結果の違いには 2015 年の気象条件が影響したものと考えられる。鹿児島市の 2015 年 6 月は平年に比べて、日照時間がほぼ 1/2 で、平均気温は 1.3℃低かった。この気象条件では、遮光による樹体温度の抑制効果よりも日射を抑制する悪影響の方が強かった可能性がある。さらに、雨天および曇天時には細霧冷房を実施することができなかつたため、その効果を検討するには不適切な気象条件であったと考えられる。

従って、2015 年には遮光および細霧冷房、またはその併用処理による果実生産期間の延長および高品質果実生産は達成できなかったが、処理方法を含めて今後も引き続き検討する必要がある。

Table 6 Photosynthetic characteristics of passion fruit

Treatment	Photosynthetic rate		Transpiration rate		Stomatal conductance	
	$(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$		$(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$		$(\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	
	900 ^z	1200	900	1200	900	1200
Control	9.6	10.5	3.1	3.1ab ^y	0.39	0.44
Fogging	9.6	11.7	2.8	2.2b	0.41	0.46
Shading	9.9	10.4	3.4	3.5a	0.38	0.43
Fogging and shading	9.4	9.2	3.4	3.1ab	0.45	0.50

^z PPF_D

^yDifferent letters indicate statistically significant differences between groups (Tukey test, $p < 0.05$).

3.3 遮光と細霧冷房が光合成特性に及ぼす影響

光合成特性の測定においては光量（PPFD）を 900 および $1,200 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の 2 段階に設定した。これは、晴天日の南中時前後の日射量が無処理区および細霧冷房区で約 $1,450 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、遮光区および遮光・細霧冷房併用区で約 $905 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であったことに対応させたものである。PPFD の違いはほとんど光合成特性に影響しなかった。従って、晴天日の南中前後においては、遮光処理が光合成速度を低下させる影響は低いものと推測された。処理区間でも、 $1,200 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ における蒸散速度に差異が認められた以外では有意差はなかった。以上のことから、約 25% の遮光および、15 分に 1 回の細霧冷房処理は、植物体の光合成特性に影響を及ぼしている可能性は低いものと推察された。

3.4 遮光と細霧冷房が花成関連遺伝子の発現に及ぼす影響

DNA および RNA はキットを用いることで、パッションフルーツの葉から問題なく抽出できた。常法によって、ライゲーション、トランスフォーメーション、クローンチェックした電気泳動の結果を Fig. 1 に示した。15 クローン中、電気泳動で検出できなかった No.1、8 以外の 13 クローンのプラスミド DNA 精製を行い、シークエンスした。No.4、7、9、11~15 はシークエンスに成功した。シークエンス結果を解析（Blast 検索）したところ、開花関連遺伝子である FT や TFL など無く、ベクターの配列が検索されるか検索不可であった。原因は、エタノール沈殿の際に吸引が甘かったこと、培養が上手くいかなかったことが考えられる。

以上のように、本研究においてはパッションフルーツの開花関連遺伝子を単離することはできなかった。しかしながら、DNA や RNA は問題なく抽出できたことから、他の植物での研究例を参考にすることで、当初の目的は達成できるものと考えられる。

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

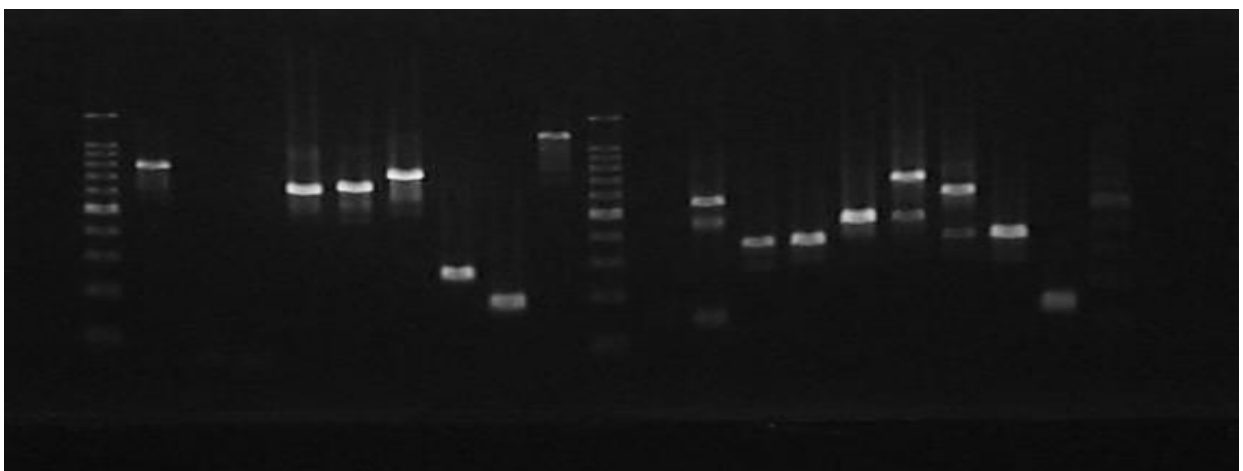


Fig. 1 Results of electrophoresis of each clone

4 結 論

本研究の結果、遮光または細霧冷房、遮光および細霧冷房処理の併用によって、パッションフルーツを栽培しているビニルハウス内の気温およびパッションフルーツ樹体温度の上昇が抑制可能なことを実証した。パッションフルーツ栽培において、鹿児島県の夏季の高温は安定果実生産の阻害要因であるので、本研究で示した処理による気温および樹体温度上昇の抑制は、今後、夏季におけるパッションフルーツ栽培を可能にするうえでの重要な知見である。しかしながら、本研究においては、開花期間の延長や高品質果実生産に、気温および樹体温度抑制の効果は認められなかった。また、開花関連遺伝子の単離も行うことができなかった。これらの点を踏まえて、効果的な温度抑制処理の方法の開発および開花関連遺伝子の単離を今後も続けていく予定である。

5 謝 辞

本研究を実施するにあたり、研究助成をいただいたサンケイ科学振興財団に深く感謝いたします。また、遺伝子に関する研究をご指導いただいた佐賀大学農学部准教授の古藤田信博博士にも感謝の意を表します。

6 引用文献

- 1 Higashide, T. Yasuba, K. Kuroyanagi, T. and Nakano, A.: Decreasing or non-decreasing allocation of dry matter to fruit in Japanese tomato cultivars in spite of the increase in total dry matter of plants by CO₂ elevation and fogging. J. Japan. Soc. Hort. Sci., 84, 111-121 (2015)
- 2 石畑清武：パッションフルーツ(*Passiflora edulis* Sim.)の花器および果実の発育に関する研究. 鹿大農場研報, 18, 1-17 (1993)
- 3 鹿児島県農政部農産園芸課；果樹生産統計（平成 25 年度実績）（2015）
- 4 Martin, F. W. and Nakasone, H.: The edible species of *Passiflora*. Eon. Bot., 24, 333-343 (1970)
- 5 島田温史・富永茂人・山本雅史：遮光処理がパッションフルーツの樹体生育および果実品質に及ぼす影響. 園学研, 14 別 2, 370 (2016)

Development of a stable high-yield production technology by means of the extension of the flowering period in passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) cultivation

Masashi Yamamoto and Atsushi Shimada

Faculty of Agriculture, Kagoshima University

1-21-24, Korimoto, Kagoshima 890-0065, Japan

Abstract

Since passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) is native to tropical highlands of the Central and South Americas, its cold resistance and heat tolerance is poor. Hence, it is difficult to achieve stable fruit production in the hot summer season of Kagoshima. The present study was carried out in order to eliminate this problem. Shading and fogging lowered air and surface of plant temperature. The effect was maximal in combination of the both treatments. However, the shading and the fogging treatments had no effect on the improvement of fruit yield and quality. Homologous gene of flowering related genes of other higher plant could not be isolated.