

# 저온기 최저온도의 상향 조정에 따른 패션프루트의 줄기생장, 개화 및 과실발달

임찬규<sup>1</sup> · 오순자<sup>1\*</sup> · 고석찬<sup>2</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소, <sup>2</sup>제주대학교 생물학과

## Shoot Growth, Flowering, and Fruit Development of Passion Fruit (*Passiflora edulis* var. *edulis* Sims.) in Response to Cold-Temperature Cut-off

Chan Kyu Lim<sup>1</sup>, Soonja Oh<sup>1\*</sup>, and Seok Chan Koh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Climate Change and Agriculture, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Jeju 63240, Korea

<sup>2</sup>Department of Biology, Jeju National University, Jeju 63241, Korea

\*Corresponding author: [osoonja@korea.kr](mailto:osoonja@korea.kr)

### Abstract

We investigated the effects of temperature cut-offs during the cold season on chlorophyll fluorescence response, shoot growth, flowering, and fruit development in passion fruit (*Passiflora edulis* var. *edulis* Sims.) to determine the temperature required for cultivation and develop a management system to help lower heating costs on Jeju Island, South Korea. When the temperature was cut-off above 5°C, the fluorescent density increased in steps O and J of the OJIP transient curve, but decreased in step P. Under identical temperature cut-off conditions, the photochemical efficiency of photosystem II ( $F_v/F_m$ ) was low but the initial fluorescence ( $F_o$ ) was high, which suggests that passion fruit plants were stressed at a temperature range of 5-10°C. The length and thickness of young secondary shoots and number of fruits per secondary shoot were great with rising the cut-off temperature, suggesting that passion fruit growth was satisfactory under a temperature cut-off of 10°C or higher. The fruit yield decreased due to reduction in the number of flowers per secondary shoot, while the flowering and harvesting dates advanced by 25-30 days and 41-43 days, respectively, under a temperature cut-off of 5°C. The size and weight of fruits decreased slightly, and the titratable acidity and fruit firmness were lower in plants grown at a temperature cut-off of 5°C compared to a cut-off of 10°C or 15°C. Moreover, fruit skin color changed from green to reddish purple earlier on plants grown at a temperature cut-off of 10°C or 15°C compared to a cut-off of 5°C. Therefore, 10°C or 15°C may represent the most appropriate temperature cut-off for passion fruit cultivation with respect to their vegetative growth, fruit quality, and fruit yield. Moreover, a temperature cut-off of 10°C could reduce heating costs in plastic greenhouses during the cold season.

**Additional key words:** chlorophyll fluorescence, cold season, fruit quality, low temperature, secondary shoot, tropical fruit

Received: May 21, 2018  
Revised: August 2, 2018  
Accepted: August 21, 2018

 OPEN ACCESS



HORTICULTURAL SCIENCE and TECHNOLOGY  
36(6):810-819, 2018  
URL: <http://www.kjhst.org>

pISSN : 1226-8763  
eISSN : 2465-8588

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright©2018 Korean Society for Horticultural Science.

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 "열대/아열대 과수 도입 및 환경적응성 평가(과제번호: PJ01186203)"의 지원에 의해 수행하였습니다.

## 서 언

열대 또는 아열대 기원의 많은 작물들은 10°C 이하의 온도에서 여러 가지 저온장해 증상들을 보이거나 심각한 경우에 고사하기도 한다(Sanghera et al., 2011). 카사바(*Manihot esculenta* Crantz)는 저온에 노출되면 줄기나 잎의 생장 지연, 잎의 괴사, 수확량 감소 등과 같은 뚜렷한 증상을 보인다(Alves, 2002). 또한 저온은 양분흡수를 저하, 광합성률 감소, 식물 생장 저해 등을 야기한다.

패션프루트(*Passiflora edulis* Sims.)는 시계초과(Passifloraceae)에 속하는 다년생 덩굴성 작물로서, 주로 열대 및 아열대 지역의 높은 고지대에서 재배하고 있으며, 당도가 높고 독특한 향기가 있어 생과로 소비되거나 과즙을 이용한 음료와 같이 가공품으로도 많이 이용되고 있다. 패션프루트는 과피의 색상에 의해 황색계와 자색계로 구분하고 있으며, 황색계통은 내한성이 약해 열대지역에서 주로 재배되는데 반해, 자색계통은 황색계통보다 내한성이 강해 아열대 지역과 서리가 내리지 않는 일부 온대 지역에서도 재배가 가능하다(Fisch, 1975). 그러나 과실의 수확은 재배지역의 기후조건에 따라 달라진다. 케냐에서는 해발 1,200-1,800m 지역에서 연중 수확이 가능하며(Gumah and Gachanja, 1984), 온대지역에서는 겨울철 서리 피해로 인해 노지 재배가 어렵고 여름철 고온으로 인해 개화나 과실 형성에 영향을 미쳐 1회 수확만이 가능하다(Ishihata, 1983). 더욱이 겨울철에 노지에 식재된 작물은 저온이나 서리 피해를 받을 수 있으며 이를 방지하기 위한 일환으로 대만, 일본, 한국에서는 가온시설을 이용하여 재배하고 있다(Ishihata, 1983; Liu et al., 2015). 우리나라에서는 제주도에서 처음 온실에서 재배하기 시작하였으며 전라도와 경상도 일부 지역에서도 재배가 이루어지고 있다. 제주도는 기후분류상 아열대기후대에서 온대기후대로의 전이 지역에 위치하고 있으며, 일교차가 육지에 비해 작고, 지표 및 지중온도가 높아서 겨울철 원예작물의 월동재배 및 아열대과수의 시설재배가 가능하다. 그러나, 제주도의 연평균 기온은 15.2-16.2°C이며, 10월 하순부터는 일평균 기온이 15°C 이하로 점차 낮아진다. 그리고 1-2월에는 5°C 이하로 현저히 낮아지고 간혹 영하의 온도를 나타내기도 한다(기상청). 패션프루트는 열대와 아열대 지역에서 주로 재배되고 있고 영하의 온도에서는 상해를 받기 때문에 환경요인 중에서도 온도는 패션프루트의 생육, 개화, 과실 형성 등에 있어서 가장 중요한 제한 요인이라고 할 수 있다. 이에 제주지역에서의 겨울철 저온 스트레스 시 패션프루트의 생리적 반응에 대한 연구가 필요하다.

패션프루트에 대한 많은 연구가 열대지역을 중심으로 연중 생산에 중점을 두고 이루어졌으며 특히 온도에 따른 수채 생육 및 개화에 대한 연구 결과들이 많다(Menzel and Simpson, 1988a; Menzel et al., 1986, 1987). 그러나 대다수의 연구가 열대 및 아열대 지역에서 이루어졌으며, 재배를 위한 적정 최저온도 구명 및 최저온도 변화에 따른 과실 생육 및 품질에 미치는 영향은 아직까지 연구된 바가 없다. 특히 온대지역에 위치한 우리나라에서 겨울철 최저온도는 패션프루트 재배에 있어 가장 치명적인 요인으로 작용할 수 있기 때문에 가온시설 재배를 위한 적절한 저온기 최저온도 구명이 반드시 필요하다. 작물이 저온 스트레스를 받으면 직·간접적으로 광계II(photosystem II)와 같은 광합성 기구에 손상을 줄 수 있으며, 광계II의 반응은 엽록소형광을 이용하여 빠르고 비파괴적으로 측정할 수 있다(Strasser and Strasser, 1995). 더욱이 저온에 의한 가시적인 증상이 나타나기 전에 피해 정도를 엽록소형광 측정을 통해 정량적으로 제시할 수 있어 저온에 대한 식물의 감수성을 평가하는데 있어 엽록소형광 측정이 유용한 도구로 활용되고 있다(Ehlert and Hincha, 2008; Rizza et al., 2001; Oh and Koh, 2014).

따라서 본 연구에서는 저온기의 최저온도를 다양하게 상향 조절하여 패션프루트의 엽록소형광 반응, 생장, 개화 및 과실 발달 등을 조사함으로써 저온기 재배에 적합한 온도 범위를 구명하고 패션프루트를 우리나라의 새로운 소득 작물로 재배하기 위한 가온시설 내 온도 관리방안을 모색하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 공시재료

본 실험에는 2010년 일본으로부터 도입한 자색계통 패션프루트(*P. edulis* var. *edulis* Sims.)를 이용하였다. 본 연구를 위하

여 2013년 10월에 인공상토가 들어있는 용기에 줄기를 삽목하고 주·야간 온도  $20\pm 1/15\pm 1^\circ\text{C}$ , 상대습도 60-70%, 광량  $800\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (14h light/10h dark)로 설정된 환경제어챔버(GR96, EGC, Chagrin Falls, USA)에서 3개월 간 발근시켰다. 이후 건전한 상태의 개체들을 20개체씩 무작위로 선발하여 암갈색 비화산회토(동홍통, 미사질양토)가 들어있는 플라스틱 사각 포트(용적 20L)에 이식하였다. 그리고 농촌진흥청 온난화대응농업연구소(N33°28' E126°31', 200m, Jeju, Korea)의 폴리에틸렌 필름으로 피복된 온실에서 이식된 묘를 관리하였다. 본 연구에서는 2014년 11월부터 이듬해 3월까지 가온시설 내의 저온기 최저온도를 각각  $5^\circ\text{C}$ ,  $10^\circ\text{C}$ ,  $15^\circ\text{C}$  이하로 내려가지 않도록 상향 조정하여 재배하면서 수체 생육, 개화, 과실 발달 등의 생육 특성을 조사하였다. 패션프루트의 재배관리는 농촌진흥청에서 고시한 농업기술집약지에 준하였으며 줄기는 I자형 덕을 사용하여 유인하였고, 인공수분은 오전 10-12시에 시행하였다.

### 시설 내 가온 처리

가온시설은 외부에 직경 0.1mm 폴리에틸렌 필름으로 피복하고 내부에는 다겹 보온커튼으로 이중 피복하였다. 11월 1일부터 이듬해 3월 30일까지 약 150일 동안 온풍 난방기를 이용하여 최저온도를 각각  $5^\circ\text{C}$ ,  $10^\circ\text{C}$ ,  $15^\circ\text{C}$  이하가 되지 않도록 상향 조정하였다. 그 이후부터 과실 수확기까지는 시설 내부의 다겹 보온커튼을 제거하고 외부 폴리에틸렌 필름의 측면과 천정 부분을 외부 온도에 따라 개방하여 자연 온도에 가깝게 유지하여 모든 처리구가 같은 온도 조건이 되도록 하였으며, 시설 내부의 온도는 지상부에서 1.5m 높이에 설치한 온도센서(1400-101, LI-COR Inc., Lincoln, USA)를 이용하여 측정하였다.

### OJIP 분석 및 엽록소 형광변수 산출

OJIP 곡선은 엽록소형광분석기(Plant Efficiency Analyzer, Hansatech Instrument Ltd., King's Lynn, UK)를 이용하여 온도 처리 후 14주째인 2월 중순에 측정하여 분석하였다. 즉, 20분간 광을 차단하여 암적응시킨 뒤에  $1,500\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광량을 5초간 조사하여 OJIP 곡선을 유도하고,  $F_0$ (initial fluorescence),  $F_m$ (maximum fluorescence),  $F_v/F_m$ (photochemical efficiency of photosystem II) 등의 형광변수를 산출하였다. Time scale은 10 $\mu\text{s}$ 에서 1s의 범위로 설정하고, 10 $\mu\text{s}$ 에서 2ms까지는 1 $\mu\text{s}$  단위로, 2ms에서 1s까지는 1ms 단위로 인식하도록 하였으며, 50 $\mu\text{s}$ (O-단계), 2ms(J-단계), 30ms(I-단계), 300ms(P-단계)에서 엽록소형광 밀도를 분석하였다(Srivastava et al., 1997).

### 수체 생육 특성 조사

패션프루트의 수체 생육 특성은 저온기 최저온도가  $5^\circ\text{C}$ ,  $10^\circ\text{C}$ ,  $15^\circ\text{C}$  이하가 되지 않도록 상향 조정된 조건에서 각 처리별 5개체를 선정하여 열매가 달리게 되는 2차지를 대상으로 조사하였다. 온도처리 종결시점인 3월 말에는 어린 2차지와 2차지에 달린 잎의 생육 특성(2차지 길이, 2차지 직경, 엽수, 엽면적, 엽장, 엽폭, 엽두께)을 조사하였고, 개화 및 결실 단계인 6월 초에 성숙한 2차지의 생육 특성(2차지 길이, 2차지 직경, 절간 길이, 결과지 마디수 등)을 조사하였다. 결과지 마디수는 결과지에서 첫 번째 마디에서부터 첫 번째 화아가 형성된 마디까지의 수를 조사하였으며, 절간 길이는 첫 번째 화아에서 두 번째 화아까지의 길이를 조사하였다.

### 과실 생육 및 품질 조사

과실 생육 및 품질 조사는 수확기 때 처리 별로 30개의 과실을 무작위로 선정하여 조사하였다. 과실 생육은 수확 후 바로 길이, 폭, 무게 등을 조사하였으며 과실 품질은 수확 후 2일이 경과한 후 과피색, 경도, 가용성 고형물 및 산 함량 등을 조사하였다. 과피의 착색 정도는 과정부(fruit apex)를 색차계(CR-300, Minolta Corp., Osaka, Japan)를 이용하여 측정하였고, Hunter L(lightness), a(redness), b(yellowness) 값으로 나타냈다. 가용성 고형물 및 산 함량은 과육 부분을 착즙하여 조사하였다. 과즙

의 가용성 고형물 함량은 굴절당도계(PAL-1, Atago, Tokyo, Japan)를 이용하여 조사하였고, 산 함량은 과즙 5mL을 0.156N의 수산화나트륨 수용액에 적정한 후 과즙 100mL 중의 구연산 함량으로 환산하여 표시하였다. 당산비는 가용성 고형물과 산 함량의 비율로 나타내었다. 경도는 5mm 탐침봉이 장착된 과실경도계(TA-XT, Texture Technologies Corp., NY, USA)를 이용하여 과정부 부위의 세 방향으로 측정하였다.

### 식물계절학적 특성 조사

개화기는 꽃이 70-80% 이상 개화한 시점으로 하고, 수확기는 과피색이 자주색으로 완전히 변한 시점으로 나타내었다. 과실 생육일수는 인공 수분을 수행한 날로부터 수확일까지의 날짜를 합산하여 조사하였다. 수분일부터 수확일까지의 생육온도일수(GDD)는 일 평균기온, 일 최고기온을 적산하였고, 기준온도 이상의 GDD는 일 평균기온 및 일 최고기온에서 기준온도를 뺀 값을 적산하였다.

### 통계분석

산출된 변수들에 대한 통계분석은 SPSS 통계 패키지 18.0(SPSS, Chicago, IL, USA)를 이용하여 수행하였으며, 각 처리 간의 유의성은 단일변량 분산분석(ANOVA)으로, 평균 간의 유의성은 5% 수준에서 Duncan 다중검정으로 분석하였다.

## 결과

### 시설 내 일평균 온도

시설 내의 연간 일평균 온도 변화는 Fig. 1과 같다. 2014년 11월 1일부터 이듬해 3월 30일까지 약 150일간 시설 내의 최저온도를 5°C, 10°C, 15°C 이하가 되지 않도록 상향 조정하였을 때 일평균온도는 각각  $15.0 \pm 1.7^\circ\text{C}$ ,  $18.2 \pm 1.4^\circ\text{C}$ ,  $22.1 \pm 1.1^\circ\text{C}$ 로 나타났다. 2014-2015년 기상청 자료에 의하면 이 기간 동안 5°C, 10°C, 15°C 이하의 낮은 기온을 보이는 날은 각각 58일, 110일, 117일이며, 5°C 이하의 낮은 기온은 주로 12월과 1월에 집중되어 있다(자료 미제시). 상향 조정기간 동안 일 최저온도의 평균은 각각  $6.1 \pm 1.8^\circ\text{C}$ ,  $10.1 \pm 1.0^\circ\text{C}$ ,  $16.3 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 로 상향 조정된 최저온도 이하로 내려가지 않음을 확인할 수 있었다. 그리고

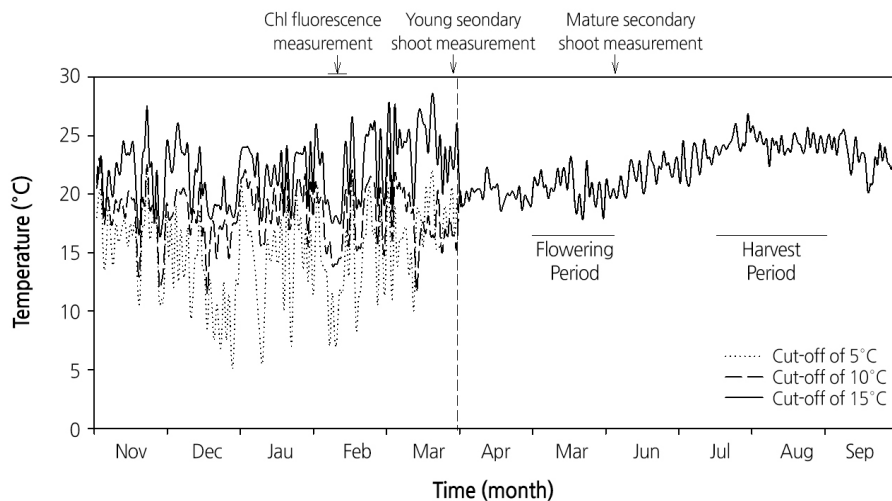


Fig. 1. Changes in daily mean air temperature in a plastic greenhouse where the passion fruit (*Passiflora edulis* var. *edulis* Sims.) was grown. The vertical dotted line denotes the date at which temperature cut-offs were terminated.

동 기간 동안의 일 최고온도의 평균은 각각  $24.1 \pm 3.0^\circ\text{C}$ ,  $24.7 \pm 3.3^\circ\text{C}$ ,  $27.9 \pm 2.4^\circ\text{C}$ 로 처리 간에 다소의 차이가 있었다. 4월부터는 시설 내부의 다겹 보온커튼을 제거하고 외부 폴리에틸렌 필름의 측면과 천정 부분의 비닐을 개방하였으므로, 내부 온도는 대기 온도의 변화에 따라 점차적으로 증가하였으며 8월 과실 수확 시까지 대략  $20\text{-}25^\circ\text{C}$  범위로 유지되었다.

### 저온 스트레스의 영향

저온기 동안 가온시설 내의 최저온도가 각각  $5^\circ\text{C}$ ,  $10^\circ\text{C}$ ,  $15^\circ\text{C}$  이하가 되지 않도록 상향 조정하여 패션프루트를 재배하였을 때 14주째인 2월 중순에 OJIP 곡선과 형광변수들의 변화는 Fig. 2와 같다. OJIP 곡선은 저온기 최저온도를  $5^\circ\text{C}$ 로 상향 조정하였을 때  $10^\circ\text{C}$ 와  $15^\circ\text{C}$ 로 상향 조정하여 재배하였을 때보다 O와 J 단계에서의 형광밀도  $F_o$ 와  $F_J$ 가 증가하고, P 단계에서의 형광밀도  $F_p$ 가 감소하였으며,  $10^\circ\text{C}$ 와  $15^\circ\text{C}$ 로 상향 조정된 경우에는 서로 차이가 없었다(Fig. 2A). 광계II의 최대 광화학적 효율 ( $F_v/F_m$ )은  $10^\circ\text{C}$ 와  $15^\circ\text{C}$ 로 상향 조정 시 0.75였으나,  $5^\circ\text{C}$ 로 상향 조정 시에는 0.64로 감소하였다(Fig. 2B). 그리고 초기형광수율( $F_o$ )은  $10^\circ\text{C}$ 와  $15^\circ\text{C}$ 에서보다  $5^\circ\text{C}$ 에서 더 높았고(Fig. 2C), 최대형광수율( $F_m$ )은 처리 간에 차이가 없었다(Fig. 2D).

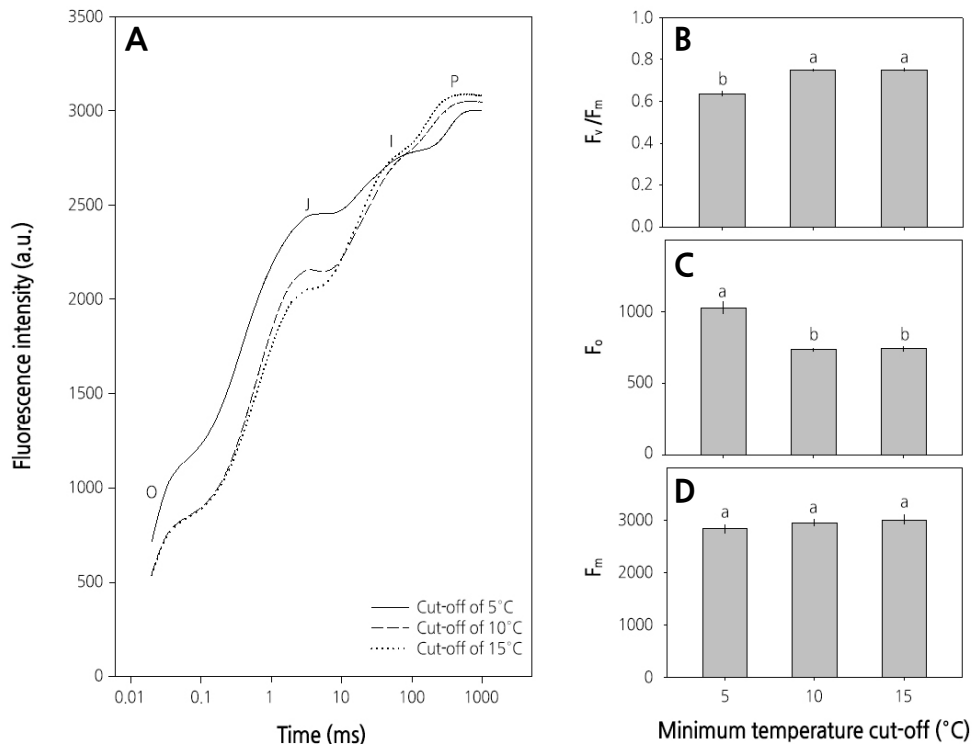


Fig. 2. Chlorophyll a fluorescence OJIP transient curves and fluorescence parameters ( $F_v/F_m$ ,  $F_o$ ,  $F_m$ ) from leaves of passion fruit (*Passiflora edulis* var. *edulis* Sims.) grown for 14 weeks under temperature cut-offs in a plastic greenhouse.

### 수체 생육 특성

저온기 최저온도 상향 처리의 종결시점인 3월 말의 어린 2차지 특성을 살펴보면, 2차지 길이, 2차지 직경, 엽수, 엽면적, 엽장 과 엽폭은 저온기 상향 최저온도가 높을수록 큰 것으로 나타났으며, 엽두께는 상향 최저온도가 낮을수록 더 두껍게 발달하였다 (Table 1). 그러나 상향 처리 종료 이후에 개화시기인 6월 초에는 처리 간에 다소 차이를 보이지만 크게 차이를 보이지는 않았다 (Table 2). 즉, 화아가 달린 성숙한 2차지의 길이와 굵기, 절간 길이는 저온기 상향 최저온도가  $5^\circ\text{C}$ 일 때 낮았으며, 첫 번째 화아도 더 낮은 마디에서 형성되었다.

**Table 1.** Young secondary shoot and leaf growth of passion fruit (*Passiflora edulis* var. *edulis* Sims.) grown for 20 weeks under temperature cut-offs in a plastic greenhouse

Minimum temperature cut-off (°C)	Secondary shoot			Leaf			
	Length (cm)	Diameter (mm)	No. of leaves per shoot	Specific leaf area (cm <sup>2</sup> )	Length (cm)	Width (cm)	Thickness (mm)
5	22.7 c <sup>z</sup>	3.6 b	9.2 b	54.9 c	9.4 c	4.5 b	0.36 a
10	37.3 b	3.7 ab	10.8 a	86.0 b	11.5 b	4.9 b	0.29 b
15	54.6 a	4.1 a	10.7 a	116.9 a	13.4 a	6.4 a	0.21 c

<sup>z</sup>Values followed by different letters are significantly different within each parameter ( $p \leq 0.05$ ; Duncan's multiple range test).

**Table 2.** Mature secondary shoot characteristics of passion fruit (*Passiflora edulis* var. *edulis* Sims.) grown for 30 weeks under temperature cut-offs in a plastic greenhouse

Minimum temperature cut-off (°C)	Length (cm)	Diameter (mm)	Internode length (mm)	Node no. to the first floral bud	Internode length of floral bud (mm)
5	120.3 b <sup>z</sup>	5.0 b	60.5 c	7.2 b	61.7 b
10	132.1 a	5.5 a	67.5 b	9.4 a	78.5 a
15	133.2 a	5.4 ab	79.0 a	9.3 a	80.9 a

<sup>z</sup>Values followed by different letters are significantly different within each parameter ( $p \leq 0.05$ ; Duncan's multiple range test).

### 과실 생육 및 품질 특성

패션프루트의 과실 종경과 횡경은 저온기 상향 최저온도가 5°C일 때 가장 작았으며, 과중도 낮았다. 그리고 결과당수확량도 최저온도가 5°C일 때 적었다(Table 3). 과즙의 가용성 고형물 함량(SSC)은 상향 최저온도 처리 간에 차이를 보이지는 않았다. 그리고 저온기 상향 최저온도가 5°C일 때 산 함량(TA)이 낮았으며, 당산비(SSC/TA)는 더 높았다. 그러나 10°C와 15°C일 때에는 처리 간에 차이가 없었다(Table 4). 과실의 경도 또한 저온기 상향 최저온도가 5°C일 때 낮은 것으로 나타났다. 과피의 색도를 나타내는 변수들 중에 Hunter L값은 저온기 상향 최저온도가 5°C일 때 낮았으며, Hunter b값은 저온기 상향 최저온도가 높을수록 높게 나타났다. Hunter a값은 처리 간에 유의한 차이를 보이지는 않았다.

**Table 3.** Fruit characteristics of passion fruit (*Passiflora edulis* var. *edulis* Sims.) grown under temperature cut-offs in a plastic greenhouse

Minimum temperature cut-off (°C)	Fruit length (mm)	Fruit diameter (mm)	Fruit weight (g)	No. of fruits per secondary shoot
5	56.8 b <sup>z</sup>	50.3 c	70.3 b	7.0 b
10	61.7 a	55.8 b	79.8 a	8.6 a
15	63.2 a	59.1 a	79.1 a	8.3 a

<sup>z</sup>Values followed by different letters are significantly different within each parameter ( $p \leq 0.05$ ; Duncan's multiple range test).

**Table 4.** Fruit quality of passion fruit (*Passiflora edulis* var. *edulis* Sims.) grown under temperature cut-offs in a plastic greenhouse

Minimum temperature cut-off (°C)	Soluble solids content (SSC, °Brix)	Titratable acidity (TA, %)	SSC/TA	Firmness (N)	Chromaticity of fruit skin		
					L	a	b
5	17.9 a <sup>z</sup>	1.9 b	9.4 a	28.8 b	30.2 b	7.3 a	3.0 c
10	18.1 a	2.3 a	7.9 b	30.5 ab	41.8 a	7.8 a	3.7 b
15	17.9 a	2.3 a	7.8 b	33.8 a	41.8 a	7.3 a	4.4 a

<sup>z</sup>Values followed by different letters are significantly different within each parameter ( $p \leq 0.05$ ; Duncan's multiple range test).

## 식물계절학적 특성

저온기 최저온도 상향처리에 따른 패션프루트의 만개기, 수확기, 과실 성숙기간, 생육온도일수(GDD)에 미치는 영향을 조사한 결과는 Table 5와 같다. 만개기는 저온기 상향 최저온도가 5°C일 때 5월 초순, 10°C와 15°C일 때는 각각 5월 중순과 6월 초순으로 5°C로 상향 조정하였을 때 25-30일 정도 일찍 개화하였다. 과실 발달 및 성숙은 상향 최저온도가 5°C일 때 62.3일로 10°C(75.6일)와 15°C(76.4일)일 때보다 10일 이상 짧아졌다. 그리고 과실 수확은 저온기 상향 최저온도가 5°C일 때는 7월 중순부터 가능하였으나, 10°C와 15°C일 때는 8월 하순부터 가능하여 5°C로 상향 조정하였을 때 수확기를 41-43일 정도 앞당길 수 있었다. 저온기 최저온도 상향 조정에 따른 생육온도일수(GDD)는 저온기 상향 최저온도 5°C일 때는 4,938, 10°C일 때 5,513, 15°C일 때 6,390으로 저온기 최저온도 처리가 높을수록 높게 나타났다.

**Table 5.** Phenological characteristics and growing degree days of passion fruit (*Passiflora edulis* var. *edulis* Sims.) grown under temperature cut-offs in a plastic greenhouse

Minimum temperature cut-off (°C)	Anthesis date	Harvesting date	Maturation days	Growing degree days (GDD) <sup>2</sup>
5	1 May	16 July	62.3 b <sup>3</sup>	4,938 c
10	25 May	27 August	75.6 a	5,513 b
15	1 June	29 August	76.4 a	6,390 a

<sup>2</sup>Cumulative temperatures were calculated from the base temperature (5°C) and accumulated as follows:  $\sum(T_i-10)$ , where  $T_i$  indicates the hourly air temperatures in a day.

<sup>3</sup>Values followed by different letters are significantly different within each parameter ( $p \leq 0.05$ ; Duncan's multiple range test).

## 고찰

패션프루트에 대한 선행연구를 보면 20/15°C(주/야간)에서 화아 형성이 성숙한 2차지 당 20.6개로 높고 12개가 개화하여 50% 이상 개화가 이루어지는 데 반해, 고온(30/25°C, 주/야간)에서는 화아 분화와 개화가 일어나지 않았으며, 저온(15/10°C, 주/야간)에서는 화아가 성숙한 2차지 당 17.6개로 높게 형성되나 3개만 개화하고 나머지는 낙화되어 생산량 감소의 원인이 된다고 한다(Menzel et al., 1987). 그리고 20-25/15°C(주/야간)에서보다 다소 높은 온도인 25-30/20°C(주/야간)에서 재배하였을 때 수체 생육이 좋았으며(Simon and Karnatz, 1983), 주지 생장은 23/18°C와 33/28°C(주/야간)에서보다 중간 온도인 28/23°C(주/야간)에서 더 좋은 반면에, 측지는 온도가 높을수록 더 발달하는 특성을 보였다(Utsunomiya, 1992). 본 연구에서 패션프루트 재배 시 적정온도의 최저 임계값인 15°C보다 낮은 상향 최저온도 10°C에서도 수체 생육에 큰 영향을 미치지 않으나 이보다 더 낮은 5°C에서는 생육이 다소 낮았다(Table 2). 또한 상향 최저온도가 5°C일 때 잎의 형태에도 영향을 주어 엽면적의 감소와 함께 엽두께가 증가하였는데(Table 1), 엽육조직 세포들의 확장 또는 세포층의 증가에 의한 결과로 보인다. 체리모야(*Annona cherimola* Mill.)에서도 30/25°C(주/야간)보다 낮은 온도인 20/15°C(주/야간)에서 엽두께가 증가하는데 이는 낮은 온도에서 해면조직층 세포들이 많고 해면조직과 책상조직 세포들이 더 크고, 일부에서는 책상조직이 2층으로 배열되기도 한다(Higuchi et al., 1999).

그리고, 높은 주/야간 온도(30/25°C, 25/20°C)보다 낮은 주/야간 온도(20/15°C)에서 개화가 빨라진다고 보고된 바 있는데(Liu et al., 2015), 본 연구에서는 그보다 더 낮은 최저온도 5°C로 상향 조정 시에도 개화가 빨라지는 결과를 나타내었다(Table 5). 그러나, 첫 번째 화아가 형성되는 마디 수와 화아 간의 절간 길이가 저온기 상향 최저온도 5°C일 때보다 15°C와 10°C에서 높게 나타나서 높은 온도에서 자라는 식물체가 더 활발하게 영양생장이 이루어짐을 알 수 있다. 즉, 낮은 기온은 개화를 촉진시키고 식물의 생장을 감소시키는 반면, 높은 온도는 개화를 억제하고 식물의 생장을 증가시켰다. 리치(*Litchi chinensis* Sonn.)의

경우도 15/10°C(주/야간)보다 온화한 온도인 20/15°C(주/야간)에서 영양생장이 촉진되지만 개화가 감소되었으며, 더 높은 온도(25/20°C, 30/25°C)에서는 영양생장은 더 촉진되지만 꽃이 전혀 피지 않았다(Menzel and Simpson, 1988b).

상기한 저온기의 최저온도를 5°C로 상향 조정하여 패션프루트를 재배하였을 때 수채 생장의 감소는 처리기간 동안의 5-10°C의 온도가 생육기의 패션프루트에 스트레스로 작용하고 있음을 암시하고 있다. 저온에 대한 식물의 감수성을 평가하기 위해서 엽록소형광 측정이 효율적이고 재현 가능한 도구로 활용되고 있다(Ehlert and Hinch, 2008; Rizza et al., 2001). 더욱이 저온에 의한 광화학적 효율의 변화는 온대 기후의 식물보다 열대성 식물이 더 두드러지게 나타난다. Fig. 2에서 살펴본 바와 같이 저온기 패션프루트 재배에 있어  $F_v/F_m$  값이 최저온도를 10°C와 15°C로 상향 조정 시보다 5°C로 상향 조정 시에는 크게 감소하였다. 이와 같이 5°C로 상향 조정 시  $F_v/F_m$ 의 감소는 광계II의 광화학적 효율이 감소하고 있음을 나타내는데 저온 스트레스에 의해 유도된 광저해의 영향인 것으로 보인다(Groom et al., 1991; Oh and Koh, 2014; Rodríguez et al., 2015). 아보카도 (*Persea americana* Mill.)와 망고(*Mangifera indica* L.)에서도 일최저온도가 14°C 이상인 가을철에 비해 10°C 이하인 겨울철에  $F_v/F_m$  값과 광합성률이 50% 더 낮았으며, 겨울철에 저온에 의한 광저해가 발생하였다(Whiley et al., 1999; Elsheery et al., 2007). 그리고, 상향 최저온도가 5°C일 때  $F_o$ 의 증가는 광계II 반응중심의 손상 또는 불활성화에 의한 에너지 포획능력 감소를 나타내는 징후 중 하나이다(Critchley and Russell, 1994; Adams and Baker, 1998). 그리고 저온기 최저온도를 5°C로 상향 조정하였을 때  $F_v/F_m$ 의 감소는 전적으로  $F_o$ 의 증가에 기인하고 있어 상향 최저온도 5°C일 때, 즉 5-10°C의 최저온도가 패션프루트에 저온 스트레스를 유발하고 있음을 알 수 있으며, 이로부터 상기한 바와 같이 패션프루트의 영양생장과 생식생장을 저해하는 것으로 해석된다(Table 1 and 2).

한편, 과수재배에서 상품성이 높은 고품질의 과실을 균일하게 생산하고 조기 수확 및 출하시기 조절 등을 통한 농가소득 향상이 중요하다. 패션프루트의 개화는 상향 최저온도 10°C와 15°C보다 5°C의 온도 조건에서 25-30일 정도 빨리 이루어졌으며, 과실의 수확시기도 41-43일 정도 앞당길 수 있었다(Table 5). 그러나 Table 3과 Table 4에서 살펴본 바와 같이 패션프루트의 과실 비대, 과중, 과피의 자색으로의 착색, 결과지당 수확량 등 과실의 상품성과 수확량에 있어서는 최저온도가 10°C 이상일 때 더 높게 나타나 생육기의 5-10°C의 최저온도가 패션프루트 과실의 발달과 품질에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 선행연구에서 패션프루트의 잠재적인 생산량은 식물의 성장을 제한하는 낮은 온도(15/10°C, 주/야간)나 꽃의 생산을 저해하는 높은 온도(30/25°C와 25/20°C, 주/야간)에 의해 감소될 수 있다고 하였는데(Menzel et al., 1987), 본 연구에서는 패션프루트 재배 시 적정온도의 최저 임계값인 15°C와 그보다 낮은 상향 최저온도 10°C에서도 과실 크기, 중량과 수확량에 있어서 큰 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 선행연구에서는 패션프루트 재배기간 동안 15/10°C(주/야간)의 온도가 유지된 데 반해 본 연구에서는 저온기의 상향 최저온도가 10°C 또는 15°C로 설정되어 있더라도 Fig. 1에서 보는 바와 같이 저온기 일평균 온도가 각각 18.2°C, 22.1°C로 선행연구에서보다 상대적으로 높고 저온기 이후의 일평균 온도도 15°C를 상회하고 있어 영양생장과 생식생장에 큰 영향을 미치지 않은 결과로 보인다. 온주밀감(*Citrus unshiu* Marc.)도 성숙기의 낮은 온도 조건 또는 개화기의 고온에 의해 착색이 촉진되고(Iwagaki and Hirose, 1980; Utsunomiya et al., 1982), 온도가 높은 수관 외부 쪽의 과실에서 착색이 양호하며 가용성고형물 함량은 높고 산 함량은 낮아 상품성이 높아진다(Izumi et al., 1990). 내한성이 약한 부지화도 봄철 가온 재배시 과실 종경과 횡경, 과중이 크게 발달하여, 과실의 상품성을 높이기 위해서는 일정기간 적절한 가온이 필요한 것으로 알려져 있다(Moon et al., 2015). 그리고 주요 아열대성 원예작물 중의 하나인 토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill.) 또한 저온에 민감하여 10°C 이하에 노출되면 저온장해를 받으며 6°C 이하의 온도에 장기간 노출되면 심각한 해를 받는 것으로 알려져 있어(Geisenberg and Stewart, 1986; Criddle et al., 1997; Van Ploeg and Heuvelink, 2005), 온대지역에서 패션프루트를 재배하기 위해서는 저온기에 10°C 이하의 저온에 노출되지 않도록 관리할 필요가 있다.

따라서 내한성이 약한 패션프루트 재배에 있어서 생육기에 10°C 이하 저온은 작물의 생장과 수확량을 제한하는 중요한 요소라고 할 수 있다. 제주도의 기후조건에서 생육 촉진 및 고품질의 과실을 생산하기 위해서는 저온기에 시설 내 가온이나 보온이 불가피하다. 시설 내 가온이나 보온을 통해서 최저온도를 10°C 또는 15°C로 상향 조절하여 저온 스트레스에 의한 영향을 최소화



화하여 수채 생육과 과실 품질 향상을 도모하여야 함은 물론이고 가온을 위한 경비의 절감도 고려해야 할 것이다. 저온기 가온을 위한 경비절감을 고려하였을 때에는 최저온도를 10°C 또는 15°C로 상향 조절하였을 때 차이가 거의 없음을 감안하여 저온기 최저온도가 10°C 이하가 되지 않도록 조정하는 것이 바람직한 것으로 보인다. 차후에는 개화 및 과실의 발달 단계별로 온도 변화가 과실 품질에 어떠한 영향을 미치는지에 대해서도 보다 자세한 연구도 이루어져야 할 것으로 보인다.

## 초 록

본 연구는 저온기의 최저온도 상향 조정이 패션프루트의 엽록소형광 반응과 수채 생육, 개화 및 과실 발달 등에 미치는 영향을 조사함으로써 패션프루트를 재배하기 위한 적절한 저온기 최저 재배온도를 구명하고 시설 내 온도 관리방안을 모색하고자 수행하였다. 저온기 최저온도를 5°C로 상향 조절하였을 때 OJIP 곡선의 O와 J 단계에서의 형광밀도는 증가하고, P 단계에서의 형광밀도는 감소하였다. 광계II의 최대 광화학적 효율( $F_v/F_m$ )은 최저온도를 5°C로 상향 조절하였을 때에는 낮았고 초기형광수율( $F_o$ )은 높았다. OJIP 곡선과 엽록소형광 변수의 변화를 토대로 패션프루트가 저온기 최저온도 5-10°C에서는 스트레스를 받고 있음을 알 수 있다. 어린 2차지는 최저온도 처리가 높을수록 길이가 길고 굵기 또한 굵었으며 결과지당 수확량도 증가하여, 최저온도를 10°C로 상향 조절하였을 때에는 양호한 것으로 나타났다. 반면에 최저온도를 5°C로 상향 조절하였을 때 개화시기와 과실 수확은 각각 25-30일, 41-43일 일찍 앞당길 수 있어 조기 수확이 가능하나 개화수의 감소로 인해 결과지당 수확량은 감소할 것으로 보인다. 그리고 과실 크기와 무게는 최저온도를 5°C로 상향 조절하였을 때 작았고, 과즙의 산 함량과 과실의 경도도 다소 낮았다. 과피의 자색으로의 착색 또한 저온기 최저온도를 10°C 또는 15°C로 상향 조절하였을 때 증가하는 경향을 보였다. 따라서 패션프루트의 수채 생장과 과실의 수량을 높이고 고품질 과실을 생산하기 위해서는 최저온도를 10°C 또는 15°C로 상향 조정하는 것이 적절하나 난방비 절감을 위하여 저온기에는 가온시설 내의 최저온도를 10°C로 상향 조정하여 재배하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

**추가 주요어 :** 엽록소형광, 저온기, 과실품질, 최저온도, 2차지, 열대과수

## Literature Cited

- Adams WW, Baker DH (1998) Seasonal changes in xanthophyll cycle-dependent energy dissipation in *Yucca glauca* Nuttall. *Plant Cell Environ* 21:501-511. doi:10.1046/j.1365-3040.1998.00283.x
- Alves AAC (2002) Cassava botany and physiology. In RJ Hillocks, JM Thresh, AC Bellotti, eds., *Cassava: biology, production and utilization*. CABI Publishing, UK, pp 67-89. doi:10.1079/9780851995243.0067
- Criddle RS, Smith BN, Hansen LD (1997) A respiration based description of plant growth rate responses to temperature. *Planta* 201:441-445. doi:10.1007/s004250050087
- Critchley C, Russell AW (1994) Photoinhibition of photosynthesis in vivo: the role of protein turnover in photosystem II. *Physiol Plant* 92:188-196. doi:10.1111/j.1399-3054.1994.tb06670.x
- Ehlert B, Hinch DK (2008) Chlorophyll fluorescence imaging accurately quantifies freezing damage and cold acclimation responses in *Arabidopsis* leaves. *Plant Methods* 4:12. doi:10.1186/1746-4811-4-12
- Elsheery NI, Wilske B, Zhang JL, Cao KF (2007) Seasonal variations in gas exchange and chlorophyll fluorescence in the leaves of five mango cultivars in southern Yunnan, China. *J Horticult Sci Biotechnol* 82:855-862. doi:10.1080/14620316.2007.11512318
- Fisch MB (1975) Passionfruit the world over. In *California Rare Fruit Growers Yearbook*, Vol. 7. California Rare Fruit Growers, Inc., Fullerton, CA, USA, pp13-55
- Geisenberg C, Stewart K (1986) Field crop management. In JG Atherton, J Rudich, eds., *The tomato crop: a scientific basis for improvement*. Chapman and Hall, London, UK, pp 511-557. doi:10.1007/978-94-009-3137-4\_13
- Groom QJ, Baker NR, Long SP (1991) Photoinhibition of holly (*Ilex aquifolium*) in the field during the winter. *Physiol Plant* 83:585-590. doi:10.1111/j.1399-3054.1991.tb02472.x
- Gumah AM, Gachanja SP (1984) Spacing and pruning of purple passionfruit. *Trop Agric* 61:143-147

- Higuchi H, Sakuratani T, Utsunomiya N (1999) Photosynthesis, leaf morphology, and shoot growth as affected by temperatures in cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) trees. *Sci Hortic* 80:91-104. doi:10.1016/S0304-4238(98)00221-0
- Ishihata K (1983) On the pollen germination of purple passionfruit, *Passiflora edulis* Sims. *Bull Fac Agric Kagoshima Univ* 33:7-11
- Iwagaki I, Hirose K (1980) Fruit growth and acid content of satsuma mandarin in relation to flowering time. *J Jpn Soc Hortic Sci* 48:418-425. doi:10.2503/jjshs.48.418
- Izumi H, Ito T, Yoshida Y (1990) Changes in fruit quality of satsuma mandarin during storage, after harvest from exterior and interior canopy of trees. *J Jpn Soc Hortic Sci* 58:877-883. doi:10.2503/jjshs.58.885
- Liu FY, Peng YL, Chang YS (2015) Effect of temperature and ethylene response inhibitors on growth and flowering of passion fruit. *Korean J Hortic Sci Technol* 33:356-363. doi:10.7235/hort.2015.13111
- Menzel CM, Simpson DR (1988a) Effect of continuous shading on growth, flowering and nutrient uptake of passionfruit. *Sci Hortic* 35:77-88. doi:10.1016/0304-4238(88)90039-8
- Menzel CM, Simpson DR (1988b) Effect of temperature on growth and flowering of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) cultivars. *J Hortic Sci* 63:349-360. doi:10.1080/14620316.1988.11515869
- Menzel CM, Simpson DR, Price GH (1986) Effect of foliar-applied nitrogen during winter on growth, nitrogen content and production of passionfruit. *Sci Hortic* 28:339-346. doi:10.1016/0304-4238(86)90108-1
- Menzel CM, Simpson DR, Winks CW (1987) Effect of temperature on growth, flowering and nutrient uptake of three passionfruit cultivars under low irradiance. *Sci Hortic* 31:259-268. doi:10.1016/0304-4238(87)90051-3
- Moon YE, Kang SB, Han SG, Kim YH, Choi YH, Koh SC, Oh S (2015) Effects of elevated spring temperatures on the growth and fruit quality of the mandarin hybrid 'Shiraunhi'. *Korean J Hortic Sci Technol* 33:459-469. doi:10.7235/hort.2015.14190
- Oh S, Koh SC (2014) Photosystem II photochemical efficiency and photosynthetic capacity in leaves of tea plant (*Camellia sinensis* L.) under winter stress in the field. *Hortic Environ Biotechnol* 55:363-371. doi:10.1007/s13580-014-0055-0
- Rizza F, Pagani D, Stanca A, Cattivelli L (2001) Use of chlorophyll fluorescence to evaluate the cold acclimation and freezing tolerance of winter and spring oats. *Plant Breed* 120:389-96. doi:10.1046/j.1439-0523.2001.00635.x
- Rodríguez VM, Soengas P, Alonso-Villaverde V, Sotelo T, Cartea ME, Velasco P (2015) Effect of temperature stress on the early vegetative development of *Brassica oleracea* L. *BMC Plant Biol* 15:145. doi:10.1186/s12870-015-0535-0
- Sanghera GS, Wani SH, Hussain W, Singh NB (2011) Engineering cold stress tolerance in crop plants. *Curr Genomics* 12:30-43. doi:10.2174/138920211794520178
- Simon P, Karnatz A (1983) Effect of soil and air temperature on growth and flower formation of purple passionfruit (*Passiflora edulis* Sims var. *edulis*). *Acta Hortic* 139:87-93. doi:10.17660/ActaHortic.1983.139.11
- Srivastava A, Guisse B, Greppin H, Strasser RJ (1997) Regulation of antenna structural and electron transport in photosystem II of *Pisum sativum* under elevated temperature probed by the fast polyphasic chlorophyll a fluorescence transient: OKJIP. *Biochim Biophys Acta* 1320:95-106. doi:10.1016/S0005-2728(97)00017-0
- Strasser BJ, Strasser RJ (1995) Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP test. *In* P Mathis, ed., *Photosynthesis: From Light to Biosphere*. Kluwer Academic, Dordrecht, Netherlands, pp 977-980. doi:10.1007/978-94-009-0173-5\_1142
- Utsunomiya N (1992) Effect of temperature on shoot growth, flowering and fruit growth of purple passionfruit (*Passiflora edulis* Sims var. *edulis*). *Sci Hortic* 52:63-68. doi:10.1016/0304-4238(92)90008-z
- Utsunomiya N, Yamada H, Kataoka I, Tomana T (1982) The effect of fruit temperature on the maturation of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruit. *J Jpn Soc Hortic Sci* 51:135-414. doi:10.2503/jjsh.51.135
- Van Ploeg D, Heuvelink E (2005) Influence of sub-optimal temperature on tomato growth and yield: a review. *J Hortic Sci Biotechnol* 80:652-659. doi:10.1080/14620316.2005.11511994
- Whiley AW, Searle C, Schaffer B, Wolstenholme BN (1999) Cool orchard temperatures or growing trees in containers can inhibit leaf gas exchange of avocado and mango. *J Am Soc Hort Sci* 124:46-51