

온도 상승처리가 복숭아 ‘미홍’의 수체생육 및 생리반응에 미치는 영향

이슬기^{1*} · 조정건¹ · 정재훈¹ · 류수현¹ · 한점화² · 도경란³

¹국립원예특작과학원 과수와 농업연구사, ²국립원예특작과학원 과수와 농업연구관

³국립원예특작과학원 기획조정과 농업주사보

Effect of the Elevated Temperature on the Growth and Physiological Responses of Peach ‘Mihong’ (*Prunus persica*)

Seul Ki Lee^{1*}, Jung Gun Cho¹, Jae Hoon Jeong¹, Suhyun Ryu¹, Jeom Hwa Han², and Gyung-Ran Do³

¹Agricultural Researcher, Fruit Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Wanju 55365, Korea

²Senior Researcher, Fruit Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Wanju 55365, Korea

³Agricultural Civil Servant, Planning and Coordination Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Wanju 55365, Korea

Abstract. This study was conducted to investigate the effect of elevated temperatures on the growth and physiological responses of peach ‘Mihong’ (*Prunus persica*). We simulated three different temperature conditions in the sunlight phytotron rooms from April 25 to July 5, 2019; Control (average temperature in normal years in Jeonju city), +3.4°C treatment (expecting temperature in mid-21st century), +5.7°C treatment (expecting temperature in late 21st century). The shoot numbers and lengths were increased while the temperature was increased, but the leaf areas were not statistically different. The harvest dates were July 1, June 24 and 21 at the control, +3.4°C, and +5.7°C, respectively. The fruit weights were increased at +3.4°C but decreased at +5.7°C compared to the control. The tree yield was the highest in the +3.4°C (2,898g), followed by the control (2,746g) and the +5.7°C (2,404g). These are related to the result that the average of maximum photosynthesis rate at 3.4°C ($14.93\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) was higher than those at the control ($13.79\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) and +5.7°C ($13.20\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) from mid-May to early June, the fruit growing season. Also, the stomatal densities were higher at the +3.4°C ($229\text{ea}/\text{mm}^2$), compared to the control ($181\text{ea}/\text{mm}^2$). The rate of floral bud differentiation affecting the yield in the following year was the lowest at the +5.7°C. These results suggest that a temperature elevated to 3.4°C in the future may give a positive effect on the yield and quality of peach ‘Mihong’ while a temperature elevated above 5.7°C may affect negatively.

Additional key words : climate change, harvest date, photosynthesis, stomatal density

서 론

기후변화 시나리오 RCP(Representative Concentration Pathway) 8.5는 한반도 연평균 기온이 21C 전반기에 1.5°C, 중반기에 3.4°C, 후반기에 5.7°C 상승하여 온난화가 가속화 될 것으로 전망하였다(KMA, 2012). 지난 2015-2019년 동안 전 지구 평균온도는 산업화(1850-1900년) 이전에 비해 1.1°C 더 높고, 2011-2015년 평균온도보다 0.2°C 상승하여 관측이 시작된 이래로 온도가 가장 높은 기간으로 기록되었다(WMO, 2019). 이러한 기후변화는 작물의 생물계절 변화, 재배적지 및

생산량 변동 등 재배에 직접적인 영향을 미치고(Li 등, 2016), 광합성이나 호흡과 같은 대사작용에 변화를 일으켜 식물 기능에도 영향을 줄 수 있다(Albert 등, 2011).

온도는 작물의 재배 환경 요인 중 생산량에 직결되는 중요한 요인으로, 적정 온도보다 낮거나 높으면 스트레스를 받게 된다(Oh 등, 2014). 생육 적온 범위 내에서 온도 상승은 작물의 광합성 증가 및 생산성과 품질 향상에 긍정적인 영향을 주지만, 적온 이상의 온도 상승은 광합성률 감소, 호흡률 증가, 과실 품질 저하 등 생리 반응과 생산량에 부정적인 영향을 미친다(Harding 등, 1990; Song 등, 2015). 또한 높은 온도에 의해 영양생장이 왕성해지는 반면 화아분화, 수분, 수정 등 생식생장이 원활하게 이루어지지 않을 수도 있다(Song 등, 2015).

온도 및 CO₂ 상승에 따른 광합성, 수체 생육 및 품질에 관한

*Corresponding author: lsk0729@korea.kr

Received June 30, 2020; Revised September 04, 2020;

Accepted September 07, 2020

연구는 과채류, 엽채류에서 활발하게 연구가 되어왔지만, 과수에서는 배(Han 등, 2012), 사과(Kweon 등, 2013), 포도(Son 등, 2014)에서 한정적으로 연구되어 우리나라 주요 과수 작목 중 하나인 복숭아에 관한 기후변화 영향평가 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 RCP 8.5를 적용하여 온도 단일 상승에 따른 복숭아 '미홍' 품종의 광합성 및 잎의 형태학적 변화를 분석하고, 수체 생육과 과실 품질에 미치는 영향을 구명하고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 실험 재료 및 처리

공시 재료는 80L 화분에 식재된 복숭아 '미홍' (*Prunus persica*) 3년생으로, 처리 별 6개의 화분을 사용하였다. 실험은 전라북도 완주군에 소재한 국립원예특작과학원 내 온도 및 CO₂ 제어가 가능한 자연광온실(W4.5×D4.4×H3-5m)에서 2019년 4월 25일부터 7월 5일까지 수행되었다. 온도는 기후변화 시나리오 RCP 8.5를 적용하여 전주시의 평년 온도를 대조구로 하여, 평년 대비 +3.4°C(21C 중반기), +5.7°C(21C 후반기) 상승시켜 처리하였다. 온도 변화 구현은 순별로 각 시간대별 평균온도를 적용하여 하루 24회의 변화를 주었고(Fig. 1), CO₂ 농도는 외기와 같게 조절하였다.

2. 광합성 측정

광합성 측정은 성엽을 대상으로 광합성 측정기(Li-6400, Li-COR, USA)를 사용하여 오전 중에 측정하였다. 측정 시 챔

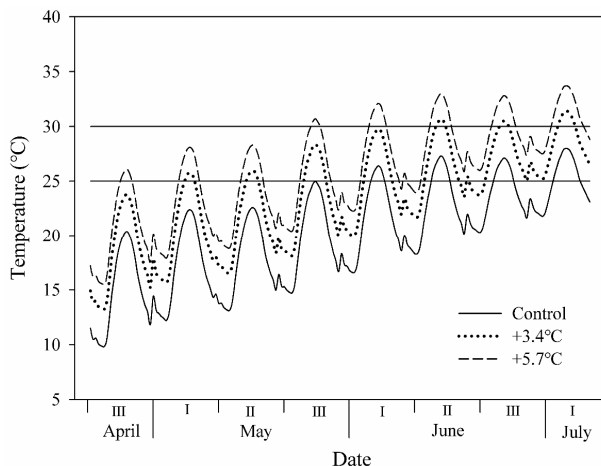


Fig. 1. Application of diurnal temperature fluctuation during experimental period. Horizontal lines represent the optimum temperature range for photosynthesis of peach trees. I, the first ten days of a month; II, the middle ten days of a month; III, the last ten or eleven days of a month.

버의 온도는 25°C, 이산화탄소 농도는 400 ppm, flow는 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ 으로 동일하게 설정하였다. 광포화점을 알아보기 위하여 광도별(0, 50, 100, 200, 400, 800, 1000, 1200, 1800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)로 광합성을 측정하여 light-curve를 작성하였다. 처리별 최대광합성률의 변화를 비교하기 위하여 5월 20일부터 6월 27일까지 10일 간격으로 1200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 광합성을 측정하였다.

3. 엽록소 및 전분 함량 분석

엽록소 및 전분 함량은 한 달 간격으로 3회 분석하여 처리구 별 변화 양상을 알아보았다. 엽록소 함량 분석을 위하여 무작위로 선정한 잎을 반지름 0.5cm의 cork borer를 이용하여 10개의 leaf disc를 채취하여 30mL MeOH에 넣고 24시간 추출하였다. Spectrophotometer (UV-2501PC, Shimadzu, Japan)를 이용하여 651nm와 664nm의 파장에서 흡광도를 측정하여 total chlorophyll content = $(25.5 \times \text{O.D}_{651} + 4 \times \text{O.D}_{664}) \times 0.3821656$ 식을 이용하여 총 엽록소 함량을 계산하였다. 전분 분석은 엽록소 분석에 사용된 잎을 건조시켜 만든 분말 0.1g과 total starch assay kit (Megazyme, Wicklow, Ireland)를 이용하여 분석하였다.

4. 잎 형태학적 변화 검경

기공의 형태학적 특징과 밀도를 측정하기 위해서 조직 절편을 가로 세로 3×4mm 크기로 채취하여 1차 고정으로 2.5% glutaraldehyde에 4°C 24시간, 2차 고정으로는 1% osmium tetroxide로 4°C에서 4시간 각각 처리 후 0.1M phosphate buffer (pH 7.2)로 15분 간격으로 3회 세척한 후 ethanol series(40%, 60%, 80%, 90%, 95%, 100% ethanol)로 각각 30분씩 그리고 100% ethanol로 45분간 3회 탈수하였다. 탈수 후 isoamyl acetate로 치환, HMDS (hexamethyldisilane)로 건조시켜 Ion-Sputter (MC1000; Hitachi, Tokyo, Japan)로 gold coating하여 SEM (SU-3500, Hitachi, Japan)으로 검경하였다. 또한 생체시료를 건조하지 않도록 유의하면서 전자빔으로 인한 시료 손상을 최소화할 수 있는 저전압 모드로 검경하였다.

5. 수체생육 및 과실품질 조사

나무 직경 증가율은 기부로부터 10cm 위의 직경을 온도 처리 전 4월과 처리가 끝난 시점인 7월에 측정하여 차이를 계산하였다. 신초 수와 길이 및 엽면적은 과실 수확 이후 7월에 조사하였다. 신초 수는 6개의 화분 전체 신초 수를 조사하여 평균값을 계산하였고, 신초 길이는 화분당 30개의 신초를 무작

위로 선정하여 측정하였다. 엽면적은 처리당 평균적인 크기의 잎을 30개씩 채취하여 엽면적 측정기(Li-3000C, Li-COR, USA)을 이용하여 측정하였다. 화아분화율은 2020년 4월 화아와 엽아를 조사하여 전체 눈수 대비 화아의 비율을 계산하였다.

과실품질 조사를 위해 착색도와 경도를 기준으로 처리구별로 6월 21일(대조구), 24일(+3.4°C), 7월 1일(+5.7°C)에 30개의 과실을 수확하여 과중 및 과실의 중 횡경을 측정하고 평균값을 사용하였다. 경도는 과피를 원형으로 벗긴 후 8mm probe를 장착한 물성측성기(TAPlus, Lloyd Instrument, UK)를 이용하여 측정하였다. 가용성 고형물 함량은 과육을 착즙하여 디지털 당도계(PAL-1, ATAGO, Japan)로 측정하였다. 산 함량은 산도계(TitroLine® 5000, SI analytics, Germany)을 이용하여 과즙 5mL에 증류수 20mL를 가한 용액을 0.1N NaOH로 적정하면서 pH 8.0이 될 때까지 소요된 NaOH량을 malic acid량으로 환산하였다.

결과 및 고찰

1. 광합성 변화

광포화점을 알아보기 위하여 광도별 광합성률을 측정하여 light-curve를 작성한 결과, 모든 처리구에서 1200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 광포화점 수준에 도달하는 것으로 나타났다(Fig. 2). 이는 복숭아 ‘장호원황도’에서 광포화점을 1200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 판단하였던 보고(Yoon 등, 2013)와 유사한 것이었고, 침수 스트레스에 관한 연구에서는 대조구 ‘미홍’의 광포화점을 1800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이라고 판단하였던 보고(Kwon 등, 2016) 보다는 다소 낮은 것으로 복숭아의 광포화점은 품종 및 생육 환경에 따라 차이가 있는 것으로 보여진다. 처리별 최대광합성률의 변화를 알아보기 위하여 대부분의 잎이 성엽 상태인 생육 중기(5월 20일)부터 10일 간격으로 광포화점 수준 1200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 광합성률을 측정하였다. +3.4°C 처리구가 전반적으로 최대광합성률이 높은 수준을 보였고, 특히 생육중기라고 할 수 있는 1차 측정일(5월 20일)부터 3차 측정일(6월 10일)까지의 최대광합성률 평균값이 14.93 $\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 으로 대조구 13.79 $\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 와 +5.7°C 처리구의 13.20 $\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에 비해 높았다(Fig. 3). 과실 수확기에 다다른 생육 후기의 최대광합성률은 모든 처리구에서 생육중기와 비교하여 감소하였다. 일반적으로 복숭아에서 광합성률은 과실 생장이 최고조인 시기에 가장 높고, 수확 이후에는 sink 기관인 과실이 없기 때문에 감소하며, sink의 동화산물 수요로 인해 광합성률은 50%까지 달라질 수 있다고 보고하였다(Crews 등, 1975; Chalmers 등, 1975). 또한 잎의 노화와도 관련이 있다고 보고되었고, 사과에서 광합성 속도는 시간이 지날수록 잎의 노

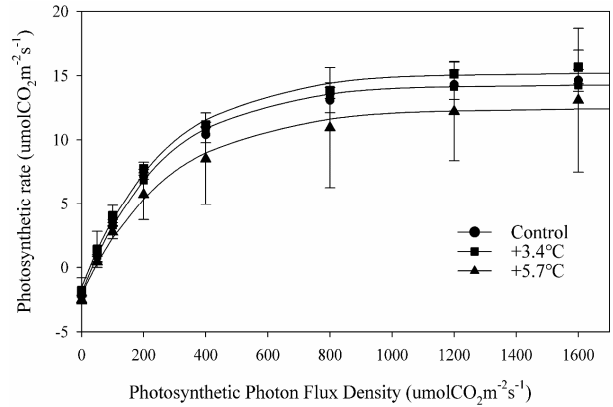


Fig. 2. Light-curve of peach trees grown under different temperatures on May 30 in 2019. Vertical bars represent the standard error of means from three replications.

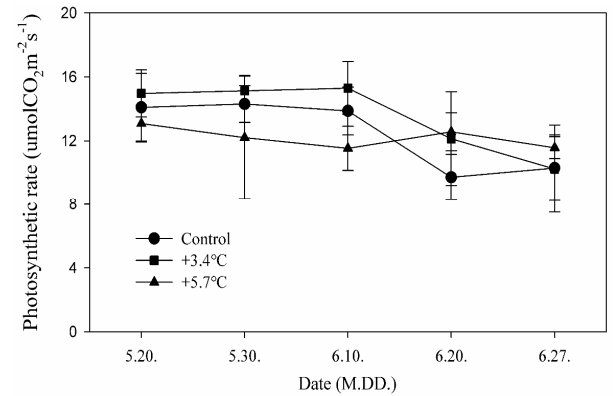


Fig. 3. Changes of maximum photosynthetic rate at 1200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ under different temperatures during the growing season in 2019. Vertical bars represent the standard error of means from six replications.

화가 진행되어 감소된다고 하였다(Fujii와 Kennedy, 1985). 따라서 생육 후기보다 중기의 광합성률이 과실 품질에 영향을 주었을 것이라고 판단된다. 또한 작물마다 광합성 적정 온도 범위가 다르며, 복숭아의 경우 30°C까지 최대광합성률이 증가하고, 30°C 이상의 온도 조건에서는 광합성률이 급격하게 감소한다(Crews 등, 1975). +3.4°C 처리구에서는 광합성 적정 온도 범위인 25-30°C의 환경에 가장 많은 시간 동안 노출되었고, +5.7°C 처리구는 가장 적게 노출되었다(Fig. 1). 이러한 노출 시간의 차이가 온도 처리 기간 동안의 광합성률과 수체 생육 및 과실 품질에도 영향을 주었을 것이라고 판단된다.

2. 엽록소 및 전분 함량

엽록소 함량은 처리구 모두 처리기간 동안 상승하는 경향을 보였다(Fig. 4). 그러나 수확기 이후(6월 21일) +5.7°C 처리구

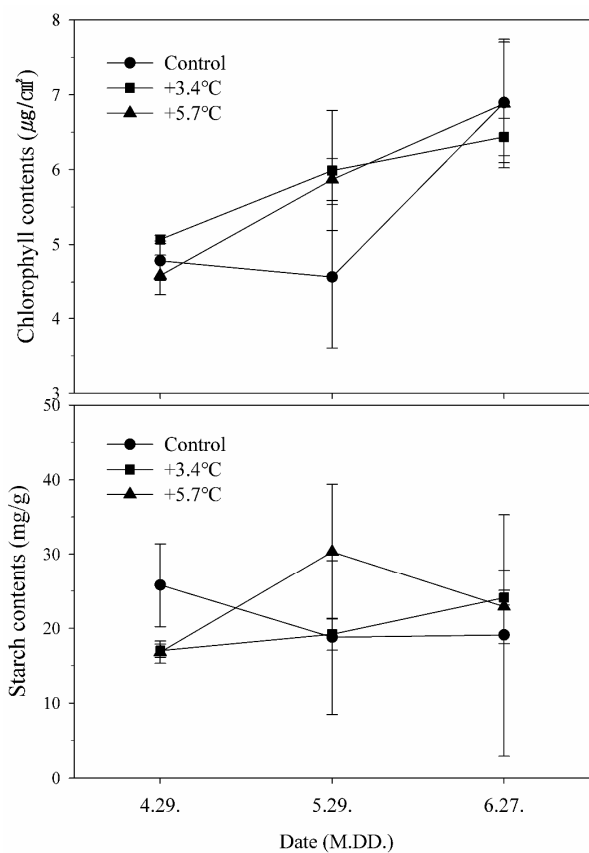


Fig. 4. Changes of chlorophyll contents and starch contents in leaf of peach trees grown under different temperatures during the growing season in 2019. Vertical bars represent the standard error of means from three replications.

에서는 잎의 황백화와 낙엽이 다른 처리구에 비해 조금 빨리 시작되었고, +3.4°C 처리구도 대조구와 비교하여 잎의 황백화가 빨리 시작되는 것을 확인하였다(데이터 미제공). 전분 함량은 생육 중기(5월 29일)에 대조구와 +3.4°C 처리구에 비하여 +5.7°C 처리구에서 높았고, 후기에는 비슷한 수준이었다(Fig. 4). Zhang 등(2012)은 35°C의 고온 환경에서 토마토의 광합성률은 감소했지만 전분 함량이 증가했고, 이는 고온에 의해 결실 불량으로 착과수가 감소하여 광합성 산물의 sink 기관으로의 이동 감소 가능성을 제시하였다. 본 연구에서는 +5.7°C 처리구에서 착과수 감소는 없었지만 생육 중기 중경 비대량이 대조구와 +3.4°C 처리구보다 낮았던 결과로 보아 광합성 산물의 전류가 감소하여 잎의 전분 함량이 높았던 것으로 사료된다(데이터 미제공).

3. 잎 형태학적 변화

온도는 기공의 형태에 영향을 미치는 중요한 요인 중 하나이므로 온도 상승에 따른 기공 발달 변화를 알아보기 위하여 생

육 중기(5월 29일)의 잎 뒷면을 검경하였다(Fig. 5). 기공 밀도는 대조구 181 ea/mm²보다는 +3.4°C와 +5.7°C 처리구에서 각각 229, 223 ea/mm²로 높았다. 기공의 길이와 너비는 밀도와는 반대로 온도가 높을수록 감소하였다(Table 1). 장미에서 생육 적온(28/18°C)보다 7°C 상승시킨 고온 처리구에서 기공 밀도가 증가하고 길이는 감소했다는 결과와 유사하였다(Pandey 등, 2007). 또한 블루베리 ‘Brigitta’ 품종은 고온에서 기공 밀도가 증가하였고 길이와 너비는 감소하였지만, ‘Bluecrop’ 품종은 반대의 경향을 나타냈다(Hao 등, 2019). 따라서 잎의 형태학적 특성은 작목별, 품종별, 생육환경에 따라 변화하고, 식물체는 고온 스트레스 하에서 기공 밀도, 크기, 분배 등을 조절하여 내열성을 향상시킨다고 할 수 있다(Zheng 등, 2013). 또한 광합성률과 관련이 있는 기공 전도도와 증산율은 일반적으로 기공 빈도와 기공의 크기에 따라 달라진다고 하였다(Hetherington과 Woodward, 2003; Tanaka 등, 2013). 본 연구에서는 기공 밀도가 높았던 +3.4°C와 +5.7°C 처리구의 세포내 이산화탄소 농도가 대조구에 비해 높았지만 +5.7°C 처리구의 기공전도도는 다른 처리구에 비해 낮았다(Table 1). 따라서 +5.7°C의 온도 상승은 세포내 이산화탄소를 높이지만 기공전도도는 감소시켜 광합성률에 부정적인 영향을 주었을 것으로 판단된다.

4. 수체 생육 및 과실 품질

온도 상승에 따른 수체 생육 변화는 Table 2와 같다. 나무 직경 증가율은 +3.4°C 처리구에서 2.0mm으로 가장 높고, +5.7°C에서는 0.9mm로 가장 낮았다. 엽면적은 통계적 유의차가 없었으나, +3.4°C 처리구에서 수치상 33.2cm²로 가장 넓었다. 신초 수와 길이 모두 온도가 높을수록 많고, 증가하는 경향을 보여 기온 상승 처리한 사과나무의 신초 길이와 수는 대기 온도 처리구보다 높았다는 결과와 일치하였다(Ro 등, 2001; Kweon 등, 2013). 또한 포도에서 대기온도보다 4°C 상승시킨 처리구에서 신초 길이와 부초 발생량이 증가하여 온도와 영양생장 간에 양의 상관관계가 있다는 보고와도 같은 경향이 있었다(Son 등, 2014).

과실 품질 변화는 Table 3과 같다. 과실 수확기는 +5.7°C에서 6월 21일로 가장 빨랐고, +3.4°C에서 6월 24일, 대조구에서 7월 1일로 온도가 상승할수록 빨라졌다. 포도의 경우도 대조구보다 온도 상승구에서 수확일이 2일 빨라졌다는 결과와 일치하는 경향을 보였다(Son 등, 2014). 과중은 +3.4°C 처리구에서 149.9g으로 가장 무거웠고, +5.7°C에서는 121.1g으로 대조구 136.2g보다 오히려 감소하여, 나무당 수량은 +3.4°C 처리구(2,898g), 대조구(2,746g), +5.7°C 처리구(2,040g)

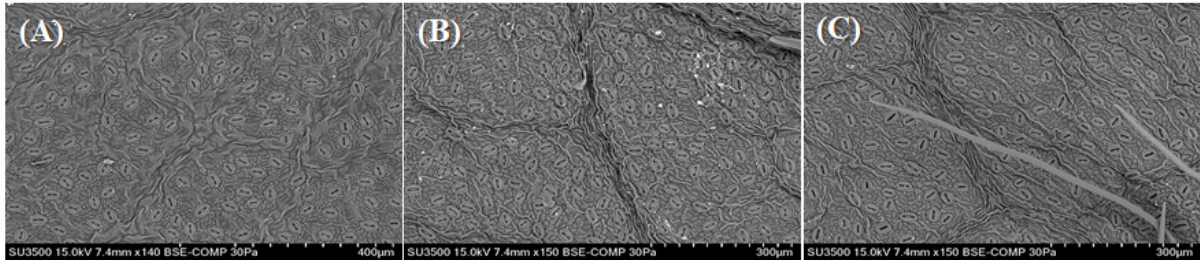


Fig. 5. Scanning Electron Micrographs (SEM) of abaxial leaf surface in peach ‘Mihong’ grown under different temperatures. (A), Control; (B), +3.4°C; (C), +5.7°C.

Table 1. Anatomical characteristics of stomata and photosynthetic characteristics of peach ‘Mihong’ under different temperature treatments.

Treatment	Anatomical characteristics			Photosynthetic characteristics		
	Stomatal density (ea/mm ²)	Length of stomata (μm)	Width of stomata (μm)	Photosynthetic rate (μmol·CO ₂ ·m ⁻² ·s ⁻¹)	Stomatal conductance (mol·H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹)	Ci (μmol·CO ₂ ·m ⁻² ·s ⁻¹)
Control	181 b ^z	38.92 a	28.88 a	14.3 a	0.308 a	282 a
+3.4°C	229 a	36.76 b	25.53 b	15.1 a	0.421 a	292 a
+5.7°C	223 a	33.83 c	24.34 b	12.2 a	0.262 a	372 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at *P*=0.05

Table 2. Characteristics of the tree growth under different temperatures in peach ‘Mihong’.

Treatment	TCA increase (mm)	Leaf area (cm ²)	Number of shoot per tree	Shoot length (cm)
Control	1.6 ab ^z	29.7 a	63.8 a	13.2 b
+3.4°C	2.0 a	33.2 a	78.2 a	12.8 b
+5.7°C	0.9 b	29.5 a	79.2 a	23.2 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at *P*=0.05

Table 3. Harvest dates and the fruit quality under different temperatures in peach ‘Mihong’.

Treatment	Harvest date	Yield per tree (g)	Fruit weight (g)	Fruit length (mm)	Fruit width (mm)	Firmness (N)	Soluble solids (°Bx)	Acidity (%)
Control	7.1.	2,746 b ^z	136.2 b	60.2 b	65.8 a	3.38 a	12.52 a	0.202 a
+3.4°C	6.24.	2,898 a	149.9 a	62.4 a	65.8 a	3.49 a	12.44 a	0.170 b
+5.7°C	6.21.	2,040 c	121.2 c	57.4 c	62.4 b	3.51 a	11.80 a	0.187 ab

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at *P*=0.05

순으로 높았다. 과실 종경은 과중과 같은 경향으로 +3.4°C 처리구에서 62.4mm로 대조구 60.2mm, +5.7°C 처리구 57.4mm 보다 크고, 횡경은 +3.4°C 처리구와 대조구에서 65.8mm로 +5.7°C 처리구의 62.4mm보다 높은 수치를 보였다. 이러한 결과는 앞에서 언급된 바와 같이 +3.4°C 처리구가 광합성 효율이 높고(Figs. 2, 3) 광합성 적정 온도 범위인 25-30°C의 환경에 가장 많이 노출된 반면, +5.7°C 처리구는 광합성 효율이 감소하는 30°C 이상의 환경에 노출된 시간이 많고 야간 고온

에 의한 호흡률 증가(Faust, 1989)가 원인이었을 것으로 판단된다. Song 등(2015)은 고추 재배 시 평년보다 2°C 상승시켰을 때, 과중이 증가하여 수확량이 1.8배 많아지고, 4°C 이상 증가하게 되면 수확량이 급격하게 감소한다고 하여 본 연구 결과와 유사한 결과를 보였다. 또한 Adams 등(2001)은 한계온도 범위 내에서 온도가 높을수록 세포 크기가 증가하여 과실 비대가 증가하고, 포도에서도 온도 상승에 따라 과실의 종경과 횡경이 증가하였다고 하였다(Son 등, 2014). 과실의 경도

는 처리간 차이가 없었고, 산 함량은 대조구에 비해 온도 상승구에서 낮은 경향을 보였다. 가용성 고형물 함량은 통계적으로 유의 차는 없었지만, 온도가 상승할수록 감소하는 경향을 보였다. 기존 기후변화 시나리오를 적용하여 과실품질을 조사한 연구에서 당도는 온도보다 CO₂ 상승과 높은 상관관계가 있다고 하였다(Han 등, 2012; Son 등, 2014). 복숭아에서 당도에 영향을 미치는 환경 조건을 찾기 위해 추후 CO₂ 단일 상승 처리에 따른 당도 변화에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다. 이상의 결과로 보아 신초수, 길이 등 수체생육은 대조구보다는 온도 처리구에서 왕성한 경향을 보였지만, +5.7°C 처리구에서는 오히려 대조구보다 수량 및 품질이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

5. 화아분화율

온도 상승에 따른 화아분화율을 조사한 결과는 Table 4와 같다. 화아와 엽아를 합한 총 눈수는 +3.4°C 처리구에서 850개로 가장 많았고, +5.7°C 처리구에서 587개로 가장 적었다. +5.7°C 처리구에서 눈의 분화가 가장 적은 것은 왕성한 영양생장으로 인해 눈으로의 양분 분배가 적었을 것으로 추정된다. 화아분화율은 대조구에서 63.8%, +3.4°C 처리구에서

65.8%, +5.7°C 처리구에서 59.8%로 처리별 통계적 유의차는 없었으나, +5.7°C 처리구에서 화아분화가 불량한 것을 확인하였다(Fig. 6). 복숭아 화아분화는 여름철부터 시작되어 다음해 봄까지 분화되지만 품종과 기상, 지형, 재배 방식 등 환경 조건에 따라 달라진다(Penso 등, 2020). 또한 화아분화 시기는 고온에 의해 빨라질 수 있지만 발달은 억제되므로(Shen 등, 1999) +5.7°C의 고온 처리에 의해 화아분화 시기가 빨라졌지만 발달은 억제되었을 것으로 추정된다. 그러나 온도 상승에 따른 화아분화 시기 변화에 관한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다. 또한 복숭아는 조기낙엽에 의해 눈의 발달이 장애를 받으며 화아 형성이 감소될 수 있고(Lloyd와 Couvillon, 1974), 키위에서도 인위적 적엽 처리를 하였을 때 착화율이 크게 감소되었다(Kwack, 2013). 따라서 6월 하순, +5.7°C 처리구에서 고온과 잎의 황백화, 조기 낙엽 발생이 화아분화율 감소에 영향을 준 것이라고 판단할 수 있다.

이상의 결과들을 종합하면 온도 상승에 따라 복숭아 ‘미홍’의 수체 생육은 왕성해지고 수확기가 빨라졌지만, 과실 품질 중 과중 및 크기는 +3.4°C 처리구에서 증가되었고, +5.7°C 처리구에서는 오히려 대조구보다 감소하여 5.7°C의 온도 상승에 의해 수량이 감소된 결과를 보였다. 그러나 본 연구는 단기 간의 생육기 온도 상승에 대한 수체 반응을 분석한 것이므로

Table 4. The number of flower and leaf bud in peach ‘Mihong’ under different temperature treatments.

Treatment	Flower bud (ea)	Leaf bud (ea)	Total bud (ea)	Flower/Total bud (%)
Control	435 ab ^Z	247 a	682 ab	63.8 a
+3.4°C	559 a	291 a	850 a	65.8 a
+5.7°C	352 b	235 a	587 b	59.8 a

^ZMean separation within columns by Duncan’s multiple range test at $P=0.05$



Fig. 6. Flowering of peach trees grown under different temperatures on April 10 in 2020. Left, Control; Middle, +3.4°C; Right, +5.7°C.

장기적인 환경 변화에 대한 영년생 과수의 반응이라고 단정지을 수는 없다. 따라서 전생육기 동안의 온도 상승에 반응하는 수체 변화에 대한 지속적인 연구가 필요하다고 판단되었다.

적 요

본 연구는 온도 상승에 따른 복숭아 ‘미홍’의 수체생육 및 생리반응에 미치는 영향을 알아보고자 수행되었다. 전주시 평년 온도를 대조구로 하여 평년 대비 +3.4°C(21C 중반기), +5.7°C(21C 후반기) 상승시켜 자연광온실에서 4월 25일부터 7월 5일까지 처리하였다. 수체 생육은 신초 수와 길이가 온도 상승에 따라 증가하였고, 엽면적은 통계적 유의차는 없었다. 수확기는 대조구, +3.4°C 처리구, +5.7°C 처리구에서 각각 7월 1일, 6월 24일, 21일로 온도가 높을수록 빨라졌다. 과중은 평년보다 3.4°C 상승하였을 때 증가하였지만 5.7°C까지 상승할 경우 오히려 평년보다 감소하여, 주당 수량은 +3.4°C 처리구(2,898g), 대조구(2,746g), +5.7°C 처리구(2,404g) 순으로 많았다. 이는 과실 생육기인 5월부터 6월 초까지의 평균 최대광합성률이 +3.4°C 처리구에서 14.93 $\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 으로 대조구 13.79 $\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 와 +5.7°C 처리구의 13.20 $\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에 비해 높았고, 기공의 밀도 또한 +3.4°C 처리구에서 229 ea/mm²로 대조구 181 ea/mm²에 비해 높았던 결과와도 관련이 있는 것으로 판단된다. 다음해 수량에 영향을 미치는 화아분화율은 +5.7°C 처리구에서 59.8%로 대조구 63.8%, +3.4°C 처리구 65.8%보다 감소하였다. 이상의 결과를 종합해보면 3.4°C까지의 온도 상승은 복숭아 ‘미홍’의 수량과 과실 품질에 긍정적인 영향을 주는 반면 5.7°C 이상의 온도 상승은 부정적인 영향을 주는 것으로 판단된다.

추가 주제어: 기후변화, 광합성, 기공 밀도, 수확기

사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01358602)의 지원에 의해 수행되었음

Literature Cited

- Adams, S.R., K.E. Cokshull, and C.R.J. Cave. 2001. Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. *Ann. Bot.* 88:869-877.
- Albert, K.R., H. Ro-Poulsen, T.N. Mikkelsen, A. Michelsen, L. Linden, and C. Beier. 2011. Interactive effects of elevated CO₂, warming, and drought on photosynthesis of *Deschampsia flexuosa* in a temperate heath ecosystem. *J. Exp. Bot.* 62: 4253-4266.
- Chalmers, D.J., R.L. Canterford, P.H. Jerie, T.R. Jones, and T.D. Ugalde. 1975. Photosynthesis in relation to growth and distribution of fruit in peach trees. *Aust. J. Plant Physiol.* 2:635-645.
- Crews, C.E., S.L. Williams, and H.M. Vines. 1975. Characteristics of photosynthesis in peach leaves. *Planta* 126:97-104.
- Faust, M. 1989. Physiology of temperate zone fruit trees. John Wiley & Sons, Inc., New York. USA. p. 212-215.
- Fujii, J.A. and R.A. Kennedy. 1985. Seasonal changes in the photosynthetic rate in apple tree: a comparison between fruiting and nonfruiting tree. *Plant Physiol.* 78:519-524.
- Han, J.H., J.G. Cho, I.C. Son, S.H. Kim, I.B. Lee, I.M. Choi, and D.E. Kim. 2012. Effects of elevated carbon dioxide and temperature on photosynthesis and fruit characteristics of ‘Niitaka’ pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai). *Hort. Environ. Biotechnol.* 53:357-361.
- Hao, L., L. Guo, R. Li, Y. Cheng, L. Huang, H. Zhou, M. Xu, F. Li, X. Zhang, and Y. Zheng. 2019. Responses of photosynthesis to high temperature stress associated with changes in leaf structure and biochemistry of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Sci. Hortic.* 246:251-264.
- Harding, S.A., J.A. Guikema, and G.M. Paulsen. 1990. Photosynthetic decline from high temperature stress during maturation of wheat. *Plant Physiol.* 92:648-653.
- Hetherington, A.M., and F.I. Woodward. 2003. The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature* 424:901-908.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2012. Climate change report. Seoul, Korea. p. 70.
- Kwack, Y.B. 2013. Effect of early defoliation on flower bud formation, nonstructural carbohydrate accumulation, and fruit quality in kiwifruit. PhD Diss., Gyeongsang Nat. Univ., Jinju, Korea. 33-67 (in Korean).
- Kweon, H.J., D.H. Sagong, M.Y. Park., Y.Y. Song, K.H. Chung, J.C. Nam, J.H. Han, and K.R. Do. 2013. Influence of elevated CO₂ and air temperature on photosynthesis, shoot growth, and fruit quality of ‘Fuji’/M.9 apple tree. *Kor. J. Agric. For. Meteor.* 15:245-263 (in Korean).
- Kwon, Y.H., J.M. Lee, H.H. Han, S.H. Ryu, J.H. Jeong, G.R. Do, J.H. Han, H.C. Lee, and H.S. Park. 2016. Physiological responses for soil water stresses in ‘Mihong’ peach tree. *Protected Hort. Plant Fac.* 25:255-261 (in Korean).
- Li, Y., L.R. Wang, G.R. Zhu, W.C. Fang, K. Cao, C.W. Chen, X.W. Wang, and X.L. Wang. 2016. Phenological response of peach to climate change exhibits a relatively dramatic trend in China, 1983-2012. *Sci. Hortic.* 209:192-200.
- Lloyd, D.A., and G.A. Couvillon. 1974. Effects of the date of defoliation on flowers and leaf bud development in peach (*Prunus persica* L. Datsch). *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99: 514-517.

- Oh, S.J., K.H. Moon, I.C. Son, E.Y. Song, Y.E. Moon, and S.C. Koh. 2014. Growth, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of chinese cabbage in response to high temperature. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 32:318-329 (in Korean).
- Pandey, R., P.M. Chacko, M.L. Choudhary, K.V. Prasad, and M. Pal. 2007. Higher than optimum temperature under CO₂ enrichment influences stomata anatomical characters in rose(*Rosa hybrida*). *Sci. Hortic.* 113:74-81.
- Penso, G.A., I. Citadin, S. Scariotto, C.E. Santos, A.W. Junior, C.H. Bruckner, and J. Rodrigo. 2020. Development of peach flower buds under low winter chilling conditions. *Agronomy* 10:428-448.
- Ro, H.M., P.G. Kim, I.B. Lee, M.S. Yiem, and S.Y. Woo. 2001. Photosynthetic characteristics and growth responses of dwarf apple (*Malus Domestica* Borkh. cv. Fuji) saplings after 3 years of exposure to elevated atmospheric carbon dioxide concentration and temperature. *Trees* 15:195-203.
- Shen, Y.Y., J.X. Guo, C.L. Liu, and K.G. Jia. 1999. Effect of temperature on the development of peach flower organs. *Acta Hortic. Sinica* 26:1-6.
- Son, I.C., J.W. Han, J.G. Cho, S.H. Kim, E.H. Chang, S.I. Oh, K.H. Moon, and I.M. Choi. 2014. Effect of the elevated temperature and carbon dioxide on vine growth and fruit quality of 'Campbell Early' grapevines (*Vitis labruscana*). *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 33:781-787 (in Korean).
- Song, E.Y., K.H. Moon, I.C. Son, S.H. Wi, C.H. Kim, C.K. Lim, and S.J. Oh. 2015. Impact of elevating temperature based on climate change scenarios on growth and fruit quality of red pepper (*Capsicum annuum* L.). *Kor. J. Agric. For. Meteor.* 17: 248-253 (in Korean).
- Tanaka, Y., S.S. Sugano, T. Shimada, and I.H. Nishimura. 2013. Enhancement of leaf photosynthetic capacity through increased stomatal density in Arabidopsis. *New Phytologist* 198:727-764.
- WMO (World Meteorological Organization). 2019. The Global Climate in 2015-2019. Geneva, Switzerland. p. 5.
- Yoon, I.K., S.K. Yun, J.H. Jun, E.Y. Nam, J.H. Kwon, H.J. Bae, B.W. Moon, and H.K. Kang. 2013. Analysis on the leaf growth and changes of photosynthetic characterization by leaf position in 'Changhowon Hwangdo' peach. *Protected Hort. Plant Fac.* 22:361-365 (in Korean).
- Zhang, J., X. Jiang, T. Li, and T. Chang. 2012. Effect of elevated temperature stress on the production and metabolism of photosynthate in tomato(*Lycopersicon esculentum* L.) leaves. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 87:293-298.
- Zheng, Y., M. Xu, R. Shen, and S. Qiu. 2013. Effects of artificial warming on the structural, physiological, and biochemical changes of maize (*Zea mays* L.) leaves in northern China. *Acta Physiol. Plant* 35:2891-2904.