

야간 적색 LED 처리가 'Fuji'/M.26 사과나무의 광합성, 영양생장 및 과실 품질에 미치는 영향

권헌중¹ · 박무용¹ · 송양익¹ · 강석범² · 사공동훈^{3,4*}

¹국립원예특작과학원 사과연구소, ²국립원예특작과학원 감귤연구소, ³대구대학교 원예학과, ⁴대구대학교 생명환경연구소

Influence of Red LED Treatment on Photosynthesis, Vegetative Growth and Fruit Quality in 'Fuji'/M.26 Apple Trees during Night

Hun-Joong, Kweon¹, Moo-Yong Park¹, Yang-Yik Song¹, Seok-Beom Kang², and Dong-Hoon Sagong^{3,4*}

¹Apple Research Institute, National Institute of Horticulture and Herbal Science, Rural Development Administration, Gunwi 716-812, Korea

²Citrus Research Institute, National Institute of Horticulture and Herbal Science, Rural Development Administration, Seogwipo, 699-946, Korea

³Department of Horticulture, Daegu University, Gyeongsan 712-714, Korea

⁴Institute of Life and Environment, Daegu University, Gyeongsan 712-714, Korea

Abstract. This study was conducted to find out the influence of red LED (Light Emitting Diode) lighting on the photosynthesis, vegetative growth and fruit quality of 'Fuji'/M.26 adult apple tree during night after sunset. The photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration rate at daytime of red LED treatments was not different to those of the control. However, the stomatal conductance and transpiration rate at the nighttime of red LED treatments were lower than those of the control, and the red LED lighting during night after sunset was not induce to photosynthesize at nighttime. In the leaf characteristics, the red LED lighting seemed to increase leaf area and C/N ratio, but decrease SPAD value. The bourse shoot length of the red LED treatments was shorter than that of the control. In the fruit quality, the red LED lighting seemed to increase ethylene production, respiration rate, soluble solid content and fruit red color, and especially the fruit red color tend to increase as the red LED lighting time was longer. In conclusion, the red LED lighting during night after sunset of 'Fuji'/M.26 apple tree promoted the fruit maturation.

Additional key words : ethylene production, fruit red color, leaf characteristics, *Malus domestica* Borkh., stomatal conductance

서 론

우리나라의 봄, 가을 광 환경은 여러 원예작물 재배에 충분하지만 여름철 장마기간에는 일조부족으로 광합성을 충분하게 하지 못하고 있다(Bang과 Kim, 2012; Choi 등, 2013). '후지'/M.9 사과나무의 경우, 8월경 장마기 흐린 날(일 최대광량: $400\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)의 하루 평균 광합성속도는 7월경 화창한 날(일 최대광량: $1,800\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)의 50% 정도 밖에 되지 않았다고 한다(Kweon 등, 2013). 이러한 여름철 장마기의 열악한 광 환경 극복을 위해 최근 시설재배를 하는 과채류 및 화훼류에서는 LED(Light Emitting Diode) 광시스템을 이용하고 있지만(An 등,

2011; Choi 등, 2012; Heo 등, 2010; Kim과 You, 2013), 노지재배를 하고 있는 과수류에서는 LED 광시스템을 거의 이용하고 있지 않다.

고등식물의 에틸렌 합성은 광의 유무 및 광질에 크게 영향을 받는데, 이에 대한 연구 결과는 연구자에 따라 많은 차이를 나타낸다. 그 결과를 보면, Kim 등(1995)은 광은 식물의 종에 따라 에틸렌 함량을 증가도 시키고 감소도 시킨다고 한 반면에, Byun 등(2006)은 대부분의 녹색식물에서 에틸렌 발생은 광 조건에서 억제된다고 하였고, Heo 등(2009)은 아프리카인 매리골드나 샬비아에 적색 LED 광을 조사하면 광합성속도가 증진되면서 식물체 내의 에틸렌 발생량이 증가한다고 하였다. 즉, 사과나무에 있어 에틸렌은 과실의 품질, 수확시기 및 저장기간 결정에 중요한 요소인데(Kim 등, 2006), 현재 국내에서는 광질과 사과나무의 광합성활동 및 에틸렌 합성과의

*Corresponding author: sa0316@daegu.ac.kr
Received January 4, 2016; Revised February 29, 2016;
Accepted January 29, 2016

관계를 구명한 연구가 거의 없다.

최근 지구온난화에 따른 이상기상 현상이 갈수록 심화되고 있는 가운데 열악한 광환경의 극복은 사과나무의 생육증대는 물론 고품질 과실 생산에 있어서도 매우 중요한 역할을 할 수 있다고 생각한다. 특히, 사과나무의 경우 여름철 장마에 의한 일조부족은 과실 내 동화산물 축적을 저하시켜 과실품질을 불량하게 할 수 있으므로 (Kweon 등, 2013), LED 처리는 이러한 문제점을 해결할 수 있는 좋은 방법이 될 수 있다고 생각한다.

따라서 본 시험은 ‘후지’/M.26 사과나무를 대상으로 노지에서 야간에 적색 LED 보광 처리를 통하여 수체의 광합성, 영양생장 및 과실품질에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료 및 방법

본 시험은 2012년에 경북 군위군 소보면 소재 국립원예특작과학원 사과연구소에 4.0×1.5m(167주/10a)로 재식되어 있는 수고 3.0m인 12년생 세장방추형 ‘후지’/M.26 사과나무를 대상으로 하여 실시하였다.

광원은 광파장이 660nm인 적색 LED(20LED/PCB, BLTECH, Korea)를 이용하였고, 광원이 사과나무의 선단에서 1m 이내에 위치할 수 있도록 4m 높이의 개별지주 최상단에 LED를 설치하였다. LED가 설치된 4m 높이의 개별지주는 나무 사이에 하나씩, 즉 3나무에 LED가 설치된 지주가 2개씩 배치되도록 하였다. 일몰 후 LED 보광기간은 사과나무의 신초생장 1차 정지기(6월 중순부터 7월 중순까지)와 과실의 성숙기(9월말부터 10월말까지)로, 각각 1개월간 처리하였다.

처리구는 적색 LED 2시간 처리구와 4시간 처리구 외에 야간에 보광을 하지 않은 무처리구를 두었다. LED의 점등과 소등은 타이머를 이용하여, 점등은 19시에, 소등은 21시와 23시에 되도록 조절하였다. 시험구는 1주 1반복으로 하여 3반복으로 실시하였다.

2. 주야간 광합성능력

야간 광합성능력은 6월 20일에, 주간 광합성능력은 7월 16일에 조사하였다. 6월 20일 야간 광합성능력은 나무별로 지표면에서 1.5m 높이에 위치한 1개의 과대지를 미리 선정한 뒤, 자연광 챔버(Sun Sky, Li-COR, USA)가 부착된 광합성 측정기(LI-6400, LI-COR, USA)로 과대지 중간 부위 잎을 대상으로 19시부터 22시까지 1시간 간격으로 3회 조사하였다. 광합성 측정 시 CO₂ 농도 조절은 매시간 LI-6400의 CO₂ 농도 조절 밸브를 완전히 열어 측정된 노지 대기의 CO₂ 농도를 매시간 LI-6400에

대입하였다. 광원의 야간 광량은 매시간 적색 LED 광원으로부터 1m 아래 부근(수고 3m 부위)에서 휴대용 광량 측정기(Field scout, Spectrum, USA)로 측정하였다.

이에 반해 7월 16일 주간 광합성능력은 야간 광합성능력을 조사한 잎을 대상으로 하여, 인공광 챔버(Red/Blue LED internal light source, Li-COR, USA)가 부착된 광합성 측정기를 이용하여 10시부터 14시까지 1시간 간격으로 4회 조사하였다. 광합성 측정 시 광량 조절은 매시간 휴대용 광량 측정기로 측정된 지면에서 1.5m 높이의 노지 광량을 LI-6400의 인공광 챔버에 매시간 대입하였다. 광합성 측정 시 CO₂ 농도 조절은 야간 광합성 조사와 동일하게 하였다.

3. 잎의 특성 및 신초생장

잎의 특성은 8월 11일에 나무 별로 정단신초 중간부위에 위치한 잎을 30매씩 채취하여 분석하였다.

조사항목은 잎의 엽록소지수(SPAD), 엽면적, 및 C/N율로, 잎의 엽록소지수는 간이 엽록소 측정기(SPAD-502, Minolta, Japan)를, 엽면적은 엽면적 기계(LI3100, MEIWA, USA)를 이용하여 조사하였다. C/N율은 시험구 별로 엽록소지수 및 엽면적을 조사한 잎을 80°C 온풍기(VS-120204, Vision, Korea)에서 3일 정도 건조시킨 후 분쇄하여 원소분석기(Vario Max CNS, Elementar, Germany)로 분석하였다.

시기별 과대지 길이 조사는 지표면에서 1.3-1.5m 높이에 위치한 과대지를 나무별로 5개씩 선정한 뒤 6월부터 10월말까지 2주 간격으로 조사하였다.

4. 과실품질, 에틸렌 발생량 및 호흡속도

과실은 10월말에 전량 수확하여 조사하였다. 과중은 나무 별로 과실을 전수 조사하였고, 착색 정도, 가용성 고형물 함량 및 산 함량은 나무 별로 10과씩 무작위로 선별하여 조사하였다.

착색 정도는 색차계(Chroma meter CR-400, Konica minolta, Japan)를 사용하여 각각의 과실을 3부분(양광면, 음광면, 중간부분)의 평균값을 Hunter a value로 표시하였다. 가용성 고형물 함량은 2과씩 과실을 분쇄하여 착즙한 후 110mm 거름종이(Filter paper, Advantec, Japan)로 걸러 디지털당도계(PR-100, Atago, Japan)로 측정하였고, 산 함량은 과즙 5mL를 증류수 20mL로 희석한 후 0.1N NaOH로 적정하여 pH 8.1이 되는 점의 적정치를 사과산으로 환산하였다.

과실의 에틸렌 발생량 및 호흡속도는 과실 수확 하루 전에 나무 별로 수고 상단부(수고 2.0-2.5m)의 과실을 처리 당 6개, 총 18개 과실을 채취하여 과중을 측정하고 이들 과실을 각각 1.0L 밀폐용기에 1개씩 넣어 실온에서

2시간 방치하였다. 이후 1mL 주사기로 밀폐용기 head space에서 가스 1mL씩 2개 채취한 뒤 1개는 FID(flame ionization detector)를 장착한 Gas Chromatography(HP6890, Hewlett-Packard, USA)로 에틸렌 발생량을 조사하였고, 나머지는 한 개는 TCD(thermal conductivity detector)를 장착한 동일 규격의 GC(6890N, Agilent Technol., USA)로 호흡속도를 조사하였다. 분석조건은 Porapak Q(80/100 2m, Agilent Technol., USA) column을 이용하여 injector temperature, oven temperature, detector temperature를 각각 100°C, 80°C, 200°C로 설정하였다. carrier gas는 He를 사용하였다.

결 과

1. 주야간 광합성능력

2012년 6월 19일경 처리구들의 야간 광합성속도는 $-0.57\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 부터 $-0.81\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 까지로 차이가 없었다. 그러나 기공전도도는 적색 LED 처리구들이 $0.009\text{--}0.011\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 정도로, 무처리구의 $0.013\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 보다 유의하게 낮았고, 증산속도 역시 적색 LED 처리구들이 $0.12\text{--}0.13\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 정도로, 무처리구의 $0.17\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 보다 유의하게 낮았다. 그러나 2012년 7월 16일경 처리구들의 주간 광합성속도는 $16.4\text{--}16.8\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 정도, 기공전도도는 $0.416\text{--}0.447\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 정도, 증산속도는 $3.63\text{--}3.81\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 정도로 처리구간에 차이가 없었다(Table 1).

2. 잎의 특성 및 신초생장

8월경 적색 LED 처리구들의 엽록체지수(SPAD 값)는 53.8-55.5 정도로 무처리구의 56.8보다 낮은 경향이 있었다. 그러나 평균 엽면적은 적색 LED 처리구들이 38.9-

43.4cm² 정도로 무처리구의 33.3cm²보다 유의하게 높았고, C/N을 역시 적색 LED 처리구들이 26.1-26.6 정도로 무처리구의 23.2cm보다 유의하게 높았다. 적색 LED 보광 처리시간 별로는 처리시간이 길수록 엽록체지수는 낮아지지만 평균 엽면적과 C/N율은 반대로 높아지는 경향이 있었다(Table 2).

과대지의 생장 양상을 살펴보면, 6월 2일경 처리구들의 과대지는 23.3-25.3cm 정도로 6월 16일까지는 처리구간에 차이가 없었으나, 적색 LED 보광 처리 2주 후인 6월 30일부터 무처리구가 적색 LED 처리구보다 10-15cm 정도 유의하게 길어지기 시작하였다. 10월 20일경 무처리구의 과대지 길이는 57.8cm 정도로 적색 LED 처리구들의 35.8-40.5cm보다 20cm 정도 더 길었다(Fig. 1).

3. 과실품질, 에틸렌 발생량 및 호흡속도

적색 LED 보광 처리에 따른 과실품질에 있어, 과중 및 산 함량은 모든 처리구가 각각 337-344g, 0.34-0.37% 정도로 처리구간에 차이가 없었다. 그러나 가용성 고형물 함량은 적색 LED 처리구들이 13.1-13.6°Brix 정도로 무처리구의 12.7°Brix보다 높은 경향이 있었고, 착

Table 2. Leaf SPAD value, average leaf area, C/N ratio of 'Fuji'/M.26 apple tree under the different red LED lighting condition at night in 2012.

Treatments	Leaf SPAD value	Avg. leaf area (cm ²)	C/N ratio
Red LED - 2 hr	55.5 ab ^z	38.9 a	26.1 a
Red LED - 4 hr	53.8 b	43.4 a	26.6 a
Control	56.8 a	33.3 b	23.2 b

^zMeans followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $P=0.05$.

Table 1. Photosynthetic rate, stomatal conductance, and transpiration rate at day and night on 'Fuji'/M.26 apple tree under the different red LED lighting condition at night in 2012.

Treatments	Photosynthetic rate ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Stomatal conductance ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Transpiration rate ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
19 June ^z (night, from 19:00 to 22:00)			
Red LED - 2 hr	-0.74 a ^x	0.011 b	0.13 b
Red LED - 4 hr	-0.57 a	0.009 b	0.12 b
Control	-0.81 a	0.013 a	0.17 a
16 July ^y (day, from 10:00 to 14:00)			
Red LED - 2 hr	16.5 a ^x	0.416 a	3.73 a
Red LED - 4 hr	16.4 a	0.447 a	3.81 a
Control	16.8 a	0.429 a	3.63 a

^z Average of air temperature was 25.7°C, light intensity located under 1m from red-LED source was $7.3\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, and CO₂ concentration was $410\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$.

^y Average of air temperature was 30.5°C, light intensity of field was $725\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, and CO₂ concentration was $393\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$.

^x Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $P=0.05$.

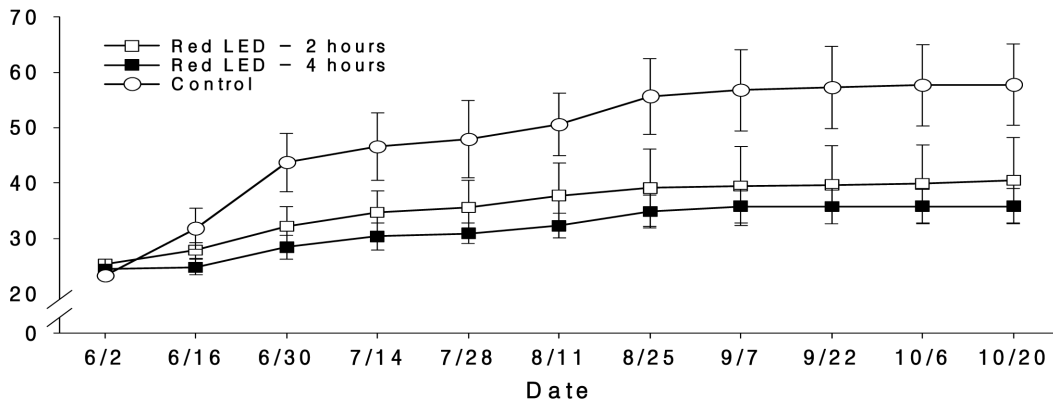


Fig. 1. Seasonal change of bourse shoot length of 'Fuji'/M.26 apple tree under the different red LED lighting condition at night in 2012. Vertical bars indicate standard errors.

Table 3. Fruit quality, ethylene production and respiration rates of 'Fuji' apple under the different red LED lighting condition at night in 2012.

Treatments	Fruit weight (g)	SSC (°Brix)	Titrateable acidity (%)	Fruit red color (Hunter a value)	Ethylene production ($\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	Respiration rate ($\text{CO}_2 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
Red LED - 2 hr	344 a ²	13.6 a	0.37 a	16.5 b	2.12 a	7.92 a
Red LED - 4 hr	328 a	13.1 ab	0.34 a	17.6 a	1.94 ab	6.71 a
Control	337 a	12.7 b	0.36 a	16.1 b	0.33 b	4.13 b

² Means followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test, $P=0.05$.

색 정도 역시 적색 LED 처리구가 16.5-17.6 정도로 무처리구의 16.1보다 높은 경향이 있었다. 에틸렌 발생량은 적색 LED 처리구가 1.94-2.12 $\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 정도로, 무처리구의 0.33 $\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 대비 6배 정도 더 높았다. 호흡속도는 적색 LED 처리구가 6.71-7.92 $\text{CO}_2 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 정도로, 무처리구의 4.13 $\text{CO}_2 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 대비 1.5-1.9배 정도 더 높았다(Table 3).

고찰

일반적으로 식물체에 적색광을 조사하면 광합성이 촉진된다고 알려져 있다(Chae 등, 2006; Heo 등, 2009; Kim and You, 2013). Song과 Song(2012)은 실내에 관엽식물을 키우면 광 조건이 불량하여 식물이 정상적인 광합성을 할 수 없게 되어 고사되지만, 광도가 현저히 낮은 실내조건에서 LED 광을 이용하면 식물의 생존율이 높아진다고 하였다. 그러나 본 시험에서는 야간 기공전도도 및 증산속도만 적색 LED 처리구가 무처리구보다 낮았을 뿐, 야간 광합성속도 및 주간 광합성능력(광합성속도, 기공전도도, 증산속도)는 처리구간에 차이가 없었다(Table 1). 본 시험에서 적색 LED 처리구들이 야간에 광합성을 하지 않았던 것(Table 1)은 사과나무 잎의 광보상점은 25-30 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 정도(Kweon 등, 2013; Tromp, 2005)인데, 본 시험에서 야간 광합성능력 측정

시 적색 LED 광원으로부터 1m 하단 부위(수고 3m 부위)에서 측정된 광량이 7.3 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 정도(Table 1) 밖에 되지 않았기 때문으로 생각되었다.

식물의 기공은 광이 조사되면 열리고 어두우면 닫히며(Byun 등, 2006), 식물이 수분스트레스를 받으면 체내 에틸렌과 ABA의 함량이 증가하면서 기공이 닫히는데(Chae 등, 2006; Kim 등, 1995; Lakso, 2003), Heo 등(2009)은 적색 LED 광은 에틸렌 합성을 촉진시키는 경향이 있다고 하였다. 본 연구 역시 적색 LED 처리구의 과실 에틸렌 발생량은 야간에 보광을 하지 않은 무처리구보다 6배 정도 더 높았다(Table 3). 즉, 본 시험에서 적색 LED 처리구들의 야간 기공전도도 및 증산속도가 무처리구보다 오히려 낮아졌던 것(Table 1)은 적색 LED 광에 의해 체내에 발생된 에틸렌이 ABA 발생을 유도하였기 때문(Byun 등, 2006; Kim 등, 1995)으로 생각되었다.

적색광은 엽록소 형성 및 잎의 생체중과 면적 증대에 효과적이며(Chae 등, 2006; Heo 등, 2010; Kang 등, 2013), 환경 스트레스에 의해 식물체 내 에틸렌 발생이 증가하면 잎의 생장이 억제된다는 사실은 잘 알려져 있다(Kim 등, 1995). 그러나 본 시험에서는 적색 LED 처리구들의 엽록체지수는 무처리구보다 낮은 경향이 있었고, 엽면적은 반대로 적색 LED 처리구가 무처리구보다 높았다(Table 2). 본 시험에서 적색 LED 처리구의 엽록체지수가 무처리구보다 낮았던 것(Table 2)은 장시간의 야간

적색 LED 보광에 의해 많아진 에틸렌(Table 3)이 밤 동안 식물의 성숙 및 노화를 유도하여 탈녹(degreening)을 유도하였기 때문(Byun 등, 2006; Chae 등, 2006; Kim 등, 1995; 2006)으로 판단되었다.

또한, 본 시험에서 에틸렌 발생이 많았던 적색 LED 처리구의 엽면적이 무처리구보다 높았던 것(Tables 2 and 3)은 일몰 후 LED 보광에 의해 상승된 엽온은 꽃이나 과실로의 동화산물 이동을 감소시키고 잎의 전분 축적을 유도한다는 보고(An 등, 2011) 및 적색 LED 처리구의 C/N율이 무처리구보다 높았던 본 시험의 결과(Table 2)를 미루어 보아, 적색 LED 보광처리에 따른 잎 내 전분 축적에 의한 엽면적 증대 정도가 에틸렌에 의한 엽면적 감소 정도보다 더 컸기 때문으로 추정되었다. 즉, 본 시험에서 적색 LED 처리구들의 주간 광합성 능력이 무처리구와 통계적인 차이는 없었지만 무처리구보다 다소 낮았던 것(Table 1)은 적색 LED 보광처리에 의한 엽록소 감소 및 엽내 전분 함량 축적 증가(Table 2)가 영향을 주었기 때문이거나 혹은 저녁 동안 적색 LED 보광처리에 의해 발생된 에틸렌이 낮 동안의 광합성 활동에 의해 소거되었기 때문(Heo 등, 2009)으로 생각되었다.

일반적으로 적색 LED 처리는 식물의 줄기, 절간 및 초장신장을 촉진시킨다고 알려져 있다(An 등, 2011; Cho 등, 2008; Poudel, 2008). 그러나 Hahn 등(2000)은 적색광 처리 시 도장지가 나타날 확률이 높아 식물체가 연약하게 성장하는 단점이 있다고 하였으며, Kim과 Moon(2006)은 줄기의 성장에 미치는 광질의 효과는 작물의 종류(초본류, 과채류 등)에 따라 매우 다르게 나타난다는 등, 적색 LED 처리에 따른 식물의 영양생장에 대한 연구결과는 연구자에 따라 다소 차이를 보였다. 본 시험에서는 적색 LED 처리구의 과대지 길이가 무처리구보다 오히려 짧았는데(Fig. 1), 이는 신초생장(1차 생장) 정지기의 적색 LED 보광에 의해 유도된 에틸렌(Table 3)이 과대지의 2차 생장을 억제시켰기 때문(Chae 등, 2006; Kim 등, 1995; 2006)으로 생각되었다.

한편, 과실 내 에틸렌 발생량이 증가하기 시작하면 과실의 비대생장은 둔화되기 시작하면서 과실의 성숙 및 후숙이 촉진되는데(Kim 등, 1995; 2006), 식물에 적색 LED 광을 처리하면 안토시아닌 형성 및 가용성 고형물 함량이 촉진되면서, 산 함량은 반대로 감소되는 후숙 효과가 나타난다는 보고(Baek 등, 2010; Zhou와 Singh, 2002)가 있다. 본 시험에서는 에틸렌 발생량이 높았던 적색 LED 처리구들의 과중은 무처리구와 차이가 없었지만 과실의 성숙은 적색 LED 처리구들이 무처리구보다 더 촉진되어 있었다(Table 3).

이상의 결과를 종합해보면, 밤 동안 사과나무에 적색

LED를 보광처리 할 경우 기대했던 주야간 광합성활동 증진 효과는 없었지만(Table 1), 체내 에틸렌 발생량이 증가하여(Table 3), 신초생장이 억제되면서(Fig. 1), 가용성 고형물 함량 및 착색 정도가 증진되는 과실의 성숙 촉진 효과가 나타났다(Table 3). 또한, 적색 LED 보광시간이 길수록 과대지 길이가 짧아지면서 착색 정도가 뚜렷하게 증진되는 경향을 보였다(Fig. 1; Table 3). 즉, 사과나무에 있어 야간 적색 LED 보광처리는 수확 시 과실품질을 향상시킬 수 있는 좋은 방법이라고 할 수 있지만 적색 LED 보광처리에 따른 에틸렌 발생 증가는 과실의 저장력을 감소시킬 수 있으므로(Kim 등, 1995), 향후 적색 LED 보광 처리에 따른 사과 과실의 저장력에 대한 검증 시험이 필요하다고 생각되었다.

적 요

본 실험은 일몰 후 밤 동안의 적색 LED(light emitting diode) 처리가 성목기 '후지'/M.26 사과나무의 광합성, 영양생장 및 과실품질에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다. 적색 LED 처리구의 주간 광합성속도, 기공전도도 및 증산속도는 무처리구와 차이가 없었다. 그러나 적색 LED 처리구의 야간 기공전도도와 증산속도는 무처리구보다 낮았고, 일몰 후 밤 동안의 적색 LED 처리는 야간 광합성을 유도하지 않았다. 잎의 특성에 있어서는, 적색 LED 처리는 잎의 면적과 C/N율을 증가시켰으나 잎의 SPAD값은 감소시켰다. 과대지의 길이는 적색 LED 처리구가 무처리구보다 짧았다. 과실의 특성에 있어서는 적색 LED 처리는 과실의 에틸렌 발생량, 호흡속도, 가용성 고형물 함량 및 착색 정도를 증진시켰는데, 특히 착색 정도는 적색 LED 처리시간이 길수록 증가되었다. 결론적으로, '후지'/M.26 사과나무의 일몰 후 야간 적색 LED 처리는 과실의 성숙을 촉진하였다.

추가 주제어 : 기공전도도, 엽의 특성, 에틸렌 발생량, 착색 정도, *Malus domestica* Borkh.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 국립원예특작과학원 공동연구개발사업(과제번호:PJ0076882012)의 지원에 의해 이루어진 것이다.

Literature cited

An, C.G. Y.H. Hwang, J.U. An, H.S. Yoon, Y.H. Chang, G.M. Shon, and S.J. Hwang. 2011. Effect of LEDs (Light Emit-

- ting Diodes) irradiation on growth of paprika (*Capsicum annum* 'Cupra'). *Protected Horticulture and Plant Factory*. 20(4):253-257.
- Baek, K.H., M.H. Jang, Y.B. Kwack, S.W. Lee, and H.K. Yun. 2010. Regulation of acid contents in kiwifruit irradiated by various wavelength of light emitting diode during postharvest storage. *Clean Technology*. 16(2):88-94.
- Bang, G.W. and Y.H. Kim. 2012. LED for plant growth regulators for the study of light on the device. *Journal of Digital Convergence*. 10(7):267-272.
- Byun, J.Y., S.S. Lee, K.S. Choi, and S.M., Kang. 2006. Plant physiology. Hyangmoonsha Press. Seoul. p. 58-63, 337-344, and 446-453.
- Chae, J.C., S.J. Park, B.H. Kang, S.H. Kim. 2006. Principles of crop cultivation. Hyangmoonsha Press. Seoul. p. 221-224, 348-350.
- Cho, J.Y., D.M., Son, J.M. Kim, B.S. Seo, S.Y. Yang, B.W. Kim, and B.G. Heo. 2008. Effects of LEDs on the germination, growth and physiological activities of amaranth sprouts. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*. 26(2):106-112.
- Choi, S.Y., M.H. Kil, Y.S. Kwon, J.A. Jung, and S.K. Park. 2012. Effect of different light emitting diode (LED) on growth and flowering in chrysanthemum. *Flower Research Journal*. 20(3):128-133.
- Choi, H.G., J.K. Kwon, B.Y. Moon, N.J. Kang, K.S. Park, M.W. Cho, and Y.C. Kim. 2013. Effect of different light emitting diode (LED) lights on the growth characteristics and the phytochemical production of strawberry fruits during cultivation. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*. 31(1):56-64.
- Hahn, E.J., T. Kozai, and K.Y. Paek. 2000. Blue and red light-emitting diodes without sucrose and ventilation affects in vitro growth of *Rehmannia glutinose* plantlets. *Journal of Plant Biology*. 43(4):247-250.
- Heo, J.W., Y.B. Lee, D.B. Lee, and C. H. Chun. 2009. Light quality affects growth, net photosynthetic rate, and ethylene production of ageratum, african marigold and salvia seedling. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*. 27(2):187-193.
- Heo, J.W., Y.B. Lee, Y.S. Chang, J.T. Lee, and D.B. Lee. 2010. Effects of light quality and lighting type using an LED chamber system on Chrysanthemum growth and development cultured in vitro. *Korean Journal of Environmental Agriculture*. 29(4):374-380.
- Kang, S.B., Y.Y. Song, M.Y. Park, and H.J. Kweon. 2013. Effect of red and far-red LEDs on the fruit quality of 'Hongo'/M.26 Apple. *Korean Journal of Environmental Agriculture*. 32(1):42-47.
- Kim, K.W., K.Y. Baek, S.T. Cheong, and J.D. Cheong. 1995. Theory and application for agriculture of plant growth regulator. Yeungnam university Press. Gyeongsan. p.170-199.
- Kim, J.A. and H.K. Moon. 2006. Effect of light-emitting diodes (LEDs) and ventilation on the in vitro shoot growth of *Eucalyptus pellita*. *Journal of Korean Forest Society*. 95(6):716-722.
- Kim, J.H., J.C. Kim, K.C. Ko, K.R. Kim, and J.C. Lee. 2006. General pomology. Hyangmoonsha Press. Seoul. p. 30-64, 175-180, 185-188, and 234-238.
- Kim, H.R. and Y.H. You. 2013. Effects of red, blue, white, and far-red Led source on growth responses of *Wasabia japonica* seedlings in plant factory. *Journal of Horticultural Science and Technology*. 31(4):415-422.
- Kweon, H.J., D.H. Sagong, M.Y. Park, Y.Y. Song, K.H. Chung, J.C. Nam, J.H. Han, G.R. Do. 2013. Influence of CO₂ and air temperature on photosynthesis, shoot growth, and fruit quality of 'Fuji'/M.9 apple tree. *Korea Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 15(4):245-263.
- Lakso, A.N. 2003. Water relations of apple. p. 167-194. In: D.C Ferree and I.J. Warrington (eds.). Apples; botany, production and uses. CABI Publishing, Cambridge, MA, USA.
- Poudel, P.R., I. Kataok, and R. Mochioka. 2008. Effect of red and blue light emitting diodes on growth and morphogenesis of grapes. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 92:147-153.
- Song, C.H. and E.K. Song. 2012. Effects of indoor position and LED on growth of two grafted cacti and one succulent planted in a pot. *Flower Research Journal*. 20(2):64-70.
- Tromp, J. 2005. Metabolic processes, p. 39-54. In : J. Tromp, J.T. Webster, and S.J. Wertheim (eds.). Fundamentals of temperate zone tree fruit production. Backhuys publishers, Leiden.
- Zhou, Y. and B.R. Singh. 2002. Red light stimulates flowering and anthocyanin biosynthesis in American cranberry. *Plant growth regulation* 38(2):165-171.