Journal of Bio-Environment Control, 20(4):253-257, (2011)

LED 보광이 파프리카(*Capsicum annuum* 'Cupra') 생육에 미치는 영향

안철근[1]* · 황연현[1] · 안재욱[1] · 윤혜숙[1] · 장영호[1] · 손길만[1] · 황승재[2]
[1]경상남도농업기술원 수출농식품연구과, [2]경상대학교 응용생명과학부 원예학과

Effect of LEDs (Light Emitting Diodes) Irradiation on Growth of Paprika (*Capsicum annuum* 'Cupra')

Chul Geon An[1]*, Yeon Hyeon Hwang[1], Jae Uk An[1], Hae Suk Yoon[1], Young Ho Chang[1], Gil Man Shon[1], and Seung Jae Hwang[2]
[1]Gyeongnam Agriculture Research & Extension Services, Jinju 660-985, Korea
[2]Department of Horticulture, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

Abstract. This study was carried out to investigate the effect of different light emitting diode (LED) irradiation on the growth of paprika (*Capsicum annuum* 'Cupra'). The plants were irradiated by red (660 nm), blue (460 nm) and red + blue (4 : 1) light emitting diodes above 50 cm for 5 hours after sunset. Photosynthetic photon flux (PPF) irradiated by red, blue and red + blue LED were 79 μmol · m^{-2} · s^{-1}, 75 μmol · m^{-2} · s^{-1} and 102 μmol · m^{-2} · s^{-1} respectively. Leaf temperature of paprika grown under blue LED irradiation was the highest of 18.6°C. Fruit temperature was the highest under in the control (no irradiation) but it was lower than leaf temperature. There was influence of LED irradiation on the paprika plants height; under blue irradiation the plant height was the shortest, while under in the control plant height was the highest. The leaf size of under different LED irradiation was bigger than that of in the control. Mean fruit weight under different LED irradiation was significantly increased; however number of fruits and marketable yield per plant were significantly decreased as compared to the control.

Key words : fruiting, plant temperature, PPF, soilless culture

서 론

1996년부터 국내에서 본격적으로 재배가 시작된 파프리카는 꾸준한 시설현대화와 재배기술의 향상으로 고품질 생산이 가능해짐에 따라 최근에는 전체 신선농산물 수출의 30%, 일본 파프리카 시장의 70%를 차지하면서 국내 주요 수출 원예작물로서 농업생산에 큰 역할을 하고 있다(KATI, 2009).

파프리카는 광과 온도 같은 외부환경의 상호작용에 의해 착과수가 달라지고 수확주기의 변화 폭이 커진다(Heuvlink 등, 2004; Marcelis 등, 2004). 우리나라는 맑은 날 기준 겨울철에도 하루 누적일사량이 800~1,200J · cm^{-2}로 온실작물 생산에 부족하지 않으나(Myoung, 2007), 온실 자체의 낮은 투과 광량에 의해 작물 생산성이 낮아지고(Jeong 등, 2008; Kwon과 Chun, 1999), 광량 부족과 더불어 시설내부의 불균일한 환경은 불균일한 생육을 유도하기 때문에 지속적인 생산성을 유지하기 어렵다(Marcelis 등, 2004). 광량과 단위건물생산량은 정의 상관관계가 있는데(Heuvelink 등, 1996; Lee 등, 2002; Nederhoff와 Vegter, 1994) 최근 반복되는 기상이변에 따른 겨울철 광 부족은 착과수 감소와 품질하락의 주요 원인이 되므로 보광에 대한 요구가 증가하고 있다.

광은 식물의 광합성을 위한 에너지원이자 일장효과, 광주성과 광 형태 형성을 위한 정보원으로 적절히 제어하면 작물의 독특한 특성발현을 조절할 수 있는 것으로 생육과 착과에 결정적인 영향을 주는 가장 큰 요인이며 인위적으로 조절하기 어려운 자연현상으로 여겨왔다. 하지만 최근 식물공장형 재배방식의 빠른 보급

*Corresponding author: ancg@korea.kr
Received August 30, 2011; Revised December 23, 2011; Accepted December 25, 2011

과 함께 고효율 LED(Light Emitting Diodes) 광원의 농업적 적용 관련 연구가 다양하게 시도되고 있으며, 친환경 에너지 절감을 위해 고효율의 LED 조명기구 사용이 증가하고 있다. LED는 고효율 친환경적인 광원으로 전력소모량이 적고 수명이 반영구적으로 길어 매우 유용하게 활용할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 광량의 차이에 의해 온실의 내부 광량 및 온도변화, 그리고 이에 따른 식물체 광합성 능력에 차이를 가져오고(Jeong 등, 2008; Kwon과 Chun, 1999) 식물체의 생장 및 형태형성에 필요한 특정 파장역의 광만을 선택적으로 조사할 수 있기 때문에 식물재배용 인공광원으로 이용성이 크게 기대되고 있다.

최근 농업에 접목되고 있는 LED의 응용 영역은 국화와 같은 화훼류와 딸기의 일장조절을 통한 개화조절, 각종 원예작물의 공장형 육묘시스템, 상추와 같은 엽채류의 식물공장용 조명으로 활용하고 있으나 생육의 품질을 종합적으로 고려한 LED 조사기술의 확립은 미흡한 실정이다. 특히 과채류에 대한 LED 보광 연구가 부족하고 최근 이상기상 현상이 갈수록 심화되고 있는 가운데 안정적인 먹거리 확보의 장기적 측면에서 연구 필요성이 강조되고 있다.

파프리카 광합성을 감소시키는 낮은 광도, 높은 온도 및 낮은 CO_2 농도는 낙화 및 낙과를 유발하므로 계절적 환경변화와 생육상태에 따른 시설내부 환경요인들 간의 최적화가 필요하기 때문에(Lee와 Cha, 2009) 광에 민감하게 반응하는 작물인 파프리카에 대한 LED 보광 효과와 가능성을 확인하여 효율적으로 적용할 수 있는 방법을 찾고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

파프리카 'Cupra'(Enza zaden Co.) 품종을 2010년 8월 4일 240공 암면플러그에 파종하여 2010년 8월 20일에 양액(EC 2.0dS · m^{-1}, pH 5.5)으로 포수시킨 암면블럭(10cm × 10cm × 6.5cm)에 U자로 이식(An 등, 2002)하였다. 육묘기간 중 파프리카 그로단표준액(EC 2.0~3.0dS · m^{-1}, pH 5.5)을 매일 오전에 공급하였고, 본엽이 10매 내외로 전개되었을 때인 2010년 9월 2일에 경남농업기술원 유리온실에서 코코피트(Daeyoung GS Co.)를 양액(EC 3.0dS · m^{-1}, pH 5.5)으로 충분히 포수한 뒤 슬래브 당 3주씩 180 × 33cm 간격으로 2조 정식하였다. 재배 중에는 급액 EC를 2.8~3.0dS · m^{-1}, pH를 5.5~5.8의 범위로 공급하였다. 양액공급은 일출 1시간 30분~2시간 이후부터 일몰 2시간 30분~3시간 전까지 누적일사량 100J · cm^{-2}에 도달했을 때, 주당 100mL를 공급하였다.

LED는 80W의 Red(660nm), Blue(460nm), 혼합(Red : Blue = 8 : 2) 램프(파루스, Korea)를 Bar type (80cm 2열)으로 설치하여 무처리의 대조구와 비교하였다. 보광등은 생장점으로부터 50cm 상단에 설치하였고, 작물이 생장하는 동안 상하로 조절할 수 있도록 하여 일몰 후부터 5시간 동안 보광하였다. 광측정은 400~700nm의 범위를 측정할 수 있는 광도계(FSQ470A, E-technology, Korea)를 사용하여 10분 간격으로 측정하였으며, 엽온 및 과실온도 등은 적외선 온도계인 Spot thermometer(TA-0510F, Minolta Co., Osaka, Japan)로 10개체를 3반복으로 측정한 후 평균값을 사용하였다.

정지유인은 2본으로 하였고, 기타 작물관리와 환경관리는 관행에 준하였다. 수확은 2010년 12월 10일부터 2011년 2월 28일까지 완료하였는데, 과실 수량조사는 모양이 정상적이고 병충해 흔적이 없는 과실 중에 100g 이상의 과실을 상품으로 분류하였고, 100g 미만의 소과, 열과 등을 비상품수량으로 구분하여 조사하였다. 조사주수는 반복당 10주로 하였고, 기타 조사는 농촌진흥청 시험연구조사기준(RDA, 1997)에 준하였다. 시험구배치는 난괴법 3반복으로 하였고, 통계분석은 SAS 프로그램을 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

일몰 후 작물로부터 LED 보광위치별 PPF의 변화를 보면 red + blue광이 모든 위치에서 높았고 red광과 blue광은 비슷한 수준이었다. 위치별로는 작물과 10cm에서는 red + blue광 650μmol · m^{-2} · s^{-1}, red광 535μmol · m^{-2} · s^{-1}, blue광 525μmol · m^{-2} · s^{-1}였고, 20cm에서는 red + blue광 345μmol · m^{-2} · s^{-1}, red광 291μmol · m^{-2} · s^{-1}, blue광 286μmol · m^{-2} · s^{-1}로 10cm 간격보다 50% 이상 감소하였다. 보광위치 50cm에서는 red + blue광 102μmol · m^{-2} · s^{-1}, red광 79μmol · m^{-2} · s^{-1}, blue광 75μmol · m^{-2} · s^{-1}로 10cm에 비해 85% 정도 감소한

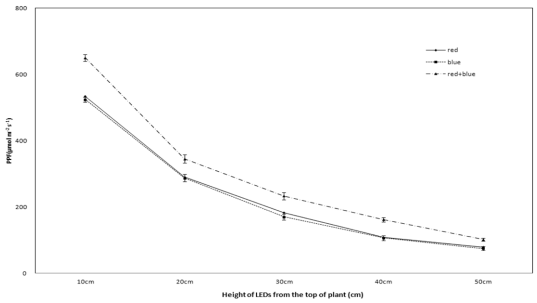

Fig. 1. Changes of Photosynthetic Photon Flux (PPF) measured on the leaves of 10~50 cm apart from light source in the paprika greenhouse as affected by LEDs irradiation (red, blue and red+blue) after sunset.

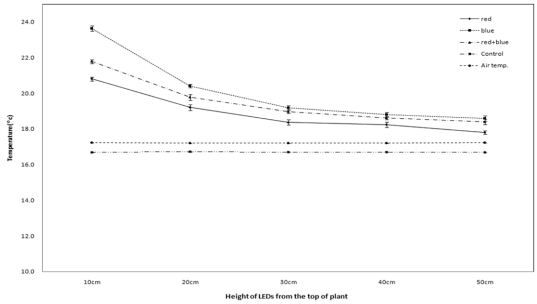

Fig. 2. Changes of leaf temperature measured on the leaves of 10~50 cm apart from light source in the paprika greenhouse as affected by LEDs irradiation (red, blue and red + blue) after sunset

수준을 유지하였다(Fig. 1).

일몰 후 LED 보광위치별 엽온의 변화를 보면 10cm에서는 blue광 23.6°C, red + blue광 21.8°C, red광 20.8°C, 대조구 16.7°C의 순이었고, 50cm 이상의 높이에서는 보광위치에 관계없이 보광등의 종류별 온도는 같은 경향을 보였으며, 기온은 17.2°C로 유지되었다. 보광위치가 멀어질수록 온도는 낮았는데, 50cm에서는 blue광 18.6°C, red + blue광 18.4°C, red광 17.8°C로 10cm에 비해 15~22% 정도 감소하였다. 대조구는 온도변화가 없었다.

50cm 위치에서 보광했을 때의 기관별 온도변화는 Fig. 3과 같다. 대조구는 잎 16.7°C, 꽃 17.2°C 그리고 과실이 17.4°C의 순이었다. 하지만 LED 보광을 했을 때에는 잎이 가장 높았고, 다음이 과실, 꽃 순이었다. 온도는 blue광이 가장 높았고 red + blue광 그리고 red광의 순이었다.

LED 보광에 의한 생육비교는 Table 1과 같이 초장은 대조구가 가장 길었고 blue광이 가장 짧았으며, red와 red + blue광은 비슷하였다. 원예작물의 유묘기 보광에서도 red광에서 초장이 길어지고 blue광에서 짧아졌다는 보고(Park 등, 2011; Eun 등, 2010)와 같은 결과였고, 잎 크기는 보광처리간에는 차이가 없었지만 보광처리구가 무보광보다 컸는데, 고추와 같은 원예작물의 유묘기 보광이 엽면적을 증가시킨다는 보고(Park 등, 2011; Eun 등, 2010)와 같은 맥락으로 이해하였다. 이는 주간에 생성된 동화산물이 온도에 따라 이동하는데, LED 보광에 의해 일몰 후 엽온이 상승함(Fig. 2)에 따라 꽃이나 과실로의 이동이 원활하지 못하고 잎에 전분형태로 저장됨으로써 잎이 커졌을 것으로 판단하였다.

LED 보광에 따른 1그룹에서의 착과수는 무보광이 4.7개로 가장 많았고, red + blue 4.2개, red 3.7개, blue 3.2개의 순이었다. 파프리카는 광과 온도의 상호작용에 의해 착과수가 달라지고 이에 따라 수확주기의 변화가 심한 작물이고(Heuvlink 등, 2004; Marcelis 등, 2004), 동화산물의 과실로의 분배는 평균 60% 정도로 생육단계별로 주기적으로 변하지만, 지상부 환경에 크게 영향을 받기 때문에(Abdel-Mawgoud 등, 2005; Gonzalez-Real 등, 2008; Heuvelink 등, 2004; Marcelis 등, 2004), 이러한 결과도 LED 보광으로 엽온이 상승하여 꽃으로 이동해야 할 동화산물의 전류가 원활하지 못하고 잎에 저장되는 비율이 높아져 엽면적

Table 1. Effect of LEDs radiation on the growth of paprika (*Capsicum annuum* 'Cupra') in soilless culture.

Radiation light	Plant height (cm)	Main stem length (cm)	Stem diameter (cm)	No. of branches per plant	Leaf size (cm)	
					Length	Width
Control	120.7a[z]	21.2a	14.0b	13.3a	27.5b	15.6b
Red	116.0ab	20.9a	14.4ab	13.3a	29.4a	16.9a
Blue	111.5b	21.5a	14.1ab	13.3a	29.4a	16.7a
Red + blue	115.9ab	20.2a	14.7a	13.1a	29.8a	17.0a

[z]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

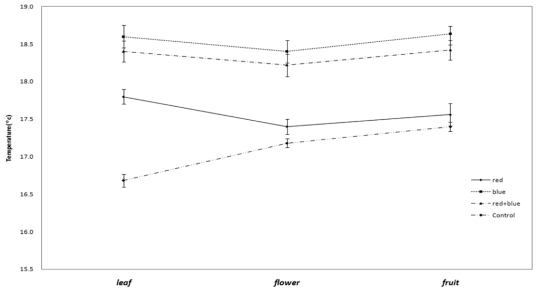

Fig. 3. Changes of temperature measured on the leaves, flower and fruits of 50 cm apart from light source in the paprika greenhouse as affected by LEDs irradiation (red, blue and red + blue) after sunset.

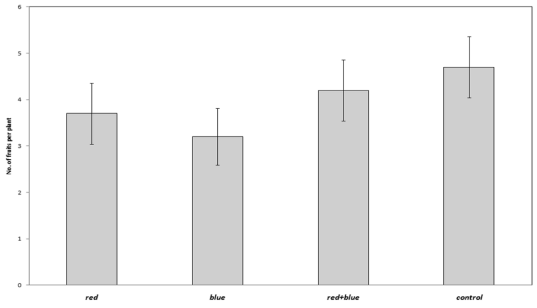

Fig. 4. Effect of LEDs radiation on fruits per plant of paprika (*Capsicum annuum* 'Cupra') in soilless culture.

은 증가하였지만 꽃은 오히려 작아지고 불량해져 낙화가 촉진되었던 것으로 판단하였다.

수확과수는 무보광이 5.7개로 가장 많았고, red + blue광과 red광은 차이가 없었지만 blue광은 3.3개로 가장 적었고, 평균과중은 대조구가 148.6g으로 가장 낮았고 보광처리구는 151.4~153.2g으로 차이가 없었는데, 이는 Fig. 4의 착과수와 연관하여 이해할 수 있었다. 상품률은 blue광이 75.9%로 가장 낮았고 red광과 red + blue광은 비슷하였으며, 무보광이 87.9%로 가장 높았다. 수량은 무보광이 842.3kg으로 가장 높았고 red광과 red + blue광은 비슷하였으며, blue광이 510.6kg으로 가장 낮았다(Table 2). 시설 내부 불균일한 온도관리는 동화산물 분배 및 sink/source 비율의 변화를 유도하여 파프리카의 불균일한 생육을 유발하고(Heuvelink 등, 2004; Marcelis 등, 2004), 평균온도는 엽 형성율에 영향을 미치고(Marcelis 등, 2006) 과실의 생장율과 크기, 과실의 수확기간에 직접적으로 영향을 주는데(Adams 등, 2001; Marcelis와 Hofman, 1996), 결국 LED 보광에 의해 엽온의 상승을 초래하여 동화산물의 sink로의 분배가 원활하지 못해 착과수가 줄어들었고, 이로 인해 수량이 감소하였다고 판단하였다.

적 요

LED 보광이 파프리카의 착과와 생육에 미치는 영향을 구명하기 위해 파프리카 생육기간동안 일몰 후부터 5시간 동안 red(660nm), blue(460nm) red + blue(4 : 1) 광을 작물의 50cm 상단에서 조사하였다. 광원별 광합성유효광량자속(PPF)은 red광 79μmol · m^{-2} · s^{-1}, blue광 75μmol · m^{-2} · s^{-1}, red + blue광 102μmol · m^{-2} · s^{-1}였다. 파프리카 엽온은 LED 보광한 것이 무보광에 비하여 높았는데 blue광에서 가장 높았다. 한편 과실 온도는 무보광한 것이 가장 높았으며 엽온보다는 낮은 경향이었다. 파프리카 초장은 무보광에서 가장 길었고 blue LED에서 가장 짧았다. 잎 크기는 무보광에 비해 LED 보광한 것이 컸다. 과실무게는 LED 보광한 것이 무거웠으나 주당 과실 수와 상품과 수량은 무보광에 비해 적었다.

주제어 : 광합성유효광양자속, 무토양재배, 식물체 온도, 착과

Table 2. Effect of LEDs radiation on the number of fruits and yield of paprika (*Capsicum annuum* 'Cupra') in soilless culture.

Radiation light	No. of fruits per plant		Yield (kg/plant)	Mean fruit weight (g)	Marketable fruits (%)
	Marketable	Unmarketable			
Control	5.7a[z]	0.8a	842.3a	148.6b	87.9a
Red	4.6b	1.0a	693.3ab	152.2a	82.0a
Blue	3.3c	1.1a	510.6b	153.2a	75.9b
Red + blue	4.9b	1.1a	740.1ab	151.4a	82.2a

[z]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

사 사

본 논문은 2011년 농촌진흥청에서 지원한 LED 과제의 연구비로 수행되었음.

인 용 문 헌

1. Abdel-Mawgoud, A.M.R., Y.N. Sassine, M. Bohme, A.F. Abou-Hadid, and S.O. El-Abd. 2005. Sweet pepper biomass production and partitioning as affected by different shoot and root-zone conditions. Int. J. Bot. 1(2):151-157.
2. Adams, S.R., K,E. Cockshull, and C.R.J. Cave. 2001. Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. Ann. Bot. 88:869-877.
3. An, C.G., D.S. Kang, C.W. Rho, and B.R. Jeong. 2002. Effects of transplanting method of seedlings on the growth and yield of paprika. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 20:15-18 (in Korean).
4. Eun, J.S., J.H. Choi, and J.S. Kim. 2010. Effects of LEDs and tungsten lamp on seedling growth of red pepper (*Capsicum annuum* L.). Kor. J. Hort. Sci. Technol. 28:44-45 (in Korean).
5. Gonzalez-Real, M.M., A. Baille, and H.Q. Liu. 2008. Influence of fruit load on dry matter and N-distribution in sweet pepper plants. Sci. Hort. 117:307-315.
6. Heuvelink, E. 1996. Tomato growth and yield: quantitative analysis and synthesis. PhD. Thesis., Wageningen Agr. Univ., Wageningen, The Netherlands.
7. Heuvelink, E., L.F.M. Marcelis, and O. Korner. 2004. How to reduce yield fluctuations in sweet pepper. Acta. Hort. 633:349-355.
8 Jeong, W.J., I.K. Kang, J.Y. Lee, S.H. Park, H.S. Kim, D.J. Myoung, G.T. Kim, and J.H. Lee. 2008. Study of dry and bio-mass of sweet pepper fruit and yield between glasshouse and plastic greenhouse. Kor. J. Bio-Environ. Control 17(2):541-544 (in Korean).
9. Korea Agricultural Trade Information (KATI). 2009. The state of paprika industry in Korea. Korea Agro-Fisheries Trade Corporation, Seoul, Korea (in Korean).
10. Kwon, Y.S. and H. Chun. 1999. Production of chili pepper in different kinds of greenhouse in Korea. The Asian and Pacific Region-Food and Fert. Techno. Ctr. Ext.-Bul. No. 478 (in Korean).
11. Lee, J.H. and J.C. Cha. 2009. Effects of removed flowers on dry mass production and photosynthetic efficiency of sweet pepper cultivars ‘Derby’ and ‘Cupra’. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 27(4):584-590 (in Korean).
12. Lee, J.H., E. Heuvelink, and H. Challa. 2002. Effect of planting date and plant density on crop growth of cut chrysanthemum. J. Hort. Sci. Bio-Technol. 77:238-247 (in Korean).
13. Marcelis, L.F.M., A. Elings, M.J. Bakker, E. Brajeul, J.A. Dieleman, P.H.B. Visser, and E. Heuvelink. 2006. Modeling dry matter production and partitioning in sweet pepper. Acta. Hort. 718:121-128.
14. Marcelis, L.F.M. and L.R. Baan Hofman-Eijer. 1996. Growth analysis of sweet pepper fruits (*Capsicum annuum* L.) Acta. Hort. 412:470-478.
15. Marcelis, L.F.M., E. Heuvelink, L.R. Baan Hofman-Eijer, J. Den Bakker, and L.B. Xue. 2004. Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. J. Expt. Bot. 55:2261-2268.
16. Myoung, D.J. 2007. Correlation between climatic factors and yield of sweet pepper (*Capxicum annuum* L.) in glasshouse. MS Thesis. Chonnam Nat’l. Univ., Dept. Hort. Plant Bio-Technol (in Korean).
17. Nederhoff, E.M. and J.G. Vegter. 1994. Photosynthesis of stand of tomato, cucumber and sweet pepper measured in greenhouse under various CO_2 concentration. Ann. of Bot. 73:353-361.
18. Park, J.S., J.T. Lim, S.W. Yoon, and J.K. Hwangbo. 2011. Effects of red/blue LED light ratio on seedling growth of several horticultural plants. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 29:84 (in Korean).
19. Rural Development Administration (RDA). 1997. Theory and application to cultivation of crop physiology. 304-330.