Journal of Bio-Environment Control, 21(3):220-227, (2012)

발광다이오드, 형광등 및 자연광 하에서 육묘된 파프리카의 묘소질 및 정식 후 초기 수량

이재수[1] · 이혜인[2] · 김용현[3]*
[1]전북대학교 대학원 생물산업기계공학과, [2]LED-농생명융합기술연구센터,
[3]전북대학교 생물산업기계공학과(농업과학기술연구소)

Seedling Quality and Early Yield after Transplanting of Paprika Nursed under Light-emitting Diodes, Fluorescent Lamps and Natural Light

Jae Su Lee[1], Hye In Lee[2], and Yong Hyeon Kim[3]*
[1]Dept. of Bioindustrial Machinery Engineering, Graduate School of Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea
[2]LED Agri-bio Fusion Technology Research Center, Iksan 570-752, Korea
[3]Dept. of Bioindustrial Machinery Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea
(The Institute of Agricultural Science & Technology)

Abstract. This study was conducted to analyze the seeding quality of paprika and the growth and early yield after transplanting of paprika nursed under artificial light and natural light. In this study, blue LED, red LED, and white fluorescent lamps (FL) were used as artificial lighting sources. Photoperiod, average photosynthetic photon flux, air temperature, and relative humidity in a closed transplants production system (CTPS) were maintained at 16/8 h, 204 μmol · m^{-2} · s^{-1}, 26/20ºC, and 70%, respectively. Leaf length, leaf width, leaf area, top fresh weight and dry weight of paprika seedlings, and chlorophyll content in paprika leaves nursed under LED and fluorescent lamps for 21 days after experiment were significantly affected by light treatments. As compared with the control (white FL), leaf area of paprika grown under blue LED, red LED, and natural light was decreased by 63%, 63%, and 28%, respectively. Top dry weight of paprika grown under blue LED, red LED, and natural light was 64%, 50%, and 22%, respectively, compared with the control. Number of leaves on 18 days after transplanting showed with red LED, blue LED, and natural light by 86%, 84%, and 48%, respectively, compared with the control. On 114 days after transplanting, paprika nursed under blue LED and red LED had relatively short plant height. This result might be caused that the elongation of its internodes was suppressed by the illumination of sole blue or red light. Average number of fruits per plant harvested during 4 weeks after first harvest was 3.5 with red LED, 3.3 with blue LED, 1.0 with natural light, and 2.2 with control, respectively. Early yield of paprika nursed under red LED, blue LED, natural light, and control were 453 g/plant, 403 g/plant, 101 g/plant, and 273 g/plant, respectively. Larger fruit of 136 g was harvested with red LED treatment. Even though the early yield of paprika was greatly increased with artificial lighting, but total yield was almost similar as the harvest period after transplanting in greenhouses was lengthened. From the above results, we could understand that paprika nursed under white FL, blue LED, and red LED showed good growth after transplanting and was early harvested by a week as compared to the natural light. Therefore, the white FL, blue LED, and red LED as the artificial lighting sources in CTPS could be strategically used to enhance the seedling quality, to shorten the harvest time, and to increase the yield of paprika.

Key words : artificial lighting sources, closed transplant production system, fluorescent lamps, LED, paprika, yield

*Corresponding author: yhkim@jbnu.ac.kr
Received July 18, 2012; Revised September 19, 2012;
Accepted September 20, 2012

서 론

파프리카와 같은 과채류의 묘소질은 정식 후 생육과 수량에 커다란 영향을 미칠 수 있다(Buwalda et al., 2006; Markovic et al., 2000). 생육 특성이 우수한 묘는 활착 환경에 쉽게 적응하거나, 재배과정에서 관리 노력을 적게 투입하여도 궁극적으로 수량의 증가 또는 품질의 향상이 기대된다(Kozai et al., 2000). 그런데 대부분의 육묘가 유리온실이나 플라스틱온실 내에서 이루어지는 데다 온실 내부 환경이 외부 환경의 영향을 쉽게 받으므로 고온기나 저온기에 품질이 우수한 묘를 안정적으로 생산하기가 쉽지 않다.

인공광을 이용한 폐쇄형 식물생산 시스템(이하 '폐쇄형 시스템')은 외부 환경의 영향을 받지 않기 때문에 묘소질이 균일한 고품질의 묘 생산이 가능하다(Kim, 2002; Kozai et al., 2000). 이러한 폐쇄형 시스템의 인공광원으로 고압나트륨등, 메탈할라이드등, 형광등이 주로 사용되고 있다(Tibbitts et al., 1983; Kim et al., 2008; Park et al., 2010). 고압나트륨등과 메탈할라이드등은 조명효율이 높으나, 각각 청색광 또는 적색광이 부족하여 폐쇄형 시스템에서 단독 광원으로 사용하기에는 부적합하므로, 다른 광원과 병행해서 사용되고 있다. 한편 형광등은 근접조명용 광원으로서의 분광특성을 지니고 있으나(Kim and Lee, 1998), 광포화점이 높은 작물에 적용하기에는 광합성유효광양자속(photosynthetic photon flux, PPF)이 부족하므로 주로 묘 생산에 사용되고 있다(Kim et al., 2008). 최근 들어 발광다이오드(light emitting diodes, LED)가 작물 생산용 인공광원으로 주목받고 있다. LED는 소형으로서, 높은 신뢰성과 응답성을 지니고 있으며, 수명이 길고, 전력소모가 낮으며, 광합성에 유리한 펄스 조사가 가능한 점 등의 장점을 가지고 있다(Barta et al., 1992; Kim, 1999).

국내의 채소류 생산 과정에서 LED 조명의 응용은 수박 접목묘의 증발산과 활착 촉진(Kim and Park, 2001; Kim and Lee, 2006)을 시작으로 하여 잎들깨의 유묘 생장 촉진(Eun et al., 2010), 상추의 생장 촉진과 기능성 성분 증진(Lee et al., 2011; Kim and Lee, 2012; Lee and Kim, 2012) 등에 이용된 바 있다. 이밖에 토마토와 오이의 묘소질에 미치는 광질 효과(Um et al., 2009), 파프리카의 착색 증진(Choi et al., 2009), 파프리카의 생육과 착과에 미치는 보광 효과(An et al., 2011) 등에 청색과 적색 LED가 적용된 바 있으나, 파프리카의 육묘 단계에서 묘소질의 향상과 정식 후 초기 생육에 미치는 LED 조명 효과에 관한 보고는 미흡한 실정이다. 본 연구의 목적은 폐쇄형 시스템에서 청색LED, 적색LED, 백색형광등을 인공광원으로 사용한 가운데 인공광 하에서 육묘된 파프리카와 자연광 하에서 육묘된 파프리카의 묘소질과 정식 후 생육 및 초기 수량 특성을 분석하는 데 있다.

재료 및 방법

1. 인공광 하에서 육묘 실험

파프리카 묘의 생육 특성에 미치는 인공광원의 광질 효과를 분석하고자 폐쇄형 시스템 내에 청색LED, 적색LED, 백색형광등을 설치하였다. 폐쇄형 시스템의 크기는 외부 3,500(W) × 3,200(D) × 3,060(H), 내부 3,300(W) × 2,800(D) × 2,860(H)이며, 벽체로는 두께 100mm의 폴리우레탄(polyurethane)을 단열재로 충전한 강판을 이용하였고, 내부에 스테인레스로 제작된 4단식 선반을 설치하였다.

480(W) × 720(L)의 크기로 제작된 LED 광원에는 전력소모가 0.2W인 칩 3,072개가 어레이 형태로 배치되었다. 백색형광등은 55W의 2중형광등(DULUXL55W/21-840, OSRAM, Germany)이 10cm 간격으로 설치되었다. 인공광원의 분광 특성을 분석하고자 분광광도계(LI-1800, Li-Cor Inc., USA)를 이용하였다. 또한 광양자센서(LI-190SA, Li-Cor Inc., USA)를 사용하여 파프리카 묘 배지면의 6곳에서 PPF를 측정하였다. 이때 광원과 광양자센서 사이의 거리는 20cm이었으며, 다른 광원에 의한 광양의 간섭을 차단하고자 각 광원만을 점등한 후 암조건에서 측정하였다. 또한 파프리카가 생장함에 따라 선반의 높이를 조절하여 작물의 생장점 부근에서 PPF가 일정하게 유지되도록 하였다. 본 연구에 사용된 청색LED와 적색LED의 피크파장은 각각 448nm, 654nm로 나타났다. 또한 3파장 백색형광등은 546nm, 612nm 및 436nm에서 피크파장이 나타났다(Fig. 1). 배지면에서의 평균 PPF는 청색LED 213.6μmol · m^{-2} · s^{-1}, 적색LED 194.4μmol · m^{-2} · s^{-1}, 백색형광등은 204.0μmol · m^{-2} · s^{-1}로 나타났다.

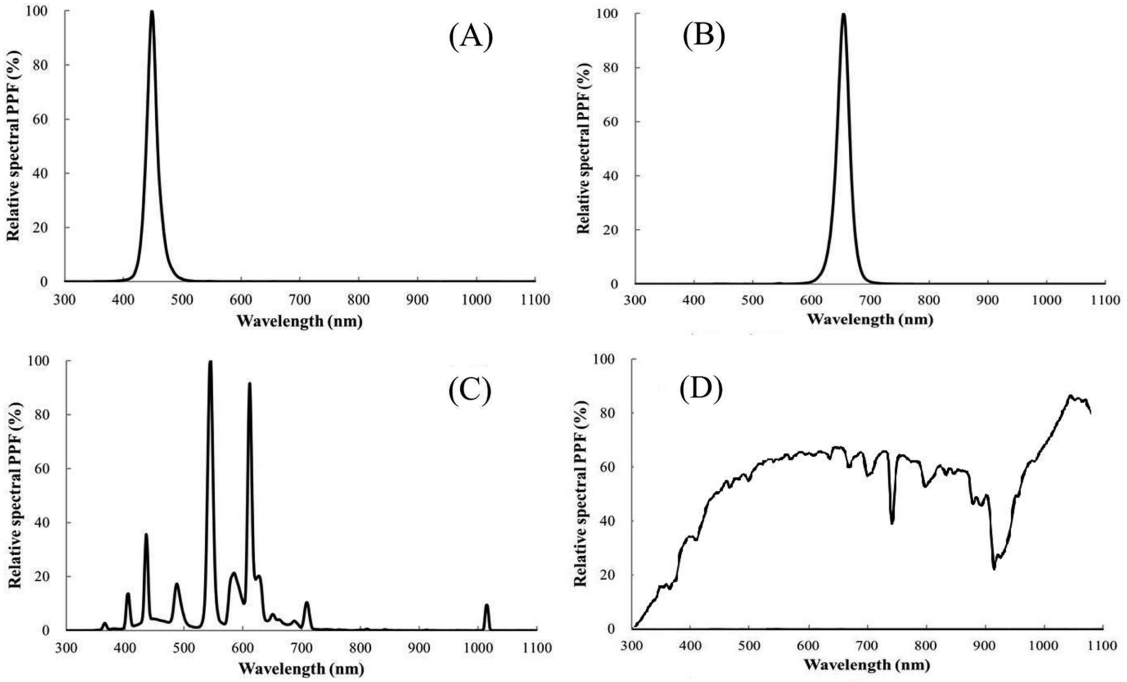

Fig. 1. Spectral characteristics of blue LED (A), red LED (B), fluorescent lamps (C), and natural light (D) used in this study.

인공광 하에서 육묘된 파프리카 묘의 생육 특성을 분석하고자 전북 김제시에 소재한 재배 농가 온실에서 파종된 파프리카 'Spirit'를 공시 작물로 이용하였다. 100(L) × 100(W) × 65(H) 크기의 암면블록에 이식된 파프리카 묘를 광주기 16/8h, 기온 26/20°C, 상대습도 70%로 유지되는 폐쇄형 시스템에서 21일간 육묘하였다. 육묘 단계에서 배양액의 pH와 EC를 각각 5.5, 2.0mS · cm^{-1}로 유지하였으며, 저면 관수 방식으로 배양액을 공급하였다.

실험 개시 후 21일째에 처리구별로 각 5주씩 파프리카 묘의 초장, 엽수, 엽장, 엽폭, 엽면적, 엽색, 엽록소함량, 마디수, 생체중과 건물중 등을 측정한 후 생육 특성을 분석하였다. 엽면적은 칼라CCD카메라(VK-C370, HITACHI, Japan)를 이용하여 획득한 영상을 처리하여 실면적을 산출하는 방식으로 결정하였다. 생체중과 건물중의 측정에 전자저울(AB204-S, METTLER-TOLEDO Inc., Switzerland)을 사용하였고, 엽록소함량의 측정에 휴대용 엽록소측정계(SPAD 502, MINOLTA Co., Japan)를 사용하였다. 한편, 백색형광등 하에서 육묘된 파프리카 묘를 대조구로 하여 생육 특성을 분석하였다.

2. 인공광 하에서 육묘된 묘의 정식 후 생육 및 수량 실험

2009년 11월 18일에 전북 김제시 소재의 파프리카 재배 농가 온실에서 폐쇄형 시스템의 청색LED, 적색LED 및 백색형광등 하에서 육묘된 파프리카 묘와 같은 기간 동안 온실 내의 자연광 조건에서 육묘된 파프리카 묘를 처리구별로 6주씩 정식하였다. 이때 폐쇄형 시스템의 백색형광등 하에서 육묘된 파프리카 묘를 대조구로 사용하였다. 실험기간 동안 배양액의 pH와 EC를 각각 5.5, 2.4mS · cm^{-1}로 유지하였으며, 점적 관수 방식으로 배양액을 공급하였다. 파프리카의 정식 후 생육 특성을 분석하고자 정식 후 18일째와 114일째에 초장, 엽수, 마디수, 절간장 등을 측정하였다. 또한 정식 후 114일째부터 1주일 간격으로 4주에 걸쳐 처리구당 과실 수량을 조사하였다. 재배기간에 온실 내의 주간 및 야간 평균기온은 각각 21.9°C, 18.2°C 이었으며, 1일 적산일사량은 9.50MJ · m^{-2}로 나타났다. 생장 데이터를 분석하고자 SAS 프로그램(SAS 9.1, SAS Institute Inc., USA)을 사용하였으며, 측정된 자료에 대한 최소유의차 검정을 실시하였다.

Table 1. Growth characteristics of paprika 'Spirit' measured on 21 days under blue LED, red LED, fluorescent lamps, and natural light.

Treatment	No. of leaves	Leaf length (mm)	Leaf width (mm)	Leaf shape index[z]	ODD[y]	Leaf area (mm^2)	Fresh weight (g/plant)	
							Top	Root
Blue LED	16.6b[x]	183.0a	77.8b	2.3a	45.9b	54,096b	24.26c	4.37a
Red LED	15.8b	189.4a	87.8ab	2.2bc	42.4c	54,625b	22.70b	4.18a
Natural light	11.0	129.2b	55.8c	2.3ab	35.6d	24,546c	8.92c	4.61a
Control	25.8a	194.4a	96.8a	2.0c	51.2a	86,487a	34.95a	3.99a
$LSD_{0.05}$	2.20	28.60	10.90	0.17	2.40	10,197	3.65	0.96

Treatment	Dry weight (g/plant)		Dry matter (%)		Leaf color		No. of nodes	Plant height (mm)
	Top	Root	Top	Root	Hue	Saturation		
Blue LED	2.03b	0.48a	8.4ab	11.0ab	133.70a	17.68b	6.8ab	200.2a
Red LED	1.57c	0.45a	6.9c	10.7b	104.51a	18.85b	5.8b	167.2b
Natural light	0.71d	0.46a	8.0b	10.0b	129.25a	26.36a	5.8b	195.0a
Control	3.16a	0.52a	9.1a	13.2a	133.80a	16.50b	7.0a	152.4b
$LSD_{0.05}$	0.34	0.40	0.73	2.30	39.04	5.43	1.10	20.40

[z]Leaf length divided by leaf width.
[y]Optical density difference (ODD) measured by a chlorophyll meter.
[x]Means with the same letter are not significantly different.

결과 및 고찰

1. 파프리카 묘의 생장 특성

처리 후 21일째에 대조구인 백색형광등 하에서 육묘된 파프리카 묘는 초장을 제외한 엽수, 엽장, 엽폭, 엽록소함량, 엽면적, 지상부 생체중과 건물중, 건물율, 마디수에서 유의차가 인정될 만큼 최대치가 나타났다(Table 1). 백색형광등 처리구의 엽면적은 86,487mm^2으로 가장 크게 나타났으며, 자연광 처리구에서의 엽면적은 대조구에 비해서 28% 수준으로 작게 나타났다. 한편 적색LED과 청색LED 처리구의 엽면적은 비슷하게 나타난 가운데 대조구에 비해서 각각 63%, 63%로 나타났다. 이러한 결과는 엽수에서도 유사하게 나타났다. 적색LED, 청색LED 및 자연광 처리구에서의 엽수는 대조구에 비해서 각각 61%, 64%, 43%로 나타났다. 결국 처리구에 따른 엽면적의 차이는 엽수에 기인한 것으로 판단된다. 자연광 처리구의 주당 지상부 건물중은 0.71g으로 대조구의 3.16g에 비해서 22%에 불과할 정도로 작게 나타났으며, 청색LED와 적색LED 처리구도 각각 64%, 50%로 나타났다. 한편 지하부 생체중과 건물중은 유의차가 인정되지 않았다. 지상부 건물율은 대조구 > 청색LED > 자연광 > 적색LED 처리구의 순서로서, 적색LED 처리구에서의 수분함량이 가장 높음을 알 수 있었다. 엽장과 엽폭은 대조구에서 높게 나타났으나, 엽형지수(엽장/엽폭)는 대조구에서 가장 작게 나타났고, 청색LED와 적색LED 하에서는 자연광 처리구와 비슷한 수준이었다. 엽록소함량은 대조구 > 청색LED > 적색LED > 자연광 처리구의 순서로 유의차가 인정되었다. 마디수는 대조구에서만 7.0개로 유의차가 인정되었다. 초장은 청색LED 처리구가 200.2mm로서 가장 크게 나타난 가운데, 청색LED > 자연광 > 적색LED > 대조구의 순서로 나타났다. 청색광은 적치마 상추의 생장을 억제하고 적색광은 생장을 촉진한다는 기존의 연구결과(Lee and Kim, 2012)와는 반대로 청색LED 처리구가 파프리카 묘의 줄기 신장을 촉진하였다. 들깨의 초장은 청색광에서 신장되었고, 적색광에서는 억제되었던 연구결과(Choi et al., 2003)와 유사한 것으로 판단된다. 결국 작물의 생장에 미치는 광질 효과가 다르게 나타남을 알 수 있다. 엽색 관련 지표인 색상(Hue)은 색좌표의 하나로서 인간의 눈으로 감지하는 물체의 색깔을 표시하고, 채도(Saturation)는 색깔의 선명도를 나타낸다. 인공광원의 종류에 따른 색깔의 차이는 크지 않았으나, 인공광 처리구의 경우 자연광 처리구와 비교될 정도로 짙은 녹색을 띄면서 채도에서 유의차가 나타났다.

전체적으로 인공광 하에서 생장된 파프리카 묘의 엽

장, 엽폭, 엽면적 등 잎 관련 지표뿐만 아니라 지상부 생체중과 건물중, 엽록소함량 등이 자연광에 비해서 크게 나타났다. 특히 대조구인 백색형광등 처리구에서 파프리카 묘의 엽면적이 매우 높게 나타났으나, 초장은 가장 작게 나타났다. Fujiwara et al.(2003)은 토마토 육묘를 위한 인공광원으로 적색LED에 청색LED를 혼합하여 이용할 경우 엽면적이 증가되어 묘소질 향상에 도움이 된다고 보고한 바 있다. 또한, Um 등(2009)은 폐쇄형 육묘 시스템의 인공광원으로 적색LED, 청색LED, 혼합LED(적색 + 청색)를 설치하고, 인공광 하에서 토마토와 오이 육묘 시 적색LED와 혼합LED(적색 + 청색)가 묘 생산에 이용 가능성이 높다고 보고한 바 있다.

2. 정식 후 생육 및 초기 수량

정식 후 18일째에 엽수와 줄기직경은 처리구간의 유의차가 나타났으나, 마디수, 초장, 평균 절간장은 유의차가 없었다(Table 2). 엽수는 대조구에서 44매로 가장 크게 나타났다. 적색LED, 청색LED 및 자연광 처리구의 엽수는 대조구에 비해서 각각 86%, 81%, 48%로서 정식 시기와 비교할 때 엽수의 차이가 줄어들었음을 알 수 있다. 파프리카의 육묘 과정에서 백색형광등, 청색 또는 적색LED를 인공광원으로 사용할 경우 엽수의 증가로 인하여 정식 초기에 충분한 엽면적의 확보가 가능할 것이다. 실제로 백색형광등과 LED 처리구에서의 엽면적은 자연광 처리구에 비해서 2.2~3.5배 높게 나타났다(Table 1). 엽수를 충분하게 확보하여 엽면적이 늘어나면 파프리카의 착과가 증가하는 것으로 보고된 바 있다(Jung et al., 2010). 인공광 하에서 육묘된 고추 플러그 묘의 경우 자연광 조건에 비해서 묘령이 짧았음에도 불구하고 엽수가 많이 나타난 것으로 보고된 바 있다(RDA, 2006). 인공광 하에서 육묘된 과채류 묘의 엽수가 증가된 원인으로서 명기시간, 광질, 광강도, 주 · 야간 온도차와 같은 환경조건을 들 수 있으나, 보다 명확한 원인을 구명하기 위해서 추가적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

정식 후 114일째에는 초장, 줄기 직경, 평균절간장 등에서 유의차가 인정되었다(Table 3). 초장은 자연광 처리구에서 가장 크게 나타났으며, 청색LED 및 적색LED 처리구에서 작게 나타났다. 이러한 결과는 단색광 LED하에서 육묘된 파프리카의 줄기 신장이 정식 후에 상대적으로 작게 이루어진 것으로 판단된다. 줄기 직경은 자연광 처리구에서 16.0mm로서 크게 나타났으며, 청색LED와 적색LED 처리구에서는 유의차가 인정되지 않았다. 파프리카의 절간장은 개화 및 과실의 착과 높이를 결정하므로 수량과 밀접한 관련이 있다. 그

Table 2. Growth characteristics of paprika ‘Spirit’ on 18 days after transplanting.

Treatments	No. of leaves	No. of nodes	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Main stem length (cm)	Average length of internodes (mm)
Blue LED	35.7b[z]	8.0a	37.1a	8.41ab	20.5b	49.0a
Red LED	37.7ab	9.3a	34.9a	8.23ab	19.6b	37.5a
Natural light	21.3c	9.0a	37.4a	7.60b	27.8a	41.6a
Control	44.0a	8.0a	35.5a	9.13a	17.1c	44.4a
$LSD_{0.05}$	7.7	2.0	3.4	0.99	3.3	15.6

[z]Means with the same letter are not significantly different.

Table 3. Growth characteristics of paprika ‘Spirit’ on 114 days after transplanting.

Treatments	No. of nodes	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Main stem length (cm)	Average length of internodes (mm)
Blue LED	14.0b[z]	99.6c	14.5b	22.1b	68.0c
Red LED	13.8b	107.8bc	14.6b	21.1b	76.8b
Natural light	14.0b	134.1a	16.0a	30.5a	94.9a
Control	15.8a	119.6ab	16.2a	18.2c	74.1bc
$LSD_{0.05}$	1.6	15.4	1.2	2.8	7.6

[z]Means with the same letter are not significantly different.

Table 4. Early yield of six paprikas 'Spirit' harvested by every week.

Treatments	Yield (g)					Yield per plant (g)
	1 week	2 week	3 week	4 week	Total	
Blue LED	1,305 (11[z])	637 (6)	359 (3)	119 (1)	2,420 (21)	115 (3.5)
Red LED	1,051 (9)	1,074 (7)	453 (3)	141 (1)	2,719 (20)	136 (3.3)
Natural light	0 (0)	300 (3)	93 (1)	212 (2)	605 (6)	101 (1.0)
Control	731 (5)	808 (7)	0 (0)	101 (1)	1,640 (13)	126 (2.2)

[z]Figure in parenthesis means the number of fruits harvested.

러므로 육묘 후 엽면적이 가장 크고, 원 가지에서 두 가지로 나뉘는 분지의 높이가 가장 낮으며, 초장이 작은 대조구인 백색형광등이 과실의 수량 증대에 유리할 것으로 판단된다. 정식 후 18일째의 생육 특성과 비교할 때 평균 절간장은 청색LED 처리구에서 68mm로서 139% 증가하였으나, 자연광 처리구에서는 94.9mm로서 228%의 증가를 나타낸 가운데 최고치가 나타났다. 마디수는 대조구에서 15.8개로 18일째와 비교할 때 7.8개 증가하였고, 자연광 처리구에서는 14개로 5개 증가하였다. 한편 청색LED, 적색LED, 자연광 처리구의 유의차는 인정되지 않았다. 상기의 결과로부터 파프리카의 정식 초기에는 육묘 과정에서 생성된 묘소질, 즉 엽수, 초장, 엽수 등이 유지되었으나 그 후에는 정식이 이루어진 온실 환경에 적응하면서 생장패턴이 변화된 것으로 추측된다.

인공광 처리구에서의 첫 수확은 자연광 처리구에 비해서 1주 정도 빠르게 이루어졌다. 초기 4주 동안 수확된 파프리카는 청색LED 3.5개/plant, 적색LED 3.3개/plant으로서 대조구 2.2개/plant에 비해서 각각 159%, 150%로 나타났다. 한편 자연광 처리구에서는 1.0개/plant으로서 대조구의 45%에 해당하였다(Table 4). 초기수량은 적색LED 453g/plant, 청색LED 403g/plant으로서 대조구 273g/plant에 비해서 각각 166%, 148%로 나타났으며, 자연광 조건에서의 초기수량은 101g/plant로서 37%에 불과하였다. 첫 수확 후 3주 동안 청색LED, 적색LED 처리구에서의 수량이 자연광 처리구에 비해서 높게 나타났으나, 이후에는 자연광 처리구와 비슷하게 나타났다. 파프리카의 생육과 착과에 미치는 청색 및 적색 LED의 보광 효과(An et al., 2011)에 따르면 파프리카의 엽온이 청색LED 처리구에서 가장 높게 나타났으나, 수량에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 보고되었다.

재배기간 동안 파프리카의 수량은 누적광량과 선형관계를 지니고 있어, 누적광량이 증가하면 수량이 비례적으로 증가한다(Myoung et al., 2008). 이 때문에 형광등 또는 LED 조명을 이용한 육묘에서 인공광의 조사로 인해 일장이 짧은 겨울철 온실에서의 자연광 처리구보다 누적광량이 많아 초기 생장이 충분히 이루어져 초기 과실의 수량이 많았던 것으로 판단된다. 한편 정식 후 온실에서의 재배기간이 길어짐에 따라 인공광과 자연광 처리구에서 수량 차이가 없었으며, 적색LED 처리구에서의 평균 과중은 136g으로서 다른 처리구와 비교할 때 상대적으로 큰 과실이 생산되었다(Table 4). 이러한 결과를 종합하면 LED 또는 형광등을 인공광원으로 이용한 조건에서 육묘된 파프리카의 정식 후 초기 생육이 양호하였으며, 초기 수확이 자연광처리구에 비해서 1주 정도 빠르게 이루어졌음을 알 수 있다. 또한 적색LED 처리구에서 육묘된 파프리카의 경우 다른 처리구에 비해서 상대적으로 큰 과실이 수확되었다. 한편 육묘단계에서 형성된 파프리카의 육묘 특성은 정식 후 약 3주 정도까지 유지되었고, 그 이후 단계에서의 생육은 온실 내 환경 조건의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 따라서 LED 또는 형광등과 같은 인공광원이 파프리카 육묘에 이용될 경우 묘소질의 향상, 조기 수확 및 초기 수량의 증대가 기대되므로 이러한 인공광원이 폐쇄형 묘생산 시스템에 적용 가능할 것으로 판단된다.

적 요

폐쇄형 묘생산 시스템에서 청색LED, 적색LED, 백색형광등을 인공광원으로 이용한 가운데 파프리카의 육묘시 생장 특성과 정식 후 생장 및 초기 수량을 분석하고자 본 연구가 수행되었다. 폐쇄형 시스템에서 파프리카 육묘용 환경조건은 광주기 16/8h, 평균 PPF 204μmol · m^{-2} · s^{-1}, 기온 26/20°C, 상대습도 70%이었

다. 육묘 후 21일째에 백색형광등과 LED 하에서 생장된 파프리카 묘의 엽장, 엽폭, 엽면적 등 잎 관련 지표뿐만 아니라 지상부 생체중과 건물중, 엽록소함량 등이 자연광 처리구에 비해서 크게 나타났다. 청색 LED, 적색LED 및 자연광 처리구에서의 엽면적은 대조구인 형광등 처리구와 비교할 때 각각 63%, 63%, 28%에 해당하였다. 또한 청색LED, 적색LED 및 자연광 처리구의 지상부 건물중은 각각 대조구의 64%, 50%, 22%로 나타났다.

정식 후 18일째에 엽수는 대조구에서 44매로 가장 크게 나타났다. 적색LED, 청색LED 및 자연광 처리구의 엽수는 대조구에 비해서 각각 86%, 81%, 48%로서 정식 시기와 비교할 때 엽수의 차이가 줄어들었다. 정식 후 114일째에 초장은 청색LED와 적색LED 처리구에서 상대적으로 작게 나타났다. 이러한 결과는 단색LED 하에서 육묘된 파프리카의 줄기 신장이 정식 후에 억제된 것으로 판단된다. 초기 4주 동안 수확된 파프리카는 청색LED 3.5개/plant, 적색LED 3.3개/plant, 자연광 1.0개/plant으로서 대조구 2.2개/plant에 비해서 각각 159%, 150%, 45%로 나타났다. 초기수량은 적색LED 453g/plant, 청색LED 403g/plant, 자연광 101g/plant으로서 대조구 273g/plant와 비교할 때 각각 166%, 148%, 37%로 나타났다. 한편 적색 LED 처리구에서의 평균 중량은 136g으로서 다른 처리구와 비교할 때 상대적으로 큰 과실이 생산되었다. 한편 정식 후 온실에서의 재배기간이 길어짐에 따라 인공광 처리구와 자연광 처리구에서 수량 차이가 없었다. 이러한 결과를 종합하면 LED 또는 형광등을 인공광원으로 이용한 조건에서 육묘된 파프리카의 정식 후 초기 생육이 양호하였으며, 초기 수확이 자연광 처리구에 비해서 1주 정도 빠르게 이루어졌음을 알 수 있다. 따라서 LED 또는 형광등과 같은 인공광원이 파프리카 육묘에 이용될 경우 묘소질의 향상, 조기 수확 및 초기 수량의 증대가 기대된다.

주제어 : 발광다이오드, 수량, 인공광원, 파프리카, 폐쇄형 묘생산 시스템, 형광등

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ907043)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

1. 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 Emitting Diodes) irradiation on growth of paprika (*Capsicum annuum* 'Cupra'). J. of Bio-Environment Control 20(4):253-257 (in Korean).
2. Barta, D.J., T.W. Tibbitts, R.J. Bula, and R.C. Morrow. 1992. Evaluation of light emitting diode characteristics for space-based plant irradiation source. Adv. Space Res. 12:141-149.
3. Buwalda, F., van Henten E.J, De Gelder A.J. Bontsema, and J. Hemming, 2006. Toward an optimal control strategy for sweet pepper cultivation -1. A dynamic crop model. Acta Horticulturae 718:391-398.
4. Choi, I.L., J.H. Won, H.J. Jung, and H.M. Kang. 2009. Effect of red LED, blue LED, and UV a light sources on coloration of paprika fruits. J. of Bio-Environment Control 18(4):431-435 (in Korean).
5. Choi, Y.W., C.K. Ahn, J.S. Kang, B.G. Son, I.S. Choi, Y.C. Kim, Y.G. Lee, K.K. Kim, Y.G. Kim, and K.W. Son. 2003. Growth, photomorphogenesis, and photosynthesis of perilla grown under red, blue light emitting diodes and light intensities. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 44(3):281-286.
6. Eun, J.S., J.H. Choi, and J.S. Kim. 2010. Effects of artificial light and LEDs on seedling growth of perilla (*Perilla frutescens* L.). Kor. J. Hort. Sci. Technol. 28(SUPPL. II):44-45 (in Korean).
7. Fujiwara, K., Y. Kimura, and K. Kurata. 2003. Effect on the quality of grafted tomato plug seedlings of blue light PPFD percentage during red and blue LEDs low light irradiation storage. Environ. Cont. Biol. 41(4): 361-368 (in Japanese).
8. Jung, W.J., H.H. Moon, D.J. Myoung, J.H. Bae, and J.H. Lee. 2010. Effects of Flowering and Fruit on Changes of Source Strength (Changes of Leaf Area) of Sweet Pepper. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 28 (SUPPL. I):68 (in Korean).
9. Kim, Y.H. 1999. Plant growth and morphogenesis control in transplant production system using light-emitting diodes (LEDs) as artificial light source -Spectral characteristics and light intensity of LEDs. J. of Korean Society for Agricultural Machinery 24(2):115-122 (in Korean).
10. Kim, Y.H. 2000. Application of Biotechnology in the Field of Agricultural Machinery Engineering -Development of closed system for transplant production. J. of the Korean Society for Agricultural Machinery 25(4):311-326 (in Korean).
11. Kim, Y.H. 2002. Quality improvement of transplants

using artificial lighting. International Symposium on Automation and Mechatronics of Agricultural and Bio-production Systems. pp. 522-528, Nov. 3-7, National Chiyai University, Chiyai, TAIWAN.
12. Kim, Y.H. and C.H. Lee. 1998. Light intensity and spectral characteristics of fluorescent lamps as artificial light source for close illumination in transplant production factory. J. of the Korean Society for Agricultural Machinery 23(6):591-598 (in Korean).
13. Kim, Y.H. and H.S. Park. 2001. Graft-taking characteristics of watermelon grafted seedlings as affected by blue, red and far-red light-emitting diodes. J. of the Korean Society for Agricultural Machinery 28(2):151-156 (in Korean).
14. Kim, Y.H., H.J. Kim, J.W. Lee, and J.M. Kim. 2008. Growth of potato plug seedlings as affected by photosynthetic photon flux in a closed transplants production system. Biosystems Eng. 33(2):106-114 (in Korean).
15. Kim, Y.H. and J.S. Lee. 2012. Growth and phytochemicals of lettuce (*Lactuca sativa* L.) as affected by light quality and photoperiod of LED lamps. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 30(Suppl. I):85-86 (in Korean).
16. Kim, Y.H. and S.H. Lee. 2006. Variation of plant temperature at joining parts of grafted watermelon seedlings graft-taken under different light quality. Biosystems Engineering 31(5):449-453 (in Korean).
17. Kozai, T., C. Kubota, C. Chun, K. Ohyama, and F. Afreen. 2000. Necessity and concept of the closed transplant production system. In: C. Kubota and C. Chun(eds.) Transplant production in the 21st century pp. 3-19, Kluwer Academic Publishers.
18. Lee, J.S., J.H. Park, and Y.H. Kim. 2011. Growth of lettuce grown under red LED lamp with different wavelength. Proceedings of the Korean Society for Bio-environment Control 20(2):130-131 (in Korean).
19. Lee, J.S. and Y.H. Kim. 2012. Growth and phytochemicals in lettuce as affected by irradiation of blue, red, and UV-A LED. Proceedings of the Korean Society for Bio-environment Control 21(1):242-243 (in Korean).
20. Markovic, V., M. Djurovka, Z. Ilin, and B. Lazic. 2000. Effect of seeding quality on yield characters of plant and fruits of sweet pepper. Acta Horticulturae 533:113-120.
21. Myoung, D.J., J.P. Lee, W.J. Jeong, G.C. Chung, S.G. Kim, and J.H. Lee. 2008. Correlation between radiation and yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) in glasshouse. Proceedings of the Korean Society for Bio-Environment Control 17(1):545-547 (in Korean).
22. Park, Y.H., H.J. Jung, C.W. Lee, C.W. Kim, and B.S. Seo. 2010. Effect of artificial lights on the growth and yield of tomato. J. of Bio-Environment Control 19(4): 290-297 (in Korean).
23. Rural Development Administration (RDA). 2006. A study on the grade standard for plug seedlings. Suwon, Korea (in Korean).
24. Tibbitts, T.W., D.C. Morgan, and J.J. Warrington. 1983. Growth of lettuce, spinach, mustard, and wheat plants under four combinations of high-pressure sodium, metal halide and tungsten halogen lamps at equal PPFD. J. of Amer. Soc. Hort. Sci. 108:622-630.
25. Um, Y.C., Y.A. Jang, J.G. Lee, S.Y. Kim, S.R. Cheong, S.S. Oh, S.H. Cha, and S.C. Hong. 2009. Effects of selective light sources on seedling quality of tomato and cucumber in closed nursery system. J. of Bio-Environment Control 18:370-376 (in Korean).