

암면큐브를 이용한 육묘에서 LED 광질에 따른 파프리카 묘의 생육 특성

이세형¹ · 고바울² · 배종향^{3,4,5} · 구양규^{3,4,5} · 김호철^{3,4,5*}

¹원광대학교 원예학과 대학원생, ²국립원예특작과학원 박사후 연구원, ³원광대학교 원예산업학부 교수,
⁴원광대학교 생명자원과학연구소 교수, ⁵원광대학교 식물육종연구소 교수

Growth Characteristics of Paprika Seedlings Affected by Different LED Light Qualities Raising Seedlings Using Rockwool Cube

Se-Hyoung Lee¹, Baul Ko², Jong Hyang Bae^{3,4,5}, Yang Gyu Ku^{3,4,5}, and Ho Cheol Kim^{3,4,5*}

¹Graduate Student, Department of Horticulture, Graduate School, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

²Post-Doctoral Researcher, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Wanju 55365, Korea

³Professor, Division of Horticulture Industry, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea,

⁴Professor, Institute of Life Science and Natural Resources, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

⁵Professor, Institute of Plant Breeding Research, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

Abstract. This study was conducted to investigate growth characteristics of paprika seedlings according to various qualities of LED light (red : blue = 10 : 0, red : blue = 8 : 2, red : blue = 2 : 8, white). Plant height and stem were significantly longer or thicker as red light ratio increased. Leaf area of paprika seedlings with red light was larger or no significant differences in a mixed light of red and blue. Dry weight of seedling was in the same with the result of leaf area. Seedlings with White light was significantly less than others in all characteristics. As red light ratio was increased, relative growth rate increased. As blue light ratio was increased, the net assimilation amount increased. Considering plant height, leaf area and production ability of dry matter per unit leaf area, the using mixed red and blue lights was suitable, especially at a mixed red : blue = 8 : 2.

Additional key words : relative growth rate, light qualities, rockwool cube

서 론

국내 플러그 육묘방식의 공정육묘는 1990년대 후반 시설원예의 발달과 함께 보급되었다(Shin, 1997). 공정묘 생산방식은 자가육묘방식과 비교하여 생력화, 자동화, 안정생산, 균일한 묘소질, 관리 효율 등 다방면에서 유리하다(Kim 등, 2015; Shin 등, 2000). 정식 후 식물체의 생육, 수량 및 품질의 향상을 위해서는 적정 묘소질이 필요하다고 보고되었다(Buwalda 등, 2006), 이에 따라 우량묘 생산을 위하여 적정 광환경 조성 및 보광연구(Kang 등, 2010; Lee 등, 2012; Um 등, 2009), 물리적 자극(Choi 등, 2001), 주·야간 온도차를 이용한 생육방식(Kim 등, 1999a; Kim 등, 2013), triazole계 농약을 이용한 절간장 제어 방법(Cho, 2015; Zhang 등, 2003), 플러그 셀 사이즈(Lee 등, 2001), 육묘기간 및 온도환경 제어(Cho 등, 2016; Kim 등, 1999b; Kim 등, 2015), 관수관리방법(Lee와 Suh,

2009) 등 우량묘 생산을 위한 다양한 연구들이 수행되었다. 하지만 대부분의 연구들은 플러그 묘에 집중되었고, 암면 큐브를 이용하는 수경재배 방식의 작물 육묘는 전용묘 생산시설이 미흡한 실정이다. 이에 따라 현재까지 대부분의 농가에서 자가육묘에 의존하고 있으며 재배기술 대비 육묘기술 수준이 낮은 실정이다.

특히, 식물 생장에 있어 광 환경은 필수 요소 중 하나로써(Ferentions와 Albright, 2005), 작물의 광합성, 기관별 영양생장, 수량 및 품질에 영향을 준다(Dorais 등, 1991). 파프리카 육묘에서 형광등 및 LED 등 인공광원을 활용하면 자연광보다 생육이 높고 정식 후 생산량 증가와 수확시기 단축에 효과가 있다고 보고되었다(Lee 등, 2012). LED 적색광과 청색광 처리는 지상부 및 지하부 무게 증가와 배측 신장 억제에 효과가 있다고 보고되었다(Yeoung 등, 2000). 하지만 파프리카는 수경재배작물로서, 플러그묘 생산에서 연구된 결과를 적용하기 적합하지 않으며, 균일한 묘가 생산되지 못하는 실정이다. 이에 전용육묘장과 기반기술의 필요성이 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 고품질의 파프리카 묘 생산을 위한 LED

*Corresponding author: go-hc@daum.net

Received January 11, 2022; Revised January 25, 2022;

Accepted January 26, 2022

광질에 따른 파프리카 묘의 생육특성을 구명하여 전용 육묘장의 기반기술로 활용하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 육묘방법

공시 품종은 아시아레드(Asiaseed Co., Seoul, Korea)를 이용하였다. 240공 암면플러그(20 × 27mm, UR media Co., Seoul, Korea)를 이용하여 파종 후 온도 25 ± 1°C, 상대습도 90%로 제어된 생육상에서 7일간 관리하여 발아시킨 후 자연 광상태의 플라스틱 필름온실로 옮겨주었다. 이후 본엽이 2매 전개되었을 때 시험에 따라 처리구당 10주-20를 암면큐브(10 × 10 × 6.5cm, UR media Co.,)에 U자형으로 절곡하여 이식 후(An 등, 2002), LED장치가 설치된 생육상으로 이동 후 연구를 수행하였다. 양액 공급은 농촌진흥청에서 제시한 파프리카 표준배양액(pH 5.8, EC 1.8dS·m⁻¹)을 저면관수방식으로 공급하였다. 육묘 기간은 암면큐브에 이식 후 3주(21일)로 하였다.

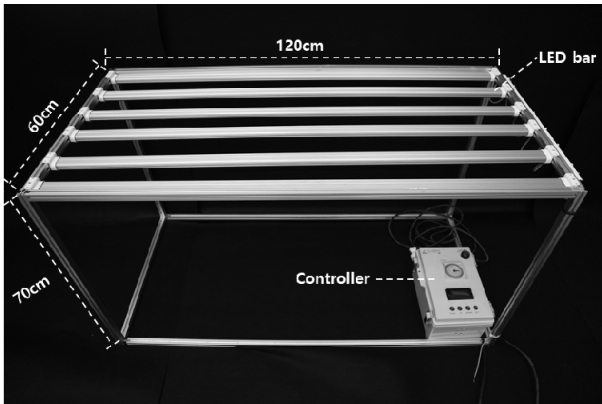


Fig. 1. Device for testing the effects of various light qualities of LED light on paprika seedlings in this study.

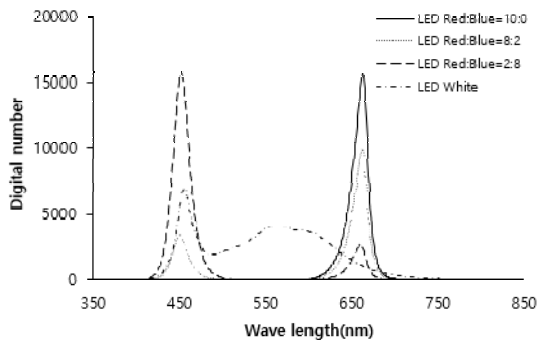


Fig. 2. Spectral distribution by LED Red : Blue ratio.

2. 시험의 처리

LED 광처리를 위하여 자체 제작한 광량자속밀도 제어가 가능한 red와 blue 및 white의 LED 장치를 사용하였다(Fig. 1). 주간(08:00 - 18:00)/야간(18:00 - 08:00) 온도를 25/22°C로 제어한 생육상 내에 LED 장치를 넣어 수행하였다. LED 광질은 red:blue = 10:0, 8:2, 2:8, white 등 4 처리로 하였다. 처리별 광스펙트럼은 Fig. 2와 같다. 각 처리의 광도는 100μmol·m⁻²·s⁻¹로 동일하게 제어되었다.

3. 조사 항목 및 방법

암면큐브 이식 후부터 1주 간격으로 3회 파괴조사를 실시하였으며 묘의 지체부를 절단한 지상부를 조사하였다. 조사 항목은 초장, 경경, 엽수, 엽면적, 생체 중량, 건물 중량을 조사하였다. 초장은 30cm 자를 이용하여 생장점까지의 길이를 측정하였고, 경경은 자엽 위 1cm 위치를 버니어 캘리퍼스(500 - 182, Mitutoyo Co., Kawasaki, Japan)을 이용하여 측정하였다. 엽수는 줄기로부터 분리하며 세었고, 엽면적은 엽면적측정기(LI-3100, LI-COR Co., Lincoln NE, USA)로 측정하였다. 생체 및 건물 중량은 전자저울을 이용하여 측정하였고, 건물 중량은 60°C 건조실에서 5일 정도 완전히 건조시킨 후 측정하였다. 그리고 생체 중량과 건물 중량을 이용하여 건물률을 계산하였다. 양액은 본엽 2매가 전개된 파프리카 묘를 암면큐브에 이식하고 첫 저면관수를 실시하였다. 이후 공급은 주간 08:00 - 18:00에 한하여 암면큐브의 수분함량이 100%인 무게(520g/rockwool cube)를 기준으로 50% 때마다 저면관수방식으로 재공급하였다. 생장분석을 위해 매주 파괴조사를 실시하였고, 조사된 자료들을 이용하여 상대성장률, 순동화율, 건물률을 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사 분석기준(RDA, 2012)에 따라 산출하였다.

상대성장률

$$\text{(Relative Growth Rate, RGR)} = \frac{(\text{Log}_e \text{DW}_2 - \text{Log}_e \text{DW}_1) \div (T_2 - T_1)}$$

순동화율

$$\text{(Net Assimilation Rate, NAR)} = \frac{\{(\text{DW}_2 - \text{DW}_1) \times (\text{Log}_e \text{DW}_2 - \text{Log}_e \text{DW}_1)\} \div \{(T_2 - T_1) \times (L_2 - L_1)\} \times D}$$

건물률

$$\text{(Dry mass)} = (\text{DW} \div \text{FW}) \times 100$$

L : 식물체당 엽면적(cm²/plant)

DW : 식물체당 건물 중량(g/plant)

FW : 식물체당 생체 중량(g/plant)
 DW₁, DW₂ : 시작과 종료 시점의 식물체 건물 중량(g/plant)
 T₁, T₂ : 시작과 종료 시점의 시간(days)
 L₁, L₂ : 시작과 종료 시점의 식물체 엽면적(cm²/plant)
 D : 온실 내 재식밀도

4. 통계분석

측정된 데이터는 SPSS 통계프로그램(12.0 Version, IBM Co., USA)과 엑셀 소프트웨어(MS OFFICE 2016, Microsoft Co., USA)를 사용하여 분석되었다. 처리 간 유의차 검증은 95% 신뢰수준에서 Duncan 다중 검정(Duncan's multiple range test)를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. LED 광질에 따른 파프리카 묘의 소질

LED광질에 따른 파프리카 묘의 생육특성을 살펴보면 (Table 1, Fig. 3, Fig. 4), 초장은 red:blue = 10:0 처리에서 나머지 처리보다 유의하게 길었다. 이러한 경향은 원예작물의 육묘에서 LED 조사시 red 파장(660nm)에서 초기 초장 생육을 촉진시킨다는 결과와 일치하였다(Hong, 2016). 그리고 blue 파장 비율이 추가 또는 증가함에 따라 초장 생육은 뚜렷하게 감소하였다. 청색광(460nm)하에서 재배된 작물의 초장은 짧아진다고 보고되었다(An 등, 2011; Hong, 2016). 하지만 다양한 요인에 의하여 생육 차이가 발생할 수 있고 (Leskovar 등, 1991), Blue 파장에서 초장이 가장 길었다는 연구 결과가 존재하므로(Im 등, 2013) 광 파장과 초장 생육 간 세밀한 검토가 필요해 보인다. 경경은 초장이 길었던 red 비율이 높은 처리에서 유의하게 굵었다. 이러한 경향으로 볼 때 red 파장(660nm)은 초장의 신장뿐만 아니라 줄기의 비대에도 영향을 미치는 것으로 생각된다. 엽수는 LED red:blue = 8:2에서 15.1매로 가장 많았고, 10:0과 2:8에서 각각 13.2매와 13.1매로 유의한 차이를 나타내지 않았다. LED white에서는 11.4매로 유의하게 적었다. 초장 대비 엽수가 많다는 것은 절간장이

짧다는 것을 의미한다. 절간장 제어를 위하여 triazole 계 농약을 이용한 연구 등(Yun 등, 2007) 다양한 연구가 수행되었고, 상기 결과를 고려할 때 blue 비율의 조절을 통한 초장 및 절간장 제어가 가능할 것으로 생각된다. 엽면적은 LED white에서 204cm²/plant로 나머지 처리들에 비해 현저히 짧았다. 이는 Kim 등(2019)의 연구에서 LED를 활용한 오이 접목묘 육묘 시 엽면적이 LED white에서 red와 blue 처리에 비해 짧거나 좁았다는 연구결과와 일치하였다. 이는 Fig. 2와 같이 LED

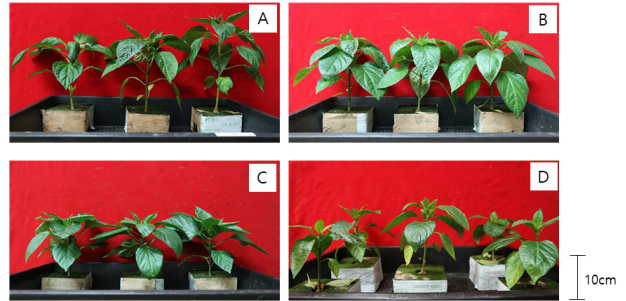


Fig. 3. Plant height of paprika seedlings grown under various qualities of LED light during 3 weeks after transplanting into rockwool block. According to quality of LED lights : A, Red:Blue = 10:0; B, Red:Blue = 8:2; C, Red:Blue = 2:8; D, White.

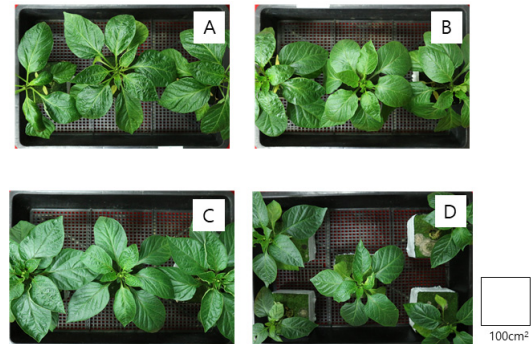


Fig. 4. Leaf area of paprika seedlings grown under various qualities of LED light during 3 weeks after transplanting into rockwool block. According to qualities of LED light: A, Red:Blue = 10:0; B, Red:Blue = 8:2; C, Red:Blue = 2:8; D, White.

Table 1. Growth characteristics of paprika seedlings grown under various qualities of LED light for 3 weeks after transplanting into rockwool cube.

Qualities of LED light	Plant height (cm/plant)	Stem diameter (mm/plant)	Node number (ea/plant)	Leaf area (cm ² /plant)
Red:Blue =10:0	16.6 a ²	5.07 a	13.2 b	412 b
Red:Blue = 8:2	13.9 b	4.90 a	15.1 a	468 a
Red:Blue = 2:8	10.0 c	4.69 b	13.1 b	392 b
White	9.8 c	3.68 c	11.4 c	204 c

²Mean time to reach the 50% of irrigation point after supplying 100% of water contents in rockwool cube.

white가 460nm, 660nm 파장대만 갖는 LED red 및 blue 광에 비해 넓은 파장대를 갖고 있지만 광합성에 활용되는 red 파장의 적은 비율에 따라 동화산물의 생산량이 적었기 때문으로 생각된다.

LED 광질에 따른 초장, 엽수의 변화를 살펴보면, 초장은 이식 후 1주부터 blue 비율이 높을수록 짧아지는 경향이었다. LED white 처리에서 초기에는 다른 처리들과 유의한 차이를 나타내지 않았지만, 육묘 기간이 길어질수록 유의하게 짧아졌다. red:blue = 10:0 처리에서는 이식 후 1주까지는 나머지 처리와 유의한 차이를 나타내지 않았지만 이후 생육이 현저히 빠른 경향을 나타내었다(Fig. 5A). 엽수는 이식 후 2주까지는 처리간 유의한 차이를 나타내지 않았지만 2주 이후 LED red:blue = 8:2 > 10:0, 2:8 > white 순으로 유의한 차이를 보였다(Fig. 5B). 초장과 엽수의 변화를 고려할 때, 적색광(660nm)이 초기에는 동화산물의 분배를 배축의 신장 및 비대에 집중하고 이후 잎의 출현 및 확장에 이용하는 것으로 생각된다. red:blue = 8:2에서 초장 및 엽수의 증가가 가장 높았던 것은 광 요구도가 낮은 파프리카 작물의 특성(lee et al., 2014) 따라 혼합광(red+blue) 처리 시 피토크롬 효과를 증가시키는

red 파장과 암반응을 유도하는 blue 파장의 상호작용으로 인한 것으로 생각된다(Hong, 2016).

LED 광질에 따라 3주간 육묘한 파프리카 묘의 기관별 생체중 및 건물중을 살펴보면(Table 2), 생체중은 LED white에서 엽의 생체중이 5.51g/plant으로 다른 처리들에 비하여 42-46% 정도로 가벼웠다. LED red:blue = 10:0에서는 8:2, 2:8 처리들보다 가벼웠다. 하지만 줄기의 생체중은 red:blue = 10:0에서 red+blue 처리들보다 유의하게 가벼웠다. 건물중도 생체중과 동일한 경향이었다. 이러한 경향은 초장 및 경경의 결과와 같이 red 파장이 줄기의 신장 및 비대에 영향을 끼치기 때문으로 생각된다(Table 1) 건물중은 LED red:blue = 10:0 과 8:2에서 다른 처리들보다 유의하게 낮았다. 건물중이 무거웠던 처리에서 건물중이 높았던 것은 red 파장의 광합성효율이 높아 동화산물의 생산 및 활용이 잘 이루어졌기 때문으로 생각된다(Choi 등, 2003).

따라서 LED를 이용한 파프리카 육묘에서 red 파장을 단독으로 사용하기보다는 줄기 신장을 억제하는 것으로 생각되는 blue 파장을 혼합하여 사용하면 앞으로의 동화산물 분배를 촉진시키고 이에 엽 확장을 촉진하여 이후 광합성 효율을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다. LED white에서 줄기의 건물 중량 비율이 생체 중량에서의 비율보다 오히려 낮았던 것은 줄기 신장에 영향을 미치는 것으로 생각되는 red 파장의 비율이 너무 낮았기 때문으로 생각된다.

LED 광질에 따른 파프리카 묘의 육묘기간 동안 상대생장률과 순동화율을 조사하였다(Table 3). 상대생장률은 LED white에서 낮은 경향으로 다른 처리들에 비하여 75% 수준이었고, LED red:blue = 8:2에서 유의하게 높았다. 반면 엽면적 대비 건물 생산 능력인 순동화율은 LED red:blue = 8:2에서 유의하게 높았고, blue 비율이 커질수록 높은 경향이었다.

상기 결과들을 종합적으로 고려하면, 초장 및 절간장 제어가 가능한 혼합광을 사용하는 것이 적합하다. 특히, 엽면적 확보, 엽면적 대비 건물생산능력(순동화율)에서 가장 우수한

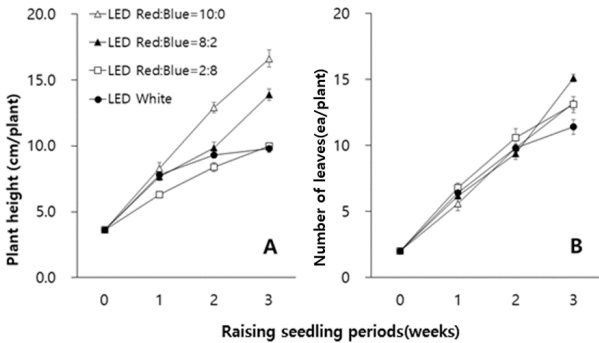


Fig. 5. Changes in plant height (A) and number of leaves (B) of paprika seedlings under various qualities of LED light during 3 weeks after transplanting into rockwool cube. Vertical bars represent the standard error of the mean.

Table 2. Fresh weight and dry weight of paprika seedlings grown under various qualities of LED light for 3 weeks after transplanting into rockwool cube.

Qualities of LED light	Fresh weight (g/plant)			Dry weight (g/plant)			Dry mass (%)
	Leaf (A)	Stem (B)	Total (A+B)	Leaf (A)	Stem (B)	Total (A+B)	
Red:Blue = 10:0	11.89 b ²	4.27 a	16.16 ab	1.14 bz	0.49 a	1.63 b	10.1 c
Red:Blue = 8:2	13.16 a	3.90 b	17.06 a	1.35 a	0.47 a	1.82 a	10.6 b
Red:Blue = 2:8	12.08 ab	2.68 c	14.76 b	1.24 ab	0.37 b	1.61 b	11.0 ab
White	5.51 c	1.44 d	6.95 c	0.64 c	0.16 c	0.8 c	11.6 a

²Mean time to reach the 50% of irrigation point after supplying 100% of water contents in rockwool cube.

Table 3. Relative growth rate (RGR) and net assimilation rate (NAR) of paprika seedlings grown under various qualities of LED light for 3 weeks after transplanting into rockwool cube.

Qualities of LED light	RGR (g·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	NAR (g·cm ² ·d ⁻¹)
Red:Blue = 10:0	0.149 b ^c	0.207 b
Red:Blue = 8:2	0.155 a	0.211 b
Red:Blue = 2:8	0.149 b	0.214 a
White	0.116 c	0.158 c

^aMean time to reach the 50% of irrigation point after supplying 100% of water contents in rockwool cube.

Table 4. Irrigation levels supplied for producing paprika seedlings under various qualities of LED light for 3 weeks after transplanting into rockwool cube.

Qualities of LED light	Total irrigation number	Average of water maintenance periodz (hours/time)
Red:Blue = 10:0	3	219
Red:Blue = 8:2	3	239
Red:Blue = 2:8	3	215
White	2	312

^aMean time to reach the 50% of irrigation point after supplying 100% of water contents in rockwool cube.

red:blue = 8:2처리가 가장 우량한 묘를 생산하기에 적합할 것으로 생각된다.

2. LED 광질에 따른 관수 체계 차이

광질에 따른 암면큐브의 3주간 수분보유 변화를 살펴보았다(Table 4). 급액횟수는 LED white에서 2회로 가장 적었고, 나머지 처리에서는 3회로 동일하였다. 암면큐브의 평균 수분 유지시간은 LED white에서 312시간으로 가장 길었고, LED 혼합광 처리들에서는 215 - 239시간으로 LED white에 비해 73 - 97시간 정도 짧았다. 엽면적이 적었던 LED white에 비해 혼합광 처리들에서 이 기간이 짧았던 것은 식물의 대사활동에 활용되는 1%의 수분은 제외하더라도(Salisbury와 Ross, 1992), 엽면적 확보에 따라 공기 중으로 이동하는 증산량이 많다는 것을 의미한다. LED white를 제외하고 LED 처리들에서는 엽면적이 넓을수록 평균 수분 유지시간이 짧은 경향이였다. 적은 조건에서 증산량은 광합성량과 정의상관을 나타내므로 수분보유시간만으로 판단하기는 어려울 것으로 생각된다. 본 결과만으로 볼 때에는 현장에서 경제성을 고려할 때는 LED white를 활용하는 것이 물과 비료 비용을 절약할 수 있으

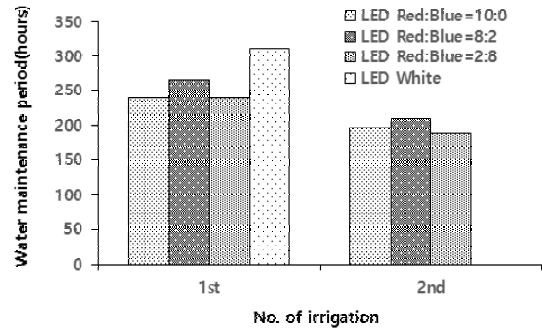


Fig. 6. Changes in water maintenance period of rockwool cube with paprika seedlings under various qualities of LED light after transplanting.

나 식물의 형태형성이나 광합성 생리를 고려할 때에는 LED red+blue를 활용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

광질에 따른 급액 회차별 암면큐브의 수분유지기간을 살펴 보면(Fig. 6), 첫 번째 급액에서 수분유지기간은 Led white > red:blue = 8:2 > red:blue = 10:0 > red:blue = 2:8 순으로 짧았다.

두 번째 급액은 첫 번째 급액의 수분유지기간보다 모든 처리에서 26 - 74시간 감소하였다. 엽면적 증가가 많았던(red:blue = 8:2)처리에서 수분유지기간의 감소폭이 컸다. 이러한 결과는 엽면적 확보에 따른 증산량의 증가에 기인한 것으로 생각된다.

적 요

본 연구는 파프리카 육묘 시 다양한 LED 광질(red:blue = 10:0, 8:2, 2:8, white)에 따른 생육변화에 대하여 구명하여 수경재배용 묘 생산을 위한 전용육묘장의 기반기술로 활용하고자 수행하였다. 초장과 줄기직경의 생육은 red 비율이 높을수록 유의하게 길거나 굵었고, 엽면적은 LED red:blue = 8:2에서 가장 넓었다. 건물 중량도 엽면적과 동일한 경향이였다. LED white에서는 모든 묘의 소질에서 다른 처리들보다 뚜렷하게 저조하였다. 상대생장률은 red 비율이 높을수록 높은 경향을 나타내었고 순동화율은 blue 비율이 높을수록 높은 경향을 나타내었다. 따라서 본 시험에서 LED를 활용한 파프리카 육묘 시 초장, 엽면적, 단위엽면적당 건물생산능력 등을 고려하였을 때 혼합광을 이용하는 것이 적합하고 특히, LED red:blue = 8:2가 가장 적합한 것으로 생각된다. 그리고 red와 blue 파장의 적절한 혼합 비율을 통해 파프리카 묘의 초장 및 절간장을 제어할 수 있을 것으로 생각된다.

추가 주제어: 상대생장률, 암면큐브, 파프리카

사 사

본 연구는 농림축산식품부 농식품기술개발사업(과제번호 319008-01)의 지원을 받아 수행되었음.

Literature Cited

- 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.
- 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 Bio-Env Con* 20:253-257. (in Korean)
- Buwalda F., E.J. Van Henten, A. De Gelder, J. Bontsema, and J. Hemming 2006, Toward an optimal control strategy for sweet pepper cultivation: A dynamic crop model. *Acta Hort* 718:367-374. doi:10.17660/ActaHortic.2006.718.42
- Cho Y.H. 2015, Seedling quality, growth and yield characteristics after transplanting of grafted tomato as affected by seedling age and diniconazole treatment. PhD Dissertation, Wonkwang Univ., Iksan, Korea.
- Cho Y.H., C.S. Kim, J.M. Kim, Y.G. Ku, and H.C. Kim 2016, Qualities and early growth responses of paprika seedlings grown in high and low temperatures. *Korean J Hortic Sci Technol* 34:719-726. doi:10.12972/kjhst.20160075
- Choi Y.H., C.K. Ahn, J.S. Kang, B.G. Son, I.S. Choi, Y.C. Kim, Y.G. Lee, K.K. 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* 44:281-286. (in Korean)
- Choi Y.H., H.C. Rhee, D.K. Park, J.K. Kwon, and J.H. Lee 2001, Effect of mechanical stimulation and chemical treatments on growth of seedlings and yield of tomato. *Kor J Hort Sci & Technol* 19:320-324. (in Korean)
- Dorais M., A. Gosselin, and M.J. Trudel 1991, Annual greenhouse tomato production under A sequential intercropping system using supplemental light. *Sci Hort* 45:225-234. doi:10.1016/0304-4238(91)90067-9
- Ferentions K.P., and L.D. Albright 2005, Optimal design of plant lighting system by genetic algorithms. *Eng Appl Artif Intell* 18:473-484. doi:10.1016/j.engappai.2004.11.005
- Hong J.W. 2016, A study on the photosynthesis accelerate by light color composition in plant factory. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society* 17:368-375. (in Korean) doi:10.5762/KAIS.2016.17.11.368
- Im J.U., Y.C. Yoon, K.W. Seo, K.Y. Kim, A.K. Moon, and H.T. Kim 2013, Effect of LED light wavelength on chrysanthemum growth. *J Bio-Env Con* 22:49-54. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2013.22.1.049
- Kang Y.I., J.K. Kwon, K.S. Park, I.H. Yu, S.Y. Lee, M.W. Cho, and N.J. Kang 2010, Changes in growth of tomato and grafted watermelon seedlings and allometric relationship among growth. *J Bio-Env Con* 19:275-283. (in Korean)
- Kim H.C., Y.G. Ku, Y.B. Lee, J.H. Lee, J.H. Choi, and J.H. Bae 2013, Early growth of sweet pepper by difference between day and night temperature after planting. *Kor J Hort Sci Technol* 19:552-557. (in Korean) doi:10.7235/hort.2013.13044
- Kim H.C., Y.H. Cho, Y.G. Ku, and J.H. Bae 2015, Seedling qualities of hot pepper according to seedling growth periods and growth and yield after planting. *Korean J Hortic Sci Technol* 33:839-844. (in Korean) doi:10.7235/hort.2015.15083
- Kim H.G., Y.H. Choi, and Y.H. Kim 2019, Graft-taking and growth characteristics of grafted cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings as affected by light quality and blink cycle of LED modules. *Protected Hort Plant Fac* 28:143-149. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2019.28.2.143
- Kim O.I., Y.S. Chae, and B.R. Jeong 1999a, Effect of day/night temperatures, and N concentration and NH₄ : NO₃ ratio of nutrient solution on the differentiation of flower buds, node of early fruit set, and growth of 'Sukwang' tomato. *J Kor Soc Hort Sci* 40:287-293.
- Kim Y.B., Y.H. Hwang, and W.K. Shin 1999b, Effect of root container size and seedling age on growth and yield of tomato. *J Kor Soc Hort Sci* 40:163-165.
- Lee E.J., and J.K. Suh 2009, Effect of watering control on growth and bulb size of plug seedling in onion (*Allium Cepa* L.) set production. *Kor J Hort Sci Technol* 27:167-173. (in Korean)
- Lee J.S., H.I. Lee, and Y.H. Kim 2012, Seedling quality and early yield after transplanting of paprika nursed under light-emitting diodes, fluorescent lamps and natural light. *J Bio-Env Con* 21:220-227. (in Korean)
- Lee J.W., H.C. Kim, P.H. Jeong, Y.G. Ku, and J.H. Bae 2014, Effects of supplemental lighting of high pressure sodium and lighting emitting plasma on growth and productivity of paprika during low radiation period of winter season. *Kor J Hort Sci Technol* 32:346-352. doi:10.7235.hort.2014.14029
- Lee J.W., K.Y. Kim, and Y.M. Yu 2001, Effects of nutrient solution strength, seedling age, and container size on seedling quality and yield of 'Spirit' colored bell pepper. *J Kor Soc Hort Sci* 42:300-304.
- Leskovar D.I., D.J. Cantliffe, and P.J. Stoffella 1991, Growth and yield of tomato plants in response to age transplant. *J Amer Soc Hort Sci* 116:416-420. doi:10.21273/JASHS.116.3.416
- Rural Development Administration (RDA) 2012, Analysis standard for research in agricultural science and technology. pp 503-504.
- Salisbury F.B., and C.W. Ross 1992, *Plant Physiology*. Fourth edition. Wadsworth Publishing Company, Belmont, California. doi:10.1017/S0890037X0003462X
- Shin Y.A. 1997, Studies on optimal seedling quality for mechanical

- transplanting and growth regulation in plug seedling of hot pepper. PhD thesis. Konkuk Univ., Seoul, Korea.
- Shin Y.A., K.Y. Kim, Y.C. Kim, T.C. Seo, J.H. Chung, and H.Y. Park 2000, Effect of plug cell size and seedling age on seedling quality and early growth after transplanting of red pepper. *J Kor Soc Hort Sci* 41:49-52.
- 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 Bio-Env Con* 18:370-376. (in Korean)
- Yeoung Y.R., S.J. Hwang, and I.S. Kim 2000, Effect of light quality on growth of cucumber plug seedlings. *J Bio-Env Con* 9:89-93. (in Korean)
- Yun H.K., T.C. Seo, J.W. Lee, and E.Y. Yang 2007, Effect of triazole growth regulator treatment on the growth of plug seedling and yield of tomato. *J Bio-Env Con* 16:205-209. (in Korean)
- Zhang C.H., I.J. Chun, Y.C. Park, and I.S. Kim 2003, Effect of timings and light intensities of supplemental red light on the growth characteristics of cucumber and tomato plug seedlings. *J Bio-Env Con* 12:173-179. (in Korean)