

보광 광원 종류에 따른 약광기 품종별 오이 접목묘의 생육과 묘소질 및 정식 후 초기 과실 수량

최형은¹ · 황소영¹ · 윤지혜¹ · 유진¹ · 황정훈¹ · 박은원¹ · 구정길¹ · 황희성^{2,3} · 황승재^{4,5,6*}

¹경상국립대학교 응용생명과학부 대학원생, ²경상국립대학교 작물생산과학부 대학원생,

³경상국립대학교 농업생명과학연구원 연구원, ⁴경상국립대학교 농업생명과학대학 원예과학부 교수,

⁵경상국립대학교 농업생명과학연구원 교수, ⁶경상국립대학교 생명과학연구원 교수

Growth and Seedling Quality of Grafted Cucumber Seedlings by Different Cultivars and Supplemental Light Sources of Low Radiation Period and Early Yield of Cucumber after Transplanting

Hyeong Eun Choi¹, So Yeong Hwang¹, Ji Hye Yun¹, Jin Yu¹, Jeong Hun Hwang¹, Eun Won Park¹,
Jeong Kil Koo¹, Hee Sung Hwang^{2,3}, and Seung Jae Hwang^{4,5,6*}

¹Graduate Student, Division of Applied Life Science, Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

²Graduate Student, Division of Crop Science, Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

³Researcher, Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

⁴Professor, Division of Horticultural Science, College of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

⁵Professor, Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

⁶Professor, Research Institute of Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

Abstract. To harvest marketable cucumbers, high quality seedlings must be used. Producing seedlings in the greenhouse during the low radiation period decreases marketability due to insufficient light for growth. Supplemental lighting with artificial light of different quality can be used to improve low light conditions and produce high quality seedlings. Therefore, this study was conducted to select the appropriate supplemental light sources on the growth and seedling quality of grafted cucumber seedlings during the low radiation period. Three cultivars of cucumber were used as scions for grafting; 'NakWonSeongcheongjang', 'Sinsedae', and 'Goodmorning baekdadagi'. Figleaf gourd (*Cucurbita ficifolia*) 'Heukjong' was used as the rootstock. The seeds were sown on January 26, 2023, and grafted on February 9, 2023. After graft-taking, cucumbers in plug trays were treated with RB light-emitting diodes (LED, red and blue LED, red:blue = 8:2), W LED (white LED, R:G:B = 5:3:2), and HPS (high-pressure sodium lamp), respectively. Non-treatment was used as the control. Supplemental lighting was applied 2 hours before sunrise and 2 hours after sunset for 19 days. The stem diameter and fresh and dry weights of roots did not differ significantly by supplemental light sources. The plant height and hypocotyl length were decreased in W LED. However, the leaf length, leaf width, leaf area, and fresh and dry weights of shoots were the highest in the RB LED. Seedling qualities such as crop growth rate, net assimilation rate, and compactness were also increased in RB LED and W LED. After transplanting, most of the growth was not significant, but early yield of cucumber was higher in LED than non-treatment. In conclusion, using RB LED, W LED for supplemental light source during low radiation period in grafted cucumber seedlings improved growth, seedling quality, and early yield of cucumber.

Additional key words: compactness, leaf area, light quality, net assimilation rate, plug seedling

서론

오이(*Cucumis sativus* L.)는 2021년 기준 세계 생산량이 9,120만 톤에 달하는 시설 채소류로 전 세계적으로 널리 재배되고 있다(FAO, 2022). 우리나라의 최근 3년간(2020 - 2022)

*Corresponding author: hsj@gnu.ac.kr

Received September 27, 2023; Revised October 13, 2023;

Accepted October 14, 2023

오이 면적은 평균 4,026ha에 달하고 이중 오이 시설재배 면적은 약 76%이다(Statistics Korea, 2023a, 2023b). 특히 시설 오이는 시설 과채류 중 단위 면적당 소득이 2번째로 높은 작목으로 10a당 1,165만 원 수준의 소득을 올릴 수 있는 농가에 중요한 작목이다(RDA, 2019). 오이는 남부 지방에서 겨울철에 출하되기 시작하여 점차 중북부 지방으로 출하권이 확대되고, 출하기는 4월부터 5월 중순까지에 집중되어 있다(Lee 등, 2021).

국내 겨울철의 일일 누적 일사량은 $800 - 1,200 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$ 로 오이 생산에 부족하지 않으나(Myung, 2007), 온실의 낮은 광투과율에 의해 작물 생산성이 낮아지고(Jeong 등, 2008; Kwon과 Chun, 1999), 시설 내부의 불균일한 환경으로 인해 균일한 품질의 수확물을 생산하는데 어려움이 있다(Marcelis 등, 2004). 특히 육묘장과 같이 온실에서 묘를 생산하는 경우 일조량이 부족한 시기에 온실 피복재의 노후화와 미세먼지 등으로 인해 저품질 묘가 생산될 수 있다(Zhang 등, 2020).

오이는 전체 묘 생산량 대비 접목묘가 50% 이상 생산되고 있는 작목이다. 접목묘는 토양 매개 질병과 염류장해 등 생육에 불리한 환경에 대한 내성을 증가시키기 위한 목적으로 토마토, 고추, 수박, 그리고 오이 등의 과채류를 중심으로 사용되고 있다(Bletsos 등, 2003; Kim 등, 2013; Matsuzoe 등, 1993). 오이 접목묘의 접목 활착 후 육묘 단계에서 보통 본엽 3매 정도에 이미 18엽까지의 엽수가 분화되어 있고 15마디까지 꽃눈분화가 이루어져 있으며, 꽃눈분화가 이루어지는 마디의 1/2 정도인 7엽까지 성 분화가 결정된다(Lee 등, 2021). 육묘기의 환경 관리는 오이의 암꽃 분화에 큰 영향을 미치고, 암꽃 분화는 과실 수량과 연결되기 때문에 육묘기의 환경 관리는 매우 중요하다(Lee 등, 2021).

공정 육묘장에서 겨울과 같은 약광기에 인공광을 사용한 보광을 통해 부족한 광을 보충해 주어 고품질의 묘를 생산할 수 있다(Hao와 Papadopoulos, 1999; Wei 등, 2018). 보광처리를 통해 부족한 광 조건을 개선한다면 식물의 생육이 촉진되고, 품질이 향상되며 수확량을 증가시킬 수 있다(Dougher와 Bugbee, 2004; Jie 등, 2003; Qian과 Kubota, 2009). 보광은 사용하는 광원에 따라 초기 투자비용과 소비전력에 차이가 날 뿐만 아니라, 식물의 생장에 관여하는 광량 및 광합성 유효 파장의 비율이 달라 보광 광원의 선정이 매우 중요하다(Chon 등, 2018; Fisher 등, 2017). 발광 다이오드(light-emitting diodes, LED)는 높은 에너지 효율성을 지녔으며 수명이 길고, 사용자가 원하는 광 파장을 조합할 수 있어 주목받는 광원이다(Bourget, 2008; Mitchell, 2015). LED와 비교하여 경제적 효율이 높은 고압나트륨램프(high-pressure sodium lamp, HPS) 또한 보광 광원으로 사용되고 있다(Fisher 등, 2017). 그

러나 약광기 온실 내 오이 접목묘의 육묘 기간 중 적정 보광 광원이 구명되지 않아 이에 관한 연구가 필요한 실정이다. 따라서 약광기에 품종별 오이 접목묘의 접목 활착 이후 보광 광원에 따른 묘소질과 정식 후 수량을 확인하기 위해 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

1. 식물 재료

오이(*Cucumis sativus* L.)는 가시오이인 ‘낙원성청장’(Nak-WonSeongcheongjang, Wonnongseed Co. Anseong, Korea), 취청오이인 ‘신세대’(Sinsedae, FarmHannong Co. Ltd., Seoul, Korea), 그리고 다다기오이인 ‘굿모닝백다다기’(Goodmorning backdadagi, Nongwoo Bio Co. Suwon, Korea)를 접수로 하고, ‘흑종’ 호박(*Cucurbita ficifolia* cv. Heukjong, FarmHannong Co. Ltd., Seoul, Korea)을 대목으로 사용하였다. 2023년 1월 26일에 105구 트레이에 파종하고, 2023년 2월 9일에 단근편엽합접 방법으로 50구 트레이에 접목하였다. 접목 활착은 접목 활착실에서 기온 $25 \pm 0.2^\circ\text{C}$, 상대습도 $97 \pm 1.3\%$, 광도(PPFD) $3.4 \pm 0.2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 환경에서 5일 동안 진행되었다. 2023년 2월 17일에 경상국립대학교 부속농장에 위치한 온실에서 19일간 실험을 진행하였다. 처리별 3개의 품종을 33개 체 3반복으로 배치하고, 실험구 안에서도 광도에 따른 편차를 줄이기 위해 2일마다 트레이 위치를 바꿔주었다. 이후 정식 실험은 경상국립대학교 부속농장에 위치한 91m^2 면적의 플라스틱 온실에서 진행되었으며, 온실의 피복재는 PE 필름을 사용하였다. 정식 실험은 2023년 3월 10일부터 진행되어 2023년 5월 6일까지 총 58일 간 생육을 관찰하였다.

2. 생육 환경 및 보광 처리

육묘 기간 내 온실의 생육 환경은 농업환경 단독계측기(aM-31, WISE Sensing Inc., Yongin, Korea)를 이용하여 평균 기온은 $19 \pm 1^\circ\text{C}$, 평균 상대습도는 $36 \pm 2\%$ 로 유지되었음을 확인하였다(Fig. 1). 온실 다용도 액비[(CaNO_3) $_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 472.0, KNO_3 202.0, KH_2PO_4 272.0, NH_4NO_3 80.0, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 46.0, Fe-EDTA 15.0, H_3BO_3 1.4, $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 2.1, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.8, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.2, 그리고 $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.1 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$]를 조제하여 휴대용 pH/EC 측정기(HI98130, Hanna Instruments Inc., Woonsocket, RI, USA)를 사용하여 EC는 $1.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, pH 6.5로 조절한 후, 2일에 한 번 저면관수로 양액을 공급하였다. 각 처리는 접목 활착이 된 2023년 2월 17일에 시작하여 2023년 3월 7일에 종료하였으며 총 19일간 처리가 진행되었다.

광원으로 고압나트륨등(HPS, SON-T Agro 400W, Philips, Eindhoven, The Netherlands), RB LED(RB LED, R:B = 8:2, PW150-targeted spectrum, Bissol Co., Ltd., Seoul, Korea), White LED(W LED, R:G:B = 5:3:2, PW150-full spectrum, Bissol Co., Ltd., Seoul, Korea)을 사용하였으며, 무처리구를 대조구로 설정하였다. 광합성유효광양자속밀도(photosynthetic photon flux density, PPF)는 광도계(HD2101.2, Delta Ohm SrL., Caselle, Italy)를 이용하여 생장점에서 측정하였을 때 $150 \pm 10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이 되도록 설정하였으며, 사용된 광원의 광질을 분광복사계(ILT950, International Light Technologies Co., Ltd., Peabody, MA, USA)를 이용하여 분석하였다(Fig. 2). RB LED와 W LED 실험구에서 광원과 묘 사이의 거리는 90cm로 동일하지만, HPS 실험구는 상대적으로 광원의 광도가 낮아 60cm로 배치하였다. 사용한 광원들의 과장대에 따른 뚜렷한 효과를 보기 위해 보광 처리 시간은 일출 전과 일몰 후

각각 2시간씩 총 4시간 동안 실시하였고, 보광 처리는 2023년 2월 17일부터 3월 7일까지 총 19일간 수행하였다.

3. 생육 및 묘소질 조사

처리 후 15일째에 보광 광원에 따른 오이 접목묘의 생육조사를 실시하였다. 생육조사에 사용된 묘는 각 트레이 내 균일한 개체를 임의로 선발하였으며, 접목묘의 조사항목으로는 초장, 하배축장, 엽장, 엽폭 및 엽면적 등을 조사하였다. 초장은 지체부에서 식물체의 생장점까지의 높이를 측정하였으며, 하배축장은 지체부에서 접목한 부분까지 측정하였다. 경경은 버니어캘리퍼스(CD-20CPX, Mitutoyo Co., Ltd., Kawasaki, Japan)를 사용하여 지체부 상단 1cm를 측정하였고, 엽장과 엽폭 그리고 SPAD는 완전히 전개된 4번째 본엽에서 측정하였으며, 엽수는 측정 시 제1엽부터 엽장이 1cm 이상인 잎을 포함하였다. 엽면적은 엽면적 측정기(LI-3000, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA)를, 생체중과 건물중은 전자저울(EW220-3NM, Kem&Sohn GmbH., Balingen, Germany)을 이용하여 측정하였다. 건물중은 시료를 70°C 항온 건조기(Venticell-222, MMM Medcenter Einrichtungen GmbH., Planegg, Germany)에서 72시간 건조한 후 측정하였다. SPAD 값은 엽록소 측정기(SPAD-502, Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였고, 지하부의 생육은 뿌리 이미지 스캐너(Expression 12000XL, EPSON Co., Ltd., Seoul, Korea)를 이용하여 뿌리를 스캔하고 WinRhizo Pro 2007a 뿌리 이미지 형태 분석 시스템(Regent Instruments Inc., Sainte-Foy, QC, Canada)을 이용하여 총 뿌리길이, 뿌리 표면적, 평균 뿌리 직경, 뿌리 부피, 근단 수를 분석하였다.

묘소질 분석을 위해 작물생장률(crop growth rate, CGR), 충실도(compactness), 그리고 순동화율(net assimilation rate,

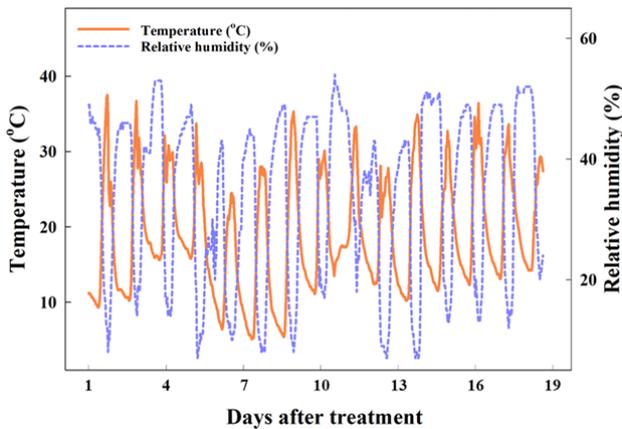


Fig. 1. Changes in temperature and relative humidity in greenhouse during 19 days after treatment.

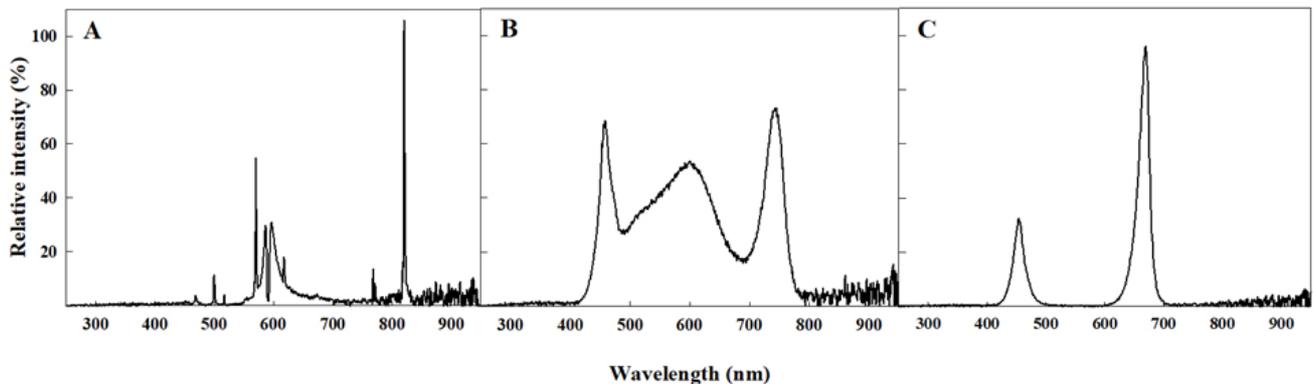


Fig. 2. Spectral distribution of light sources used in a greenhouse. The supplemental light sources are HPS (high-pressure sodium lamp) (A), WLED (white LED, R:G:B = 5:3:2) (B), and RB LED (red and blue LED, R:B = 8:2) (C).

NAR)은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사 분석기준(RDA, 2012)을 기초로 아래의 계산식을 이용하여 산출하였다.

$$CGR (mg \cdot cm^{-2} \cdot d^{-1}) = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1}$$

$$Compactness (mg \cdot cm^{-1}) = \frac{Shoot\ dry\ weight}{Plant\ height}$$

$$NAR (g \cdot cm^{-2} \cdot d^{-1}) = \frac{(W_2 - W_1)(\ln L_2 - \ln L_1)}{(t_2 - t_1)(L_2 - L_1)}$$

W_1, W_2 : 실험 시작 및 종료 시점의 식물체 당 건물중

t_1, t_2 : 실험 시작 및 종료 시점의 시간

L_1, L_2 : 실험 시작 및 종료 시점의 식물체 당 엽면적

정식 후 생육 조사항목 중 초장과 마디 수는 지제부부터 생장점까지 측정하였다. 암꽃 수는 생육조사를 시작한 날부터 완전히 개화된 꽃을 측정하였다. 과실은 2023년 4월 22일부터 2주간 수확하였으며, 과중이 150g 이상인 상품과를 기준으로 과장은 품종의 고유 특성에 따라 ‘낙원성청장’은 30cm 이상, ‘신세대’는 25 - 30cm, ‘굿모닝백다다기’는 20 - 25cm 인 과실을 수확하였고, 과실은 곡과와 같이 상품성이 떨어지는 과실은 제외하고 정상과만 측정하였다(KAMIS, 2014).

4. 조사 및 통계분석

보광 실험은 완전임의 배치된 실험구 내에서 3반복으로 진행되었다. 통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 일원배치 분산분석(ANOVA)을 실시하였고, 평균간 비교는 Duncan’s multiple range test를 이용하여 5% 유의수준에서 각 처리 간 유의성을 검증하였다. 그래프는 SigmaPlot 프로그램(SigmaPlot 14.5, Systat Software Inc., San Jose, CA, USA)을 이용하여 나타냈다.

결과 및 고찰

1. 약광기 보광에 따른 접목묘 생육 비교

Fig. 3은 보광 처리 후 19일째 품종 및 보광 광원 종류에 따른 오이 접목묘의 생육 상태를 나타낸 것이며, 초장은 품종별로 차이가 있으나 W LED와 HPS 실험구에서 감소하는 경향을 보였다(Table 1). 잎의 엽록소 함량을 나타내는 SPAD값은 대조구에 비해 ‘낙원성청장’ 품종에 LED를 처리하였을 때 유의적으로 높은 경향을 보였다. W LED에서 청색광의 비율이 다

른 보광 처리에 비해 높게 나타났는데(Fig. 2), 청색광의 수용체인 크립토크롬(cryptochrome)은 초장의 신장을 억제하며(Rajapakse와 Kelly, 1992), 포토트로핀(phototropins)과 함께 엽록체 발달을 유도하여 엽색도를 높이는 효과가 있다고 보고되었다(Botto 등, 1996; Kang 등, 2022). 따라서 W LED의 청색광의 비율이 다른 보광 처리에 비해 가장 높아 초장이 감소하고, SPAD값이 가장 높은 결과가 도출된 것으로 판단된다. 보광 광원에 따른 유의성이 나타난 조사항목 중 엽장, 엽폭, 엽면적, 지상부의 생체중 및 건물중은 RB LED에서 유의성 있게 높은 값을 나타냈다. Wongnok 등(2008)에 따르면 광질은 식물체의 신초 성장과 잎의 형태 등에 영향을 미치는 것으로 보고하였다. 광질의 파장대 중 적색광(600 - 700nm)은 엽록소의 최대 흡광도에 해당하는 파장대를 공급하며(McCree, 1972), 광수용체인 피토크롬에 의해 엽장, 초장, 엽면적의 증가가 촉진되는 형태학적 변화를 유발한다(Xin 등, 2018). 이전 연구에서 RB LED를 9:1로 처리하였을 때, 오이의 엽면적이 증가한다고 보고된 바가 있고(Zou 등, 2020), Kim과 You(2013)는 적색광의 비율이 높을수록 고추냉이의 엽면적과 건물중량이 증가한다고 보고하였다. 본 연구에서도 비교적 적색광의 비율이 높은 RB LED 실험구에서 잎의 생육과 지상부의 건물중이 증가한 것으로 판단된다.

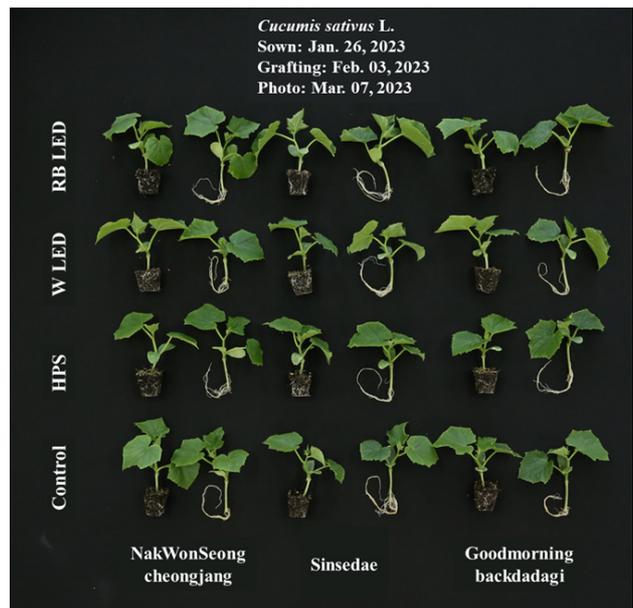


Fig. 3. Growth of cucumber seedlings affected by different supplemental light sources and cultivars at 19 days after treatment. Supplemental lighting sources are RB LED (red and blue LED, R:B = 8:2), W LED (white LED, R:G:B = 5:3:2), and HPS (high pressure sodium lamp).

Table 1. Shoot growth characteristics of cucumber seedlings as affected by different supplemental light sources and cultivars at 19 days after treatment (n = 6).

Light Source ^z (A)	Cultivar ^y (B)	Plant height (cm)	Hypocotyl length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Number of leaves	Stem diameter (mm)	SPAD	Leaf area (cm ² /plant)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
Control	NWS	12.53 a ^x	5.77 ab	6.57 d	8.22 e	4.33 a	4.52	37.97 c	111.95 b-e	5.77 a-c	0.53 bc
	SD	11.20 b-d	5.48 a-c	6.63 d	8.30 e	4.00 ab	4.53	44.92 a	99.76 e	5.01 b-d	0.50 b-d
	GB	11.38 a-d	5.91 ab	7.55 ab	8.28 e	4.00 ab	4.43	43.63 ab	97.33 e	5.28 b-d	0.48 b-d
RB LED	NWS	11.38 a-d	5.90 ab	7.18 b-d	9.23 b	4.00 ab	4.17	40.47 bc	120.91 a-c	6.05 ab	0.55 ab
	SD	11.47 a-c	5.49 a-c	7.93 a	10.09 a	3.86 bc	4.52	44.07 a	129.03 ab	6.35 a	0.56 ab
	GB	10.64 a-e	5.58 ab	8.08 a	10.06 a	3.60 b-d	4.50	42.52 ab	135.80 a	6.54 a	0.62 a
W LED	NWS	9.30 f	4.70 cd	7.43 a-c	9.33 b	3.33 d	4.59	42.83 ab	118.02 b-d	5.72 a-c	0.54 ab
	SD	10.28 c-f	5.15 bc	6.87 b-d	8.45 c-e	3.50 cd	4.59	45.23 a	99.48 e	4.85 d	0.44 cd
	GB	9.73 ef	5.30 a-c	6.70 cd	8.42 de	4.00 ab	4.57	42.10 ab	103.83 c-e	5.15 cd	0.51 b-d
HPS	NWS	12.15 ab	6.12 ad	6.72 cd	8.78 b-e	4.00 ab	4.18	38.00 c	108.75 c-e	5.30 b-d	0.44 cd
	SD	10.07 d-f	5.17 bc	7.00 b-d	8.65 b-e	3.83 bc	4.65	43.48 ab	104.22 c-e	5.13 cd	0.42 d
	GB	9.20 f	5.18 bc	6.85 b-d	9.13 b-d	4.00 ab	4.43	42.65 ab	102.51 de	5.01 cd	0.44 cd
Significance	A	***	*	***	***	***	NS	NS	***	***	***
	B	**	NS	NS	NS	NS	NS	***	NS	NS	NS
	A×B	**	NS	**	*	***	NS	*	NS	NS	NS

^zControl, non-treatment; RB LED, red and blue LED (R:B = 8:2); W LED, white LED (R:G:B = 5:3:2); and HPS, high pressure sodium lamp.

^yNWS, NakWonSeongcheongjang; SD, Sinsedae; and GB, Goodmorning backdadagi.

^xMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

NS, *, **, *** Nonsignificant or significant at $p \leq 0.05$, 0.01, or 0.001, respectively.

Table 2. Root growth characteristics of cucumber seedlings as affected by different supplemental light sources and cultivars at 19 days after treatment (n = 6).

Light Source ^z (A)	Cultivar ^y (B)	Total root length (cm)	Root surface area (cm ²)	Average diameter (mm)	Root volume (cm ³)	Number of root tips (/plant)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
Control	NWS	160.9 ab ^x	44.6 c-e	0.44	0.49 c-e	1,426.0 cd	0.39	0.02
	SD	217.4 a	72.4 a	0.53	0.96 a	2,198.8 ab	0.68	0.03
	GB	123.6 b	44.9 c-e	0.38	0.42 de	1,572.3 b-d	0.66	0.08
RB LED	NWS	132.3 b	38.0 de	0.42	0.41 de	975.8 d	0.58	0.03
	SD	227.1 a	49.5 b-d	0.42	0.53 b-e	1,780.0 a-c	0.78	0.04
	GB	237.8 a	48.7 b-d	0.42	0.53 b-e	1,657.5 bc	0.58	0.03
W LED	NWS	229.1 a	66.4 ab	0.48	0.80 ab	1,957.5 a-c	0.53	0.03
	SD	222.5 a	64.7 ab	0.44	0.74 a-c	2,393.7 a	0.64	0.03
	GB	214.4 a	63.5 a-c	0.44	0.69 a-d	2,160.5 a-c	0.54	0.03
HPS	NWS	106.3 b	29.8 e	0.45	0.33 e	943.2 d	0.78	0.04
	SD	241.5 a	60.0 a-c	0.39	0.61 b-e	2,106.3 ab	0.65	0.03
	GB	219.9 a	59.3 a-c	0.44	0.65 b-d	1,891.7 a-c	0.69	0.04
Significance	A	NS	**	NS	**	**	NS	NS
	B	***	***	NS	***	*	NS	NS
	A×B	*	*	NS	NS	*	NS	NS

^zControl, non-treatment; RB LED, red and blue LED (R:B = 8:2); W LED, white LED (R:G:B = 5:3:2); and HPS, high pressure sodium lamp.

^yNWS, NakWonSeongcheongjang; SD, Sinsedae; and GB, Goodmorning backdadagi.

^xMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

NS, *, **, *** Nonsignificant or significant at $p \leq 0.05$, 0.01, or 0.001, respectively.

오이 접목묘의 지하부 생육에서 평균 근경과 생체중 및 건물중은 처리 간 유의적인 차이가 없었다(Table 2). 총 근장, 뿌리 표면적, 그리고 뿌리 부피는 ‘굿모닝백다다기’ 품종에서 모든 실험구에서 대조구보다 유의적으로 높은 경향을 보였지만, ‘낙원성청장’ 품종은 W LED 처리구에서 유의적으로 높은 경향을 나타냈다. 뿌리는 근단 수가 많고, 총 근장이 길고, 뿌리 표면적이 넓으며, 그리고 뿌리 부피가 클수록 양수분을 흡수하기에 유리하다(Zhang 등, 1999). 일반적으로, 식물 실험에 이용하는 백색광은 다양한 파장대를 포함하고 있어 여러 광수용체를 통해 광을 인식할 수 있다(Sakaguchi 등, 2019). Canamero 등(2006)에 따르면 청색광의 광수용체인 크립토크롬은 뿌리의 신장을 촉진시키고, 지하부의 생육을 증진시킨다. 또한, 지상부의 광 조사는 뿌리의 생육에 영향을 미치며,

적색광보다 백색광과 청색광을 조사한 실험구에서 생육이 우수하다고 보고한 바가 있다(Sakaguchi 등, 2019). Yan 등(2021)에 따르면 보광 처리 실험구가 대조구에 비해 뿌리 표면적과 뿌리 부피가 유의적으로 증가하였다. 따라서 대조구에 비해 W LED를 처리하였을 때 지하부의 생육이 우수한 것으로 판단된다.

오이 접목묘의 충실도는 ‘낙원성청장’과 ‘굿모닝백다다기’ 품종이 대조구에 비해 RB LED와 W LED에서 높은 경향을 보였고, 특히 ‘굿모닝백다다기’ 품종이 대조구에 비해 유의적으로 높은 값을 보였다. 순동화율은 RB LED에서 유의성 있게 가장 높은 값을 나타냈고, 작물생장률도 RB LED에서 유의적으로 높은 경향을 보였다(Fig. 4). 충실도는 묘의 건물중을 초장으로 나눈 값으로, 그 수치가 높을수록 강건한 묘를 나타낸다(Currey 등, 2012; Vu 등, 2014). 순동화율은 단위시간당 식물체 무게의 증가량을 엽면적으로 나눈 것으로 식물군락의 생장을 의미하는 항목이고, 작물생장률은 단위 기간 내에 증가한 단위면적 내 건물량을 나타내는 항목이다(RDA, 2012). 광합성 유효 방사광의 파장대(400 – 700nm) 중 적색광(600 – 700nm)은 식물의 광합성이 가장 활발한 영역이다(Kang 등, 2022). 이처럼 광합성을 가장 효과적으로 할 수 있는 적색광의 비율이 가장 높았던 RB LED에서 지상부의 생체중이 가장 많아 충실도, 순동화율, 그리고 작물생장률이 높은 것으로 판단된다.

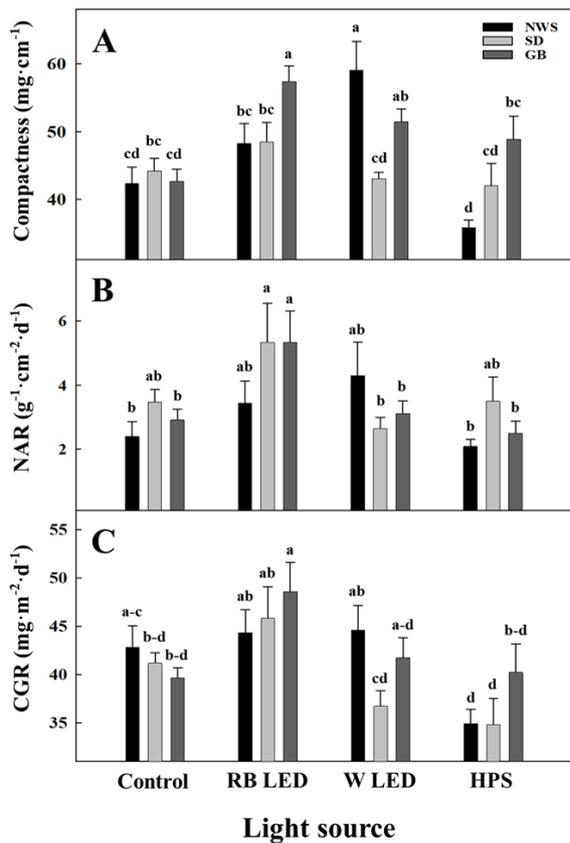


Fig. 4. Compactness (A), net assimilation rate (NAR, B), and crop growth rates (CGR, C) of cucumber plug seedlings affected by different supplemental light sources and cultivars at 19 days after treatment. Supplemental lighting sources are RB LED (red and blue LED, R:B = 8:2), W LED (white LED, R:G:B = 5:3:2) and HPS (high pressure sodium lamp). Vertical bars indicate standard errors of the means (n = 6). Within-graph means followed by the same letter are not significantly different by Duncan’s multiple range test at $p \leq 0.05$.

2. 약광기 보광 처리에 접목묘 정식 후 생육 비교

육묘기 이후 플라스틱 온실에 정식된 대조구와 보광 처리한 묘들의 생육은 수확기에 가까워질수록 유의적인 차이가 없었다(Table 3). 암꽃의 수는 세 품종 모두 LED를 처리한 실험구에서 가장 많은 경향을 보였다(Fig. 5). 육묘기에 진행한 보광 선정 실험에서 RB LED와 W LED 처리구가 적색광의 비율이 상대적으로 높았는데, 적색광의 파장대는 광수용체인 피토크롬에 의해 개화가 촉진되는 효과가 있다(Kang 등, 2022). 따라서 오이는 육묘기의 환경관리가 암꽃분화에 영향을 받기 때문에(Lee 등, 2021), 적색광 비율이 높은 RB LED와 W LED에서 암꽃분화가 촉진되어 암꽃 수가 유의적으로 증가하는 경향을 보인다고 판단된다.

2023년 4월 22일부터 품종별 과실 수확 기준에 따라 2주간 수확한 결과, 대조구보다 LED로 보광을 한 실험구의 과실 수량이 많았다(Fig. 6). Fig. 5에서 LED 처리구의 암꽃 수가 유의적으로 증가하는 경향을 보였고, 암꽃 수는 과실과 연결되기 때문에(Lee 등, 2021), 과실 수량 역시 LED 처리구에서 유의적으로 많은 경향을 보였다고 판단된다. 특히 ‘낙원성청장’과 ‘굿모닝백다다기’ 품종의 보광 실험구에서 수확한 오이의

Table 3. The growth of cucumber as affected by different supplemental light sources and cultivars at 19 days after transplanting (n = 6).

Light Source ^z (A)	Cultivar ^y (B)	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Number of leaves	Number of nodes	Stem diameter (mm)	SPAD
Control	NWS	32.52 ^x	14.02 ab	19.48 a	10.67	9.00 a	5.57	43.62 ab
	SD	32.17	12.72 dc	14.65 d	10.17	8.67 ab	5.68	46.47 a
	GB	33.82	14.75 a	18.50 ab	10.33	8.83 ab	5.92	45.20 ab
RB LED	NWS	30.45	12.90 b-d	17.18 bc	9.33	8.67 ab	5.43	42.48 b
	SD	32.02	13.07 b-d	15.82 dc	10.50	8.50 ab	5.76	44.92 ab
	GB	30.80	13.97 a-c	16.13 dc	9.67	8.17 ab	5.84	43.23 ab
W LED	NWS	32.35	14.95 a	18.88 ab	10.17	8.67 ab	5.60	42.25 b
	SD	28.82	12.93 b-d	15.10 d	9.83	8.33 ab	5.85	44.75 ab
	GB	31.45	14.53 a	17.58 bc	9.17	8.00 ab	5.69	44.28 ab
HPS	NWS	29.02	13.75 a-c	17.32 bc	9.67	8.17 ab	5.53	43.97 ab
	SD	29.42	12.43 d	14.50 d	10.50	8.67 ab	5.69	45.30 ab
	GB	32.98	14.68 a	18.03 ab	9.17	7.83 b	5.69	43.90 ab
Significance	A	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS
	B	NS	***	***	NS	NS	NS	**
	A×B	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS

^zControl, non-treatment; RB LED, red and blue LED (R:B =8:2); W LED, white LED (R:G:B = 5:3:2); and HPS, high pressure sodium lamp.

^yNWS, NakWonSeongcheongjang; SD, Sinsedae; and GB, Goodmorning backdadagi.

^xMean separation within columns by Duncan’s multiple range test at $p \leq 0.05$.

NS, *, **, *** Nonsignificant or significant at $p \leq 0.05, 0.01, \text{ or } 0.001$, respectively.

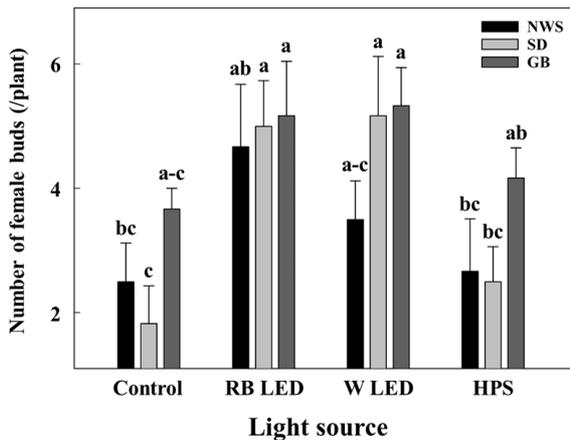


Fig. 5. Number of female buds as affected by different supplemental light sources and cultivars at 38 days after treatment. Supplemental lighting sources are RB LED (red and blue LED, R:B = 8:2), W LED (white LED, R:G:B = 5:3:2), and HPS (high pressure sodium lamp). Vertical bars indicate standard errors of the means (n = 6). Within-graph means followed by the same letter are not significantly different by Duncan’s multiple range test at $p \leq 0.05$.

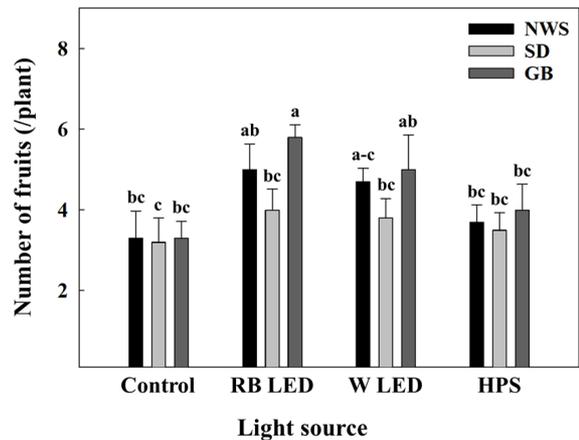


Fig. 6. Number of fruits as affected by different supplemental light sources and cultivars during 2 weeks. Supplemental lighting sources are RB LED (red and blue LED, R:B = 8:2), W LED (white LED, R:G:B = 5:3:2), and HPS (high pressure sodium lamp). Vertical bars indicate standard errors of the means (n = 6). Within-graph means followed by the same letter are not significantly different by Duncan’s multiple range test at $p \leq 0.05$.

수량이 유의적으로 증가하는 경향을 보였다. ‘낙원성청장’과 ‘굿모닝백다다기’는 각각 가시오이와 다다기오이이고, 이 품종들은 화북형 오이와 화남형 오이의 교잡에 의한 품종군으

로, 줄기에 마디가 많이 생기는 다다기성이 좋아(Lee 등, 2016) 대조구보다 LED 보광 처리를 해준 실험구의 수량이 증가하는 경향을 나타냈다.

결론적으로 접목 활착 이후, 오이 접목묘에 보광을 처리할 때, W LED는 초장을 짧게 하고, RB LED를 처리하는 것이 오이 엽면적을 비롯한 작물의 전체적인 지상부 생육을 증가시켰다. 묘의 품질을 평가하기 위한 묘소질에서도 충실도, 순동화율, 그리고 작물생장률에서 다른 실험구에 비해 RB LED에서 높은 경향을 보였다. 이후 오이 접목묘를 정식하였을 때 정식 후 초기 생육은 보광처리에 따른 영향이 없었지만 초기 과실 수량이 RB LED와 W LED 처리에서 유의적으로 증가되었다. 따라서 접목 활착 이후 W LED와 RB LED를 이용하여 보광하는 것이 묘 단계 생육과 묘소질, 그리고 초기 과실 수량을 증진시킬 수 있는 것으로 판단된다.

적 요

상품성 있는 오이를 수확하기 위해서는 고품질의 묘를 사용해야 한다. 약광기 온실에서 묘를 생산하는 것은 묘의 생육에 필요한 광이 불충분하여 상품성이 저하될 수 있다. 이는 광질이 다른 인공광을 사용한 보광을 통해 약광 조건을 해결하여 고품질의 묘를 생산할 수 있다. 본 연구는 약광기에 오이 접목묘의 생육과 묘소질에 적절한 보광 광원을 구명하고자 진행되었다. 오이는 ‘낙원성성장’, ‘신세대’, ‘굿모닝백다다기’ 3가지 품종을 접수로 사용하였다. ‘흑종’ 호박을 대목으로 사용하였다. 종자는 2023년 1월 26일 파종하였고, 2023년 2월 9일에 접목하였다. 접목 활착 후 오이묘를 RB LED(red and blue LED, red:blue = 8:2), W LED(white LED, R:G:B = 5:3:2), 그리고 HPS를 광원으로 이용하여 처리하였다. 무처리구를 대조구로 사용하였다. 보광은 일출 전 2시간, 일몰 후 2시간 동안 19일간 처리하였다. 경경과 지하부의 생체중과 지하부는 보광 광원 처리별 유의적인 차이가 없었다. W LED에서 초장과 하배축장이 짧아졌다. 하지만, 엽장, 엽폭, 엽면적 그리고 지상부의 생체중과 건물중은 RB LED에서 가장 높은 값을 나타냈다. 충실도, 순동화율, 그리고 작물생장률과 같은 묘소질은 RB LED와 W LED에서 증가하는 경향을 보였다. 정식 후, 대부분의 생장은 유의적인 차이가 없었지만, 초기 과실 수량은 전체적으로 대조구보다 실험구에서 많았고, RB LED와 W LED에서 과실 수량이 가장 많았다. 결론적으로 약광기 오이 접목묘에 RB LED와 W LED를 보광 광원으로 사용하는 것은 묘의 생육, 묘소질, 그리고 초기 과실 수량을 증가시킬 수 있다.

추가 주제어: 공정육묘, 광질, 순동화율, 엽면적, 충실도

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: RS-2022-RD010412)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature Cited

- Bletsos F., C. Thanassouloupoulos, and D. Roupakias 2003, Effect of grafting on growth, yield, and *Verticillium* wilt of eggplant. HortScience 38:183-186.
- Botto J.F., R.A. Sanchez, G.C. Whitelam, and J.J. Casal 1996, Phytochrome a mediates the promotion of seed germination by very low fluences of light and canopy shade light in *Arabidopsis*. Plant Physiol 110:439-444.
- Bourget C.M. 2008, An introduction to light-emitting diodes. HortScience 43:1944-1946.
- Canamero R.C., N. Bakrim, J.P. Bouly, A. Garay, E.E Dudkin, Y. Habricot, and M. Ahmad. 2006, Cryptochrome photoreceptors cry1 and cry2 antagonistically regulate primary root elongation in *Arabidopsis thaliana*. Planta 224:995-1003.
- Chon Y.S., K.J. Jeong, J.K. Hong, H.S. Shin, and J.G. Yun 2018, Effect of supplementary lighting and heat lamps on greenhouse environment and flowering of cut roses. Flower Res J 26:19-27. doi:10.11623/frj.2018.26.1.03
- Currey C.J., V.A. Hutchinson, and R.G. Lopez 2012, Growth, morphology, and quality of rooted cuttings of several herbaceous annual bedding plants are influenced by photosynthetic daily light integral during root development. HortScience 47:25-30. doi:10.21273/HORTSCI.47.1.2
- Dougher T., and B. Bugbee 2004, Long-term blue light effects on the histology of lettuce and soybean leaves and stems. J Am Soc Hortic Sci 129:467-472. doi:10.1023/B:EUPH.0000046802.28347.41
- FAO 2022, Crops and livestock products. Available via <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> Accessed on 5 June 2023
- Fisher P., A.J. Both, and B. Bugbee 2017, Supplemental lighting technology, costs and efficiency. In R Lopez, ES Runkle (eds.). Light management in controlled environments. Meister Media Worldwide, Willoughby, OH, USA, pp 74-81.
- Hao X.M., and A.P. Papadopoulos 1999, Effects of supplemental lighting and cover materials on growth, photosynthesis, biomass partitioning, early yield and quality of greenhouse cucumber. HortScience 80:1-18.
- 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. J Bio-Env Con 17:541-544. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2022.31.3.204
- Jie O., X. Wang, Z. Bing, and Y. Wang 2003, Light intensity

- and spectral quality influencing the callus growth of *Cistanche deserticola* and biosynthesis of phenylethanoid glycosides. *Plant Sci* 165:657-661. doi:10.1016/S0168-9452(03)00255-3
- KAMIS 2014, Korea agricultural marketing information service: 2014, Available via https://www.kamis.or.kr/customer/trend/product/product.do?action=detail&brdctsn=130426&pagenum=1&search_option=SUBJECaT&search_keyword=%EC%98%A4%EC%9D%B4&# Accessed on 30 June 2023
- Kang D.H., W.H. Kang, Y. Kwack, S.K Kim, J.Y. Kim, K.S. Park, S.Y. Park, J.E. Park, and J.S. Park et al. 2022, Physics and chemistry basic theories required for vertical farming. In *Vertical Farm*. Hangmunsa, Seoul, Korea, pp 35-49. (in Korean)
- 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. *Korean J Horti Sci Technol*, 31:415-422. (in Korean)
- Kim S.E., M.H. Lee, and Y.S. Kim 2013, Efficient light treatment for graft-take and early growth of grafted tomato seedlings. *Protected Hortic Plant Fac* 22:322-327.
- Kwon Y.S., and H. Chun 1999, Production of chilipepper in different kinds of greenhouse in Korea. *The Asian and Pacific Region-Food and Fert. Techno. Ctr.Ext.-Bul.* (in Korean)
- Lee J.E., Y.S. Shin, H.W. Do, J.D. Cheung, and Y.H. Kang 2016, Effect of seedling quality and growth after transplanting of korean melon nursed under LED light sources and intensity. *Protected Hortic Plant Fac* 25:294-301. (in Korean)
- Lee S.G., H.J. Lee, Y.A. Jang, and S.Y. Lee 2021, Cucumber. RDA, Jeonju, Korea, pp 14-17. (in Korean)
- Marcelis L.F.M., E. Heuvelink, L.R.B. Horfman-Eijer, J.D. Bakker, and L.B. Xue 2004, Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. *J Exp Bot* 55:2261-2268. doi:10.1093/jxb/erh245
- Matsuzoe N., H. Okubo, and K. Fujieda 1993, Resistance of tomato plants grafted on *Solanum* rootstocks to Bacterial wilt and root-knot nematode. *J Jpn Soc Horti Sci* 61:865-872.
- McCree K.J 1972, The action spectra, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agric Meteorol* 9: 191-196.
- Mitchell CA. 2015, Academic research perspective of LEDs for the horticulture industry. *HortScience* 50:1293-1296. doi:10.21273/HORTSCI.50.9.1293
- Myoung D.J. 2007, Correlation between climatic factors and yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) in glasshouse. MS Thesis, Chonnam National. Univ., Daekjeon, Korea. (in Korean)
- Qian L., and C. Kubota 2009, Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environ Exp Bot* 67:59-64. doi:10.1016/j.envexpbot.2009.06.011
- Rajapakse N.C., and J.W. Kelly 1992, Regulation of chrysanthemum growth by spectral filters. *J Am Soc Horti Sci* 117:481-485.
- Rural Development Administration (RDA) 2012, Analysis standard for research in agricultural science and technology. RDA, Jeonju, Korea, pp 506-504. (in Korean)
- Rural Development Administration (RDA) 2019, The crop with the highest income as a result of agricultural income survey. Available via <https://www.nongsaro.go.kr/portal/ps/psv/psvr/psvre/curationDtI.ps?menuId=PS03352&srchCurationNo=1491&totalSearchYn=Y> Accessed on 30 June 2023
- Sakaguchi J., T. Matsushita, and Y. Watanabe 2019, DWARF4 accumulation in root tips is enhanced via blue light perception by cryptochromes. *Plant Cell Environ* 42:1615-1629. doi:10.1111/pce.13510
- Statistics Korea 2023a, Cultivation area of greenhouse crops. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0013&conn_path=I2. Accessed 8 June 2023
- Statistics Korea 2023b, Cultivation land area by vegetables. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0013&conn_path=I2. Accessed 8 June 2023
- Vu N.T., Y.S. Kim, H.M. Kang, and I.S. Kim 2014, Influence of short-term irradiation during pre- and post-grafting period on the graft-take ratio and quality of tomato seedlings. *Hortic Environ Biotechnol* 55:27-35. doi:10.1007/s13580-014-0115-5
- Wei H., J.T. Hu, C. Liu, M.Z. Wang, J. Zhao, D. Kang, and B.R. Jeong 2018, Effect of supplementary light source on quality of grafted tomato seedlings and expression of two photosynthetic genes. *Agronomy* 8:207. doi:10.3390/agronomy8100207
- Wongnok A., C. Piluek, and S. Tantivivat 2008, Effects of light emitting diodes on micropropagation of *Phalaenopsis* orchids. *Acta Horti* 788:149-156.
- Xin X., W. Chen, B. Wang, F. Zhu, Y. Li, H. Yang, J. Li, and D. Ren 2018, *Arabidopsis* MKK10-MPK6 mediates red light regulated opening of seedling cotyledons through phosphorylation of PIF3. *J Exp Bot* 69:423-439.
- Yan Z., L. Wang, Y. Wang, Y. Chu, D. Lin, and Y. Yang 2021, Morphological and physiological properties of greenhouse-grown cucumber seedlings as influenced by supplementary light-emitting diodes with same daily light integral. *Horticulturae* 7:361. doi:10.3390/horticulturae7100361
- Zhang H.M., A. Jennings, P.W. Barlow, and B.G. Forde 1999, Dual pathways for regulation of root branching by nitrate. *Proc Natl Acad Sci USA* 96:6529-6534. doi:10.1073/pnas.96.11.6529
- Zhang Y., H. Dong, S. Song, W. Su, and H. Liu 2020, Morphological and physiological responses of cucumber seedlings to supplemental LED light under extremely low irradiance. *Agronomy* 10:1698. doi:10.3390/agronomy10111698
- Zou J., C.B. Zhou, H. Xu, R.F. Cheng, Q.C. Yang, and T. Li 2020, The effect of artificial solar spectrum on growth of cucumber and lettuce under controlled environment. *J Integr Agric* 19:2027-2034. doi:10.1016/S2095-3119(20)63209-9.