

생육 및 경제성 분석을 통한 약광기 고추의 온실재배를 위한 적정 보광 광원 선정

황희성¹ · 이광휘¹ · 정현우² · 황승재^{3,4,5*}

¹경상국립대학교 대학원 작물생산과학부 대학원생, ²경상국립대학교 대학원 응용생명과학부 대학원생,

³경상국립대학교 농업생명과학대학 원예과학부 교수, ⁴경상국립대학교 농업생명과학연구원 교수,

⁵경상국립대학교 생명과학연구원 교수

Selection of Supplemental Light Source for Greenhouse Cultivation of Pepper during Low Radiation Period through Growth and Economic Analysis

Hee Sung Hwang¹, Kwang Hui Lee¹, Hyeon Woo Jeong², and Seung Jae Hwang^{3,4,5*}

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

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

³Professor, Division of Horticultural Science, College of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

⁴Professor, Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

⁵Professor, Research Institute of Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

Abstract. To produce a high quality crop, light is an essential environmental factor in greenhouse cultivation. In the winter season, solar radiation is weak than other season. Therefore, using supplemental light during a low radiation period can increase the crop growth and yield. This study was conducted to select the economical supplemental light source for greenhouse cultivation in pepper during the low radiation period. The green pepper (*Capsicum annuum* 'Super Cheongyang') was transplanted on 5 September 2019. Supplemental lighting treatment was conducted from 1 January 2020 to 31 March 2020. RB LED (red and blue LED, red:blue = 7:3), W LED (white LED, R:G:B = 5:3:2), and HPS (high-pressure sodium lamp) were used as the supplemental light source. Non-treatment was used as the control. The plant height, SPAD, and number of nodes of pepper plants have no significant differences by supplemental light sources. However, the number of ramifications plants was the greatest in RB LED light source. Moreover, supplemental lighting increased photosynthesis of the pepper plant, and especially, the RB LED had the highest photosynthesis rate during supplemental lighting period. Also, the yield of pepper increased in the supplemental lighting treatment than in the control, and the RB LED had the greatest yield than other light sources. The electricity consumption was the highest in W LED and the lowest in HPS light. Through the economic analysis, the RB LED had high economic efficiency. In conclusion, these results suggest that using RB LED for supplemental light source during low radiation in pepper greenhouse increase the yield and economic feasibility.

Additional key words : economic feasibility, electricity consumption, high-pressure sodium lamp, RB LED, White LED

서 론

2020년 기준 국내 고추생산량은 243,424ton이고 생산 면적은 35,533ha이다. 그 중, 경남의 고추생산량은 전국의 46%인 113,149ton이고 생산 면적은 4,378ha이다(Statistics Korea, 2021). 고추(*Capsicum annuum* L.)는 4월에 정식하여 6월부

터 풋고추, 7월부터 홍고추를 수확하는 것이 보통이나(RDA, 2022a), 최근 축성재배를 통해 12월 말에 정식하여 이듬해 1월 말부터 수확을 시작하는 농가도 늘고 있다(RDA, 2022b). 겨울철 수확을 목표로 하는 축성 재배법을 이용하면 12월-3월에 적은 일조량으로 인해 수확량이 저조할 수 있지만, 겨울철인 12월 말부터 3월 중순까지 고추는 농산물 도매시장에서의 높은 가격대를 형성하고 있어(Nongnet, 2022), 축성재배 시, 시설 내 저일조 환경의 개선을 통한 고추의 품질 유지 및 생산량 증가는 농가의 소득향상에 도움이 될 것으로 판단된다.

*Corresponding author: hsj@gnu.ac.kr

Received June 15, 2022; Revised July 22, 2022;

Accepted July 22, 2022

광은 작물의 생육에 관여하는 주된 요소 중 하나로, 시설 내 광환경의 변화에 따라 작물의 생육은 크게 달라질 수 있다 (Carvalho 등, 2011; Wang 등, 2009). 대한민국의 겨울철 맑은 날 하루 누적 일사량은 $800 - 1,200 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$ 로 온실 작물 재배에 필요한 광량을 충족시킬 수 있으나(Myoung, 2008), 온실 구조에 의해 발생하는 그림자와 플라스틱 피복재의 낮은 광 투과율에 의해 실제 온실에서의 광량은 외부에 비해 낮아진다(Jeong 등, 2008; Jeong 등, 2009). 온실의 광량 부족은 작물의 불균일한 생육의 원인이 될 수 있으며, 지속적인 생산성을 유지하기 어렵게 만든다(Marcelis 등, 2004). 따라서, 시설 재배 농가에서는 인공광원을 이용한 보광을 통해 작물의 광합성량을 증대시킬 뿐만 아니라 광주기 조절을 통한 엽채류 들깨의 잎 생산량 증가, 단일작물 딸기의 화아분화 촉진 및 과실 비대 촉진 등에 활용하고 있다(Choi 등, 2015; Choi 등, 2019; Jun 등, 2013; Rho 등, 2007).

보광은 식물의 생육에 부족한 자연광의 양을 보충하기 위하여 인공광원을 시설 내에 설치하여 조명하는 것으로, 광합성과 생장을 촉진시키기 위한 목적으로 시행할 경우, 일조시간의 연장, 흐린 날 주간 조명, 야간 조명 등의 방법으로 시행한다 (Lee 등, 2010). 기후조건이 나쁘거나 일조량이 적은 지역에서 보광은 식물의 부족한 광합성을 보충하고 생육을 촉진시키는 효과를 가지고 있다(Lee 등, 2010; Lee 등, 2014). 특히, 시설 내 일조량이 부족한 겨울철 저일조 시기에 광은 작물의 광합성과 수량 증대에 매우 중요한 환경요소이며, 북유럽, 북아메리카, 한반도를 포함하는 북위 35° 이상의 지역에서는 시설 작물 생산량 감소의 원인으로 주목받는 겨울철 일조량 부족을 극복하기 위해 인공광을 이용한 보광을 실시하고 있다(Lee 등, 2014).

국내에서의 보광 재배는 인공광원과 관련 설비의 설치 및 운용 비용에 대한 농가의 부담이 크기 때문에(Kwon 등, 2018), 투입 에너지 대비 높은 광도의 광을 제공하며, 수명이 긴 고압나트륨등(high-pressure sodium lamp, HPS)과 메탈할라이드등(metal halide lamp, MH)을 보광 광원으로 많이 사용하였으나(Jeong 등, 2018), 두 광원 모두 안정기 설치에 따른 설비의 부피 및 무게가 증가하는 문제를 가지고 있으며(Lee 등, 2010; Randall과 Lopez, 2014), 고압나트륨등은 광합성에 필요한 500nm 이하의 청색광을 제공할 수 없고, 자연광과 유사한 광을 제공하는 메탈할라이드등은 기존 광원 대비 설비 비용이 2배 이상으로 비싼 문제를 갖고 있다(Lee 등, 2010). 때문에, 최근에는 LED(light-emitting diode, LED)를 보광 광원으로 사용하려는 시도가 증가하고 있다. LED는 칩 하나당 특수한 단색광만을 방출하는 인공광원이며, 저렴한 가격과 반영구적인 수명, 근접조명이 가능한 낮은 발열량, 소모 에너

지 대비 높은 발광 효율 등의 장점을 가지고 있다(Kim 등, 2016; Lee 등, 2010; Randall과 Lopez, 2014). 특히, 용도에 따라 LED 칩을 조합하여 다양한 광질의 광원을 만들 수 있다는 점과 이를 뒷받침할 수 있는 생산 기술의 발전으로 인해 가격이 저렴하고 성능이 우수한 LED 제품의 생산이 가능해져, 식물 생육 및 보광 광원으로 사용 가능한 제품들이 많이 보급되고 있다(An 등, 2011; Hong, 2020; Randall과 Lopez, 2014). 따라서, 이를 활용한 농가에서의 약광기 보광 재배를 통한 고추의 생산량 증대를 기대할 수 있게 되었다.

따라서, 본 연구는 시중에서 보광 광원으로 유통되고 있는 LED 광원과 HPS 광원을 사용하여 약광기 시설재배 고추의 보광 시 시설 투자 비용 대비 고추의 생육과 수량을 증대시킬 수 있는 경제성이 우수한 보광 광원을 선정하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

1. 재배환경

2019년 9월 5일에 고추(*Capsicum annuum* 'Super Cheongyang')를 육묘하였으며, 경상남도 진주시 이반성면의 일광 온실(가로 17m × 세로 90m)에 30cm 간격으로 11월 30일에 정식하였다. 보광은 약광기인 2020년 1월 1일부터 3월 31일까지 진행하였다. 양액은 일사비례제어장치를 통해 일본원시양액을 사용하여 공급하였다. 데이터 로거(TR-74Ui, T&D Co. Ltd., Matsumoto, Japan)를 이용하여 온실 내부의 온도와 상대습도 변화를 기록하였다(Fig. 1). 식물체의 초장이 30cm 이내일 때 유인작업을 진행하였다. 재배기간 동안의 온실 내부의 평균 온도 및 습도는 각각 $21 \pm 5^\circ\text{C}$, $84 \pm 10\%$ 로 조사되었

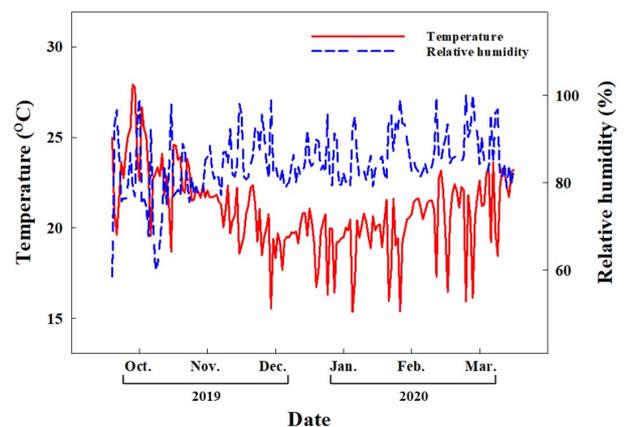


Fig. 1. The changes of temperature and relative humidity in greenhouse during experiment period.



Fig. 2. The supplemental light used in experiment (A, White LED; B, RB LED; and C, HPS). W LED, white LED (R:G:B = 5:3:2); RB LED, red and blue LED (R:B = 8:2); and HPS, high pressure sodium lamp.

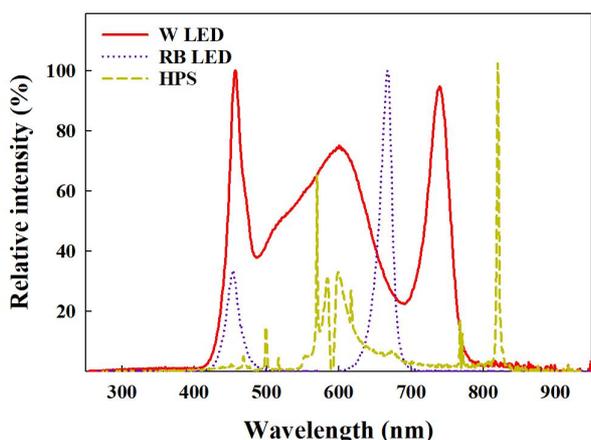


Fig. 3. The spectral distribution of light source used in the experiment. W LED, white LED (R:G:B = 5:3:2); RB LED, red and blue LED (R:B = 8:2); and HPS, high pressure sodium lamp.

다. 식물체의 초장이 30cm 이내일 때 유인작업을 진행하였다. 보광처리 4주 후부터 수확을 시작하였으며, 2주 간격으로 고추 수확량을 조사하였다.

2. 보광처리

농가에 흔히 보급되어 사용되고 있는 White LED(W LED, R:G:B = 5:3:2, PW150-full spectrum, Bissol Co. Ltd., Seoul, Korea)와 RB LED(RB LED, R:B = 8:2, PW150-targeted spectrum, Bissol Co. Ltd., Seoul, Korea), 그리고 고압나트륨등(HPS, SON-T Agro 400W, Philips, Eindhoven, The Netherland)을 사용하였으며 무처리를 대조구로 설정하였다 (Fig. 2). 각 광원의 파장은 광파장 측정기(ILT950, International Light Technologies Inc., Peabody, MA, USA)를 이용하여 측정하였고(Fig. 3), 보광은 약광기에 접어드는 2020년 1월 1일부터 3월 31일까지 일출 전과 일몰 후 각각 2시간씩 일일 4시간 실시하였다.

3. 생육조사

보광처리 4주차, 8주차, 12주차에 생육조사를 실시하였으며, 식물체의 초장, 절간수, 분지수, SPAD 값, 광합성률을 측정하였다. 초장과 분지는 식물체의 가장 긴 마디의 초장, 절간수, 그리고 분지수를 측정하였으며, SPAD 값은 엽록소 측정기(SPAD-502, Konica Minolta Inc, Tokyo, Japan)를 이용하여 가장 윗부분에서 3번째 잎을 측정하였다. 광합성률은 일몰 후 보광처리가 진행되는 중 완전히 전개된 성장점으로부터 5번째 잎에서 휴대용 광합성 측정기(CIRAS-3, PP Systems International Inc. MA, USA)를 이용하여 측정하였다. Open chamber를 이용하여 광합성 측정 시 온도 25°C, CO₂ 농도 500μmol·mol⁻¹, 측정엽면적은 4.5mm²로 고정하였다.

4. 경제성 분석

각 처리별 고추의 상품과 수확량을 측정하였으며, 광원별 전력 사용량을 전력사용량측정기(sjpm-c16, Seojun electronic Co. Ltd., Seoul, Korea)를 통해 확인하였다. 광원의 비용과 설치 개수, 기대 수명을 고려하여 다음과 같은 계산식을 통해 각 광원별 경제성 분석을 실시하였다.

- 설비비용(facility cost) = 광원 비용(light source cost) × 광원 설치 개수(number of light source per 10a) ÷ 기대 수명(persisting period)

(W and RB LED, persisting period 20 years, 250,000 × 66 ÷ 20 = 825,000 won/year → 825,000 ÷ 4 = 206,250 won/3 month)

(HPS, persisting period 5 years, 30,000 × 66 ÷ 5 = 396,000 won/year → 396,000 ÷ 4 = 99,000 won/3 month)

- 전력비용(electrical cost) = 총 전력 사용량(total electricity consumption) × number of light sources per 10a × 전기세(electric charge cost)

(W LED, 17.409 kW × 66 × 40 won = 45,960 won/3 month)

(RB LED, 15.749 kW × 66 × 40 won = 41,576 won/3 month)
 (HPS, 14.670 kW × 66 × 40 won = 38,729 won/3 month)

- 총 증분원가(total incremental cost) = facility cost + electrical cost
- 순수익(net income) = 총수익(gross income) - [total incremental cost + 대조구의 총수익(gross income of control)]
- 수익률(income ratio) = (gross income of control + net income)/gross income of control × 100

5. 통계분석

통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였고, 평균 간 비교는 던컨의 다중검정을 이용하여 5% 유의수준에서 각 처리 간 유의성을 검증하였다. 그래프는 SigmaPlot 프로그램(SigmaPlot 12.0, Systat Software, Inc., San Jose, CA, USA)을 이용하여 나타내었다.

결과 및 고찰

보광처리에 따른 12주간의 식물의 초장과 절간 수를 측정하였다(Fig. 4와 5). 초장의 경우 처리 4주차에 RB LED에서 다른 처리들에 비해 유의적으로 높은 값을 보였지만, 이후 모든 처리에서 유의적인 차이가 없었으며, 절간 수의 경우 12주간 모든 처리에서 유의적인 차이가 없었다. 4주차에 W LED에서 다른 처리구에 비해 유의적으로 분지 수가 적은 것을 확인

하였으며, 8주차와 12주차에 RB LED에서 다른 처리구에 비해 유의적으로 분지 수가 많은 것을 확인하였다(Fig. 6). SPAD 값은 보광 4주차에는 모든 처리구에서 유의적인 차이가 없었지만(Fig. 7), 8주차와 12주차에 HPS에서 가장 높은 SPAD 값을 보이는 것을 확인하였다. Lucien 등(2019)은 고추에 유기 양분이 많이 공급되고 축적됨에 따라 엽수, 수량, 분지수 등이 증가하는 것을 확인하였다. 토양 식물은 광합성 기관인 엽록체의 그라나에서 광에너지를 화학 에너지(ATP)로 전환하고, 이를 암반응을 통해 글리세르-3-인산과 디히드록

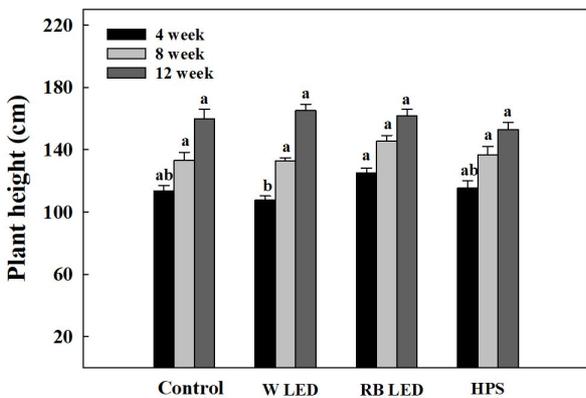


Fig. 4. Plant height of pepper as affected by different supplement light source during 12 weeks after treatment. Control, non-treatment; W LED, white LED (R:G:B = 5:3:2); RB LED, red and blue LED (R:B = 8:2); and HPS, high pressure sodium lamp. Vertical bars indicate standard errors of the means ($n = 6$). Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

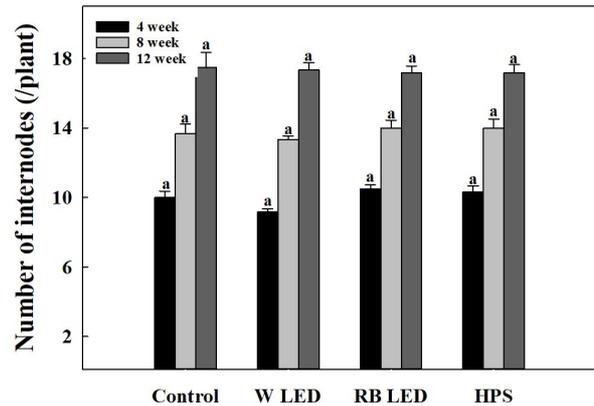


Fig. 5. Number of internodes of pepper plant as affected by different supplement light source during 12 weeks after treatment. Control, non-treatment; W LED, white LED (R:G:B = 5:3:2); RB LED, red and blue LED (R:B = 8:2); and HPS, high pressure sodium lamp. Vertical bars indicate standard errors of the means ($n = 6$). Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

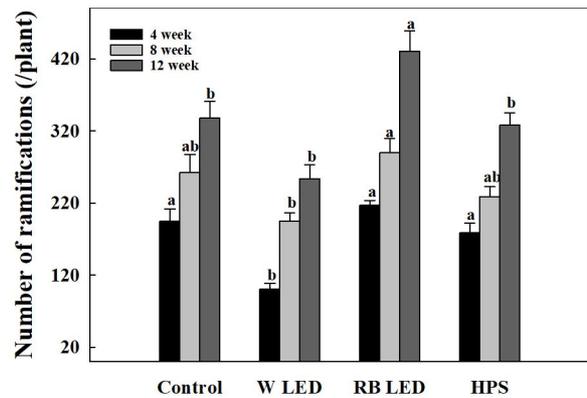


Fig. 6. Number of ramifications of pepper plant as affected by different supplement light source during 12 weeks after treatment. Control, non-treatment; W LED, white LED (R:G:B = 5:3:2); RB LED, red and blue LED (R:B = 8:2); and HPS, high pressure sodium lamp. Vertical bars indicate standard errors of the means ($n = 6$). Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

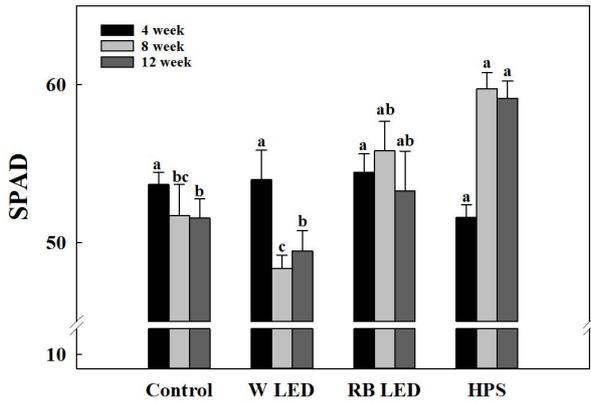


Fig. 7. SPAD of pepper plant as affected by different supplement light source during 12 weeks after treatment. Control, non-treatment; W LED, white LED (R:G:B = 5:3:2); RB LED, red and blue LED (R:B = 8:2); and HPS, high pressure sodium lamp. Vertical bars indicate standard errors of the means ($n = 6$). Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

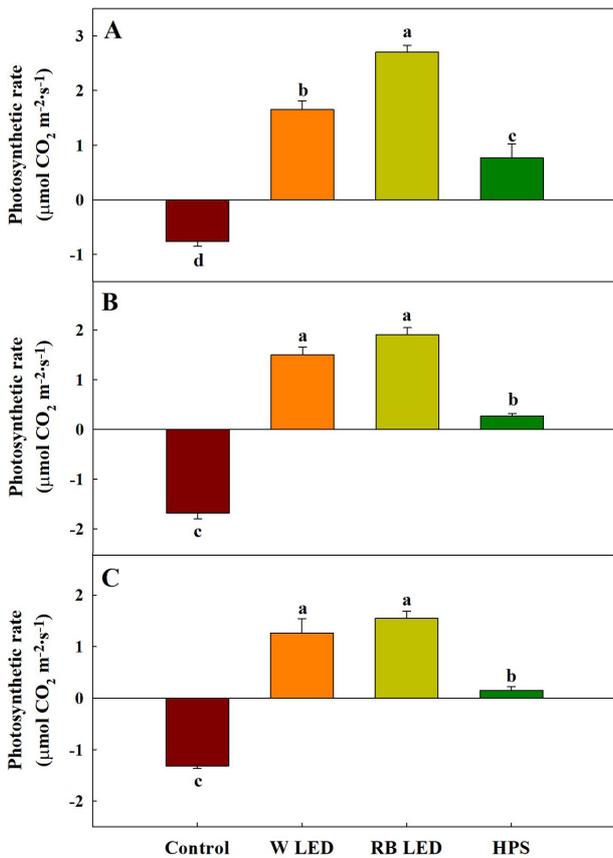


Fig. 8. Night photosynthetic rate of pepper during experiment period. A, 4 weeks after treatment; B, 8 weeks after treatment; and C, 12 weeks after treatment. Control, non-treatment; W LED, white LED (R:G:B = 5:3:2); RB LED, red and blue LED (R:B = 8:2); and HPS, high pressure sodium lamp.

시아세톤인산과 같은 3탄당인산의 형태로 전환 후, 전분 및 설탕과 같은 6탄당의 유기 양분의 형태로 저장한다(McKee와 McKee, 2004). 이렇게 생산된 전분, 설탕과 같은 동화산물들은 식물 세포 내 미토콘드리아에서 해당과정을 거쳐 호흡과 생장을 위해 사용된다(Gardner 등, 2020). Randall과 Lopez (2014)는 보광 광원에 따른 식물의 생육 변화는 품종과 종에 따라 효과가 다르게 나타날 수 있다고 보고하였으며, Park 등 (2018)은 보광이 고추의 초장과 절간 수에 유의적인 영향을 끼치지 않았다고 보고하였다. 본 연구에서도 ‘슈퍼청양’ 고추에서 분지 수 등 일부 항목에서만 보광 광원 처리에 따른 차이가 나타나는 것을 확인하였다. 이를 통해 보광처리가 식물의 광합성 명주기 기간의 확장에 따라 생육에 사용할 수 있는 동화산물 축적량을 늘려 초장, 분지 수 등 작물의 양적생장에 영향을 끼친 것으로 판단된다.

Fig. 8은 12주간 보광처리에 따른 보광중 광합성률을 측정 한 결과이다. 보광처리에 따른 광합성률은 12주간, 모든 처리 구에 비해 RB LED에서 유의적으로 가장 높게 나타났다. Kim 등(2011)은 일몰과 일출 시의 보광처리는 식물의 광합성률 및 생육에 긍정적인 효과를 보인다고 보고하였다. 보광처리를 하지 않은 대조구는 광합성률이 음의 측정값을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 빛이 없는 밤 시간대에 광합성을 측정할 경우 CO_2 를 흡수하는 명반응이 일어나지 않아 산소를 흡수하고 CO_2 를 방출하는 호흡작용이 관찰된다(Whitehead 등, 2004). 본 실험에서 사용한 광합성 측정기기는 식물의 CO_2 교환을 통해 광합성률을 측정하기 때문에(Khan 등, 2021), 보광처리를 하지 않은 대조구에서 광합성보다 호흡작용이 활발함을 의미하는 음의 값이 나타난 것으로 판단된다.

Fig. 9는 1월 1일부터 3월 31일까지 보광처리에 따른 고추

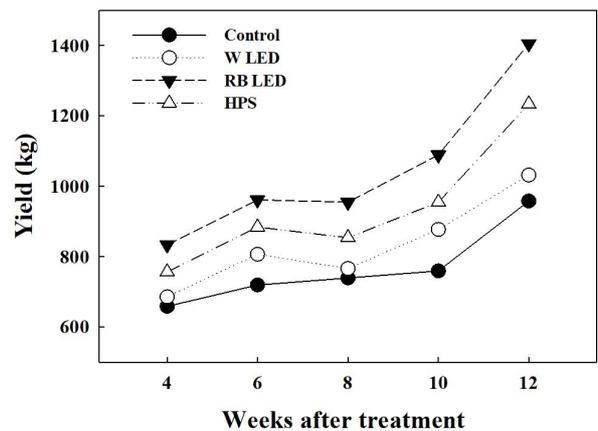


Fig. 9. Changes of yield of pepper during experiment period. Control, non-treatment; W LED, white LED (R:G:B = 5:3:2); RB LED, red and blue LED (R:B = 8:2); and HPS, high pressure sodium lamp.

의 수확량을 나타낸 것이다. 보광처리를 하였을 때, 대조구에 비해 수확량이 증가한 것을 확인하였으며, 보광 광원 중 RB LED에서 가장 많은 수확량을 보이는 것을 확인하였다. 고추는 분지 수에 따라 착과수가 결정되기 때문에, 다수확을 위한 적심, 초형 조절, 분지 유도제 처리 등의 방법을 수행하고 있다 (Kim 등, 2020). 앞서 RB LED에서 착과가 많이 일어날 수 있는 충분한 양의 분지가 확보되었으며(Fig. 6), 재배 초기부터 다른 처리에 비해 높은 광합성률을 보인 것으로 보아, 다른 처리들보다 더 많은 동화산물을 축적하였기 때문인 것으로 판단된다.

보광처리에 따른 고추의 경제성 분석 결과는 다음과 같다 (Table 1). 각 광원별 가격은 W LED와 RB LED의 경우 개당 250,000원, HPS의 경우 안정기를 포함하여 개당 30,000원이었다. 10a당 광원의 개수를 66개로 고정하여 설치하였으며, 3개월간 10a의 시설 면적에서 생산된 고추의 생산량에 2020년 고추의 1kg당 평균단가인 4,000원을 곱하여 계산하였을 때, 광원별 보광에 따른 순수익은 W LED에서 545,890원, RB LED에서 3,130,774원, HPS에서 1,894,271원으로 계산되었다. 따라서 RB LED에서 순수익이 3,130,774원으로 대조구에 비해 34% 더 높은 수익을 거둘 수 있을 것으로 판단된다.

따라서, 보광처리를 받은 ‘슈퍼청양’ 고추는 초장, SPAD 그리고 절간장에서 유의적인 차이가 나타나지 않았지만, 분지 수는 RB LED에서 유의적으로 가장 많았다. 이로 인해 분지가 많았던 RB LED에서 많은 과실이 생산되어 생산량이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 광원별 투자 대비 수익성을 확인하였을 때 RB LED에서 3,130,774원의 순수익이 발생하여

가장 높은 수익성을 보였다. 따라서 약광기 고추의 시설재배를 위한 보광 광원으로 RB LED를 이용할 경우, 경제적으로 고추의 생육과 농가의 수익성을 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

고품질의 작물을 재배하기 위해 광은 필수적인 환경조건이다. 겨울철에는 다른 계절에 비해 일사량이 저조하므로 보광처리를 이용해 작물의 생육과 수확량을 증대시킬 수 있다. 본 연구는 약광기 동안 고추 온실재배를 위한 경제적인 보광 광원을 선별하기 위해 수행되었다. 풋고추(*Capsicum annuum* ‘Super Cheongyang’)는 2019년 9월 5일에 정식하였다. 보광처리는 2020년 1월 1일부터 2020년 3월 31일까지 수행되었다. White LED(R:G:B = 5:3:2, W LED), RB LED(red:blue = 7:3, RB LED), 고압나트륨등(high pressure sodium lamp, HPS)을 광원으로 사용하였다. 무처리를 대조구로 사용하였다. 고추의 초장, SPAD, 마디 수는 보광 광원에 따른 유의적인 차이가 없었다. 그러나 분지 수는 RB LED 광원에서 가장 많았다. 또한 보광은 고추의 광합성을 증가시켰으며, 특히 RB LED에서 보광기간 동안 가장 높은 광합성률을 보였다. 또한 고추의 수확량은 보광처리에서 증가하였고, RB LED는 다른 광원에 비해 가장 높은 수확량을 보였다. 소비전력은 W LED가 가장 높았고 HPS 조명이 가장 낮았다. 경제적인 측면에서 RB LED를 이용한 보광처리는 다른 광원에 비해 높은 경제성을 가졌다. 결론적으로 이러한 결과는 고추 온실에서 약광기

Table 1. The analysis of estimated potential impact on commercial yield and net income.

Treatment ^z	Commercial yield (kg/10a)	Gross income (won/10a)	Incremental cost (won/10a)			Net income ^v (won/10 a)	Income ratio ^u (%)
			Facility ^y	Electrical ^x	Total ^w		
Control	2,303.3	9,201,200	-	-	-	-	100
W LED	2,499.8	9,999,300	206,250	45,960	252,210	545,890	106
RB LED	3,144.9	12,579,800	206,250	41,576	247,826	3,130,774	134
HPS	2,808.3	11,233,200	99,000	38,729	137,729	1,894,271	121

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

^ylight source cost × number of light sources per 10a ÷ persisting period.

- W and RB LED, persisting period 20 years, 250,000 × 66 ÷ 20 = 825,000 won/year → 825,000 ÷ 4 = 206,250 won/ 3 month

- HPS, persisting period 5 years, 30,000 × 66 ÷ 5 = 396,000 won/year → 396,000 ÷ 4 = 99,000 won/ 3 month

^xTotal electricity consumption × number of light sources per 10 a × electric charge cost.

- W LED, 17.409 kW × 66 × 40 won = 45,960 won/3 month

- RB LED, 15.749 kW × 66 × 40 won = 41,576 won/3 month

- HPS, 14.67 kW × 66 × 40 won = 38,729 won/3 month

^wTotal = Facility + Electrical.

^vNet income = Gross income - (Total incremental cost + gross income of control).

^uIncome ratio = (Gross income of control + net income)/Gross income of control × 100.

동안 보광 광원으로 RB LED를 사용하는 것이 수확량과 경제성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

추가주제어: RB LED, 백색 LED, 경제성, 고압나트륨등, 소비전력

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 emitting diodes) irradiation on growth of paprika (*Capsicum annuum* 'Cupra'). J Bio-Env Con 20:253-257. (in Korean)
- Carvalho R.F., M. Takaki, and R.A. Azevedo 2011, Plant pigments: The many faces of light perception. Acta Physiol Plant 33:241-248. doi:10.1007/s11738-010-0533-7
- Choi J.H., E.S. Kang, J.S. Kim, and J.S. Eun 2015, Effect of LED lighting on growth and functional material contents in perilla (*Perilla frutescens* L.). J Agric Life Environ Sci 46:9-15. (in Korean)
- Choi J.W., H.J. Choi, J.G. Kim, J.H. Lee, C.K. Kim, I.S. Shin, and Y.P. Hong 2019, Review of postharvest management to expand the export of fresh perilla leaves. Korean J Food Preserv 26:730-739. (in Korean) doi:10.11002/kjfp.2019.26.7.730
- Gardner F.P., R.B. Pearce, and R.L. Mitchell 2020, Photosynthesis and respiration. Physiology of crop plants, Translated by S.Y. Nam. Ed 1, RGB Press Seoul, Korea, pp 101-135. (in Korean)
- Hong J.W. 2020, Study on the plant growth variation according to change of luminous flux LED light in plant factory. Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society 21:304-311. (in Korean) doi:10.5762/KAIS.2020.21.3.304
- Jeong K.J., J.G. Yun, Y.S. Chon, H.S. Shin, and S.W. Lee 2018, Effect of supplementary or heating lamps on the yield, vase life, and leaf color of cut rose. Protected Hort Plant Fact 27:158-165. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2018.27.2.158
- 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.
- Jeong W.J., J.H. Lee, H.C. Kim, and J.H. Bae 2009, Dry matter production, distribution and yield of sweet pepper grown under glasshouse and plastic greenhouse in Korea. J Bio-Env Con 18:258-265. (in Korean)
- Jun H.J., S.S. Liu, E.H. Jeon, G.H. Bae, and S.I. Kang 2013, Effect of low temperature-darkness treatment of floral initiation and flowering response of Korean strawberry cultivars. Korean J Hortic Sci Technol 31:726-731. (in Korean) doi:10.7235/hort.2013.13058
- Khan S., A. Basit, M.B. Hafeez, S. Irshad, S. Bashir, S. Bashir, M.M. Maqbool, M.S. Saddiq, Z. Hasnain, B.S. Aljuaid, A.M. El-Shehawi, and Y. Li 2021, Moringa leaf extract improves biochemical attributes, yield and grain quality of rice (*Oryza sativa* L.) under drought stress. PLOS ONE 16:1-14. doi:10.1371/journal.pone.0254452
- Kim J.S., G.H. Yon, B.G. Kim, J.S. Choi, E.A. Kim, Y.K. Ko, and I.Y. Lee 2020, Application of mevalocidin as a new plant growth regulator for thinning and lateral lateral shoot induction. Weed Turf Sci 9:29-42. (in Korean) doi:10.5660/WTS.2020.9.1.29
- Kim Y.B., J.H. Bae, and M.H. Park 2011, Effects of supplemental lighting on growth and yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) in hydroponic culture under low levels of natural light in winter. Korean J Hortic Sci Technol 29:317-325. (in Korean)
- Kim Y.J., H.M. Kim, and S.J. Hwang 2016, Growth and phytochemical contents of ice plant as affected by light quality in a closed-type plant production system. Korean J Hortic Sci Technol 34:878-885. (in Korean) doi:10.12972/kjst.20160092
- Kwon J.K., I.H. Yu, K.S. Park, J.H. Lee, J.H. Kim, J.S. Lee, and D.S. Lee 2018, Supplemental lighting by HPS and PLS lamps affects growth and yield of cucumber during low radiation period. Protected Hort Plant Fac 27:400-406. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2018.27.4.400
- Lee J.H., J.H. Jeong, S. Kim, W.Y. Choi, and K.B. Lee 2014, Effect of LEDs (light emitting diodes) on paprika (*Capsicum annuum* L.) growth and yield in glasshouse in reclaimed land. Korean J Int Agric 26:279-283. (in Korean) doi:10.12719/KSIA.2014.26.3.279
- Lee Y.B., H.J. Jun, J.E. Son, H.M. Kang, Y.S. Kim, Y.H. Kim, I.S. Kim, S.W. Nam, K.W. Park et al. 2010, Light environment. Shingo Protected Horticulture, Ed 1, Hyangmoonsa, Seoul, Korea, pp 98-120. (in Korean)
- Lucien T.T., M. Abba, S.N.Y. Christelle, and M. Claudilde 2019, Growth, fruits yield and fruits physicochemical properties of *Capsicum annum* L. as affected by compost and vivianite powder at dang locality in adamawa Cameroon. Haya: Saudi J Life Sci 4:318-325. doi:10.36348/SJLS.2019.v04i09.005
- Marcelis L.F.M., E. Heuvelink, L.R.B. Hofman-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
- Mckee T., and J.R. Mckee 2004, Photosynthesis. Biochemistry: the molecular basis of life, Translated by I.K. Park. Ed 3, Life Science Press, Seoul, Korea, pp 313-338. (in Korean)
- Myoung D.J. 2008, Correlation between climatic factors and yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) in glasshouse. MS Thesis, Chonnam National University, Gwangju, Korea. (in Korean)
- Nongnet 2022, Wholesale and retail price analysis. Available via <https://www.nongnet.or.kr/anss/wsrtpceInfo.do> Accessed

- 17 May 2022.
- Park K.S., D.Y. Kwon, J.W. Lee, and J.E. Son 2018, Comparing photosynthesis, growth, and yield of paprika (*Capsicum annuum* L. 'Cupra') under supplemental sulfur plasma and high-pressure sodium lamps in growth chambers and greenhouses. *Protected Hort Plant Fac* 27:332-340 (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2018.27.4.332
- Randall W.C., and R.G. Lopez 2014, Comparison of supplemental lighting from high-pressure sodium lamps and light-emitting diodes during bedding plant seedling production. *HortScience* 49:589-595. doi:10.21273/HORTSCI.49.5.589
- Rural Development Administration (RDA) 2022a, Agricultural work schedule: Vegetables – pepper (normally cultivated). Available via <https://www.nongsaro.go.kr/portal/ps/psb/psbl/workScheduleDtl.ps?menuId=PS00087&cntntsNo=30600> Accessed 17 May 2022.
- Rural Development Administration (RDA) 2022b, Agricultural work schedule: Vegetables – pepper (forcing cultivated). Available via <https://www.nongsaro.go.kr/portal/ps/psb/psbl/workScheduleDtl.ps?menuId=PS00087&cntntsNo=30601> Accessed 17 May 2022
- Rho I.R., Y.S. Cho, J.W. Cheong, H.J. Jeong, and H.B. Jeong 2007, Effect of low-temperature and short-photoperiod treatment during a high-temperature season on flower bud formation and generation acceleration of short-day strawberry. *Korean J Hort Sci Technol* 25:12-16. (in Korean)
- Statistics Korea 2021, Crop production survey. Available via <https://kosis.kr/index/index.do>. Accessed 19 November 2021.
- Wang H., M. Gu, J.X. Cui, K. Shi, Y.H. Zhou, and J.Q. Yu 2009, Effects of light quality on CO₂ assimilation, chlorophyll-fluorescence quenching, expression of calvin cycle genes and carbohydrate accumulation in *Cucumis sativus*. *J Photochem Photobiol B* 96:30-37. doi:10.1016/j.jphotobiol.2009.03.010
- Whitehead D., K.L. Griffin, M.H. Turnbull, D.T. Tissue, V.C. Engel, K.J. Brown, W.S.F. Schuster, and A.S. Walcroft 2004, Response of total night-time respiration to differences in total daily photosynthesis for leaves in a *Quercus rubra* L. canopy: implications for modelling canopy CO₂ exchange. *Glob Change Biol* 10:925-938. doi:10.1111/j.1365-2486.2004.00739.x