2단 베드 시스템의 하단부에서 자란 딸기의 생산성 및 과일 품질에 미치는 보광 LED의 효과

최효길¹ · 정호정² · 최경이² · 최수현² · 채수천¹ · 안승원¹ · 강희경¹ · 강남준^{3*}

¹공주대학교 원예학과, ²국립원예특작과학원 시설원예연구소, ³경상대학교 농업생명과학연구원

Effects of Supplemental LED Lighting on Productivity and Fruit Quality of Strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) Grown on the Bottom Bed of the Two-Bed Bench System

Hyo Gil Choi¹, Ho Jeong Jeong², Gyeong Lee Choi², Su Hyun Choi², Soo Cheon Chae¹, Seoung Won Ann¹,
Hee Kyung Kang¹, and Nam Jun Kang^{3*}

¹Department of Horticulture, Kongju National University, Yesan, 32439, Korea

²Protected Horticulture Research Institute, NIHHS, RDA, Haman, 52054, Korea

³Inst. of Agr. & Life Sci., Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

Abstract. The aim of this study was to confirm that effects of supplemental LED illumination on a strawberry yield and fruit quality when strawberry grown on a bottom bed to be deficient ambient light due to shading of a upper bed during cultivation by a two-bed bench system. A strawberry was cultivated as a drip irrigation system in the two-bed bench system filled with a strawberry exclusive media from October 2015 to January 2016. The upper and the bottom bed without LED illumination for growth of a strawberry were using as a control. For LED light treatments, from 10 am to 4 pm, we illuminated LEDs as 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ of light intensity by using blue, red, and mixing LED (blue plus red) on the strawberry plants of the bottom bed. In the yield of strawberry fruit, the strawberry grown on the bottom bed treated with the blue LED significantly increased compared with that of the bottom bed part control, and increased to by near 90% of the strawberry output of the upper bed part control. The soluble sugar content of strawberry fruit grown on the upper bed part control and on the bottom bed illuminated with blue or mixed LED was higher than that of red LED and the control of the bottom bed. The content of anthocyanin was the highest increased in the strawberry grown on the upper bed part control that received a lot of ambient light, however when comparing only the bottom bed, strawberry fruits grown on all LED treatments were higher than that of the control. Therefore, we considered that using of the blue LED light on the bottom bed of two-bed bench system during strawberry cultivation is advantageous for the increase of yield and improvement of fruit quality.

Additional key words : anthocyanin, drip irrigation, shading, soluble sugar, yield

서 론

딸기(*Fragaria × ananassa* Duch.)는 다년생으로 장미과에 속하는 연속 착과 작물로 현재 우리나라에서는 시설 하우스 재배 기술의 발달로 9월 초에 본 포장에 정식되어 이듬해 초여름까지 수확되고 있다. 딸기의 안정적인 생산과 수확량 증대를 위하여 최근 수경재배 방식이 전국적으로 증가되고 있는 추세로 면적은 2011년 243ha에

서 2017년 1,575ha로 6.5배 증가되었다(Choi 등, 2017). 딸기의 수경재배 기술에 있어서 중요한 요소 중의 하나는 딸기의 인공배지를 충전하고 있는 베드를 지지하는 벤치 구조이다. 주요하게 딸기 수경재배에 이용되고 있는 벤치구조는 1단 베드 형태의 구조이지만, 최근 하우스 면적당 수확량을 증가시키기 위하여 베드를 벤치의 아래, 위로 2단으로 넣은 다단형으로 딸기를 재배하기도 한다. 이러한 다단형 벤치는 1단 베드 벤치 형태에 비하여 생산량이 전반적으로 증대되지만, 다단형 벤치의 상단 베드에 비하여 하단 베드에서 재배된 딸기가 상단베드에 의한 차광으로 그들이 저 광합성의 저하로 생산성이 떨어지는 경향이 있는 것으로 보고되고 있다(Choi 등,

*Corresponding author: K284077@gnu.ac.kr
Received April 2, 2018; Revised June 22, 2018;
Accepted June 27, 2018

2016). 딸기의 2단 베드 벤치 형태에서의 하단베드에 정식된 딸기의 광합성을 증대시켜 과일의 생산량을 높이기 위한 안정적인 재배기술이 필요한 시점이다.

채소 작물의 광합성을 높이기 위한 보광 연구는 지속적으로 이루어져 왔으며, 1980년에서 2000년 사이의 작물의 생육을 촉진하기 위한 보광 등으로는 주로 고압나트륨등을 이용하여 과채류의 생육 및 품질에 대한 반응을 확인하기 위한 연구가 많았다(Hao와 Papadopoulos, 1999; Letchamo와 Gosselin, 1995; Mcavoy와 Janes, 1988). 최근에는 작물의 광합성에 알맞은 파장 때의 광영역을 선택할 수 있는 light-emitting diode (LED)를 보광원으로 사용하여 작물의 생산량 및 품질을 증대시키고자 하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 엽채류를 대상으로 하는 LED 연구(Kang 등, 2016; Samuolienė 등, 2012; Wojciechowska 등, 2015)가 주류 이루고 있으나 딸기 등과 같은 과채류에 대한 LED 연구도 최근 많이 이루어지고 있다(Choi 등, 2015; Hidaka 등 2015; Nhut 등, 2003). 특히, Choi 등(2015)은 딸기 재배 중 청색과 적색의 혼합 LED와 청색 LED를 이용하였을 때, 딸기 수확량 증대에 효과적이었다고 보고하였다.

본 연구는 딸기 2단 베드 벤치 형태로 수경재배를 할 때, 상단베드에 의하여 차광이 되는 하단베드에 정식된 딸기의 광합성을 높이기 위해서 청색, 적색, 그리고 청색과 적색 혼합 LED를 하단베드에 설치하여 딸기 식물체에 조사하였을 때, LED 광을 조사하지 않은 하단베드와 상단베드의 딸기와 비교하여 생산량 및 품질의 변화를 조사하기 위하여 실시하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료 및 처리방법

본 실험은 2015년 10월부터 2016년 1월까지 경상남도 함안군 소재 시설원예연구소 플라스틱 하우스에서 수행되었다. 실험에 이용된 딸기 품종은 설향(*Fragaria × ananassa* Duch. cv. Seolhyang)으로 10월 2일에 코코피트 배지로 충진된 상단과 하단으로 구성된 2단 벤치의 베드에 20cm 간격으로 정식하여 각각 20주씩 조사하였다. 딸기는 점적관수를 이용하여 네덜란드 PBG 딸기 전용양액으로 정식 후, 개화개시기, 그리고 수확개시기에 각각 0.4, 0.8, 그리고 1.2dS·m⁻¹의 농도로 조절하여 공급하였다.

2단 베드로 구성된 벤치의 하단베드에 차광에 의한 그늘의 피해를 경감시키기 위한 보광원으로 청색 LED(441nm), 적색 LED(632와 660nm) 그리고 청색과 적색 비율이 각각 3대 7로 구성된 혼합 LED(441, 632, 그리고 660nm)으로 처리하였으며, 대조구로는 LED를 처리

하지 않은 하단베드와 상단베드를 이용하였다. LED 광의 성능과 식물체와의 거리를 고려하여 딸기 상위 앞에서 받는 광량이 약 100 μmol·m⁻²·s⁻¹이 되도록 광도계(LI-1800, LI-Cor Inc., USA)를 이용하여 1m의 간격으로 LED 광을 설치하였다. LED의 보광은 11월 1일부터 1월 30일까지 아침 10시부터 오후 4시까지 총 6시간 실시하였고, LED 보광 기간 동안 하단베드의 식물체가 태양광과 인공광을 포함한 하루 평균 받은 총광량은 약 5.2mol·m⁻²·d⁻¹이었다. 본 실험에 이용된 LED 등의 형태 및 각각의 LED 등의 파장 영역과 2단 베드 벤치의 하루 중 자연광에 대한 상단과 하단의 광량 특징은 Fig. 1과 같다.

2. 딸기 생산성 및 과일 품질 분석

딸기는 12월 중순부터 1월 30일까지 처리구별로 수확하여 식물체당 과일 무게로 생산량을 조사하였다. 또한 과일의 품질을 분석하기 위한 시료는 1월 20일부터 30일 사이에 100% 착색된 딸기 과일을 수확하여 각각의 처리 별로 2kg을 꼭지부위를 제거하고 시료로 만들어 균질화한 후 원심분리기(64R Centrifuge, Beckman Coulter Inc., USA)를 이용하여 1,600×g, 4°C에서 30분 동안 원심 분리하였다. 이후 상등액을 Whatman No.2 여과지로 여과한 후 -70°C의 냉동고에 보관하였다. 냉동 보관된 시료를 이용하여 2016년 11월에 딸기 과일의 유기산, 유리당 및 페놀화합물과 항산화활성을 분석하였다.

HPLC(YL9100, Younlin Co., Korea)를 이용하여 Sugar-pak column과 RI detector로 표준물질 fructose, glucose 및 sucrose를 검출한 값을 이용하여 처리 별 유리당의 함량을 분석하였다. IC(ICS 5000 system, Dionex Co., USA)를 이용하여 5.0 mM tetra-butylammonium hydroxide과 5.0 psi의 질소기체를 suppressor로 공급하면서 0.4 mM heptafluorobutyric acid를 IC Pak으로 흘리며 고착되어 있는 유기산을 용출하여 표준물질 citric acid, malic acid 그리고 oxalic acid로 정량화한 표준곡선으로 값을 구하였다.

총페놀화합물과 안토시아닌의 함량 그리고 항산화활성능력을 측정하는 방법인 DPPH와 ABTS 라디칼 소거능 측정은 Choi 등(2013)의 분석 방법에 따라 분석하였다. 총 페놀화합물은 딸기 추출액을 4°C에서 용해시켜 2% Na₂CO₃를 혼합하여 2분 후 50% Folin-Ciocalteu 시약을 첨가한 후 상온에서 30분 동안 반응시킨 후 분광광도계(UV/Vis-spectrophotometer, Thermo, Co., USA)로 750nm에서 표준물질 gallic acid를 이용한 표준곡선으로 측정하였다. 안토시아닌의 함량은 시료용액과 1% HCl이 함유된 MeOH을 혼합하여 Whatman No.2 여과지로 여과한 시료액을 이용하여 530nm에서 흡광도를 측정하여 pelargonidin-3-glucoside의 표준곡선을 이용하여 분석하였다.

Fig. 1. The configuration of supplemental LED lamps in this experiment. The LED light intensity has adjusted $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ and has illuminated from 10:00 to 16:00 for photosynthesis of strawberries planted on bottom bed during the daytime. A: non-treated LED light (control); B: red LED light treatment; C: blue LED light treatment; D: mixed LED (blue+red) light treatment; E: spectral distribution of three different type LED lamps; F: daily course of ambient PAR into a greenhouse installed with upper and bottom bed.

DPPH는 $4\times 10^{-4}\text{M}$ 의 DPPH(Sigma-Aldrich chemical, Co., USA)을 이용하여 517nm에서 흡광도를 대조구로 이용하였으며, DPPH용액과 혼합된 시료를 상온에서 30 분 반응시켜 동일 파장에서 흡광도를 측정하여 전자공여능을 확인하였다. 전자공여능 EDA(%)는 다음의 식을 이용하여 계산하였다. $\text{EDA}(\%) = [1 - \text{ABS}/\text{ABC}] \times 100$. ABS는 시료의 흡광도, ABC는 대조구의 흡광도를 나타낸다. ABTS는 7.4mM ABTS와 2.6mM $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 을 1대 1로 혼합하여 암흑상태의 방에서 Whatman No.2 여과지를 이용하여 여과한 후 16시간 반응시킨 후 MeOH을

혼합하여 734nm에서 흡광도를 조정한 후 그 값을 대조구로 이용하였다. 조정된 ABTS 용액과 시료를 혼합하여 1분 동안 37°C 의 항온 수조에서 반응시켜 흡광도를 측정하여 대조구와 시료의 흡광도 차이를 백분율로 계산하여 구하였다.

3. 통계분석

청색, 적색, 그리고 청색과 적색의 혼합 LED를 보광한 하단 베드 3처리와 LED 광을 주지 않은 상단과 하단 베드 2개의 대조구로 구성된 본 실험은 처리구 당

20주씩 3반복하여 수행하였다. 처리별로 수확한 과일은 100% 착색된 과일을 무작위로 선별하여 당산도 및 페놀 화합물, 안토시아닌, 항산화활성 등을 3반복하여 분석하였다. 본 실험에서 분석한 결과 값은 SAS 통계 프로그램 (SAS, 9.4, Institute Inc., USA)을 이용하여 Duncan's multiple range test로 95% 유의수준에서 분석하였다.

결과 및 고찰

1. LED 처리에 따른 환경 및 과일 생산성

대조구로 이용된 LED 무처리 상단과 하단 베드(Fig. 1A), 적색 LED를 보광한 하단 베드(Fig. 1B), 청색 LED를 보광한 하단 베드(Fig. 1C) 및 혼합 LED를 보광한 하단 베드(Fig. 1D)를 비롯한 각 LED 파장별 광량 (Fig. 1E)과 2단 베드 벤치의 상단과 하단의 하루 중 자 연광의 변화량(Fig. 1F)을 나타내었다(Fig. 1). 1월 평균 상단 베드와 하단 베드의 하루 중 전체 광량을 비교하였을 때, 하단의 광량은 상단의 광량에 비하여 약 30%의 빛만을 받고 있고 나머지 70%는 상단 베드의 그늘에 의해 차광되는 것으로 조사되었다. 특히 하단 베드로 조사되어지는 빛은 10시부터 16시까지 크게 줄어드는 것으로 분광계 측정 결과로 확인할 수 있었다.

각각의 LED 파장별 하단 베드에서 자란 딸기의 수확량과 대조구로 이용된 LED를 보광하지 않은 상단과 하단 베드의 딸기 수확량을 조사한 결과(Fig. 2), 대조구로 이용된 상단과 하단 베드에서 생육된 딸기의 수확량은 각각 주당 126g과 85g으로 상단 베드에서 자란 딸기의 생산량이 하단 베드에서 자란 딸기보다 약 48% 수율이 높았다. 이는 상단 베드의 1월 중 하루 평균 광량이 $12\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 로 하단 베드의 $4\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 보다 월등히 높았기 때문인 것으로 판단된다. 본 실험에서 상단 베드의 차광에 의한 하단 베드의 딸기 생산량 감소는 Choi 등 (2014)이 광량별 딸기 생산량의 변화를 보고한 결과와 유사하였다. 하지만 이는 상단 베드에서 자란 식물이 하단 베드에서 자란 식물 보다 광량을 3배 이상 많이 받은 것에 비하여 생산량이 크게 높지는 않았다. 청색 LED와 혼합 LED가 보광 조사된 하단 베드에서 생장한 딸기는 각각 113g과 101g의 수확량을 보였다. 반면에 적색 LED를 보광한 하단 베드에서 생장한 딸기는 광을 주지 않은 하단 베드보다도 생산량이 줄어든 82g을 수확하였다. 이러한 적색 LED 보광에 의한 딸기 수확량 감소 원인을 본 연구에서는 명확하게 확인할 수 없었기 때문에 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. 반면, 청색 LED로 보광하여 재배한 딸기의 생산량이 증가했다는 보고를 다수 확인할 수 있었다(Choi 등, 2015; Yoshida 등, 2012). 이는 청색광이 식물의 기공 운동을

Fig. 2. The yield of strawberry plants grown under the two-bed bench system with illumination of LEDs. Letters above the bars indicate mean separation by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$. Vertical bars represent standard deviation ($n=3$).

촉진하여 기공을 열리게 하여(Amodeo 등, 1992) 광합성에 효과적으로 작용된 것이라 판단된다. 또한 Johkan 등 (2010)은 청색 LED 등을 보광원으로 이용하여 상추를 육묘한 것이 뿌리 및 지상부의 생육이 좋았다고 보고하였다. 이로 보아 청색 LED 등이 식물체의 생육이나 과일의 생산량 증대에 긍정적인 역할을 하는 것으로 기대되므로 딸기 2단 베드 벤치 재배 시 하단베드의 보광원으로 청색 LED를 이용하면 생산량 증대 측면에서 효율적일 것으로 판단된다.

2. LED 처리에 따른 딸기 과일의 식물화합성분 및 항산화 활성

LED 보광 재배에 따른 딸기 과일의 수용성 당 함량 축적을 확인한 결과, 모든 처리에서 딸기과일의 과당 함량은 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 1). 하지만, 상단 베드와 청색 LED 및 혼합 LED 보광된 베드에서 자란 딸기 과일의 총 수용성 당 함량과 자당 함량은 LED를 보광 처리하지 않은 하단 베드나 적색 LED가 보광된 하단 베드에서 자란 딸기과일보다 높았다. 적색 LED 처리를 제외하고는 대체적으로 광량을 많이 받고 자란 딸기 과일에서 자당의 함량이 높았는데, 이는 라스베리를 광량별 처리에서 높은 광량조건에서 저장한 과일의 자당 함량이 증가되었다는 보고와 유사한 결과를 보였다(Wang 등, 2009).

딸기의 옥살산 함량은 대조구로 이용된 상단 및 하단 베드나 적색 LED 보광된 하단 베드보다는 청색 및 청색과 적색이 혼합된 LED가 보광된 하단 베드에서 자란 딸기 과일에서 크게 증가되었다(Table 2). 이러한 우리의 결과는 총 옥살산 농도에서 청색광에 비하여 적색광의

Table 1. Soluble sugar contents of strawberry fruit grown under the two-bed bench system with illumination of LEDs.

Treatment	Soluble sugar contents (g·100g ⁻¹ ,FW)			
	Fructose	Glucose	Sucrose	Total
Upper bed	3.5 a ²	3.2 b	2.8 a	9.5 a
Bottom bed	3.1 a	3.8 a	1.9 b	8.8 b
Blue + Red	3.3 a	3.2 b	2.8 a	9.3 a
Blue	3.5 a	3.2 b	2.7 a	9.4 a
Red	3.5 a	3.9 a	1.6 b	9.0 b

²Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

Table 2. Organic acids of strawberry fruit grown under the two-bed bench growth system with illumination of LEDs.

Treatment	Organic acid contents (mg·100g ⁻¹ ,FW)			
	Citric acid	Malic acid	Oxalic acid	Total
Upper bed	391 a ²	137 b	68 b	596 b
Bottom bed	376 a	152 ab	63 b	591 b
Blue + Red	516 a	211 a	92 a	819 a
Blue	480 a	180 ab	89 a	751 ab
Red	387 a	156 ab	58 b	601 b

²Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

Fig. 3. Accumulation of phytochemicals (anthocyanins and phenolic compounds) in the fruits of strawberry plants grown under the two-bed bench system with illumination of LEDs. Letters above the bars indicate mean separation by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$. Vertical bars represent standard deviation ($n=3$).

시금치에서 비교적으로 낮았다는 보고와 유사하며(Qi 등, 2007), 이는 청색광과 적색광이 식물체 내에서 옥살산의 수송과 관련성이 높기 때문인 것으로 보고된다(Bian 등, 2015).

딸기 과일의 안토시아닌 함량은 LED 보광을 처리하지 않은 상단 베드에서 자란 딸기에서 가장 높게 나타났으며, 또한 가장 낮은 함량을 보인 처리구는 LED를 보광하지 않은 하단 베드에서 자란 딸기였다(Fig. 3). 상

대적으로 LED를 보광한 하단 베드에서 자란 딸기는 자연광을 많이 받은 상단 베드의 식물보다는 안토시아닌의 축적이 적었지만, 보광을 하지 않은 하단 베드의 식물보다는 유의하게 높았다. Xu 등 (2014)은 청색광을 수확 중인 딸기에 조사하였을 때, 안토시아닌 합성과 관련된 glucose-6-phosphate(G6PDH)나 shikinate dehydrogenase (SKDH) 등의 효소활성을 촉진시켜 딸기 과일의 안토시아닌 함량을 증대한다고 보고하였는데, 이는 우리의 연

Table 3. Antioxidant activities in the fruits of strawberry plants grown under the two-bed bench system with illumination of LEDs.

Antioxidant activity	Upper bed	Bottom bed	Blue + Red	Blue	Red
DPPH(%)	80.6 a ²	86.0 a	85.6 a	82.3 a	82.2 a
ABTS(%)	79.0 a	73.9 a	76.3 a	72.3 a	67.2 a

²Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

구결과와 어느 정도 유사하였다. 이러한 결과로 미루어 보아 일조가 부족할 때, LED 보광이 딸기 과일의 안토시아닌 축적에 효과적으로 작용할 것이라 판단된다.

본 실험에서 LED 보광이 없는 상단 베드에서 자란 딸기 과일의 DPPH의 활력은 조금 작게, ABTS의 능력은 조금 높게 다른 처리에 비하여 나타났지만, 전반적인 통계처리에 의한 유의차는 나타나지 않았다(Table 3). 본 실험의 범위 안에서의 광질 및 광량에 따라서는 DPPH 및 ABTS와 같은 과일의 항산화 능력의 변화는 나타나지 않는 것으로 확인되었다.

이상의 결과로 본 연구의 유용성을 판단하여 볼 때, 대체적으로 광량이 부족할 경우 $100\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 LED 광을 보광하면 딸기의 생산량 및 식물화합성분의 함량 증대에 효과적인 것으로 나타났다. 하지만 적색 LED 단독으로 보광을 하였을 때는 과일의 성분함량 증대에는 유용하였으나 과일의 생산량 증대에는 효과가 없는 것으로 나타났기 때문에 청색 및 적색을 혼합한 LED 등이나 특히 청색 LED 등을 보광 원으로 사용한다면 딸기 과일의 성분 향상 및 생산량 증대에도 도움이 될 것이라 사료된다. 따라서 2단 베드 벤치에서의 딸기 재배 시 상단 베드에 의한 하단 베드의 차광으로 광량이 부족할 때 청색 LED 등을 보광하는 것이 유익할 것이라 판단된다.

적 요

본 연구의 목적은 2단 베드 벤치 시스템에서 딸기를 재배하는 동안 상단베드에 의한 차광으로 광량 부족한 하단 베드에서 자란 딸기의 생산량 및 과일 품질에 LED 보광의 영향을 확인하기 위한 것이다. 딸기 전용상토로 충진된 2단 베드 벤치에 2015년 10월부터 2016년 1월까지 점적 관수로 딸기를 재배하였다. LED 광이 처리되지 않은 상단과 하단 베드를 대조구로 이용하였고, LED 광 처리를 위해서 오전 10시부터 오후 4시까지 하단 베드에 각각 청색, 적색, 그리고 청색과 적색을 혼합한 LED 광을 $100\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광량으로 보광 하였다. 딸기의 수확량에 있어서, 하단 베드의 청색 LED 보광된 처리에서 자란 딸기는 하단 부분 대조구와 비교하여 유의하게 증가되었으며, 상단 베드 대조구에서 자란 딸기

생산량의 90% 수준까지 증가되었다. 청색 및 혼합 LED와 상단베드에서 생육된 딸기 과일의 유리당 함량은 적색 LED와 하단 베드 부위 대조구에 비하여 높았다. 안토시아닌의 함량은 자연 광을 많이 받는 상단 베드에서 생육된 딸기 과일이 가장 높았지만, 하단베드 처리만을 비교하할 때, LED를 보광한 모든 딸기과일이 보광하지 않은 하단 부분의 대조구의 딸기 과일보다 높았다. 따라서 딸기 2단 베드 재배 시 하단 베드에 청색 LED 보광이 생산 증대 및 품질 향상에 유리할 것으로 판단된다.

추가 주제어: 안토시아닌, 점적 관수, 차광, 수용성 당, 수확량

사 사

이 논문은 2017년 공주대학교 학술연구지원사업의 연구지원에 의하여 연구되었습니다.

Literature cited

- Amodeo, G., A. Srivastava, and E. Zeiger. 1992. Vanadate inhibits blue light-stimulated swelling of *Vicia* guard cell protoplasts. *Plant Physiology* 100:1567-1570.
- Bian, Z.H., Q.C. Yang, and W.K. Liu. 2015. Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95:869-877.
- Choi, H.G., B.Y. Moon, N.J. Kang, J.K. Kwon, K. Bekhzod, K.S. Park, and S.Y. Lee. 2014. Yield loss and quality degradation of strawberry fruits cultivated under the deficient insolation conditions by shading. *Hort. Environ. Biotechnol.* 55:263-270.
- Choi, H.G., B.Y. Moon, and N.J. Kang. 2015. Effects of LED light on the production of strawberry during cultivation in a plastic greenhouse and in a growth chamber. *Scientia Horticulturae* 189:22-31.
- Choi, H.G., B.Y. Moon, and N.J. Kang. 2016. Correlation between strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) productivity and photosynthesis-related parameters under various growth conditions. *Frontiers in Plant Science* 7:1607.
- Choi, H.G., J.K. Kwon, B.Y. Moon, N.J. Kang, K.S. Park, M.W. Cho, and Y.C. Kim. 2013. Effect of different light

- emitting diode (LED) lights on the growth characteristics and the phytochemical production of strawberry fruits during cultivation. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 31:56-64 (in Korean).
- Choi, S.H., G.L. Choi, H.J. Jeong, S.Y. Kim, S.C. Lee, and H.G. Choi. 2017. Optimum nutrient concentration to improve growth and quality of strawberry cultivars 'Berrystar' and 'Jukhyang' in hydroponics. Protected Hort. Plant Fac. 26:424-431 (in Korean).
- Hao, X. and A.P. Papadopoulos. 1999. Effects of supplemental lighting and cover materials on growth, photosynthesis, biomass partitioning, early yield and quality of greenhouse cucumber. Scientia Horticulturae 80:1-18.
- Hidaka, K., K. Dan, H. Imanura, T. Takayama, K. Sameshima, and M. Okimura. 2015. Variety comparison of effect of supplemental lighting with LED on growth and yield in forcing culture of strawberry. Environmental Control in Biology, 53:135-143.
- Johkan, M., K. Shoji, F. Goto, S.N. Hashida, and T. Yoshihara. 2010. Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. HortScience 45:1809-1814.
- Kang, W.H., F. Zhang, J.W. Lee, and J.E. Son. 2016. Improvement of Canopy Light Distribution, Photosynthesis, and Growth of Lettuce (*Lactuca Sativa* L.) in Plant Factory Conditions by Using Filters to Diffuse Light from LEDs. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 34:84-93 (in Korean).
- Letchamo, W. and A. Gosselin. 1995. Effects of HPS supplemental lighting and soil water levels on growth, essential oil content and composition of two thyme (*Thymus vulgaris* L.) clonal selections. Canadian journal of plant science 75:231-238.
- Mcavoy, R.J. and H.W. Janes. 1988. Alternative production strategies for greenhouse tomatoes using supplemental lighting. Scientia horticulturae 35:161-166
- Nhut, D.T., T. Takamura, H. Watanabe, K. Okamoto, and M. Tanaka. 2003. Responses of strawberry plantlets cultured in vitro under superbright red and blue light-emitting diodes (LEDs). Plant Cell, Tissue and Organ Culture 73:43-52.
- Qi L.D., S.H.Q. Liu, L. Xu, W.Y. Yu, Q.L. Lang, and S.H.O. Hao. 2007. Effect of light qualities on accumulation of oxalate, tannin and nitrate in spinach. Trans Chin Soc Agric Eng 4:201-205.
- Samuolienė, G., R. Sirtautas, A. Brazaitytė, and P. Duchovskis. 2012. LED lighting and seasonality effects antioxidant properties of baby leaf lettuce. Food chemistry 134: 1494-1499.
- Wang, S.Y., C.T. Chen, and C.Y. Wang. 2009. The influence of light and maturity on fruit quality and flavonoid content of red raspberries. Food Chemistry 112:676-684.
- Wojciechowska, R., O. Długosz-Grochowska, A. Kołton, and M. Żupnik. 2015. Effects of LED supplemental lighting on yield and some quality parameters of lamb's lettuce grown in two winter cycles. Scientia Horticulturae 187:80-86.
- Xu, F., S. Cao, L. Shi, W. Chen, X. Su, and Z. Yang. 2014. Blue light irradiation affects anthocyanin content and enzyme activities involved in postharvest strawberry fruit. Journal of agricultural and food chemistry 62:4778-4783.
- Yoshida, H., S. Hikosaka, E. Goto, H. Takasuna, and T. Kudou. 2012. Effects of light quality and light period on flowering of everbearing strawberry in a closed plant production system. Acta Horticulturae 956:107-112.