

## 수직농장에서 광도와 광주기가 수경재배 바질의 생육 및 페놀 함량에 미치는 영향

김선우<sup>1</sup> · 박종석<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 바이오 AI 융합학과 대학원생, <sup>2</sup>충남대학교 농업생명과학대학 원예학과 교수,

<sup>3</sup>충남대학교 바이오 AI 융합학과 교수

## Influence of Light Intensity and Photoperiod on the Growth and Phenol Contents of Hydroponic Basil in Vertical Farms

Sunwoo Kim<sup>1</sup> and Jongseok Park<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate Student, Department of Bio-AI Convergence, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

<sup>2</sup>Professor, Department of Horticultural Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

<sup>3</sup>Professor, Department of Bio-AI Convergence, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

**Abstract.** This study aimed to investigate the growth and phenol content changes of basil (*Ocimum basilicum* L.) under five different light intensities and photoperiods, maintaining the same Daily Light Integral (DLI) conditions in a plant factory. Basil seeds were sown on a rockwool medium for four weeks and then transplanted. To maintain a DLI  $17\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , light intensity and photoperiod were set at 16h-295, 18h-260, 20h-235, 22h-215, and 24h-200  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  and cultivated for four weeks. The harvested results showed that basil plant height, number of lateral branches, and leaf number tended to decrease from the 16h-295 treatment to the 24h-200 treatment. Shoot fresh weight, dry weight, leaf area, leaf width, and leaf length were significantly higher in the 18 h-260 treatment. The total phenolic contents in the 18h-260 treatment was significantly higher by 51.3%, 172.7%, 111%, and 119.7% compared to the 16h-295, 20h-235, 22h-215, and 24h-200 treatments, respectively. Therefore, it is anticipated that cultivating basil under the condition of 18h-260 treatment could yield enhanced growth quality and an increase in total phenolic contents.

**Additional key words:** DLI, Lamiaceae, LED, phenol, PPF

### 서론

일년생 또는 다년생 허브 중 하나인 바질(*Ocimum basilicum* L.)은 Lamiaceae에 속하며(Marwat 등, 2011), 주로 요리용 허브로 식품 재료로 사용된다(Albadwawi 등, 2022). 주로 미국, 아프리카, 아시아의 아열대 지역에서 생육하며, 인도와 남아시아가 원산지이다(Sipos 등, 2021). 바질은 폴리페놀(polyphenols), 페놀(phenolics), 페놀산(phenolic acids), 플라보노이드(flavonoids)와 같은 기능성 물질을 함유하는 것으로 알려져 있으며(Shahrajabian 등, 2020), 이러한 추출물은 항당뇨병, 항산화, 면역 조절, 항염증, 항스트레스, 항암 활성과 효과를 갖고 있어 인간의 건강 증진 특성을 보여준다

(Copolovici 등, 2021; Santin 등, 2023; Taie와Radwan, 2010).

식물공장은 외부환경조건에 영향을 받지 않고 폐쇄된 공간에서 적정 환경 조건을 조절하여 작물의 생산성을 증가시킬 수 있다. 식물공장 내에 광, 온도, 습도, 양액 등의 다양한 환경 조건의 변화를 통하여 식물의 생장과 기능성 물질 함량에 변화를 줄 수 있다. 여러 환경조건 중에서 광은 에너지원으로 제공되어 광합성을 촉진하고 신진대사 발달을 조절하는 등 다양한 생리적 반응을 유도하는 신호전달 매개체로 광 관련 인자로는 광도, 광질, 광주기 등이 존재한다(Vodnik 등, 2023; Yan 등, 2019).

광도는 식물의 성장 발달에 중요한 역할을 하는 동시에 식물체 내의 2차 대사산물 축적을 변화시킬 수 있다(Azad 등, 2020; Gao 등, 2021; Li 등, 2023). 광주기는 식물의 일장 감지 메커니즘에 영향을 미치며, 이는 식물의 생장과 품질에 영향을 주기 때문에 실내 재배에 최적화하는 것이 중요하다

\*Corresponding author: [jongseok@cnu.ac.kr](mailto:jongseok@cnu.ac.kr)

Received October 6, 2023; Revised October 19, 2023;

Accepted October 19, 2023

(Avgoustaki, 2019; Chowdhury 등, 2023). 광도와 광주기에 의해 조절되는 일적산광량(day light integral, DLI)은 작물이 24시간 동안 받는 광의 총량으로 광합성 광양자속밀도(photosynthetic photon flux density, PPF)에 광주기를 곱하여 계산할 수 있다(Xu 등, 2021). 광도와 광주기를 조절하여 작물의 생장(Elkins와 van Iersel, 2020; Yan 등, 2021), 바이오매스(Cui 등, 2021; Palmer와 van Iersel, 2020), 생리활성 물질(Hernández-Adasme 등, 2023; Tso 등, 1970) 등이 증가되는 연구 결과가 보고되었다. 이에, 식물공장에서 생산된 바질의 가치를 높일 수 있는 최적의 광조건 구명은 필요하다. 따라서 본 연구는 동일한 DLI 조건에서 서로 다른 광주기를 5개의 조합으로 설정하여 바질의 생육과 페놀 함량의 변화를 알아보고자 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 재료

바질(*Ocimum basilicum* L.)을 아시아종묘(Asia Seed Co., Ltd., Seoul, Korea)에서 구매하여 105립 종자를 암면 플러그(AO Plug, Grodan, Poland)에 파종하였으며, 파종된 암면 플러그를 각각 분리시켜 105구 플러그 트레이에 정치하였다. 파종 후 LED 조명(H22P, APACK Inc., Korea)을 광주기 16/8 시간(명/암), 광도  $180 \pm 20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 설정하였으며, 온도  $22 \pm 3^\circ\text{C}$ , 상대습도  $60 \pm 10\%$  환경 조건 아래에서 4주간 육묘하였다. EC  $2.0 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 의 Hoagland 양액을 본엽이 발생한 시점부터 2일 간격으로 저면으로 관수하였다. 육묘 후 각 처리당 12주씩 선발하여 직경 2.5cm, 정식간격 15.75cm 간격으로 수정재배 정식판에 정식하였다.

### 2. 재배시스템 및 재배환경

환경조절실[4.9m(길이) × 3.1m(폭) × 3.25m(높이)]에 재배 베드[1,300mm(길이) × 700mm(폭) × 2,800mm(높이)]를 3단, 각 단의 높이는 720mm로 구성하였으며, 각 단에 스티로폼 재질의 semi-DFT[1,295mm(길이) × 610mm(폭) × 60mm(깊이)] 베드 3개를 각 단에 설치하여 총 5개의 독립 재배 베드 모듈에서 실험을 수행하였다. 재배 베드 하단에는 130L 크기의 양액 탱크를 제작하였다. 양액 탱크 안에 수중 펌프(PD-G050M, WILO Co., Ltd., Germany)를 이용하여 24시간 동안 순환시켰으며, 온도 및 상대습도는  $21.6 \pm 3.6^\circ\text{C}$ ,  $56.5 \pm 18.5\%$ 의 환경 조건에서 Hoagland 양액 EC  $2.0 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 4주간 실험을 진행하였다.

### 3. DLI 처리 조건

DLI  $17 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 유지하기 위해 재배 베드 상단에 알루미늄 서포트잭(SL.Sup7014, SciLab Co., Korea)[25cm(길이) × 25cm(폭) × 15–36cm(높이)]을 부착하였으며, 하단에 LED 조명을 설치 후 높이를 조절할 수 있게 하였고, 광스펙트럼 분석기(LI-180, LI-COR, USA)를 이용하여 광도를 조절하였다. 16h-295, 18h-260, 20h-235, 22h-215, 24h-200  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  처리로 설정하기 위해 각 작물체와 LED 사이의 높이를 16, 24.5, 27.5, 25.5, 31cm로 고정하여 실험을 진행하였다.

### 4. 생육조사

정식 4주 후, 각 처리구별로 5주(n = 5)씩 수확하여 생육조사를 수행하였다. 전자저울(MW-2N, CAS Co., Ltd., Seoul, Korea)을 이용하여 지상부 생체중을 측정하였고, 지상부 건물중은 측정된 시료를 봉투에 담아  $80^\circ\text{C}$ 로 설정된 열풍 건조기(HB-501M, Hanbaek Scientific Technology Co., Ltd., Bucheon, Korea)에 넣고 1주일간 건조한 후 전자저울을 이용하여 측정하였다. 작물 특성 분석 소프트웨어(KR-Image, ver. 0.9.5 beta, Korea Seed and Variety Service)를 이용하여 엽수, 엽폭, 엽장, 엽면적을 측정하였다.

### 5. 성분분석

Lichtenthaler와 Buschmann(2001)의 방법을 이용하여 chlorophyll a, chlorophyll b, total carotenoids 함량을 분석하였다. 처리구별 5주씩 수확한 후 액체질소를 이용하여 급속 냉각시켰다.  $-70^\circ\text{C}$ 에 냉동보관한 후 Freeze-dryer(TFD5503, ilSinBioBase., Korea)를 이용하여 동결 건조하였고 믹서기를 사용하여 분말화 하였다. 분말된 시료는 2.0mL eppendorf-tube에 20mg을 넣고, MeOH와 증류수를 넣어 제조한 90% H<sub>2</sub>O-Methanol 용매 2mL를 넣어 Voltex Mixer(SI-0246A, Coleparmer., USA)로 잘 섞어주었다. Ultrasonic Bath(power-sonic420, Hwashin Tech Co., Ltd., Korea)에서 중간강도로  $40^\circ\text{C}$ , 20분 동안 음파 처리 후 추출한 후 원심분리기(Smart 15 plus, Hanil., Korea)를 이용하여  $4^\circ\text{C}$ , 15000RPM으로 5분 동안 원심 분리하여 상층액을 취하였다. 96 well plate(SPL30096, SPL., Korea)에 20  $\mu\text{L}$ 씩 상층액을 분주하여 microplate spectrophotometer(EPOCH™, Agilent Technologies, USA)으로 652, 665nm에서 흡광도를 측정하였다. 측정된 흡광도 값은 아래의 식으로 계산하여 함량 값을 구하였다.

**Table 1.** Standard calibration curve formula of total phenolic compounds analysis.

Curve name	Curve formula	A	B	R <sup>2</sup>
GA Std Curve	Y=A*X+B	24.6	0.0377	0.998

$$C_a(\mu\text{g/ml}) = 16.82 A_{665.2\text{nm}} - 9.28 A_{652.4\text{nm}}$$

$$C_b(\mu\text{g/ml}) = 36.92 A_{652.4\text{nm}} - 16.54 A_{665.2\text{nm}}$$

$$C_{(x+c)}(\mu\text{g/ml}) = (1000 A_{470\text{nm}} - 1.91 C_a - 95.15 C_b) / 225$$

$A_{665.2\text{nm}}$ ,  $A_{652.4\text{nm}}$ 와  $A_{470\text{nm}}$ 는 각각 665.2nm, 652.4nm, 470nm에서 시료의 흡광도 값;  $C_a$ 는 chlorophylls a;  $C_b$ 는 chlorophylls b;  $C_{(x+c)}$ 는 total carotenoids.

바질의 총 페놀함량(total phenolic content, TPC)를 측정하기 위해 Severo 등(2011)의 방법을 적절히 변형하여 측정되었으며, 표준물질 galic acid(G7384-100G, Sigma-Aldrich, St Louis, MO, USA)를 이용한 표준검정곡선법을 통해 각 시료의 함량을 구하였으며, 시료 전처리에는 chlorophyll a, chlorophyll b와 total carotenoids 함량 분석에 사용된 방법과 동일하게 진행되었다. 각 시료의 75 $\mu$ L, 75 $\mu$ L Folin-Ciocalteu reagent(F9252-100ML, Sigma-Aldrich, St Louis, MO, USA), 1,125 $\mu$ L 3차 증류수를 1.5mL tube에 넣고 5분간 반응 시켰으며, 225 $\mu$ L 7.5% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> solution를 추가하여 40분간 상온 반응시켰다. 96 well plate(SPL30096, SPL., Korea)에 200 $\mu$ L 씩 분주하여 microplate spectrophotometer(Epoch™, Agilent Technologies, USA)으로 765nm에서 흡광도를 측정하였다. 측정된 흡광도 값과 표준검정곡선법을 이용하여 계산된 TPC 값은 Table 1에 명시되어 있다.

$$\text{TPC} (\mu\text{g GAE/mg}) = \frac{(A_{\text{sample}} - A_y) / A_a}{m \times V}$$

$A_{\text{sample}}$ 은 765nm에서 시료의 흡광도 값;  $A_y$ 는 765nm에서 galic acid 표준곡선의 y 절편 값; V는 측정된 시료의 부피(200 $\mu$ L); m은 전처리에 사용된 시료의 양(i.e., 20mg/2000 $\mu$ L).

## 6. 통계분석

정식 4주 후 생육조사를 위해 각 처리구 당 5주(n = 5)를 조사하였으며, chlorophyll a, chlorophyll b, total carotenoids, total phenolic 함량을 분석하기 위해 각 처리구별 3반복으로 실시하였다. 측정된 데이터의 처리 간 통계분석을 위해 SPSS(SPSS 29, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 사용하였으며, 평균 간 유의차 검증을 위해 Tukey의 다중검정법으로 유의수준  $p \leq 0.05$ 에서 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 생육분석

정식 후 4주간 광도 및 광주기 처리에 따른 바질을 관찰한 결과 18h-260 처리구가 다른 처리구에 비해 지상부의 크기가 큰 것을 볼 수 있으며, 24h-200 처리구가 가장 작은 것을 육안으로 확인할 수 있었다(Fig. 1). 지상부 생체중은 20h-235, 22h-215, 24h-200 처리구가 27.87, 37.44, 27.82g으로 18h-260 처리구에 비해 유의적으로 낮은 값을 나타내었다(Table 2). 지상부 건물중은 20h-235, 22h-215, 24h-200 처리구가 16h-295 처리구에 비해 각각 55.0, 41.9, 50.6% 유의적으로 감소하였고, 18h-260 처리구에 비해 각각 65.9, 56, 63% 유의적으로 감소하였다. 바질의 초장은 광주기가 길어지고 광도가 낮아질수록 감소하는 경향을 나타내었으며, 측지 개수와 엽수는 각 처리구와의 유의적 차이를 보이지 않았다. 18h-260 처리구의 엽면적, 엽장, 엽폭은 각각 900.05cm<sup>2</sup>, 185.14cm, 291.52cm로 20h-235, 22h-215, 24h-200 처리구보다 유의적으로 높은 경향을 보였다.

Ciriello 등(2023)의 연구에서 DLI 15mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> 조건에서 16h-260와 18h-232를 바질에 처리하였을 때, 18h-232 처리구가 16h-260 보다 지상부 생체중 및 건물중이 증가하였다는 결과를 나타내었는데, 본 연구의 16h-295와 18h-260의 처리구에서도 지상부 생체중 및 건물중 증대와 비슷한 경향성을 보였다. Zhang 등(2020)의 연구에서 광주기가 길어질수록 페레니얼 라이그래스의 초장이 감소하였는데 본 연구에서도 광조건 16시간에서 24시간으로 갈수록 바질의 초장이 감소되는 것과 비슷한 결과를 나타냈다. 하지만, Elkins와 van Iersel (2020)의 실험에서는 *Rudbeckia fulgida* var. *sullivantii* ‘Goldsturm’ 묘목을 동일한 DLI 조건에서 처리하였을 때 낮은 광도와 긴 광주기는 생장을 촉진한다고 보고된 바 있다. 광도가 증가하면 광계II의 chlorophyll 함량이 낮아지고 광합성이 잘 이루어지지 않고 긴 광주기는 더 많은 빛을 가져 광합성 효율이 좋아진다(Elkins와 van Iersel, 2020). 일부 연구에서는 일장이 너무 길거나 높은 광도 조건에서는 광억제 현상이 발생하며 광계II의 양자수율 감소로 나타낼 수 있다고 보고된 바 있다(Fu 등, 2012). 이러한 결과들을 바탕으로 엽록소 형광 분석, 광합성 측정 등을 통한 세밀한 분석이 필요하다고 사료된다.

### 2. 성분분석

바질 지상부의 단위 건물중 당 chlorophyll a의 함량은 18h-260 처리구에서 다른 처리구와 비교하였을 때 유의적으로 높은 값을 나타내었으며, 18h-260 처리구가 16.13mg·g<sup>-1</sup>

**Table 2.** Growth characteristics of Basil (*Ocimum basilicum* L.) grown under different photoperiod and light intensity treatments at 4 weeks after transplanting.

Treatment (h/μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)	Plant height (cm)	Lateral branch number	Leaf number	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Leaf width (cm)	Leaf length (cm)
16/295	54.20 ab <sup>c</sup>	5.16 a	19.40 a	14.00	52.00	679.78 b	160.98 ab	261.8 ab
18/260	70.94 a	6.81 a	14.44 b	13.20	51.40	900.05 a	185.14 a	291.52 a
20/235	27.87 c	2.32 b	12.38 b	12.40	45.00	404.12 c	121.78 bc	182.55 c
22/215	37.44 bc	3.00 b	13.64 b	12.40	36.80	549.43 bc	127.07 bc	191.27 bc
24/200	27.82 c	2.55 b	11.90 b	13.20	38.80	322.20 d	100.37 c	149.03 c
Significance	***	***	***	NS	NS	***	***	***

<sup>a</sup>Mean separation within column's by Tukey's multiple range test.

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

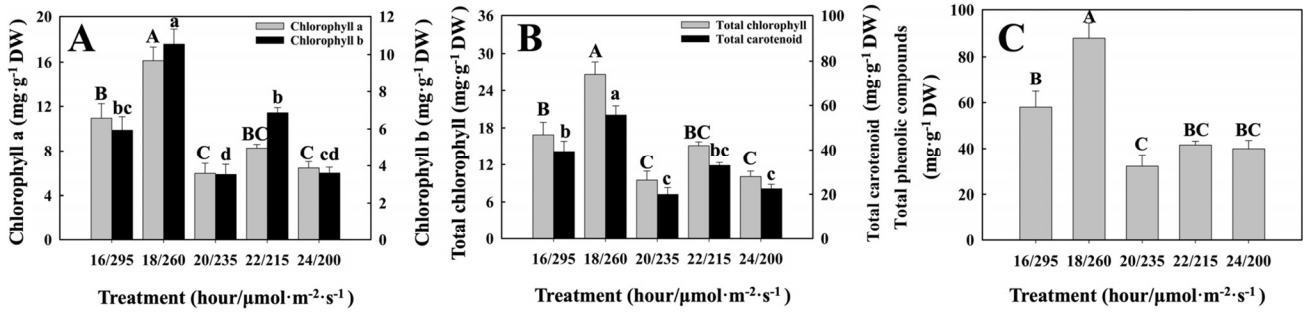


**Fig. 1.** Basil (*Ocimum basilicum* L.) grown under different photoperiod and light intensity treatments (16h-295, 18h-260, 20h-235, 22h-215, 24h-200 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>) in same DLI for 4 weeks after transplanting. Red line indicates 7 cm in length.

DW로 16h-295, 20h-235, 22h-215, 24h-200 처리 순서로 비교하였을 때 각각 32.2, 63.1, 48.7, 77.7% 낮은 수치를 보였다 (Fig. 2A). Chlorophyll b의 경우 10.55mg·g<sup>-1</sup> DW로 다른 처리구보다 유의적으로 가장 높은 성분 함량을 보였다. 18h-260 처리구의 total chlorophyll의 함량은 다른 처리구에 비해 유의적으로 증가하였다(Fig. 2B). 20h-235 처리구의 total carotenoid 함량은 16h-295, 18h-260, 22h-215, 24h-200 처리에 비해 각각 49.4, 64.2, 39.6, 11.3% 유의하게 감소하였다. 18h-260 처리구 바질의 total phenolic compounds는 87.84 mg·g<sup>-1</sup> DW로 16h-295, 20h-235, 22h-215, 24h-200 처리에 비해 각각 51.3, 172.7, 111, 119.7%로 유의하게 증가하였다 (Fig. 2C).

식물은 광주기 스트레스로 인해 막 지질 과산화가 손상되어 산화적 스트레스와 활성산소종(ROS) 형성과 관련된 스트레스 증상을 유발한다(Zhang 등, 2020). 일반적으로 막 지질의 손상 정도는 MDA로 확인할 수 있는데 본 실험에서 MDA 함량은 분석하지 않았다. 하지만 Zhang 등(2020)의 연구에 따르면 광주기가 길어질수록 chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll의 함량이 감소하며 MDA의 축적이 증가한다고 보고되었는데 이는 본 실험과 유사할 것으로 예상된다. 페놀

은 식물의 항산화 물질 중 하나로 세포질 경계면에서 합성하여 액포로 운반하는 과정을 거치는데 야간에는 이동이 멈추면서 분해되지만 주간에는 이동하여 함량이 증대된다 (Engelsma, 1978; Engelsma, 1979; Kim 등, 2022). 광의 영향으로 작물의 생합성 축적이 좌우되는데 광주기가 긴 것이 짧은 것보다 ROS 생성을 더 크게 유도하면서 페놀 화합물이 증가된다고 한다(de Andrade 등, 2021). 또한 광주기가 길면 페놀 화합물이 증대되는데(Hernández-Adasme 등, 2023), 이는 광주기와 페놀 농도와의 양의 관계를 나타내는 것이라고 사료된다. 본 실험에서 16h-295 처리보다 18h-260 처리에서 페놀 함량이 증대된 것이 이와 같은 이유로 작용한 것이라고 사료된다. Sutulienė 등(2022)의 연구에서 150μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>에서 250μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 처리로 갈수록 바질의 총 페놀 함량의 최대값을 보여주고 300μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 처리에서 감소하였다. 또한 낮은 광도 50μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>는 높은 광도 500μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>에 비해 총 페놀 함량이 감소한다(Kim 등, 2020). 이를 바탕으로 본 실험에서 20h-235, 22h-215, 24h-200 처리로 갈수록 총 페놀 함량이 감소한 것과 유사하다. 따라서 18h-260μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 처리에서 바질을 재배하면 생육 품질과 기능성 물질 증대 효과를 기대할 수 있을 것이라고 사료된다.



**Fig. 2.** Chlorophyll a, chlorophyll b (A), total chlorophyll, total carotenoid (B), and total phenolic compounds (C) of Basil (*Ocimum basilicum* L.) at different photoperiod and light intensity treatments (16h-295, 18h-260, 20h-235, 22h-215, 24h-200 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>). The bars represent the means and the error bars indicate standard error (n = 5). Different letters at the top of bars indicate significant difference (p ≤ 0.05) by Tukey's test.

## 적 요

본 연구는 식물 공장에서 바질(*Ocimum basilicum* L.)을 동일한 일적산광량(DLI) 조건에서 5개의 광도와 광주기의 처리구를 설정하여 생육과 페놀 함량의 변화를 살펴보고자 수행되었다. 바질 종자를 4주간 암면 배지에 파종한 후 육묘하였다. 육묘 후 DLI 17 mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>로 유지하기 위해 광주기와 광도를 16h-295, 18h-260, 20h-235, 22h-215, 24h-200 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 처리로 설정한 후 4주간 재배하였다. 수확 후 결과 바질의 초장, 측지 개수, 엽수는 16h-295 처리에서 24h-200 처리로 갈수록 낮아지는 경향을 보였다. 지상부 생체중과 건물중, 엽면적, 엽폭, 엽장은 18h-260 처리가 유의적으로 높았으며, 총 페놀 함량은 18h-260 처리가 16h-295, 20h-235, 22h-215, 24h-200 처리에 비해 각각 51.32, 172.71, 110.95, 119.71%로 유의하게 높았다. 따라서 인공광을 광주기가 짧고 높은 광도 조건인 18h-260 처리에서 바질을 재배하면 생육 품질과 총 페놀 함량 증대 효과를 기대할 수 있을 것이라고 사료된다.

**추가 주제어:** 꿀풀과, 일적산광량, 페놀, LED, PPF

## 사 사

본 결과물은 농림축산식품부 및 과학기술정보통신부, 농촌진흥청의 재원으로 농림식품기술기획평가원과 재단법인 스마트팜연구개발사업단의 스마트팜다부처패키지혁신기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(421034-04).

## Literature Cited

- Albadwawi M.A., Z.F.R. Ahmed, S.S. Kurup, M.A. Alyafei, and A. Jaleel 2022, A comparative evaluation of aquaponic and soil systems on yield and antioxidant levels in basil, an important food plant in Lamiaceae. *Agronomy* 12:3007. doi:10.3390/agronomy12123007
- Avgoustaki D.D. 2019, Optimization of photoperiod and quality assessment of basil plants grown in a small-scale indoor cultivation system for reduction of energy demand. *Energies* 12:3980. doi:10.3390/en12203980
- Azad M.O.K., K.H. Kjaer, M. Adnan, M.T. Naznin, J.D. Lim, I.J. Sung, C.H. Park, and Y.S. Lim 2020, The evaluation of growth performance, photosynthetic capacity, and primary and secondary metabolite content of leaf lettuce grown under limited irradiation of blue and red LED light in an urban plant factory. *Agriculture* 10:28. doi:10.3390/agriculture10020028
- Chowdhury M., M.A. Gulandaz, S. Islam, M.N. Reza, M. Ali, M.N. Islam, S.U. Park, and S.O. Chung 2023, Lighting conditions affect the growth and glucosinolate contents of Chinese kale leaves grown in an aeroponic plant factory. *Hortic Environ Biotechnol* 64:97-113. doi:10.1007/s13580-022-00472-0
- Ciriello M., L. Formisano, Y. Roupheal, S. de Pascale, and M. Kacira 2023, Effects of daily light integral and photoperiod with successive harvests on basil yield, morpho-physiological characteristics, and mineral composition in vertical farming. *Sci Hortic* 322:112396. doi:10.1016/j.scienta.2023.112396
- Copolovici L., A. Lupitu, C. Moisa, M. Taschina, and D.M. Copolovici 2021, The effect of antagonist abiotic stress on bioactive compounds from basil (*Ocimum basilicum*). *Appl Sci* 11:9282. doi:10.3390/app11199282
- Cui J., S. Song, J. Yu, and H. Liu 2021, Effect of daily light integral on cucumber plug seedlings in artificial light plant factory. *Horticulturae* 7:139. doi:10.3390/horticulturae7060139
- De Andrade M.V.S., R.D. de Castro, D. da Silva Cunha, V.G. Neto, M.G.A. Carosio, A.G. Ferreira, L.C. de Souza-Neta,

- L.G. Fernandez, and P.R. Ribeiro 2021, *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni cultivated under different photoperiod conditions: Improving physiological and biochemical traits for industrial applications. *Ind Crops Prod* 168:113595. doi:10.1016/j.indcrop.2021.113595
- Elkins C., and M.W. van Iersel 2020, Longer photoperiods with the same daily light integral improve growth of rudbeckia seedlings in a greenhouse. *HortScience* 55:1676-1682. doi:10.21273/HORTSCI15200-20
- Engelsma G. 1978, Phenol synthesis and photomorphogenesis. *Philips Tech Rev* 38:89-100.
- Engelsma G. 1979, Effect of daylength on phenol metabolism in the leaves of *Salvia occidentalis*. *Plant Physiol* 63:765-768. doi:10.1104/pp.63.4.765
- Fu W., P. Li, and Y. Wu 2012, Effects of different light intensities on chlorophyll fluorescence characteristics and yield in lettuce. *Sci Hortic* 135:45-51. doi:10.1016/j.scienta.2011.12.004
- Gao M., R. He, R. Shi, Y. Zhang, S. Song, W. Su, and H. Liu 2021, Differential effects of low light intensity on broccoli microgreens growth and phytochemicals. *Agronomy* 11:537. doi:10.3390/agronomy11030537
- Hernández-Adasme C., R. Palma-Dias, and V.H. Escalona 2023, The effect of light intensity and photoperiod on the yield and antioxidant activity of beet microgreens produced in an indoor system. *Horticulturae* 9:493. doi:10.3390/horticulturae9040493
- Kim J.-K., H.-M. Kang, D.-C. Jang, J.-K. Na, and K.-Y. Choi 2020, Effect of light intensity and temperature on the growth and functional compounds in the baby leaf vegetable plant *Peucedanum japonicum* Thunb. *Korean J Hortic Sci Technol* 38:822-829. doi:10.7235/HORT.20200074
- Kim S., S. Noh, and J. Park 2022, Increased antioxidants of *Agastache rugosa* by the night interruption time. *J Bio-Env Con* 31:319-324. doi:10.12791/KSBEC.2022.31.4.319
- Li T., H. Liu, and F. Zhou 2023, Effects of light intensity and photoperiod on the fresh locking and quality of hydroponic arugula in the harvesting period. *Agronomy* 13:1667. doi:10.3390/agronomy13071667
- Lichtenthaler H.K., and C. Buschmann 2001, Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Curr Protoc Food Anal Chem* 1:F4.3.1-F4.3.8. doi:10.1002/0471142913.faf0403s01
- Marwat S.K., F. Rehman, M.S. Khan, S. Ghulam, N. Anwar, G. Mustafa, and K. Usman 2011, Phytochemical constituents and pharmacological activities of sweet basil - *Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae). *Asian J Chem* 23:3773-3782.
- Palmer S., and M.W. van Iersel 2020, Increasing growth of lettuce and mizuna under sole-source LED lighting using longer photoperiods with the same daily light integral. *Agronomy* 10:1659. doi:10.3390/agronomy10111659
- Santin M., M. Becagli, M.C. Sciampagna, A. Mannucci, A. Ranieri, and A. Castagna 2023, Integrative effect of UV-B and some organic amendments on growth, phenolic and flavonoid compounds, and antioxidant activity of basil (*Ocimum basilicum* L.) plants. *Horticulturae* 9:894. doi:10.3390/horticulturae9080894
- Severo J., A. Tiecher, F.C. Chaves, J.A. Silva, and C.V. Rombaldi 2011, Gene transcript accumulation associated with physiological and chemical changes during developmental stages of strawberry cv. Camarosa. *Food Chem* 126:995-1000. doi:10.1016/j.foodchem.2010.11.107
- Shahrajabian M.H., W. Sun, and Q. Cheng 2020, Chemical components and pharmacological benefits of basil (*Ocimum basilicum*): A review. *Int J Food Prop* 23:1961-1970. doi:10.1080/10942912.2020.1828456
- Sipos L., L. Balázs, G. Székely, A. Jung, S. Sárosi, P. Radácsi, and L. Csambalik 2021, Optimization of basil (*Ocimum basilicum* L.) production in LED light environments – a review. *Sci Hortic* 289:110486. doi:10.1016/j.scienta.2021.110486
- Sutulienė R., K. Laužikė, T. Pukas, and G. Samuolienė 2022, Effect of light intensity on the growth and antioxidant activity of sweet basil and lettuce. *Plants* 11:1709. doi:10.3390/plants11131709
- Taie H.A.A., Z.A.-E.R. Salama, and S. Radwan 2010, Potential activity of basil plants as a source of antioxidants and anticancer agents as affected by organic and bio-organic fertilization. *Not Bot Horti Agrobot Cluj Napoca* 38:119-127. doi:10.15835/nbha3813534
- Tso T., M. Kasperbauer, and T. Sorokin 1970, Effect of photoperiod and end-of-day light quality on alkaloids and phenolic compounds of tobacco. *Plant Physiol* 45:330-333. doi:10.1104/pp.45.3.330
- Vodnik D., Ž. Vogrin, H. Šircelj, M.C. Grohar, A. Medič, K. Carović-Stanko, T. Safner, and B. Lazarević 2023, Phenotyping of basil (*Ocimum basilicum* L.) illuminated with UV-A light of different wavelengths and intensities. *Sci Hortic* 309:111638. doi:10.1016/j.scienta.2022.111638
- Xu W., N. Lu, M. Kikuchi, and M. Takagaki 2021, Continuous lighting and high daily light integral enhance yield and quality of mass-produced nasturtium (*Tropaeolum majus* L.) in plant factories. *Plants* 10:1203. doi:10.3390/plants10061203
- Yan Z., D. He, G. Niu, and H. Zhai 2019, Evaluation of growth and quality of hydroponic lettuce at harvest as affected by the light intensity, photoperiod and light quality at seedling stage. *Sci Hortic* 248:138-144. doi:10.1016/j.scienta.2019.01.002
- 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 B., H. Zhang, Q. Jing, and J. Wang 2020, Light pollution on the growth, physiology and chlorophyll fluorescence response of landscape plant perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Ecol Indic* 115:106448. doi:10.1016/j.ecolind.2020.106448