

## 완전제어형 식물공장에서 광량과 광질, 광주기가 들깨의 생장에 미치는 영향

설성관<sup>1</sup> · 백영택<sup>1</sup> · 조영열<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>제주대학교 원예학과 대학원생, <sup>2</sup>제주대학교 원예환경전공 교수, <sup>3</sup>제주대학교 아열대농업생명과학연구소 친환경연구소 연구원

### Effects of Light Intensity, Light Quality and Photoperiod for Growth of Perilla in a Closed-type Plant Factory System

Seongwan Sul<sup>1</sup>, Youngtaek Baek<sup>1</sup>, and Young-Yeol Cho<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate Student, Department of Horticulture, College of Applied Life Sciences, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

<sup>2</sup>Professor, Major Horticultural Science, College of Applied Life Sciences, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

<sup>3</sup>Researcher, Research Institute for Subtropical Agriculture and Animal Biotechnology, SARI, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

**Abstract.** In order to select suitable light in a plant factory, electric energy use efficiency and light use efficiency should be considered simultaneously to consider operating costs as well as quantitative and functional aspects. The growth characteristics, electric energy use efficiency, light use efficiency by light intensity, LED ratio, and photoperiod conditions were compared together. Light intensity is 60, 130, 230, and 320  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  treatments, and light quality is the mixing ratio of red light and blue light 8:2, 6:4, 4:6, and 2:8 treatments. Photoperiod is 9, 12, 15, and 18 hours treatments based on the daytime. In the light intensity experiment, the growth rate increased as the light intensity increased, but there was no significant difference in the light use efficiency. When comparing the leaf fresh weight per power consumption, only the 320  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  treatment group showed significantly low efficiency, and there was no significant difference in the other treatments, so 230  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , which produced the most, was the most efficient. In the light quality experiment, the ratio of red light and blue light was measured to be high at the same time as the growth rate and light use efficiency in RB 8:2, and there was no significant difference in color difference and flavonoids content, so a Red:Blue ratio of 8:2 was the most suitable condition. In the photoperiod experiment, the longer the photoperiod, the higher the growth rate. However, there was no significant difference in the growth rate over 12 hours of daytime, so 12 hours considering the light consumption efficiency was a suitable condition. Based on the above results, LED light environmental conditions for perilla growth in plant factories were light intensity, light quality, and day length of 230  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  or more, 8:2, and 12 hours or more, respectively.

**Additional key words :** electric energy use efficiency, light emitting diode, light use efficiency, nutrient film technique

## 서 론

최근 세계적으로 이상 기후가 잦아지고 있는 상황에서 기상 상황이나 계절에 상관없이 안정적인 재배가 가능한 식물공장이 미래 세대의 농업으로 떠오르고 있다(Kozai, 2013). 인공 광만으로 작물을 재배할 수 있는 완전제어형 식물공장은 기후, 해충으로부터 자유롭기 때문에 해외에서도 특히 일본, 네덜란드 같은 선진국에서 활발히 진행되어 활발히 늘어가는 추세이고, 국내 여러 곳에서도 사용이 늘어나고 있다. 식물공장에서는 식물의 특성에 따라 최적의 환경 조건을 인공적으로

제공함으로써 자연에서 자라는 환경에 비해 식물을 효과적이며 계획적으로 생산할 수 있는 장점을 가지고 있다(Cha 등, 2014). 특히 식물공장에서는 식물의 재배에 있어 인공광을 사용하는데 그 중에서도 광질, 광도 및 광주기 등이 식물 생육과 광합성에 직접적인 영향을 주기 때문에 작물에 맞는 적합한 광 조건을 선정하는 것이 중요하다(Lin 등, 2013). 또 한편으로는 인공광을 이용하여 재배하는 완전제어형 식물공장에서는 전력 비용이 많이 소요되므로 식물공장이 지속가능 하려면 투입되는 에너지를 줄여 생산비를 낮추는 노력이 동반되어야 한다(Krijn 등, 2017). 발광 다이오드(light emitting diode, LED)와 같은 인공광을 사용하는 식물재배에서 광질과 광량, 광주기는 식물의 생장에 영향을 주는 세 가지 중요한 매개변수이다. 적색광과 청색광은 광합성에 필요한 PAR(photosynthetically

\*Corresponding author: [yycho@jejunu.ac.kr](mailto:yycho@jejunu.ac.kr)  
Received June 7, 2022; Revised July 12, 2022;  
Accepted July 13, 2022

active radiation)의 파장대(400–700nm)에서 엽록소에 의해 가장 효과적으로 흡수되어 생육에 가장 큰 영향을 주는 광 파장이다(Folta와 Childers, 2008; Ouzounis 등, 2015). 적색광과 청색광은 단일 광으로 이용하는 것보다 적색광, 청색광과 근적색광의 조합을 이용하여 상추와 들깨의 양적인 성장과 질적 성장을 증대시킬 수 있다고 연구된 바 있고(Li와 Kubota, 2009; Choi 등, 2015), 적색광과 청색광의 조합이나 적색광, 청색광과 흰색광을 추가하여 조합하는 것이 상추의 생육, 외형 및 영양 가치(당도와 질산태질소)를 향상시키는데 효과적이라고 하였다(Lin 등, 2013).

들깨[*Perilla frutescens* (L.) Britt.] 꿀풀과에 속해 있는 일년생 초화류로, 동아시아를 비롯하여 우리나라가 원산지인 식물로 잎과 종자를 모두 식용이나 약용으로 사용하고 있어서 농가 소득을 높여주는 고소득 작물 중 하나이다(Lee 등, 2013; Yoo 등, 2017). 우리나라에서는 잎을 따서 쌈용 채소로 먹거나, 간장이나 된장에 절여 장아찌를 담가 먹기도 하고 나물로 먹기도 하는데 들깨 잎은 특유의 향을 가지고 있어 고기 요리에 허브로 쓰이기도 하고, 생선 비린내를 제거하는 데 사용되어 쌈용 채소 이외의 가공 식품 형태로도 소비가 증가하고 있다(Lee 등, 2013; Seong 등, 2015). 들깨는 일반적으로 안토시아닌, 아미노산뿐 아니라 다양한 무기질과 비타민을 함유하고 있어 항산화 효과와 항염 효과가 우수하다고 알려져 있으며 들깨의 새싹에는 성숙기보다 폴리페놀 등 항산화 효과를 나타내는 물질 함량이 높다고 연구된 바 있다(Jeong 등, 2014; Kim 등, 2015). 항산화와 항염 효과가 있는 기능성 채소에 대한 연구가 진행되고 있는데, 식물공장에서 들깨에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 특히, 식물공장에 새롭게 도입되는 쌈 채

소일 경우 환경 조건에 따른 생육량을 물론, 기능성 물질 함량과 잎 색깔의 변화에 주목해야 한다.

본 연구는 완전제어형 식물공장 내에서 적색과 청색 LED의 혼합 광량과 비율, 광주기를 조절하는 데 있어 혼합광이 있든 들깨의 생장에 미치는 영향을 비교하여 식물공장에서 재배하는 들깨의 품질 향상과 생산량의 증대를 위한 적절한 광환경 조건을 제시하고자 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 재료 및 환경 조건

본 연구에서는 잎들깨(‘씨들깨’, Danong Co., Ltd., Gyeonggi, Korea)를 우레탄 스폰지(3.5 × 3.5 × 3.0cm)에 파종하여 본엽이 4매 전개될 때 제주대학교 내 설치된 완전제어형 식물공장에 정식하였다. 식물공장에서는 박막수경재배(NFT, nutrient film technique) [240 × 60 × 200cm(L × W × H)]시스템 적용하였다. 배양액은 Hoagland액(Hoagland and Arnon, 1950) 조성을 사용하였고 pH와 EC는 각각 5.5–6.5, 1.0dS·m<sup>-1</sup> 기준으로 1–2일 마다 조절하였다. 재배 환경은 온도와 습도센서(HMP60, Vaisala, Finland)를 이용하여 온도, 상대습도를 각각 19–21°C, 55–65%로 유지하였고 이산화탄소 농도는 이산화탄소 센서(GMP252, Vaisala, Finland)를 이용하여 측정된 결과 400–700μmol·mol<sup>-1</sup> 범위로 유지되었다.

### 2. 광량 변화에 따른 들깨의 생육과 광이용효율 변화

LED(HT204, Esleds Co., Ltd., Guro, Korea) 조명은 600 × 28 × 16cm(L × W × H) 크기의 제품을 사용하였고 바닥에서

Table 1. Experimental design of different light intensity, LED ratio and photoperiod.

Treatment	Number of samples	Photoperiod (light/dark, h)	Light intensity (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	LED source		
				RB ratio	Red (%) (600–700 nm)	Blue (%) (400–500 nm)
Light intensity	15	12/12	60 ± 10	8:2	81.7	18.3
			130 ± 30		76.0	24.0
			230 ± 30		79.0	21.0
			320 ± 50		77.5	22.5
LED ratio	15	12/12	130 ± 30	8:2	77.1	22.9
				6:4	59.0	41.0
				4:6	40.2	59.8
				2:8	21.8	78.2
Photoperiod	15	9/15	130 ± 30	8:2	77.1	22.9
		12/12				
		15/9				
		18/6				

30cm 위에 설치하였다. 광량자 센서(LI-190R, LI-COR, Lincoln, NE, USA)를 이용하여 광합성유효광량자속밀도(PPFD, photosynthetic photon flux density)를 측정하였으며 적색광(600–700nm)과 청색광(400–500nm)의 혼합 RB 비율을 8:2로 세팅하였고 12시간 일장에서 광도를  $60 \pm 10$ ,  $130 \pm 30$ ,  $230 \pm 30$ ,  $320 \pm 50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 4가지 조건으로 다르게 설정하여 각 처리구별 생육량과 광이용효율을 비교하였다(Table 1).

### 3. 광질 변화에 따른 들깨의 생육과 광이용효율 변화

PPFD 기준으로 LED 조명의 적색광과 청색광의 혼합 비율을 각각 8:2, 6:4, 4:6, 2:8 로 4가지의 비율로 다르게 설정하였고 광주기는 12시간 일장으로 광량은  $130 \pm 30 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 세팅하였다. 각 처리구별 구역은 별도 막을 설치하여 빛이 서로 영향을 주지 않도록 설정하였고 수확 후 생육량과 광이용효율을 비교하였다(Table 1).

### 4. 광주기 변화에 따른 들깨의 생육과 광이용효율 변화

광주기 실험의 경우 LED 조명의 시간을 9, 12, 15, 18 시간의 4가지 처리구로 비교하였다. 광량과광질은  $130 \pm 30 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , RB 8:2 로 세팅하였고 수확 후 생육량과 광이용효율을 비교하였다(Table 1).

### 5. Flavonoid 정량 분석

Flavonoid 정량 분석은 건조된 들깨를 분쇄하여 200mg을 칭량한 후 80% 에탄올 30ml를 넣어 60°C의 항온수조에서 11시간 동안 알코올 가용성 물질을 추출했다. 멤브레인 필터(0.45 $\mu\text{m}$ )를 통해 여과된 샘플을 완전히 건조될 때까지 농축하여 메탄올 2mL로 용해하였다. 용해된 시료를 13,000 RPM으로 10분간 원심분리하였고 상등액을 syringe filter로 필터링한 후에 얻은 시료 10 $\mu\text{L}$ 를 high-performance liquid chromatography(HPLC, LC-10AD VP, Shimadzu, Japan)로 분석하였다. 컬럼은 Luna C18(100A  $\circ$  250  $\times$  46mm, Phenomenex, USA)이 사용되었다. 각 펌프의 용매는 증류수와 아세트니트릴이었으며 0.5% 아세트산이 첨가되었고 분당 1 mL의 흐름속도로 용매 구매 조건을 조성하였다. 용매 구매 조건에 따른 각 피크는 UV-visible detector(SPD-10A)로 검출하였고 280 nm의 검출 파장을 사용하였다. Flavonoid 함량은 표준시료를 280nm의 조건에서 정량한 pick와 같은 retention time(RT, 머무름 시간)의 면적을 표준시료의 검량선과 비교하여 정량 분석하였다. 플라보노이드의 총 함량은 샘플의 피크 면적에 의해 계산된 중량을 모두 합해서 계산하

였고 건물중 1g 당 검출된 함량( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{DW}$ )으로 표시하였다.

### 6. 생육조사 및 통계처리

각 실험구별 15주씩 완전임의배치법으로 배치하여 재식거리 20  $\times$  20cm로 정식하였고 약 한달 간 재배한 후 수확하여 SPAD, 생체중, 엽생체중, 건물중, 엽면적, 엽수, 초장을 측정하였다. 엽면적은 엽면적측정기(Li3000C, Li-Cor Inc, NE, USA)로 측정하였고 건물중은 드라이오븐(VS-1202D2, Vision Scientific, Korea)에 70°C로 72시간 이상 건조한 후 중량 변화가 없을 때 측정하였다. 광이용효율(light use efficiency, LUE)은 전력량계(SJPM-C16, Seojun Electric Co., Ltd., Seoul, Korea)로 소비전력을 측정하여 재배 기간 동안 소비된 총 소비전력을 계산한 후 전체 재식 주수로 나누어 한 주당 소비한 소비전력을 계산하고 그 값으로 건물중을 나누어 계산하였다(식 1).

$$LUE = D / ((FPhd) / n) \quad (1)$$

여기서, D는 건물중(g), FP는 전력량(Wh), h는 조명시간(h), d는 재배 일수(d), n은 재식 주수이다. 광이용효율은 단위 소비전력 당 생산할 수 있는 건물중 ( $\text{mg DW} \cdot \text{W}^{-1}$ )으로 표현하였다. SPAD는 엽록소측정기(SPAD-502, Minolta, Osaka, Japan)를 이용하여 최대엽의 5곳을 측정한 후 평균값을 기록하였고 색차는 색차계(CR-410, Minolta, Osaka, Japan)를 이용하여 최대엽의 3곳을 측정한 후 Hunter L(lightness; black = 0, white = 100), a(red-green; red = 40, green = -60), b(yellow-blue; yellow = 60, blue = -60) 값을 평균값으로 나타내었다. 통계분석은 SAS 프로그램(Statistical Analysis System, Ver9.4, Cary, NC, USA)을 이용하여 던컨의 다중범위검정으로 유의성을 검정하였다.

## 결과 및 고찰

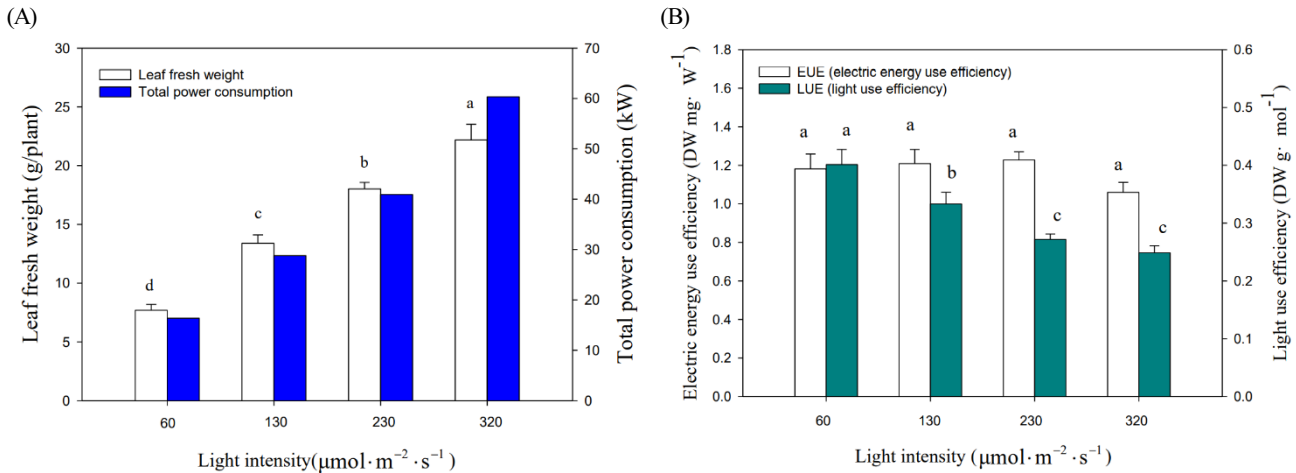
### 1. 광량 변화에 따른 들깨의 생육과 광이용효율 변화

적색광과 청색광 혼합 RB 비율을 8:2로 세팅한 후 12시간 일장에서 광량을  $60 \pm 10$ ,  $130 \pm 30$ ,  $230 \pm 30$ ,  $320 \pm 50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 4가지 조건으로 다르게 설정하여 처리구별 생육량을 비교한 결과는 Table 2와 같다. 광량이 높아질수록 생체중, 건물중, 엽면적, 엽수 등의 생육량에 유의차가 현저하게 나타났고 초장에서는  $320 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  외에 다른 처리구에서는 유의차가 나타나지 않았다(Table 2와 Fig. 1). Choi 등(2003) 연구에서 LED의 적색광과 청색광에서의 들깨의 광 보상점은  $35 - 40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 였고, 광포화점이 약  $500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 였

**Table 2.** Growth characteristics of perilla grown under different light intensity.

Light intensity ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	Dry weight (g)	Leaf area ( $\text{cm}^2$ )	Number of leaves	Plant height (cm)
60	1.2 d <sup>a</sup>	539.1 d	33.2 d	16.4 b
130	2.1 c	774.9 c	45.9 c	17.5 b
230	3.0 b	917.0 b	51.7 b	17.8 b
320	3.9 a	1053.3 a	58.3 a	20.3 a

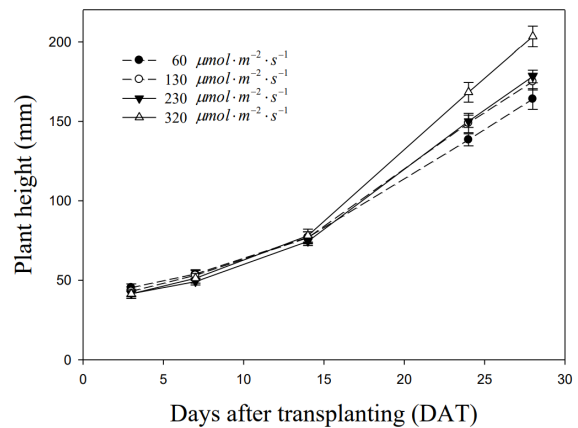
<sup>a</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $p < 0.05$ .



**Fig. 1.** Leaf fresh weight, total power consumption of light (A) and electric energy use efficiency, light use efficiency (B) under different light intensity. Vertical bars indicate standard error of the means ( $n = 15$ ). Values for the same parameter with different letters significantly differed at the 5% level.

는데  $90 - 360 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광량 조건에서 광량이 증가할 수록 들깨의 생육량이 늘어났다. 본 연구에서도  $60 - 320 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 처리구에서 광량이 높을수록 성장량이 높은 같은 결과를 보였다.

들깨의 생체중도 광량이 높을수록 증가하였으나 광량이 높을수록 소비 전력이 함께 늘어나게 되어(Fig. 1A) 건물중을 총 소비전력으로 나눈 전기에너지이용효율(EUE)로 비교한 결과  $230 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  조건에서 가장 높은 효율을 나타냈지만, 광량 처리구별 광소비효율간 유의차는 발생하지 않았다(Fig. 1B). 광이용효율(LUE)은  $60 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  조건에서 가장 높은 효율을 나타냈다(Fig. 1B). 전기에너지사용 효율이 동일한 조건에서는 엽생체중이 가장 많았던  $320 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  조건이 적합하다고 판단되지만, 생체중과 광이용효율측면에서 고려할 때  $230 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  이상의 조건이 들깨 생육에 적합할 것으로 판단되었다. 광이용효율과 에너지이용효율을 개선할 필요가 있는데, 그 방법으로는 식물간 조명, 식물 생육에 효율적인 LED, 외부 환경 요인(온도,  $\text{CO}_2$ , 공기 흐름, VPD, pH와 EC 등), 잘 설계된 반사판과 재식밀도 등이 있다(Kozai, 2013). 이러한 다양한 방법들을 이용하여 광이용효율을 증가시킬 수



**Fig. 2.** Plant height of perilla under different light intensity with days after transplanting. Vertical bars indicate standard error of the means ( $n = 15$ ).

있는 연구가 필요하다.

정식 후 초장 변화를 보면 정식 후 14일까지는 광량에 따른 차이가 나타나지 않았고 3주차부터 차이가 나타나기 시작했다(Fig. 2). Choi 등(2003)에서 광량에 따른 성장량이 전반부

에는 차이가 없다가 후반부에 현저하게 나타난 것과 유사했다. 식물공장에서는 재배기간의 전력 소비량이 생산비용에 큰 영향을 주기 때문에 초장이 6-8 cm 정도 되는 들깨를 재배하는 데는 광보상점 이상의 광량 조건에서 전력량을 우선적으로 고려하는 것이 양적 생산에 효율적일 수 있다.

2. 광질 변화에 따른 들깨의 생육과 광이용효율 변화

LED의 혼합광 비율 실험에서 생육량을 비교해보면 적색광 비율이 많은 RB 8:2에서 엽생체중, 건물중, 엽면적이 유의적으로 가장 높았고 적색광 비율이 적은 RB 2:8에서 가장 낮은 결과를 보였다(Table 3). 선행 연구에서 적색광은 식물의 광합성 기구의 발달과 전분 축적에 이용되기 때문에 작물 생육에 효과적인 광 스펙트럼이라고 하였는데(Sæbø 등, 1995; Son 등, 2016) 본 연구에서도 적색광이 많을수록 생육량이 높은 결과를 나타냈다. 엽수와 초장에서는 광질 처리구별 유의차가 나타나지 않았다. 생체중은 RB 8:2 비율에서 가장 높게 측정된 반면에 광질에 따른 전력량은 혼합광 처리구 별로 유사하게 측정되어(Fig. 3A) 전기에너지이용효율(EUE)과 광이용효율(LUE)을 고려한다 해도 8:2 처리구에서 가장 좋은

결과를 얻었다(Fig. 3B). Nguyen과 Oh(2021)의 보고에 따르면, 청색광 비율이 30% 이하에서는 들깨의 생육이 비슷하였다고 하는데, 본 연구에는 청색광 비율이 20%와 40%로 실험했기 때문에 정확한 청색광 비율은 찾을 수 없었다.

적색광은 식물의 광합성을 촉진하여 성장과 발달을 향상시켜주는 광수용체로 알려진 파이토크롬(phytochrome)을 활성화시켜 엽록체를 발달시키고, 광합성을 촉진하여 식물의 생육을 증가시킨다(Folta와 Childers, 2008; Kim 등, 2018). 본 연구에서는 적색광 비율이 많은 RB 8:2에서 생육량이 가장 높게 측정되었다. 엽록소의 함량을 나타내는 SPAD 값에서도 RB 8:2에서 가장 높았고 적색광 비율이 적어질수록 낮아지는 경향을 나타냈다. 색차는 적색광 비율이 적은 RB 2:8에서 명도(L) 값이 높아 엽색이 옅었고 다른 혼합광에서는 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 선행 연구에서 Hunter's a 값은 식물의 색소 중 적색소의 주요한 부분인 안토시아닌 함량 측정치와 유사한 결과를 나타내어 적색의 발현을 대표할 수 있는 값으로 알려져 있으나(Lee 등, 2006; Lee 등, 2010) 본 연구에서는 적색도(a)와 황색도(b) 값에서 모두 통계적으로 처리구간 유의적인 차이가 나타나지 않았다(Table 4).

Table 3. Growth characteristics of perilla grown under different ratio of LED lights.

LED ratio (R:B)	Dry weight (g)	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Number of leaves	Plant height (cm)
8:2	1.3 a <sup>z</sup>	606.8 a	36.2 a	13.4 a
6:4	1.0 b	513.9 b	33.9 a	17.2 a
4:6	1.0 bc	524.2 b	36.5 a	11.0 a
2:8	0.8 c	435.1 c	32.5 a	10.0 a

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $p < 0.05$ .

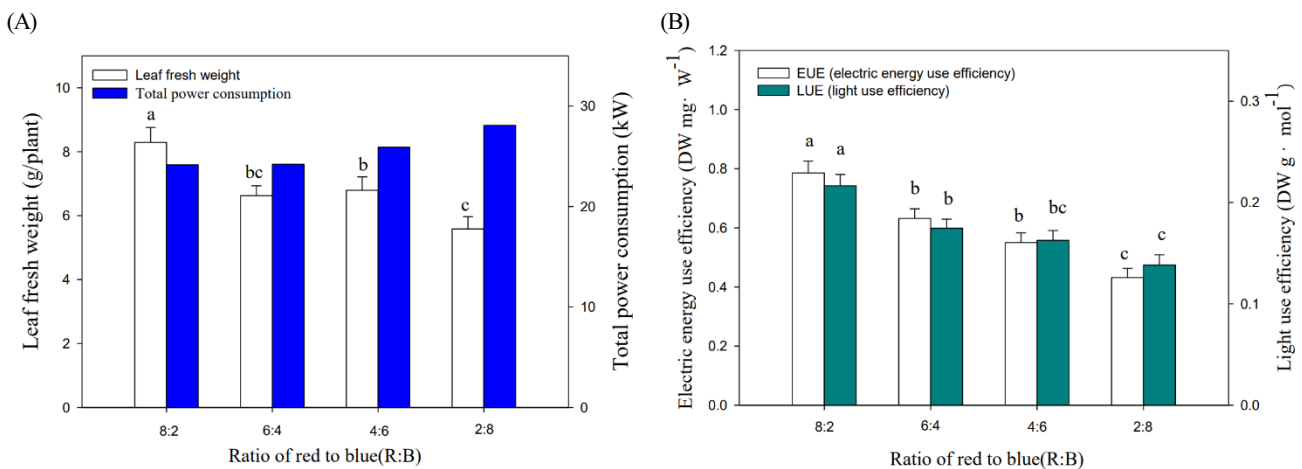


Fig. 3. Leaf fresh weight, total power consumption of light (A) and electric energy use efficiency, light use efficiency (B) under different ratio of red and blue LEDs. Vertical bars indicate standard error of the means (n = 15). Values for the same parameter with different letters significantly differed at the 5% level.

HPLC를 통하여 들깨의 페놀화합물을 분석한 선행연구 결과를 보면(Seong 등, 2015) 들깨에 많이 함유되어 있는 페놀화합물 중 플라보노이드(flavonoids)는 naringin, myricetin, naringenin, hesperetin 등이었다. 플라보노이드는 가장 흔한 폴리페놀 화합물로 항산화 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 광질별 HPLC를 이용하여 flavonoids 함량을 분석한 결과 주요 peak는 Neo Hesperidin으로 측정되었으나 Anova 분석 결과 유의수준 0.05에서 4가지 광질의 처리구별 유의차는 나타나지 않았다(Table 5). 각각의 flavonoids 중량을 합해서 계산한 total flavonoids 함량에서도 유의차는 없었다. 시료의 건물중을 곱하여 개체별 total flavonoids 을 계산하면 RB 8:2, 6:4, 4:6, 2:8에서 각각 평균 4.0, 2.7, 2.4, 2.8(mg/plant)로 개체별 total flavonoids를 광질 처리구간 통계분석해도 유의차가 나타나지 않았다.

### 3. 광주기 변화에 따른 들깨의 생육과 광이용효율 변화

LED의 광주기를 9,12,15,18시간으로 나누어 처리구간 생육량을 비교해보면 광주기가 길수록 엽생체중, 건물중, 엽면

적, 엽수, 초장 모두 유의적으로 높았고 광주기가 짧을수록 생육량이 낮은 경향을 보였는데 광주기 15시간 이상에서는 유의차가 없었다(Table 6과 Fig. 4A). 광주기가 늘어날수록 소비 전력이 함께 늘어나게 되어 광소비효율을 비교해보면 9시간을 제외한 모든 처리구에서 유의차가 나타나지 않았다(Fig. 4B). 광주기 처리구에서 낮의 길이가 길수록 엽생체중이 증가하는 것과 함께 소비 전력도 늘어나게 되어, 각각의 광주기 처리구에서 전기에너지이용효율(EUE)과 광이용효율(LUE)을 비교해보면 9/15 처리구에서만 유의적으로 낮은 효율을 나타냈고 낮의 길이가 12시간 이상인 모든 처리구에서 유의한 차이가 나타나지 않았다(Fig. 4B).

이상의 결과를 바탕으로 식물공장에서 들깨 생육을 위한 LED 광 환경 조건으로는 광도는 230 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  이상, 광질은 8:2(Red:Blue), 일장은 12시간 이상(낮의 길이)으로 관리하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 광량과 광질과 광주기가 동시에 복합적으로 변경되었을 때의 영향을 고려하지 못했다. 향후 완전제어형 식물공장에서 들깨 재배를 최적화 하기 위해 광 조건을 더욱 다양하게 비교할 필요가 있었다.

**Table 4.** Difference of color value and SPAD value under different ratio of red and blue LEDs.

LED RB ratio	SPAD value	Hunter's color value <sup>z</sup>		
		L	a	b
8:2	37.3 a <sup>y</sup>	36.7 b	-13.4	16.5
6:4	36.8 ab	36.6 b	-13.4	16.5
4:6	35.5 bc	37.5 ab	-14.0	17.7
2:8	34.8 c	37.9 a	-13.8	17.5

<sup>z</sup>Value measured by the colorimeter, L scale: light vs. dark, a scale: red vs. green, b scale: yellow vs. blue.

<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $p < 0.05$ .

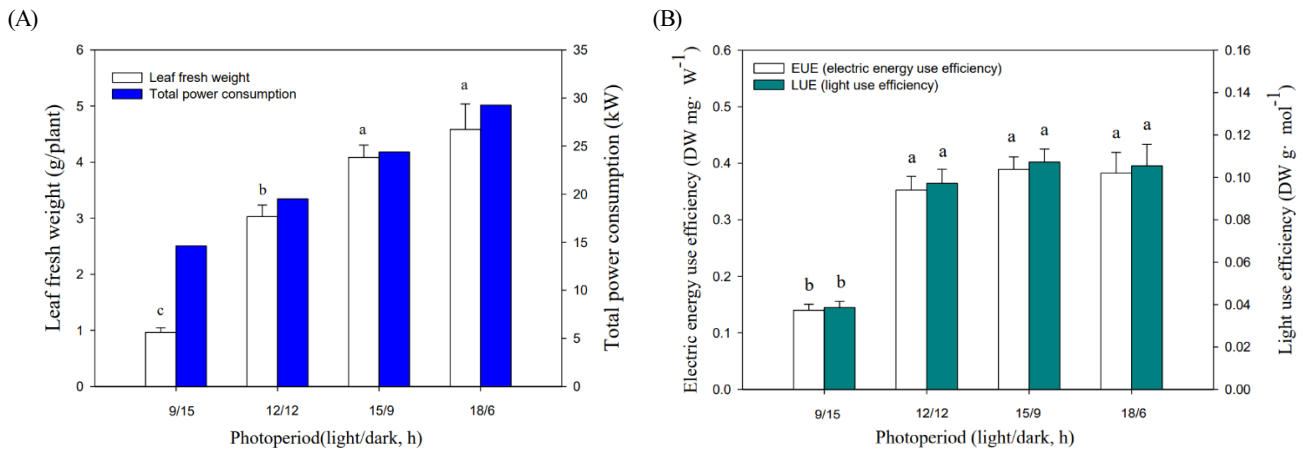
**Table 5.** Changes in flavonoids content ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  DW) under different ratio of red and blue LEDs.

RB ratio	Rutin	Naringin	Narirutin	Hesperedin	Neo-hesperidin	Kaempferol	Hesperetin	Nobiretin	Tangeretin	Total
8:2	87.9	81.3	7.5	163.7	2757.1	34.2	19.0	2.9	27.2	3180.8
6:4	73.4	96.2	9.5	81.8	2158.7	25.1	18.0	6.0	32.5	2501.3
4:6	85.5	104.1	5.8	122.4	1921.5	14.4	27.7	8.3	34.7	2324.4
2:8	79.6	99.2	118.8	138.1	2236.4	41.3	34.5	8.4	30.1	2786.4

**Table 6.** Growth characteristics of perilla grown under different photoperiod.

Photoperiod (light/dark, h)	Dry weight (g)	Leaf area ( $\text{cm}^2$ )	Number of leaves	Plant height (cm)
9/15	0.2 c <sup>z</sup>	94.3 c	9.7 c	5.3 c
12/12	0.5 b	214.8 b	20.6 b	7.6 b
15/9	0.7 a	266.9 a	21.4 ab	9.2 a
18/6	0.9 a	286.6 a	24.3 a	9.7 a

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $p < 0.05$ .



**Fig. 4.** Leaf fresh weight, total power consumption of light (A) and Electric energy use efficiency, light use efficiency (B) under different photoperiod. Vertical bars indicate standard error of the means (n = 15). Values for the same parameter with different letters significantly differed at the 5% level.

### 적 요

식물공장에서 적합한 광을 선정하기 위해서는 양적인 측면과 기능적 측면 뿐만 아니라 운영비를 고려하기 위하여 전기 에너지이용효율과 광이용효율을 동시에 고려해야 하는데 본 연구에서는 들깨를 위한 LED광원의 광량, 적색광과 청색광의 혼합 비율과 광주기 조건별 생육 특성과 전기에너지이용효율과 광이용효율을 함께 비교하였다. 광량 처리구는 60, 130, 230, 320 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  조건으로, 광질 처리구는 적색광과 청색광의 혼합 비율 8:2, 6:4, 4:6, 2:8 조건으로, 일장 처리구는 낮 기준 9, 12, 15, 18시간으로 처리하였다. 광량 실험에서는 광량이 높을수록 생육량이 늘어나는데 비해 소비전력당 건물중의 광이용효율은 유의차가 없었다. 소비전력당 엽생체중을 추가로 비교해보면 320 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  처리구에서만 유의적으로 낮은 효율을 보였고 이외의 처리구에서는 유의차가 없었기 때문에 생산량이 가장 많은 230 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 가 가장 효율적이었다. 광질 실험에서는 적색광과 청색광의 혼합 비율은 RB 8:2에서 생육량과 광이용효율이 동시에 높게 측정되었고 색차와 flavonoids 함량에서는 유의차가 발생하지 않아 Red: Blue 비율 8:2가 가장 적합한 조건이었다. 광주기 실험에서는 광주기가 길어질수록 높은 생육량을 나타냈는데 일장 12시간 이상에서는 생육량의 유의차가 없었으므로 광소비 효율을 고려한 12시간이 적합한 조건이었다. 이상의 결과를 바탕으로 식물공장에서 들깨 생육을 위한 LED 광 환경 조건으로는 광도, 광질과 일장은 각각 230 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  이상, 8:2와 12시간 이상이였다.

**추가주제어:** 광이용효율, 다이오드, 박막수경, 전기에너지이용효율

### 사 사

본 결과물은 농림축산식품부 및 과학기술정보통신부, 농촌진흥청의 재원으로 농림식품기술기획평가원과 재단법인 스마트팜연구개발사업단의 스마트팜다부처패키지혁신기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(421033042HD050).

### Literature Cited

Cha M.K., J.S. Kim, J.H. Shin, J.E. Son, and Y.Y. Cho 2014, Practical design of an artificial light-used plant factory for common ice plant (*Mesembryanthemum crystallinum* L.). Protected Hort Plant Fac 23:371-375. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2014.23.4.371

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 Sci 46:9-15.

Choi Y.W., C.K. Ahn, J.S. Kang, B.G. Son, I.S. Choi, Y.C. Kim, Y.G. Lee, K.K. Kim, Y.G. Kim, and K.W. Son 2003, Growth, photomorphogenesis, and photosynthesis of perilla grown under red, blue light emitting diodes and light intensities. Hortic Environ Biotechnol 44:281-286. (in Korean)

Folta K.M., and K.S. Childers 2008, Light as a growth regulator: controlling plant biology with narrow-bandwidth solid-state lighting systems. HortScience 43:1957-1964. doi:10.21273/HORTSCI.43.7.1957

Hoagland D.R., and D.I. Arnon 1950, The water-culture method for growing plants without soil. College of Agriculture, University of California, Berkeley, California, USA.

Jeong S.I., H.S. Kim, I.H. Jeon, H.J. Kang, J.Y. Mok, C.J. Cheon, H.H. Yu, and S.I. Jang 2014, Antioxidant and anti-inflammatory effects of ethanol extracts from *Perilla*

- frutescens*. Korean J Food Sci Technol 46:87-93. (in Korean) doi:10.9721/KJFST.2014.46.1.87
- Kim S., B. Song, and J. Ju 2015, Antioxidant activities of *Perilla frutescens* britton seed extract and its inhibitory effects against major characteristics of cancer cells. J Korean Soc Food Sci Nutr 44:208-215. (in Korean) doi:10.3746/jkfn.2015.44.2.208
- Kim S.J., G.J. Bok, and J.S. Park 2018, Analysis of antioxidant content and growth of *Agastache rugosa* as affected by LED light qualities. Protected Hort Plant Fac 27:260-268. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2018.27.3.260
- Kozai T. 2013, Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: concept, estimation and application to plant factory. Proc Jpn Acad Ser B Phys Biol Sci 89:447-461. doi:10.2183/pjab.89.447
- Krijn M.P.C.M., R.F.M. Van Elmpt, S.L. van de Voort, C.C.S. Nicole, G. van der Feltz, and T. van den Bergh 2017, Factors critical to plant factory performance. Acta Hort 1227: 615-622. doi:10.17660/ActaHortic.2018.1227.78
- Lee H.S., K.T. Kim, J.K. Sohn, and K.M. Kim 2006, Quality and sensory characteristics of transgenic perilla (*Perilla frutescens*) overexpressing rot 3 gene. J Plant Biotechnol 33:111-115. (in Korean) doi:10.5010/JPB.2006.33.2.111
- Lee J.G., S.S. Oh, S.H. Cha, Y.A. Jang, S.Y. Kim, Y.C. Um, and S.R. Cheong 2010, Effects of Red/Blue light ratio and short-term light quality conversion on growth and anthocyanin contents of baby leaf lettuce. J Bio-Env Con 19:351-359. (in Korean)
- Lee M.H., G.W. Oh, B.K. Lee, and C.S. Jeong 2013, Perilla, a blessing for Korean. Rural Development Administration, 115.
- Li Q., 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
- Lin K.H., M.Y. Huang, W.D. Huang, M.H. Hsu, Z.W. Yang, and C.M. Yang 2013, The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*). Sci Hort 150:86-91. doi:10.1016/j.scienta.2012.10.002
- Nguyen T.K.L., and M.M. Oh 2021, Physiological and biochemical responses of green and red perilla to LED-based light. J Sci Food Agric 101:240-252. doi:10.1002/jsfa.10636
- Ouzounis T., F. Rosenqvist, and C.O. Ottosen 2015, Spectral effects of artificial light on plant physiology and secondary metabolism: a review. HortScience 50:1128-1135. doi:10.21273/HORTSCI.50.8.1128
- Sæbø A., T. Krekling, and M. Appelgren 1995, Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of birch plantlets *in vitro*. Plant Cell Tissue Organ Cult 41:177-185. doi:10.1007/BF00051588
- Seong E.S., E.W. Seo, I.M. Chung, M.J. Kim, H.Y. Kim, J.H. Yoo, J.H. Choi, N.J. Kim, and C.Y. Yu 2015, Growth characteristics and phenol compounds analysis of collected perilla frutescens resources from China and Japan. Korean J Med Crop Sci 23:132-137. (in Korean) doi:10.7783/KJMCS.2015.23.2.132
- Son K.H., M.J. Song, and M.M. Oh 2016, Comparison of combined light-emitting diodes and fluorescent lamps for growth and light use efficiency of red leaf lettuce. Protected Hort Plant Fac 25:139-145. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2016.25.3.139
- Yoo J.H., J.H. Choi, B.J. Kang, M.R. Jeon, C.O. Lee, C.H. Kim, E.S. Seong, K. Heo, C.Y. Yu, and S.K. Choi 2017, Antioxidant and tyrosinase inhibition activity promoting effects of perilla by the light emitting plasma. Korean J Med Crop Sci 25:37-44. (in Korean) doi:10.7783/KJMCS.2017.25.1.37