

# 식물공장에서 적색, 청색, 백색 및 원적색 LED 처리에 따른 고추냉이의 생육반응

김해란<sup>1</sup> · 유영한<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>국립산림과학원 난대아열대산림연구소, <sup>2</sup>국립공주대학교 생명과학과

## Effects of Red, Blue, White, and Far-red LED Source on Growth Responses of *Wasabia japonica* Seedlings in Plant Factory

Hae Ran Kim<sup>1</sup> and Young Han You<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Warm-Temperature and Subtropical Forest Research Center, Korea Forest Research Institute, Seogwipo 697-050, Korea

<sup>2</sup>Department of Life Science, Kongju National University, Gongju 314-701, Korea

**Abstract.** This study was conducted to establish the optimum LED light source and quality for growth of *Wasabia japonica* seedlings in the LED chamber plant factory system. The light treatments were combined with four colors LED (red, blue, white, far-red), irradiation time ratio of the red and blue LED per minute(1:1, 2:1, 5:1, 10:1), and duty ratio of mixed light (100%, 99%, 97%). The growth response of *W. japonica* was the greatest in the R + B mixed light treatment, and seedlings grown in the red LED alone was higher than blue LED alone in the monochromic radiation treatments. In the R + B mixed LED, 1:1 ratio of R and B was the best for total biomass and tiller production. In mixed light treatments, the growth response of *W. japonica* was highest in the 100% duty ratio with R + B mixed light, while that was highest in the 97% duty ratio with R + B + W mixed light. Leaf area and dry weight were increased in the red light treatment alone, while specific leaf area was increased in the blue light alone. With the increasing red LED light ratio, leaf area and dry weight of *W. japonica* was significantly increased under the R + B mixed light treatment. In mixed light treatments, the leaf growth responses of *W. japonica* was highest in the 97% duty ratio with R+B mixed light, while that was highest in the 100% duty ratio with R + B + W mixed light. For cultivating *W. japonica* in a plant factory, treating red LED supplemented with a blue light or higher ratio of the red to blue LED was benefit to promote the growth of *W. japonica*.

**Additional key words:** biomass, duty ratio, light quality, specific leaf area, wasabi

### 서 언

식물공장은 시설 내에서 광, 온도, 수분, 양분 등을 조절하여 작물에게 제공함으로써, 최대의 생산성을 얻는 새로운 농업형태로 다양한 분야의 최첨단 기술이 융합된 자동화 농업이다(Kim and Chang, 2009). 최근 잦은 이상기후에 의한 어려운 환경조건과 제약된 공간에서도 안정적으로 작물을 생산할 수 있는 식물공장이 최근 큰 관심을 받고 있다(Kim et al., 2011).

밀폐 공장형 생산방식으로 고부가 가치 작물을 생산하기

위해서는 생산성을 확보할 수 있는 적절한 재배시스템에서 품질과 기능성분 함량을 높일 수 있는 다양한 부가적 환경 스트레스의 부여가 필요하다(Lee et al., 2010). 이러한 스트레스 중 광은 식물생장 및 광합성 작용뿐만 아니라, 형태형성에 관여하는 주요한 제한요인 중 하나로써(Pérez-Balibrea, 2008), 가장 효과적으로 생산량을 증가시킬 수 있다(Nishimura et al., 2006).

식물재배용 인공광원으로서 최근 많이 이용되고 있는 LED의 가장 큰 장점 중 하나는 단색광으로서 특정 파장역만을 갖는 광질 선택이 가능하여 광합성 촉진 및 개화조절 그리

\*Corresponding author: youeco21@kongju.ac.kr

※ Received 9 January 2013; Revised 4 March 2013; Accepted 5 March 2013. 본 논문은 환경부의 국가장기생태연구사업(2011-2012)에 의하여 수행되었음에 감사를 드립니다.

고 당도와 사포닌 증가 등의 기능을 수행할 수 있다는 점이다(Hyun et al., 2010; Kim et al., 2005). 따라서 LED 광질에 따른 식물의 성장과 번식 및 생리적 특성에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다(Heo et al., 2010a). 상추는 청색광의 혼합비율이 43%까지 높아짐에 따라 생육이 감소된 반면, 엽록소 함량 및 안토시아닌 함량은 크게 증가하였다(Lee et al., 2010). 그리고 청경채는 청색광의 비율이 증가할수록 잎몸 길이가 증가하였다(Nam, 2011). 이처럼 LED 광원을 이용하여 재배 시 작물에 따라 적색과 청색광을 적절히 혼합하여 사용하는 것이 중요하다(Park et al., 2011).

LED 광원은 분이나 초 단위로 간헐적 조사가 가능하여 다른 광원에 비해 전력 소모량이 적어 경제적이다(Brown et al., 1995). Duty비는 주기를 갖는 펄스(pulse)에서 쓰이는 용어로 전류가 흐르지 않은 시간에 대한 전류가 흐른 시간의 비를 말한다. 즉, 한 주기 동안 펄스가 on 상태인 시간의 비율을 말한다. 따라서 LED는 펄스 구동이 가능하여 duty비를 조절할 수 있다는 장점이 있어 식물 재배 시 duty비를 낮춰 처리하면 전력 소비량을 감소시킬 수 있다(Jao and Fang, 2004).

십자화과(Brassicaceae)에 속하는 다년생 초본인 고추냉이(*Wasabia japonica* Maxim.)는 잎과 뿌리 등 식물 전체가 가공원료로 사용되는 고급향신료 작물로서, kg당 8만-10만원까지 호가해 인삼재배의 10배나 되는 고소득 작물이며, 그리고 식중독세균, 병원성 효모, 곰팡이 등에 대해 강한 항균활성 및 항산화활성, 항변이활성 그리고 항암활성이 있어 의약품 및 천연보존제 등에 이용되고 있다(Shin and Lee, 1998). 따라서 고추냉이는 식품을 넘어 농·산업 및 의학용 분야로 활용범위가 커 시장수요가 매우 기대되는 작물이다. 그러나 고추냉이는 일반 작물과는 달리 반음지나 음지 등 일조량이 적고, 서늘한 기온을 유지하는 지역에서 주로 재

배되고 있다(Kim et al., 1995). 이처럼 고추냉이 재배는 재배 환경 조건이 까다로워 생산량의 변동이 심해 재배 면적이 확대되지 못하고 있는 실정이다(Choi et al., 2007).

따라서 본 연구에서는 환경제어가 가능한 식물 공장에서 고추냉이의 대량 재배 시 생산효율을 극대화 시킬 수 있는 최적 광 환경 조건을 규명하기 위해 LED 광원에 따른 고추냉이의 생육에 미치는 영향을 알아보았다.

## 재료 및 방법

### 실험재료 및 재배

실험에 사용된 고추냉이는 2011년 9월에 강원도 농업기술원에서 1년생 유식물을 분양 받아 크기가 유사한 개체들을 선별하여 사용하였다. 이후 각 처리구당 10개 화분(지름 12cm × 높이 15cm)에 각각 한 개체씩 이식하였다. 토양은 동일 입자크기의 모래를 사용하였고, 유기물은 육묘용 상토(홍농 바이오, 몬산토 코리아, 서울)를 이용하여 토양무게의 0.5%로 처리하였다. 그리고 수분은 2-3일 간격으로 화분의 포장용수량의 70%인 300mL씩 공급하였다. 온도와 상대습도는 항온항습기로 조절하여 일정하게 유지하였으며, 데이터로거(LCSEMS, Parus CO., Korea)를 이용해 30분 간격으로 데이터를 수집하고 모니터링하였다. 실험기간 동안 온도와 상대습도 및 CO<sub>2</sub> 농도는 각각 25 ± 3.06°C, 72 ± 3.90%, 395 ± 52.90ppm이었다.

### LED 광 처리

LED 광원은 식물 재배용 LED system(Café Farm System, Parus Co., Korea)을 이용하여 적색광(R), 청색광(B), 백색광(W) 및 원적색광(fR)과, 이들 광원을 조합하여 적색 +

Table 1. Experimental design of different LEDs lighting treatments.

Treatment	LED source	Red + Blue ratio	Duty ratio (%)	Light intensity ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) <sup>2</sup>
T1	Red	-	100	92.85 ± 6.05
T2	Blue	-	100	87.44 ± 8.06
T3			100	119.93 ± 8.93
T4		1:1	99	107.54 ± 5.31
T5			97	92.80 ± 2.84
T6	Red + Blue	2:1	100	106.44 ± 18.83
T7		5:1	100	96.89 ± 23.56
T8		10:1	100	93.04 ± 7.73
T9			100	146.27 ± 3.37
T10	Red + Blue + White	-	99	139.14 ± 2.92
T11			97	128.69 ± 3.63
T12	Red + far-Red	-	100	81.53 ± 3.76

<sup>2</sup>Data represent mean ± standard deviation.

청색 혼합광(R + B), 적색 + 청색 + 백색 혼합광(R + B + W)과 적색 + 원적색혼합광(R + fR)으로 구성하였다(Table 1). 실험에 사용한 LED 광원의 광 파장 스펙트럼은 적색광이 630-660nm, 청색광이 440nm, 백색광이 450-540nm 그리고 원적색광이 740nm에서 각각 최대 피크를 보였다. 적색과 청색광의 혼합비율을 다르게 처리하기 위하여 조사시간을 1:1, 2:1, 5:1 그리고 10:1로 처리하였다. 그리고 duty비에 따른 효과를 알아보기 위해 적색 + 청색 혼합광과 적색 + 청색 + 백색 혼합광 조건에서 duty비를 각각 100%, 99%, 그리고 97%로 처리하였다. 모든 광 구배의 일장시간은 16시간으로 하였다. 광량은 Quantum sensor(Li-190SA, LI-COR Inc., USA)를 이용하여 측정하였으며, 광 처리구별 조사광량은 Table 1과 같다.

### 측정 형질

고추냉이는 2012년 6월에 수확을 하여 분얼수를 측정한 뒤, 식물체 전체를 지상부와 지하부로 나눠 65°C에 48시간 건조시킨 후, 지상부생물량(g), 지하부생물량(g) 그리고 식물체생물량(g)을 측정하였다. 각 개체에서 임의로 3장의 성엽을 채집하여 엽면적(cm<sup>2</sup>)을 측정하고, 65°C에 48시간 건조시켜 건중량(g)을 구했다. 그 후 엽면적을 잎건중량으로 나눠 비엽면적(cm<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup>)을 계산하였다. 잎의 면적은 엽면적계(SI700, Skye, UK)를 사용하여 leaf area v1.11(Skye, 2007)

로 분석하였다.

### 통계 분석

각 LED 광 처리구별 종내 변이를 조사하기 위해 각 형질별 분산분석을 실시해 구배별 차이의 유의성을 검정하였다. 구배별 차이의 유의성은 Statistica 8 통계패키지(Statsoft Co. 2008)를 이용하여 포스트-훅 검정법에 의해 평균치의 피서 최소유의차범위를 계산하였다(Noh and Jeong 2002).

## 결과 및 고찰

### LED 파장에 따른 생육반응

고추냉이의 지상부, 지하부 및 식물체 생물량은 적색광과 청색광을 단독으로 처리하였을 때보다 혼합하여 처리하였을 때 가장 높은 값을 보였다(Fig. 1). 적색 + 청색 혼합광을 처리한 고추냉이의 식물체 생물량은 적색광(R)을 처리하였을 때보다 약 1.6배 증가하였으며, 청색광(B) 처리 시보다 약 3.2배 높았다. 원예식물인 디펜바키아(*Dieffenbachia amoena*)와 인도고무나무(*Ficus elastica*)는 적색과 청색광을 각각 처리하였을 때보다 적색과 청색 혼합광 조건에서 식물체 생물량이 증가하였고, 디펜바키아의 경우, 가지수가 크게 증가하였다(Heo et al., 2010a). 또한, 배양기 내에서 국화를 배양시킬 때 여러 가지 광질을 처리한 결과, 적색과

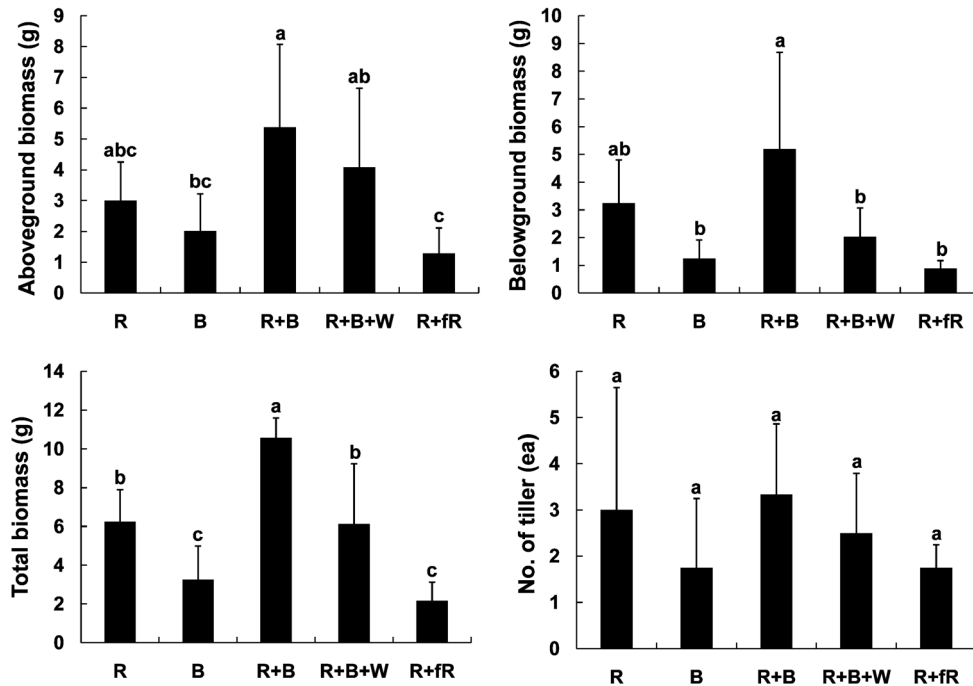


Fig. 1. Aboveground biomass (g), belowground biomass (g), total biomass (g), and number of tiller (ea) of *W. japonica* grown under red (R), blue (B), red + blue (R + B), red + blue + white (R + B + W) and red + far-red (R + fR) LEDs. Different lower cases on the bars indicate significant differences among light treatments (Fisher's least significant difference,  $P < 0.05$ ). Vertical bars represent mean  $\pm$  standard deviation.

청색 혼합광에서 식물체 건중량 및 엽록소 함량 등이 크게 증가한 보고가 있다(Kim et al., 2004). 이는 적색광과 청색광은 모두 식물 광합성작용 시 효율적으로 이용되는 광원으로서, 단일 처리했을 때보다, 혼합하여 처리하였을 때 식물의 성장과 발달에 더 효과적으로 작용하기 때문인 것으로 판단된다.

지상부와 식물체 생물량은 적색 + 청색 혼합광(R + B)에서 각각  $5.38 \pm 2.69\text{g/plant}$ 와  $10.57 \pm 1.02\text{g/plant}$ 로 가장 높은 반면, 다른 처리구에 비해 비교적 광도가 낮은 청색광(B)과 적색 + 원적색 혼합광(R + fR)에서 가장 낮았다. 지하부 생물량의 경우, 역시 적색 + 청색 혼합광(R + B)에서 가장 높았으며, 청색광(B) 및 적색 + 청색 + 백색 혼합광(R + B + W) 그리고 적색 + 원적색 혼합광(R + fR)을 처리하였을 때 가장 낮았다. 그러나 분얼수는 처리구 간 차이가 없었다(Fig. 1). 적색과 청색광에 백색광을 첨가하여 처리 시 고추냉이의 지상부생물량은 적색 + 청색 혼합광(R + B)보다 약 24.1% 감소하였다. 그리고 지하부와 식물체 생물량도 각각 60.9%와 42.2%로 감소하였다.

고추냉이는 다년생 반음지성 식물로서 다른 작물에 비해 생육시기에 낮은 광량을 필요로 한다. Kim et al.(1995)은 전 입사광량을 100% 기준으로 하여 25, 50, 75% 수준으로 차광을 한 뒤 성장량을 측정된 결과, 고추냉이의 지하경 직경 및 무게는 75% 차광 처리구에서 가장 높은 값을 보였다. 따라서 적색 + 청색 + 백색 혼합광(R + B + W)에서 고추냉이의 성장량 감소는 적색 + 청색 혼합광(R + B)에 백색광(W)을 추가적으로 처리함에 따라 증가된 광량 때문인 것으로 판단된다.

고추냉이 잎의 형태적 특성은 LED 파장에 따라 다른 반응을 보였다(Table 2). 적색광(R)에서 자란 고추냉이의 엽면적은  $46.17 \pm 10.41\text{cm}^2$ 로 가장 넓었다. 밀(*Triticum aestivum*)을 발아시켜 적색광을 비롯하여 백색광과 적색 + 청색 혼합광에서 생육 시킨 결과, 적색광 하에서 밀의 잎 길이가 가장 크게 성장한 것으로 본 연구 결과와 유사하였다(Goins et

al., 1997). 잎건중량은 적색광(R)과 적색 + 청색 + 백색 혼합광(R + B + W)에서 가장 높았고, 적색 + 원적색 혼합광(R + fR)에서 낮았다.

고추냉이의 무게 대비 엽면적(비엽면적)은 청색광(B)과 적색 + 원적색 혼합광(R + fR)에서 높았다(Table 2). 비엽면적은 식물의 상대생장률과 높은 상관관계를 갖고 있으며, 잎의 두께를 간접적으로 알 수 있다(Gunn et al., 1999). 일반적으로 비엽면적이 높은 종은 크고 얇은 잎을 생산하며, 비엽면적이 낮은 종은 작고 두꺼운 잎을 생산한다. 잎의 성장기간 동안 잎 두께는 광질에 의해 크게 반응한다(Louwerse and Zweerde, 1977). Schuerger et al.(1997)의 연구결과에 의하면, 고추냉이 잎의 두께는 적색광을 단일 처리하였을 때보다 원적색광을 혼합하여 처리하였을 경우, 6.1% 감소하였다. 이와 유사하게 본 연구에서 고추냉이는 청색광(B)과 적색 + 원적색 혼합광(R + fR)을 처리하였을 때 엽면적은 증가시키나, 잎두께를 감소시켜 비교적 잎이 넓고 두께가 얇은 잎을 생산하는 것으로 판단된다.

#### 적색과 청색광 비율에 따른 생육반응

현재 국내에서 운영되고 있는 식물공장은 작물의 광합성에 효과적인 적색과 청색 두 가지 파장대를 가장 많이 채용하고 있으며, 일반적으로 적색과 청색 LED의 비율을 7:3으로 조합된 직관형 LED 패키지를 사용하고 있다(Yoon, 2012). 그러나, 적색과 청색광이 각각 식물에 미치는 영향이 다르기 때문에 이들을 적절하게 혼합하여 처리하는 것이 중요하며, 각 작물에 맞는 최적의 적합비율을 찾는 것이 필수적이다.

적색과 청색광의 비율에 따른 고추냉이의 지상부 생물량은 처리구 간 차이를 보이지 않았으나, 지하부 및 식물체 생물량 그리고 분얼수는 적색과 청색광의 비율이 1:1일 때 가장 높은 값을 보였다(Fig. 2). Nam(2010)은 청경채 4품종을 대상으로 적색과 청색광 비율이 생육반응에 미치는 영향을 알아본 결과, Haky2 품종과 RP1 품종이 적색과 청색광 비

**Table 2.** Effects of LED source on leaf morphological responses of *W. japonica*.

Treatment	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Leaf weight (g)	Specific leaf area (cm <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )
R	$46.17 \pm 10.41$ a <sup>2y</sup>	$0.23 \pm 0.06$ a	$201.57 \pm 25.69$ b
B	$36.04 \pm 4.07$ b	$0.14 \pm 0.03$ bc	$273.37 \pm 68.45$ a
R + B	$38.42 \pm 6.29$ ab	$0.20 \pm 0.05$ ab	$197.50 \pm 31.76$ b
R + B + W	$42.03 \pm 6.03$ ab	$0.24 \pm 0.03$ a	$175.36 \pm 42.71$ b
R + fR	$30.15 \pm 11.88$ b	$0.10 \pm 0.04$ c	$306.63 \pm 48.82$ a

<sup>2</sup>Means followed by different letters within columns by Fisher's least significant difference test as post-hocs, with significance set at  $P = 0.05$ .

<sup>y</sup>Data represent mean  $\pm$  standard deviation.

율을 1:1로 처리하였을 때 잎수 및 지하부 길이 그리고 전체 생중량이 가장 높았다. 그러나 다른 2 품종은 다른 결과를 보였다. 이는 같은 종일지라도 품종에 따라 생육조건에 알맞은 최적 비율이 다르다는 것을 의미한다. 따라서 기존에 상용되고 있는 적색과 청색 혼합광 패키지를 사용하는 것보다 적색광과 청색광의 비율을 동일하게 처리하는 것이 고추냉이의 성장량을 촉진시킬 수 있을 것으로 판단된다.

고추냉이의 잎 형태적 특성은 적색과 청색광의 비율에 따라 차이를 보였다(Table 3). 적색과 청색광 비율에 따른 고추냉이의 엽면적은 10:1일 때 가장 넓었고, 2:1일 때 가장 좁았다. 적색과 청색광을 혼합하여 처리 시, 적색광의 비율을 높여줄수록 상추의 엽면적이 증가한다는 보고가 있다 (Lee et al., 2010).

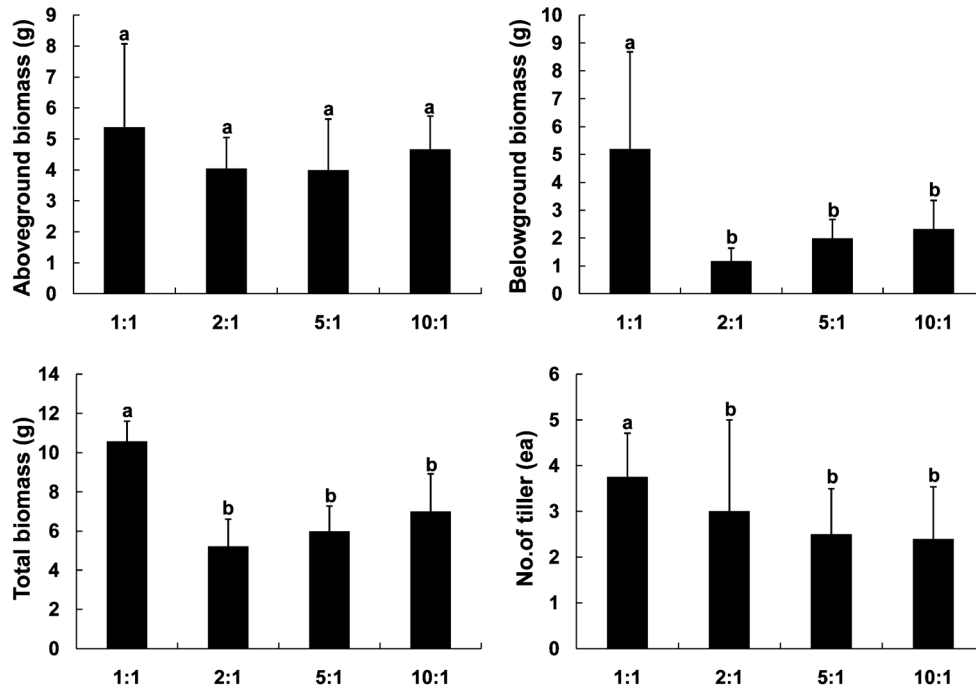
고추냉이의 잎건중량은 적색과 청색 비율이 5:1과 10:1일 때 높았다. 그러나 비엽면적은 구배 간 차이가 없었다

(Table 3). 이는 적색광의 비율이 높을수록 고추냉이의 엽면적과 잎건중량이 증가한다는 것을 의미한다. 따라서 고추냉이의 뿌리생장 및 분얼수를 증가시키기 위해서는 적색광과 청색광의 비율을 같게 처리하고, 쌈채소로 고추냉이를 재배 시 품질 좋은 잎 생산을 위해서는 적색광의 비율을 높게 처리해 주는 것이 효율적일 것으로 사료된다.

#### Duty비에 따른 생육반응

LED는 펄스광으로서 초 단위나 분 단위의 간헐적 광질 제어가 가능하여 식물의 생산량에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 이를 효율적으로 조절한다면 에너지 소비 절감에 긍정적인 영향을 줄 것이다(Heo et al., 2010b; Yeh and Chung, 2009).

적색과 청색 혼합광 조건(R + B)에서 duty비에 따른 고추냉이의 지상부와 지하부생물량은 처리구 간 차이가 없



**Fig. 2.** Aboveground biomass (g), belowground biomass (g), total biomass (g), and number of tiller (ea) of *W. japonica* grown under different ratio of red and blue LEDs. Different lower cases on the bars indicate significant differences among light treatments (Fisher's least significant difference,  $P < 0.05$ ). Vertical bars represent mean  $\pm$  standard deviation.

**Table 3.** Effects of ratio of red and blue LED on leaf morphological responses of *W. japonica*.

Treatment	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Leaf weight (g)	Specific leaf area (cm <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )
1:1	38.42 $\pm$ 6.29 b <sup>zy</sup>	0.20 $\pm$ 0.05 ab	197.50 $\pm$ 31.76 a
2:1	27.75 $\pm$ 5.01 c	0.17 $\pm$ 0.05 b	165.51 $\pm$ 17.55 a
5:1	43.51 $\pm$ 5.55 ab	0.25 $\pm$ 0.05 a	179.34 $\pm$ 28.27 a
10:1	46.40 $\pm$ 5.90 a	0.26 $\pm$ 0.08 a	186.21 $\pm$ 42.91 a

<sup>z</sup>Means followed by different letters within columns by Fisher's least significant difference test as post-hocs, with significance set at  $P = 0.05$ .

<sup>y</sup>Data represent mean  $\pm$  standard deviation.

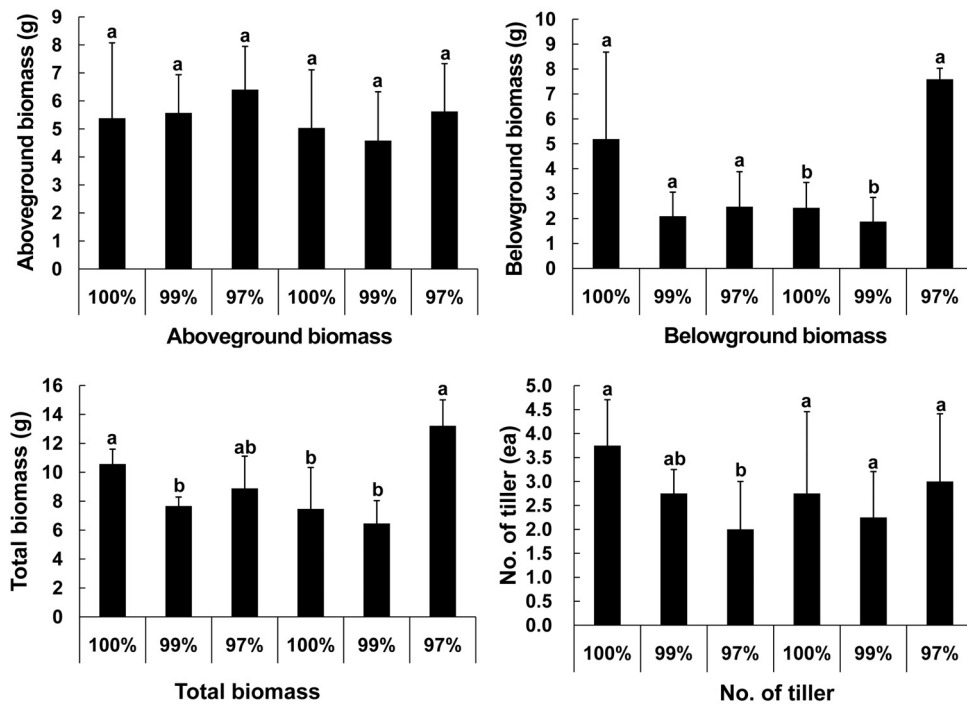
었다(Fig. 3). 그러나 식물체 생물량과 분얼수는 duty비가 100% 일 때 가장 높았다. 반면, 적색 + 청색 + 백색 혼합광 조건(R + B + W)에서 고추냉이의 지상부 생물량과 분얼수는 duty비에 의해 영향을 받지 않은 반면, 지하부와 식물체 생물량은 duty 비가 97%일 때 가장 높은 값을 보였다.

혼합광 하에서 duty비에 따른 고추냉이 잎의 형태적 반응은 처리구 간 유의적인 차이를 보였다(Table 4). 적색 + 청색 혼합광(R + B) 조건에서 고추냉이의 엽면적과 잎건중량은 duty비가 가장 낮은 97%일 때 높았다. 그러나 적색 + 청색 + 백색 혼합광(R + B + W)에서 엽면적과 잎건중량은 duty비가 가장 높은 100%에서 증가하였다. 비엽면적은 적색 + 청색 혼합광(R + B)에서 duty비가 97%일 때 가장 낮은 반면, 적색 + 청색 + 백색 혼합광(R + B + W)에서는

duty비에 따라 차이를 보이지 않았다.

이를 종합해 보면, 고추냉이의 생육반응은 단일광보다 혼합광 하에서 높았다. 특히, 적색 + 청색 혼합광(R + B)에서 높은 성장량을 보였으며, 이들의 혼합 비율이 1:1일 때 고추냉이의 생물량이 가장 높았다. 그리고 적색 + 청색 + 백색 혼합광(R + B + W)에서 duty비를 가장 낮게 처리한 경우, 지하부 및 식물체 생물량이 크게 증가하였다. 고추냉이의 잎 형태적 특성은 적색광(R)과 적색 + 청색 + 백색 혼합광(R + B + W) 처리 시 엽면적과 잎건중량이 최대를 보였고, 적색 + 청색 혼합광(R + B) 하에서는 적색광(R)의 비율이 높아질수록 증가하였다.

고추냉이는 잎에서부터 엽병, 근경 및 뿌리까지 식용가능하며, 부위에 따라 다양한 가공식품을 생산할 수 있다.



**Fig. 3.** Aboveground biomass (g), belowground biomass (g), total biomass (g), and number of tiller (ea) of *W. japonica* grown under different duty ratio (100%, 99%, 97%) with red + blue and red + blue + white LEDs. Different lower cases on the bars indicate significant differences among duty ratio within mixed light treatment (Fisher's least significant difference,  $P < 0.05$ ). Vertical bars represent mean  $\pm$  standard deviation.

**Table 4.** Effects of duty ratio on leaf morphological responses of *W. japonica*.

Treatment	R + B			R + B + W		
	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Leaf weight (g)	Specific leaf area (cm <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Leaf weight (g)	Specific leaf area (cm <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )
100%	38.42 $\pm$ 6.29 b <sup>2y</sup>	0.20 $\pm$ 0.05 b	197.50 $\pm$ 31.76 ab	42.03 $\pm$ 6.03 a	0.24 $\pm$ 0.03 a	175.36 $\pm$ 42.71 a
99%	35.84 $\pm$ 4.53 b	0.17 $\pm$ 0.04 b	209.85 $\pm$ 26.24 a	37.36 $\pm$ 3.51 ab	0.19 $\pm$ 0.05 ab	209.88 $\pm$ 48.79 a
97%	55.48 $\pm$ 11.33 a	0.33 $\pm$ 0.09 a	171.85 $\pm$ 34.22b	32.23 $\pm$ 7.02 b	0.16 $\pm$ 0.04 b	200.94 $\pm$ 8.45 a

<sup>2</sup>Means followed by different letters within mixed light treatments and columns by Fisher's least significant difference test as post-hocs, with significance set at  $P = 0.05$ .

<sup>y</sup>Data represent mean  $\pm$  standard deviation.



따라서 식물공장에서 고추냉이 재배 시 생육 반응을 촉진 시켜 생산량을 증대시키기 위해서는 적색과 청색광을 혼합하여 처리해 주고, 이 때 적색과 청색광의 비율을 동일하게 처리하는 것이 전체 생산량을 높일 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 씹 잎 채소용으로만 고추냉이를 재배할 경우, 품질 좋은 잎 생산을 위해서는 적색광을 단독 처리해주거나, 적색 + 청색 + 백색 혼합광을 처리해 주고 이 때 duty비를 97%로 낮게 처리해 주면 잎의 생산량을 증가시킬 뿐만 아니라 전력소비량을 절감시키는 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

## 초 록

본 연구는 식물공장용 LED 챔버 시스템에서 고추냉이의 생육반응에 미치는 LED 광원 및 광질의 영향을 알아보기 위해 적색, 청색, 백색 그리고 원적색광의 단일 및 혼합처리, 적색광과 청색광의 비율 그리고 duty비 등을 다양하게 처리하여 수행하였다. 고추냉이의 생육반응은 적색 + 청색 혼합광에서 가장 높았고, 단일광 조건에서는 청색광보다 적색광 하에서 식물체 생물량이 높았다. 고추냉이의 식물체 생물량과 분얼수는 적색과 청색광의 비율이 1:1인 조건에서 가장 높았다. 적색과 청색광을 혼합하여 처리 시 고추냉이의 생육반응은 duty비가 100%일 때 높은 반면, 적색과 청색광에 백색광을 첨가하여 처리 하였을 때는 duty비가 가장 낮은 97%에서 높았다. 엽면적과 잎건중량은 적색광에서 가장 높은 반면, 비엽면적은 청색광에서 가장 높았다. 적색과 청색 혼합광에서 엽면적과 잎건중량은 적색광의 비율이 높거나, duty비가 낮을수록 증가하였고, 백색광을 첨가한 조건에서는 duty비가 높을수록 증가했다. 이상의 결과를 종합해보면, 고추냉이는 단일광을 처리하는 것보다 적색과 청색광을 혼합하여 처리해 주거나, 청색광보다 적색광의 비율을 더 높여주는 것이 고추냉이의 생육 및 품질을 향상시켜 줄 것으로 판단된다.

**추가 주요어 :** 생물량, duty비, 광질, 비엽면적, 와사비

## 인용문헌

Brown, C.S., A.C. Schuergerand, and J.C. Seger. 1995. Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 120:808-813.  
Choi, K.Y., Y.B. Lee, J.H. Lee, and T. Nasangargale. 2007. Hydroponic culture system for wasabi leaf production. J.

Bio-Environ. Control 16:1-6.  
Goins, G.D., N.C. Yorrio, M.M. Sanwo, and C.S. Brown. 1997. Photomorphogenesis, photosynthesis and seed yield of wheat plants grown under red light-emitting diodes (LEDs) with and without supplemental blue lighting. J. Exp. Bot. 48:1407-1413.  
Gunn, S., J.F. Farrar, B.E. Collis, and M. Nason. 1999. Specific leaf area in barley: Individual leaves versus whole plants. New Phytol. 143:45-51.  
Heo, J.W., Y.B. Lee, D.E. Kim, Y.S. Chang, and C.H. Chun. 2010a. Effects of supplementary LED lighting on growth and biochemical parameters in *Dieffenbachia amoena* 'Camella' and *Ficus elastic* 'Melany'. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 28:51-58.  
Heo, J.W., Y.B. Lee, Y.S. Chang, J.T. Lee, and D.B. Lee. 2010b. Effects of light quality and lighting type using an LED chamber system on chrysanthemum growth and development cultured in vitro. Korean J. Environ. Agric. 29:374-380.  
Hyun, D.Y., S.W. Lee, Y.B. Kim, S.W. Kang, G.S. Kim, and S.W. Cha. 2010. Effect of red, blue and white LED irradiation on growth characteristics and saponin contents in *Panax ginseng* C.A. Meyer Korean J. ginseng by hydroponic culture. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 28(Suppl. 1):69. (Abstr.)  
Jao, R.C. and W. Fang. 2004. Effects of frequency and duty ratio on the growth of potato plantlets in vitro using light-emitting diodes. HortScience 39:375-379.  
Kim, H.M., J.S. Eun, and E.S. Rha. 1995. Effect of temperature and shading on the growth and major disease incidence of Wasabi. J. Bio. Fac. Env. 4:240-245.  
Kim, J.H. and S.D. Chang. 2009. Industrialization condition and possibility of plant factory. Kor. J. Agr. Manage. Policy 36:918-948.  
Kim, S.J, E.J. Hahn, J.W. Heo, and K.Y. Paek. 2004. Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets in vitro. Sci. Hort. 101:143-151.  
Kim, Y.H., D.E. Kim, G.I. Lee, D.H. Kang, and H.J. Lee. 2011. Current status and development direction of the domestic and overseas for the artificial plant factory. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 29(Suppl. II):37. (Abstr.)  
Kim, Y.S., J.G. Kim, Y.S. Lee, and I.J. Kang. 2005. Comparison of the chemical components of buckwheat seed and sprout. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 34:81-86.  
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. J. Bio-Environ. Control 19:351-359.  
Louwerse, W. and W.V.D. Zweerde. 1977. Photosynthesis, transpiration and leaf morphology of *Phaseolus vulgaris* and *Zea mays* grown at different temperatures in artificial and sunlight. Photosynthetica 11:11-21.  
Nam, M.W. 2011. Effects of blue and red LED irradiation as artificial light sources in plant factory on growth and quality of pak-choi. MA Diss., Chonbuk National Univ., Jeonju, Korea  
Nishimura, T., Y. Mori, T. Furukawa, A. Kadota, and T. Koshiba. 2006. Red light causes a reduction in IAA levels at the apical tip by inhibiting de novo biosynthesis from tryptophan in maize coleoptiles. Planta 224:1427-1435.  
Noh, H.J. and H.Y. Jeong. 2002. Understanding of statistical analysis by STATISTICA. Hyungseul Press, Seoul, Korea.

- Park, J.S., J.T. Lim, S.W. Yoon, and J.K. Hwangbo. 2011. Effects of red/blue LED light ratio on seedling growth of several horticultural plants. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 29(Suppl. 1):84. (Abstr.)
- Pérez-Balibrea, S., D.A. Moreno, and C. Garcia-Viguera. 2008. Influence of light on health-promoting phytochemicals of broccoli sprouts. *J. Sci. Food Agr.* 88:904-910.
- Schuerger, A.C., C.S. Brown, and E.C. Stryjewski. 1997. Anatomical features of pepper plants (*Capsicum annuum* L.) grown under red light-emitting diodes supplemented with blue or far-red light. *Ann. Bot.* 79:273-282.
- Shin, S.I. and J.M. Lee. 1998. Study on antimicrobial and antimutagenic activity of horseradish (*Wasabia japonica*) root extracts. *J. Korean Fish. Soc.* 31:835-841.
- Yeh, N. and J.P. Chung. 2009. High-brightness LEDs-energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 13:2175-2180.
- Yoon, C.G. 2012. A study on the LED illumination lamp development and application for plant factory. PhD Diss., Hongik Univ., Seoul, Korea.