

## LED 광질 조건에 따른 배초향 성장 및 항산화 물질 함량 분석

김성진 · 복권정 · 박종석\*  
충남대학교 농업생명과학대학 원예학과

### Analysis of Antioxidant Content and Growth of *Agastache rugosa* as Affected by LED Light Qualities

Kim Sungjin, Bok Gwonjeong, and Park Jongseok\*

Department of Horticultural Sciences, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

**Abstract.** The aim of this study was to evaluate the effect of light quality using either monochromatic or combined LEDs on the growth and antioxidant accumulation of *Agastache rugosa* cultivated under hydroponics for 4 weeks. This experiment was performed in a controlled-environment room at 22±1°C and 18±1°C (day and night temperatures, respectively) and 50-70% relative humidity, with a provided photosynthetic photon flux density (PPFD) of 180±5 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> and irradiated with either monochromatic (W10 and R10) or mixed LEDs (W2B1G1, R3B1, R2B1G1, and W2B1G1) with a differing ratio of each LED's PPFD and fluorescent lighting (FL: control) with a 16/8 h photoperiod. Fresh and dry weights were highest for plants grown under the W2B1G1 treatment. *A. rugosa* grown with R10 had the greatest plant height but the lowest SPAD among all treatments. The concentration of rosmarinic acid in plants grown under W2B1G1 was significantly higher than that of plants grown under other treatments. Tilianin content was significantly higher in R3B1 than in the other treatments. However, whole-plant rosmarinic acid and tilianin content was the highest under the W2B1G1 condition. To cultivate *A. rugosa* in a plant factory, mixed-LED light conditions with W2B1G1 is considered to be more advantageous for the growth and antioxidant accumulation of *A. rugosa*. It is thought that the total whole-plant antioxidant content is more crucial for commercial use; the present study demonstrates the potential to achieve higher content of functional materials in plants through the selection of light quality.

**Additional key words:** hydroponics, LEDs, rosmarinic acid, tilianin

## 서 론

배초향(*Agastache rugosa* Kuntze)은 꿀풀과에 속하는 다년생 약용작물로 보통 동아시아 국가, 특히 한국과 중국 전역에서 자라며 우리나라에서 천연조미료와 약초로 오래전부터 사용되어 왔다(Ahn and Yang, 1991). 식물의 기능성 화합물(photochemical)은 이차대사산물(secondary metabolite)이라고도 불리며 식물체 내에 존재하면서 약효를 나타내는 다수의 성분들을 가리킨다(Verpoorte et al., 2000). 식물은 단백질, 탄수화물, 지방과 같이 정상적으로 살아가는데 필수적인 기초 대사물질인 일차대사산물(primary metabolite)을 생성하지만, 외부의 환경 스트레스, 해충의 침입, 병원균의 유입으로부터 스스로를 방어하기 위해서 이차대사산물을 생산한다고 알려져 있다

(Bourgau et al., 2001). 특히, 꿀풀과(Lamiaceae)의 대표적인 작물인 배초향은 페닐프로판노이드(phenylpropanoid) 화합물을 많이 함유하고 있으며 폴리페놀계의 rosmarinic acid(RA)와 플라보노이드 계통의 tilianin의 함량이 높다고 보고되었다(Han, 1987). 폴리페놀(polyphenol) 화합물이자 타닌(tannin) 유형인 rosmarinic acid는 꿀풀과(Lamiaceae)와 지치과(Boraginaceae) 식물에 상대적으로 높게 함유된 성분이다(Hakkim et al., 2007). 페닐알라닌(phenylalanine)과 티로신(tyrosine)의 두 방향족 아미노산의 결합인 rosmarinic acid는 식물에 있어 병원균 및 초식동물에 대한 방어 화합물로서 역할을 할 수 있으며(Ellis and Towers, 1970) 항바이러스와 항염제, 항진성, 항균성을 지니고 있고, 불안이나 우울증 예방에 도움이 된다고 보고되었다(Cuvelier et al., 1996; Chen and Ho., 1997; Takeda et al., 2002). 플라보노이드의 글루코스-글리코사이드(glucose-glycoside) 화합물인 tilianin은 약리 효능이 입증되어 있으며, 항염증제와 항염치료제, 항고혈압제 및 혈관 확장 효과가 보고되

\*Corresponding author: jongseok@cnu.ac.kr  
Received July 17, 2018; Revised July 26, 2018;  
Accepted July 27, 2018

었다(Hong et al., 2001; Oh et al., 2006; Nam et al., 2006).

식물 생육 및 항산화물질에 영향을 미치는 다양한 환경요인 중에서 광환경은 광합성 및 식물에 필요한 에너지의 근원적 역할을 하고 있다. 식물의 생육에 영향을 주는 광 관련 인자로는 광도(Lefsrud et al., 2006), 광질(Lefsrud et al., 2008), 광주기(Lefsrud and Kopsell, 2006)가 있다. 광 관련 인자의 변화를 통하여 식물의 성장, 형태형성 및 이차대사산물의 함량변화에 영향을 줄 수 있어 작물을 재배할 때 가장 중요한 변수 중 하나이다(Kopsell and Kopsell, 2008). 특히 LED는 제조기술의 발달과 가격 하락의 영향으로 많은 분야에서 사용되고 있으며, LEDs 광원은 방사파장의 선택과 조절을 통하여 조사 광에 대한 식물의 반응 연구를 가능하게 하였다(Gerke et al., 2014). LED를 이용하여 조성된 광질은 파이토크롬(phytochromes; 적색과 근적외선), 크립토크롬(cryptochromes; 청색과 UV-A), 포토트로핀(phototropin; 청색과 UV-A), UVR8 (UV-B) 등과 같은 식물의 광수용체와 관련되어 보고되었으며(Son et al., 2016) 이들의 다양한 신호 전달 경로를 통해서 광형태형성과 식물의 성장과 발달을 유도한다(Barros et al., 2011; Lee et al., 2016). 특히 가시광선 영역 중 적색과 청색광 파장은 엽록소에 의해서 가장 효과적으로 흡수되는 파장이며 광합성에 있어 매우 중요한 에너지원으로써 요구된다(McCree, 1972). 적색광(620-670nm)은 파이토크롬을 활성화시켜 종자발아, 착과, 꽃눈 분화를 조절할 수 있으며, 청색광(420-480nm)은 크립토크롬이나 포토트로핀을 활성화시켜 형태형성, 꽃눈의 형성, 굴광성, 엽록체의 운동, 기공 개폐 등에 관여한다고 알려져 있다(Taiz and Zeiger, 1991). Folta and Maruhnich (2007)는 녹색광이 광합성의 에너지원과 시그널 작용에 유효하지 않다고 보고한 반면, 식물의 성장에 유효한 에너지원으로 작용한다는 보고도 있다(Johkan et al., 2012; Son et al., 2012). 이렇듯 식물공장 시스템을 이용한 작물의 대량생산을 위해서는 최적 광환경 조건에 대한 사전 연구는 매우 필요하다.

최근 건강 기능성식품, 기능성 화장품 및 천연물의약품 산업이 커짐에 따라 대상 작물의 수요가 꾸준히 늘어나고 있으며, 그에 따른 재배단지 조성, 기술 집약형 식물공장 또는 스마트 팜에서의 재배기술이 요구된다. 특히 배초향은 기능성 검증에 따른 산업적 이용을 위해서 노지재배가 이루어지고 있으나, 1년에 2회 수확이 한계이며 기능성 물질의 함량은 계절별 재배환경 변화의 영향으로 일관된 함량을 보이기 어렵다(Rao and Ravishankar, 2002). 따라서, 이러한 문제를 해결 할 수 있는 많은 방법들 중에서 스마트팜 또는 식물공장을 이

용한 연중 생산시스템의 확립이 매우 필요하며, 스마트팜 식물공장 전방산업을 확장시킬 수 있는 좋은 방법이다. 이에 본 연구는 LED를 이용한 광질의 다양한 조합 조건이 배초향의 성장과 항산화 물질 축적에 미치는 영향 분석을 목적으로 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 식물재료

배초향(*Agastache rugosa* Kuntze) 종자(Danong Co. Ltd. Namyangju, Korea)를 240공 암면배지(Kiemplug standard tray, Grodan, Denmark)에 파종하여 25±2°C에서 5일간 발아시켰다. 이후 발아된 식물체는 형광등(T5 14EX-D, Byulpyo Co. Ltd. Icheon, Korea)을 이용하여 광강도 130±5μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, 온도 22±2°C, 습도 60-75%의 조건에서 5주간 육묘하였다. 본엽이 발생한 시점에서 미량원소가 함유된 오츠키 하우스 A(Otsuka House A, OAT Agri Co., Ltd. Tokyo, Japan: NO<sub>3</sub>-N 17.4me·L<sup>-1</sup>, NH<sub>4</sub>-N 1.2me·L<sup>-1</sup>, P 5.1me·L<sup>-1</sup>, K 8.6me·L<sup>-1</sup>, Ca 8.2me·L<sup>-1</sup>, Mg 3.6me·L<sup>-1</sup>) 배양액을 이용하여 2일 간격으로 저면관수 하였으며, 본엽이 4매가 전개된 5주 후에 배초향의 균일한 묘(평균 초장은 8.3mm, 평균 생체중은 56mg)를 각 처리 당 12주씩 선발하여 스티로폼 베드(630mm × 935mm; 가로 × 세로)에 55mm의 주간 간격으로 정식하였다.

### 2. 재배시스템 및 환경

재배베드의 골조는 목재를 이용하여 1500mm (폭)와 1400mm (길이), 2540mm (높이)의 1개의 재배모듈에 재배 가능한 단수를 3단으로 제작하였다. 각 단의 광원과 재배베드 바닥과의 거리는 600mm였으며 하단에 80L 크기의 양액탱크를 제작하였다. 재배베드는 PVC재질을 이용하여 1100mm (폭)와 1000mm (길이), 100mm (높이)로 제작하여 각 골조 프레임에 수평으로 설치하였다. 양액탱크 안에 수증펌프(UP100, Hyupshin Design Co. Ltd. Seoul, Korea)를 설치하여 각 단의 재배베드로 양액을 각각 공급하였으며 배수는 각 재배베드의 독립된 배수구를 통하여 양액탱크로 순환되게 하였다. 높이 조절이 가능한 배수구를 이용하여 semi-DFT 시스템으로 운영하였으며 양액은 15분 ON/OFF 주기로 공급되었다.

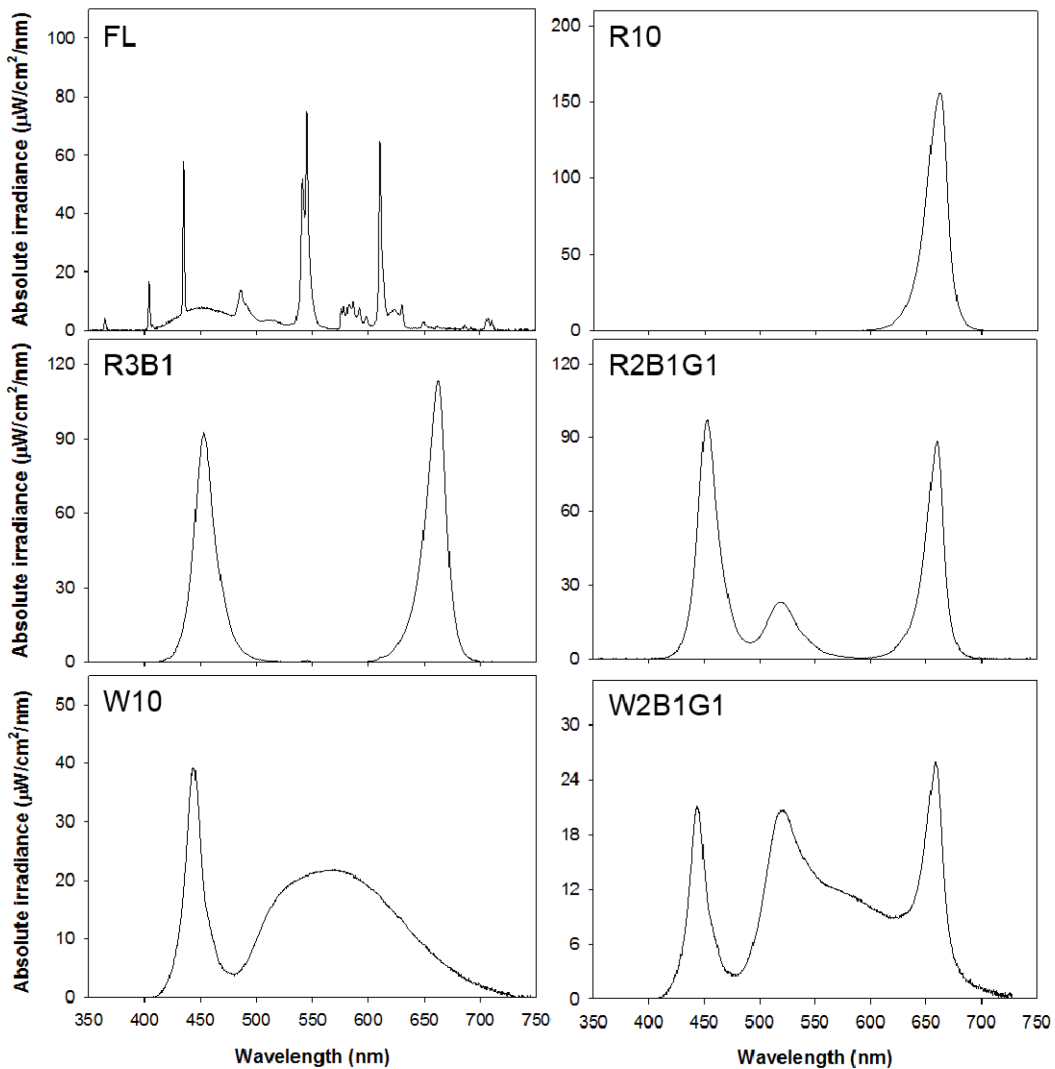
밀폐형 인공광 식물공장을 가정한 재배룸[5m (길이) × 2.5m (폭) × 4.5m (높이)]은 온도와 습도 조절을 위하여 히트펌프(CSV-Q115UI, CLK Co. Ltd., Seoul Korea)와 냉동기(Unit Cooler BSU-030E, SUNGJIN Industrial Co, Ltd. Seoul, Korea), 그리고 가습기(HU-4200C, Ohsungsa Co. Ltd., Korea)를 이용하여 주간 22±2°C, 야

간  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 와 상대습도 50-70%의 조건을 유지하였다. 휴대용 온습도 센서(testo-174H, TESTO Co. Ltd., Germany) 3개를 이용하여 각 재배단의 온습도 변화를 모니터링 하였다. 냉동기가 가동되지 않는 조건에서는 냉동기에 부착된 송풍팬을 이용하여 재배베드의 하단과 상단의 온도차이가  $\pm 1^\circ\text{C}$ 가 되도록 하였다. 정식 후 오즈카 하우스 A액의 EC 농도는  $1.2 \pm 0.2 \text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , pH  $6.2 \pm 0.1$ 로 초기 농도로 설정하였으며 이틀에 한번씩 EC 농도와 pH를 측정하였고 2주 후에 양액을 새것으로 교체하였다.

### 3. 광원 시스템

본 연구에 사용된 LEDs 광원은 적색(R:660nm), 청색(B:450nm), 녹색(G:545nm)과 색온도가 5500K인 백색

(W) LEDs (SungGwang LED Co., Ltd., Seoul Korea)를 이용하여 표준 입력 전압값을 기준으로 LEDs 백색광(W10), 적색광(R10), 적청 혼합광(R3B1), 적청녹 혼합광(R2B1G1), 백청녹 혼합광(W2B1G1) 처리구와 Cool white 형광등(T5 14EX-D, Byulpyo Co. Ltd., Icheon Korea)을 이용하여 대조구(FL)를 설치하였다. 광 스펙트럼 분포는 휴대용 분광 복사계(LI-1800, LI-COR, Lincoln, NE, USA)로 300-1000nm 범위를 0.4nm 간격으로 측정하여 방사조도로 표현하였다(Fig. 1). 각 광처리구의 광합성유효광량자속밀도(PPFD: photosynthetic photon flux density)는 광량자 센서(LI-190, LI-COR, Lincoln, NE, USA)를 이용하여 측정하였으며, 광조사 장치에 부착된 높낮이 조절장치를 이용하여 재배베드 바



**Fig. 1.** Spectral distribution : the fluorescent light control (FL), the red LEDs (R10), the red with blue LEDs (R3B1), the red LEDs with blue and green LEDs (R2B1G1), the white LEDs (W10), and the white LEDs with blue and green LEDs (W2B1G1). The photosynthetic photon flux density was about  $200 \pm 10 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  in each treatment. Spectral scans were recorded at the top of the growing beds and averaged at 5 points of each treatment.

다면은 기준으로 광강도  $200 \pm 10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 조절하였고 16/8h 광주기로 광을 조사하였다.

#### 4. 생육 조사

정식 4주 후 배초향을 수확하였으며, 캘리퍼스를 이용하여 초장, 엽장, 엽폭 및 엽록소 비파괴분석을 위하여 SPAD (SPAD 502, Minolta, Japan)값을 측정하였다. 지하부 생체중을 측정하기 위하여 실험용 티슈(Kimtech Science, Yuhan-Kimber 6ly, Korea)로 뿌리 표면의 수분을 제거한 후 전자저울(CAL MW-2N, CAS Co. Ltd. Seoul, Korea)을 이용하여 측정하였다. 건물중 분석을 위하여 분리된 지상부와 지하부를 각각 시료분석용 봉투에 넣은 후 70°C 조건에서 1주일간 건조 후 동일 전자저울을 이용하여 측정하였다.

#### 5. Rosmarinic acid와 tilianin 함량 분석

배초향의 rosmarinic acid와 tilianin에 분석 방법은 Park (2014)을 참고하여 분석하였다. 배초향을 시료분석용 봉투에 넣은 후 동결건조기(TFD5503, Ilshin BioBase, Korea)를 이용하여 -70°C 초저온 냉동고에 3일간 건조시킨다. 완전히 건조된 배초향은 믹서기(SMX 800SP, SHINIL Co, Ltd. Seoul, Korea)를 이용하여 분쇄 후 유발과 유봉을 이용하여 분말화 하였다. 배초향 분말 0.1g을 2ml의 80% MeOH에 넣고 1시간 동안 초음파처리(Sonication) 한 후 13000 rpm으로 10분간 원심 분리 하였다. 상등액을 0.45 $\mu\text{m}$  PTFE syringe filter로 필터링 해준 후, HPLC용 vial에 담았다. Rosmarinic acid 및 tilianin 분석은 NS-4000 HPLC system (Futechs Co., Daejeon, Korea)을 사용하여 분석하였고, 컬럼으로는 ProntoSIL 120-5 C18 ace-EPS column (1500 $\times$ 4.6mm, 5 $\mu\text{m}$ ; ProntoSIL, Bollinger, Germany)을 사용하였으며, 컬럼 온도는 30°C, 유량은 1.0ml $\cdot$ min $^{-1}$ , 검출파장은 340nm로 설정하였다. 시료는 자동주입기로 20ul 씩 주입하였다. 이동상 용매로는 0.2% 아세트산을 포함한 초순수 solvent A 와 100% MeOH를 solvent B로 사용하였으며, rosmarinic acid 및 tilianin 분리를 위하여 70% solvent A 와 30% solvent B를 50분간 유지한 후 나머지 10분간 100% solvent B가 되도록 용액을 증가시킨다. 표준물질 rosmarinic acid (SIGMA-ALDRICH, Korea), tilianin (Ensol Biosciences Inc., Korea)을 이용하여 calibration curve를 작성하고 정량화(mg $\cdot$ g $^{-1}$  DW) 하였다.

#### 6. 통계 분석

본 실험은 완전임의 배치법으로 수행되었으며 생육 및 기능성 물질 분석은 각 처리구별 3반복으로 실시하였다.

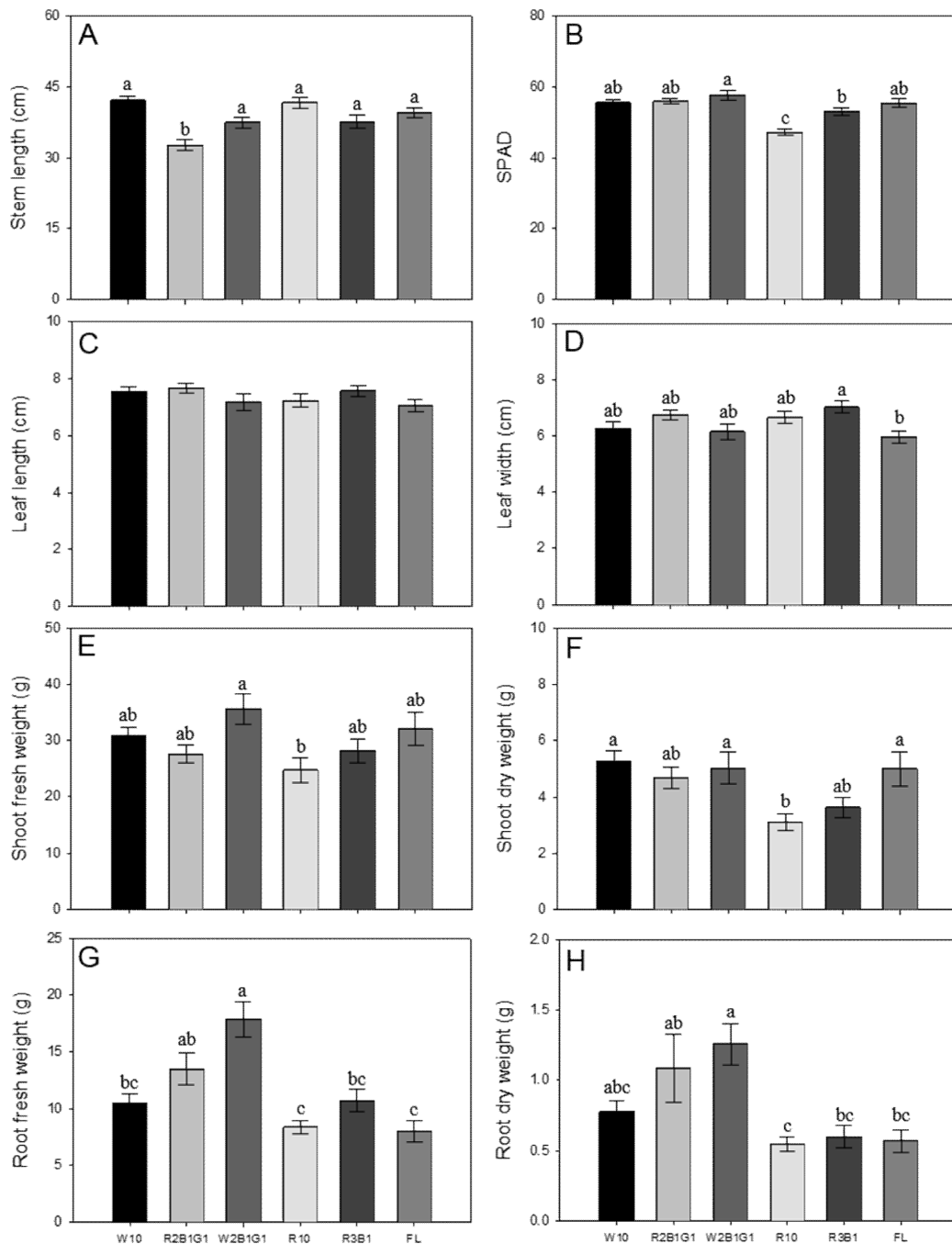
통계 분석은 SPSS(Version 22.0.0.1, SPSS Inc., Illinois, USA) 프로그램을 이용하여 ANOVA를 실시하였으며 처리 평균간 유의성 검증은 Turkey의 다중검정법을 이용하였다( $P \leq 0.05$ ).

## 결과 및 고찰

### 1. 광질에 따른 생육

혼합 LEDs 광조건과 형광등을 사용한 배초향의 생육 실험 결과 R2B1G1 처리구의 초장은 R10, W10, W1B1G1, R3B1 처리와 비교하여 유의적으로 낮은 값을 나타내었다(Fig. 2). R2B1G1 처리구의 초장은 가장 큰 값을 보인 R10 또는 W10 처리구와 비교하여 9.7%, 10.7% 적은 값을 보였으며, FL 처리구와 비교하여 4.8% 적은 값을 나타내었다. 배초향의 엽장은 모든 처리구에서 유의적인 차이를 보이지 않은 반면, 엽폭의 경우 유의적 차이를 보였는데 R3B1 처리구에서 W10 또는 W2B1G1 처리구보다 12.1%, 14.1% 차이를 보였다. 특히 FL 처리구와 비교하여 17.8% 많은 값을 나타내었다. W10 처리구에서 엽형이 길게 발달하는 경향을 보였으나, R3B1 처리구에서 엽형이 둥근형태로 발달하였다(data not shown). 엽록소 함량을 나타내는 SPAD는 적색광 처리에서 낮은 수치를 나타내었다. SPAD값으로는 도장한 것으로 판단된 R10 처리구와 엽면적이 넓고 옅은 녹색을 띤 R3B1 처리구가 유의적으로 낮은 결과를 보였고, 평균값이 가장 높았던 W2B1G1 처리구의 SPAD값은 R10 처리구와 비교하여 22.2% 높았다. 또한, 지상부 생체중도 이 처리구에서 다른 처리구들과 비교하여 유의적으로 높은 값을 보였다. 이는 R10 처리구와 비교하여 43.7%, FL처리구와 비교하여 10.7% 높은 결과이다. 지상부 건물중 값을 비교하면 W10, W2B1G1, FL 처리구에는 유의적 차이를 보이지 않았지만, R10과 비교하여 각각 69.7%, 61.9%, 60.9% 높았다. 또한 W2B1G1 처리구에서 지하부 생체중이 유의적으로 높은 값을 보였고, 가장 작은 값을 보인 R10과 FL 처리구와 비교하여 113.3%, 122.1% 높았다. 그리고 지하부 건물중에서는 W2B1G1 처리구가 R10과 FL 처리구와 비교하여 각각 130.4%, 121% 증가하였다. 단파장 LEDs 광원들보다 혼합광인 백색광을 가진 처리일수록 지상부 생육이 좋은 경향을 보였으며, R10 처리구의 생체중과 건물중은 다른 모든 처리구와 비교하여 유의적으로 낮았다. 특히 백색 50%에 청녹색을 혼합한 W2B1G1광원으로 조사할 경우, 생체중이 FL 광원과 비교하여 유의적으로 증가하는 경향을 나타내었다.

적색광은 식물의 성장과 발달에 중요한 역할을 하는 광수용체 중 피토크롬(phytochrome)을 활성화 시켜 엽록



**Fig. 2.** Stem lengths (A), SPAD (B), leaf length (C), leaf width (D), shoot fresh weight (E), shoot dry weight (F), root fresh weight (G) and root dry weight (H) of *A. rugosa* grown under the different light qualities with the fluorescent light control (FL), the red LEDs (R10), the red with blue LEDs (R3B1), the red LEDs with blue and green LEDs (R2B1G1), the white LEDs (W10), and the white LEDs with blue and green LEDs (W2B1G1) in hydroponic systems for 4 weeks after transplanting. The data represent the means and the vertical bars indicate standard deviation (n=23). Different letters at the top of bars indicate significances in different light qualities ( $P \leq 0.05$ ).

체를 발달시키고, 광합성 능력을 향상시키는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2005; Folta and Childers, 2008). 식물생장 또는 형태형성에 관계하는 광질은 식물체에 따

라 영향이 조금씩 다를 수 있지만, 대부분 적색광은 식물의 도장을 유도하고 청색광은 초장의 생장을 억제시키는 것으로 보고되었다(Rajapakse and Kelly, 1992;

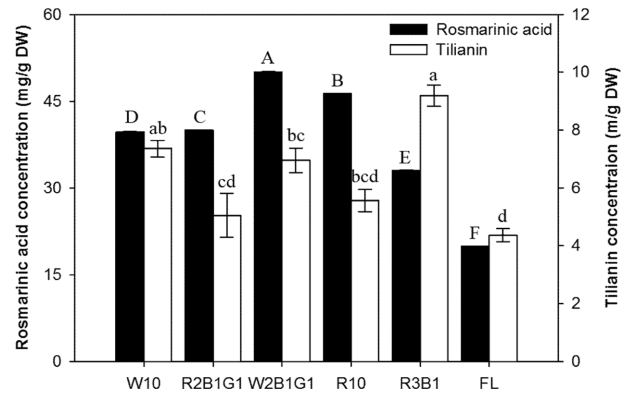
McMahon et al., 1991). 본 연구에서도 적색광을 단독으로 조사하였을 경우 신장이 촉진되어 도장한 결과를 초래하였다.

엽형의 경우 처리된 광질과 품종에 따라 형태가 달라지는데, 감자(*Solanum tuberosum* L., cv. Miranda)는 적색광 처리에서 엽이 얇고 길며 매우 작은 값을 보이나, 청색광 처리에서 짧고 두껍고 큰 형태를 지닌다(Aksenova et al., 1994). 그러나 상추의 경우 반대로 적색광 처리시 상추의 엽장과 엽폭을 증가시키지만, 청색광처리시 엽폭의 증가가 상대적으로 억제된다고 보고되었다(Cha et al., 2013; Lee and Kim, 2014). 배초향의 경우 적색과 청색의 혼합광에서 정상엽과 비슷한 형태를 보였지만 등근 원형에 가까운 형태로 분화되었다. 국화 배양시 적색과 청색의 혼합광에서 엽록소 함량이 크게 증가하였지만, 적색광만 처리할 경우 엽록소 함량이 감소한 보고와 배초향의 R10 처리구의 SPAD값의 변화와 유사한 경향을 보였다(Kim et al., 2004). 그리고 백색 50%에 청색을 혼합한 W2B1G1 처리구에서 SPAD가 유의적으로 높게 나타났는데, 이와 관련하여 녹색광에서 재배된 토마토 모종의 엽록소 함량이 증가한 결과가 보고되었다(Kim et al., 2014). 녹색광이 포함된 처리구에서 엽록소 함량이 높게 나타난 것은 서로 밀접한 관계가 있음을 유추할 수 있었다.

광수용체인 파이토크롬(phytochrome)은 적색광(600nm)과 근적외광(730nm)을 수용하는데, 흡수 peak는 660nm이다. 660 nm에서 식물의 광합성을 촉진하여 식물 발육을 향상시켜주는 것으로 알려져 있다(Butlet et al., 1964). 그러나, 본 실험에서는 적색광만 처리하였을 경우 지상부 생육이 현저히 떨어졌다. 백색광과 녹색광이 혼합된 처리구의 배초향 생육이 증가되었는데, 이는 백색광 혹은 녹색광이 혼합된 광질에서 식물의 생육이 증가된 보고(Kim et al., 2004; Lin et al., 2013)와 일치하였으며, 쌈 채소용으로 고추냉이 재배 시 적색, 청색, 백색 혼합광을 처리 할 경우 혼합광에서 잎의 생산량이 증가한 연구결과(Kim and You, 2013)와도 일치된다. 배초향 재배시 단파장 LEDs를 처리했을 때보다, 혼합 LEDs를 처리하였을 때 광합성에 효율적으로 이용되어 생장에 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단된다.

## 2. Rosmarinic acid와 tilianin 함량

배초향의 단위 건물중에 대한 rosmarinic acid 함량은 FL 처리구에 비해 LEDs 처리구가 유의적으로 높은 값을 나타내었고, W10과 R2B1G1, W2B1G1, R10, R3B1 처리구 순으로 대조군인 FL 처리구에 비하여 98.8%, 100.5%, 150.6%, 131.9%, 65.6% 높았다(Fig. 3). Rosmarinic acid 성분 함량은 적색광만 처리할 경우와 적청 혼합광을 처리하였을 때 다른 결과를 보였는데, 적색광만 처리

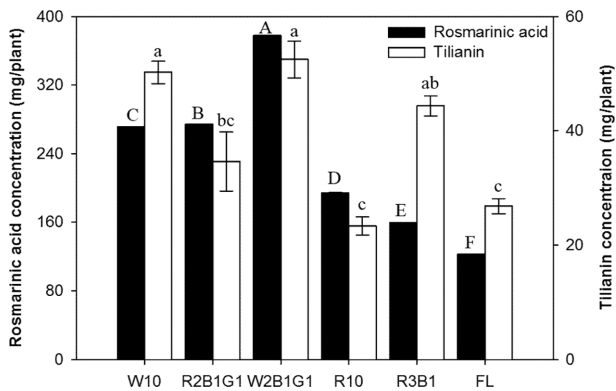


**Fig. 3.** Concentration of rosmarinic acid and tilianin in *A. rugosa* per dry weight treated with different light qualities of the fluorescent light control (FL), the red LEDs (R10), the red with blue LEDs (R3B1), the red LEDs with blue and green LEDs (R2B1G1), the white LEDs (W10), and the white LEDs with blue and green LEDs (W2B1G1) in hydroponic systems for 4 weeks after transplanting. The data represent the means and the vertical bars indicate standard errors (n=3). Different letters at the top of bars indicate significances in different light qualities (P<0.05).

할 경우 건물중 당 rosmarinic acid의 함량이 증가하는 경향을 보였다(Fig. 3). 건물중 당 tilianin의 함량 또한 형광등에 비해 LEDs 처리에서 유의적으로 높은 값을 나타내었다. FL 처리구와 비교하여 W10, R2B1G1, W2B1G1, R10, R3B1 처리에 대해서 각각 68.4%, 15.7%, 59.1%, 27.3%, 110.3% 높았다. R3B1은 유의적으로 가장 높은 함량을 나타내었는데, tilianin에서 rosmarinic acid와 다르게 적색광에 청색광을 추가하였을 때 건물중 당 tilianin의 함량이 증가하는 경향을 보였다.

배초향 1주에 포함된 rosmarinic acid의 함량은 W2B1G1이 유의적으로 높았고 FL 처리구와 비교하여 182.9% 높았다(Fig. 4). 식물체당 tilianin의 함량은 W10과 W2B1G1 처리에서 유의적으로 높았고 FL 처리구와 비교하여 각각 82.9%, 79.6% 높았다. 식물체당 rosmarinic acid와 tilianin의 함량은 건물중이 클수록 높은 경향을 보였다. 잎의 생육에서 언급하였듯이 건물중은 W10 처리와 W2B1G1 처리가 형광등 처리에 비해 유의적 차이는 보이지 않았지만 평균값이 크게 나타났다. W10, W2B1G1 처리와 FL 처리 간의 건물중 증가율보다 식물체당 rosmarinic acid와 tilianin 함량 증가율이 높게 나타났다, 이러한 결과는 광질에 대한 상승효과로 항산화 물질의 체내 총량이 늘어나는 것으로 나타났다.

식물에서 cryptochrome은 플라보노이드를 함유한 청색광 수용체로 작용한다. 청색광에 반응한 cryptochrome은 안토시아닌 경로를 조절하는 CHS (chalcone synthase)와 DFR (dihydroflavonol-4-reductase)의 유전자 발현을 촉



**Fig. 4.** Concentration of rosmarinic acid and tiliainin in *A. rugosa* per plant treated with different light qualities of the fluorescent light control (FL), the red LEDs (R10), the red with blue LEDs (R3B1), the red LEDs with blue and green LEDs (R2B1G1), the white LEDs (W10), and the white LEDs with blue and green LEDs (W2B1G1) in hydroponic systems for 4 weeks after transplanting. The data represent the means and the vertical bars indicate standard errors (n=3). Different letters at the top of bars indicate significances in different light qualities (P<0.05).

진시켜, 토마토 안토시아닌 생합성을 조절하는데 가장 효과적인 파장 중 하나로 알려져 있다(Meng et al., 2004; Giliberto et al., 2005). 또한 폴리페놀의 생합성은 크립토크롬(cryptochrome)과 포토트로핀(phototropin)과 같은 청색광 수용체와 관련되어 있기 때문에 rosmarinic acid와 caffeic acid 함량에 영향을 준다고 보고되었지만(Li and Yang, 2007; Kang et al., 2008), 배초향의 경우 청색광이 포함된 처리구보다 녹색광이 포함된 처리구에서 rosmarinic acid 함량이 증가하는 경향을 보였다.

식물체에 함유된 2차 대사산물은 1차 광합성 경로와 밀접한 연관이 있다. 1차 대사산물의 생성이 2차 대사산물로 전환되는데, 광합성으로 생성된 sucrose의 함량이 많아질수록 rosmarinic acid 축적이 증가하는 연구결과(Gertlowski and Petersen, 1993)와 유사하게 생육이 가장 좋았던 W2B1G1 처리구의 rosmarinic acid의 함량이 높게 나타난 것으로 판단된다. 페놀프로파노이드(phenylpropanoid) 생성경로에서 CHS (chalcone synthase)와 CHI (chalcone isomerase)는 tiliainin 생산을 유도하고 생성된 tiliainin을 줄기와 뿌리로부터 수송하거나 꽃과 잎에서 내부적인 생합성으로 사용되기 때문에, 주로 꽃에 분포한다고 하였다(Tuan et al., 2012). 데이터로 제시되지 않았지만 본 실험에서 W2B1G1 처리구에서 화이분화가 가장 많이 발생하여 식물체당 tiliainin 함량이 높게 나타난 것으로 판단된다. 따라서, 인공광을 이용한 배초향의 재배시스템에서 W2B1G1과 유사한 광질의 조합을 통하여 배초향의 성장증대와 rosmarinic acid, tiliainin과 같은 기능성 물질을 효율적으로 얻을 수 있다고 판단된다.

## 적 요

본 연구는 수경재배 방식으로 재배된 배초향(*Agastache rugosa*)의 생장과 항산화 물질 축적에 대하여 단색 또는 복합 LEDs의 광질이 미치는 영향을 살펴보고자 수행하였다. 본업 4매인 배초향 묘를 수경재배 시스템에 정식하였으며, 백색(W10), 적색(R10), 혼합 LEDs (W2B1G1, R3B1, R2B1G1, W2B1G1: 각 LED의 PPFD 비율) 및 형광등(FL: 대조구)을 이용하여  $180 \pm 5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 광합성광량자속밀도(PPFD)의 조건과, 16/8h 광주기,  $22 \pm 1/18 \pm 1^\circ\text{C}$  (주/야간) 온도,  $60 \pm 10\%$ 의 상대 습도로 관리된 재배실에서 4주동안 배초향을 재배하였다. W2B1G1 광조건에서 자란 배초향의 생체중과 건물중은 모든 처리중에서 가장 큰 값을 나타내었다. R10 조건에서 재배된 배초향은 초장이 가장 길었지만 SPAD는 모든 처리와 비교해서 가장 낮은 값을 보였다. 배초향의 건물중당 rosmarinic acid 농도는 W2B1G1 처리구에서 유의하게 높았다. 건물당 tiliainin 함량은 다른 처리구들과 비교할 때, R3B1에서 유의적으로 가장 높았다. 그러나 전체 식물체에 함유된 rosmarinic acid와 tiliainin 함량은 W2B1G1 조건에서 가장 높았다. 식물공장에서 배초향을 재배하기 위해, W2B1G1으로 구성된 혼합 LED 광 조건이 배초향의 생장과 항산화 물질축적에 가장 유리한 것으로 나타났다. 본 연구는 식물 전체에 함유된 항산화 물질의 총량이 상업적 용도로 중요하다 하는 것과, 광질의 최적 선택을 통해서 기능성물질의 증대가 가능하다는 것을 보여주었다.

**추가 주제어:** 수경재배, LED, 로즈마린산, 티리아닌

## 사 사

본 연구는 농림수산식품기술기획평가원의 연구사업(MAFRA) (세부과제번호: 116115-3-02)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## Literature cited

- Ahn, B. and C.B. Yang. 1991. Volatile flavor components of Bangah (*Agastache rugosa* O. Kuntze) Herb. Korean Journal of Food Science and Technology 23:582-586.
- Aksenova, N.P., Konstantinova, T.N., Sergeeva, L.I. Macháčková, I. and Golyanovskaya, S.A. 1994. Morphogenesis of potato plants in vitro. I. Effect of light quality and hormones. Journal of Plant Growth Regulation 13:143-146.
- Barros, L., Carvalho, A.M. and Ferreira, I.C. 2011. Exotic fruits as a source of important phytochemicals: Improving

- the traditional use of *Rosa canina* fruits in Portugal. Food Research International 44:2233-2236.
- Bourgau, F., Gravot, A., Milesi, S. and Gontier, E. 2001. Production of plant secondary metabolites: a historical perspective. Plant Science 161:839-851.
- Butler, W.L., Hendricks, S.B. and Siegelman, H.W. 1964. Action spectra of phytochrome *in vitro*. Photochemistry and Photobiology 3:521-528.
- Cha, M.K., Cho, J.H. and Cho, Y.Y. 2013. Growth of leaf lettuce as affected by light quality of LED in closed-type plant factory system. Protected Horticulture and Plant Factory 22:291-297.
- Chen, J.H., and Ho, C.T. 1997. Antioxidant activities of caffeic acid and its related hydroxycinnamic acid compounds. Journal of Agricultural and Food Chemistry 45:2374-2378.
- Cuvelier, M.E., Richard, H. and Berset, C. 1996. Antioxidative activity and phenolic composition of pilot plant and commercial extracts of sage and rosemary. Journal of the American Oil Chemists Society 73:645-652.
- Ellis, B.E. and Towers, G.H.N. 1970. Biogenesis of rosmarinic acid in *Mentha*. Biochemical Journal 118:291-297.
- Folta, K.M. and Maruhnich, S.A. 2007. Green light: a signal to slow down or stop. Journal of Experimental Botany 58:3099-3111.
- Folta, K.M., and Childers, K.S. 2008. Light as a growth regulator: controlling plant biology with narrow-bandwidth solid-state lighting systems. HortScience 43:1957-1964.
- Gerke, B.F., Ngo, A.T., Alstone, A.L., and Fisseha, K.S. 2014. The evolving price of household LED lamps: Recent trends and historical comparisons for the US market.
- Gertlowski, C., and Petersen, M. 1993. Influence of the carbon source on growth and rosmarinic acid production in suspension cultures of *Coleus blumei*. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 34:183-190.
- Giliberto, L., Perrotta, G., Pallara, P., Weller, J.L., Fraser, P.D., Bramley, P.M., Fiore, A., Tavazza, M. and Giuliano, G. 2005. Manipulation of the blue light photoreceptor cryptochrome 2 in tomato affects vegetative development, flowering time, and fruit antioxidant content. Plant Physiology 137:199-208.
- Hakkim, F.L., Shankar, C.G. and Girija, S. 2007. Chemical composition and antioxidant property of holy basil (*Ocimum sanctum* L.) leaves, stems, and inflorescence and their *in vitro* callus cultures. Journal of Agricultural and Food Chemistry 55:9109-9117.
- Han, D.S., Y.C. Kim, S.E. Kim, H.S. Ju and Byun, S.J. 1987. Studies on the diterpene constituent of the root of *Agastache rugosa* O. Kuntze. Korean Journal of Pharmacognosy 18:99-102.
- Hong, J.J., Choi, J.H., Oh, S.R., Lee, H.K., Park, J.H., Lee, K.Y., Kim, J.J., Jeong, T.S. and Oh, G.T. 2001. Inhibition of cytokine-induced vascular cell adhesion molecule 1 expression; possible mechanism for anti-atherogenic effect of *Agastache rugosa*. Federation of European Biochemical Societies Letters 495:142-147.
- Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hahida, S.N. and Yoshihara, T. 2012. Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa*. Environmental and Experimental Botany 75:128-133.
- Kang, B., Grancher, N., Koyffmann, V., Lardemer, D., Burney, S. and Ahmad, M. 2008. Multiple interactions between cryptochrome and phototropin blue-light signalling pathways in *Arabidopsis thaliana*. Planta 227:1091-1099.
- Kim, H.H., G.D. Goins, R.M. Wheeler, and J.C. Sager. 2004. Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue-light-emitting diodes. HortScience 39:1617-1622.
- Kim, S.J., Hahn, E.J., Heo, J.W., and Paek, K.Y., 2004. Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets *in vitro*. Scientia Horticulturae 101:143-151.
- Kim, H.H., Wheeler, R., Sager, J., and NORIKANE, J. 2005. Photosynthesis of lettuce exposed to different short term light qualities. Environmental Control in Biology 43:113-119.
- Kim, H.R., and Young H.Y. 2013. Effects of red, blue, white, and far-red LED source on growth responses of *Wasabia japonica* seedlings in plant factory. Korean Journal of Horticultural Science and Technology 31:415-422.
- Kim, E.Y., Park, S.A., Park, B.J., Lee, Y., and Oh, M.M. 2014. Growth and antioxidant phenolic compounds in cherry tomato seedlings grown under monochromatic light-emitting diodes. Horticulture, Environment, and Biotechnology 55:506-513.
- Kopsell, D.A. and Kopsell, D.E. 2008. Genetic and environmental factors affecting plant lutein/zeaxanthin. Agro. Food Industry High-Tech. 19:44-46.
- Kopsell, D.A., and M.G. Lefsrud. 2006. Biomass production and pigment accumulation in kale grown under different radiation cycles in a controlled environment. HortScience 41:1412-1415.
- Lefsrud, M.G., Kopsell, D.A., Augé, R.M., and Both, A.J. 2006. Biomass production and pigment accumulation in kale grown under increasing photoperiods. HortScience 41:603-606.
- Lefsrud, M.G., D.A. Kopsell, and C.E. Sams. 2008. Irradiance from distinct wavelength light-emitting diodes affect secondary metabolites in kale. HortScience 43:2243-2244.
- Lee, J.S., and Kim, Y.H. 2014. Growth and anthocyanins of lettuce grown under red or blue light-emitting diodes with distinct peak wavelength. Korean Journal of Horticultural Science and Technology 32:330-339.
- Lee, G.I., Kim, H.J., Kim, S.J., Lee, J.W., and Park, J.S. 2016. Increased growth by LED and accumulation of functional materials by florescence lamps in a hydroponics culture system for *Angelica gigas*. Protected Horticulture and Plant Factory 25:42-48.



- Li, Q.H. and H.Q. Yang. 2007. Cryptochrome signaling in plants. *Photochemistry and Photobiology* 83:94-101.
- 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*). *Scientia Horticulturae* 150:86-91.
- McCree, Keith J. 1972. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agricultural Meteorology* 10:443-453.
- McMahon, M.J., Kelly, J.W., Decoteau, D.R., Young, R.E. and Pollock, R.K. 1991. Growth of *Dendranthema grandiflorum* (Ramat.) Kitamura under various spectral filters. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 116:950-954.
- Meng, X., T. Xing, and X. Wang. 2004. The role of light in the regulation of anthocyanin accumulation in *Gerbera hybrida*. *Plant Growth Regulation* 44:243-250.
- Nam, K.H., Choi, J.H., Seo, Y.J., Lee, Y.M., Won, Y.S., Lee, M.R., Lee, M.N., Park, J.G., Kim, Y.M., Kim, H.C. and Lee, C.H. 2006. Inhibitory effects of tilianin on the expression of inducible nitric oxide synthase in low density lipoprotein receptor deficiency mice. *Experimental & Molecular Medicine*. 38:445-452.
- Oh, H.M., Kang, Y.J., Lee, Y.S., Park, M.K., Kim, S.H., Kim, H.J., Seo, H.G., Lee, J.H., and Chang, K.C. 2006. Protein kinase G-dependent heme oxygenase-1 induction by *Agastache rugosa* leaf extract protects RAW264.7 cells from hydrogen peroxide-induced injury. *Journal of Ethnopharmacology* 103:229-235.
- Park, W.T., Kim, H.H., Chae, S.C., Cho, J.W. and Park, S.U. 2014. Phenylpropanoids in *Agastache foeniculum* and its cultivar *A. foeniculum* 'Golden Jubilee'. *Asian Journal of Chemistry* 26:4599-4601.
- Rao, S.R. and G.A. Ravishankar. 2002. Plant cell cultures: chemical factories of secondary metabolites. *Biotechnology Advances* 20:101-153.
- Rajapakse, N.C. and Kelly, J.W. 1992. Regulation of chrysanthemum growth by spectral filters. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117:481-485.
- Son, K.H., Park, J.H., Kim, D. and Oh, M.M. 2012. Leaf shape index, growth, and phytochemicals in two leaf lettuce cultivars grown under monochromatic light-emitting diode. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 30:664-672.
- Son, K.H., Song, M.J., and Oh, M.M. 2016. Comparison of combined light-emitting diodes and fluorescent lamps for growth and light use efficiency of red leaf lettuce. *Protected Horticulture and Plant Factory* 25:139-145.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 1991. Cytokinins. *Plant Physiology* (ed. Taiz a. Zeiger) 452-472.
- Takeda, H., Tsuji, M., Miyamoto, J. and Matsumiya, T. 2002. Rosmarinic acid and caffeic acid reduce the defensive freezing behavior of mice exposed to conditioned fear stress. *Psychopharmacology* 164:233-235.
- Tuan, P.A., Park, W.T., Xu, H., Park, N.I., and Park, S.U. 2012. Accumulation of tilianin and rosmarinic acid and expression of phenylpropanoid biosynthetic genes in *Agastache rugosa*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60:5945-5951.
- Verpoorte, R., van der Heijden, R., and Memelink, J. 2000. Engineering the plant cell factory for secondary metabolite production. *Transgenic Research* 9:323-343.