



스마트팜 환경에서 LED 광질에 따른 쥐오줌풀(*Valeriana fauriei*)의 생육 및 생리적 특성

한양수^{1#} · 유진² · 전성훈³ · 방경환⁴ · 김용구^{5#,*}

Effects of LED Light Quality on Growth and Physiological Characteristics of *Valeriana fauriei* in a Smart Farm Environment

Yangsoo Han^{1#}, Jin Yu², Sung Hoon Jun³, Kyung Hawn Bang⁴, and Yong-Goo Kim^{5#,*}

ABSTRACT

Received: 2026 February 19
1st Revised: 2026 March 11
2nd Revised: 2026 April 14
3rd Revised: 2026 April 24
Accepted: 2026 April 24
Published: 2026 April 30

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



Background: *Valeriana fauriei* is a perennial medicinal plant native to Korea and is valued for its sedative and tranquilizing properties. However, little is known regarding its growth and physiological responses to light quality in controlled environments.

Methods and Results: Seedlings were cultivated for 7 weeks using six LED light treatments [white (W), blue (B), red (R), blue + red (B + R), blue + red + far-red (B + R + FR), and blue + red + white (B + R + W)] under a constant photosynthetic photon flux density (PPFD) of approximately 150 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Plant height, number of branches, fresh and dry weights, and Soil Plant Analysis Development (SPAD) values were measured. In addition, physiological responses were evaluated using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index 1 (MCARI1), Photochemical Reflectance Index (PRI), and Structure-Insensitive Pigment Index (SIPI). Although treatment differences were observed in the mean values, statistical significance was detected only in some biomass-related parameters and the root-to-shoot ratio. Combined light treatments, particularly those including red and blue light with or without far-red light, generally resulted in higher biomass values and more favorable physiological responses than single-spectrum treatments.

Conclusions: Under the conditions of this study, LED light quality exhibited limited statistically significant effects on the growth of *V. fauriei*; however, certain combined spectra showed consistent trends in growth and physiological responses. These results reveal the potential usefulness of light quality control for smart-farm cultivation of this medicinal plant. However, the results should be interpreted with caution because plant-to-plant variability and a limited sample size may have reduced the statistical power.

Key Words: *Valeriana fauriei*, Light Quality, LED Spectrum, Smart Farm, SPAD, NDVI, MCARI1, PRI, SIPI

서 언

쥐오줌풀 (*Valeriana fauriei* Briq.)은 한국, 중국, 일본 등 동아시아 지역에 자생하는 다년생 초본으로, 뿌리와 근경에는 발레린산 (valerenic acid), 발레포트리산 (valepotriates), 이소발레린

산 (isovaleric acid) 등 다양한 생리활성 물질이 보고되어 있으며, 특히 iridoids를 포함한 여러 2차 대사산물이 확인되었다 (Lee *et al.*, 2020). 이러한 성분들은 중추신경계의 안정, 불면증 완화, 항불안 및 근이완 효과를 나타내어 전통적으로 진정 및 수면 유도제로 활용되어왔다 (Ryu, 1974; Lee *et al.*, 2020). 최근에는

[†]Corresponding author: (Phone) +82-43-871-5684 (E-mail) ygkimsy@korea.kr

[#]Yangsoo Han and Yong-Goo Kim contributed equally to this paper.

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 특용작물재배과 전문연구원 / Researcher, Industrial Crop Cultivation Division, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea

²농촌진흥청 국립원예특작과학원 특용작물재배과 농업연구사 / Researcher, Industrial Crop Cultivation Division, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea

³농촌진흥청 국립원예특작과학원 특용작물재배과 농업연구사 / Researcher, Industrial Crop Cultivation Division, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea

⁴농촌진흥청 국립원예특작과학원 특용작물재배과 농업연구관 / Senior Researcher, Industrial Crop Cultivation Division, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea

⁵농촌진흥청 국립원예특작과학원 특용작물재배과 농업연구사 / Researcher, Industrial Crop Cultivation Division, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea

Valeriana 속 식물이 다양한 phytochemistry와 bioactivity를 지닌 약용자원으로 주목받으면서, 귀오즙풀의 안정적 생산과 유효성분 함량 향상을 위한 재배기술 개발의 필요성도 커지고 있다 (Li *et al.*, 2022). 국내의 귀오즙풀 관련 연구는 주로 성분 분석과 약리활성 평가에 집중되어 왔으며, 생육환경과 생리적 반응에 관한 기초자료는 제한적이다. 지금까지 보고된 생육 관련 연구는 온도 (Lee, 1995a), 토양수분 (Lee, 1995b), 광도 및 환경요인 복합처리에 따른 생육과 수량 반응 (Cho *et al.*, 1997), 종자 번식 및 개화-결실 특성 (Ahn *et al.*, 2012)에 국한되어 있다. 또한 박 등 (2025)은 광량 변화가 귀오즙풀의 성장과 주요 휘발성 성분 함량에 유의한 영향을 미친다고 보고하였으나, 광질에 따른 생리·성장 반응에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 따라서 스마트팜과 같은 제어환경에서 광질별 생육 반응과 생리적 적응 특성을 구명하는 것은 중요하다. 식물의 생육과 대사활동은 광의 세기, 파장, 광주기 등 광환경 요인에 크게 영향을 받는다 (Hogewoning *et al.*, 2010). 발광다이오드 (light-emitting diode, LED)는 특정 파장의 광을 정밀하게 제어할 수 있는 인공광원으로, 작물의 형태형성, 엽록소 생합성, 광합성 효율 및 2차 대사산물 축적 등 다양한 생리·생화학적 과정에 영향을 준다 (McCree, 1972; Kami *et al.*, 2010; Taiz and Zeiger, 2015). 최근에는 LED 광질 조절이 식물의 형태적 성장뿐 아니라 생리활성 및 대사 조절에도 관여하는 것으로 보고되어, 시설 원예 및 식물공장 분야에서 정밀 환경제어 기술로서 중요성이 강조되고 있다 (Paradiso and Proietti, 2022). 특히 인공광의 스펙트럼 조성은 식물 생리뿐 아니라 2차대사 경로에도 영향을 미칠 수 있어, 약용작물 재배에서 광질 제어의 중요성은 더욱 크다 (Ouzounis *et al.*, 2015). 일반적으로 적색광은 광합성 효율을 높여 생체중 및 건물중 증가에 기여하며, 청색광은 엽록소 함량, 기공 개폐, 잎의 두께 및 광보호 반응 조절에 관여한다. 또한 적색광과 청색광의 조합 비율은 잎의 형태, 광합성 성능, 엽록소 형광 및 기공 발달에 유의한 영향을 미치며 (Wang *et al.*, 2016), 청색광은 식물의 신장생장을 조절하는 중요한 파장으로 알려져 있다 (Kong and Zheng, 2024). 한편 원적외광은 음지회피 반응을 유도하여 줄기 신장과 개화에 영향을 미치고 (Franklin and Quail, 2010), 원적색광은 식물체 구조와 광합성 능력 조절에도 관여하는 것으로 보고되었다 (Demotes-Mainard *et al.*, 2016; Tan *et al.*, 2022). 스마트팜은 온도, 광, 습도, 수분 등을 자동으로 제어할 수 있는 정밀 농업 시스템으로, 약용작물의 생리적 반응을 체계적으로 분석하고 생육 최적화를 위한 환경을 구현할 수 있다. 특히 LED 광질을 제어함으로써 성장속도, 형태적 특성, 생리활성 성분 함량 등을 조절할 수 있어, 약용작물의 생산성과 품질 향상을 위한 유망한 기술로 주목받고 있다. 이에 본 연구는 농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 스마트팜 재배실에서 Imagination Garden SmartFarm Operation System (Imagination Garden Inc., Andong, Korea)을 이용하여, LED 광

질 처리구인 white (W), blue (B), red (R), blue + red (B + R), blue + red + far-red (B + R + FR) 및 blue + red + white (B + R + W)에서 귀오즙풀의 생육 및 생리적 반응을 비교·분석하였다. 특히 생육 특성과 함께 NDVI, MCARI1, PRI 및 SIPI를 측정하여 광질별 생리반응을 정량적으로 평가하였다. 본 연구 결과는 스마트팜 기반 약용작물의 광환경 최적화를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

재료 및 방법

1. 식물재료 및 재배환경

본 연구는 농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 스마트팜 생산 표준화 연구동 (충북 음성군 소재)에서 수행하였다. 실험에 사용된 식물은 4주간 육묘한 귀오즙풀 (*Valeriana fauriei* Briq.) 유묘로, 균일한 개체를 선별하여 지름 12 cm의 포트에 정식하였다. 재배는 상토 (Baroker, Seoul Bio, Korea)를 이용한 토경재배 (soil cultivation) 방식으로 수행하였으며, 상토의 주요 구성성분은 코코피트 68%, 피트모스 14.7%, 펄라이트 7%, 질석 6%로 이루어졌다. 재배기간은 총 7주로 설정하였으며, 광·온·습도 등 생육환경은 스마트팜 제어시스템을 통해 자동으로 조절하였다. 재배실 구성, LED 처리 장치 및 자동관수 시스템은 Fig. 1에 제시하였다. 모든 처리구는 동일한 광주기, 온·습도 및 관수 조건에서 재배하여 광질 외 환경요인의 영향을 최소화하였다. 재배실의 평균 공기온도는 $18 \pm 1^\circ\text{C}$, 상대습도는 $60 \pm 10\%$ 로 유지하였고, 관수에 사용된 용수의 평균 온도는 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 였다. 자동관수 장치를 이용하여 1분 30초 동안 약 100 mL를 공급한 후 47시간 58분 30초의 휴지기를 반복하였으며, 모든 처리구에 동일한 수분 관리 조건을 적용하였다. Imagination Garden SmartFarm Operation System (Imagination Garden Inc., Andong, Korea)을 이용하여 광·온·습도 환경을 정밀 제어하였으며, 광합성광양자속밀도 (Photosynthetic Photon Flux Density, PPF)는 약 $150 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 일정하게 유지하였다. 재배기간 중 추가적인 비료나 양분 공급은 실시하지 않았다.

2. LED 광질 처리

광원 처리는 백색 (white, W), 청색 (blue, B), 적색 (red, R), 청색 + 적색 (blue + red, B + R), 청색 + 적색 + 원적색 (blue + red + far-red, B + R + FR), 청색 + 적색 + 백색 (blue + red + white, B + R + W)의 6개 LED 광질 처리구로 구성하였다 (Table 1). LED 스펙트럼은 OHSP-350P 분광분석기 (Hoopcolor Co., Ltd., Hangzhou, China)를 이용하여 측정하였으며, 각 파장별 상대 세기는 실측값을 기준으로 제시하였다. 스마트팜 제어시스템은 Imagination Garden SmartFarm Operation System (Imagination Garden Inc., Andong, Korea)을 이용하였다.

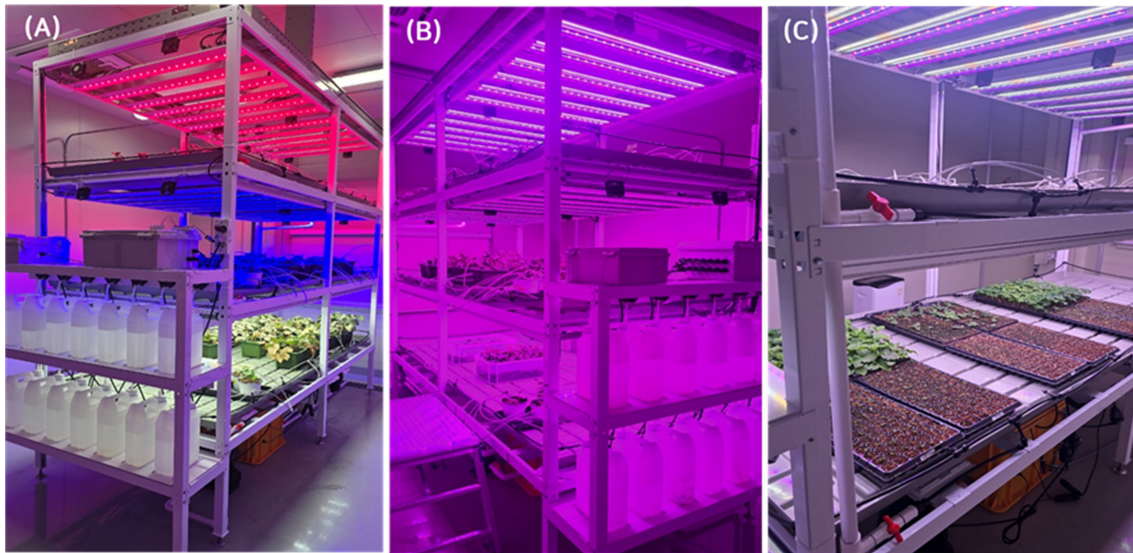


Fig. 1. Cultivation environment and seedling production of *Valeriana fauriei* in a smart farm. (A) LED cultivation system used for the W, B, and R treatments; (B) LED cultivation system used for the B + R, B + R + FR, and B + R + W treatments; and (C) seedlings prior to transplantation.

Table 1. Spectral composition of LED treatments and common cultivation conditions for growth of *Valeriana fauriei*.

Treatment	White LED (%) [*]	Blue LED (%)	Red LED (%)	Far-red LED (%)	PPFD ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
W	67	-	-	-	146
B	-	100	-	-	140
R	-	-	61	-	145
B + R	-	19	38	-	149
B + R + FR	-	18	36	100	150
B + R + W	4	15	28	-	150

Photoperiod was maintained at 16 h light / 8 h dark. Air temperature and water temperature were controlled at 18°C and 20°C, respectively. Irrigation was applied for 1 min 30 s every 47 h 58 min 30 s.

^{*}White LED included a broad-spectrum wavelength range.

3. 생육 및 생리적 특성 조사

생육 조사는 정식 후 1주차부터 7주차까지 매주 1회 실시하였다. 측정 항목은 초장 (plant height)과 분지수 (number of branches)이며, 초기 반복수는 처리당 10개체였다. 다만 재배 기간 중 일부 개체의 고사로 인해 최종 분석의 표본수는 측정 항목 및 시점에 따라 처리구별로 다소 상이하였다. 잎의 엽록소 수준을 간접적으로 반영하는 상대적 지표는 SPAD 502 Plus (Konica Minolta, Japan)를 이용하여 비파괴적으로 측정하였고, 결과는 SPAD 값으로 나타내었다. 식물체의 생리적 활성 평가는 RP410/UVIS (PSI, Czech Republic) 휴대형 식생지수측정기를 이용하여 수행하였으며, 정규화 식생지수 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), 수정 엽록소 흡수반사지수 (Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index 1, MCARI1), 광화학 반사지수 (Photochemical Reflectance Index, PRI) 및 구조 민감도 제거 색소지수 (Structure Insensitive

Pigment Index, SIPI)를 측정하였다. 재배 종료 후 (7주차) 각 처리구의 식물체를 채취하여 초장, 분지수, 생체중 (fresh weight) 및 건물중 (dry weight)을 조사하였으며, 건물중은 동결건조기에서 완전히 건조한 후 측정하였다.

4. 통계분석 및 그래프 작성

단일 시점에서 측정된 항목은 일원분산분석 (one-way ANOVA)을 이용하여 처리 간 차이를 검정하였으며, 유의성이 인정된 경우 Tukey의 HSD 검정 ($p < 0.05$)을 통해 평균 간 차이를 비교하였다. 주차별로 반복 측정된 항목은 반복측정 이원분산분석 (repeated-measures two-way ANOVA)을 실시하여 처리, 시간 및 처리 × 시간 상호작용의 효과를 검정하였고, 필요 시 Bonferroni의 다중비교 검정을 수행하였다. 모든 그래프는 GraphPad Prism 10.0 (GraphPad Software, San Diego, CA, USA)을 사용하여 작성하였으며, 결과는 평균 ± 표준편차

(standard deviation, SD)로 나타내었다.

결과 및 고찰

1. LED 광질 처리별 스펙트럼 특성

LED 광질 처리에 따른 스펙트럼 분포는 처리구 간 뚜렷한 차이를 나타내었다 (Fig. 2). 백색광 처리구 (W)는 가시광 전 영역에 걸친 비교적 연속적인 스펙트럼을 보여 다양한 파장대가 혼합된 광환경을 형성하였다 (Fig. 2A). 청색광 처리구 (B)는 450 nm 부근에서 뚜렷한 피크를 나타내었으며 (Fig. 2B), 이는 cryptochrome 및 phototropin과 관련된 대표적 청색광 파장대로 알려져 있다 (Folta and Carvalho, 2015). 적색광 처리구 (R)는 약 660 nm 영역에서 강한 피크를 보였고 (Fig. 2C), 이는 phytochrome 매개 반응과 밀접하게 관련된 파장 특성으로 해석된다 (Casal, 2013). 복합 파장 처리구에서는 두 개 이상의 주요 파장 피크가 동시에 확인되었다. B + R 처리구는 청색과 적색 영역의 피크가 함께 나타났으며 (Fig. 2D), B + R + FR 처리구는 660 nm 부근의 적색 피크와 함께 730 nm 부근의 원적색 피크가 추가로 확인되었다 (Fig. 2E). 이러한 스펙트럼 특성은 phytochrome의 Pr/Pfr 전환 및 저 R:FR 환경에서의 형태형성 반응과 관련지어 해석할 수 있다 (Casal, 2013; Demotes-Mainard *et al.*, 2016). 한편, B + R + W 처리구는 청색, 적색 및 백색광의 스펙트럼 요소를 모두 포함하여 (Fig. 2F), 다른 처리구에 비해 보다 복합적인 광환경을 형성하였다. 이와 같은 처리구별 스펙트럼 구성의 차이는 이후 관찰된 지상부 형태 (Fig. 3 and 4), 생체량 축적 (Fig. 5 and 6) 및 생리적 지표 (Fig. 7)의 차이를 해석하는 기초 자료로 판단된다.

2. 형태적 성장 반응

2.1. LED 광질 처리에 따른 최종 형태 특성 비교

LED 광질 처리에 따라 쥐오줌풀의 최종 형태적 특성은 서로

다른 양상을 나타내었다 (Fig. 3). 7주차 대표 이미지를 비교한 결과, B + R, B + R + FR 및 B + R + W 처리구는 W, B 및 R 처리구에 비해 전반적으로 수관이 더 넓게 형성되고 엽 전개가 양호한 경향을 보였다. 특히 B + R + FR 처리구는 지상부 신장이 비교적 두드러졌으며, B + R 및 B + R + W 처리구도 비교적 균일한 초형을 나타내었다. 이러한 경향은 청색광과 적색광의 조합이 광합성 및 광형태형성 반응에 복합적으로 관여하고, 원적색광의 추가가 phytochrome 관련 신호를 통해 신장 생장에 영향을 줄 수 있다는 기존 보고와 유사한 방향성을 보였다 (Hogewoning *et al.*, 2010; Casal, 2013; Demotes-Mainard *et al.*, 2016). 반면, R 처리구는 일부 개체에서 지상부 발달이 상대적으로 제한적으로 나타났으며, B 처리구는 잎색이 진하게 관찰되는 경향을 보였다. 이는 적색광 단독 조건에서는 보충적 광신호가 충분하지 않을 수 있고, 청색광은 cryptochrome 및 phototropin 신호를 통해 엽록소 축적과 광형태형성에 관여할 수 있기 때문으로 해석된다 (Folta and Carvalho, 2015; Wang *et al.*, 2016). 또한 B + R, B + R + FR 및 B + R + W 처리구에서 전반적인 생육 상태가 비교적 안정적으로 관찰된 점은 다중 파장 조합이 형태 형성에 보다 유리하게 작용하였을 가능성을 시사한다. 다만, Fig. 3은 대표 이미지에 기반한 정성적 비교 자료이므로, 처리구 간 형태 차이에 대한 해석은 Fig. 4의 초장 및 분지수 결과와 함께 종합적으로 판단하는 것이 타당하다.

2.2. LED 광질 처리에 따른 초장 및 분지수 변화

LED 광질 처리에 따라 쥐오줌풀의 초장과 분지수는 처리구 별로 서로 다른 양상을 나타내었다 (Fig. 4). 초장은 모든 처리구에서 재배 기간 동안 전반적으로 증가하였으며, 4주차 이후 처리구 간 평균값 차이가 점차 확대되는 경향이 관찰되었다 (Fig. 4A). 7주차 평균 초장은 B + R + FR 처리구에서 16.6 cm로 가장 높았고, B 처리구와 B + R 처리구는 각각 14.1 cm와 13.9 cm를 나타내었다. 반면, R 처리구는 10.4 cm로 가장 낮았으며,

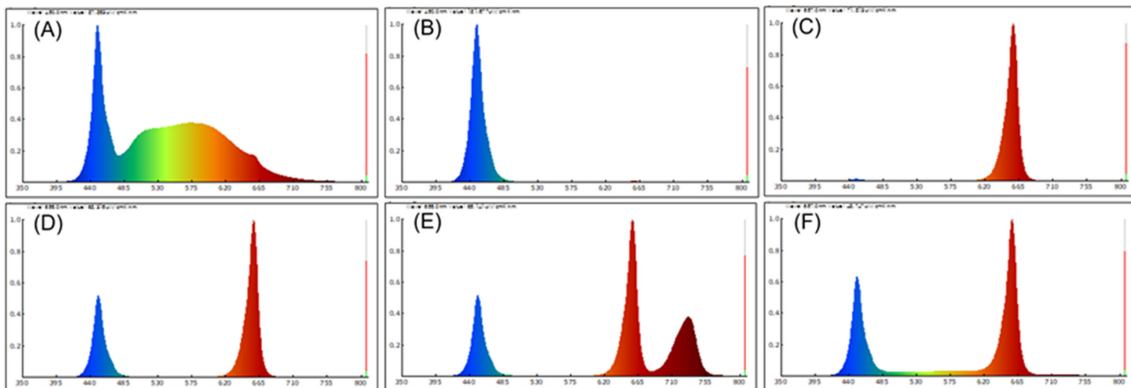


Fig. 2. Spectral distributions of the six LED light-quality treatments used in this study. Emission spectra were measured using an OHSP-350P spectrometer. The treatments were white (W) (A), blue (B) (B), red (R) (C), blue + red (B + R) (D), blue + red + far-red (B + R + FR) (E), and blue + red + white (B + R + W) (F).



Fig. 3. Representative shoot morphology of *Valeriana fauriei* at 7 weeks after transplantation under different LED light-quality treatments. Representative plants grown under six LED spectra (W, B, R, B + R, B + R + FR, and B + R + W) are shown. Scale bar = 5 cm.

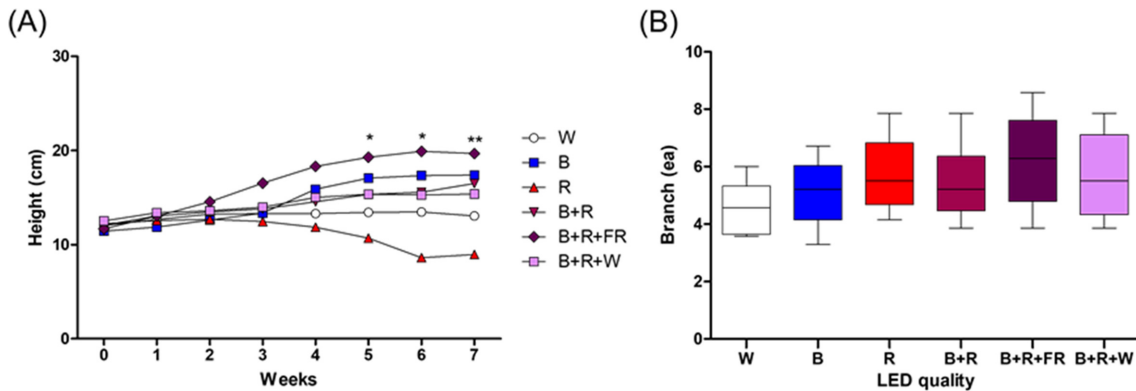


Fig. 4. Growth responses of *Valeriana fauriei* under different LED light-quality treatments. Weekly changes in plant height during 7 weeks of cultivation (A) and number of branches at 7 weeks after transplantation (B) are shown for plants grown under six LED spectra: W, B, R, B + R, B + R + FR, and B + R + W. Values in (A) are mean \pm standard deviation. In (B), boxes indicate the median and interquartile range, and whiskers indicate the minimum and maximum values. Asterisks indicate significant differences between treatments at the same week (* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$).

W와 B + R + W 처리구는 각각 13.3 cm와 13.2 cm를 보였다. 이러한 경향은 청색광과 적색광의 조합, 그리고 원적색의 추가가 형태형성 및 신장 성장에 영향을 미칠 수 있다는 기존 보고와 유사한 방향성을 보였다 (Hogewoning *et al.*, 2010; Demotes-Mainard *et al.*, 2016). 반복측정 이원분산분석 결과, 초장은 재배 기간에 따라 유의한 변화를 나타내었고 처리와 기간의 상호작용도 유의하였다. 또한 Bonferroni의 다중비교 결과, W 처리구와 B + R + FR 처리구 사이에서 5주차와 6주차에는 $p < 0.05$, 7주차에는 $p < 0.01$ 수준의 유의한 차이가 확인되었다. 한편, 7주차 분지수는 B + R + FR 처리구에서 8.0개로 가장 높았고, R, B + R 및 B + R + W 처리구는 각각 7.8개, 7.6개 및 7.7개를 나타내었다 (Fig. 4B). 반면, B 처리구와 W 처리구는 각각

6.3개와 6.0개로 상대적으로 낮은 수준을 보였다. 이러한 결과는 원적색이 포함된 광질 조성이 지상부 신장뿐 아니라 분지형성과 관련된 성장 반응에도 영향을 미칠 가능성을 시사한다 (Casal, 2013). 그러나 7주차 분지수의 처리구 간 차이는 통계적으로 유의하지 않았으므로, 본 결과는 경향 수준에서 해석하는 것이 타당하다. 따라서 LED 스펙트럼 조성은 쥐오줌풀의 신장 성장과 분지형성에 영향을 미칠 가능성을 보였으나, 처리구 내 개체 간 변이가 커 일부 항목에서는 통계적 유의성이 제한된 것으로 판단된다.

3. 지상부·지하부 형태 비교

LED 광질에 따른 쥐오줌풀의 형태적 차이는 수확 시점의 대

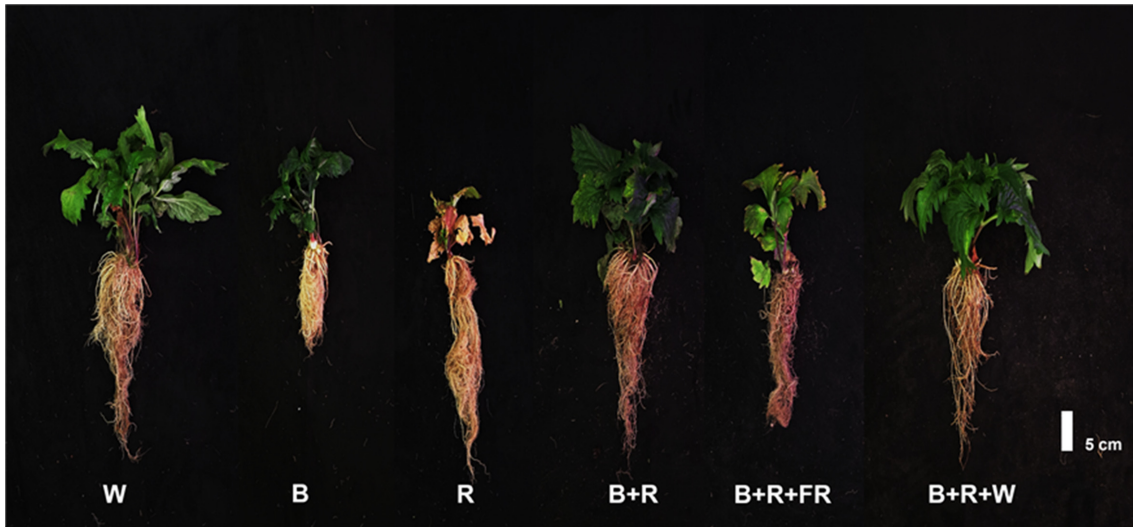


Fig. 5. Representative shoot and root morphology of *Valeriana fauriei* after 7 weeks of cultivation under different LED light-quality treatments. Representative plants grown under six LED spectra (W, B, R, B + R, B + R + FR, and B + R + W) are shown. Scale bar = 5 cm.

표 이미지에서 확인되었다 (Fig. 5). W, B 및 R 처리구는 전반적으로 지상부 발달이 다소 제한적인 경향을 보였으며, 특히 R 처리구에서는 잎 전개가 상대적으로 적은 개체가 관찰되었다. 반면, B + R, B + R + FR 및 B + R + W 처리구에서는 지상부 잎 전개가 비교적 활발한 개체가 관찰되었다. 이러한 경향은 청색광과 적색광의 조합, 그리고 원적색광의 추가가 식물의 형태형성과 성장 반응에 영향을 줄 수 있다는 기존 보고와 유사한 방향성을 보였다 (Hogewoning *et al.*, 2010; Demotes-Mainard *et al.*, 2016). 한편, 지하부 형태에서도 처리구 간 차이가 일부 관찰되었으나, 대표 이미지에 기반한 정성적 비교이므로 뿌리 발달 정도를 정량적으로 판단하는 데에는 한계가 있다. 실제로 일부 W 및 R 처리구에서도 비교적 양호한 지하부 생육을 보인 개체가 확인되어, Fig. 5만을 근거로 특정 처리구의 뿌리 생장이 우수하다고 단정하기는 어렵다. 따라서 Fig. 5는 LED 광질에 따라 수확 시 식물체의 지상부 및 지하부 형태에 차이가 나타날 수 있음을 보여주는 보조적 자료로 해석하는 것이 타당하다.

4. 생체중·건물중 및 R/S ratio 변화

LED 광질에 따라 쥐오줌풀의 생체중, 건물중 및 R/S ratio는 처리구별로 차이를 나타내었으며, 특히 일부 지상부 및 지하부 생체량 항목과 R/S ratio에서 처리 간 유의한 차이가 확인되었다 (Fig. 6). 지상부 생체중 평균은 W, B, R 처리구에서 각각 12.90, 18.19 및 18.33 g이었고, B + R, B + R + FR 및 B + R + W 처리구에서는 각각 27.40, 31.12 및 25.61 g으로 상대적으로 높은 값을 나타내었다. 지상부 건물중 또한 W, B, R 처리구에서 각각 1.82, 2.75 및 2.10 g이었던 반면, B + R, B + R + FR 및 B + R + W 처리구에서는 각각 4.11, 6.14 및 3.77 g으로

높은 경향을 보였다. 특히 B + R + FR 처리구는 지상부 생체중과 건물중의 평균값이 가장 높아, 원적색이 포함된 광질 조성이 지상부 생체량 축적에 영향을 미쳤을 가능성을 시사하였다. 이러한 경향은 적색 및 원적색 신호가 식물의 형태형성과 성장 반응에 관여할 수 있다는 기존 보고와 유사한 방향성을 보였다 (Casal, 2013; Demotes-Mainard *et al.*, 2016). 지하부 생육 역시 처리구에 따라 평균값 차이를 나타내었다. 지하부 생체중은 W, B, R, B + R, B + R + FR 및 B + R + W 처리구에서 각각 13.42, 5.72, 11.56, 15.20, 12.65 및 11.07 g이었고, 지하부 건물중은 각각 1.76, 1.27, 1.36, 3.18, 2.62 및 2.36 g으로 나타났다. 특히 B + R 처리구는 지하부 생체중과 건물중에서 가장 높은 평균값을 보였고, B + R + FR 처리구도 비교적 높은 수준을 나타내었다. 이는 청색광과 적색광의 조합, 그리고 원적색광의 추가가 기관별 생체량 분배에 영향을 미칠 가능성을 시사하는 결과로 해석될 수 있다 (Casal, 2013; Demotes-Mainard *et al.*, 2016). 한편, B 처리구의 지하부 생체중과 건물중은 각각 5.72 g 및 1.27 g으로 다른 처리구에 비해 낮은 경향을 보였다. 이는 본 실험 조건에서 청색광 단독 처리가 지하부 생체량 축적에 상대적으로 불리하게 작용했을 가능성을 보여주지만, 청색광의 효과는 작물종, 광량, 조사 시간 및 다른 파장과의 조합에 따라 다르게 나타날 수 있으므로 본 연구 조건에서 관찰된 반응으로 제한하여 해석할 필요가 있다 (Wang *et al.*, 2016; van Gelderen *et al.*, 2018). R/S ratio는 처리구 간 생체량 분배 양상의 차이를 반영하였다 (Fig. 6E). 평균값은 W, B, R, B + R, B + R + FR 및 B + R + W 처리구에서 각각 0.91, 0.70, 0.92, 0.68, 0.52 및 0.74로 나타났다. B + R + FR 처리구는 지상부 생체량과 건물중이 높은 반면 R/S ratio는 상대적으로 낮아, 원적색이 포함된

LED 광질에 따른 쥐오줌풀의 생육 및 생리 특성

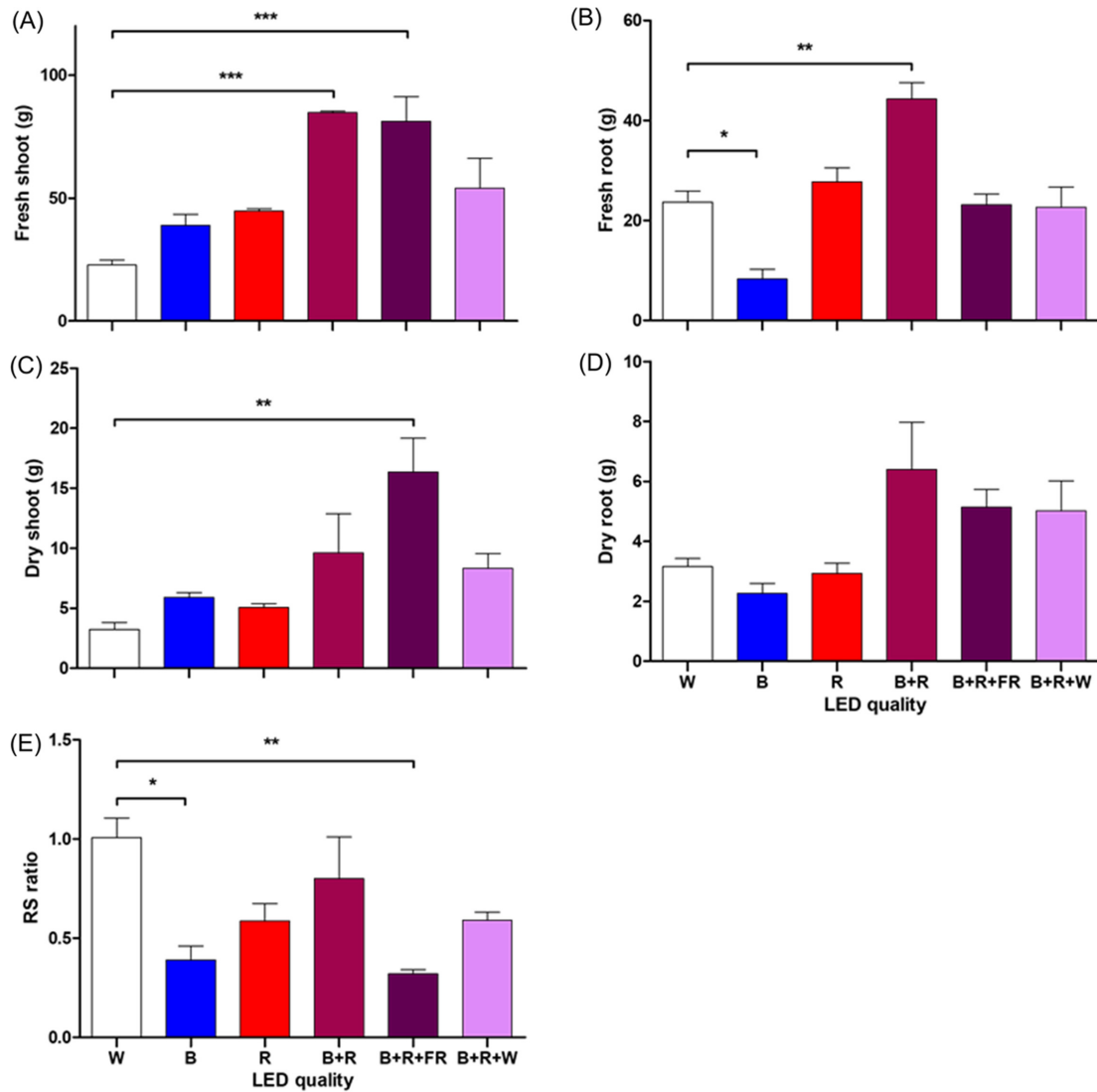


Fig. 6. Fresh weight, dry weight, and root-to-shoot ratio of *Valeriana fauriei* grown under different LED light-quality treatments. Shoot fresh weight (A), root fresh weight (B), shoot dry weight (C), root dry weight (D), and root-to-shoot (R/S) ratio (E) were measured after 7 weeks under six LED spectra: W, B, R, B + R, B + R + FR, and B + R + W. Values are mean ± standard deviation. Asterisks indicate significant differences between the indicated treatments (* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$).

조건에서 지상부 생장이 보다 우세하였을 가능성을 보여주었다. 반면, B + R 처리구는 지하부 건물중이 가장 높았으나 R/S ratio는 0.68로 나타나, 전체 생체량 증가가 반드시 지하부 비율 증가와 일치하지는 않음을 시사하였다. 다만 처리구 내 개체 간 변이가 비교적 크게 나타났으므로, R/S ratio의 처리 효과는 평균값과 분포를 함께 고려하여 해석할 필요가 있다. 이상의 결과는 LED 스펙트럼 조성이 쥐오줌풀의 전체 생체량 축적과 기관별 생체량 분배에 영향을 미칠 수 있음을 보여준다. 특히 B + R 및 B + R + FR 처리구는 일부 생체량 항목에서 유의하거나 상대적으로 높은 값을 나타내어, 스마트팜 환경에서 쥐오줌풀의 생육량 확보를 위한 유망한 광질 조합이 될 가능성을 시사하였다.

5. 생리·광합성 지표 변화

LED 광질은 쥐오줌풀의 생리·광합성 반응에도 변화를 유도하였다 (Fig. 7). NDVI 값은 재배 기간 동안 처리구별로 상이한 변동 양상을 나타내었다 (Fig. 7A). 재배 초기 (0-2주차) 평균값은 처리구 간 큰 차이를 보이지 않았고, 7주차에는 B 처리구가 0.8193으로 가장 높았으며 B + R 처리구 (0.8008)와 B + R + W 처리구 (0.7842)도 비교적 높은 수준을 보였다. 반면 B + R + FR 처리구의 7주차 값은 0.7576으로 상대적으로 낮았다. 따라서 NDVI는 일부 처리구에서 재배 중·후반기에 상대적으로 높은 값을 나타내는 경향을 보였다. MCARI1은 재배 기간 중 처리구에 따라 뚜렷한 변동을 보였다 (Fig. 7B). W 처리구는 0

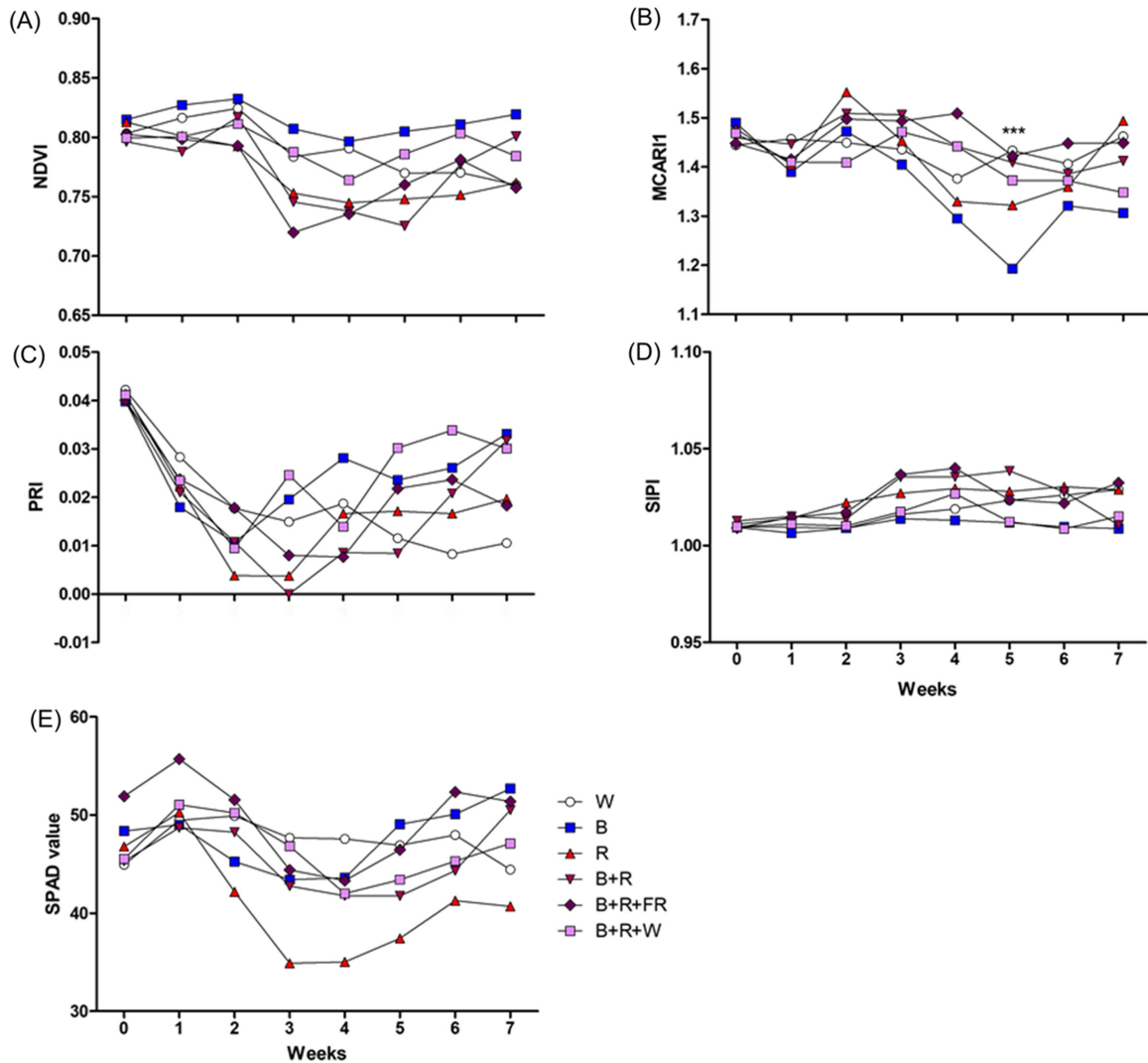


Fig. 7. Weekly changes in physiological parameters and vegetation indices of *Valeriana fauriei* under different LED light-quality treatments. NDVI (A), MCARI1 (B), PRI (C), SIPI (D), and SPAD value (E) were measured weekly for 7 weeks. Plants were grown under six LED spectra: W, B, R, B + R, B + R + FR, and B + R + W. Values are mean \pm standard deviation. Asterisks indicate significant differences among treatments within the same week according to Bonferroni's multiple comparisons test (** $P < 0.001$).

주차 1.4445에서 7주차 1.4624로 큰 변동 없이 유지된 반면, B 처리구는 2주차 1.4721에서 5주차 1.1927까지 감소한 뒤 7주차 1.3063을 나타내었다. B + R 처리구는 3주차에 1.5062를 나타내었고, B + R + FR 처리구는 6-7주차에 각각 1.4482와 1.4488을 보여 후반기에도 비교적 높은 수준을 유지하였다. 이러한 결과는 원적색이 포함된 광질 조성이 엽면 성장과 색소 관련 특성에 영향을 미칠 수 있다는 기존 보고와 부분적으로 유사하며 (Demotes-Mainard *et al.*, 2016), 적·청 광질 조합의 효과와도 같은 맥락에서 해석될 수 있다 (Wang *et al.*, 2016). PRI 값은 광에너지 활용 효율과 xanthophyll cycle 활성 정도를 나타내는 지표로, 처리구별 차이가 비교적 뚜렷하였다 (Fig. 7C). W 처리구

는 전 기간 동안 0.0083-0.0422 범위에서 비교적 안정적이었고, B 처리구는 2주차에 0.0107까지 감소한 뒤 7주차 0.0331을 나타내었다. R 처리구는 3주차에 0.0037로 낮아졌고, B + R 처리구는 3주차에 0에 가까운 값을 나타내었다. PRI는 정규화 반사지수의 특성상 측정 시의 광환경, 색소 상태 및 광보호 반응에 따라 0 이하의 값을 나타낼 수 있으므로, 본 연구에서 일부 개체에서 관찰된 음수값도 이상치라기보다는 광에너지 이용 및 xanthophyll cycle 관련 반응 변화가 반영된 결과로 해석하는 것이 타당하다 (Gamon *et al.*, 1992; Garbulsky *et al.*, 2011). SIPI는 카로티노이드/엽록소 비율 변화를 반영하는 지표로, 다른 지표에 비해 처리구 간 차이는 비교적 크지 않았다 (Fig. 7D). 대

부분의 처리구에서 평균값이 1.00–1.04 범위에 분포하였고, 일부 시점, 특히 4주차에는 B + R 처리구와 B + R + FR 처리구가 다소 높은 값을 보였다. 반면 B + R + W 처리구는 전 기간 동안 비교적 안정적인 수준을 유지하였다. 따라서 SIPI는 일부 시점에서 처리구 간 차이가 관찰되었으나, 전반적으로 광질에 따른 색소 조성 변화는 제한적인 수준으로 판단된다 (Frede *et al.*, 2023). SPAD 값은 잎의 엽록소 수준을 간접적으로 반영하는 상대적 지표로, 처리구에 따라 주차별 변동 양상이 다르게 나타났다 (Fig. 7E). W 처리구는 0주차 44.9에서 1주차 49.5로 증가한 뒤 7주차 44.4를 나타내었고, R 처리구는 1주차 50.2에서 4주차 35.0까지 감소한 뒤 7주차 40.7을 나타내었다. 반면 B 처리구는 3주차에 43.4까지 감소한 뒤 7주차 52.7로 회복되었으며, B + R과 B + R + FR 처리구도 7주차에 각각 50.5와 51.4를 나타내었다. 이는 LED 광질 조성이 엽록소 수준과 광합성 관련 생리 상태에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 이상의 결과는 LED 스펙트럼 조성이 광합성 관련 반사지표, 색소 조성 및 엽록소 수준과 관련된 생리적 상태 변화에도 영향을 미칠 가능성을 보여준다. 다만 각 지표의 처리 효과는 측정 시점에 따라 다르게 나타났으므로, 특정 광질이 모든 생리 지표에서 일관되게 우수하다고 일반화하기보다는, LED 광질이 생육 단계별 생리 반응 양상에 차별적으로 작용한 것으로 해석하는 것이 타당하다.

ACKNOWLEDGMENTS

본 연구는 농촌진흥청 시험연구사업(PJ01756102)의 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Ahn YS, Hur M, An TJ, Park CG, Kim YG, Park CB and Baek WS. (2012). Study on flowering, bearing fruit, seed harvesting and seedling transplanting cultivation of *Valeriana fauriei* Briquet. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 20:365-371.
- Casal JJ. (2013). Photoreceptor signaling networks in plant responses to shade. Annual Review of Plant Biology. 64:403-427.
- Cho CH, Lee JC, Choi HY and Oh DK. (1997). Effects of temperature, light intensity and soil moisture on growth, yield and essential oil content in valerian (*Valeriana fauriei* var. *dasycarpa* Hara). Korean Journal of Crop Science. 42:22-32.
- Demotes-Mainard S, Péron T, Corot A, Bertheloot J, Le Gourrierec J, Pelleschi-Travier S, Crespel L, Morel P, Huché-Théliér L, Boumaza R, Vian A, Guérin V, Leduc N and Sakr S. (2016). Plant responses to red and far-red lights, applications in horticulture. Environmental and Experimental Botany. 121:4-21.
- Folta KM and Carvalho SD. (2015). Photoreceptors and control of horticultural plant traits. HortScience. 50:1274-1280.
- Franklin KA and Quail PH. (2010). Phytochrome functions in *Arabidopsis* development. Journal of Experimental Botany. 61:11-24.
- Frede K, Winkelmann S, Busse L and Baldermann S. (2023). The effect of different LED spectra on the metabolic and transcriptional level of the carotenoid metabolism in *Brassica sprouts*. BMC Plant Biology. 23:328.
- Gamon JA, Penuelas J and Field CB. (1992). A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. Remote Sensing of Environment. 41:35-44.
- Garbulsky MF, Penuelas J, Gamon J, Inoue Y and Filella I. (2011). The photochemical reflectance index(PRI) and the remote sensing of leaf, canopy and ecosystem radiation use efficiencies: A review and meta-analysis. Remote Sensing of Environment. 115:281-297.
- Hogewoning SW, Trouwborst G, Maljaars CEP, Poorter H, van Ieperen W and Harbinson J. (2010). Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. Journal of Experimental Botany. 61:3107-3117.
- Kami C, Lorrain S, Hornitschek P and Fankhauser C. (2010). Light-regulated plant growth and development. Current Topics in Developmental Biology. 91:29-66.
- Kong Y and Zheng Y. (2024). Magic blue light: A versatile mediator of plant elongation. Plants. 13:115.
- Lee DH, Park SH, Huh YH, Kim MJ, Seo HD, Ha TY, Ahn J, Jang YJ and Jung CH. (2020). Iridoids of *Valeriana fauriei* contribute to alleviating hepatic steatosis in obese mice by lipophagy. Biomedicine & Pharmacotherapy. 125:109950.
- Lee JC. (1995a). Effect of temperature on the growth of Korean valerian (*Valeriana fauriei* var. *dasycarpa* HARA). Korean Journal of Medicinal Crop Science. 3:77-80.
- Lee JC. (1995b). Effect of soil moisture content on the growth of Korean valerian (*Valeriana fauriei* var. *dasycarpa* HARA). Korean Journal of Medicinal Crop Science. 3:81-83.
- Li J, Li X, Wang C, Zhang M, Ye M and Wang Q. (2022). The potential of *Valeriana* as a traditional Chinese medicine: Traditional clinical applications, bioactivities, and phytochemistry. Frontiers in Pharmacology. 13:973138. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.973138> (cited by 2026 Mar 18).
- McCree KJ. (1972). The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. Agricultural Meteorology. 9:191-216.
- Ouzounis T, Rosenqvist E and Ottosen CO. (2015). Spectral effects of artificial light on plant physiology and secondary metabolism: A review. HortScience. 50:1128-1135.
- Paradiso R and Proietti S. (2022). Light-quality manipulation to control plant growth and photomorphogenesis in greenhouse horticulture: The state of the art and the opportunities of modern LED systems. Journal of Plant Growth Regulation. 41:742-780.
- Park YJ, Kim YG, Jeong SM, Kim YS and Park IK. (2025). Effect of light intensity on growth and volatile compound content of *Valeriana fauriei* in a walk-in growth chamber. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 33:1-10.
- Ryu KS. (1974). Monoterpenoid of Korean valerian roots. Korean Journal of Pharmacogenetics. 5:1-6.

- Taiz L, Zeiger E, Møller IM and Murphy A.** (2015). *Plant Physiology and Development*. 6th ed. Sunderland, MA, USA: Sinauer Associates.
- Tan T, Li S, Fan Y, Wang Z, Raza MA, Shafiq I, Wang B, Wu X, Yong T, Wang X, Wu Y and Yang W.** (2022). Far-red light: A regulator of plant morphology and photosynthetic capacity. *The Crop Journal*. 10:300-309.
- van Gelderen K, Kang C and Pierik R.** (2018). Light signaling, root development, and plasticity. *Plant Physiology*. 176:1049-1060.
- Wang J, Lu W, Tong Y and Yang Q.** (2016). Leaf morphology, photosynthetic performance, chlorophyll fluorescence, stomatal development of lettuce(*Lactuca sativa* L.) exposed to different ratios of red light to blue light. *Frontiers in Plant Science*. 7:250.