Journal of Environmental Science International
34(9); 539~547; September 2025
pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
https://doi.org/10.5322/JESI.2025.34.9.539

ORIGINAL ARTICLE

원적색광이 *Scabiosa columbaria* “Blue Note”의 생육 및 개화 품질에 미치는 영향

안성광[1,2)*]
[1)]부산대학교 원예생명과학과, [2)]부산대학교 생명산업융합연구원

Effects of Far-red Light on the Growth and Flowering of *Scabiosa columbaria* “Blue Note”

Seong Kwang An[1,2)*]
[1)]*Department of Horticultural Bioscience, Pusan National University, Miryang 50463, Korea*
[2)]*Life and Industry Convergence Research Institute, Pusan National University, Miryang 50463, Korea*

Abstract

This study has examined the impact of far-red (FR) light supplementation on photosynthesis, growth, and flowering of *Scabiosa columbaria* “Blue Note”. FR treatment considerably increased the chlorophyll fluorescence parameters (Fv/Fm, Yield), indicating enhanced photosynthetic efficiency through accelerated plastoquinone re-oxidation and improved PSII reaction center reopening. Morphologically, FR exposure promoted stem elongation, leaf expansion, and shoot dry mass to a greater extent than in the control. The flowering quality was also enhanced as FR increased the number and length of inflorescences without affecting flowering time. These results suggest that FR light simultaneously improves photochemical efficiency and induces favorable morphogenic responses via R:FR signaling, thereby enhancing both vegetative growth and ornamental quality.

Key words : Photosynthesis, Extended-PAR, Ornamental plants, R:FR, Shade avoidance

1. 서 론

빛은 광합성에 필요한 주요 에너지원이며, 식물은 일반적으로 적색광(red, 600~680 nm)에서 CO_2 고정의 양자수율이 가장 높으며, 청색광이나 녹색광보다 효율적으로 알려져 있다(Evans, 1987). 원적색광(far-red, 700~800 nm)의 경우 적색광과의 비율(R:FR)에 따라 식물의 광형태형성 반응 유도하며(Pierik and de Wit, 2014), 낮은 R:FR은 Phytochrome을 통해 신속한 유전자 발현 변화를 일으켜 도장(stem elongation)으로 표현되는 신장생장과 같은 표현형으로 음지회피반응(shade avoidance syndrome)을 유도함으로써 경쟁 환경에서 식물의 생존 전략을 가능케 한다(Demotes-Mainard et al., 2016). 특히 화훼류에서 R:FR 비율은 가지의 분지, 줄기와 잎의 신장을 통한 초장 조절, 그리고 일장반응을 통해 작물의 개화 조절에 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Zhen et al., 2021; Tan et al., 2022).

Received 19 August, 2025; Revised 15 September, 2025;
Accepted 15 September, 2025
*Corresponding author : Seong Kwang An, Department of Horticultural Bioscience, Pusan National University, Miryang 50463, Korea
Phone : +80-55-350-5521
E-mail : seongkwangan@pusan.ac.kr

최근 원적색광은 기존에 알려진 광형태형성과 더불어 광합성 시 광계II(PSII)의 효율을 증대함으로써 광합성효율 향상시킬 수 있다는 연구 결과들이 보고되었고(Zhen and van Iersel, 2017; Zhen et al., 2019), 원적색광의 처리를 통해 잎의 신장을 촉진하는 광형태형성 반응의 결과는 엽면적 증가를 통해 광 수확량의 절대치를 증가시킬 수 있으며 이는 결과적으로 식물의 총 광합성율 증가시킬 수 있다고 보고된 바 있다(Carotti et al., 2024). 따라서 인공광원을 이용하여 식물을 생육시에 원적색광을 처리하는 것은 식물의 생산량 증대에 영향을 줄 수 있으며, 이로 인한 반응은 식물의 형태가 관상가치를 좌우하는 화훼류 작물의 품질에 영향을 줄 수 있을 것이다.

국내에서 솔체꽃으로 불리우는 *Scabiosa columbaria* 는 높은 관상가치를 가진 다년생 숙근초로, 큰 잎과 긴 화서를 갖고 있어 절화용으로 재배되고 있다(Grime et al., 1988). 특히 “Blue Note” 품종의 경우, 대부분의 품종과 달리 왜성의 특성을 갖아 분화 및 정원식물로 인기가 점점 높아지고 있으나, 적절한 광 환경관리에 대한 정보가 부족하여 도장이 발생하거나, 도장 억제를 위한 왜화제(growth retardant)의 사용으로 식물이 위축되어 품질을 상실하는 경우가 발생한다. 따라서 본 연구에서는 *S. columbaria* “Blue Note”의 생산성과 품질에 미치는 영향을 확인하기 위하여 다양한 원적색광 처리를 통한 광합성 효율과 형태적 반응을 평가하기 위해 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 식물재료 및 실험환경

본 실험에 사용된 *S. columbaria* “Blue Note” 플러그 묘는 국내의 재배농가(Samhyun farm, Gyeonggi-do, Korea)를 통해 구입하였으며, 10 cm (440 mL) 폭의 화분에 원예용상토(Baroker, Seoul Bio Co., Ltd., Chungcheongbuk-do, Korea)로 채워 이식하였다. 이후, 완전밀폐형 육묘실에서 온도는 20°C, 광도는 튜브형 백색 LEDs (LEDT5-12020-DHE, FOCUS lighting Co., Ltd., Gyeonggi-do, Korea)를 식물의 정단부 위로 약 30 cm높이에 설치해 광합성유효방사(Photosynthetic active radiation, 400 nm~700 nm) 내 광합성유효광량자속밀도(photosynthetic photon flux density)가 식물의 정단부에 약 150 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$수준으로 공급되도록 PWM 조절장치를 통해 공급하였고, 12/12시간(주/야) 일장에서 2주간 순화시켰다. 관수의 공급은 수돗물을 사용하여 주 1회, 두상관수 방식으로 공급하였다.

2.2. 원적색광의 처리

실험에 사용된 *S. columbaria* “Blue Note”의 생육을 위해 기본적인 광을 공급하기 위해서 순화시에 사용되었던 동일한 백색 LED 광원을 이용해 150 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$을 기본적으로 공급해주었으며, 이때 식물의 정단부에서 측정된 파장 별 PPFD는 원적색광의 영역을 제외하고 거의 동일하게 측정되었다(Table 1). 여기에 바 형태의 원적색광 LEDs (Biwon tech, Chungcheongnam-do, Korea)를 백색 LEDs 사이에 균일하게 설치하여 추가적인 원적색광을 처리하지 않은 대조구(Non FR) 외, 총 세 수준의 원적색광 처리를 구성하였다. R:FR 비율은 자연광과 유사한 R:FR 수준인 1.2 (LFR), 이 보다 원적색광의 비율이 높은 0.8 (MFR), 0.6 (HFR)로 설정하였으며, 백색 LED 측정 위치와 동일한 위치에서 각각 59.0, 83.7, 120.8 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$의 원적색광이 추가적으로 공급되었다. 이때 원적색광 영역인 700~800 nm 영역은 분광 광도계(Blue-wave, Stellar Net, Tampa, FL, USA)로 측정하였다(Table 1 and Fig. 1).

2.3. 원적색광 수준에 따른 엽록소형광 반응 및 광합성 특성

엽록소 형광은 식물의 광합성 반응에 있어 PSII의 효율을 측정함으로써 광합성 능력을 측정하는 방법으로 활용되고 있다. 본 실험에서는 PSII의 효율을 측정하기 위하여 엽록소형광측정기(PAM-2000, Heinz Walz, Effeltrich, Germany)를 사용하였으며, 처리구 별 임의의 4개체를 지정하여 반복 수행하였다. 식물의 상단에서 가장 성숙한 잎을 기준으로, 측정에 앞서 30분간 암적응을 진행하였으며, 암 적응 후 PSII의 최대 광화학효율 (Fv/Fm)과 광 적응 후 PSII 광화학효율(Yield)을 측정하였다.

각 처리구에서 무작위로 선발한 4개체를 대상으로 순 CO_2 동화율 (Net CO_2 assimilation rate)은 적외선 가스분석기(Infra-red gas analyzer)가 장착된 휴대용 광합성 측정기(LI-6400XT, Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA)를 사용하여 측정하였으며, 측정 시

Table 1. Total photon flux density (PFD) and photosynthetic photon flux densities (PPFD) at the plant canopy level from LEDs with different peak emission wavelengths

Far-red treatment	R:FR	PPFD			Far-red	Total PPFD	Total PFD
		Blue	Green	Red			
		400-500 nm	500-600 nm	600-700 nm	700-800 nm	400-700 nm	400-800 nm
Non FR	4.4	19.9	62.3	77.1	17.4	159.3	176.7
LFR	1.2	17.2	59.9	72.4	59.0	147.5	208.5
MFR	0.8	17.9	57.9	72.5	83.7	148.3	232.0
HFR	0.6	18.7	58.3	73.5	120.8	150.5	271.3

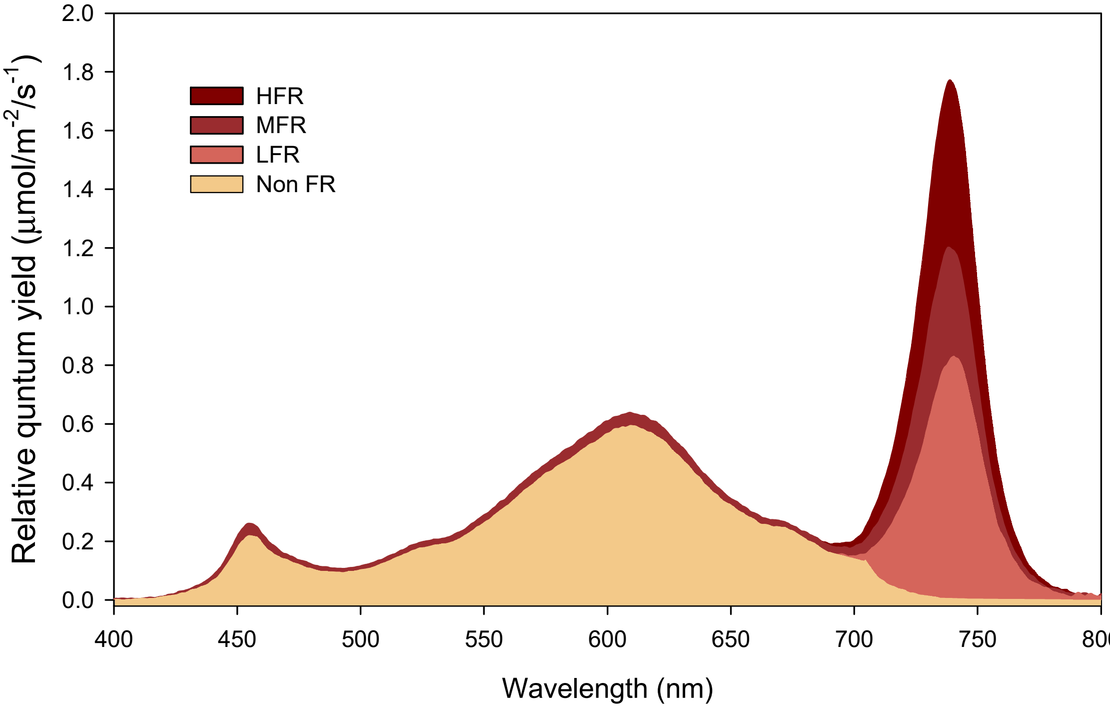

Fig. 1. Spectral distribution of LED light under four far-red (700 to 800 nm) ratio treatments. The spectral range from 400 to 700 nm was uniformly supplied by white LEDs in all treatments.

식물의 정단부에서 가장 성숙한 잎을 외부의 광이 그대로 투과되는 투명 챔버에 고정하여 측정하였다. 이 때 챔버 환경조건은 실험이 진행되는 공간과 동일하도록 설정하였으며, 상대습도 70~80%, 온도 20°C, CO_2 농도는 400 ppm의 환경조건으로 유지하였고, 각 개체별 6분간의 연속적인 측정을 통해 순 CO_2 동화율이 더 이상 증가하지 않고 유지되는 안정한 값을 얻어 분석에 사용하였다.

2.4. 데이터 수집 및 분석

각기 다른 원적색광 처리 12주 후, 생육과 개화품질에 대하여 조사하였으며, 초장은 상토 표면에서 화서(inflorescence)를 제외한 식물의 최상단까지의 초고, 초폭은 식물을 정단부에서 바라봤을 때 가장 넓은 좌우의 폭을 측정하였다. 상대적 엽록소함량은 SPAD-502 측정기(Minolta Co., Ltd., Japan)을 이용해 측정하였고, 수확된 식물의 생체량을 확인하기 위해 식물을 지상

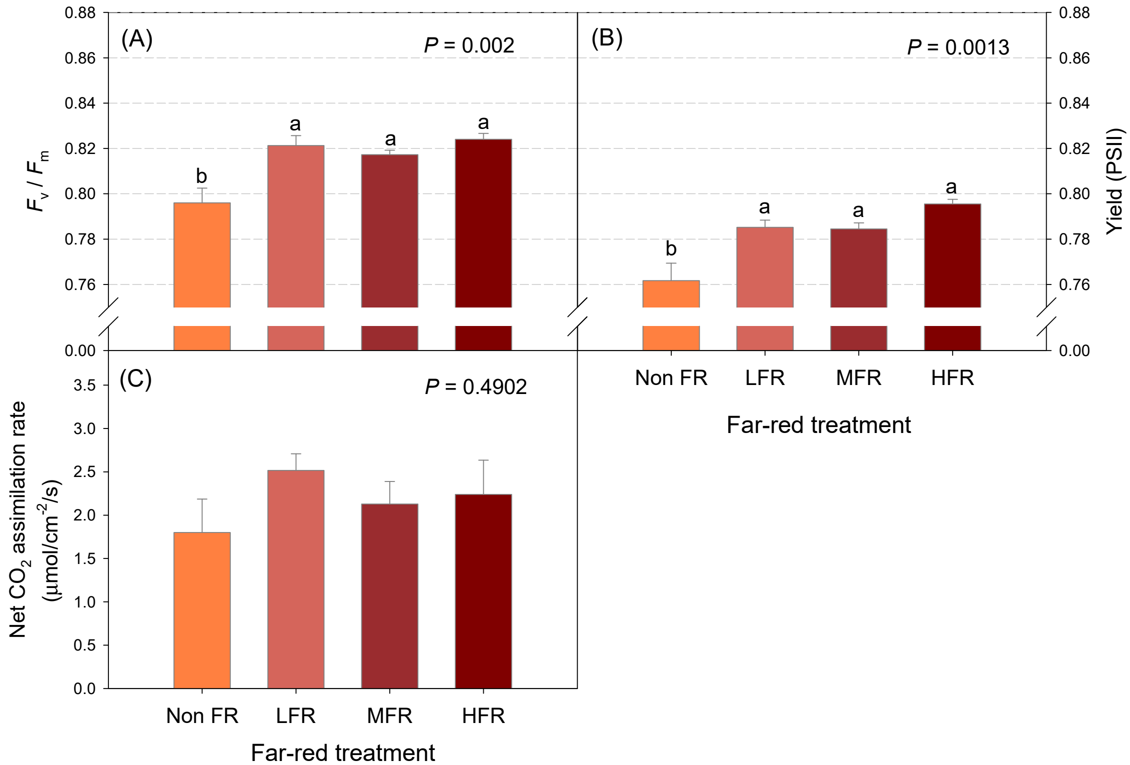

Fig. 2. Chlorophyll fluorescence parameters such as Fv/Fm (A) and yield (B)and net CO_2 assimilation (C) of *Scabiosa columbaria* "Blue Note" after 11 weeks of different far-red treatment (n =4). The error bars indicate standard error.

부와 지하부로 나누어 80°C의 건조기로 72시간 건조 후 건물중을 조사하였다.

Scabiosa 속의 식물들은 수많은 소화(Floret)의 집단이 화탁(Receptacle)에 모여서 하나의 꽃처럼 보여지는 두상화서(Capitulum, head inflorescence)를 가지고 있으며, 화서가 많이 발생할 수록 관상가치가 높다고 할 수 있다. 생육 특성과 마찬가지로 처리 12주 후 발생된 화서의 수를 측정하였으며, 상토의 표면으로부터 가장 긴 화서의 정단부까지를 측정하여 화서장으로 기록하였다. 또한 주기적 관찰을 통해 처리 시작일부터 개화소요일을 측정하였다.

실험에 사용된 식물은 완전임의배치법(CRD)을 적용하여 처리구 별 배치하였으며, 각 처리구 당 10개체의 식물을 개체 반복으로 사용하였다. 다만 광합성 특성과 엽록소형광 측정의 경우는 처리별 임의의4개체를 대상으로 측정된 값을 사용하여 분석에 활용하였다. 모든 데이터 분석은 통계프로그램 (SAS, Ver. 9.3, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 분석하였으며, 유의수준 $P<0.05$에서 일원분산분석(1-way ANOVA)을 실시하고, 처리 평균 간 비교는 Tukey's honestly significant difference analysis를 통해 $\alpha<0.05$에서 수행하여 결과를 해석하였다. 또한 Sigma Plot Ver. 11.0 (Systat Software Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하여 모든 그래프를 작성하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 원적색광 처리에 따른 엽록소형광 및 광합성 변화

백색 LEDs를 이용해 모든 처리구에 동일하게 제공된 150 μmol·m^{-2}·s^{-1}의 PPFD외 세 수준으로 원적색광을 추가 처리한 결과, *S. columbaria* "Blue Note"의 엽록소 형광 지표에 유의한 변화가 나타났다(Fig. 2. A and B). 식물이 빛을 받았을 때 그 빛을 이용할 수 있는 최대효율을 짐작할 수 있는 PSII의 최대 광화학효율

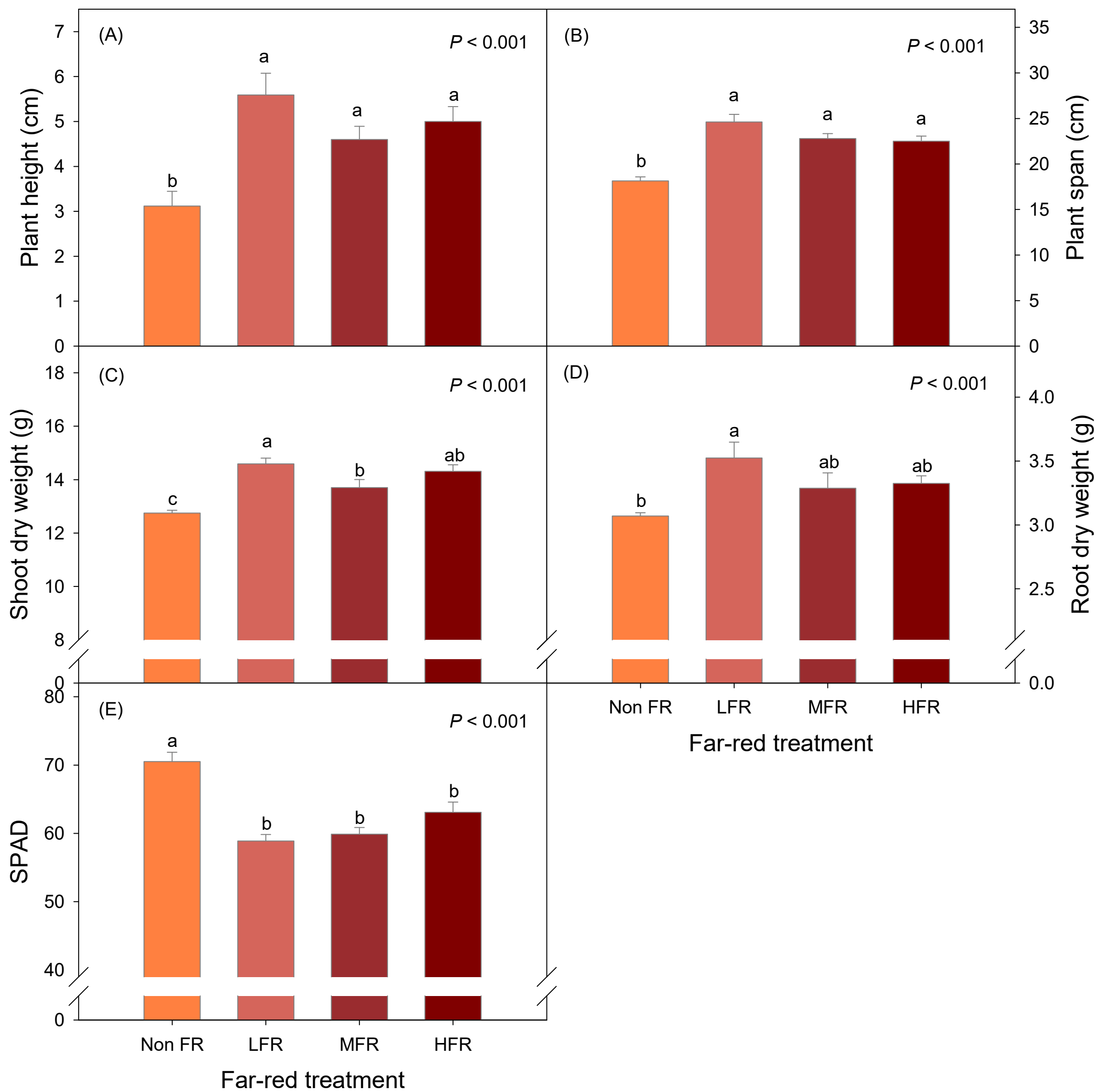

Fig. 3. Vegetative growth characteristics such as plant height (A), plant span (B), shoot dry weight (C), root dry weight (D), and relative chlorophyll contents (SPAD; E) of *Scabiosa columbaria* “Blue Note” as affected by 12 weeks of different far-red treatments (n=10). The error bars indicate standard error.

(F_v/F_m)은 추가적인 원적색광을 처리를 하지 않은 대조구에 비해 모든 원적색광 처리구에서 유의적으로 높게 나타났으며(P=0.002; Fig. 2A), 추가된 원적색광의 수준에 상관없이 LFR, MFR, HFR 모든 처리구가 동일 집단으로 분류된 것을 확인할 수 있었다. 일반적으로 건강한 식물의 F_v/F_m 은 약 0.80~0.85사이로 알려져 있다. 본 실험에서 원적색광 처리를 받지 않은 처리의 경우, 원적색광 처리에 비해 F_v/F_m 이 저조했지만, 그럼에도 불구하고 0.8에 근접한 값을 나타내었으며, 이는 처리된 모든 식물이 광 및 수분 스트레스 없는 환경에서 잘 유지되었다는 것을 의미한다. 마찬가지로, PSII의 실제 양자수율(Yield (PSII)) 역시 원적색광

보광에 유의미한 영향을 받았으며(P = 0.0013; Fig. 2B). F_v/F_m의 결과와 같이 LFR, MFR, HFR 처리구의 값이 대조구보다 높게 나타났다. 이러한 결과는 실제 식물이 지속적인 광에 노출되었을 때, 원적색광을 포함한 광을 받은 식물이 에너지를 더 효율적으로 사용한다는 것을 의미한다. 비슷한 결과로 상추에 있어서 백색광에 원적색광을 추가하였을 때, F_v/F_m과 Yield (PSII)의 증가가 보고된 바 있으며, 이는 원적색광이 PSI의 plastoquinone pool의 재산화를 가속화했기 때문에, 광계의 PSI 앞 단에 위치한 PSII의 반응중심이 빠르게 재개방되어 광자를 더 효율적으로 사용하기 때문이라 하였다(Zhen and van Iersel, 2017). 또한 이러한 효과는 원적색광에 의한 PSI의 선택적 여기에서 기인하는 것으로 판단된다(Evans, 1987; Hogewoning et al., 2012; Laisk et al., 2014; Murakami et al., 2018).

식물의 광합성량이라 할 수 있는 순 CO_2 동화율(Net CO_2 assimilation rate)은 원적색광 처리에 의한 통계적으로 유의차는 나타내지 않았지만(P=0.4902; Fig. 2C), 전반적으로 원적색광 처리가 대조구보다 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 엽록소 형광 반응이 광자의 이용효율을 통해 광합성율을 측정한다면, 순 CO_2 동화율은 식물의 기공을 통해 광합성에 이용되는 CO_2를 측정함으로써 광합성 특성을 확인하는 방법이다. Zhen과 van Iersel(2017)의 연구에서는 원적색광의 처리에 의해 순광합성율 또한 증가한다고 보고하였다. 하지만 *S. columbaria* "Blue Note"와 같이 중성식물인 Geranium을 대상으로 한 Park and van Iersel (2018)의 연구결과에서는 본 연구의 결과와 같이 원적색광이 추가된 양에 따라 약간의 광합성량 증가는 나타냈지만 유의미한 차이가 없는 것을 확인할 수 있었다. 더하여 일반적으로 식물은 영양생장 단계 보다 생식단계에서 잎의 광합성능력이 저하되는 것으로 알려져 있는데, 본 연구에서는 *S. columbaria* "Blue Note"가 개화중인 시기에 광합성이 측정되었기 때문에 이로 인한 광합성량의 감소는 처리 간의 편차에 영향을 미쳤을 것으로 사료된다.

3.2. 원적색광이 생육 및 개화품질에 미치는 영향

광합성적 특성과 유사하게 식물의 크기를 나타내는 초장과 초폭 또한 원적색광을 처리하지 않은 대조구보다 모든 원적색광 처리구에서 유의한 증가를 나타내었고(각 P<0.001, P<0.001; Fig. 3A and B; Fig. 4A), Tukey의 HSD 검정 결과 역시 원적색광 처리구와 대조구 간 집단이 구분되는 것을 확인할 수 있었다. 지상부 건물중은 LFR 처리구가 가장 높은 값을 나타냈으며, 그 다음으로 HFR, MFR, 대조구 순이었지만, 원적색광 처리구 내에서는 집단 간 큰 차이가 없었고, 다만 원적색광 처리구와 대조구 집단에서만 확연한 차이를 나타내었다(P<0.001; Fig. 3C). 지하부 건물중에서는 원적색광을 받은 처리가 대조구보다 더 높은 건물중을 나타내는 경향이 있었으나, 오직 LFR처리와 대조구 간에서만 유의한 차이를 나타내었다(P<0.001; Fig. 3D).

백색광 또는 적색, 청색 혼합광에 원적색광을 추가로 보광하여 반응을 확인하는 연구는 주로 상추를 대상으로 연구가 되었으며, 본 연구의 결과와 마찬가지로 원적색광이 추가될 경우, 식물의 대표적 영양생장 지표인 엽면적, 생체중, 건물중 등이 증가된다고 보고된 바 있다(Lee et al., 2016; Legendre and van Iersel, 2021). 적색광과 원적색광의 비율은 식물의 광형태형성에 매우 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 해당영역의 빛은 Phytochrome신호에 의해 인지될 수 있으며, 적색광보다 원적색광의 비율이 높을 경우, 식물은 그늘에 있다고 인지하여 음지회피반응(shade avoidance syndrome)으로 초장의 신장(도장)과 잎의 확장으로 수광량을 증가시키고자 한다(Sessa et al., 2018). 광신호 전달 체계로 인한 식물의 형태반응과 더불어 앞서 언급한 광화학효율의 개선은 식물의 생육증대에 중요한 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

반면, 실험의 종료시점인 12주차의 상대적 엽록소함량의 경우, 엽록소 형광지표와 광합성이 낮았던 대조구에서 가장 높게 나타났는데(P<0.001; Fig. 3E), 이는 원적색광에 의한 형태적 변화로 인해 잎이 확장됨에 따라 단위면적당 엽록소 함량이 낮아졌기 때문일 수 있다(Dou et al., 2024). 또한 본 실험에서는 원적색광 처리로 인해 식물의 영양생장은 촉진할 수 있었으나, 생육에 알맞은 추가 시비는 이뤄지지 않았고, 이는 영양생장이 촉진된 원적색광 처리구에서 양분 부족을 야기하여 엽록소 합성 저하 및 감소가 발생했을 것으로 사료된다.

3.3. 원적색광 처리에 대한 개화 품질 특성

원적색광의 보광은 *S. columbaria* "Blue Note"의 형태적 생장뿐만 아니라 개화 특성에도 뚜렷한 차이를 나타냈다(Fig. 4B). *S. columbaria* 는 하나의 식물체

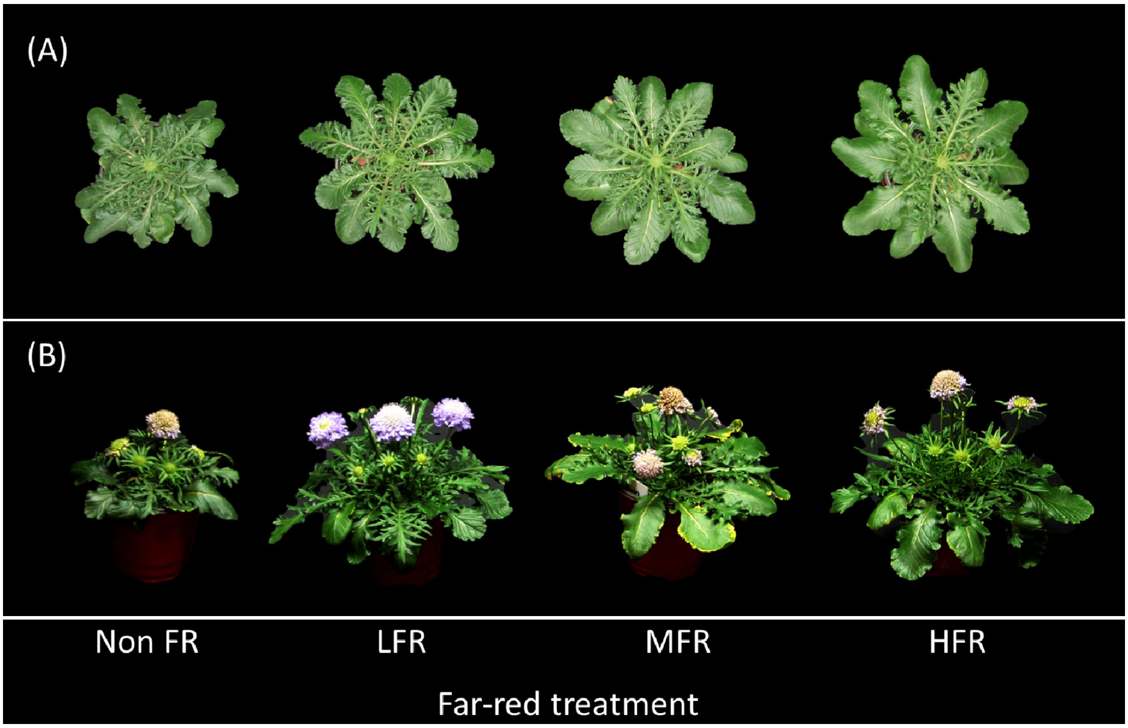

Fig. 4. Representative vegetative growth (A) and flowering (B) appearance of *Scabiosa columbaria* “Blue Note” after 12 weeks of different far-red treatments.

Table 2. Flowering quality of *Scabiosa columbaria* “Blue Note” under different far-red light treatments

Far-red treatment	No. of inflorescences	Inflorescence length (cm)	Days to flowering
Non FR[z]	11.0b[y]	5.7b	56.5
LFR	14.5ab	11.5a	58.6
MFR	17.0a	12.0a	54.6
HFR	16.8a	11.5a	53.8
Significance	*[x]	***	NS

[Z] No far-red supplemental lighting
[Y] Means with different letters are significantly difference by Tukey’s honestly significant difference test (α 〈0.05)
[X] NS, *, or *** Nonsignificant or significant at P〈 0.05, or 0.001, respectively

에서 여러 개의 화서가 지속해서 발달하며 개화하는 특성을 가지고 있으며, 화서 수는 일반적으로 꽃의 수와 동치 할 수 있는 주요 관상가치 평가요인 중 하나라고 할 수 있다. 본 연구에서 원적색광 처리는 화서 수에 매우 유의미한 영향을 미쳤으며(P〈0.01), 원적색광 처리구 간의 통계적 차이는 없었지만 MFR과 HFR처리는 대조구에 비해 약 53%이상 더 많은 화서를 발달시켰다 (Table 2). 화서의 길이 또한 화서의 수와 마찬가지로 원적색광 처리가 대조구에 비해 약 2배 이상 유의미하게 신장된 것으로 나타났다(P〈0.001). 장일성 식물인 Petunia에 대한 Park and Runkle(2018)의 연구결과에서는 원적색광의 유무에 상관없이 개화 시 초장에 유의차가 발생하지는 않았으나, 본 실험에 사용된 *S. columbaria* “Blue Note”는 일장반응에 있어 중성식물

(day-neutral plant)로 분류되며, 중성식물의 경우 개화반응과 품질에 있어 광합성량과 축적된 동화량에 비례한 것으로 알려져 있다. 따라서 원적색광 처리로 인한 광화학효율의 증가와 영양생장기 광합성의 증가로 인해 축적된 동화산물이 *S. columbaria* "Blue Note"의 화서의 수를 증가시켜 개화품질 향상에 긍정적인 영향을 주었음을 확인할 수 있었다.

개화소요일수에 있어서 *S. columbaria* "Blue Note"는 원적색광 처리과 상관없이 약 55일 전후에서 개화가 이루어져 원적색광이 개화 속도에는 영향을 미치지 않는다는 것을 확인할 수 있었다. 자세한 처리조건은 다르지만 Owen et al.(2018) 역시 중성식물인 Pansy와 Zinnia에 낮은 DLI의 9시간 자연일장 후 일장연장 시 원적색광을 처리했을 때, 원적색의 유무는 개화소요일수에 영향을 주지 않는다는 보고를 한 바 있다. 하지만 Park and Jeong(2023)은 중성식물인 *Pelanonium* X *hortorum*에 야파처리시 원적색광을 추가한다면 개화를 촉진시킬 수 있다고 보고하였기 때문에, 개화반응에 있어서 원적색광이 미치는 영향에 대해서는 종과 일장반응 등 다양한 요인에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서 *S. columbaria* "Blue Note"에 원적색광을 처리한 결과, 엽록소형광 지표에서 Fv/Fm과 실제 양자수율 Yield(PSII)은 모든 원적색광 처리에서 대조구 대비 유의적으로 증가하였고, 이는 PSI 재산화 가속을 통해 PSII 반응중심 재개방으로 광자를 더 효율적으로 사용하는 메커니즘에 의한 결과로 광합성적 능력이 증진된 것으로 해석할 수 있다. 생육반응에 있어서도 모든 원적색광 처리에서 초장·초폭이 대조구보다 유의적으로 증가하였고, 지상부 건물중은 원적색광 처리군 대조구보다 높았으며, 지하부는 LFR에서만 대조구 대비 유의차가 확인되었다. 이는 낮은 R:FR에 따른 그늘회피 반응과 함께 앞선 광합성 효율 증진의 결합 효과로 해석된다. 개화 특성에서는 원적색광 처리에서 화서수와 화서 길이를 유의하게 증가시켜 관상가치를 향상시켰으나, 개화소요일수는 처리 간 차이가 없어 본 실험 광환경에서는 광합성 산물 축적과 수광 확장이 개화품질 향상에 기여하되, 개화 유도 자체는 제약되지 않았음을 확인할 수 있었다. 종합하면, 원적색광의 보광은 광계 균형을 회복해 PSII 광화학 효율을 높이고, R:FR에 의한 광형태형성 반응을 통해 수광 구조를 확장함으로써 *S. columbaria* "Blue Note"의 생장과 개화 품질을 동시 개선하는 유효한 광 조절 전략으로 활용할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 과제는 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

Carotti, L., Pistillo, A., Zauli, I., Pennisi, G., Martin, M., Gianquinto, G., Orsini, F., 2024, Far-red radiation management for lettuce growth: Physiological and morphological features leading to energy optimization in vertical farming, Scientia Horticulturae, 334, 113264.

Dou, H., Li, X., Li, Z., Song, J., Yang, Y., Yan, Z., 2024, Supplementary far-red light for photosynthetic active radiation differentially influences the photochemical efficiency and biomass accumulation in greenhouse-grown lettuce, Plants, 13, 2169.

Demotes-Mainard, S., Péron, T., Corot, A., Bertheloot, J., Le Gourrierec, J., Pelleschi-Travier, S., Crespel, L., Morel, P., Huché-Thélier, L., Boumaza, R., Vian, A., Guerin, V., Leduc, N., Sakr, S., 2016, Plant responses to red and far-red lights, applications in horticulture, Environ. Exp. Bot. 121, 4-21.

Evans, J. R., 1987, The dependence of quantum yield on wave length and growth irradiance, Aust. J. Plant Physiol., 14, 69-79.

Genty, B., Briantais, J. M., Baker, N. R., 1989, The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence, Biochimica et Biophysica Acta, 990, 87-92.

Grime, J. P., 1988, The C-S-R model of primary plant strategies — Origins, implications and tests, In: Gottlieb, L. D., Jain, S. K. (eds.), Plant Evolutionary Biol., Springer, Dordrecht, The Netherland, 371-393.

Hogewoning, S. W., Wientjes, E., Douwstra, P., Trouwborst, G., van Ieperen, W., Groce R., Harbinson, J., 2012, Photosynthetic quantum yield dynamics: From photosystems to leaves, Plant Cell, 24, 1921-1935.

Keuskamp, D. H., Pollmann S., Voesenek, L. A. C. J., Peeters, A. J. M., Pierik, R., 2010, Auxin transport through PIN-FORMED 3 (PIN3) controls shade avoidance and fitness during competition, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 107, 22740-22744.

Kohler, A. E., Lopez, R. G., 2021, Duration of light-emitting diode (LED) supplemental lighting providing far-red radiation during seedling production influences subsequent time to flower of long-day annuals, Scientia Horticulturae, 281, 109956.

Laisk, A., Oja, V., Eichelmann, H., Dall'Osto, L., 2014, Action spectra of photosystems II and I and quantum yield of photosynthesis in leaves in state 1, Biochimica et Biophysica Acta, 1837, 315–325.

Lee, M, J., Son, K. H., Oh, M. M., 2016, Increase in biomass and bioactive compounds in lettuce under various ratio of red to far-red led light supplemented with blue led light, Hortic. Environ. Biotechnol., 57, 139-147.

Legendre, R., van Iersel, M. W., 2021, Supplemental far-red light stimulates lettuce growth: Disentangling morphological and physiological effects, Plants, 10, 166.

Lehbili, M., Alabdul, M. A., Hubert, J., Kabouche, A., Voutquenne-Nazabadioko, L., Renault, J. H., Nuzillard, J. M., Morjani, H., Abedini, A., Gangloff, S. C., Kabouche, Z., 2018, Two new bis-iridoids isolated from *Scabiosa stellata* and their antibacterial, antioxidant, anti-tyrosinase and cytotoxic activities, Fitoterapia, 125, 41-48.

Maxwell, K., Johnson, G. N., 2000, Chlorophyll fluorescence - A Practical guide, J. Exp. Bot., 51, 659-668.

Murakami, K., Matsuda, R., Fujiwara, K., 2017, A Basis for selecting light spectral distribution for evaluating leaf photosynthetic rates of plants grown under different light spectral distributions, Environ. Control. Biol., 55, 1-6.

Park, Y. G., Jeong, B. R., 2023, Photoreceptors modulate the flowering and morphogenesis responses of *Pelargonium* X *hortorum* to night-interruption light quality shifting. Agronomy, 13, 857.

Park, Y., Runkle, E. S., 2018, Far-red radiation and photosynthetic photon flux density independently regulate seedling growth but interactively regulate flowering, Environ. and Expt. Bot., 155, 206-216

Pierik, R., de Wit, M., 2014, Shade avoidance: Phytochrome signaling and other aboveground neighbour detection cues, J. of Exp. Bot., 65, 2815–2824.

Sessa, G., Carabelli, M., Possenti, M., Morelli, G., Ruberti, I., 2018, Multiple pathways in the control of the shade avoidance response, Plants, 7, 102.

Smith, H., 1995, Physiological and ecological function within the phytochrome family, Ann. Rev. of Plant Physiol. and Plant Molecul. Biol., 46, 289-315.

Tan, T., Li, S., Fan, Y., Wang, Z., Ali Raza, M., Shafiq, I., Wang, B., Wu, X., Yong, T., Wang, X., Wu, Y., Yang, F., Yang, W., 2022, Far-red light: A Regulator of plant morphology and photosynthetic capacity, Crop J., 10, 300-309.

Zhen, S., van Iersel, M. W., 2017, Far-red light is needed for efficient photochemistry and photosynthesis, J. Plant Physiol., 209, 115-122.

Zhen, S., Haidekker, M., van Iersel, M. W., 2019, Far-red light enhances photochemical efficiency in a wavelength-dependent manner, Physiol. Plant., 167, 21-33.

Zhen, S., van Iersel, M. W., Bugbee, B., 2021, Why far-red photon should be included in the definition of photosynthetic photons and the measurement of horticultural fixture efficacy, Front. In Plant Sci., 12, 2021.

• Professor. Seong Kwang An
Department of Horticultural Bioscience, Pusan National University
seongkwangan@pusan.ac.kr