

Research Article



CrossMark

Open Access

조직배양 페튜니아의 순화과정에서 광질에 따른 성장반응 특성

김영선^{1,2}, 이금주^{3*}

¹대구대학교 원예학과, ²대구대학교 자연과학연구소, ³충남대학교 원예학과/스마트농업학과

Effects of Acclimatization to Different Light Colors on the Growth of Petunia (*Petunia hybrida*) in a Greenhouse

Young-Sun Kim^{1,2} and Geung-Joo Lee^{3*} (¹Department of Horticultural Science, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea, ²Institute of Natural Sciences, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea, ³Department of Horticulture and Department of Smart Agriculture Systems, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea)

Received: 7 March 2023/ Revised: 20 March 2023/ Accepted: 23 March 2023

Copyright © 2023 The Korean Society of Environmental Agriculture

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.

ORCID

Young-Sun Kim

<https://orcid.org/0000-0002-5645-7021>

Geung-Joo Lee

<https://orcid.org/0000-0002-3774-1860>

Abstract

Light is an important factor that influences the growth and development of flowering plants. The present study investigated the effects of *in vitro* acclimatization to different light colors (white light (WL; control), blue light (BL; 447 nm), green light (GL; 519 nm), and red light (RL; 667 nm)) on the growth of petunia (*Petunia hybrida*) and of hardening cultivation of plant transferred form *in vitro* to a greenhouse under sunlight. Compared to the control, the shoot length and leaf width of *Petunia* increased by 42% and 11.7%, respectively, after acclimatization to BL and the shoot growth increased by 29.3% after acclimatization to RL. The chlorophyll and carotenoid contents after acclimatization to BL and GL were 16.7% and 11.3% higher, respectively, and 14.4% and 11.9% higher, respectively, than those in the control. During greenhouse cultivation, the shoot length increased by 16.7% and 11.3%, respectively, after acclimatization to BL and RL, respectively, and the leaf length and leaf width increased by 14.4% and 11.9%, respectively, after acclimatization to GL. While dry weight of root of GL and BL was not significant difference *in vitro*, increased by 59.0% and 22.9% *ex vitro* than

that of WL. Thus, acclimatization to BL increased the shoot growth and leaf chlorophyll contents, and acclimatization to GL and RL enhanced shoot and root growth, in petunia.

Key words: Blue light (BL), Chlorophyll content, Red light (RL), Root growth, Shoot growth

서론

타식성 식물의 종자번식은 주로 1대 잡종 종자를 이용하게 되므로 생육과 형질이 우수한 종자를 유지하기 위해서는 우수한 양친을 선발하고 관리하여야 한다[1]. 1대 잡종 종자는 수분과정에서 환경조건에 의해 유전적 변이가 발생되어 우수한 유전형질이 퇴색되기도 하므로 우수한 형질의 모본인 양친 관리뿐만 아니라 유전형질에 대한 검정 등을 통한 종자관리가 필요하다[2]. 그러나 종자번식은 일부 종자에서 유전적 변이가 나타나게 되므로 우수한 형질을 후대에 전달하기 위해서는 영양번식을 이용하기도 한다. 최근 생명공학기술이 발달하면서 전통적인 영양번식 방법이 아니라 조직배양을 통한 식물체의 생산이나 번식에 대한 연구가 이뤄지고 있다. 조직배양을 통해 희귀한 식물의 번식에 이용하기도 하고[3], 새로운 유전형질을 갖는 식물을 개발하기도 하며[4], 조직을 이용한 체세포배양을 통해 식물이나 기능성 물질의 대량생산에 이용하기도 한다[5].

조직배양을 통해 얻어진 식물이 일반환경에서 자라기 위해서는 순화과정을 통해 환경에 적응하는 기간을 필요로 하며[5],

* Corresponding author: Geung-Joo Lee

Phone: +82-42-821-5734; Fax: +82-42-821-8888;

E-mail: gjlee@cnu.ac.kr

순화환경은 식물의 번식과 정착에 매우 중요한 요소가 된다[6]. 그 중에서도 광질과 광도는 식물의 기내생육 뿐 아니라 순화에 매우 중요한 요소로서[7] 순화 후 식물의 생육과 특성을 결정하는 중요한 환경조건이 된다[8]. 전통적 순화조건으로서 기내에서 생육한 식물이 잘 적응하도록 차광을 이용하기도 했지만[5] 기술이 발달하면서 외부환경에 영향을 적게 받고, 병해충 유입이 적으며 다단계배를 통한 재배면적당 수확량이 증가하는 온실이나 식물공장을 이용하고자 하는 연구가 진행되고 있다[8]. 식물공장형 육묘배양실에서 식물의 번식과 생산에 이용하기 위해서는 인공광을 이용한 최적의 생육조건을 찾고자 하는 노력이 선행되어야 한다[9]. 발광다이오드(light-emitting diode; LED)가 일반화되면서 온실의 인공광으로 이용하고 있으며[9], 광의 파장(광질)을 조절하여 순화 중인 식물의 최적 광조건을 제공함으로써 순화 식물의 생존율과 생육을 개선시킬 수 있다는 장점이 있다[8,10]. 국내에서는 식물공장이나 기내배양에서 인공광을 통한 작물의 재배와 생산을 중심으로 연구가 진행되고 있어[11,12] 순화과정 중 광질에 따른 순화 특성에 대한 연구가 필요하였다. 따라서 본 연구는 조직배양된 페튜니아(*Petunia hybrida*)를 다양한 광환경에서 순화하였을 때 순화실과 온실에서의 페튜니아 생육의 변화를 조사하고자 시험을 수행하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 시험은 대전광역시 유성구의 충남대학교 연구농장에서 2019년 8월부터 2개월 동안 수행되었고, 공시 식물은 충남대학교 원예학과에서 조직배양한 페튜니아(*P. hybrida*) 'Midnight' 품종을 이용하였다. 시험에 사용한 공시 토양은 조경용 상토(ChamGrow Ins., HongSeong, Korea)를 이용하였다.

광질별 순화 후 페튜니아의 생육특성

순화 시 광질 별 페튜니아의 생육을 조사하기 위해 2019년 8월 23일부터 9월 3일까지 4개의 다른 광질에서 10일간 수행하였다. 처리구는 순화 시 처리하는 광질에 따라 백색광 처리구(대조구, white light; WL, Control), 청색광 처리구(blue light; BL, 447 nm), 적색광 처리구(red light; RL, 667 nm) 및 녹색광 처리구(green light; GL, 519 nm)로 구분하였고, 각 광은 서로의 간섭을 피하기 위해 흑색판을 이용하여 구획화하였다.

육묘용 포트(3 inch)에 공시상토를 균일하게 충전한 후 조직 배양된 페튜니아를 뿌리가 상하지 않도록 배지를 분리한 후 이식하였다. 이식한 페튜니아 묘는 지상부 생육이 비슷한 크기로 구분한 후 각 처리구에 고르게 완전임의배치법(3반복; 반복구당 2개체)으로 배치하였다. 각 처리구에는 순화기간 중 이식한 묘와 광원의 거리는 약 10 cm 정도였으며, 순화실 내 광처리구의 광합성유효광량지속밀도(PPFD; photosynthetic photon flux density)는 $125 \pm 10 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 를 나타내었다. PPFD는 광량자 센서(LI-900, LI-COR, Lincoln, NE, USA)를 이용해 측정하였다. 시험기간 동안 순화실의 온

도는 $30 \pm 2^\circ\text{C}$ 였고, 상대습도는 50%로 유지되었다.

10일 동안 4개의 광질에서 순화를 마친 페튜니아는 온실로 옮겨져 유리온실에서 22일간 적응시험을 진행하였다. 시험기간 중 온실의 온도는 $25 \pm 5^\circ\text{C}$ 였고, 상대습도는 $55 \pm 5\%$ 였으며, 관수는 1일 1~2회 실시하였다. 관리 중 충해가 발생하여 에마벡틴벤조에이트 유제(emamectin benzoate 2.15%, Jahng-Ryu Industries Co. Ltd., Cheongju, Korea)를 1회 살포하였다.

조사내용 및 방법

광질별 생육을 평가하기 위해 페튜니아의 초장, 엽장, 엽폭, 가지수, 엽수, 꽃눈수, 엽록소 함량, 카로테노이드 함량 및 지상부와 지하부의 건물중을 측정하였다. 초장은 페튜니아의 가장 긴 가지의 길이를 측정하였고, 엽장과 엽폭은 페튜니아 개체 중 가장 큰 잎 3장을 채취하여 측정하였으며, 이 중 일부를 채취하여 엽록소 함량 측정에 이용하였다. 식물체의 지상부와 지하부는 60°C 로 셋팅된 드라이오븐(ON-12G, Jeio Tech Co. Ltd., Daejeon, Korea)에서 24시간 건조 후 항량이 되었을 때 무게를 측정하였다. 식물체 중 엽록소 함량은 일정량의 잎을 채취하여 95% 에탄올을 추출용매로 냉암소에서 48시간 추출하여 UV-spectrophotometer (Genesys 20, Thermo, Massachusetts, USA)를 사용하여 648 nm, 664 nm 및 470 nm에서 흡광도를 측정하고, 아래와 같은 식으로 엽록소(chlorophyll a, chlorophyll b, chlorophyll a+b) 함량과 카로테노이드(carotenoid) 함량을 계산하였다[13].

$$\text{Chlorophyll a } (\mu\text{g}/\text{mL}) = 13.36 A_{664} - 5.19 A_{648}$$

$$\text{Chlorophyll b } (\mu\text{g}/\text{mL}) = 27.43 A_{648} - 8.12 A_{664}$$

$$\text{Carotenoid } (\mu\text{g}/\text{mL}) = (1000 A_{470} - 2.13 \text{ chlorophyll a} - 97.64 \text{ chlorophyll b}) / 209$$

통계처리는 SPSS 12 (Ver. 12.1, IBM, New York, USA)를 이용하여 Duncan 다중검정($p < 0.05$)을 통해 처리구간 평균값의 유의차 및 상관성을 검정하였다.

결과

순화기간 중 광질별 페튜니아의 생육특성을 조사하기 위해 10일 동안 순화 후 생육을 조사하였다(Table 1). 순화 전과 후를 비교할 때, 페튜니아의 초장, 엽장, 엽폭, 가지수, 엽수, 꽃눈수 및 지상부와 지하부 건물중은 모두 증가하였다. 순화처리 후 페튜니아의 생육은 광질의 종류에 따라 다르게 나타났다.

순화 후 초장, 엽장 및 엽폭은 각각 153.3-257.5 mm, 41.7-50.2 mm, 21.4-26.7 mm의 범위로 조사되었다. 초장은 청색광 처리구(BL)에서 가장 길었고, 백색광 처리구(WL)보다 약 42% 증가하였고, 적색광 처리구(RL)은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았으며, 녹색광 처리구(GL)은 감소하였다. 엽장은 WL과 비교할 때, BL과 RL은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았고, GL은 감소하였다. 엽폭은 BL에서 WL보다 11.7% 증가하였다. 분지된 가지수와 엽수 및 꽃눈수는

Table 1. Growth of *Petunia hybrida* after acclimating under various light quality for 10 days

Treatments ^z	Shoot length	Leaf length	Leaf width	No. of branch	No. of leaf	No. of flower bud	Dry weight of shoot	Dry weight of root
	(mm)			(ea/plant)			(g/plant)	
Initial plant	111.3d ^y	36.5d	16.3c	3.0c	43.8c	12.2d	0.171c	0.020c
WL	172.5b	46.2ab	23.9b	4.7a	112.3a	29.5a	0.532b	0.079ab
BL	257.5a	50.2a	26.7a	3.8b	63.2b	14.8c	0.500b	0.066b
GL	153.3c	41.7c	21.7b	4.0b	83.0b	20.0b	0.484b	0.095ab
RL	169.0b	44.7bc	21.4b	4.3ab	111.2a	29.7a	0.688a	0.115a

^zTreatments were as follows; WL (white light; control), BL (blue light; 447 nm), GL (green light; 519 nm), RL (red light; 667 nm). Acclimation conditions of temperature and relative humidity in the greenhouse were 28±2°C and 50±5%, respectively. Tissue culture petunia was planted into pot on August 23, 2019, acclimated under four different light quality for 10 days. It was sampled on August 23 (initial plant) and September 3 (after acclimation) to investigate petunia growth after applying 4 light quality.

^yMeans with the same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$ level.

각각 3.8-4.7 ea/plant, 63.2-112.3 ea/plant, 14.8-29.7 ea/plant을 나타냈다. WL과 비교할 때 RL은 WL과 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았고, BL과 GL은 WL보다 감소하였다. 지상부와 지하부의 건물중은 각각 0.484-0.688 g/plant와 0.066-0.115 g/plant의 범위로 조사되었다. 지상부의 건물중은 RL에서 가장 많았고, WL과 비교할 때, 29.3%가 증가하였고, 지하부의 건물중은 RL에서 높은 경향을 나타내었으나 WL이나 GL과 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다.

광질별 순화를 마친 후 온실에서 재배한 페튜니아의 생장과 생육을 조사하였고, 온실에서 재배 후 페튜니아의 초장, 엽장, 엽폭, 분지 가지수 및 건물중 등은 순화 후보다 증가하였으며, 엽수와 꽃눈수는 순화 후와 비슷한 경향을 나타내었다 (Table 2). 온실에서 22일간 재배 후 각 처리구별 초장은 BL과 RL에서 WL보다 각각 16.7%와 11.3% 증가하였고, 엽장과 엽폭은 GL에서 WL보다 각각 14.4%와 11.9% 증가하였다. 가지수, 엽수 및 꽃눈수는 RL에서 WL과 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않았고, BL과 GL은 감소하였다. 지상부의 건물중은 BL, GL 및 RL에서 각각 30.0%, 17.2%, 6.5%씩 증가

하였고, 지하부 건물중은 GL과 RL에서 59.0%와 22.9%씩 증가하였다. 온실재배 시 페튜니아의 생육은 광질별 순화 결과와 유사한 경향을 나타냈다.

순화기간 중 광질별 페튜니아 잎의 색소의 변화를 조사하기 위해 10일 동안 순화 후 엽록소와 카로테노이드 함량을 조사하였다(Table 3). 초기 식물을 기준으로 순화 후 페튜니아의 엽록소 및 카로테노이드 함량은 증가하였으나 온실재배 후에는 조적배양 식물과 유사하거나 감소하였다.

순화 후 처리구별 광환경에 따른 페튜니아 잎의 엽록소a, 엽록소b, 총엽록소 및 카로테노이드 함량은 WL과 비교할 때, BL은 각각 20%, 11%, 17% 및 19%씩, GL은 21%, 16%, 20% 및 17%씩 증가하였다(Table 4). 광질별 순화 후 온실에서 적용시험 후 페튜니아 잎을 채취하여 엽록소 함량과 카로테노이드 함량을 조사한 결과, 엽록소 함량(chlorophyll a, b, a+b)은 BL과 GL에서 WL과 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았고, 카로테노이드 함량은 WL보다 감소하였다. RL은 엽록소와 카로테노이드 함량 모두 감소하여 다른 처리구와 다소 차이를 보였다. 순화 후 BL과 GL처리구에서 엽록소 함량이 증가하였고, 온실재배 후 감소하였다.

Table 2. Growth properties of *Petunia hybrida* growing in the greenhouse after acclimating 4 different light qualities

Treatments ^z	Shoot length	Leaf length	Leaf width	No. of branch	No. of leaf	No. of flower bud	Dry weight of shoot	Dry weight of root
	(mm)			(ea/plant)			(g/plant)	
WL	292.5c ^y	67.4b	32.3b	6.4a	128.0a	29.7a	1.103c	0.121c
BL	341.0a	60.9c	28.0c	5.7b	68.7c	18.0c	1.433a	0.103c
GL	295.0c	77.1a	36.2a	5.5b	94.6b	19.8b	1.293b	0.192a
RL	325.4b	59.7c	27.0c	5.9ab	125.6a	30.4a	1.174c	0.148b

^zTreatments were as follows; WL (white light; control), BL (blue light; 447 nm), GL (green light; 519 nm), RL (red light; 667 nm). After acclimated 4 light qualities, petunia was transferred to a greenhouse on September 3, 2019, and then cultivated during 22 days. Cultivation conditions of temperature and relative humidity in the greenhouse were 28±2°C and 50±5%, respectively, and grown under sunlight. It was sampled to investigate petunia growth in the greenhouse on September 25 (after hardening cultivation in greenhouse).

^yMeans with the same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$ level.

Table 3. Content of chlorophyll and carotenoid of *Petunia hybrida* after acclimating under various light quality for 10 days

Treatments ^z	Chlorophyll ($\mu\text{g/g FW}$)			Carotenoid ($\mu\text{g/g FW}$)
	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Chlorophyll a + b	
	739.2c ^y	398.8c	1,138.0c	146.8c
WL	1,017.9b	481.8b	1,499.7b	186.8b
BL	1,220.0a	534.2a	1,753.4a	222.0a
GL	1,232.2a	560.3a	1,792.6a	218.3a
RL	992.4b	473.6b	1,466.0b	176.1b

^zTreatments were as follows; WL (white light; control), BL (blue light; 447 nm), GL (green light; 519 nm), RL (red light; 667 nm). Acclimation conditions of temperature and relative humidity in the greenhouse were $28\pm 2^\circ\text{C}$ and $50\pm 5\%$, respectively. Tissue culture petunia was planted into pot on August 23, 2019, acclimated under four different light quality for 10 days. It was sampled on August 23 (initial plant) and September 3 (after acclimation) to investigate the content of chlorophyll and carotenoid in the petunia after applying 4 light quality.

^yMeans with the same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at $p\leq 0.05$ level.

Table 4. Content of chlorophyll and carotenoid of *Petunia hybrida* growing in the greenhouse after acclimating 4 different light qualities

Treatments ^z	Chlorophyll ($\mu\text{g/g FW}$)			Carotenoid ($\mu\text{g/g FW}$)
	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Chlorophyll a + b	
WL	712.8a ^y	356.8a	1,069.6a	123.1a
BL	728.4a	376.6a	1,105.0a	112.3g
GL	713.1a	370.6a	1,083.8a	112.2b
RL	567.0b	313.7b	880.7b	90.7c

^zTreatments were as follows; WL (white light; control), BL (blue light; 447 nm), GL (green light; 519 nm), RL (red light; 667 nm). After acclimated 4 light qualities, petunia was transferred to a greenhouse on September 3, 2019, and then cultivated during 22 days. Cultivation conditions of temperature and relative humidity in the greenhouse were $28\pm 2^\circ\text{C}$ and $50\pm 5\%$, respectively, and grown under sunlight. It was sampled to investigated petunia growth in the greenhouse on September 25 (after hardening cultivation in greenhouse).

^yMeans with the same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at $p\leq 0.05$ level.

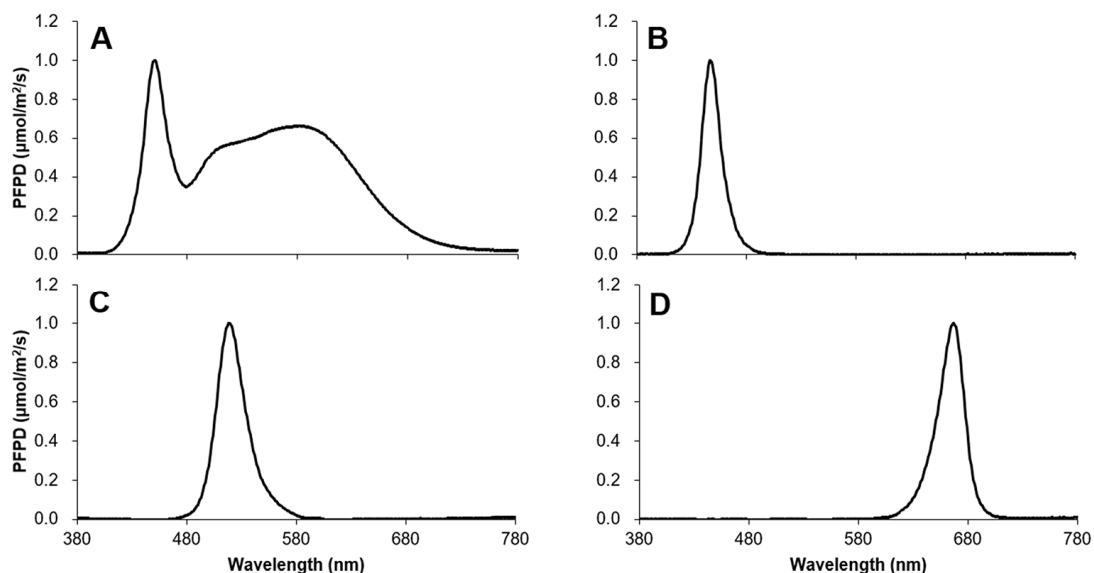


Fig. 1. Spectral distribution: the white light LED [(A) WL; control], the blue light LED [(B) BL, 447 nm], the green light LED [(C) GL, 519 nm], and the red light LED [(D) RL; 667 nm]. The photosynthetic photon flux density was about $125\pm 10 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ in each treatment. Spectral scans were recorded at the top of the growing beds and averaged at 9 points of each treatment.

고 찰

Heo et al. [14,15]은 상추(*Lactuca sativa*)에서 RL을 처리하는 경우 상추와 국화(*Chrysanthemum morifolium*)와 같은 국화과 식물에서 초장이나 지상부 생육이 증가한다고 보고하였고, Kim et al. [9]은 배초향(*Agastache rugosa*)에서 RL을 처리할 때 지상부의 생육과 신장이 감소한다고 보고하여 식물의 종류에 따라 광질에 대한 생육 반응이 다르게 나타나기 때문으로 판단된다[3]. RL은 BL에 비해 식물체의 엽수를 증가시키고, 식물체 내 항산화 물질이 증가하여 스트레스에 대한 저항성을 높이는 것으로 알려져 있다[16]. 기내에서 배양한 덩굴용담(*Tripterospermum japonicum*)은 RL를 조사한 경우 발근이 촉진되었고, 지상부와 지하부의 생육을 증대되었다[3].

본 연구에서도 BL 처리는 페튜니아의 신장을 증대시켰으나 지상부와 지하부의 건물중(페튜니아 생육)은 RL에 비해 감소하여 Moon and Park [3]의 결과와 유사하였다. 이는 RL 처리 시 식물체 내의 당이나 항산화 물질 등의 생합성이 촉진하여 식물의 생육에 필요한 에너지를 공급함으로써 환경에 대한 저항성이 향상되는 것으로 판단된다[16,17]. 이외에도 RL의 처리는 식물의 종류에 따라 다소 차이는 있으나 발근을 촉진하고, 환경조건에 대한 스트레스에 대한 저항성을 높이는 매우 중요한 광이지만 단일광으로 처리하는 것보다 BL이나 GL 등을 혼합하여 처리하는 것이 식물의 생육 개선에 도움이 된다[3]. Lee and Nam [18]은 흰꽃세덤(*Sedum album*)에서 대사산물을 이용하는 약용식물로 재배하는 경우에는 RL을 포함하는 WL광을 사용하고, 말린 식물체로 상용하는 경우에는 BL이 포함된 WL광을 사용할 것이 적절하여 식물의 재배와 이용에 따라 광질의 선택이 필요하다고 보고하였다. 그러나 작물에 따라 광질별 반응은 다르게 나타나게 되므로 작물의 품질을 결정하는 요인에 적합하도록 광질을 선택하는 것이 매우 중요하다[18].

광질은 꽃눈의 형성에도 영향을 미치게 되며, 꽃눈의 형성과 발달은 식물의 화성유도에 영향을 미치므로 화훼류 식물의 생육과 더불어 중요한 품질 평가요소가 된다[19]. 식물의 광에 대한 화성유도는 식물의 종류에 따라 다르게 나타나므로[19] 화훼류 식물의 꽃눈분화에 광질별 효과에 대한 구체적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. BL은 광수용체의 반응을 통해 개화 시기를 조절하고[20], 식물의 생육과 호르몬에 신호를 전달하는 인지질분해효소의 활성화와 밀접한 관계가 있다고 알려져 있어[21] 화훼류 식물의 생육과 품질을 결정하는데 중요한 광원으로 판단된다.

식물의 생육과 발달을 결정하는 것은 광합성을 통한 동화산물의 생산이라고 할 수 있으며, BL은 광합성에 관여하는 엽록소의 생성과 밀접한 관계가 있다[21,22]. Hung et al. [23]은 BL을 처리한 블루베리(*Vaccinium ashei*)에서 엽록소 함량이 증가한다고 보고하여 본 연구결과와 유사한 결과를 확인하였고, Maluta et al. [22]은 BL 처리 시 엽록소의 생합성이 증가하여 엽록소 함량이 증가한다고 보고하였다. 식물체의 잎에서 엽록소 함량은 광이나 온도와 같은 기상조건에 의해 영

향을 받지만[24] 엽록소 생합성에 관여하는 영양조건에 의해서도 영향을 받는다[25]. 한지형 잔디의 뿌리 생육이 개선되는 경우 질소 흡수가 증가한다고 보고한 바 있어 Table 1에서 GL 처리 시 T/R ratio가 낮아 뿌리의 생장 비율이 높았던 점을 고려한다면 양분흡수가 증가했을 것으로 사료된다[26]. Lee et al. [25]은 질소 흡수가 높을 때, 식물 잎에서 엽록소 함량이 증가하고, 생육이나 신장을 증대시킨다고 보고한 바 있다.

식물체 잎에서 엽록소의 증가는 일정한 범위에서 식물체 잎의 카로테노이드와 안토시아닌 함량을 증가시키는 것으로 알려져 있으며[16,22], 본 연구에서도 엽록소와 카로테노이드 함량의 높은 상관성(순화실 시험 $r=0.98^{***}$, 온실 시험 $r=0.93^{***}$)을 나타내었다. 이는 BL이나 황색광의 처리 시 엽색 중 황색 색소가 증가한다는 선행결과와 유사한 결과이며[18] 일반적으로 식물체에서 대표적인 황색 색소는 카로테노이드로[13] 본 연구에서도 청색광 처리 시 카로테노이드 함량이 증가하였다(Table 3). 순화 후 온실 재배 시 페튜니아의 엽록소와 카로테노이드 함량이 감소한 것은 8월 23일 순화를 위해 페튜니아를 이식한 후 순화와 온실재배과정에서 포트 안에 있는 양분의 대부분을 소진하였기 때문으로 추정된다[27].

페튜니아의 순화 시 BL은 Table 1에서 초장이나 엽폭이 증가하지만 분지된 가지수나 뿌리 생육이 감소하여 페튜니아의 균형적인 생육에 적합한 광은 아니었으나 Table 3에서 잎 조직 내 엽록소 함량이 증가하여 광합성과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다[21]. 또한, Table 1에서 순화 시 BL을 조사된 경우 페튜니아의 줄기신장을 촉진하므로 이에 관여하는 식물호르몬이나 효소 및 유전자에 대한 연구가 필요하며, 이를 순화 및 재배에 활용하기 위한 추가 연구가 필요한 것으로 판단된다.

순화과정 중 RL의 처리는 지상부 생육이 WL보다 지상부의 건물중이 증가하였고, 온실재배 후에는 지상부와 지하부의 생육이 모두 증가하였다(Table 2). 이는 RL이 식물의 생육에서 항산화 물질이나 효소의 활성을 개선하기 때문으로 사료되며[28], 체내에 이러한 항산화 물질의 증대에 의해 불량한 환경이나 온실 적응과정에서 페튜니아의 스트레스에 대한 저항성을 증대시켰기 때문으로 생각된다[24]. 또한, 순화과정에서 RL 처리 시 식물의 뿌리발달을 촉진하여 순화 이후 재배되는 식물의 활착을 개선하였기 때문으로 판단된다[29]. 순화과정 중 식물의 뿌리발달은 순화 후 생존율 향상에 중요한 요인이 되기 때문이다[6].

GL은 광합성에 유효한 광은 아니므로 GL 단일광의 처리에 따라 식물의 생육과 발달에 대한 직접적인 보고는 매우 적으나[30] *Thevetia peruviana*의 세포배양과정에서 GL을 처리하는 경우 다른 광에 비해 기질의 소비가 빨라 식물의 생육이 감소하는 것으로 알려져 있다[28]. 그러나 GL이 단일광이 아닌 혼합광으로 사용하는 경우 엽록소 함량이 증대되거나 생육이 증가되는 상승작용을 보고되었다[11]. 이는 GL처리 시 항산화 효소의 작용이 증대되어 불량한 환경 내에서 스트레스에 대한 저항성이 증가되기 때문으로 판단된다[24].

페튜니아의 순화 시 최적 광조건을 결정하기 위해서는 페튜니아의 지상부와 지하부의 생육을 증대시키고, 화이분화가

대조구와 유사했던 RL을 기본광으로 하고, 엽록소 함량을 증대시키는 BL과 환경스트레스에 대한 저항성을 개선하는 GL을 추가하여 최적 광조건을 결정해야 할 것으로 생각된다. 이와 더불어 페튜니아의 순화나 온실 재배 중 최적의 광환경과 시비 및 토양 조건에 대한 보완 연구도 진행되어야 할 것으로 판단된다.

결론

광은 식물의 생육과 발달을 결정하는 중요한 요소이다. 본 연구는 조직배양된 페튜니아(*P. hybrida*)의 다른 광 환경에서 순화하였을 경우 순화실과 온실에서 페튜니아 생육의 변화를 조사하고자 시험을 수행하였다. 시험에서 광은 백색광(WL; control), 청색광(BL; 447 nm), 녹색광(GL; 519 nm) 및 적색광(RL; 667 nm)을 이용하였다. 순화 후 WL과 비교할 때, BL에서 페튜니아의 초장과 엽폭이 각각 42%와 11.7% 증가하였고, RL은 지상부의 건물중이 29.3% 증가하였다. 순화 후 엽록소와 카로테노이드 함량은 BL 처리구에서 각각 17%와 19%씩 증가하였고, GL은 20%와 17%씩 증가하였다. 온실에서 재배 후 초장은 BL과 RL에서 16.7%와 11.3%씩 증가하였고, 엽장과 엽폭은 GL에서 14.4%와 11.9%씩 증가하였다. GL과 RL을 순화한 후 이를 온실에서 재배할 때 지상부와 지하부의 생육이 WL보다 증가하였다. 상기 결과들을 종합할 때, BL은 페튜니아의 초장의 신장과 엽록소 함량 증대에 관여하고, GL과 RL은 페튜니아의 지상부와 지하부 생육에 관여하는 광 파장을 알 수 있었다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments

This research was funded by the New Breeding Technologies Development Program (No. PJ016547), Rural Development Administration.

References

- Song CY, Bang CS (2001) Correlation and combining ability of plant height and characters related to flowering of F1 hybrids by diallel cross in *Petunia hybrida*. *Journal of the Korean Society for Horticultural Science*, 42(5), 601-605.
- Lee JK, Park JY, Park KJ, Ryu SH, Shin JH (2004) Genetic studies of major agronomic traits in hybrid populations of maize inbred lines. *Korean Journal of Plant Resources*, 17(3), 304-313.
- Moon HK, Park SY (2008) Effect of different light sources and ventilation on in vitro shoot growth and rooting of a rare and endangered species, *Tsuru-rindo* (*Tripterospermum japonicum*). *Journal of Plant Biotechnology*, 35(3), 215-221.
- Kim JB (2017) Optimization of a protocol for the production of transgenic lily plants via particle bombardment. *Journal of Plant Biotechnology*, 44(1), 82-88. <https://doi.org/10.5010/JPB.2017.44.1.082>.
- Li CH, Lim JD, Kim MJ, Kim NY, Yu CY (2005) Acclimatization and growth characteristics of plantlets of *Eleutherococcus senticosus* maxim cultured by bioreactor. *Journal of Medicinal Crop Science*, 13(4), 133-137.
- Kwon SI, Kim MJ, Kang IK (2005) Changes of root physiology of tissue cultured M.9 apple rootstock after layering. *Korean Journal of Plant Biotechnology*, 32, 181-186.
- Shin YK, Yoon YTJ, Hahn EJ, Paek KY (2009) Photosynthetic photon flux (PPF) affects growth, photosynthesis and acclimatization of Phalaenopsis 'Amagilde' plantlets. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 27, 476-481.
- Heo JW, Lee JS, Lee GI, Kim HH (2017) Growth of kale seedling affected by the control of light of quality and intensity under smart greenhouse conditions with artificial lights. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 36, 193-200. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2017.36.3.31>.
- Kim S, Kim J, Oh W (2018) Propagation efficiencies at different LED light qualities for leaf cutting of six echeveria cultivars in a plant factory system. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 27(4), 363-370. <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2018.27.4.363>.
- Zheng L, Steppe K, Van Labeke MC (2020) Spectral quality of monochromatic LED affects photosynthetic acclimation to high-intensity sunlight of *Chrysanthemum* and *Spathiphyllum*. *Physiologia Plantarum*, 169(1), 10-26. <https://doi.org/10.1111/ppl.13067>.
- Kim S, Bok G, Park J (2018) Analysis of antioxidant content and growth of *Agastache rugosa* as affected by LED light qualities. *Journal of Bio-Environment Control*, 27, 260-268. <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2018.27.3.260>.
- Yoo KR, Lee SY (2017) Effects of light-emitting diodes on in vitro growth of virus-free sweet potato plantlets. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 35(4), 490-498. <https://doi.org/10.12972/kjhst.20170052>.
- Lichtenthaler HK, Buschmann C (2001) Chlorophylls

- and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1(1), F4.3.1-F4.3.8.
14. Heo JW, Kim HH, Yoon JB, Lee JK, Huh YS, Lee KY (2015) Effect of supplementary radiation on growth of greenhouse-grown kales. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 34, 38-45. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2015.34.1.02>.
 15. Heo JW, Lee YB, Chang YS, Lee JT, Lee DB (2010) Effects of light quality and lighting type using an LED chamber system on chrysanthemum growth and development cultured in vitro. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 29, 374-380. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2010.29.4.374>.
 16. Kim YH, Lee JS. (2016) Growth and contents of anthocyanins and ascorbic acid in lettuce as affected by supplemental UV-A LED irradiation with different light quality and photoperiod. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 34, 596-606. <https://doi.org/10.12972/kjhst.20160061>.
 17. Lin KH, Huang MY, Huang WD, Hsu MH, Yang ZW, Yang CM (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. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.002>.
 18. Lee JH, Nam SY (2022) Analysis of growth and leaf color changes of *Sedum album* cv. Athoum according to the spectral power distribution of several white LEDs. *Flower Research Journal*, 30(4), 184-193. <https://doi.org/10.11623/frj.2022.30.4.03>.
 19. Heo JW, Lee CW, Chakrabarty D, Paek KY (2002) Growth responses of marigold and salvia bedding plants as affected by monochromic or mixture radiation provided by a light-emitting diode (LED). *Plant Growth Regulation*, 38, 225-230. <https://doi.org/10.1023/A:1021523832488>.
 20. Zuo Z, Liu H, Liu B, Liu X, Lin, C (2011) Blue light-dependent interaction of CRY2 with SPA1 regulates COP1 activity and floral initiation in Arabidopsis. *Current Biology*, 21(10), 841-847. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.03.048>.
 21. Xue H, Che X, Li G (2007) Involvement of phospholipid signaling in plant growth and hormone effects. *Current Opinion in Plant Biology*, 10, 483-489. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2007.07.003>.
 22. Maluta FA, Bordignon SR, Rossi ML, Ambrosano GMB, Rodrigues PHV (2013) *In vitro* culture of sugarcane exposed to different light sources. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48, 1303-1307. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000900015>.
 23. Hung CD, Hong CH, Kim SK, Lee KH, Park JY, Dung CD, Nam MW, Choi DH, Lee HI (2016) *In vitro* proliferation and ex vitro rooting of microshoots of commercially important rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei* Reade) using spectral lights. *Scientia Horticulturae*, 211, 248-254. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.003>.
 24. Miazek K, Ledakowicz S (2013) Chlorophyll extraction from leaves, needles and microalgae: A kinetic approach. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 6, 107-115. <http://doi.org/10.3965/ijabe.20130602.0012>.
 25. Lee JJ, Kim YS, Ham SK, Lee CE, Lee GJ. (2015) Growth and quality improvement of creeping bentgrass by two fertilizer containing *Trichoderma* species. *Weed and Turfgrass Science*, 4(3), 249-255. <https://doi.org/10.5660/WTS.2015.4.3.249>.
 26. Kim YS, Lee TS, Cho SH, Lee GJ (2018) Application of liquid fertilizer containing humate improving rhizosphere activation and favoring turfgrass quality. *Weed and Turfgrass Science*, 7(1), 62-71. <https://doi.org/10.5660/WTS.2018.7.1.62>.
 27. Kim YS, Lee TS, Cho SH, Jeong JY, An JY, Lee JJ, Han KP, Hong JH (2017) Growth effect of mixed organic fertilizer blending poultry manure compost in leaf vegetables. *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 25(3), 45-54. <https://doi.org/10.17137/korrae.2017.25.3.45>.
 28. Arias JP, Zapata K, Rojano B, Arias M (2016) Effect of light wavelength on cell growth, content of phenolic compounds and antioxidant activity in cell suspension cultures of *Thevetia peruviana*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 163, 87-91. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.08.014>.
 29. Daud N, Faizal A, Geelen D (2013) Adventitious rooting of *Jatropha curcas* L. is stimulated by phloroglucinol and by red LED light. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 49, 183-190. <https://doi.org/10.1007/s11627-012-9486-4>.
 30. Folta KM, Maruhnich SA (2007) Green light: a signal to slow down or stop. *Journal of Experimental Botany*, 58, 3099-3111. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm130>.