

LED 광질과 보광시간이 임파첸스의 생육과 개화에 미치는 영향

김소희¹ · 허유¹ · 이한철² · 강점순^{1*}

¹부산대학교 원예생명과학과, ²국립원예특작과학원 시설원예시험장

Effect of LED Light Quality and Supplemental Time on the Growth and Flowering of Impatiens

So Hee Kim¹, You Heo¹, Han Cheol Rhee², and Jum Soon Kang^{1*}

¹Department of Horticultural Bioscience, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea

²Protected Horticulture Experiment Station, NHRI, RDA, Busan 610-800, Korea

Abstract. This study was conducted to examine the effect of LED light quality and treatment time on the growth and flowering in potted plants of Impatiens (*Impatiens hawkeri* hybrid). Plant height of Impatiens was enhanced under Blue light, regardless of treatment time. Root length and stem diameter of Impatiens were enhanced by Red light or Blue light. The number of internodes was not influenced by LED light quality. The number of branches of Impatiens was increased under Blue light, but treatment time did not result in statistically significant differences. Leaf area was increased by all LED lights in Impatiens. The number of flower buds and open flowers was decreased by LED light, but days to flowering were reduced by Red light in Impatiens. Chlorophyll and anthocyanin content were not significantly affected by LED light, but anthocyanin content tended to increase by Blue light for 4 h after sunset. Fresh and dry weights were enhanced by Blue light in Impatiens.

Additional key words : anthocyanin, chlorophyll, impatiens hawkeri hybrid, supplemental light

서 론

임파첸스(*Impatiens hawkeri* hybrid)는 봉선화과(Balsaminaceae)에 속하고 뉴기니아가 원산지이다. 뉴기니아 봉선화라고도 불리는 임파첸스는 중성식물로서 개화는 생육초기부터 이루어지고 진분홍색, 빨간색, 자주색 등 다양한 화색을 가진다. 꽃잎은 5매로 겹으로 피어 꽃이 화려하기 때문에 분화용으로 인기가 있으며, 최근 우리나라에서도 재배면적이 증가하고 있다(Lee 등, 2006).

임파첸스는 광 환경에 따라 반응이 민감하며(Banner와 Klopmyer, 1995), 높은 광도에서는 하고현상을 보이고 잎색이 황색으로 변하여 관상가치가 떨어지고 낮은 광도에서는 초장 및 절간장은 길고 엽폭, 엽면적 등이 넓어 착화상태가 불량하다고 하였다(Jeong 등, 1986). 화아발달기에는 광량이 부족하면 안토시아닌 함량이 부족하여 꽃잎과 소화경에 착색에 이상이 나타난다고 하였다(Lee 등, 2006). 임파첸스의 묘생육에 광량도 중요하지만 광질도 영향을 미치는데 청색광은 초장의 신장을 촉진하고,

백색광은 도장을 억제하여 우량묘를 생산할 수 있었다(Son와 Cho, 2000).

분화식물의 품질향상을 위한 요인들은 초장조절, 잎의 황화와 낙엽 개선, 낙뢰 및 낙화 개선, 개화조절, 개화수명 등으로 구분할 수 있다. 분화품질을 유지하고 유통과정에 스트레스를 경감시키기 위하여 순화과정이 필요한데, 그 방법은 주로 광, 무기영양, 관수조절 등의 방법이 있는데 현재는 광도, 일장 및 광질을 이용한 연구가 많이 이루어지고 있다(Moe와 Heins, 1990; Rajapakse 등, 1999). 최근에는 식물공장이나 시설재배를 위하여 광원, 광질에 관한 연구가 많이 이루어지고 있으며 일조부족에 따른 문제점을 해결코자 인공광을 인위적인 제어하여 식물재배에 필요한 광원을 공급하고 있다(Kim, 2010).

식물재배에 부족한 광을 공급하기 위해 형광등, 백열등, 메탈할라이드등, 고압나트륨등, 수은등, LED 등의 인공광원을 사용하고 있다. LED(Light-emitting diode, 발광다이오드)는 태양광의 가시광선 영역을 거의 흡사하게 낼 수 있고 인공광원으로 단일 피크파장을 가지고 식물생장에 필요한 파장대역을 쉽게 조사할 수 있는 장점을 가진다. 그러나 초기설치 비용이 비싸 경제적인 부담이 큰 단점이 있어 당장의 실현 가능성이 어려우나 미래농업 이용에는 유용할 것이다.

*Corresponding author: kangjs@pusan.ac.kr

Received February 12, 2013; Revised June 13, 2013;

Accepted July 15, 2013

광질은 광형태형성, 화아발달 및 개화에 영향을 미치며 임파첸스의 품질에 중요한 요인이 된다. 특정 광질을 조사할 수 있는 LED는 임파첸스의 생장과 개화에 크게 영향을 미칠 것으로 기대된다. 따라서 본 연구는 일몰 후 LED의 다양한 광질 및 보광처리 시간이 임파첸스 분화식물의 생장과 개화에 미치는 영향을 조사하여 고품질의 분화식물을 생산하기 위한 기초자료를 얻고자 수행되었다.

재료 및 방법

본 실험은 2012년 2월 13일부터 2012년 6월 12일까지 부산대학교 첨단온실에서 수행되었다. 삼목 후 90일째인 2012년 2월 13일, 삼수 1개씩 직경 10cm 화분에 발근된 묘 중 균일한 묘를 선택하여 육묘용 혼합 상토(바이오 그린상토, 흥농)를 충전한 후 정식하였다. 혼합 상토의 주요 배합소재는 60~80%의 유기물(코코피트, 피트모스), 무기물(제오라이트, 펄라이트, 버미큘라이트), 첨가제(수용성비료, pH조절제, 습윤제) 등이다. 이후 삼목묘는 정식이 되기 전까지 환경제어가 가능한 첨단온실($22.5 \pm 1^\circ\text{C}$)에서 재배되었다. 재배상 온도는 $22.5 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 유지하였으며, 3일 간격으로 저면관수 하였다.

식물재배 조명은 LED(PARUS, Korea)로 광강도는 적색광은 $954.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 청색광은 $1,051.8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 적색 + 청색 혼합광은 $867.3 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 였다. LED는 일몰 후 보광광원으로 사용하였고, 각 식물체의 25cm 위에 설치하여 식물이 성장함에 따라 LED의 높이를 조절하였다. LED 광질과 광 처리시간의 혼합으로 7 처리(적색 + 2h, 적색 + 4h, 청색 + 2h, 청색 + 4h, 적색 + 청색 + 2h, 적색 + 청색 + 4h, 무처리)로 시험을 수행하였다. 보광없이 생육시키는 것을 대조구(Control)로 하고 일몰 후 LED 광을 조사하여 각 처리구에 차이를 두었다. LED 광질의 종류는 적색광(660nm, R), 청색광(430nm, B), 적색 + 청색 혼합광(R : B = 8 : 2, RB)으로 처리하였다. 또한, LED 광 처리시간을 일몰 후 2시간, 4시간으로 나누어 실시하였다. 각 처리구는 낮에는 자연광이 투과되도록 하였으며 일몰 후에는 칸막이를 이용하여 처리간 광의 간섭을 차단하였다(Fig. 1).

2012년 2월 13일부터 6월 12일까지 30일 간격으로, 식물체의 초장, 엽수, 마디수, 직경, 분지수, 색도, 엽록소 함량, 안토시아닌 함량, 꽃봉오리수, 개화수, 개화소요일수를 조사하였다. 실험 최종일에는 생체중과 엽면적(LI-COR, Inc. LI-3100 AREA METER, USA)을 측정 후 70°C 의 항온건조기에서 72시간 건조하여 건물중을 측정하였다.

식물체의 잎의 색은 색차계(Nippon Denshoku, INC.

CO. LTD. Model No. NR-3000, Japan)를 이용하여 Hunter L, a, b 값을 측정하였다. 색도 측정은 처리구마다 임파첸스의 평균 색도를 가지는 잎을 지정한 후 30일 간격으로 같은 위치에서 측정하여 광질에 따른 잎의 색 변화를 관찰하였다.

Chlorophyll 함량 측정은 각 처리구의 잎 중앙 부위에서 생체중 100mg을 채취하여 80%(v/v) Acetone 5mL를 넣고 막자사발로 곱게 갈아 추출하였다. 이 추출물을 15mL tube에 담아 2,000rpm에서 5분간 원심분리(Hanil, MICRO 17TR, KR)하여 상층액만을 취한 후 남은 침전물을 다시 80%(v/v) Acetone 5mL에 현탁시켜 원심분리 한 후 상층액을 잎의 상층액과 합하였다. 합한 상층액을 균일하게 섞은 후, Spectrophotometer(MECASYS, OPTIZEN 3220UVbio, KR)를 이용하여 645nm와 663nm에서 상층액의 흡광도를 측정하였다. 나온 흡광계수를 토대로 엽록소의 함량을 산출하였다.

Anthocyanin 함량 측정은 생체중 1g씩의 잎을 채취하여 95% ethanol과 1.5N HCl을 85 : 15(v/v)로 혼합한 용액을 넣어 막자사발을 이용하여 추출하고, 15분간 1446g의 속도로 원심분리(Hanil, MICRO 17TR, KR)하여 상층액을 취하였다. 하나의 상층액 0.4mL에 두 개의 다른 buffer 용액을 이용하여 희석하였다. 사용된 buffer 용액은 Potassium chloride buffer(0.025M, pH 1.0)과 Sodium acetate buffer(0.4M, pH 4.5)였다(Giusti and Wrolstad, 2005). 희석하여 15분 후, Spectrophotometer(MECASYS, OPTIZEN 3220UVbio, KR)를 이용하여 520nm와 700nm에서 흡광도를 측정 후 안토시아닌 함량을 산출하였다.

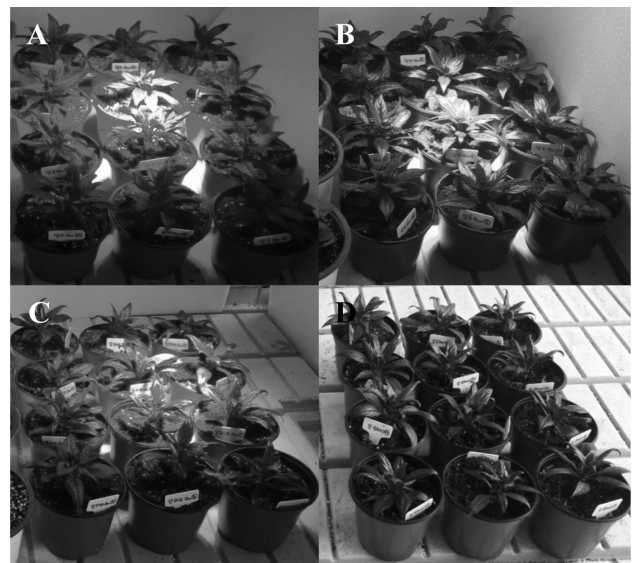


Fig. 1. Light quality treatments after sunset of *Impatiens*. A, Red light LED; B, Blue light LED; C, Red and Blue mixed light LED; D, Control (No supplemental light after sunset).

(Giusti and Wrolstad, 2005; Huang 등, 2009; Li and Kubota, 2009).

임파첸스의 생육조사 및 함량 분석은 SPSS 프로그램 (PASW Statistics 18.0)을 이용하여 분산분석 및 처리 간 차이를 Duncan의 다중검정으로 통계분석하였다.

결과 및 고찰

Table 1은 LED의 광질과 일몰 후 보광시간이 임파첸스의 생육 특성에 미치는 영향을 분석한 결과이다. 마디 수, 뿌리길이, 분지수, 직경은 보광시간이나 광질에 영향을 받지 않았다. 반면 초장과 절간길이에서 유의한 차이를 보였다. 적색광에서 작물의 초장 신장이 촉진된다고 보고된 바 있으나(Lee 등, 2012) 본 실험에서는 보광시간과 상관없이 17.2, 16.4cm로 청색광에서 15.4, 15.3cm의 적색광보다 초장신장이 촉진되었고 광질에서 유의한 차이를 보였다. 이는 작물의 종류마다 광질의 작용이 다를 수 있음을 시사하고 있다(Zhang 등, 2001). 절간수는 보광시간이나 광질에 영향을 받지 않았다. 반면 절간길이는 대조구에 비해 적색, 청색 및 혼합 광질을 조사하였을 때 절간의 길이와 뿌리 길이가 증가하였으며 2시간의 청

색광 처리에서 2.50cm로 가장 길었으며, 대조구와 0.6cm의 차이를 보였다. 이것은 초장에 관여하는 것은 절간의 수보다는 절간의 길이에 의한 것으로 추측된다.

Table 2는 임파첸스의 잎의 특성과 생체중, 건물중을 조사한 것으로 엽면적은 광질, 처리시간의 단독 또는 이들 요인간의 상호작용에서 유의한 차이를 보였으며 적색광, 청색광 및 혼합광은 대조구에 비해 엽면적이 증가하였다. 반면 적색+청색 혼합광 처리에서 엽면적이 감소하였는데, 그 이유는 잎이 노화가 되면서 탈리현상이 일어났기 때문인 것으로 보인다. 엽수는 처리시간, 광질의 상호작용에서 유의한 차이를 보였으며, 엽면적과 마찬가지로 2시간의 청색광에서 엽수가 가장 많았다.

지상부의 생체중은 광질 처리에 있어 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. 대조구 보다는 청색광에서 지상부의 생체중과 건물중이 증가하였다. 청색광이 처리된 식물체의 지상부 생체중은 62.85g(2h), 56.63g(4h)으로 광질처리 가운데 가장 높았다. 반면 지하부 생체중과 건물중은 적색광, 청색광 및 혼합광의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 그러나 일몰 후 4시간의 적색광 처리는 지하부 건물중이 대조구보다 0.15g 높은 결과를 보였다. 일몰 후 2시간의 적색 + 청색 혼합광과 4시간의 적색광

Table 1. Growth characteristics of Impatiens grown for 120 days after planting as affected by different light quality and supplemental time.

Treatment time (h)	Light quality	Plant height (cm)	No. of internodes	Internodes length (cm)	Root length (cm)	No. of branches	Stem diameter (mm)
2	Red	15.4 bc ^z	7.4 a	2.14 ab	29.7 a	7.4 a	10.24 a
	Blue	17.2 a	7.0 a	2.50 a	28.8 a	9.0 a	10.88 a
	Red + Blue	14.3 cde	6.8 a	2.08 ab	27.6 a	7.2 a	10.06 a
4	Red	15.3 bcd	7.4 a	2.08 ab	29.0 a	7.8 a	10.47 a
	Blue	16.4 ab	7.4 a	2.22 ab	30.2 a	8.6 a	10.69 a
	Red + Blue	13.7 de	7.0 a	1.98 b	25.2 a	8.0 a	9.39 a
Control		13.1 e	6.8 a	1.94 b	22.1 a	8.4 a	10.93 a

^zMeans separation in columns by Duncan's multiple range test at 'P = 0.05'.

Table 2. Leaf characteristics, fresh and dry weight of Impatiens grown for 120 days after planting as affected by different light quality and supplemental time.

Treatment time (h)	Light quality	Leaf area (cm ²)	No. of leaves	Fresh weight (g/plant)		Dry weight (g/plant)		
				Top	Root	Top	Root	T/R
2	Red	626.6 a ^z	86.8 a	49.72 abc	16.50 a	3.34 a	0.96 ab	3.51 ab
	Blue	784.5 a	101.0 a	62.85 a	18.26 a	3.82 a	0.97 ab	4.01 a
	Red + Blue	190.0 c	42.6 b	32.27 c	13.29 a	2.03 b	0.81 b	2.86 b
4	Red	627.7 a	94.6 a	52.14 ab	17.83 a	3.39 a	1.15 a	3.02 b
	Blue	680.3 a	85.4 a	56.63 ab	14.62 a	3.41 a	0.89 ab	3.84 a
	Red + Blue	677.7 a	100.0 a	50.61 ab	14.61 a	3.20 a	0.92 ab	3.54 ab
Control		412.8 b	83.6 a	36.20 bc	17.14 a	3.03 a	1.00 ab	3.08 b

^zMeans separation in columns by Duncan's multiple range test at 'P = 0.05'.

을 제외한 광질처리들은 대조구에 비해 T/R율이 높았으며, 특히 청색광처리에서 T/R율이 3.94(2h), 3.83(4h)으로 가장 높게 나타나 지상부의 생장이 지하부의 생장보다 우수하였다. Kim 등(2008)은 브로콜리의 생체중 증가에 청색광이 효과적이었으며, Eun 등(2011)은 들깨와 고추에서 지상부의 생체중과 건물중 향상에 청색광이 좋았다고 하였다. 본 실험에서 임파첸스의 생체중과 건물중이 청색광에서 가장 높았다.

모든 처리구에서 100%의 개화율을 보인 임파첸스는 꽃눈 수가 대조구에 비해 광질을 처리함으로써 감소하는 경향을 보였다. 임파첸스는 적색광에 의해 꽃눈생성이 억제되었지만 개화수는 가장 많았다. 반대로 적색 + 청색의 혼합광에서 꽃눈생성은 촉진되었으나 개화수는 현저하게 낮았다(Fig. 2). 이는 적색광이 영양생장에서 생식생장으로 빠른 전환을 유도한 것으로 보이며, 광질이 식물체의 발달단계를 전환시키는 요인임을 시사하고 있다. 임파첸스의 개화소요일수는 적색 + 청색 혼합광 처리에서는 개화가 지연되었고, 적색광에서 개화소요일수가 감

소함을 알 수 있었다(Fig. 2). 미니 시클라멘을 대상으로 한 선행 연구에서도 적색+청색 혼합광 처리에서 개화소요일수가 단축되었다고 하였다(Baek, 2003). 그리고 아리둡시스, 메리골드, 실비아, 아게라툼은 단일의 적색광, 청색광에서 개화가 지연되었다고 하였으며(Baek, 2003) 광질에 따른 개화반응은 작물의 종류에 따라 다양함을 제시하고 있다.

Table 3은 임파첸스의 생장에서 LED의 광질과 보광시간에 따른 엽록소 및 안토시아닌 형성에 관한 결과이다. 임파첸스의 엽록소는 적색광, 청색광 및 혼합광보다 대조구에서 더 높았다. 엽록소 a는 광질처리에 따른 차이를 보이지 않았으며, 엽록소 b와 총 함량은 대조구에서 가장 높았다. 엽록소 b는 일몰 후 2시간의 적색 + 청색 혼합광에서, 총 함량은 일몰 후 2시간의 적색광과 적색 + 청색 혼합광에서 가장 낮았다. 엽록소 a/b의 비율은 일몰 후 2시간의 적색 + 청색광에서 증가하였으며, 대조구에서 1.867mg/mgfw로 가장 낮았다. 안토시아닌 함량은 전반적으로 일몰 후 4시간의 청색광에서 증가하였다. 안

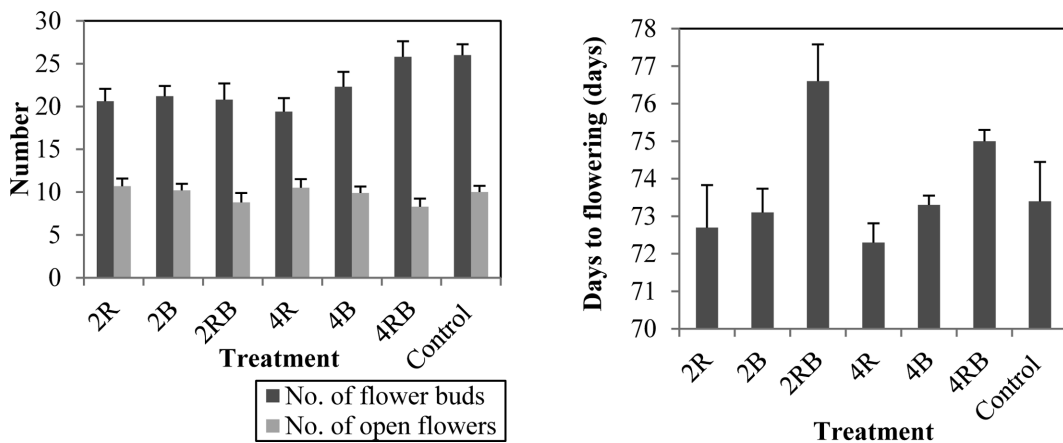


Fig. 2. Flowering characteristics of Impatiens grown under different light quality during treatment periods. In each bars, means followed by a common letter are significantly different at the 5% level by Duncan's multiple range test (2R: 2 h, Red light, 2B: 2 h, Blue light, 2RB: 2 h, Red + Blue light, 4R: 4 h, Red light, 4B: 4 h, Blue light, 4RB: 4 h, Red + Blue light).

Table 3. Chlorophyll and anthocyanin of Impatiens grown under different light quality and supplemental time during treatment time.

Treatment time (h)	Light quality	Chlorophyll (mg/mg · fw)			Anthocyanin (µg/g · fw)
		Chl. a	Chl. b	Chl. a/b	
2	Red	0.030 a ^z	0.012 ab	2.401 ab	2.329 a
	Blue	0.028 ab	0.012 ab	2.386 ab	2.835 a
	Red + Blue	0.025 abc	0.010 ab	2.579 ab	5.720 a
4	Red	0.026 abc	0.010 ab	2.562 ab	6.151 a
	Blue	0.023 c	0.009 b	2.597 a	7.644 a
	Red + Blue	0.024 bc	0.009 b	2.540 ab	5.214 a
Control		0.028 abc	0.013 a	2.239 b	6.733 a

^zMeans separation in columns by Duncan's multiple range test at 'P = 0.05'.

토시아닌 색소발현에 광은 중요한 외적 환경요인으로 작용한다. 청색광은 토마토에서 안토시아닌 생합성을 조절하는 과정 중에 하나이며(Gilberto 등, 2005) 아마란스와 고추묘에서 청색광이 증가할수록 안토시아닌 축적이 증가한다고 하였다(Azad, 2011). 본 실험에서도 안토시아닌 생성에 있어 임파첸스를 대상으로 한 청색광이 좋았다.

밝기를 나타내는 Hunter L값은 정식 후 감소하였다가

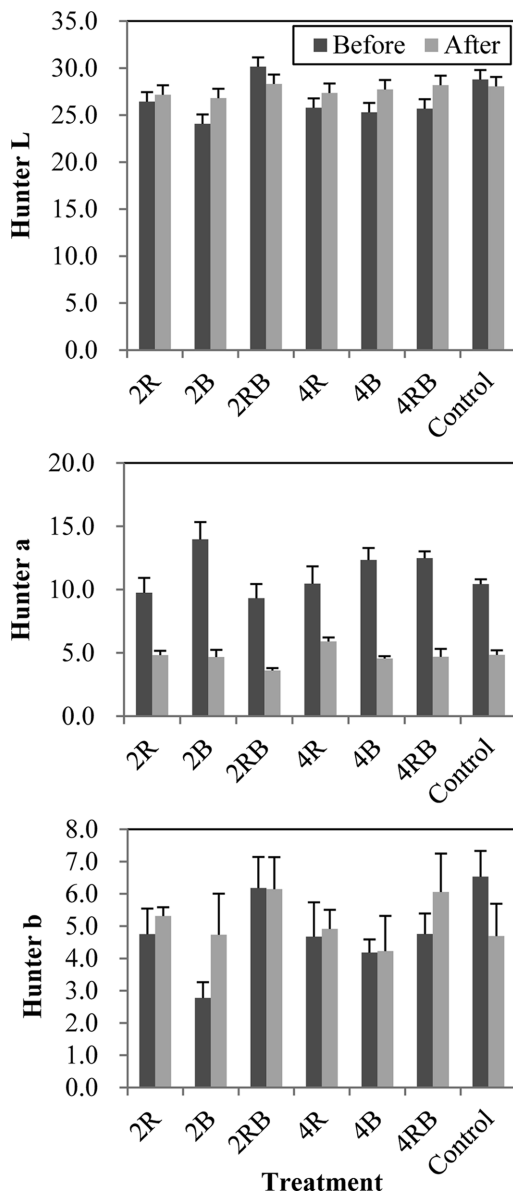


Fig. 3. Hunter L, a and b of *Impatiens* grown under different light quality and supplemental time. In each bars, means followed by a common letter are significantly different at the 5% level by Duncan's multiple range test (2R: 2 h, Red light, 2B: 2 h, Blue light, 2RB: 2 h, Red + Blue light, 4R: 4 h, Red light, 4B: 4 h, Blue light, 4RB: 4 h, Red + Blue light).

60일째부터 증가하는 경향을 보였다. 일몰 후 2시간의 적색광에서 27.17로 가장 낮았고, 일몰 후 2시간의 적색 + 청색 혼합광에서 28.31로 가장 높았다. 처리시간에 상관없이 적색 + 청색 혼합광을 제외한 나머지 광은 대조구보다 낮은 값을 나타내었다. Hunter a값은 일몰 후 4시간의 적색광에서 5.90으로 가장 높았으며, 일몰 후 2시간의 적색+청색 혼합광에서 3.61로 대조구보다도 낮은 값을 보였다. Hunter b값은 일몰 후 2시간의 적색+청색 혼합광에서 6.14로 높은 값을 나타내었다. 또한 적색광, 청색광 및 혼합광은 4시간 처리보다 2시간 처리에서 낮았다(Fig. 3). 그러나 지금까지 분화식물의 색도측정에 관한 실험이 미흡하였다. 작물의 종류에 맞는 색도를 지정하고 환경에 따른 색도 변화에 관한 연구가 수행된다면 분화의 품질 향상에 크게 기여할 것으로 예측된다.

분화식물은 식물의 길이가 도장하지 않으며 환경장도 균일하고 품질이 좋아야 한다. 또한 분지수가 많아 볼륨감이 있어야 하며, 무엇보다 개화가 균일해야 한다. 본 실험에서 임파첸스에 광질처리는 양적, 질적 생장의 차이가 있었다.

광질은 생장과 품질에 영향을 미치는 요인으로 작물의 품질과 종류에 따라 다양한 효과를 나타낸다. 분화식물은 종류가 다양하기 때문에 각 종류에 맞는 LED를 활용한 재배법 개발이 필요하다. LED는 가까운 미래에 농가에서 활용도가 우수한 인공광원이다. 이에 따라 LED 광질에 관한 연구는 광질 이외의 온도, 광주기, 광도, LED의 혼합비율 등에 많은 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

적 요

본 실험은 임파첸스 분화식물의 생장과 개화에 LED 광질과 효과 적정 처리 시간을 구명하기 위해 수행되었다. 임파첸스의 초장은 2.50cm로 청색광에 의해 촉진되었으며 대조구에 비해 0.6cm의 차이를 보였다. 절간수, 뿌리길이, 분지수, 직경은 보광시간이나 광질에 영향을 받지 않았다. 엽면적은 412.81cm²의 대조구에 비해 광질처리 시 626.64~784.53cm²로 증가하였다. 광질처리에 의해 화이수와 개화수는 감소하는 경향을 보였다. 그러나 개화소요일수는 광질처리에 의해 단축되어 개화를 촉진하였으며 적색광에서 좋았다. 엽록소 함량은 광질처리에 의해 크게 영향을 받지 않았으나, 안토시아닌 함량은 전반적으로 일몰 후 4시간의 청색광에서 증가하였다. 광질처리는 청색광 처리에서 생체중과 건물중이 향상되었다.

추가 주제어 : 안토시아닌, 엽록소, *Impatiens hawkeri hybrida*, 보광

Literature Cited

- Azad Md. Obyedul Kalam. 2011. Effects of supplemental LED light qualities on the physiology and phytochemicals of leafy baby vegetables in glass house. Master thesis, Andong National University, South Korea.
- Baek, K.Y. 2003. Effect of light emitting diodes (LED) on the growth and photomorphogenesis in horticultural plants. Ministry of Agriculture and Forestry, South Korea.
- Banner, W. and M.J. Klopmeier. 1995. New guinea impatiens. Ball Pub., Batavia, Illinois, USA.
- Bjorkman, T. 1998. Mechanical conditioning for controlling excessive elongation in transplants. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 67:1121-1123.
- Eun, J.S., J.H. Choi, and J.S. Kim. 2011. Effects of LEDs and tungsten lamp on seedling growth of red pepper (*Capsicum annum* L.). Kor. J. Hort. Sci. Technol. 29:68-68.
- Giliberto, L., G. Perrotta, P. Pallara, J.L. Weller, P.D. Fraser, P.M. Bramley, A. Fiore, M. Tavazza, and G. Giuliano. 2005. Manipulation of the blue light photoreceptor cryptochrome 2 in tomato affects vegetative development, flowering time and fruit antioxidant content. Plant Physiol. 137: 199-208.
- Giusti, M.M. and R.E. Wrolstad. 2005. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. In: Wrolstad, R.E., Acree, T.E., Decker, E.A., Penner, M.H. Reid, D.S., Schwartz, S.J., Shoemaker, C.F., Smith, D., Sporns, P. (Eds.), Handbook of Food Analytical Chemistry: Pigments, Colorants, Flavors, Texture, and Bioactive Food Components. John Wiley & Sons, Hoboken, N.J. p. 19-31.
- Huang, Z., B. Wang, P. Williams, and R.D. Pace. 2009. Identification of anthocyanins in muscadine grapes with HPLC-ESI-MS. LWT-Food Science and Technology 42:819-824.
- Jeong, J.H., K.H. Hong, and Y.P. Hong. 1986. Effect of different light intensities on the growth and flowering of *Impatiens sultanii* and *Begonia semperflorens*. Kor. J. Hort. 4: 100-101.
- Kim, H.G., B.S. Seo, J.Y. Cho, J.M. Kim, and B.G. Heo. 2008. Effect of LED as light quality on the germination, growth and physiological activities of broccoli sprouts. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 26:54-54.
- Kim, J.H. 2010. Trend and direction for plant factory system. J. Plant Biotechnol. 37:442-455.
- Lee, H.S., S.J. Kim, W.G. Shin, and B.C. Yoo. 2006. Effect of light intensity on growth characteristic and flower color change of newguinea impatiens 'fishlimp 149'. J. Bio-Env. Con. 15:406-411.
- Lee, J.S., H.I. Lee, and Y.H. Kim. 2012. Seedling quality and early yield after transplanting of paprika nursed under light-emitting diodes, fluorescent lamps and natural Light. J. Bio-Env. Con. 21:220-227.
- Li, Q. and C. Kubota. 2009. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. Environmental and Experimental Botany. 67:59-64.
- Moe, R. and R. Heins. 1990. Control of plant morphogenesis and flowering by light quality and temperature. Acta Hort. 272:81-89.
- Rajapakse, N.C., R.E. Young, M.J. McMahon, and R. Oi. 1999. Plant height control by photoselective filters: Current status and future prospects. Hort Technology 9:618-624.
- Son, K.C. and S.O. Cho. 2000. Effect of light quality on the inhibition of stem elongation of plug seedlings during storage and the growth and flowering after transplanting of *Salvia splendens* 'Hot Jazz' and *Impatiens* 'Dazzler Violet'. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 41:647-652.
- Zhang, C.H., X.R. Li, W.H. Kang, and I.S. Kim. 2001. Effect of EOD light quality and time of treatment on the seedling of several fruity vegetables at the growth inhibition. Kor. J. Hort. Sci. Technol. p. 71-71.