

LED Chamber System을 이용한 광질 및 광조사 방법 제어가 국화 배양소식물체의 생장에 미치는 영향

허정욱^{1*} · 이용범² · 장유섭³ · 이정택¹ · 이덕배¹

¹농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화생태과, ²농촌진흥청 연구정책과, ³국립농업과학원 생산자동화기계과

Effects of Light Quality and Lighting Type Using an LED Chamber System on *Chrysanthemum* Growth and Development Cultured *In Vitro*

Jeong Wook Heo^{1*}, Yong Beom Lee², Yu Seob Chang³, Jeong Taek Lee¹ and Deog Bae Lee¹ (Climate Change & Agroecology Division, Department of Agricultural Environment, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-100, Korea, ²Research Policy Bureau, On-Farm Research Division, Rural Development Administration, Suwon 441-100, Korea, ³Farming Automation Division, Department of Agricultural Engineering, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-100, Korea)

Received: 10 November 2010 / Accepted: 21 December 2010
© The Korean Society of Environmental Agriculture

Abstract: This experiment was carried out to investigate the effect of light qualities and lighting types provided by LED Chamber System which designed by Rural Development Administration on growth and development of *Chrysanthemum* (*Dendranthema grandiflorum* L., cv. 'Cheonsu') plantlet cultured *in vitro*. The explants of single-node cuttings were exposed to monochromic or mixture radiation of blue, red, or green under continuous and intermittent lighting for 42 days. The intermittent lighting of 20 sec. on and off per minute significantly stimulated shoot elongation with lower number of internodes compared with continuous lighting treatments. However, continuous blue, red, or green light gave greater dry weight comparing the intermittent lighting, and the lowest weight was recorded at the continuous fluorescent lamp. Otherwise, the plantlet growth in dry weight or leaf area was inhibited by the green light controlled at 50 times intermittence but internode elongation was significantly increased. These results showed that the plantlets were successfully grown under the LED Chamber System controlled with different light qualities and lighting types.

Quantitative growth of the plantlets was improved under the shorter photoperiod with a intermittent lighting cycle compared with continuous lighting using fluorescent lamps. It is concluded that the growth and development of *in vitro* plantlets such as single-node cuttings can be achieved by the controlling of light quality or lighting type during the photoperiod per day with a lower electric cost compared with conventional continuous lighting system.

Key Words: Continuous Radiation, Light-Emitting Diodes (LEDs), Light quality, Photoperiod, Single-node cuttings

서 론

식물조직배양 기술은 바이러스나 세균에 오염되지 않은 무균묘를 대량으로 증식, 생산을 위하여 이용되고 있다. 조직 배양에서는 배양기 내에서 세포나 기관 수준의 조직인 뿌리가 발달하지 않은 단절단엽의 배양체나 소식물체의 기관발달이나 생장을 촉진하기 위하여 배양매지 조성과 같은 화학적인 환경이나 습도, 온도 및 광조건과 같은 물리적인 환경 조절이 필수적이다. 그 중에서도 생장상실과 같은 폐쇄된 공간에서 단절단엽의 소식물체 생장을 둘러싼 광질이나 광강도 등의 광환경을 유지하기 위해서는 명기시간 동안 형광등과 같은 인공광을 연속 조사하여 광합성 및 생장을 촉진한다. 그

*교신저자(Corresponding author): J. W. Heo
Tel: +82-31-290-0226 Fax: +82-31-290-0206
E-mail: heowcho@rda.go.kr

러나 형광등은 열선을 포함하고 있어 발열량이 많으며 광강도 분포가 불균일하고 광원의 수명이 짧은 단점이 있는데, 이와 같은 단점을 보완하기 위하여 발열량과 전력소모량이 적고, 수명이 비교적 길며 특정 파장역의 광질을 용이하게 제어할 수 있는 발광다이오드를 이용한 광환경 제어가 주목받고 있다(Bula *et al.*, 1991; Tennessen *et al.*, 1994).

반도체 소자인 발광다이오드(Light-Emitting Diode, 이하 LED)는 형광등, 백열등 및 나트륨등과 같은 기존의 인공 광원에 비해 소형으로 조직배양실과 같은 소규모 공간내 설치 용이하고 수명이 길며 전력소모량이 적다. 또한 식물체의 광합성 및 성장에 필요한 파장역을 단일 또는 혼합하여 임의로 조절할 수 있으며 특히, 명기시간 동안 분 단위나 초 단위의 간헐적 광질 제어가 가능하다(Bula *et al.*, 1991). LED 특성상 간헐적 광조사에 의한 램프의 수명연장 및 전력소모량 절감효과 우수하여 에너지 절감형의 새로운 식물육성용 인공광원으로 이용 가능성이 높다는 장점이 있다. 따라서 LED는 배양기내외 식물체의 성장 및 형태형성을 조절할 수 있는 새로운 인공광원의 하나로 주목받으며 국내외적으로 LED의 실험실적 또는 실용적 이용에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다(Gepstein과 Thimann, 1980; Saebo *et al.*, 2000; Heo *et al.*, 2002a; 2002b; 2003; 2006; 2009; 2010; Lee *et al.*, 2005).

한편, 배양소식물체 증식 및 생산을 위한 광조사 방법은 주로 16시간 명기와 8시간 암기로 24시간 주기의 명암시간 제어로, 명기시간 동안 연속적으로 광조사하는 것이 일반적이다. 그러나 최근 들어 명기시간 동안의 연속적 광조사보다 단주기의 간헐적인 명기시간 제어에 의한 일부 식물체의 생장이나 이차대사산물 합성 촉진 등 LED의 간헐적 광조사가 식물체에 미치는 영향에 대한 연구결과가 보고되고 있다(Sivakumar *et al.*, 2006).

본 연구에서는 적색, 청색 및 녹색의 3파장 LED를 광원으로 하여 광질, 광강도 및 광조사 시간(명기)을 임의로 제어할 수 있도록 개발된 LED Chamber System을 이용하여 적색, 청색 및 녹색의 단일광질과 적색+청색, 적색+녹색 및 청색+녹색의 혼합광 조사 및 광조사 방법 제어가 단절단엽의 국화 배양소식물체 성장에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

식물재료 및 배양조건

식물재료는 단절단엽의 국화(*Dendranthema grandiflorum* L., cv. 'Cheonma') 배양체를 이용하였다. 국화 배양체는 당 30 g L⁻¹와 질라이트 3 g/L를 첨가한 MS 배지(Murashige와 Skoog, 1962)에 접종하였다. 멸균전 배지 pH는 5.8이었으며 공기용적이 100 mL인 투명한 원추형 유리용기를 배양기로 이용하였고 배양용기내 배지 분주량은 50 mL였다. 국화 배양체는 온도 25±1°C, 습도 60±10%로 조절된 생장상실내 LED Chamber System (SJ I&C Co. Ltd., Korea)에서 42일간 배양하였다.



Fig. 1. Outside and inside view of the LED Chamber System used for this experiment.

LED Chamber System

2009년 농촌진흥청에서 개발한 LED Chamber System은 총 6개의 Cell로 설계되어 있으며 각 Cell마다 단일 및 혼합광질 조합이 가능하도록 청색(450 nm), 적색(660 nm) 및 녹색(530 nm)의 3파장 LED를 주광원으로 채택하고 있다(Fig. 1). 본 시스템의 광강도는 0 ~ 200 μmol/m²/s 범위에서 제어 가능하며, 시간단위, 분단위나 초단위의 간헐제어 기능이 내장되어 있으며 광조사 시간을 초당 500회까지 극단주기로 간헐제어할 수 있다.

광질 및 광조사 방법 제어

본 실험에서는 LED Chamber System을 이용하여 명기시간 동안의 광질 및 광조사 방법을 조절하였다(Table 1). 실험 1에서 광질은 청색(B구), 적색(R구) 및 녹색(G구)의 단일광질을 이용하였고 광조사는 연속 및 간헐조사하였다. 또한 이들 단일광의 간헐조사는 1일 총 명기시간 동안 20초 점등 및 20초 점멸로 반복 설정하였다(BI구, RI구, 및 GI구). 실험 2에서 광질은 청색, 적색 및 녹색의 단일광질 및 이들 3파장의 혼합광질((청+녹(BGI구), 청+적(BR구), 녹+적(GR구))로 하였고 대조구인 FL구를 제외한 모든 실험구에서 명기동안 간헐주기는 초당 50회로 반복 설정하였다. 실험 1과 2에서 LED 광원부에서 바닥면까지 40 cm 높이에서 측정된 광질별 광강도는 배양개시 1일째부터 2주간 50 ± 10 μmol/m²/s였으며 2주째부터 실험종료일까지 90 ± 10 μmol/m²/s로 설정하였다. 한편 실험 1과 2에서 대조구(FL구)는 실험기간 동안 형광등만을 이용하여 1일당 16시간 동안 연속 조사한 실험구로 하였다.

성장조사 및 통계처리

실험개시 42일째에 국화 배양소식물체의 생체중, 건물중, 엽수, 절간수, 엽면적 및 신초길이를 조사하였다. 배양소식물체의 건물중은 70°C 드라이 오븐에서 72시간 건조한 후에 측정하였으며, 엽면적계(Skye Co., UK)를 이용하여 전개엽의 면적을 측정하였다. 성장량 측정후 SAS program (V. 9.1, SAS Institute, Cary, NC, USA)을 이용하여 Duncan의 다중검정(p=0.05)에 의해 처리간 유의성을 검정하였다.

Table 1. Experimental design for investigation the effects of light quality and lighting type

Experiment 1		Experiment 2	
Treatments	Light quality/Lighting type	Treatments	Light quality
FL*	Fluorescent lamp	FL*	Fluorescent lamp
B	Blue light	BI**	Blue
BI**	Blue/Intermittent	GI	Green
G	Green light	RI	Red
GI	Green/Intermittent	BGI	Blue+Green***
R	Red light	BRI	Blue+Red
RI	Red/Intermittent	GRI	Green+Red

*continuous lighting during photoperiod as a control.

**means intermittent lighting (20 sec. lighting on/off per minute in Exp. 1; 50 times lighting per second in Exp. 2)

***1:1 ratio in spectral energy.

결과 및 고찰

LED Chamber System을 이용한 청색, 적색 및 녹색의 단일광 및 이들 3파장의 혼합광 처리에 의한 광질과 명기시간 동안 연속 또는 간헐적 광조사 방법 제어는 국화 배양소 식물체의 생장에 유의성이 있는 것으로 나타났다(Fig. 2).

실험 1에서 명기시간 동안 분당 20초 간격으로 간헐조사한(총 명기시간; 12시간) 국화 배양소 식물체의 건물중, 엽면적, 최대근장 및 전개엽수는 Table 2와 같다. 실험개시 42일째 청색, 적색 및 녹색의 단일광 연속조사는 20초 간격의 간헐조사에 비해 국화의 건물중 증가에 유의한 영향을 미쳤다. 건물중은 형광등 연속 조사구인 FL구에서 최소였으며 청색광을 연속 조사한 B구에서 최대로, 대조구인 FL구에 비해 약 4배 증가하였고 BI구의 건물중 보다 약 2배 증가한 것으로 나타났다. 또한 FL구를 제외한 모든 실험구에서는 연속조사구에 비해 청색, 적색 및 녹색의 간헐조사구에서 건물중이 감소하는 경향을 나타냈다. 간헐조사구에서는 1일당 총 명기시간이 FL구에 비해 4시간 짧았으나 FL구에 비해 모든 처리구에서 건물중이 증가한 것으로 보아 간헐조사가 국화 배양소 식물체의 건물중 증가에 유의한 것을 알 수 있었다.

실험 2에서 초당 50회로 간헐조사한 결과, 적색, 청색 및 녹색의 단일광질 및 청+녹, 적+청 및 녹+적의 혼합광질 간헐처리구에서의 건물중 증가 양상이 실험 1의 결과와 다르게 나타났다(Fig. 4). 배양소 식물체의 건물중은 GI구를 제외한 모든 LED 처리구에서 대조구인 FL구에 비해 유의하게 증가하였다. 실험 1과 2에서, 비록 명기시간 동안 간헐조사 시간은 달랐으나 국화의 건물중은 청색, 적색 및 녹색의 단일광질 처리구에서는 녹색광 하에서 현저히 감소하였다. 한편 실험 1에서 국화의 뿌리신장은 연속처리구인 B구나 R구에 비해 간헐처리구에서 억제되는 경향을 보였으나 B구나 R구를 제외한 모든 처리구간에는 광질이나 명기동안의 광조사 방법에 따른 통계적 유의성은 없는 것으로 나타났다. 일반적으로 가시광선역 중에서 녹색광역의 파장대 80~90% 이상은 식물체의 잎에서 반사되므로 광합성이나 생장에 영향을 미치지 않는 광질로 알려져 있다. 실험 1과 2에서 국화 배양소 식물체의 건물중생산, 엽면적 증대 및 엽수증가 등과 같은 양적생장에

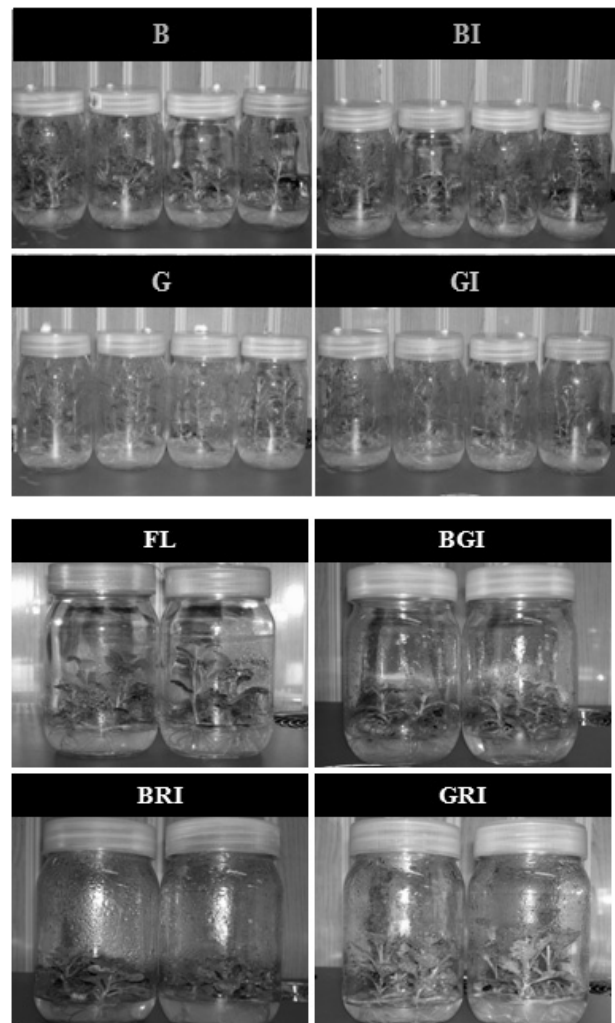


Fig. 2. *Chrysanthemum* plantlets cultured under continuous or intermittent radiation with 20 sec. per minute (upper group) and 50 times per second (down group) during the photoperiod. Treatment codes see Table 1.

있어서는 녹색광질의 영향이 적은 것을 알 수 있었다. 그러나 온실조건에서 콩과식물에 녹색광을 조사하면 식물체 엽내 이산화탄소 고정율이 증가하는 것으로 보아 녹색광질도 식물체

Table 2. Effects of intermittent lighting with 20 sec. interval per minute on the dry weight, leaf area, maximum root length, and number of unfolded leaves per plantlet of *Chrysanthemum* cultured *in vitro* for 42 days

Treatmentcodes	Dry weight (mg)	Leaf area (cm ²)	Maximum root length (cm)	No. of unfolded leaves
FL	48.3±4.4	11.9±1.0	4.2±0.5	9.9±0.3
B	198.5±9.7	22.7±2.3	5.3±0.5	13.1±3.6
BI	92.2±4.1	14.9±0.7	3.8±0.4	11.4±2.0
G	101.7±5.3	16.2±0.4	4.6±0.3	13.6±3.4
GI	59.3±2.6	13.0±0.4	4.6±0.3	10.1±3.1
R	141.3±5.2	14.0±1.0	5.7±0.2	9.7±1.5
RI	80.5±7.4	12.1±0.9	4.6±0.2	9.5±4.2

의 생장에 영향을 미치는 광질인 것을 알 수 있다(Sun *et al.*, 1998). 녹색광에 청색이나 적색을 혼합하여 조사하면 건물중이나 엽수증가와 같은 배양소식물체의 생장을 촉진하는 것으로 보아 cryptochrome이나 phytochrome 이외에 phototropin과 같은 광수용체의 시너지 효과에 의해 식물체의 광질에 대한 감수성이 증가하는 것으로 생각된다(Casal, 2000).

실험 1에서, 국화의 엽면적은 청색의 단일광 연속조사구에서 최대였는데, 청색, 적색 및 녹색광 분당 20초 간격 간헐 처리는 연속처리에 비해 엽면적 증대를 억제하는 경향을 나타냈다. 대조구인 FL구, GI구 및 RI구 간에는 통계적인 유의차가 인정되지 않았으며 B구의 엽면적은 FL구, GI구 및 RI구에 비해 약 2배 증가하였다. 실험 2에서, 명기시간 동안 초당 50회 간격으로 혼합광을 간헐처리한 실험구에서는 단일광 간헐조사보다 엽면적 증대에 효과적이었으며 특히, 녹색광 간헐조사구인 GI구에서는 엽면적이 최소값을 나타냈으며 적색광이 혼합된 RG구와 BR구에서 최대였다.

Sivakumar *et al.* (2006)은 청색, 적색 및 청+적의 LED를 광원으로 하여 명기 16시간 동안 분당 20초 간격으로 청색의 단일광질이나 청색+적색의 혼합광을 간헐조사하면 연속적 광처리에 비해 단절단엽의 고구마 배양소식물체의 건물중이나 엽면적이 현저히 증가한다고 보고하였다. Kurilcik *et al.* (2008)의 연구에서 보면, 국화 배양소식물체의 경우에는 생체중이나 건물중 증가와 같은 영양생장이 명기동안 청색, 적색 및 원적색 등 단일광질의 광조사 시간을 8시간에서 16시간으로 연장함에 따라 촉진된다고 한다. 고구마 배양소식물체와 달리 국화의 경우에는 LED 연속조사에 비해 간헐 조사에서 건물중과 엽면적이 감소하는 것으로 보아 4시간 짧아진 명기시간에 의해 고구마에 비해 오히려 국화의 영양생장이 억제된 것으로 판단된다. 한편, 수종의 초화식물에서는 청색이나 적색의 단일광질 연속조사는 청+적의 혼합광질 조사에 비해 건물생산을 억제하며(Heo *et al.*, 2009), 온실재배 국화의 경우에는 배양소식물체에서와 달리 청색의 단일광질 하에서 건물중이나 엽면적이 감소하는 것으로 나타났다(Oyaert *et al.*, 1999). 식물체의 영양생장에 미치는 적색광에 대한 청색광의 negative 효과는 청색과 적색의 필름으로 피복한 온실조건에서 재배한 *Antirrhinum* 실생묘의 건물중

이나 엽면적 변화를 통해서도 알 수 있다(Khattak and Pearson, 2005). 이와 같이 청색이나 적색의 광질에 대한 배양기내의 식물의 다양한 영양생장 반응은 식물의 종에 따라 phytochrome이나 cryptochrome과 같은 광수용체의 작용이 다르기 때문으로 생각된다.

초당 50회 간헐조사 실험(실험 2)에서, 국화의 전개엽수는 청+녹 간헐조사구인 BGI구에서 최대였으며 단일광 처리구인 GI구와 RI구에서 최소로, BGI구에서는 GI구에 비해 엽수가 약 2배 증가하였다. 명기 16시간 동안 적색과 청색의 혼합광질은 국화 배양소식물체의 건물중, 엽면적 증대나 엽수증가와 같은 영양생장을 촉진시키는 광질로 알려져 있으나(Kim *et al.*, 2004) 명기시간 동안 연속이나 간헐적인 광조사 방법에 따라 엽발달 양상도 달라지는 것을 알 수 있다. 실험 1에서 청색과 녹색광질은 국화의 엽수증가를 촉진시켰는데 적색광 처리구에서는 간헐과 연속의 광처리 방법에 따른 엽수 차이는 없었으며, B구 및 G구의 전개엽수는 대조구인 FL구보다 약 3배 증가한 것으로 나타났다. Khattak and Pearson (2005)이나 Adams와 Langton (2005)의 연구결과에 의하면 여러 식물체의 엽발달, 생체나 건물축적은 명기시간이 짧은 단일처리에서 보다 명기 16시간의 장일조건에 의해 촉진된다는 것을 알 수 있는데, 명기시간 연장에 의한 배양소식물체의 건물중 증가는 Kozai *et al.* (1995)에 의해서도 보고되었다. 상기 보고된 연구결과에서 보는 바와 같이, 형광등이 아닌 청색, 적색 및 녹색과 같은 특정 파장역의 LED를 이용한 광조사 방법 제어 역시 국화 배양소식물체의 건물중, 엽면적 증가 이외에 엽수증가와 같은 식물발달 과정에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 특히, 명기 12시간 동안 간헐적으로 조사하는 것보다 명기 16시간동안 연속조사하거나 단일광질이 아닌 혼합광질을 초당 50회로 간헐조사하는 것이 형광등 연속조사에 비해 식물체의 엽발달이나 엽면적 증대에 효과적인 것으로 나타났다.

실험 1에서, 신초길이는 GI구에서 최대였고 B구에서 최소로, 대조구인 FL구보다 2배 이상 증가하였으며, FL구를 제외한 모든 실험구에서 연속광 처리구보다는 간헐조사구에서 신초신장이 유의하게 증가하였다(Fig. 3). 광질의 차이와 상관없이 간헐처리한 실험구에서는 연속처리구에 비해 신초길

이가 증가하고 절간수는 감소하는 경향을 나타내었다. 이로써 국화의 경우 간헐처리에 의한 신초길이 증가는 절간수 증가에 의한 신초신장이 아닌 절간의 길이신장에 의한 것으로 판단된다. 실험 2에서 신초의 길이신장은 GI구에서 촉진되었고 BRI구에서 억제되었으며 혼합광 조사구 중에서도 녹색광이 혼합된 처리구에서 신초신장이 촉진되는 것을 알 수 있다. GI구의 신초길이는 BRI구에 비해 3배 이상 증가하였으나 절

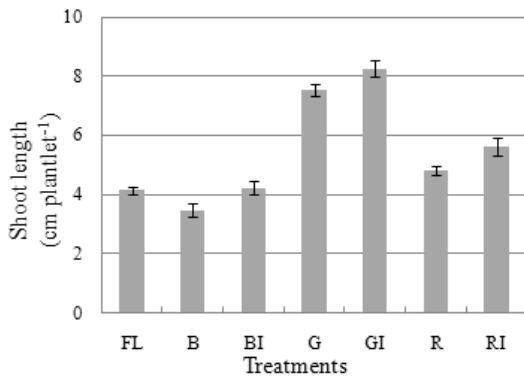


Fig. 3. Effects of intermittent lighting with 20 sec. interval per minute on the shoot length per plantlet of *Chrysanthemum* cultured *in vitro* for 42 days. Treatment codes see Table 1. Vertical bars represent means ± standard errors.

간수에 있어서는 신초신장이 억제된 BRI구보다 적었다. 실험 2에서도 실험 1에서와 같이, 녹색광 간헐조사에 의해 절간수 증가가 아닌 절간의 길이신장이 촉진된 것으로 생각된다. 명기시간 동안 LED 간헐조사에 의한 배양소식물체의 신초신장 촉진효과는 Sivakumar *et al.* (2006)에 의해서도 보고되었다. 이들의 실험결과에 의하면 청색광을 분당 20초 간격으로 간헐조사할 때에 고구마 배양소식물체의 신초신장이 촉진되고 청+적의 혼합광질 간헐조사에 의해 억제된다고 하는데 신초의 신장생장 반응은 국화 배양소식물체에서도 고구마와 동일한 양상을 나타내었다.

국화와 마찬가지로 *Arabidopsis* 실험묘에서도 녹색광질에 의한 줄기신장 효과가 보고되고 있는데(Folta, 2004), 이에 반해 Appelgren (1991)은 *Pelargonium* 배양소식물체의 경우 적색광질에 의해 절간길이 신장에 의한 신초신장이 촉진되며 청색광질에 의해 억제된다고 하였으며 Schuerger와 Brown (1994)과 Khattak *et al.* (2004) 또한 적색광질과 원적색광질에 의한 절간의 신장효과를 보고하였다. 한편, 청색광질은 *Antirrhinum* 실험묘의 초장신장을 촉진하였는데 이는 phytochrome이 아닌 청색광수용체의 작용에 의한 것으로 고찰되었다(Khattak and Pearson, 2005). 본 실험결과와는 반대로 청색광질에 의한 건물중, 뿌리형성과 같은 영양생장 억제 및 줄기의 신장생장 억제효과가 보고되었는데(Kurilcik *et al.*, 2008) 이는 배양소식물체를 대상으로 한 명기시간 동안의 광조사 방법 제어에 따른 광질효과에

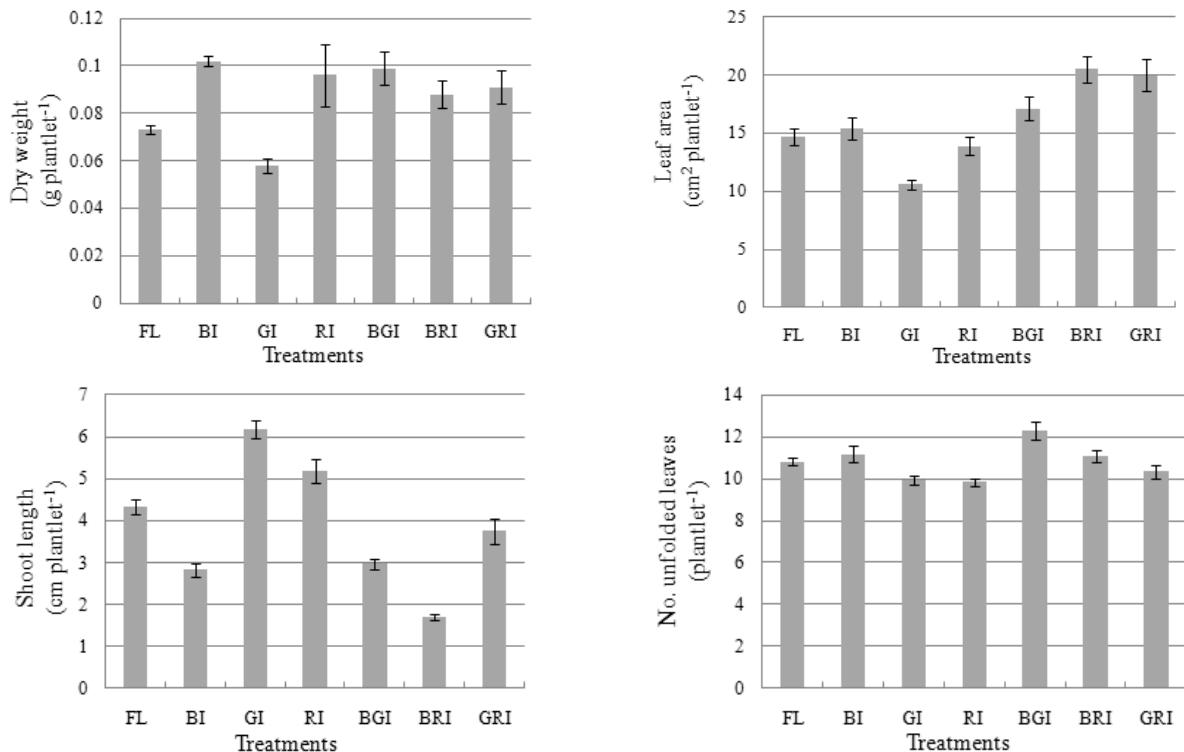


Fig. 4. Dry weight, leaf area, number of unfolded leaves, and shoot length per plantlet of *Chrysanthemum* cultured under conditions of the different light qualities and photoperiod with the cycle of 50 times intermittent lighting per second for 42 days. Treatment codes see Table 1. Vertical bars represent means ± standard errors.

대한 식물반응의 변화중 하나로 생각된다. 이로써 배양소식물체의 신초신장은 청색, 적색, 또는 녹색광질에 의해 유도되는 것으로 판단되며, 이들 식물체 신초의 신장생장에 미치는 단일광질의 영향은 매우 다양하기 때문에 식물종별 광수용체의 작용기작 연구가 필요하다고 생각된다(Tennessen *et al.*, 1994; Heo *et al.*, 2009).

본 실험조건에서는 건물증가, 엽면적 증대, 엽수증가와 같은 국화 배양소식물체의 양적생장은 혼합광질에 의해 촉진되었으며, 특히 녹색광 간헐조사는 명기시간 단축에 의해 국화의 양적생장을 억제하였다. 그러나 형태적 측면에서는 녹색광질이 국화의 절간신장을 촉진하는 것으로 보아, 조직배양 기술을 이용하여 기내에서 소식물체를 대량으로 생산할 때에는 녹색광질을 적절히 이용하므로써 마디길이가 짧은 배양소식물체의 계대배양 작업효율을 향상시키고 광원 점등시간(명기시간) 단축으로 전기소모량을 절감시킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한 청색, 적색 및 녹색의 단일광보다는 이들 광질을 서로 혼합하여 광조사하는 것이 배양소식물체의 양적생장을 촉진하면서 형태적으로는 절간신장을 억제하여 도장하지 않은 건전한 정식용 소식물체를 생산하는데 효과적일 것으로 판단된다.

이와 같이 LED에 의한 광질과 광조사 방법 제어는 단절단엽의 국화 배양소식물체의 성장에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났지만, 각 광질에 대한 식물의 성장반응은 식물의 종이나 성장단계 및 광강도와 같은 기타 환경조건에 의해서 다양하게 나타날 수 있다. 따라서 광질과 생장조건과 관계구명과 식물의 성장반응을 유도하는 광수용체의 작용에 대한 분자생물학적 측면에서의 상세한 연구가 필요하다.

요 약

본 연구에서는 농촌진흥청에서 개발한 LED Chamber System을 이용하여 명기시간 동안 광질과 광조사 방법이 단절단엽의 국화 배양소식물체(*Dendranthema grandiflorum* L., cv. 'Cheonsu')의 성장에 미치는 영향을 검토하였다. 실험은 청색, 적색 및 녹색의 단일광질 또는 청색+적색, 청색+녹색 및 적색+녹색의 혼합광질 조건하에서 이들 광질을 명기 16시간 동안 연속적으로 또는 초당 50회 간격과 분당 20초 간격으로 간헐적으로 제어하면서 42일간 수행하였다. 총 일장을 4시간 단축한 분당 20초 간격의 간헐조사는 관행의 형광등 연속조사에 비해 국화의 절간길이 신장에 의한 신초신장을 촉진하였으나, 배양소식물체의 양적생장은 연속광 처리에 의해 유의하게 증가하였다. 한편, 명기동안 녹색광을 초당 50회 간격으로 간헐제어한 경우 연속조사에 비해 건물중이나 엽면적 증대와 같은 양적생장은 억제되었으나 형태적인 면에서의 절간신장은 촉진되었다. 따라서, LED Chamber System을 이용한 광질이나 광조사 방법의 제어는 관행의 형광등 이용 연속조사에 비해 명기시간 단축에 의한 전력소모량 감소 및 기내 배양소식물체의 성장이나 형태제어에 효과적인 배양기술로 이용 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- Adams, S.R., Langton, F.A., 2005. Photoperiod and plant growth. *J. Hort. Sci. & Biotech.* 80(1), 2-10.
- Appelgren, M., 1991. Effect of light quality on stem elongation of Pelargonium. *Sci. Hort.* 45, 345-406.
- Bula, R.J., Morrow, T.W., Tibbitts, T.W., Barta, D.J., Ignatius, R.W., Martin, T.S., 1991. Light-emitting diodes as a radiation source for plants. *HortSci.* 120, 808-813.
- Casal, J.J., 2000. Phytochromes, Cryptochromes, Phototropin: Photoreceptor interactions in plants. *PhotoChem. PhotoBiol.* 71(1), 1-11.
- Folta, K.M., 2004. Green light stimulates early stem elongation, antagonizing light-mediated growth inhibition. *Plant Physiol.* 135, 1407-1416.
- Gepstein, S., Thimann, K.V., 1980. The effect of light on the production of ethylene from 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid by leaves. *Planta.* 149, 196-199.
- Heo, J.W., Lee, C.W., Chakrabarty, D., Paek, K.Y., 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 Regul.* 38, 225-230.
- Heo, J.W., Lee, C.W., Murthy, H.N., Paek, K.Y., 2003. Influence of light quality and photoperiod on flowering of *Cyclamen persicum* Mill. cv 'Dixie White'. *Plant Growth Regul.* 40, 7-10.
- Heo, J.W., Shin, K.S., Kim, S.K., Paek, K.Y., 2006. Light quality affects in vitro growth of grape 'Teleki 5BB'. *J. Plant Biol.* 49, 276-280.
- Heo, J.W., Lee, Y.B., Lee, D.B., Chun, C., 2009. Light quality affects growth, net photosynthetic rate, and ethylene production Ageratum, African Marigold, and Salvia seedlings. *J. Korean Hort. Sci. & Tech.* 27(2), 187-193.
- Heo, J.W., Lee, Y.B., Kim, D.E., Chang, Y.S., Chun, C., 2010. Effects of supplementary LED lighting on growth and biochemical parameters in *Dieffenbachia amoena* 'Camella' and *Ficus elastica* 'Melany'. *J. Korean Hort. Sci. & Tech.* 28(1), 51-58.
- Khattak, A.M. Pearson, S., 2005. Light quality and temperature effects on antirrhinum growth and development. *J. Zhejiang Univ. Sci. B.* 6(2), 119-124.
- Khattak, A.M., Pearson, S., Johnson, C.B., 2004. The effects of far red spectral filters and plant density on the growth and development of chrysanthemum. *Sci. Hort.* 102, 335-341.
- Kim, S.J., Hahn, E.J., Heo, J.W., Paek, K.Y., 2004.

- Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets *in vitro*. *Sci. Hort.* 101, 143-151.
- Kozai, T., Watanabe, K., Jeong, B.R., 1995. Stem elongation and growth of *Solanum tuberosum* L. *in vitro* in response to photosynthetic photon flux, photoperiod and difference in photoperiod and dark period temperatures. *Sci. Hort.* 64(1), 1-9.
- Kurilcik, A., Miklusyte-Canova, R., Dapkuniene, S., Zilinskaite S., Kurilcik, G., Tamulaitis, G., Duchovskis, P., Zukauskas, A., 2008. *In vitro* culture of chrysanthemum plantlets using light-emitting diodes. *Central Euro. J. Biol.* 3(2), 161-167.
- Lee, B.J., Won, M.K., Choi, T.Y., Kim, K.W., Lee, J.S., 2005. Spectral properties of sunlight and phytochrome photoequilibrium as influenced by leaf number in chrysanthemum. *J. Korean Hort. Sci.* 46(2), 161-167.
- Murashige, T., Skoog, F., 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. *Physiol. Plant.* 15, 473-497.
- Oyaert, E., Volckaert, E., Debergh, P.C., 1999. Growth a chrysanthemum under coloured plastic films with different light qualities and quantities. *Sci. Hort.* 79, 195-205.
- Saebo, A., Krekling, T., Appelgren, M., 2000. Influence of light quality on *in vitro* photosynthesis, leaf morphometry, leaf anatomy and field performance in micropropagated *Betula pendula* Rooth. *Acta Hort.* Abst. No. 327.
- Schuenger, A.C., Brown, C.S., 1994. Spectral quality may be used to alter plant disease development in CELSS. *Adv. Space Res.* 14, 395-398.
- Sivakumar, G., Heo, J.W., Kozai, T., Paek, K.Y., 2006. Effect of continuous or intermittent radiation on sweet potato plantlets *in vitro*. *J. Hort. Sci. & Biotech.* 81(3), 546-548.
- Sun, J., Nishio, J.N., Vogelmann, T.C., 1998. Green light drives CO₂ fixation deep within leaves. *Plant Cell Physiol.* 39(10), 1020-1026.
- Tennessen, D.J., Singrass, E.L., Sharkey, T.D., 1994. Light emitting diodes as a light source for photosynthesis research. *Photosynthesis Res.* 39, 85-92.