

## 가시오갈피 기내 식물체의 성장, 형태형성 및 eleutheroside 함량에 미치는 발광다이오드의 효과

정재훈\*† · 김영선\* · 문흥규\*\* · 황성진\*\*\* · 최용의\*\*\*\*

\*전남도립대학 약선식품가공과, \*\*국립산림과학원 생물공학과, \*\*\*전남대학교 생물학과, \*\*\*\*강원대학교 산림자원학부

### Effects of LED on Growth, Morphogenesis and Eleutheroside Contents of *in vitro* Cultured Plantlets of *Eleutherococcus senticosus* Maxim.

Jae Hun Jeong\*†, Young Seon Kim\*, Heung Kyu Moon\*\*, Sung Jin Hwang\*\*\*, and Yong Eui Choi\*\*\*\*

\*Dep. of Medicated Diet & Food Technology, Jeonnam Provincial College, Damyang 517-802, Korea.

\*\*Division of Biotechnology, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-350, Korea.

\*\*\*Dept. of Biology, Chonnam National University, Kwang-ju 500-757, Korea.

\*\*\*\*Division of Forest Resources, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea.

**ABSTRACT :** The effects of red, blue, and far-red light by illumination of light emitting diodes (LEDs) on growth, morphogenesis and eleutheroside contents of *in vitro* plantlets of *Eleutherococcus senticosus* were examined. As a control, plantlets were grown under a broad spectrum white fluorescent lamp (16/8 h illumination). The length of plantlets grown under the red/blue LEDs was taller than those under fluorescent lamps. Leaf area, root length and fresh weight of plantlets were highest under blue light compared to other kinds of light sources. Chlorophyll contents in plantlets grown under fluorescent lamps were higher than those in plantlets grown under LED illumination. Production of eleutheroside B and E in plantlets was highest under blue LED. However, production of eleutheroside E1 was highest under fluorescent lamps. These results suggest that plant growth and eleutheroside accumulation can be controlled by wave length of light under LED illumination system.

**Key Words :** *Eleutherococcus senticosus* Maxim, Light Emitting Diodes, Photomorphogenesis, Eleutheroside

## 서 언

광은 식물 광합성의 에너지원으로써 식물의 생존 및 물질생산에 필수적이며, 식물의 성장과 형태형성 및 색소형성 등에 관여하는 조절인자로써의 기능을 가진다. 특히 광질, 광량 그리고 광주기 등이 식물의 형태, 기관생장 및 물질생성에 밀접하게 관여하는 것으로 알려져 있다 (Economou and Read, 1987; Kozai *et al.*, 1995; Han *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2007, 2008). 식물재배용 인공광원으로 최근에는 방사스펙트럼 폭이 좁은 단색광을 조사하는 특징이 있고, 열을 발산하지 않으며 램프가 소형 경량이고 수명이 긴 특징을 가진 발광다이오드 (light emitting diode, LED)를 이용한 식물의 성장 및 광형태형성 등에 대한 연구가 메리골드와 살비아 (Heo *et al.*, 2002), 나리 (Lian *et al.*, 2002), 들깨 (Choi, 2003), 상추 (Hoenecke *et al.*, 1992), 밀 (Tripathy and Brown, 1995), 지황 (Han *et al.*, 2000), 도라지 (Eun *et al.*, 2000) 등 다양한

식물에서 활발히 진행되고 있다. 또한, 광질에 따른 식물 생육 및 형태형성에 대한 연구결과를 보면, 적색광은 광합성기구의 발달 및 전분 생합성에 관여하며 (Saebo *et al.*, 1995), 청색광은 chlorophyll, chloroplast 발달, 기공세포의 개폐, 광형태형성 등에 영향을 준다는 사실 등이 밝혀지고 있다 (Akoyunoglou and Anni, 1984; Cosgrove, 1981; Senger, 1982).

가시오갈피는 드릅나무과에 속하는 다년생관목으로 러시아 및 유럽지역에서는 'Siberian ginseng'으로 더 잘 알려졌으며, 유효성분으로 eleutheroside A, B, C, D 및 E 등이 보고되었다. Brekhman 등 (1960)에 의해 adaptogen으로서의 효능이 처음으로 규명된 이래로 항피로, 항스트레스, 면역활성, 항우울증, 흥분완화, 항당뇨, 항암 등 다양한 약리효과를 국내외적으로 인정받고 있는데, 이중 스트레스 억제, 흥분완화 및 면역활성에 효과가 있는 물질로 eleutheroside B와 E가 알려져 있다.

최근 국내에서 가시오갈피의 효능이 알려지면서 국내에서 자생하고 있는 가시오갈피의 무분별한 남획에 의해 멸종 위기

†Corresponding author: (Phone) +82-61-380-8674 (E-mail) jhjeong@dorip.ac.kr  
Received November 6, 2008/ Revised February 2, 2009 /Accepted February 4, 2009

에 처하게 되었으며, 멸종위기식물로 보호되면서 국내에서는 가시오갈피의 기내대량번식에 대한 연구가 집중적으로 진행되어 왔다 (Yu *et al.*, 1997; Choi *et al.*, 1999; Li *et al.*, 2005).

한편, 오갈피속 식물을 이용한 유용물질생산 연구는 기내 배양된 가시오갈피 유식물체 추출물에서 물질 분리 및 분리 물질의 항산화 활성이 보고 되었으며 (Kim *et al.*, 2005), 본 저자에 의해 생물반응기를 통해 배양된 지리오갈피 식물체 (Jeong *et al.*, 2005)와 가시오갈피 부정근 (Seo *et al.*, 2003)에서의 eleutheroside B, E, E1 함량분석을 통해 이차대사산물의 생산조절이 가능함을 확인하였다. 또한, 서 등 (Seo *et al.*, 2005)은 squalene 합성유전자를 가시오갈피에 도입하여 phytosterol과 triterpene류 함량을 성공적으로 높인 결과를 보고하였다. 그러나 최근까지 내음성식물인 가시오갈피의 생육과 형태형성 및 유용물질생산에 미치는 광질의 영향에 대한 연구는 아직까지 보고가 없었다.

따라서 본 연구는 새로운 식물 배양용 광원으로 부각되고 있는 적색, 청색 및 원적색의 LED (Light Emitting Diodes) 광원의 조사가 기내 가시오갈피 조식물체의 발아, 생장, 형태형성 및 eleutheroside 함량에 미치는 영향을 조사하였으며, 이를 바탕으로 희귀 및 멸종위기 수종인 가시오갈피의 효율적인 기내배양 및 물질생산을 위한 최적화 방법개발을 위한 기초 자료를 얻고자 본 실험을 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험재료

본 실험에 사용된 가시오갈피 체세포배는 Choi 등 (1999)의 방법에 따라 종자에서 접합자배를 무균적으로 적출하여 발아시킨 다음, 발아된 유식물로부터 1~3 cm의 유식물 절편을 절취하여 1 mg/L의 2,4-dichlorophenoxy acetic acid (2,4-D), 3% sucrose, 0.8% agar가 첨가된 MS (Murashige and Skoog, 1962) 배지에서 배양하여 유도하였다. 유도된 체세포배는 호르몬 무첨가 MS배지에서 3주 간격으로 새로운 배지로 계대하여 자엽단계의 체세포배로 발달시켰으며, 성숙된 체세포배들은 발아를 위해 3 mg/L GA<sub>3</sub>가 첨가된 발아배지에 치상하여 7일간 배양된 후 본 실험에 사용되었다.

### 2. LED system 및 배양조건

본 실험에서 사용된 LED system은 (주)좋은인상에서 개발된 GF-320 으로 적색광 (R), 청색광 (B), 원적색광 (FR)으로 분광특성은 각각 660 nm, 450 nm, 730 nm의 파장영역에서 광합성 유효광량자 유입밀도 (PPFD, Photosynthetic Photon Flux Density)가 최대치를 나타내는 단색 LED광원이며, 대조광으로는 백색의 형광등(F)을 사용하였다 (Fig. 1). 이들 광원

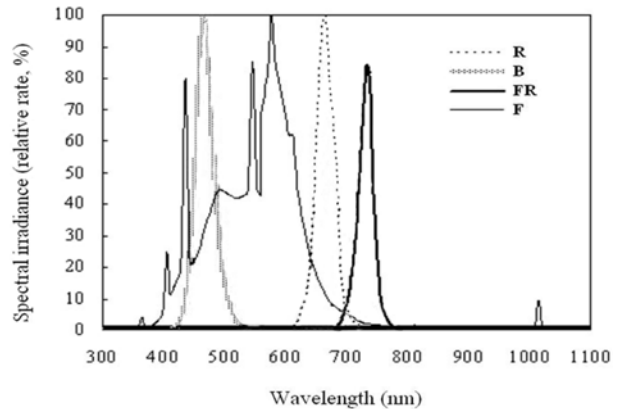


Fig. 1. The spectral energy distribution of red (R), blue (B), far-red (FR) LED and fluorescent lamp (F).

의 PPFD는 모두 40  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  로 조정하였으며 (단 원적색광은 5  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 조절), 배양환경은  $24 \pm 1^\circ\text{C}$ , 16 h 일장조건에서 배양하였다.

모든 실험은 3 mg/L GA<sub>3</sub>로 발아 처리된 자엽단계의 체세포배 (4~5 mm 크기)를 20개씩 5개의 Petri dish에 각각 치상, 3 반복하여 실험하였는데, 먼저 적색, 청색, 원적색의 단일 LED 광 및 대조구로 사용된 형광등이 체세포배의 발아 및 본엽 발달에 미치는 영향을 조사하였다. 또한, 자엽단계 체세포배를 탄소원 sucrose를 첨가하지 않은 1/2 MS 배지와 1% (w/v)의 sucrose 첨가 1/2 MS 배지에서 배양하여 광독립 배양 시의 생육 및 동일조건에서의 광질에 따른 본엽의 발달 및 생장을 조사하였다. 실험결과에 대한 조사 시기는 배양 8주 후 실시하였으며, 조사항목은 초장, 근장, 엽면적, 생체중, 엽록소 및 eleutheroside 함량 등을 조사하였다.

### 3. 엽록소 및 eleutheroside 함량분석

엽록소 함량은 배양 8주 후 완전히 전개한 잎 2매에서 80% acetone으로 엽록소를 추출하였고 분광광도계를 이용하여 645 nm 및 663 nm의 흡광도를 Arnon방법 (1949)에 의해 산출하였다. Eleutheroside 분석은 풍건시료 1 g을 추출용기에 넣고 70% (v/v) 에탄올 50 ml을 가한 후 80°C 조건에서 1시간 동안 추출하는 과정을 2회 반복한 후 이들 추출물은 합하였다. 추출물은 여과 (Advantec, Toyo, Japan) 후 농축하여 50 ml의 3차 증류수로 재용해하였으며, 이후 동일한 부피의 에테르로 2회에 걸쳐 분획하였다. 얻어진 물 분획물은 완전히 농축 후 5 ml의 70% 에탄올로 재용해하였고 0.45  $\mu\text{m}$  PTEF filter (Gelman, USA)로 여과한 후 HPLC 분석에 이용하였다. HPLC 분석조건은 이동상으로 water : acetonitrile 혼합용액을 사용하였는데, 혼합비율은 0, 10, 30, 40, 45, 46 그리고 50분에 각각 95 : 5, 90 : 10, 60 : 40, 50 : 50, 45 : 55, 95 : 5 그리고 95 : 5 (v/v)의 비율로 분리하였고, 분석용 column은

NovaPak C18 column (3.9 × 150 mm, 4 μm), 유속은 0.8 ml/min, injection volume은 10 μL, 검출파장은 220 nm에서 분석하였다. 표준물질 eleutheroside B, E과 E1 (Chromadex Inc., USA)은 구입하여 사용하였으며, 총 eleutherosides 함량은 각각의 eleutherosides 함량을 더해 계산하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 체세포 발아 및 본엽 형성

단일 LED 광질이 가시오갈피 체세포배의 발아 및 자엽단계에 미치는 영향을 조사하였다. 이 결과, 체세포배의 발아는 85.5% 발아율을 보인 원적색광을 제외하고는 LED 및 형광등 조사에 관계없이 배양 4주 후에는 대부분 92.5-94.7%의 높은 발아율을 보였다. 그러나, 최소 10 mm 이상의 상배축을 형성하며 본엽이 형성되는 식물체로의 전환 (plant conversion)을 조사한 결과 원적색광에서는 56.2%로 다른 광원인 적색광 80.8%, 청색광 85.5%, 형광등 82.3%에 비해 효과적이지 못하였다 (Table 1). 한편, 본 실험에서 공통적으로 발아율은 비교적 높은 반면에 본엽을 형성하는 식물체로의 전환율은 상대적으로 낮았는데, 이러한 결과는 실험에 사용된 가시오갈피 체세포배는 자엽단계의 성숙된 체세포배 (약 4~5 mm)이며, 3 mg/L GA<sub>3</sub> 전처리가 주로 발아율을 높이는데 기여하나, 식물체로

**Table 1.** Germination and plantlet conversion of somatic embryos of *E. senticosus* under red, blue, far-red monochromic LED and fluorescent lamp. Somatic embryos were cultured on 1/2 MS medium with 1% sucrose after 4 weeks of culture.

Treatment	Germination <sup>†</sup> (%)	Conversion <sup>‡</sup> (%)
F (Fluorescent lamp)	92.5 ± 5.26 <sup>§</sup>	82.3 ± 3.29
R (Red)	94.7 ± 4.35	80.8 ± 3.24
B (Blue)	93.2 ± 3.78	85.5 ± 3.05
FR (Far-red)	85.5 ± 5.86	56.2 ± 5.25

<sup>†</sup>Germination of embryos scored after 2 weeks of culture

<sup>‡</sup>Conversion was defined as somatic embryos producing epicotyls more than 10 mm in length and scored after 4 weeks of culture.

<sup>§</sup>Data represent the mean values ± SE of three independent experiments.

**Table 2.** Effects of sucrose addition and light quality on plantlet conversion of somatic embryos of *E. senticosus*.

Treatment	Conversion <sup>†</sup> (%)		Total length (cm)	
	0% sucrose	1% sucrose	0% sucrose	1% sucrose
F	22.2 ± 4.21 <sup>‡</sup>	84.4 ± 3.24	2.3 ± 0.42	4.2 ± 0.74
R	20.4 ± 3.24	84.8 ± 3.28	2.2 ± 0.32	5.6 ± 0.63
B	18.3 ± 2.75	87.4 ± 3.12	1.8 ± 0.24	6.0 ± 1.25
FR	7.2 ± 1.45	54.8 ± 4.04	0.9 ± 0.31	3.5 ± 0.65

<sup>†</sup>Conversion was defined as somatic embryos producing epicotyls more than 10 mm in length and scored after 8 weeks of culture.

<sup>‡</sup>Data represent the mean values ± SE of three independent experiments.

의 전환에는 영향을 미치지 못한 것으로 사료된다. 오갈피 체세포배의 배양조건에서도 휴면하는 특성을 보이며, 발아에 GA<sub>3</sub> 처리가 효과적임은 선행연구에 의해 확인된 바 있다 (Choi and Jeong, 2002; Jeong *et al.*, 2005).

한편, 본엽형성에 미치는 탄소원 및 광질의 효과를 확인하기 위해 자엽단계의 성숙배를 탄소원 sucrose를 첨가하지 않은 1/2 MS 배지와 1% (w/v)의 sucrose 첨가 1/2 MS 배지에서 각각 치상하여 배양한 결과, 1% sucrose 첨가 실험구에서 청색광 조사 시 87.4%로 가장 높은 본엽형성율을 보인 반면 원적색광은 54.8%로 저조하였다. Sucrose를 첨가하지 않은 처리구에서는 7.2-22.2%의 매우 낮은 본엽형성율을 보여 자엽단계의 체세포배의 본엽형성에는 광질보다 탄소원의 첨가 유무에 따라 유의적인 차이를 보였다 (Table 2). 이러한 결과는 자엽 발달 단계의 체세포배는 광독립적인 생장을 보이지 않는다는 것을 보여준다. 특징적인 관찰은 청색광 조사 시 1% sucrose 첨가구에서 가장 좋은 본엽형성율과 식물체의 생장을 보였으나 sucrose 무첨가구에서는 상대적으로 형광등 및 적색광보다 낮은 생장을 보였는데, 이는 청색광이 가시오갈피 체세포배의 뿌리의 발달을 촉진시킨 결과 발달된 뿌리로부터 배지내 탄소원의 효율적 공급이 이루어진 결과이며, 배지내 탄소원이 존재하지 않은 sucrose 무첨가구에서는 광합성 효율을 촉진하는 적색광 조사구에서 배양된 식물체가 보다 양호한 생장을 보인 것으로 사료된다. 한편, 원적색광에서의 낮은 본엽형성율은 광원으로 사용된 원적색광의 PPF가 5 μmol/m<sup>2</sup>/s로 다른 광원의 40 μmol/m<sup>2</sup>/s보다 낮기 때문인 것으로 사료된다.

### 2. 광 형태형성 (Photomorphogenesis, Please check this terminology) 분석

가시오갈피 기내 발아 배를 적색, 청색, 원적색의 단색 LED광 및 형광등(대조구)으로 광질을 달리하여 8주간 배양한 후 조사한 식물체의 잎, 줄기, 뿌리의 형태 등을 분석한 결과 광질에 따라 식물체의 생장 및 형태형성에 많은 차이를 보였다 (Fig. 2, 3).

옆면적을 보면 청색광에서 생장된 식물체의 경우 잎이 잘 발달되어 엽면적이 312 mm<sup>2</sup>로 다른 처리구에 비해 가장 넓었으며, 원적색광에서는 엽면적이 104 mm<sup>2</sup>로 지상부의 발달이 저



**Fig. 2.** The growth pattern of *in vitro* regenerated plantlets of *E. senticosus* under cool white fluorescent lamp (F), red (R), blue (B) and Far-red (FR) LEDs for 8 weeks.

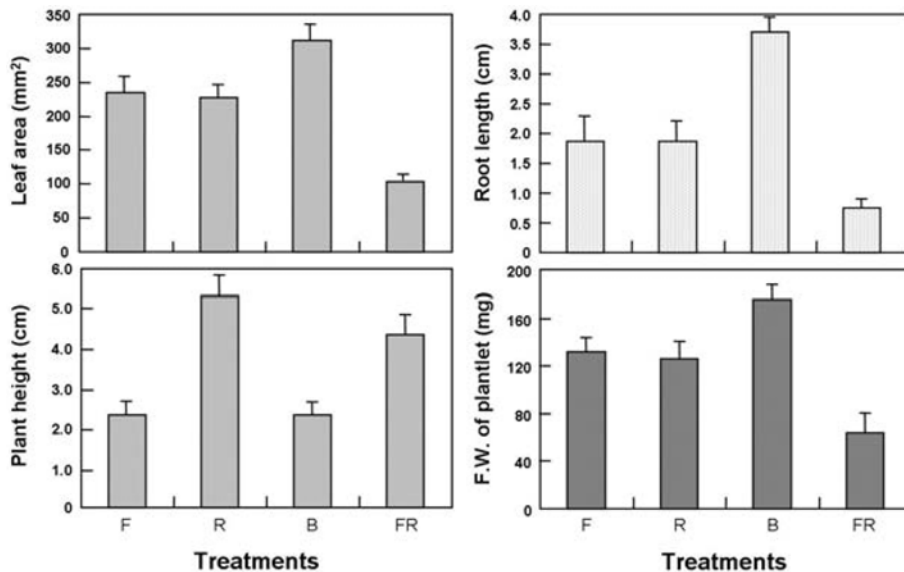
조하여 잎이 전개되지 않았다 (Fig. 2, 3). 한편 적색광에서는 잎자루의 길이 신장이 다른 광조건 보다 높은 특징을 보였다.

초장은 대조구 2.40 cm, 청색광에서 2.35 cm로 비슷한 성장을 보인 반면에 적색광과 원적색광에서는 각각 5.22, 4.32 cm로 2배 이상 신장되어 연약하게 도장된 생육특징을 보였다. 이러한 결과는 도라지 기내배양 유묘에 형광등, 청색, 적색, 녹색의 단색 LED를 30일간 조사하여 초장을 비교한 결과 청색광에서는 형광등에서와 비슷한 생육을 보인 반면 적색광 조사

시 초장이 형광등 조사구보다 3배 이상으로 신장되어 도장된 유묘의 생육상태를 보였다고 발표한 Eun 등 (Eun *et al.*, 2000)의 보고와도 일치한 결과이다.

한편 적색, 청색 및 형광등 조건에서 생육한 식물체의 발근율은 90% 이상으로 높았으며, 특히 청색광에서는 뿌리가 굵고 솜털같은 세균이 발달되었으나, 원적색광에서는 발근율이 48%로 낮고, 뿌리의 생육 또한 저조하였다 (Fig. 2). 이는 덩굴용담의 경우 단일 청색광에서 발근율이 억제된 반면 적색광에서 발근이 빠르게 이루어졌고 발근율도 양호하였다고 보고하였고 (Moon and Park, 2008), 도라지의 경우 뿌리생장에 적색광 처리구가 청색광보다 저조하다고 보고 (Eun *et al.*, 2000)하였던 바 식물체에 따라 광질 효과에 차이가 있음을 알 수 있었다.

식물의 성장과 뿌리 발달에는 중요한 상관관계 있으며, 뿌리 끝에서 형성된 사이토키닌은 신초의 정단생장을 촉진하고, 신초의 정단 또는 어린 잎에서 생성된 옥신은 뿌리 성장을 촉진시킨다고 하였다 (Sachs, 1972). 본 실험에서 청색광 조건에서 가시오갈피 지상부의 왕성한 생장은 피드백 조절에 의해 뿌리의 성장을 촉진하게 된 것으로 사료된다. 반면에 원적색



**Fig. 3.** Effects of LEDs on leaf area, root length, plant height, and fresh weight of *in vitro* regenerated plantlets of *E. senticosus* for 8 weeks. Data represent the mean values ± SE of three independent experiments. F, fluorescent lamps; R, red; B, blue; FR, far-red.

**Table 3.** Chlorophyll contents of *in vitro* cultured plantlets in *E. senticosus* under fluorescent lamps (F), red (R), blue (B), and far-red (FR) LEDs for 8 weeks.

Light source	Chlorophyll contents (mg/g FW)			Chlorophyll a/b
	Chl. a	Chl. b	Total	
F	1.7 ± 0.06 <sup>†</sup>	0.7 ± 0.08	2.4 ± 0.14	2.43
R	1.3 ± 0.18	0.5 ± 0.12	1.9 ± 0.30	2.60
B	1.5 ± 0.11	0.6 ± 0.07	2.1 ± 0.18	2.50
FR	0.7 ± 0.07	0.3 ± 0.09	1.0 ± 0.16	2.33

<sup>†</sup>Data represent the mean values ± SE of three independent experiments.

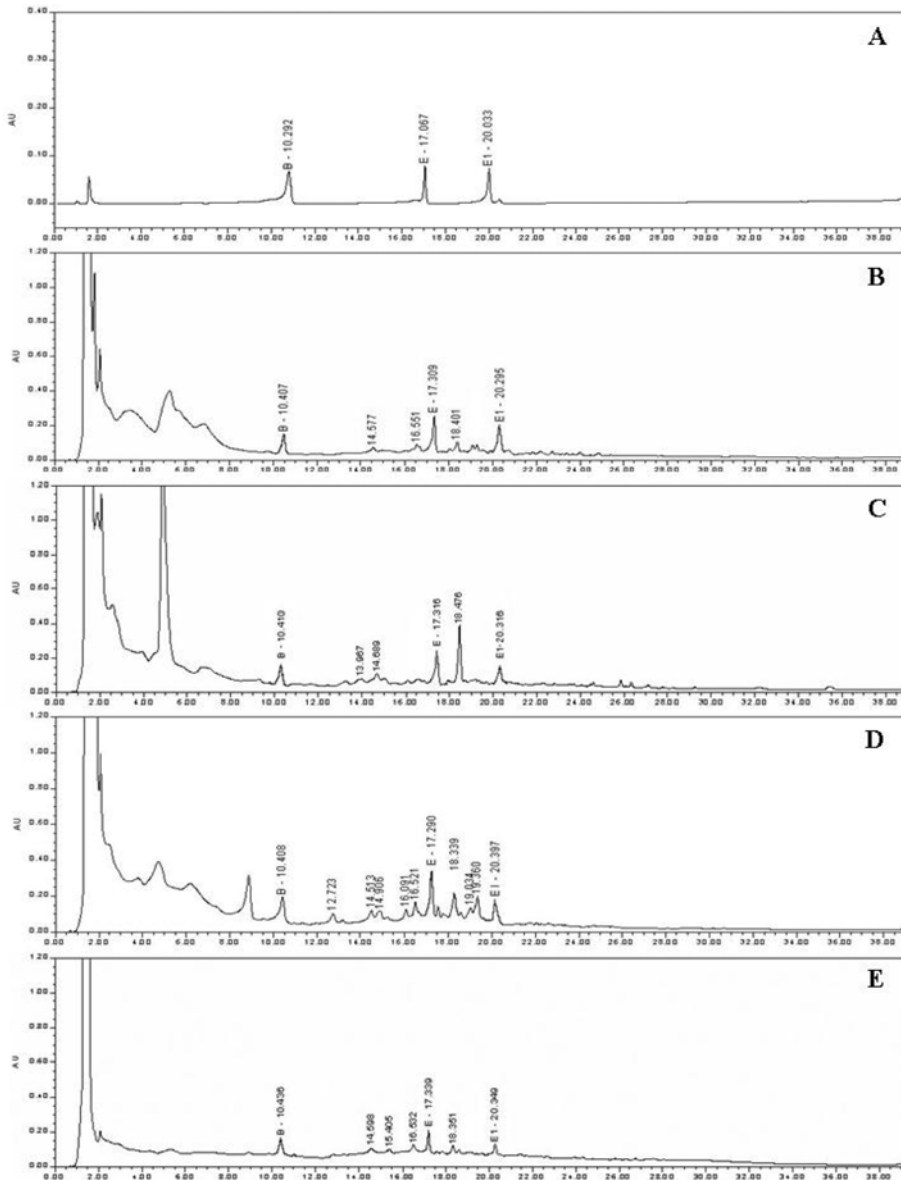


Fig. 4. HPLC profiles of eleutheroside of *in vitro* cultured plantlets in *E. senticosus* under different light quality. A: standard eleutheroside; B: fluorescent lamps; C: red; D: blue; E: far-red.

광 조건에서는 지상부의 생육이 저조하였는데, 이는 신초에서의 옥신의 생합성량을 감소시키게 되었고, 이로 인하여 새로운 뿌리의 분화 및 발달이 저조하여 사이토키닌의 생합성률이 낮아져 신초의 발생 또한 억제된 결과로 해석된다.

식물체 생체중을 조사한 결과 청색광에서 상대적으로 높게 나타났으며, 적색광과 형광등은 비슷한 생육결과를 보였다. 반면 원적색광은 다른 처리구에 비해 생체중이 현저히 낮았다 (Fig. 3). 이와 같은 결과는 적색 및 청색의 단일광에서도 지상부의 생장이 양호하였음을 나타내는데, 적색광이 식물체 광합성에 관여하여 광합성 효율을 높이고, 청색광은 형태적으로 식물체의 건전한 생장에 필연적이라고 보고한 결과와 일치한다

(Ikamoto *et al.*, 1996; Balegh and Biddulph, 1970).

### 3. 엽록소 함량분석

단일 광원 LED 처리조건에서의 총엽록소 함량은 대조구인 형광등 (2.4 mg/g FW)에 비해 대체로 낮았는데, 적색광에서는 1.9 mg/g, 청색광에서는 총엽록소 함량이 2.1 mg/g으로 적색광이 청색광보다 적었다 (Table 3). 이는 폐쇄용기에 기내배양된 덩굴용담 식물체의 단일 LED 광조사에 따른 총엽록소 함량이 청색광보다 적색광에서 더욱 낮았고, 이는 잎이 작고 줄기가 도장하여 유약하게 자란 것이 원인이라고 보고된 내용과도 일치한다 (Moon and Park, 2008).

**Table 4.** Eleutheroside contents of *in vitro* cultured plantlets in *E. senticosus* under fluorescent lamps (F), red (R), blue (B), and far-red (FR) LEDs for 8 weeks.

Light quality	Eleutheroside ( $\mu\text{g/g DW}$ )		
	B	E	E1
F	42 $\pm$ 3.2 <sup>†</sup>	426 $\pm$ 32.6	338 $\pm$ 28.5
R	38 $\pm$ 4.1	385 $\pm$ 45.3	296 $\pm$ 21.3
B	57 $\pm$ 3.6	488 $\pm$ 38.2	329 $\pm$ 26.4
FR	12 $\pm$ 2.2	124 $\pm$ 13.2	106 $\pm$ 18.3

<sup>†</sup>Data represent the mean values $\pm$ SE of three independent experiments.

#### 4. Eleutherosides 함량분석

단일 광질 LED 조사에 따른 가시오갈피 기내배양체의 eleutheroside를 분석한 HPLC chromatogram과 함량은 다음과 같다 (Fig. 4, Table 4). Eleutheroside의 함량은 단일 청색광이 조사된 처리구에서 자란 배양식물체에서 eleutheroside B (57  $\mu\text{g/g DW}$ )와 E (488  $\mu\text{g/g DW}$ )가 많았으며, 형광등조건에서는 eleutheroside E1 (338  $\mu\text{g/g DW}$ )의 함량이 다른 처리구들 보다 많았다. 이는 청색과 황색 해가림을 이용하여 4년생 자경종 인삼의 생육 및 진세노사이드 함량을 조사한 보고에서 인삼 부위별 진세노사이드 함량을 조사한 결과 동체 부위의 총 진세노사이드 함량이 황색차광막이 청색보다 높은 반면, 지근부위와 세근부위의 진세노사이드 함량이 모두 청색차광막 처리구에서 황색보다 많았으며, 특히 지근부위의 진세노사이드 함량은 청색차광막 처리구가 황색보다 20% 이상 증가하였다고 보고한 결과와 유사하다 (Lee *et al.*, 2007). 이런 결과에 대한 이론적 해석은 현재로서 매우 어려우나 일반적으로 광은 식물의 광수용 단백질 색소인 phytochrome에 흡수된 후 광화학적 반응을 일으켜서 광형태형성에 관여하며, 적색광과 원적색광에 의해서 식물체의 발육을 중재하는 것으로 알려져 있고 (Kraepiel and Miginiac, 1997; Butler, *et al.*, 1964), 특히 식물의 형태형성 및 조절에는 일정량의 청색광과 원적색광이 필요하다고 하였다 (Britz and Sager, 1990; Hoenecke, *et al.*, 1992; McMahon, *et al.*, 1991). 또한, 작물에서 광질이 광합성에 미치는 영향을 조사한 결과 광질에 따라 광합성률의 차이가 있음을 보고하였다 (Balegh and Biddulph, 1970).

따라서 식물체에 맞춘 최적 광원의 공급은 광합성 대사율을 높임에 따라 식물체의 전분, 색소를 비롯한 유용물질의 생합성에도 기여할 것으로 사료되며, LED 인공광원 조사 시스템을 이용하여 가시오갈피 기내식물의 잎, 줄기 및 뿌리의 생장 및 유용물질생산 조절이 가능하였으며, 이러한 결과를 이용하여 기내 식물체의 토양 순화율을 높일 수 있고 또한 식물의 생육 및 이차대사 산물을 목적에 따라 효율적으로 조절할 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 논문은 2008년도 산림과학기초연구지원사업의 지원에 의해 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

## LITERATURE CITED

- Arnon DI.** (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol-oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*. 24:1-15.
- Akoyunoglou G and Anni H.** (1984). Blue light effect on chloroplast development in higher plants. 397-406. *In* Senger H. (ed.) Blue light effects in biological systems. Springer-Verlag Press, Berlin, Germany.
- Balegh SE and Biddulph O.** (1970). The photosynthetic action spectrum of the bean plant. *Plant Physiology*. 46:1-5.
- Brekhman II.** (1960). A new medicinal plant of the family *Araliaceae* the spiny *Eleutherococcus*. *Izv Sibir Otdel Akad Nauk USSR* 9:113-120.
- Britz SJ and Sager JC.** (1990). Photomorphogenesis and photoassimilation in soybean and sorghum grown under broad spectrum or blue deficient light sources. *Plant Physiology*. 82:909-915.
- Butler SJ, Hendricks SB and Siegelman HW.** (1964). Action spectra of phytochrome *in vitro*. *Photochemistry and Photobiology*. 3:521-528.
- Choi YW.** (2003). Effect of red, blue, and far-red LEDs for night break on growth, flowering, and photosynthetic rate in *Perilla ocymoides*. *Journal of the Korean Society for Horticultural Science*. 44:442-446.
- Choi YE and Jeong JH.** (2002). Dormancy induction of somatic embryos of Siberian ginseng by high sucrose concentrations enhances the conservation of hydrated artificial seeds and dehydration resistance. *Plant Cell Report*. 20:1112-1116
- Choi YE, Kim JW and Yoon ES.** (1999). High frequency of plant production via somatic embryogenesis from callus or cell suspension cultures in *Eleutherococcus senticosus*. *Annals of Botany*. 83:309-314.
- Cosgrove DJ.** (1981). Rapid suppression of growth by blue light. *Plant Physiology*. 67:584-590.
- Economous AS and Read PE.** (1987). Light treatments to improve efficiency of *in vitro* propagation systems. *HortScience*. 22:751-754.
- Eun JS, Kim YS and Kim YH.** (2000). Effects of light emitting diodes on growth and morphogenesis of *in vitro* seedlings in *Platycodon grandiflorum*. *Korean Journal of Plant Tissue Culture*. 27:71-75.
- Han EJ, Kozai T and Paek KY.** (2000). Blue and red light emitting diodes with or without sucrose and ventilation affects *in vitro* growth of *Rehmania glutinosa* plantlets. *Journal of Plant Biology*. 43:247-250.
- Han JS, Kim SK, Kim SW and Kim YJ.** (2001). Effects of shading treatments and harvesting methods on the growth of *Eleutherococcus senticosus* Maxim. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 9:1-7.
- Heo JW, Lee CW, Chakrabarty D and 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.
- Hoenecke ME, Bula RJ and Tibbitts TW.** (1992). Importance of blue photon levels for lettuce seedlings grown under red-light-emitting diodes. *HortScience*. 27:427-430.
- Jeong JH, Jung SJ, Murthy HN, Yu KW, Paek KY, Moon HK and Choi YE.** (2005). Production of eleutherosides in *in vitro* regenerated embryos and plantlets of *Eleutherococcus chiisanensis*. *Biotechnology Letters*. 27:701-704.
- Kim MJ, Kwon YS and Yu CY.** (2005). Antioxidative compounds in extracts of *Eleutherococcus senticosus* Max. plantlets. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 13:194-198.
- Kozai T, Watanabe K and Jeong BR.** (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. *Scientia Horticulturae*. 64:1-9.
- Lee SW, Kim GS, Lee MJ, Hyun DY, Park CG, Park HK and Cha SW.** (2007). Effect of blue and yellow polyethylene shading net on growth characteristics and ginsenoside contents in *Panax ginseng* C. A. Meyer. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 15:194-198.
- Lee SW, Yeon BY, Kim CG, Shin YS, Hyun DY, Kang SW and Cha SW.** (2008). Effect of variety and shading material on growth characteristics and ginsenoside contents of 2-year-old ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer) grown in imperfectly drained paddy soil. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 16:434-438.
- Li CH, Lim JD, Kim MJ, Kim NY and Yu CY.** (2005). Acclimatization and growth characteristics of plantlets of *Eleutherococcus senticosus* Maxim cultured by bioreactor. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 13:133-137.
- Lian ML, Murthy HN and Paek KY.** (2002). Effects of light emitting diodes (LEDs) on the *in vitro* induction and growth of bulblets of *Lilium* oriental hybrid 'Pesaro'. *Scientia Horticulturae*. 94:365-370.
- McMahon MJ, Kelly JE and Decoteau DR.** (1991). Growth of *Dendranthema x grandiflorum* (Ramat.) Kitamura (Checking) under various spectral filters. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 116:950-954.
- Moon HK and 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 (*Tripterispermum japonicum*). *Journal of Plant Biotechnology*. 35:215-221.
- Sachs T.** (1971). The induction of fiber differentiation. *Annals of Botany*. 36:189-197.
- Saebo A, Krekling T and Appelgren M.** (1995). Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of brich plantlets *in vitro*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 41:177-185.
- Senger H.** (1982). The effect of blue light on plants and microorganisms. *Photochemistry and Photobiology*. 35:911-920.
- Seo JW, Jeong JH, Shin CG, Lo SC, Han SS, Yu KW, Harada E, Han JY and Choi YE.** (2005). Overexpression of squalene synthase in *Eleutherococcus senticosus* increases phytosterol and triterpene accumulation. *Phytochemistry*. 66:869-877.
- Seo JW, Shin CG and Choi YE.** (2003). Mass production of adventitious roots of *Eleutherococcus sessiliflorus* through the bioreactor culture. *Journal of Plant Biotechnology*. 5:187-191.
- Tripathy BC and Brown CS.** (1995). Root-shoot interaction in the greening of wheat seedlings grown under red light. *Plant Physiology*. 39:85-92.
- Yu CY, Kim JK and Ahn SD.** (1997). Callus formation and plant regeneration from immature embryos of *Eleutherococcus senticosus*. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 5:49-55.