

## 청색과 적색 LED 처리가 인삼의 생육 및 사포닌 함량에 미치는 영향

김민정 · 李翔國 · 한진수 · 이성은 · 최재을<sup>†</sup>

충남대학교 농업생명과학대학 식물자원학부

### Effect of Blue and Red LED irradiation on Growth Characteristics and Saponin Contents in *Panax Ginseng* C. A. Meyer

Min Jeong Kim, Xiangguo Li, Jin Soo Han, Seong Eun Lee, and Jae Eul Choi<sup>†</sup>

Division of Plant Resources, ChungNam National University, Daejeon 305-764, Korea.

**ABSTRACT :** This study was conducted to assess the response of LED (Light-emitting diode) irradiation on the growth characteristics and saponin contents of *Panax ginseng* C. A. Meyer. LED irradiation showed a positive effect for most of the parameters studied. The content of chlorophyll a in leaves was increased by 4.9~36.5%, under LED and fluorescent light conditions compared to the control. The content of chlorophyll b was also increased by 44.4~55.6% under blue and red LED compared to the control except under the red plus blue LED condition. The shoot and root weight were increased by 20~60% and 14.8~59.3%, respectively under LED and fluorescent light conditions compared to the control. The total saponin content was increased by 1.8% under blue LED compared to the control, while total saponin content was decreased by 8.8~11.5% under red LED, red plus blue LED and fluorescent light conditions.

**Key Words :** *Panax ginseng*, LED, Chlorophyll, T/R ratio, Root Weight, Saponin

## 서 언

인삼의 해가림은 직사광선 및 고온의 피해를 방지하고 누수를 억제하여 병의 발생을 감소시키는 재배 방법이다. 그러나 해가림은 인삼의 재식 위치에 따라 광도와 온도 등의 조건에 차이가 있어 수광과 품질에 영향을 미친다 (Kim *et al.*, 1982; Lee *et al.*, 1980; Park *et al.*, 1979; Choi *et al.*, 1980).

인삼의 광포화점 및 광합성의 최적 광량은 높은 온도보다 낮은 온도에서 높으며 (Lee *et al.*, 1982; Jo *et al.*, 1985), 광합성의 최적온도는 15~22°C이지만 광도를 높일수록 최적온도는 낮아지고 호흡량은 온도 및 광도가 높아질수록 현저히 증가한다 (Lee, 1988). 따라서 인삼의 광합성속도는 오전의 이른 시간에 빠르고 오후가 되면 감소한다 (Lee, 2007). 또한, 차광망의 색상에 따라 광질이 다르며 엽록소 함량, 엽면적, 수량에도 영향을 미친다 (Lee *et al.*, 2007).

작물의 수량을 증대시키는 방법은 엽면적의 증가나 단위 면적당 광합성량을 증가시키는 방법 등이 있지만, 인삼은 잎이 성숙하면 엽수나 엽면적이 증가하지 않는 특성을 갖고 있으므로 일반작물의 수량증대 방법을 이용할 수 없는 단점이 있다.

Lee (2007)는 인삼의 수확량을 높이기 위해서는 건전한 잎

을 오래 지속시키고 광합성 작용에 최적 조건을 조성하여 물질 생산을 증대시키는 것이라고 하였다. 그러나 여름 장마와 고온피해 때문에 인삼의 건전한 잎을 오래 유지시키는 것은 매우 어려운 조건이다. 따라서 건전한 잎의 유지기간 연장보다는 광합성 시간을 증가시키는 방법이 더욱 효과적일 것으로 생각된다.

최근에 식물체의 성장과 형태 형성에 미치는 발광다이오드 (Light-Emitting Diode, LED)가 개발되면서 이를 이용한 연구가 진행되고 있다 (Brown *et al.*, 1995; Cho *et al.*, 2008; Choi, 2003; Choi *et al.*, 2003; Miyashita *et al.*, 1995; Park *et al.*, 2007). LED는 수명이 길고, 점등에 소비되는 전력소모가 매우 작기 때문에 식물생산의 인공광원으로 적합한 성질을 지니고 있다 (Brown *et al.*, 1995; Okamoto *et al.*, 1996; Yanagi *et al.*, 1996).

따라서 본 연구는 해뜨기 전의 LED 처리가 인삼의 성장 및 사포닌 함량에 미치는 영향을 조사하기 위하여 실시하였다.

## 재료 및 방법

농가에서 구입한 묘삼 (품종: 연풍)을 2007년도 11월에

<sup>†</sup>Corresponding author: (Phone) +82-42-821-5729 (E-mail) choije@cnu.ac.kr

Received 2009 April 14 / 1st Revised 2009 May 20 / 2nd Revised 2009 June 3 / Accepted 2009 June 7

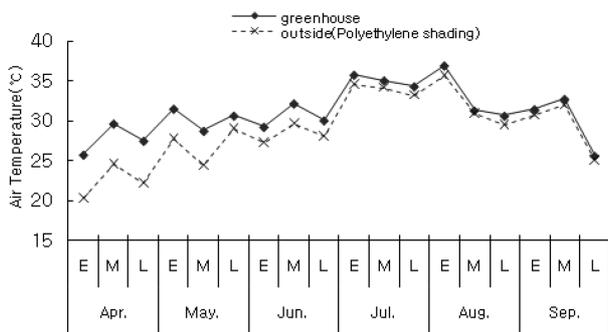
**Table 1.** Soil chemical properties of the experiment of field before transplanting.

pH (1 : 5)	EC (dS/m)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	NH <sub>4</sub> -N (mg/kg)	NO <sub>3</sub> -N (mg/kg)	OM (%)	Ex. K (mg/kg)	Ex. Mg (mg/kg)
5.02	0.33	123.1	117.6	65.6	2.99	1.90	2.88

**Table 2.** Quantum for day-break in different light conditions.

Light source	BL <sup>†</sup>	RL	BL+RL	FL	Control
Quantum (μmol/s/m <sup>2</sup> )	19 ± 0.2	39 ± 0.2	26 ± 0.1	35 ± 0.9	0 ± 0.0

<sup>†</sup>BL: Blue LED, RL: Red LED, FL: Fluorescent lamp.



**Fig. 1.** Comparison of air temperature in two different conditions. E: The first ten days of a month, M: The middle, L: The last.

13 × 20 cm 간격으로 이식하였다. 토양습도를 유지하기 위하여 관주재배 하였으며, 병충해 방제용 농약은 전혀 사용하지 않았다. 인삼재배용 하우스의 토양은 작물을 재배하지 않은 산흙을 약 30 cm 객토 한 후 유기물을 넣고 5회 경운하였으며, 인삼 이식전 토양의 주요 무기성분 함량은 Table 1과 같다.

관행 해가림 재배와 하우스내의 온습도는 자동기록장치 (Li-1400, USA)를 이용하여 측정하였으며, 온도의 변화는 Fig. 1과 같다.

청색광 (LU36-LA), 적색광 (LU36-LA), 청색광과 적색광의 1 : 1 혼합광 (LU36-LA) LED는 주문제작((주)소평전력, Korea) 하였으며, 인삼 잎이 완전히 전개한 4월 10일부터 9월 10일까지 해가 뜨기 전에 3시간씩 처리하였다.

광량은 Quantum sensor (Li-0190SA, U.S.A)를 이용하여 측정하였으며, 광원별 조사 광량은 Table 2와 같이 적색 LED 39 ± 0.2 μmol/s/m<sup>2</sup>, 형광등 35 ± 0.9 μmol/s/m<sup>2</sup>, 청색 · 적색 혼합 LED 26 ± 0.1 μmol/s/m<sup>2</sup>, 청색 LED 19 ± 0.2 μmol/s/m<sup>2</sup> 이었다.

엽록소 함량분석은 인삼 잎 0.1 g을 막자사발에 넣고 dimethyl-formamide 1 ml을 첨가하여 색소성분이 없어질 때까지 마쇄한 용액을 1.5 ml 튜브에 옮겨 원심분리 (15,000 rpm, 10분)하여 상층액을 회수하였다. 회수액을 UV-VIS spectrophotometer (Beckman Coulter DU 730, U.S.A)에서 646.8 nm 와 663.8 nm 에서 흡광도를 측정하여 다음과 같이

chlorophyll의 농도를 측정하였다.

$$\text{chlorophyll a} = 12 \times \text{OD}_{663.8} - 3.11 \times \text{OD}_{646.8}$$

$$\text{chlorophyll b} = 20.78 \times \text{OD}_{646.8} - 4.88 \times \text{OD}_{663.8}$$

작물학적 특성은 2008년 9월 10일에 경장, 경직경, 엽장, 엽폭, 지상부중, 근장, 근직경, 근중 등을 20개체씩 3반복으로 측정하였다.

사포닌 추출과 분석은 건조시료 2 g에 70% 에탄올 100 ml을 가하여 37°C의 shaking incubator에서 3일 동안 3회 추출하였다. 추출물을 filter paper (Whatman No. 42)로 여과한 후에 회전감압농축기 (LABOROTA 4000 efficient, Heidolph Instruments GmbH & Co. KG, Germany)로 40°C에서 농축하였다. 농축된 추출물은 5 ml의 증류수에 녹인 다음, freeze dryer로 건조시켰으며, 건조된 시료를 3 ml의 증류수에 녹인 후 HPLC 분석을 수행하였다.

HPLC 시스템은 NS-4000 (Futechs, Korea)에 ELSD Detector 300s (Soft, USA)를 사용하였다. 칼럼은 ProntoSil NC (250 × 4.6 mm)을 사용하였으며, 시료는 5 μm PVDF filter (Whatman)로 여과한 후에 20 μl씩 주입하였다. 용매는 A (Water : Acetonitrile = 97 : 3), B (20 mM Ammonium acetate : Acetonitrile : Methanol = 55 : 40 : 5), C (Acetonitrile : Water = 90 : 10)를 사용하였다. 이동상의 유속은 0.8 ml/min, 칼럼온도는 35°C로 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. LED 처리와 chlorophyll 함량

LED 및 형광등 처리가 인삼 잎의 chlorophyll 함량에 미치는 영향은 Table 3과 같다. LED 및 형광등 처리구의 chlorophyll a의 함량은 4.3~5.6 mg/g으로 무처리구보다 0.2~1.5 mg/g 증가하였으나 청색 LED 처리구에서만 유의성이 인정되었다. 청색 및 적색 LED 처리구의 chlorophyll b의 함량은 2.6~2.8 mg/g으로 무처리구보다 0.8~1.0 mg/g 증가하였으며 유의성이 인정되었다. 그러나 적색 · 청색 혼합 LED 처리

**Table 3.** Effect of LED and Fluorescent light on chlorophyll contents of leave in two-year-old ginseng.

Light source	Chlorophyll contents (mg/g)			a/b ratio
	a	b	Total	
BL <sup>†</sup>	5.6a <sup>‡</sup>	2.8a	8.4a	2.0
RL	4.7ab	2.6a	7.3ab	1.8
BL+RL	4.5b	1.7b	6.2bc	2.6
FL	4.3b	1.8b	6.1c	2.1
Control	4.1b	1.8b	5.9c	2.3

<sup>†</sup>BL: Blue LED, RL: Red LED, FL: Fluorescent lamp

<sup>‡</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

**Table 4.** Growth characteristics of above-ground parts of two-year-old ginseng in different light conditions.

Light source	Stem length (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Top weight (g)
BL <sup>†</sup>	13.9a <sup>‡</sup>	1.9a	6.0a	3.1a	1.6a
RL	13.0a	1.8a	5.4a	2.9ab	1.2b
BL+RL	11.3a	1.8a	5.2a	2.9ab	1.2ab
FL	11.9a	1.9a	5.3a	2.9ab	1.3ab
Control	12.2a	1.6a	4.9a	2.6b	1.0b

<sup>†</sup>BL: Blue LED, RL: Red LED, FL: Fluorescent lamp.

<sup>‡</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

구는 1.7 mg/g으로 무처리구보다 감소하였다.

청색과 적색 LED 처리구에서 chlorophyll a 함량이 증가한 것은 녹색식물에서 chlorophyll a의 최대 흡수파장이 청색광과 적색광이고 청색광과 적색광에서 광합성량이 가장 많다는 Taiz and Zeiger (2002)의 결과와 일치하였다.

## 2. LED 처리와 지상부 생육

LED 및 형광등 처리가 인삼 지상부의 생육에 미치는 영향은 Table 4와 같다. 경장은 청색 및 적색 LED 처리구에서 각각 13.9 cm, 13.0 cm로 무처리구보다 0.8~1.7 cm 증가하였고 적색·청색 혼합 LED 및 형광등구 처리구에서는 감소하였으나 유의성은 인정되지 않았다. 경직경은 LED 및 형광등 처리구에서 1.8~1.9 mm로 무처리구 1.6 mm에 비하여 0.2~0.3 mm 증가하였으나 유의성은 인정되지 않았다. 엽장은 LED 및 형광등 처리구에서 5.2~6.0 cm로 무처리구 4.9 cm에 비하여 0.3~1.1 cm 증가하였으나 유의성이 인정되지 않았다. 엽폭은 LED 및 형광등 처리구가 2.9~3.1 cm로 무처리구 2.6 cm에 비하여 0.3~0.5 cm 증가하였으나 청색 LED 처리구에서만 유의성이 인정되었다. 지상부 무게는 LED 및 형광등 처리구에서 1.2~1.6 g으로 무처리구보다 0.2~0.6 g 증가하였으나 청색 LED 처리구만 유의성이 인정되었다.

이상과 같이 LED 및 형광등 처리시 인삼 지상부의 생육촉진 효과가 뚜렷하지 않았던 것은 일출전 조명처리로 인삼 잎이 새로 출엽되거나 엽면적이 유의적으로 증가되지 않았기 때문이라고 생각된다.

## 3. LED 처리와 지하부 생육

LED 및 형광등 처리가 근장, 근직경, 근중 및 T/R 비율에 미치는 영향은 Table 5와 같다. 근장은 LED 및 형광등 처리구에서 20.6~21.7 cm로 무처리구보다 청색 LED 및 형광등 처리구에서 0.6~1 cm 증가하였고 적색 LED 및 적색·청색 혼합 LED 처리구에서는 0.1~0.5 cm 감소하였으나 유의성은 인정되지 않았다. 근직경은 LED 및 형광등 처리구에서 6.7~7.8 mm로 무처리구 6.5 mm에 비하여 0.2~1.3 mm 증가하였으나 유의성은 인정되지 않았다.

근중은 청색 LED 처리구 4.3 g, 형광등 4.0 g, 적색·청색 혼합 LED 3.3 g, 적색 LED 3.1 g으로 무처리구보다 0.4~1.6 g 증가하였으나, 청색 LED 및 형광등 처리구에서만 유의성이 인정되었다.

지상부와 지하부의 상대적인 성장량을 비교한 값인 T/R 비율을 보면 모든 처리구에서 유의성이 없었으나 형광등 처리구에서 가장 낮아 지상부에 비하여 지하부의 생육이 양호하였고 적색 LED 처리구에서 가장 높아 지상부에 비하여 지하부의 생육이 저조하였다. 청색 LED와 적색·청색 혼합 LED 처리구는 무처리구와 큰 차이를 보이지 않았다.

이상과 같이 인삼에서 LED 및 형광등 처리 효과는 지상부보다 지하부의 근직경과 근중에서 크게 나타났다. 이러한 결과는 광처리에 의한 광합성 물질이 초장, 엽면적 등의 생장에 영향을 주지 않았으나 지하부인 뿌리 생장에 기여하였기 때문으로 생각된다.

**Table 5.** Growth characteristics of underground parts of two-year-old ginseng in different light conditions.

Light source	Root length (cm)	Root diameter (mm)	Root weight (g)	T/R ratio (%)
BL <sup>†</sup>	21.7a <sup>‡</sup>	7.8a	4.3a	37.2a
RL	20.6a	6.7a	3.1ab	38.7a
BL+RL	20.2a	7.2a	3.3ab	36.4a
FL	21.3a	7.6a	4.0a	32.5a
Control	20.7a	6.5a	2.7b	37.0a

<sup>†</sup>BL: Blue LED, RL: Red LED, FL: Fluorescent lamp.

<sup>‡</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

<sup>§</sup>Compactness mean the root dry weight divided with the root height.

**Table 6.** Ginsenoside composition of two-year-old ginseng root by different light conditions.

Light source	Rb <sub>1</sub>	Rb <sub>2</sub>	Rb <sub>3</sub>	Rd	Re	Rg <sub>1</sub>	Rg <sub>2</sub>	Rh <sub>1</sub>	Total	PD <sup>§</sup> /PT
	(mg/g)									
BL <sup>†</sup>	13.9a <sup>‡</sup>	3.9a	0.9ab	2.2a	17.2a	5.1a	0.9a	2.0a	46.1a	0.8b
RL	15.7a	4.3a	0.8b	2.1a	12.0a	3.2b	0.6a	1.4a	40.1a	1.3a
BL+RL	10.9a	3.9a	1.0a	2.3a	14.7a	4.6a	1.0a	1.8a	40.2a	0.8b
FL	11.9a	3.4a	0.9b	1.7a	17.3a	3.6ab	0.8a	1.7a	41.3a	0.8b
Control	16.0a	4.4a	0.8b	1.9a	15.9a	3.9ab	0.7a	1.7a	45.3a	1.0b

<sup>†</sup>BL: Blue LED, RL: Red LED, FL: Fluorescent lamp.

<sup>‡</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

<sup>§</sup>PD (panaxadiol):Rb<sub>1</sub>+Rb<sub>2</sub>+Rb<sub>3</sub>+Rd, PT(panaxatriol): Re+Rg<sub>1</sub>+Rg<sub>2</sub>+Rh<sub>1</sub>.

**4. LED 처리와 사포닌 함량**

LED 및 형광등 처리가 인삼 뿌리의 사포닌 함량에 미치는 영향은 Table 6과 같다. 총사포닌 함량은 청색 LED 처리구 46.1 mg/g으로 무처리구 45.3 mg/g보다 0.8 mg/g 증가하였고 적색 LED, 적색·청색 혼합 LED 및 형광등 처리구는 무처리구보다 감소하였으나 유의성은 인정되지 않았다.

Diol계 사포닌의 총량은 LED 청색광 처리구 20.9 mg/g, 적색광 처리구 22.9 mg/g, 적색·청색 혼합광 처리구 18.1 mg/g, 형광등 처리구 17.9 mg/g으로 무처리구 23.1 mg/g보다 감소하였으며, 형광등 처리구에서 가장 컸다. Triol계 사포닌의 총량은 LED 청색광 처리구 25.2 mg/g, 적색광 처리구 17.2 mg/g, 적색·청색 혼합광 처리구 22.1 mg/g, 형광등 처리구 23.4 mg/g, 무처리구 22.2 mg/g으로 청색광 처리구에서 가장 많았고 적색광 처리구에서 가장 적었으나 유의성은 인정되지 않았다. LED 및 형광등의 처리가 사포닌 종류별 함량 증감에는 일정한 경향이 없었다. Diol계 사포닌에 대한 Triol계 사포닌의 함량 비는 청색광 처리구 0.8 적색광 처리구 1.3, 적색·청색 혼합광 처리구 0.8, 형광등 처리구 0.8로 무처리구 1.0과 차이가 있었다. 이러한 차이는 Triol계 사포닌의 함량이 급격히 감소한 적색 LED 처리구에서 가장 높은 비를 보였다.

Lee *et al.* (1987)은 햇빛의 30%를 조사하면 사포닌이 증가하였다고 하였으며, Park and Lee (1993)는 햇빛의 5~30% 광량을 처리한 결과 광량이 증가할수록 사포닌의 함량이 증가한다고 하였다. 그러나 인공조명이 인삼의 사포닌 함량에 미

치는 영향에 관한 연구는 거의 보고되지 않았다. 최근에 LED에 의한 인삼 재배가 보고되고는 있지만 구체적인 자료는 찾기 어렵다. Fournier *et al.* (2003)은 *Panax quinquefolius*의 임간재배에서 광량을 400 μmol/s/m<sup>2</sup>까지 증가시키면 총 사포닌의 함량은 계속 증가하였으며, 적색광과 원적색광도 사포닌 함량을 증가시켰다고 하였는데, 본 연구에 사용한 광량은 40 μmol/s/m<sup>2</sup> 이하이므로 Fournier *et al.* (2003)의 연구와 비교하면 광량이 충분하지 않을 것으로 생각된다. 따라서 LED 처리에 의한 인삼의 수량 및 사포닌 함량 증가를 위해서는 광원, 광량 뿐 만아니라 조사시간에 관한 연구가 병행되어야 할 것으로 보인다.

**LITERATURE CITED (학회지 명칭 검토 요망)**

**Brown CS, Schuerger AC and Seger JC.** (1995). Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. *Journal of American Society Horticulture Science.* 120:808-813.

**Cho JY, Son DM, Kim JM and Seo BS.** (2008). Effect of LED as light quality on the germination, growth and physiological activities of Broccoli sprouts. *Journal of Bio-environment Control.* 17:116-123.

**Choi KT, Ahn SD and Shin HS.** (1980). Variation of agronomic characters in ginseng plants cultivated under different planting position. *Korean Journal of Breeding Science.* 12:116-123.

**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 Korean Society for Horticulture Science. 44:442-446.
- Choi YW, Ahn CK, Kang JS, Son BG and Choi IS.** (2003). Growth, photomorphogenesis, and photosynthesis of *Perilla* grown under red, blue Light Emitting Diodes and light intensities. Journal of Korean Society for Horticulture Science. 44:281-286.
- Fournier AR, Proctor JTA, Gauthier L, Khanizadeh S, Belanger A, Gosselin A and Dorais M.** (2003). Understory light and root ginsenosides in forest-grown *Panax quinquefolius*. Phytochemistry. 63:777-782.
- Jo JS, Mok SK and Won JY.** (1985). Studies on the leaf characteristics and the photosynthesis of Korean ginseng II. Seasonal changes of photosynthesis 4-year old ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer). Korean Journal of Medicinal Crop Science. 30:398-404.
- Kim JM, Lee SS, Cheon SR and Cheon SK.** (1982). Relationship between environmental conditions and the growth of ginseng plant in field I. Productive structures as affected by planting positions and ages. Korean Journal of Crop Science. 27:94-98.
- Lee CH.** (1988). Effect of light intensity and temperature on the phyto-synthesis and respiration of *Panax spp.* Korean Journal of Ginseng Science. 12:11-29.
- Lee CH, Lee JC, Cheon SK, Kim YT and Ahn SB.** (1982). Studies the optimum light intensity for growth of *Panax ginseng* I. Effect of light intensity for growth of shoots and roots of ginseng plants. Korean Journal of Ginseng Science. 6:38-45.
- Lee CY.** (2007). Characteristics of photosynthesis with growing stages by different shading materials in *Panax ginseng* C.A. Meyer. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 15:276-284.
- Lee JC, Cheon SK, Kim YT and Jo JS.** (1980). Studies on the effect of shading materials on the temperature, light intensity, photosynthesis and the root growth of the Korean ginseng (*Panax ginseng* C. A. Meyer). Korean Journal of Crop Science. 25:91-98.
- Lee MK, Park H and Lee CH.** (1987). Effect of growth conditions on saponin content and ginsenoside pattern of *Panax ginseng*. Korean Journal of Ginseng Science. 11:233-251.
- 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.
- Miyashita Y, Kitaya, Kozai T and Kimura T.** (1995). Effect of red and Far-red light on the growth and morphology of potato plants in vitro: Using light emitting diodes as a light source for micropropagation. Acta Horticulture. 393:710-715.
- Okamoto K, Yanagi T, Takita S, Tanaka M, Higuchi, Ushida TY and Watanabe H.** (1996). Development of plant growth apparatus using blue and red LED as artificial light source. Acta Horticulture. 440:111-116.
- Park H and Lee MK.** (1993). Assessment of traditional quality criteria of *Panax ginseng* by biological active compounds. Acta Horticulture. 332:137-144.
- Park H, Lee CH, Bae HW and Hong YP.** (1979). Effects of light intensity and temperature on photosynthesis and respiration of *Panax ginseng* leaves. Soil science and Fertilizer. 12:49-53.
- Park SY, Chang MS, Choi JH and Kim BS.** (2007). Effect of a refrigerator with LED on functional composition changes and freshness prolongation of Cabbage. Korean Journal Food Preservation. 14:113-118.
- Taiz L and Zeiger E.** (2002). Plant physiology (Third edition). Sinauer Associates Inc. USA. 114-115.
- Yanagi TK, Okamoto and Takita S.** (1996). Effects of blue, red, and blue/red light of two different PPF levels on growth and morphogenesis of lettuce plants. Acta Horticulture. 440:117-122.