

## 도라지 배양묘의 생장 및 형태형성에 미치는 발광다이오드의 효과

은종선\* · 김영선<sup>1</sup> · 김용현<sup>2</sup>

전북대학교 원예학과, <sup>1</sup>장흥대학 관상원예과, <sup>2</sup>전북대학교 농업기계공학과

### Effects of Light Emitting Diodes on Growth and Morphogenesis of *in vitro* Seedlings in *Platycodon grandiflorum*

EUN\*, Jong Seon · KIM<sup>1</sup>, Young Seon · KIM<sup>2</sup>, Yong Hyeon

Department of Horticulture, Chonbuk National University, Chonju, 561-756, Korea

<sup>1</sup>Department of Ornamental Horticulture, Provincial College of Changhai, Changhai, 529-850, Korea

<sup>2</sup>Department of Agricultural Machinery Engineering, Chonbuk National University, Chonju, 561-756, Korea

**ABSTRACT** To clarify the possibility of plant production under red, green, blue, and red+blue using light emitting diodes (LEDs) and fluorescent lamps (control), the effects of light quality on the growth and morphogenesis of *in vitro* seedlings in *Platycodon grandiflorum* were examined. The plantlets grown under the LEDs resulted in taller plants with greater stem than fluorescent lamps. The shortest shoot length, 3.8 cm, was observed in the control and the longest one, 13.4 cm, in the red light. But the shoot length was 5.6 cm under red LED with supplemental blue (red+blue light). This results indicate that red LED may be suitable, in proper combination with other wavelengths of light. The root length under red light was significantly smaller among the treatments. The plantlets grown under red+blue light had lower shoot dry weight, higher dry matter than other lights-grown plantlets. Among the various growth parameters measured, there was an indication that leaf area was controlled by the LEDs. Leaf area of a plantlets developing under green light was about 2.4 times wider than that of plantlets grown under red LED (10.1 cm<sup>2</sup> in area). The dry matter rate per plantlet among the treatments was greater in plantlets grown under the red/blue LEDs in comparison with that grown under other LEDs. Chlorophyll contents in plantlets grown under the red, green, blue and red/blue LEDs were 2%, 7% 20% and 10% lower, respectively, than those in plant grown under fluorescent lamps.

**Key words :** Blue LED, green LED, red LED, red/blue LED, chlorophyll

#### 서 론

발광다이오드 (Light emitting diode, LED)는 칼륨, 알루미늄, 비소, 인 등의 III-V족 원소 및 아연, 카드뮴, 세렌 등의 II-VI족 원소의 화합물 반도체를 주요 재료로 하는 발광소자이다. 또한 LED는 방사스펙트럼 폭이 비교적 좁은 단색광을 조사하는 특징이 있고 광선중에 열선을 포함하지 않으며, 램

프가 소형 경량이고 수명이 극히 길기 때문에 식물재배용 광원으로서 이용하기 좋은 몇가지 특징을 가지고 있다 (Watanabe et al. 1996).

식물생장실에서 가장 흔히 사용되는 광선으로는 형광등, metal halide lamp, 고압 sodium lamp, 백열등 등인데 이 광원들은 주로 인간을 위한 조명장치로서 발달된 것들이다. 그러나 식물의 광수용체들은 인간과는 다르며 식물생장실에서 현재 사용되는 광원들은 여러 가지 한계가 있기 때문에 식물에게 적당한 광선은 아니다 (Bula et al. 1991).

따라서 전력의 소비가 적고 광합성능을 높일 수 있는 광원은 폐쇄환경에서 상업적 농작물 생산장치에 이용할 경우 많

\*Corresponding author. Tel 0652-270-2576

E-mail: jseun@moak.chonbuk.ac.kr

은 잇점이 있기 때문에 LED에 기초를 둔 식물발광시스템에 관한 연구는 꾸준히 이루어지고 있다 (Okamoto and Yanagi 1994; Tanaka 1999; Yanagi and Okamoto 1994). 광독립영양 식물에 있어서 방사에너지 부분은 파장 400~700 nm범위에서 식물생장을 위한 광합성능이 한정되어 있는데 광원의 분광장비는 광합성을 위한 식물의 요구에 부합되어야 한다. 이러한 점에서 LED는 형광등이나 metal halide등의 일반적인 광선과 비교할 때 조직배양실의 폐쇄된 생태계에서 식물생장에 있어 유용한 광원이 될 수 있다. 그러나 LED를 이용한 기내 배양체의 성장 및 형태형성에 관한 연구는 몇몇 보고 (Tanaka 1999; Yanagi and Okamoto 1994)가 있을 뿐이다. 본 실험에서는 LED를 사용한 적색, 녹색, 청색광 및 적색과 청색의 혼합광에서의 기내 도라지 유묘의 성장과 형태형성에 미치는 광질효과 및 광질에 따른 엽록소 함량 등에 대하여 조사하였다.

## 재료 및 방법

도라지의 건조종자를 Murashige와 Skoog (1962)의 기본 배지 (MS)에 파종하여 25°C의 항온기안에서 6일간 무균발아시킨 다음 형광등조명 (PPFD,  $75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 아래에서 2주일 동안 성장시킨 후 본엽 2매가 완전히 전개되었을 때 자엽직하 5 mm 내외에서 절단하여 기내에 치상하였다. 배지는 MS기본배지에 0.5 mg/L NAA를 첨가하여 배양병당 9개체씩 9반복 처리하였고 직경 1 cm 크기의 구멍이 3개 뚫려있는 플라스틱 뚜껑에 membrane filter (pore size, 0.45  $\mu\text{m}$ )를 부착하여 배양하였다. 배양조건은 온도 25°C에서 연속조명배양하였고 배양 30일 후 초장, 근장, 엽면적, 생체중, 건물중, 건물률, 엽록소함량 등을 조사하였다.

광원은 적색, 녹색, 청색의 분광특성이 각각 673 nm, 522 nm, 442 nm의 파장영역에서 광합성 유효광량자 유입밀도 (PPFD)가 최대치를 나타내는 (Figure 1) 적색, 녹색, 청색의 단색LED와 혼합광으로 적색 (80%) + 청색 (20%) LEDs를

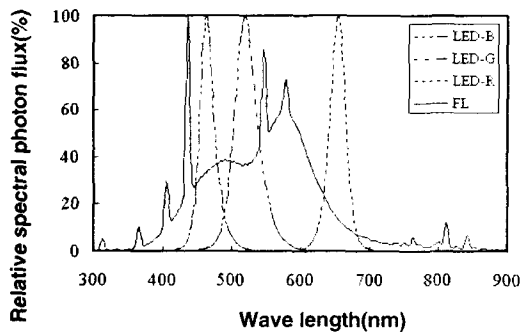


Figure 1. Comparison of relative spectral photon flux for blue (B), green (G), red (R) LEDs, and fluorescent lamp (FL).

이용하였으며, 대조구로는 형광등을 사용하였고 이들 광원의 PPFD는 모두  $75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 조정하여 배양하였다.

엽록소 함량 조사는 배양 30일 후 완전히 전개한 잎 2매에서 80% acetone으로 엽록소를 추출하였고 분광광도계를 이용하여 파장 645 nm 및 663 nm의 흡광도치를 Arnon방법 (1949)에 의해 산출하였다.

## 결과 및 고찰

### 식물체의 성장량 비교

발아 후 본엽 2매가 완전히 전개된 유묘를 형광등 (대조구), 청색광, 적색광, 녹색광의 단색 LEDs와 적색/청색의 혼합 LEDs 등 광질을 달리하여 배양 30일 후 조사한 식물체의 성장량을 조사하였던 바 (Figures 2, 3) 조직배양실에서 일반적으로 이용하고 있는 형광등하에서 배양된 식물체의 성장량과 3가지 단색광의 다른 광질의 처리하에서 생육된 식물체는 광질에 따라 많은 차이를 보였다. 청색광에서 성장된 식물체의 경우 마디 수는 대조구 및 다른 3가지의 광질처리와 비교할 때 가장 적었고, 초장은 대조구가 3.8 cm, 청색광에서 5.1 cm로 신장되어 대조구와 가장 적은 차이를 보였다. 그러나 적색광은 초장이 13.4 cm로 대조구와 비교할 때 3배 이상으로 신장되었고 마디 수는 5.7개로 청색광에 비해 적게 나타나 가장 연약하게 도장된 유묘의 생육상태를 보였으나 녹색광은 대조구와 비교하면 마디수는 대조구가 5.8개, 녹색광이 6.1개로 거의 같았고 초장은 2배이상 성장되어 지상부 생육

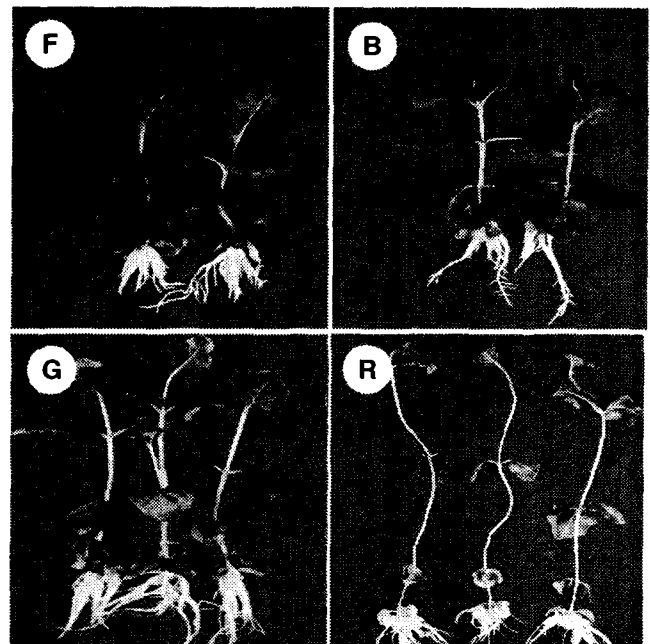
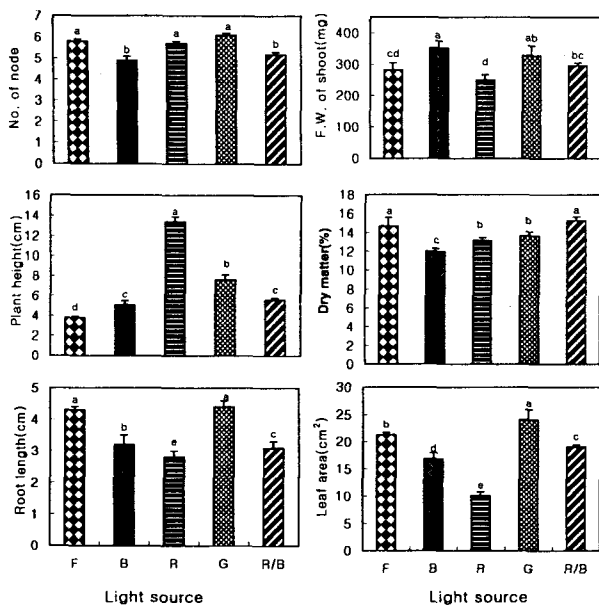


Figure 2. Plant growth pattern under fluorescent lamp (F), blue (B), green (G), and red (R) LEDs.



**Figure 3.** Growth parameters of 30-day-old *Platycodon grandiflorum* plantlets grown under fluorescent lamps (F), blue (B), red (R), green (G), and red plus blue (R/B) LEDs.

은 형광등보다 LED처리에서 크게 높았음을 알 수 있었다.

뿌리는 적색광에서 2.8 cm밖에 자라지 않아 전 처리구 중 초장이 가장 길었던 것에 비하여 뿌리길이는 가장 짧았으며 초장이 가장 작았던 대조구보다 뿌리생장이 저조한 결과를 보였다. 그러나 대조구와 녹색광은 각각 4.3 cm, 4.4 cm로 비슷한 결과이었다. 초장은 광질에 따라 각 처리구에서 큰 차이를 보인 반면에 뿌리길이는 크게 영향하지 않고 거의 같은 크기로 신장되었다.

엽면적을 조사한 결과 처리구마다 차이가 심하였는데 형광등에서 株當 21.3 cm<sup>2</sup>인 것에 비교하면 녹색광이 24.1 cm<sup>2</sup>로 가장 넓었고 적색광은 10.1 cm<sup>2</sup>로 가장 적은 수치를 보여 光質에 따라 엽면적에 큰 차이를 나타냈다.

식물체의 지상부와 지하부를 분리하여 생체중과 건물중을 조사한 결과 생체중이 가장 높은 것은 청색광에서 351.8 mg, 가장 낮은 것은 적색광에서 251.7 mg이었는데 이것은 초장의 길이가 가장 짧은 청색광에서 생체중은 가장 높았고 초장이 가장 길었던 적색광에서 가장 적게 나타나 적색광에서 생장된 식물체는 크게 도장하여 묘의 소질이 연약한 것이었음을 알 수 있었다. 뿌리의 생체중에서 뚜렷한 차이를 보인 것은 대조구와 녹색광으로서 뿌리길이에 있어서는 비슷한 결과이었으나 생체중에서는 대조구의 경우 170.5 mg, 녹색광의 경우 254.1 mg으로 큰 차이를 보여 녹색광에서 뿌리의 비대가 다른 처리구보다 양호한 결과이었다. 그러나 건물중은 지상부의 대조구가 41.6 mg, 녹색광이 44.6 mg로 두 처리구간에 큰 차이가 없었고 건물중에 있어서는 대조구와 적색광, 녹색광은 거의 비슷한 반면에 청색광에서 가장 낮게 나타나 함수율은 청색광에서 약간 높은 것으로 나타났다.

한편, 단색광으로서 적색광과 혼합광으로서 적색/청색을 혼합한 LEDs의 경우를 비교하였을 때 마디수가 적색광에서 5.7개, 혼합광에서 5.2개로 비슷하였고, 초장은 적색광이 13.4 cm, 적색/청색의 혼합광이 5.6 cm로 적색광에서 상당히 도장되었던 초장이 2배이상 줄어들었고, 엽면적에 있어서는 적색광이 10.1 cm<sup>2</sup>, 적색/청색의 혼합광이 19.1 cm<sup>2</sup>로 혼합광에서 약 2배이상 증가되었다.

또한 지상부의 건물중에 있어서 적색/청색의 혼합광이 15.3%였는데 이것은 모든 처리구보다 가장 높은 결과였고 단색광만을 처리한 경우 적색광이 13.2%, 청색광이 12.0%를 나타낸 것과 비교할 때 혼합광에서 건물중이 높았다.

### 엽록소 함량

광처리 후 30일째에 각 시험구에서 완전히 전개된 잎을 시료로 하여 단위 생체중당 엽록소함량, 엽록소 a/b비율을 조사하였다 (Table 1).

대조구인 형광등에서 엽록소의 전체 함량이 4.2 mg · g F.W.<sup>-1</sup>를 보인 것과 다른 처리구를 비교할 때 靑色光에서 3.4mg · g F.W.<sup>-1</sup>로 가장 낮았고, 다른 처리구의 적색, 녹색, 적색/청색 LEDs에서 각각 4.1, 3.9, 3.8 mg · g F.W.<sup>-1</sup>을 나타내 비교적 형광등과 비슷한 전체 엽록소 함량을 보였다. 엽록소 a/b비율에 있어서 대조구인 형광등의 2.23과 단색광 LEDs만을 비교할 때 청색광이 2.77로 약간 높았고 적색과 녹색은 각각 2.15와 2.25를 나타내었다. 그러나 적색 (80%)/청색 (20%)의 혼합광에서 엽록소 a/b의 비율이 3.63을 보여 단색광처리의 청색과 적색광이 각각 2.77과 2.15였던 것에 비해 훨씬 높았다.

LED발광시스템의 중요한 잇점은 LED의 peak spectral output이 엽록소 적색 흡수 peak와 최대 광합성률의 파장이 동시에 일어난다는 것인데 이것은 분광지역이 400~700 nm를 가로질러 퍼지는 방식을 일으키는 램프에서보다 LED에서 방출되는 방사에 의해서 더 큰 광합성 효율을 기대할 수 있다고 하였다 (McCree 1972).

이미 상추에 대한 LED 실험에서 PPFD 325 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>의 적색 LED에서의 실험결과와 형광등과 백열등을 혼합하여 식물체를 생장시킨 결과를 비교하였을 때 생체중, 건물중, 엽폭과 길이, 줄기 길이 등이 큰 차이가 없어 식물생장에 LED

**Table 1.** Chlorophyll contents *in vitro* plantlets grown under fluorescent lamps (FL), blue, red, green, and red plus blue LEDs.

Light source	Chlorophyll contents (mg · g F.W. <sup>-1</sup> )			Chlorophyll a/b
	Chl. a	Chl. b	Total	
FL	2.9±0.08	1.3±0.08	4.2±0.11	2.23
Blue	2.5±0.11	0.9±0.07	3.4±0.13	2.77
Red	2.8±0.39	1.3±0.39	4.1±0.55	2.15
Green	2.7±0.10	1.2±0.06	3.9±0.12	2.25
Red/Blue	2.9±0.23	0.8±0.10	3.7±0.33	3.63

광원의 이용 가능성이 있음을 보고하였다 (Bula et al. 1991).

본 실험에서는 도라지의 기내묘를 적색, 녹색 및 청색의 단색광과 적색과 청색의 혼합광을 처리하여 성장시킨 결과 청색광과 녹색광에서는 형광등에 비해 건전한 유묘로 성장되었으나 적색광에서는 형광등에 비해 3배 이상 초장이 길게 도장되었고 뿌리길이는 가장 짧은 결과로 묘의 상태가 불량하였다. 또한 엽면적은 형광등과 비교할 때 녹색광이 가장 넓었고 적색광에서 가장 적게 나타나 광질에 따라서 엽면적에 큰 차이를 보였다.

상추를 재료로 하여 PPFD를  $85 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 와  $170 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 으로 구분하여 청색과 적색의 단색광 처리 또는 청색/적색의 혼합광을 처리하였을 때 2가지 수준의 PPFD와 무관하게 적색광에서 성장된 식물체가 청색광에서의 식물체보다 더 많은 잎을 발달시켰으나 청색/적색의 혼합광에서보다 적었다고 하였고 식물체 잎 가장자리의 말립현상은 청색광이 적색광에 비해 적었다고 하여 PPFD 수준보다는 광질에 따라 식물체의 생장이 다르게 나타남을 보고하였다 (Yanagi et al. 1996). 또한 잎의 폭과 길이를 조사한 결과 청색과 적색의 단색광이 혼합광에 비해 길이가 길었고, 엽폭은 적색광에서 가장 좁았다고 하였으며, 줄기 신장은 역시 적색광에서 가장 촉진되었다고 하여 본 실험의 도라지와 비슷한 결과를 보였다.

또한 고추를 metal halide 등, 적색 LED, 적색/청색 LED, 형광등, 적색/근적외 LED로 구분한 광질실험에서 적색 LED만을 처리한 경우는 적색광에 청색 형광등을 첨가한 경우와 metal halide 등에 비해 식물체의 생장이 저조하였고, 적색광 또는 적색/근적외 LED의 혼합광에서는 청색 형광등을 첨가한 램프에 비해서 잎의 수가 적었다고 하였는데 이것은 적색 LED에 다른 빛의 파장을 혼합할 경우 식물체의 생육이 단색광 처리보다 양호함을 알 수 있었다 (Brown et al. 1995).

Tanaka (1999)는 100%의 적색광을 단색광으로서 대조구 하고, 적색광에 청색광을 각각 10%, 20%, 30%씩 혼합하여 적색 단색광과 적색/청색 혼합광하에서 *Eucalyptus*와 딸기의 식물체를 배양한 결과 *Eucalyptus*에서는 적색 (80%)/청색 (20%)에서 대조구에 비해 생체중, 엽수 및 뿌리발생률의 성장측정치가 훨씬 높게 나타났으며, 딸기의 경우 초장은 적색의 단색광에서 가장 높았으나 생체중 및 건물중은 적색 (70%)/청색 (30%)에서 단색광이나 다른 혼합광 처리보다 가장 높게 나타났다.

이러한 결과는 적색 단일광에서 식물체의 초장은 도장되었으나 적색광에 청색광을 혼합할 경우 건전한 유묘 생산이 가능하다는 것을 알 수 있었다. 이것은 본 실험에서도 비슷한 결과였는데 단색광으로서 적색 LED와 혼합광으로서 적색 (80%)/청색 (20%)을 비교하여 볼 때 적색광 단일처리에서는 식물체의 초장이 13.4 cm로 가장 길었으나 마디 수에는 큰 차이가 없이 절간만이 신장된 도장묘로서 이용가치가 없었지만 혼합광에서는 5.6 cm로 건전하게 생육되어 정상묘로 발달하였다.

Tibbitts 등 (1983)은 4가지 광원에 따라 PPFD를  $320 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 와  $700 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 으로 구분한 후 상추, 시금치, 밀 등을 파종하여 생육된 식물체의 엽록소함량에 관한 실험 결과, PPFD  $700 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 처리에서 고압의 sodium등과 metal halide등을 비교하였을 때 sodium등에서 생육된 상추와 시금치의 어린 식물체에서 엽록소 농도가 metal halide등에서 생육된 식물체보다 상추의 경우 55%, 시금치의 경우 26% 더 낮았다고 하여 광원에 따라 엽록소 생성에 영향이 있음을 알 수 있었다.

엽록소 생성에는 광원과 광도가 중요한 역할을 하지만 같은 조건에서도 식물체의 shoot와 뿌리간의 상호작용에 의해서도 식물체 잎의 녹색화에 영향을 끼친다고 하였는데 (Tripathy and Brown 1995), 밀의 종자를 젖은 여과지에 파종하거나 버미큐라이트를 넣은 유리접시에 파종하여 형광등과 적색광을 PPFD 100과  $500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 구분하여 생육시킨 결과 적색광의  $500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서만 여과지에 파종 후 뿌리가 노출된 채로 생육된 경우 엽록소가 전혀 이루어지지 않았고 5일 후에는 잎이 노랗다가 10일 후에는 하얗게 변하였다. 그러나 버미큐라이트에 파종하여 뿌리가 광에 노출되지 않은 경우 100과  $500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 광도에 전혀 영향을 받지 않고 엽록소 함량은 같았으며, 형광등의 경우 뿌리 노출 여부와 광도에 구분되지 않고 엽록소 함량은 거의 같은 수준이었다. 또한 적색광의 PPFD를 100~ $500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 구분하여 발아 후 뿌리가 노출된 상태로 생육시킨 밀의 유묘에서 엽록소 함량을 관찰한 결과 100과  $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 생육된 것과 비교할 때  $300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서는 80%감소하였고, 400과  $500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서는 거의 형성되지 않아 광도에 따라 엽록소 생형성에 차이가 있다고 하였다.

본 실험의 경우 LEDs의 처리에 따른 엽록소 함량은 적색광에서 가장 높게 나타났고 a/b의 비율은 청색LED와 적색/청색의 혼합 LEDs에서 가장 높게 나타나 다른 처리구에 비해 엽록소 a의 함량이 높았고 전체 엽록소 함량은 적색광이 가장 높게 나타났다.

## 적 요

발광다이오드 (Light emitting diode)를 사용한 적색, 녹색 및 청색광에서 식물생산의 가능성을 조사하기 위하여 도라지 유묘의 성장과 형태형성에 미치는 광질의 효과와 광질에 따른 엽록소함량을 형광등과 비교하여 조사하였다. 식물체의 초장은 형광등에서 3.8 cm로 가장 짧았고 LEDs에서 생장한 것은 적색광에서 13.4 cm로 가장 길었다. 반면에 적색/청색의 혼합광은 5.6 cm로 적색 단색광에서 식물체가 도장된 것에 비해 정상적인 식물체의 성장양상을 보여 적색과 청색의 혼합광이 식물체의 성장에 적당하였다. 엽면적은 녹색광에서  $24.1 \text{ cm}^2$ 로서 적색광에서  $10.1 \text{ cm}^2$ 인 것에 비하여 약 2.4

배가 더 넓어 다른 처리구에 비하여 가장 양호하였다. 건물률은 적색/청색의 혼합광에서 15.3%를 나타내어 다른 광질처리보다 함수율이 적었다. 엽록소함량은 청색 단색광과 적색/청색의 혼합광에서 형광등보다 각각 20%, 10%적었으나 적색과 녹색의 경우 각각 2%, 7% 적었는데 적색 단색광에서 형광등과 비슷한 엽록소 함량을 보였다.

사사: 본 연구는 1997년도 한국학술진흥재단의 자유공모과제 연구비에 의하여 수행된 연구결과의 일부임.

---

## 인용문헌

- Arnon DI (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol* **24**:1-15
- Brown CS, Schuerger AC, Sager JC (1995) Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. *J Amer Soc Hort Sci* **120**(5):808-813
- Bula R, Morrow RC, Tibbitts TW, Barta DJ, Ignatius RW, Martin TS (1991) Light-emitting Diodes as a radiation source for plants. *HortSci* **26**(2): 203-205
- McCree KJ (1972) The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agric Meteorol* **9**:191-216
- Murashige T, Skoog F (1962) A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue cultures. *Physiol Plant* **15**:473-479
- Okamoto K, Yanagi T (1994) Development of light quality on some greenhouse crops. *Scientia Horticulturae* **33**:27-36
- Tanaka M (1999) The use of light-emitting diodes (LED) as a novel light source for micropropagation. *Proc. of The Korean-Japan Joint Symp. on Transplant Production in Horticultural Plants*. 1-2 Nov. 1999. Chungbuk Nat'l Univ., p43-52
- Tribbitts TW, Morgan DC, Warrington IJ (1983) Growth of lettuce, spinach, mustard, and wheat plants under four combinations of high-pressure sodium, metal halide, and tungsten halogen lamps at equal PPF. *J Amer Soc Hort Sci* **108**:622-630
- Tripathy BC, Brown CS (1995) Root-shoot interaction in the greening of wheat seedlings grown under red light. *Plant Physiol* **107**:407-411
- Watanabe H, Kawai S, Yoshino T, Tanaka F, Suzuki M (1996) Light emitting diodes as the light source for plant growth regulations. 3. Flowering regulation of chrysanthemum by irradiation of LEDs in winter. Abstracts in Autumn, *J Soc Hort Sci* p452-453
- Yanagi T, Okamoto K (1994) Super-bright light emitting diodes as an artificial light source for plant growth. Abstracts of The Third Inter. Symp. Artificial Lighting in Horticulture, p19
- Yanagi T, Okamoto K, Takita S (1996) Effects of blue, red, and blue/red lights of two different PPF levels on growth and morphogenesis of lettuce plants. *Acta Hort* **440**:117-122

(접수일자 2000년 1월 7일)