

# 기내 배양종묘의 미세번식을 위한 인공광원으로서 발광다이오우드의 응용

## Application of Light-emitting Diodes (LEDs) as an Artificial Lighting Source for Micropropagation of *in vitro* Seedlings

김용현\*    은종선<sup>1</sup>    김영선<sup>2</sup>  
정희원  
Y.H. Kim    J.S. Eun    Y.S. Kim

### 1. 서론

식물 생장을 위한 인공광원으로서 사용되고 있는 형광등, 고압 sodium lamp, metal halide lamp는 본래 식물 생장을 목적으로 한 것이 아니라 조명용으로 개발되었다. 그러므로 상기 광원에 대한 스펙트럼을 분석해보면 식물의 광합성 능력을 촉진시키는 파장이 일부 포함되어 있기는 하나, 대부분의 파장이 비시감도를 높이거나 연색성을 개선하기 위한 것임을 알 수 있다. 더구나 이러한 광원에서는 많은 발열이 이루어져 식물 성장 시스템 내의 냉방부하가 커지는 단점이 나타나고 있다.

최근 들어 점등에 소비되는 전력소모가 매우 작기 때문에 정보 표시판, 광고탑, 게시판 또는 가전제품의 지시계 등에 광범위하게 이용되는 발광다이오우드(Light-emitting diode, LED)는 수명이 길고, 광량 제어가 용이하며, 현열 발생량과 장파복사의 방출량이 작기 때문에 식물묘 생산을 위한 인공광원으로서 주목을 받고 있다. 김(1999)은 단색광의 특성을 지니고 있는 LED의 스펙트럼과 광강도를 분석하고 점등회로에 공급되는 입력전류의 조절에 의해서 광량 제어 방법을 제시한 바 있다. 소형으로서 배열 방법에 따라 점광원, 선광원 또는 면광원으로서의 활용이 가능한 LED는 식물묘의 성장 및 형태형성을 위한 광원으로 사용된 바 있다(은 등, 2000; Bula et al., 1991; Brown et al., 1995; Tanaka et al., 1998; Yanagi et al., 1996).

LED를 이용한 식물묘 생산 시스템을 개발하려고 시도된 본 연구의 구체적인 목적은 조직 배양을 위한 인공광원으로서 LED 모듈(module)을 제작하여 청색, 녹색, 적색 및 원적색의 단색광 LED가 기내 배양종묘의 성장과 광형태형성 반응에 미치는 효과를 구명하고, 배양묘의 미세번식을 위한 인공광원으로서 LED의 응용 가능성을 제시하는 데 있다.

---

\* 전북대학교 생물자원시스템공학부(농업과학기술연구소)

<sup>1</sup> 전북대학교 생물자원과학부(생물산업연구소)

<sup>2</sup> 남도대학 원예산업과

## 2. 재료 및 방법

### 가. LED 모듈

배양묘의 성장과 광형태형성 반응을 살펴보기 위해서 제작된 LED 모듈은 발광부로서 LED와 기판을 포함한 LED 어레이(array), LED 어레이에서 발광되는 단색광의 선택과 광량을 제어할 수 있는 전원과 전류 제어부, LED에서 발열된 열을 외부로 방출시키기 위한 송

풍기, LED 어레이를 지지하는 프레임 등으로 구성된다(김, 1999). LED 어레이에는 직경 5mm의 청색, 녹색 및 적색광 LED를 각각 16줄 x 48개/줄 = 768개씩 배열하였다.

청색, 녹색 및 적색광 LED는 각각 462nm, 522nm, 654nm의 파장 영역에서 광합성유효광량자속(photosynthetic photon flux, PPF)의 최대치가 나타나는 분광특성을 갖는다(Fig. 1).

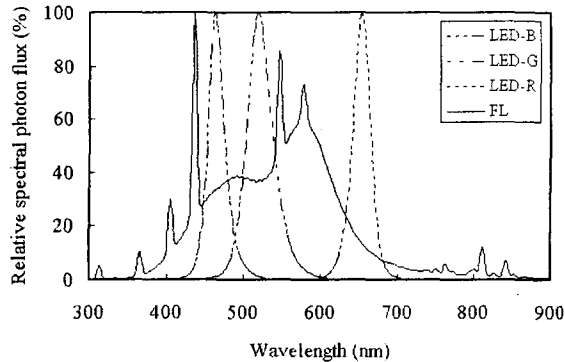


Fig. 1. Comparison of relative spectral photon flux for blue (B), green (G), red (R), and fluorescent lamp (FL).

### 나. 공시식물

기내 배양묘의 미세번식을 위한 인공광원으로서 LED의 응용 가능성을 확보하고자 본 연구에서는 도라지(*Platycodon grandiflorum*)와 고구마(*Ipomoea batatas* Lam.)를 공시 배양식물로 사용하였다.

#### 1) 도라지

도라지의 건조 종자를 Murashige와 Skoog(1962)의 MS 기본배지에 과종하여 25℃의 항온기 내에서 6일간 무균 발아시켰다. 그 후 광합성유효광량자속이  $75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 유지되는 형광등 조명 하에서 14일 동안 성장시킨 후 본엽 2매가 완전히 전개되었을 때 자엽 직하 5mm 내외에서 절단하여 기내에 치상하였다.

#### 2) 고구마

전북대학교 농과대학 조직 배양실에서 배양 중인 고구마 품종 “자미”의 배양묘를 이용하였으며, 줄기를 한마디씩 절단하여 치상하였다.

### 다. 배양조건과 성장조사

본 실험에서 도라지는 배양병당 9개체씩 9반복 처리하였으며, 고구마는 배양병당 9개체씩 3반복 처리하였다. 실험에 사용된 배지는 MS 기본배지로서  $0.5\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  NAA를 첨가하였으며, 직경 1cm 크기의 구멍이 3개 뚫려 있는 플라스틱 마개에 membrane filter(pore size, 0.45

$\mu\text{m}$ )를 부착하여 배양하였다. 온도가  $25^{\circ}\text{C}$ 를 유지하는 조건에서 LED 광원을 연속으로 조명 처리하였고, 배양 30일 후 배양병당 4개체를 선발하여 마디수, 줄기길이, 뿌리길이, 엽면적, 생체중, 건물중, 건물율 등을 조사하였다. 본 연구에서는 LED를 이용하여 기내 배양묘의 생장과 광형태형성에 미치는 광질의 효과를 구명하고자 청색(B), 녹색(G), 적색(R)의 단색광, PPF를 기준으로 적색과 청색이 각각 80%, 20%씩 혼합된 혼합광(R/B) 처리를 설정하였다. 한편 대조구로서 형광등을 사용하였으며, LED와 형광등으로부터 조사된 PPF는 배양기내의 배지 표면에서 모두  $75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 를 유지하도록 조절하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 마디수와 줄기길이

도라지의 마디수는 청색광<혼합광<적색광<대조구(형광등)<녹색광의 순서로 나타났으나, 처리에 따른 광질의 효과가 높지 않게 나타났다. 그러나 줄기길이는 적색광>녹색광>혼합광>청색광>대조구의 순서로서 광질 효과가 분명하게 나타났다. 특히 적색광에서의 줄기길이는 13.4cm로 대조구인 3.8cm에 비해서 3배 이상으로 신장되었다. 이와 같은 줄기 신장은 적색광에서 유묘가 도장하여 가장 연약하게 생육됨을 의미하는 것이다. 이밖에 녹색광에서의 줄기길이는 대조구에 비해서 2배 이상으로 나타나 지상부 생육이 형광등보다 단색광 LED 처리에서 높게 나타남을 알 수 있다. 한편 적색/청색의 혼합광에서의 줄기길이는 5.6cm로서 단

색광과 다르게 줄기신장의 억제 효과가 크게 나타났다.(Fig. 2)

고구마의 마디수는 청색광에서 6.4개로 5% 수준에서 유의성이 인정될 만큼 가장 작게 나타났으며, 나머지 처리에서는 유의성이 없었다. 줄기길이는 적색광에서 배양된 식물체가 8.1cm로 가장 크게 나타난 가운데 5% 수준에서 적색광과 다른 광질의 처리간에 유의성이 인정되었다. 그러므로 절간신장 효과가 적색광에서 가장 크게 나타났다.(Table 1)

#### 나. 뿌리길이

도라지의 뿌리는 적색광에서 2.8cm에 불과하여 모든 처리구중

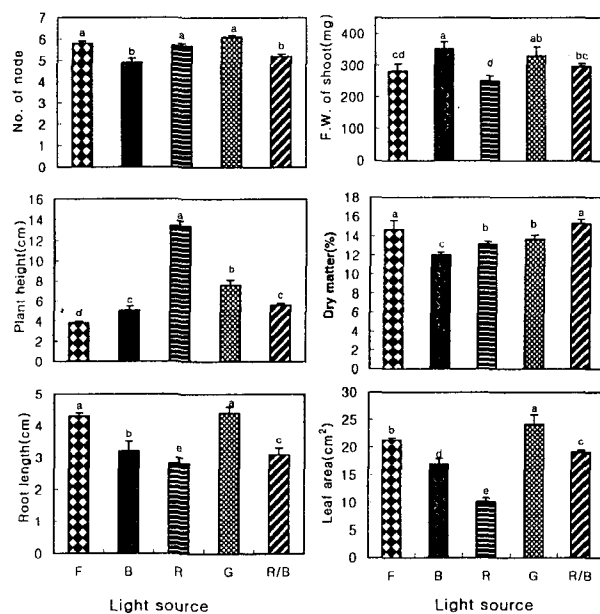


Fig. 2. Growth parameters of 30-day-old *Platycodon grandiflorum* plantlets grown under fluorescent lamp(F), blue(B), red(R), green(G), and red/blue (R/B) LEDs.

가장 짧게 나타났으며, 다음으로 혼합광<청색광<대조구<녹색광의 순서로 나타났다. 줄기길이가 적색광에서 가장 길었던 것에 비하여 뿌리 신장은 가장 저조하게 이루어졌다.(Fig. 2)

고구마의 뿌리길이는 대조구>청색광>적색광>혼합광의 순서로 나타났다. 이 가운데 혼합광하에서 배양된 식물체는 10.1cm로서, 5% 수준에서 유의성이 인정될 만큼 작게 나타났다.(Table 1)

#### 다. 엽면적

도라지의 엽면적은 처리구마다 차이가 심하였는데 대조구에서 주당 21.3cm<sup>2</sup>인 것에 비교하면 녹색광이 24.1cm<sup>2</sup>로 가장 넓었고 적색광은 10.1cm<sup>2</sup>로 가장 적은 수치를 보여 광질에 따라 엽면적에 큰 차이를 나타냈다. 한편 적색/청색의 혼합광에서 엽면적은 19.1cm<sup>2</sup>로서 엽면적 증가에 혼합광의 처리가 유효함을 알 수 있었다.(Fig. 2)

고구마의 엽면적은 대조구>청색광>혼합광>적색광의 순서로 나타났다. 특히 적색광에서의 엽면적은 대조구의 1/2에 해당하는 10cm<sup>2</sup>로서, 5% 수준에서 유의성이 인정될 만큼 작게 나타났다.(Table 1)

Table 1. Effect of light quality on the growth parameters of 30-day-old *Ipomoea batatas* Lam. cultured under fluorescent lamps(F), blue(B), red(R) and red/blue(R/B) LEDs.

| Light source | No. of node             | Shoot length (cm) | Root length (cm) | Leaf area (cm <sup>2</sup> ) |
|--------------|-------------------------|-------------------|------------------|------------------------------|
| FL           | 8.4 ± 1.0a <sup>z</sup> | 4.3 ± 1.0b        | 22.7 ± 2.6a      | 19.5 ± 2.6a                  |
| B            | 6.4 ± 0.5b              | 2.7 ± 0.7b        | 17.8 ± 1.8a      | 14.1 ± 1.6ab                 |
| R            | 8.2 ± 0.4a              | 8.1 ± 0.9a        | 15.8 ± 4.2ab     | 10.0 ± 1.4b                  |
| R/B          | 7.6 ± 0.5ab             | 3.6 ± 0.3b        | 10.1 ± 1.5b      | 13.2 ± 2.2ab                 |

| Light source | Fresh wt. of shoot (mg) | Dry wt. of shoot (mg) | Fresh wt. of root (mg) | Dry wt. of root (mg) |
|--------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| FL           | 720.7 ± 73.3a           | 55.1 ± 7.3a           | 284.7 ± 60.9a          | 23.5 ± 0.7a          |
| B            | 435.0 ± 65.2b           | 37.8 ± 5.5b           | 237.9 ± 38.5ab         | 24.5 ± 0.9a          |
| R            | 495.0 ± 59.6b           | 42.5 ± 4.3ab          | 182.5 ± 37.2bc         | 14.0 ± 0.7b          |
| R/B          | 441.6 ± 50.5b           | 36.5 ± 4.3b           | 124.9 ± 22.8c          | 10.3 ± 0.6b          |

<sup>z</sup> Means separation within columns by DMRT at 5% level.

#### 라. 생체중과 건물중

도라지의 지상부와 지하부를 분리하여 생체중과 건물중을 조사한 결과 생체중이 가장 높은 것은 청색광에서 351.8mg, 가장 낮은 것은 적색광에서 251.7mg이었다. 줄기길이가 가장 짧은 청색광에서 생체중은 가장 높았고, 반대로 줄기길이가 가장 길었던 적색광에서 가장 작게 나타난 결과로부터 적색광하에서 배양된 식물체가 크게 도장하여 묘소질이 저하됨을

알 수 있었다. 지하부 생체중에서 뚜렷한 차이를 보인 것은 대조구와 녹색광 처리구이다. 두 처리구에서 뿌리길이는 비슷하였으나, 생체중의 경우 녹색광과 대조구에서 각각 254.1mg, 170.5mg으로 큰 차이를 보여 녹색광에서 뿌리 비대가 크게 이루어진 것으로 나타났다. 그러나 건물중은 지상부에서 대조구가 41.6mg, 녹색광이 44.6mg로 두 처리간에 큰 차이가 없었다. 지상부 건물중은 적색/청색의 혼합광에서 15.3%로 가장 높게 나타났다. 이밖에 대조구, 적색광, 녹색광에서의 건물중은 거의 비슷하였으나 청색광에서 가장 낮게 나타나 청색광에서 함수율이 다소 높았던 것으로 추정된다.(Fig. 2)

고구마의 지상부 생체중은 대조구에서 720.7mg로 가장 크게 나타나 유의성이 인정되었고, 청색광에서는 435mg으로 가장 작게 나타났다. 대조구를 제외한 다른 광질에서는 큰 차이가 없었다. 청색광과 적색광을 비교해 보면 줄기길이에서는 3배의 차이를 보였으나 지상부 생체중에서 큰 차이가 나타나지 않았음을 고려할 때 적색광에서 배양된 식물체는 크게 도장하여 묘가 연약하게 성장됨을 알 수 있었다. 지하부 생체중은 대조구>적색광>청색광>혼합광의 순서로 나타났다. 지상부 건물중은 대조구에서 55.1mg로 가장 크게 나타났고, 다음으로 적색광>청색광>혼합광의 순서로 나타났다. 5% 유의성 검정에서 대조구와 적색광은 유의성이 없었으나 대조구와 청색광, 혼합광 사이에는 유의성이 인정되었다. 지하부 건물중은 청색광과 대조구에서 각각 24.5mg, 23.5mg로 두 처리간에 큰 차이가 없었지만 혼합광에서는 청색광의 1/2도 안되는 10.3mg로 작게 나타났다.(Table 1)

#### 4. 요약 및 결론

본 실험에서는 기내 종묘의 미세번식을 위한 인공광원으로서 LED의 응용 가능성을 탐색하고 광질이 배양묘의 성장과 광형태형성에 미치는 효과를 구명하고자 도라지와 고구마를 대상으로 적색, 녹색, 청색의 단색광과 적색/청색의 혼합광으로 처리한 성장 결과를 대조구(형광등)의 경우와 비교 분석하였다.

도라지의 경우 청색광과 녹색광에서 대조구와 유사하게 건전한 유묘로 성장하였으나, 적색광에서는 대조구에 비해서 줄기길이가 3배 이상으로 도장하고 뿌리 신장이 짧게 이루어져 묘의 상태가 불량하게 나타났다. 엽면적은 녹색광에서 가장 크게 나타났고, 적색광에서 가장 적게 나타난 가운데 광질에 따라 큰 차이를 보였다. 한편 적색/청색의 혼합광 처리에서는 적색광에서의 경우와 다르게 줄기신장이 억제되고, 엽면적과 건물중이 증가하는 등 묘소질이 개선되어 건전묘 생산의 가능성을 확인하였다.

고구마는 도라지의 경우와 마찬가지로 적색광에서 줄기 신장이 촉진되어 도장되었으나, 청색광에서는 줄기 신장이 억제되는 것으로 나타났다. 적색/청색의 혼합광 처리에서는 줄기 신장이 억제되어, 건전묘의 생산을 위해서 적색광 단독의 사용은 피하고 적색광에 청색광을 혼합하여 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 한편 광질에 따라 고구마 배양묘의 생

장이 큰 차이를 보였으며, 이 가운데 적색/청색의 혼합광 처리에서는 뿌리길이, 엽면적, 생체중 및 건물중이 작게 나타나 식물에 따라 혼합광의 처리 효과가 다르게 나타남을 알 수 있었다.

## 5. 참고문헌

1. 김용현. 1999. 인공광원으로 발광다이오드를 이용한 묘생산 시스템에서 식물생장 및 형태형성 제어 -발광다이오드의 분광 특성 및 광강도-. 한국농업기계학회지 24(2):115-122.
2. 은종선, 김영선, 김용현. 2000. 도라지 배양묘의 생장 및 형태형성에 미치는 발광다이오드의 효과. 한국식물조직배양학회지 27(1):71-75.
3. Brown, C.S., A.C. Schuerger and J.C. Sager. 1995. Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 120:808-813
4. Bula, R., R.C. Morrow, T.W. Tibbitts, D.J. Barta, R.W. Ignatius and T.S. Martin. 1991. Light-emitting diodes as a radiation source for plants. HortScience 26(2):203-205.
5. Tanaka, M., T. Takamura, H. Watanabe, M. Endo, T. Yanagi and K. Okamoto. 1998. In vitro growth of *Cymbidium* plantlets cultured under super red and blue light-emitting diodes (LEDs). J. of Horticulture Science and Technology 73:39-44.
6. Yanagi, T., K. Okamoto and S. Takita. 1996. Effects of blue, red, and red/blue lights of two different PPF levels on growth and morphogenesis of lettuce plants. Acta Hort. 440:117-122.