

# LED가 고구마 바이러스 무병묘의 기내 생장에 미치는 영향

유경란 · 이승엽\*

원광대학교 생명자원과학연구소

## Effects of Light-emitting Diodes on In Vitro Growth of Virus-free Sweet Potato Plantlets

Kyoung-Ran Yoo and Seung-Yeob Lee\*

Institute of Life Science and Natural Resources, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

\*Corresponding author: [sylee@wku.ac.kr](mailto:sylee@wku.ac.kr)

### Abstract

The in vitro growth of virus-free sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] plantlets was investigated under different light sources: fluorescent lamp (control); red (660 nm), blue (460 nm), white light-emitting diodes (LED), and two mixtures of blue and red LED (R:B = 8:2, and 7:3). Single node explants (10 mm) of three cultivars ('Matnami', 'Shincheonmi', and 'Yeonhwangmi') were cultured on Murashige and Skoog medium supplemented with  $0.2\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  6-benzyladenine for 4 weeks. Explants were exposed to  $150 \pm 5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  photosynthetic photon flux at a distance of 20 cm, constant temperature of 25°C, and under 16/8-h (day/night) photoperiod. Using the same method, the in vitro growth of 10 cultivars under red LED was also compared. After 3 weeks, vine length was highest in plantlets cultured under red LED, and lowest in plantlets cultured under blue LED. Fresh and dry weights were also greatest in plantlets cultured under red LED. Compared to the control, vine thickness was significantly higher in plantlets grown under white LED and the 7:3 R:B LED mixture. Significant differences were observed among the 10 cultivars grown under red LED. 'Matnami', 'Shincheonmi', and 'Shinhwangmi' all had excellent vine lengths, and fresh and dry weights. Compared to the control, vine elongation of sweet potato plantlets was most effective under red LED, and culture duration was about 1 week shorter.

**Additional key words:** dry weight, fresh weight, *Ipomoea batatas*, node culture, vine growth

### 서 언

식물은 빛의 파장에 따라 세포분열 및 기관분화, 성장속도 등에 영향을 받는데, 광합성에 이용되는 파장범위는 400nm-700nm로 광합성 효율은 적색(660nm)과 청색(450nm) 파장대에서 가장 높기 때문에, 이들 단색광을 이용하면 효과적으로 식물을 재배할 수 있다. 적색광은 광합성 기관의 발달과 전분축적 등

Received: July 22, 2016

Revised: July 22, 2016

Accepted: December 19, 2016

 OPEN ACCESS



HORTICULTURAL SCIENCE and TECHNOLOGY  
35(4):490-498, 2017  
URL: <http://www.kjhst.org>

pISSN : 1226-8763  
eISSN : 2465-8588

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright©2017 Korean Society for Horticultural Science.

본 연구는 2015년도 원광대학교의 연구비지원으로 수행되었음.

에 중요하고, 청색광은 엽록체 발달과 엽록소 형성, 기공개폐 및 광형태 형성 등에 관여한다(Im et al., 2013; Saebo et al., 1995). Light-emitting diodes(LED)는 단색광 조명이 가능하여 광합성 및 광형태 형성 등의 연구에 크게 공헌하여 왔으며, 1999년 1W 이상의 고휘도 LED가 개발되면서부터 식물재배에 널리 이용되기 시작하였다(Bourget, 2008). 식물의 종류에 따라 인공광원으로 적색과 청색 LED를 적절히 혼합하여 재배하면 생육촉진(Kim and You, 2013; Shin et al., 2012)이나, 성분함량 증가(Choi et al., 2014; Lee et al., 2010; Lee and Kim, 2014; Son et al., 2012) 등이 나타난다. 또한 기내 미세번식에서도 국화(Kim et al., 2004b; Kurilcik et al., 2008), 스파티필럼(Nhut et al., 2005), 카네이션(Manivannan et al., 2017), 지황(Hahn et al., 2000; Manivannan et al., 2015), 딸기(Nhut et al., 2003b) 등에서 기내식물의 생육이나 형태형성 등이 촉진된다. 식물재배에 이용되는 LED 광원의 장점은 광합성 효율이 높은 단색광만을 선택적으로 사용할 수 있고, 열발생이 적어 근접조명이 가능하므로 조직배양실이나 폐쇄형 식물공장 등에서 활용이 가능하며, 전력소모가 적고 수명이 길어 경제적이다(Bourget, 2008; Kurilcik et al., 2008; Nhut et al., 2003b).

영양번식 작물인 고구마는 바이러스에 감염되면 수량감소와 함께, 표피 갈라짐 및 얼룩무늬와 같은 품질저하가 심하게 나타난다(Karyeija et al., 1998). 또한 무병묘 재배는 상저비율이 증가하고, 피색의 적색도가 선명해지며 육색은 황색도가 증가하여 농가수익 증대에도 유리하다(Yoo and Lee, 2013). 이에 따라 최근 농가에서도 고구마 바이러스 무병묘의 재배를 선호하고 있으며, 2000년대 이후 고구마에 주로 발생하는 sweet potato feathery mottle virus(SPFMV)와 sweet potato G potyvirus(SPGV) 및 sweet potato leaf curl virus(SPLCV) 등에 대한 무병묘 육성이 활발하게 연구되고 있다(Cheong et al., 2010; Chung, 2008; Nam et al., 2016). 무병묘의 보급은 국립식량과학원 바이오에너지작물센터를 중심으로 농업기술실용화재단과 시군기술센터 등에서 활발하게 이루어지고 있다.

그러나 농가에서 필요로 하는 고구마 무병묘를 정식적기에 공급하기 위해서는 단기간에 기내 급속대량증식이 필요하다. Shin(2011)은 고구마 종순재배에서 적색+청색(3:1) LED의 야간보광이 지상부 줄기길이는 5cm 이상, 생체중은 45% 정도 증가시킨다고 하였다. 따라서 고구마 무병묘의 기내 마디배양에서 다야채 형성이 잘 안되므로(Yoo and Lee, 2013), 급속대량증식을 위해서는 적정 LED 파장을 이용하여 줄기신장을 촉진하는 것이 필요하다. 특히 기내에서의 광합성 효율을 증가시켜 생장이 빨라지면, 배양기간의 단축도 가능하다고 본다.

본 연구는 고구마 바이러스 무병묘의 마디배양에서 특정 파장의 LED 광원을 이용하여 배양기간 단축 및 급속대량증식을 목적으로, 기내생장에 미치는 적색, 청색, 백색 및 적:청 혼합 LED의 영향과 품종간 성장반응의 차이 등을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료 및 마디배양

‘맛나미’, ‘신황미’, ‘연황미’ 등 3품종의 정단분열조직 배양으로 sweet potato feathery mottle virus(SPFMV)와 sweet potato G potyvirus(SPGV)에 대하여 Chung(2008)의 방법에 따라 RT-PCR에 의하여 바이러스 무병묘를 육성하였다(Yoo and Lee, 2013). 무병묘는 MS기본배지(Murashige and Skoog, 1962)에서 증식하여 5cm 크기의 균일한 식물체를 배양재료로 사용하였다. 마디배양은 정아우세 현상을 타파하기 위하여, 정단 10mm를 제거한 다음, 상위 2 마디를 10mm 크기로 잘라 사레당 6개체씩 반복당 30개체를 치상하였다. 배지는  $0.2\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  BA를 첨가한 MS배지를 직경  $90\times 15\text{mm}$  사레당 25mL를 분주하여 사용하였다. 치상이 끝난 사레는 랩 3겹으로 싸서 5종의 LED 광원 하에서 배양하였다. 품종간 성장반응은 적색 LED에서 같은 방법으로 10품종을 마디배양하여 비교하였다.

## LED 광원 및 생육조사

실험에 사용한 광원은 형광등을 대조구로 하여, 백색(470/570nm), 적색(660nm), 청색(460nm), 적+청색 8:2, 적+청색 7:3 LED(DyneBio Co., Korea)으로 5처리를 하였고, 광량은 20cm 거리에서  $150 \pm 5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  광합성유효광량자속(PPF)을 유지하였으며, 명기/암기는 16/8(day/night)시간, 배양온도는  $25^\circ\text{C}$ 로 조절하였다. 각각의 LED 광원장치는  $1,200(\text{W}) \times 600(\text{D})$  mm 배양대에  $480(\text{W}) \times 80(\text{D}) \times 20(\text{H})$  mm 규격의 패널(40W, 3W LED 소자 18개)을 4개씩 배치하였고, 대조구인 형광등은 동일한 규격의 배양대에 40W 램프(Osram, Korea) 4개를 설치하여  $54 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 으로 조절하였다. 배양실 온도는  $28 \pm 1^\circ\text{C}$ , 상대습도는 50%로 유지하였다. LED 광원에 다른 생육조사는 배양 2주 후부터 1주일 간격으로 줄기길이를 조사하였으며, 4주째에 줄기길이, 엽수, 줄기두께, 뿌리길이 및 뿌리수, 생체중, 건물중 등을 측정하였다.

## 통계분석

시험구 배치는 처리당 5반복으로 하여, 반복당 10개체의 생육특성을 조사하였다. 데이터 분석은 SAS 통계프로그램 (Statistical Analysis System, V 9.1, SAS Institute Inc., USA)을 이용하여, ANOVA (analysis of variance) 및 DMRT (Duncan's multiple range test) 분석으로  $p = 0.05$  수준에서 각 처리 평균 간의 유의차를 비교하였다.

## 결과 및 고찰

### 기내생장에 미치는 LED의 영향

폐쇄형 식물공장이나 조직배양실의 광질은 광합성 효율과 기내식물의 성장과 발육에 영향을 미치는 중요한 요인 중의 하나인데, 특정파장의 LED를 이용하여 고구마 바이러스 무병묘의 기내생장에 미치는 LED 광질의 영향을 조사하였다(Fig. 1 and Table 1). 치상 후 2주까지 줄기신장은 마디배양으로부터 액이발생의 조만에 따라 영향을 받았으며, 신초의 줄기신장은 3주 이후에도 같은 경향을 보였다. 배양 4주째에 3품종의 평균 줄기신장은 대조구인 형광등보다 적색과 백색 LED에서 신장 속도가 빨랐으며, 청색광에서 가장 적었고, 적색광에 대한 청색광 비율이 높을수록 감소되는 경향이였다(Fig. 1). 적색 LED에서 줄기 신장이 양호한 것은 적색 LED가 마디배양 초기에 신초발생에도 영향을 주었기 때문인 것으로 보였다. 이와 같이 LED 광질은

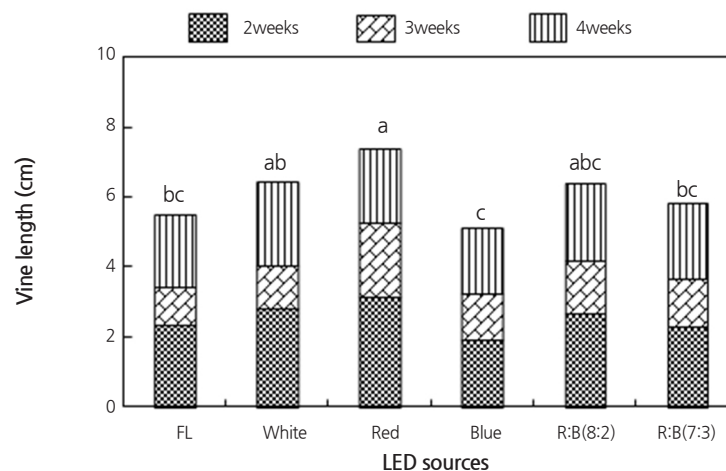


Fig. 1. Effect of different colored light-emitting diodes (LED) on vine elongation in the in vitro node culture of virus-free sweet potato ('Matnami', 'Shincheonmi' and 'Yeonhwangmi') after 2, 3 and 4 weeks of culture. FL, fluorescent light; R:B, ratio of red to blue LED light. Different letters above columns indicate significant differences according to Duncan's multiple range test at the 5% level.

**Table 1.** Effect of different colored light-emitting diodes (LED) on plantlet growth in the in vitro node culture of virus-free sweet potato after 4 weeks of culture.

| LED source                 | Cultivar    | Vine length (cm) | Vine diameter (mm) | No. of leaves | Root length (cm) | No. of roots | Fresh weight (mg) | Dry weight (mg) |
|----------------------------|-------------|------------------|--------------------|---------------|------------------|--------------|-------------------|-----------------|
| FL <sup>1)</sup>           | Matnami     | 6.1              | 2.3                | 5.3           | 9.8              | 7.2          | 673               | 63.3            |
|                            | Shinhwangmi | 5.1              | 2.7                | 5.3           | 10.2             | 9.1          | 567               | 57.3            |
|                            | Yeonhwangmi | 4.9              | 2.1                | 4.5           | 11.7             | 8.1          | 527               | 50.7            |
|                            | Mean        | 5.4              | 2.4                | 5.0           | 10.6             | 8.1          | 589               | 57.1            |
| White                      | Matnami     | 6.9              | 2.5                | 5.7           | 8.2              | 8.3          | 780               | 74.0            |
|                            | Shinhwangmi | 6.5              | 3.0                | 5.3           | 9.2              | 9.7          | 640               | 61.3            |
|                            | Yeonhwangmi | 6.0              | 2.3                | 4.6           | 11.7             | 10.3         | 567               | 56.0            |
|                            | Mean        | 6.5              | 2.6                | 5.2           | 9.7              | 9.4          | 662               | 63.8            |
| Red                        | Matnami     | 8.1              | 2.2                | 6.1           | 7.6              | 8.6          | 793               | 80.0            |
|                            | Shinhwangmi | 7.2              | 2.6                | 5.4           | 8.7              | 12.4         | 693               | 68.7            |
|                            | Yeonhwangmi | 6.5              | 2.1                | 4.3           | 9.8              | 10.5         | 660               | 63.3            |
|                            | Mean        | 7.3              | 2.3                | 5.3           | 8.7              | 10.5         | 716               | 70.7            |
| Blue                       | Matnami     | 5.5              | 2.6                | 5.3           | 6.2              | 9.3          | 647               | 62.7            |
|                            | Shinhwangmi | 5.1              | 3.1                | 5.1           | 7.6              | 12.1         | 547               | 53.3            |
|                            | Yeonhwangmi | 4.7              | 2.5                | 5.1           | 11.3             | 9.4          | 513               | 47.3            |
|                            | Mean        | 5.1              | 2.7                | 5.2           | 8.4              | 10.2         | 569               | 54.4            |
| R:B (8:2)                  | Matnami     | 6.8              | 2.3                | 5.7           | 8.4              | 7.5          | 753               | 73.3            |
|                            | Shinhwangmi | 6.2              | 2.7                | 5.2           | 8.8              | 11.5         | 613               | 62.0            |
|                            | Yeonhwangmi | 5.6              | 2.5                | 5.1           | 11.3             | 10.4         | 573               | 58.0            |
|                            | Mean        | 6.2              | 2.5                | 5.4           | 9.5              | 9.8          | 647               | 64.4            |
| R:B (7:3)                  | Matnami     | 6.5              | 2.6                | 5.5           | 10.2             | 7.1          | 720               | 69.3            |
|                            | Shinhwangmi | 5.5              | 2.8                | 5.4           | 9.2              | 10.7         | 647               | 64.0            |
|                            | Yeonhwangmi | 5.4              | 2.4                | 4.5           | 10.7             | 8.3          | 547               | 52.0            |
|                            | Mean        | 5.8              | 2.6                | 5.1           | 10.1             | 8.7          | 638               | 61.8            |
| Significance <sup>2)</sup> |             |                  |                    |               |                  |              |                   |                 |
| LED source (L)             |             | ***              | ***                | ns            | ***              | ***          | ***               | ***             |
| Cultivar (C)               |             | ***              | ns                 | **            | ns               | ns           | **                | ***             |
| L × C                      |             | ns               | ns                 | ns            | ns               | ns           | ns                | ns              |

<sup>1)</sup>FL, fluorescent light; R:B, ratio of red to blue LED light.

<sup>2)</sup>ns, nonsignificant; \*\*, significant at  $p = 0.01$ ; \*\*\*, significant at  $p = 0.001$ .

여러 식물의 기내배양에서 광 형태형성 및 생장에 유리한 것으로 알려졌다(Nhut et al., 2003b; Poudel et al., 2008; Li et al., 2010; Manivannan et al., 2015). 본 실험 결과와 같이 적색 LED는 지황(Manivannan et al., 2015), 카네이션(Manivannan et al., 2017), 도리테놉시스(Shin et al., 2008) 등의 신초생장을 촉진하며, 안스리움의 신초형성에도 청색광 비율보다 적색광 비율이 높을수록 효과적인 것으로 나타났다(Budiarto 2010). 특히 고구마 기내 소식물체는 5cm 이상이면 토양이식이 가능한데, 배양 3주째에 적색 LED에서만 줄기길이가 5cm 이상으로 나타나 횡광등보다 1주일 정도 배양기간을 단축할 수 있으므로 경제적이 었다(Fig. 2).

품종에 따른 줄기신장은 ‘맛나미’, ‘신황미’, ‘연황미’ 순으로 양호하였다. 기내에서 식물의 줄기신장에 미치는 광질의 영향은 식물종에 따라 다른데, 국화(Kim et al., 2004b), 도리테놉시스(Shin et al., 2008), 지황(Manivannan et al., 2015), 카네이션(Manivannan et al., 2017), 포도(Poudel et al., 2008)에서는 적색 LED에서 좋고, 매리골드(Heo et al., 2002)는 청색 LED에서,



Fig. 2. Effect of different colored light-emitting diodes (LED) on plantlet growth in the in vitro node culture of three sweet potato cultivars ('Matnami', 'Shincheonmi', and 'Yeonhwangmi') after 3 weeks of culture. FL, fluorescent light (control); W, white LED; R, red LED (660 nm); B, blue LED (460 nm); R:B, ratio of red to blue LED light.

육지면(Li et al., 2010)은 적:청(1:1) 혼합 LED에서 양호한 것으로 나타났다. 또한 폐쇄형 식물공장에서도 토마토(Kim et al., 2014), 들깨(Choi et al., 2003), 국화(Im et al., 2013), 파프리카(Lee et al., 2012) 등의 줄기신장은 적색보다 청색 LED에서 양호하고, 상추 품종 '적치마상추'(Lee and Kim, 2014), 'Sunmang' 과 'Grand rapid TBR'(Son et al., 2012), 민들레(Ryu et al., 2012) 등은 적색 LED에서, 그리고 고추냉이(Kim and You, 2013), 상추 'Lollo Rosa'(Shin et al., 2012) 등은 적:청 혼합 LED에서 양호한 생육을 보여 식물종 및 품종에 따라 다른 반응을 보인다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 광파장에 따른 줄기신장은 피토크롬과 다른 광수용체들 간 상호작용에 의하여, 식물종이나 품종 간에도 촉진 또는 억제되는 것으로 보이며(Kim et al., 2004a), 식물종 및 품종, 그리고 재배목적에 따른 최적의 광질을 찾는 것이 중요하다는 것을 알 수 있었다.

또한 배양 4주 후의 줄기두께는 청색, 백색 및 적:청(7:3) LED 광원에서 대조구인 형광등보다 유의한 증가를 보였으며, 품종 간 차이는 없었다(Table 1). 카네이션의 기내배양에서 줄기두께는 품종에 따라 다른 반응을 보였으며(Manivannan et al., 2017), 토마토 유묘의 줄기두께는 청색 LED에서 가장 적게 나타나 본 실험결과와 상이하였다(Kim et al., 2014). 특히 백색 LED에서도 줄기길이와 줄기두께 모두 형광등보다 유의한 증가를 보였으므로, 건묘육성을 위해서는 적:백 혼합 LED 이용에 관한 연구도 필요할 것으로 보였다. 엽수는 LED 스펙트럼에 따른 유의한 차이는 인정되지 않았으나, 대조구인 형광등에서 가장 적었고, 적:청(8:2) 혼합 LED에서 많았다. 줄기신장이 양호한 '맛나미'에서 가장 많은 엽수를 보였으며, 품종 간에도 유의한 차이를 보였다. 이는 상추에서 LED 광질에 따라 엽수에 유의적인 차이를 보인다는 결과와는 달랐다(Cha et al., 2013). 뿌리 길이는 대조구인 형광등에서 가장 길었고, 청색 LED에서 가장 짧은 반면, 뿌리수는 형광등에서보다 LED 처리구에서 모두 증가하였고, 적색 LED에서 유의한 증가를 보여 뿌리길이 짧은 경우에는 뿌리수가 증가하는 경향을 보였다. 뿌리생장에 미치는 LED 광질의 영향은 식물종에 따라 다른데, 도리테넬시스(Shin et al., 2008), 국화(Im et al., 2013), 카네이션(Manivannan et al., 2017)에서는 적색 LED가 촉진적인 것으로 나타나 본 실험결과와 같았으나, 상추(Son et al., 2012), 지황(Manivannan et al., 2015)에서는 청색 LED가 뿌리신장을 촉진시키는 것으로 나타나 식물종에 따라 광질의 영향이 다를 수 있었다. 특히 고구마 마디배양에서 뿌리길이와 뿌리수에 미치는 LED의 영향은 상이한 결과를 보여, 추후 기내 뿌리발생과 신장에 미치는 LED 광질의 영향은 좀 더 검토할 필요가 있다.

**Table 2.** Effect of red light-emitting diodes (LED) on plantlet growth in the in vitro node culture of 10 sweet potato cultivars after 4 weeks of culture

| Cultivar    | Vine diameter (mm) | No. of leaves | Root length (cm) | No. of roots | Fresh weight (mg) | Dry weight (mg) |
|-------------|--------------------|---------------|------------------|--------------|-------------------|-----------------|
| Annobeny    | 2.7 a <sup>2</sup> | 5.2 bc        | 8.8 bc           | 7.3 d        | 601 f             | 57.6 e          |
| Beniharuka  | 2.3 bc             | 5.2 bc        | 9.2 bc           | 9.1 bcd      | 649 ef            | 61.4 e          |
| Borami      | 2.1 c              | 4.6 cd        | 10.3 ab          | 8.1 cd       | 685 def           | 65.6 cde        |
| Gogunmi     | 2.3 bc             | 5.3 abc       | 8.2 c            | 8.3 cd       | 702 cde           | 67.2 cde        |
| Matnami     | 2.6 ab             | 5.8 ab        | 9.5 bc           | 9.7 abc      | 836 b             | 77.6 b          |
| Shincheonmi | 2.5 ab             | 6.0 a         | 11.5 a           | 10.3 ab      | 923 a             | 87.4 a          |
| Shinhwangmi | 2.4 abc            | 5.6 ab        | 9.2 bc           | 8.6 bcd      | 783 bc            | 75.4 bc         |
| Shinyulmi   | 2.5 ab             | 5.4 ab        | 8.7 bc           | 11.2 a       | 756 bcd           | 73.8 bc         |
| Shyou       | 2.1 c              | 4.4 d         | 9.8 abc          | 9.5 abc      | 672 def           | 63.4 de         |
| Yeonhwangmi | 2.5 ab             | 5.1 bc        | 8.5 bc           | 9.3 bc       | 748 bcd           | 72.6 bcd        |
| Mean        | 2.4                | 5.3           | 9.4              | 9.1          | 735               | 70.2            |

<sup>2</sup>Different letters within a column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test at the 5% level.

또한 마디배양 유래 신초의 생체중과 건물중은 LED 광질과 품종 간에 유의한 차이를 보였다. LED 광질에 따른 생체중은 형광등과 청색 LED에서 가장 낮았고, 적색 LED와 적:청(8:2) LED에서 유의하게 높았으며, 건물중도 같은 경향을 보였다. 이러한 결과는 적색광 비율이 높을수록 '청측면'과 '적측면' 상추의 지상부 생체중 및 건물중이 증가한다는 보고와 같았다(Cha et al., 2013). 특히 마디배양 4주 후의 줄기신장은 생체중( $r=0.863, p<0.01$ ) 및 건물중( $r=0.879, p<0.01$ )과 유의한 상관관계가 인정되었다. 이와 같이 고구마 마디배양에서 생체중과 건물중은 청색 LED보다 적색 LED 하에서 증가하였는데, 이는 적색 LED가 광합성을 촉진하여 전분축적을 증가시키기 때문으로 보였다(Cha et al., 2013; Saebo et al., 1995; Yorio et al., 2001). 그러나 지황(Manivannan et al., 2015), 카네이션(Manivannan et al., 2017)의 기내배양에서는 청색 LED에서 생체중 및 건물중이 유의한 증가를 보였으며, 카네이션의 순광합성 및 증산속도도 청색 LED에서 가장 높게 나타나 기내생장에 미치는 광질의 영향은 식물에 따른 종의존성이 높은 것으로 생각되었다(Manivannan et al., 2015, 2017).

한편 고구마 종순재배에서 Shin(2011)은 적색 LED의 야간 보광은 줄기길이 및 생체중 증가와 함께, 활착 후 분지수를 크게 증가시킬 뿐만 아니라 상품괴근 수량도 적색+청색(3:1) 혼합 LED와 적색 LED 보광처리에서 가장 높게 나타났다고 하였다. 그러나 Lee and Lee(2014)는 폐쇄형 식물공장시스템에서 고구마 종순의 묘소질은 적:청(7:3) 혼합 LED에서 양호하였으나, 120일 후의 포장에서의 생장과 수량에는 LED 광질의 효과가 없었다고 하여 정식 후 생장 및 수량성에 관해서는 좀 더 상세한 연구가 필요하다고 본다.

### 기내생장에 미치는 적색 LED의 품종간 반응

앞에서 줄기신장과 생체중 및 건물중 증가에 가장 효과적이었던 적색 LED를 이용하여, 기내 마디배양에 미치는 고구마 품종간 반응을 조사하였다(Table 2). 배양 4주 후 줄기신장은 10품종 평균 6.9cm로 5.2–8.4cm 범위로 품종간 유의한 차이를 보였으며, '맛나미', '신황미', '연황미' 등에서 양호하였다(Fig. 3). 줄기두께는 평균 2.4mm로 '보라미'와 '스시오우'에서 적은 경향이 있었다. 엽수는 평균 5.3매로 품종에 따라 4–6매가 전개되었는데, '맛나미', '신황미', '연황미' 등에서 6매 이상 발달하였고, 잎과 줄기를 이용하는 품종인 '스시오우'에서 적었다. 뿌리발달은 모든 품종에서 양호하였으며, 뿌리길이는 평균 9.4mm로 '보라미'와 '신천미' 등에서 양호하였고, 개체당 뿌리수는 평균 9.1개로 '신울미', '신천미', '맛나미' 등에서 많았다. 생체중은 평균 735.4mg으로 품종 간에 유의한 차이를 나타냈으며, 줄기신장이 왕성한 품종에서 생체중이 높은 경향을 보여 '신천미', '맛나미', '신황미' 등에서 양호하였다. 이와 같이 적색 LED는 고구마 마디배양에서 신초 및 뿌리 발달을 촉진시켜 생체중 및 건물중 증

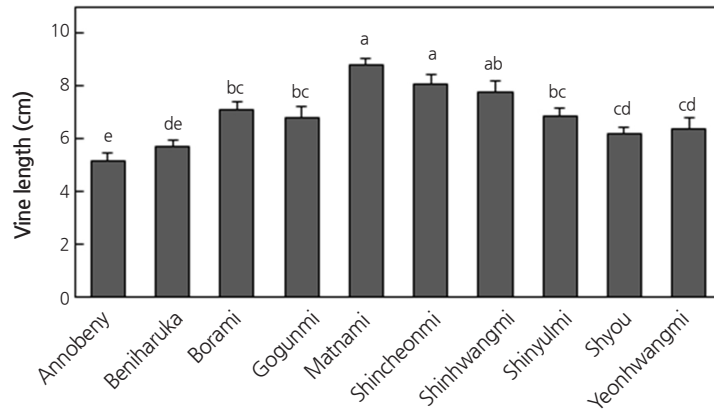


Fig. 3. Effect of red light-emitting diodes (LED) on vine elongation in the in vitro node culture of 10 sweet potato cultivars after 4 weeks of culture. Different letters above columns indicate significant differences according to Duncan's multiple range test at the 5% level.

가에 기여하였는데, 도리테놉시스의 신초발생 및 뿌리 생장이 적색 LED 하에서 유의하게 촉진되었다(Shin et al., 2008). 상추에서도 지상부 생체중과 건물중 증가는 청색 LED보다 적색 LED 혼합비율이 높은 조건에서 광합성이 촉진되기 때문에 유리하며, 광질에 따른 상추 품종 간 광이용 효율은 광질에 따른 유의적 차이를 보여(Cha et al., 2013), 본 실험결과와 같은 경향이였다. 또한 적색 LED보다 청색 LED에서 생장이 양호한 카네이션의 기내배양에서도 줄기길이 및 두께, 생체중과 건물중 등에서 유의한 품종간 차이가 인정되었다(Manivannan et al., 2017).

이상과 같이 식물의 생장에 미치는 LED 광질의 영향은 식물의 종류 및 품종에 따라 다르기 때문에, 최적의 LED 광질은 같은 식물종에서도 단색광 또는 적:청 혼합비율 등이 연구자에 따라 조금씩 다를 수 있다. 본 실험에서 줄기신장은 적색 LED에서 가장 효과적인 반면, 줄기두께는 적색 LED에서 가장 낮게 나타나(Table 1), 건조생산을 위해서는 적:청(7:2) 혼합광을 이용하는 것이 필요하다고 판단되었다. 그 이유는 청색광이 줄기생장 억제, 엽면적 증대 및 일장효과 등에 영향을 미치기 때문으로(Briggs, 1993), Tennessen et al.(1994)에 의하면 좁은 피크의 적색 LED만을 사용하면 광계 I, II 간에 광에너지 분포의 불균형으로 인하여 순광합성이 감소하게 된다고 하였다. Yorio et al.(2001)도 시금치, 무, 상추 등의 발육에는 적색 LED와  $30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  정도의 청색 LED 혼합광이 좋다고 하였다. 또한 식물종에 따라 최적의 적:청 LED 혼합비율은 다른데, 나리(Lian et al., 2002)와 국화(Kim et al., 2004b)는 적:청=1:1, 바나나(Nhut et al., 2003a)는 적:청=4:1, 딸기(Nhut et al., 2003b)는 적:청=3:7 정도가 좋다. 따라서 다야채 형성이 어렵고, 초기 신초생장이 비교적 느린 고구마 기내마디배양은 적색 LED 광원 하에서 2주간 배양하여 신초형성 후에, 적:청(7:3) 혼합 LED에서 1-2주간 배양하거나, 생체중에 차이가 없는 적:청=8:2 혼합광에서 연속 배양하여, 5cm 이상 자란 묘를 토양에 순화하는 것이 형광등보다 배양기간을 단축할 수 있어 경제적인 것으로 판단되었다.

## 초 록

고구마 바이러스 무병주의 기내 소식물체 생장에 미치는 LED의 영향을 조사하기 위하여, '맛나미', '신천미', '연황미'의 소식물체에서 10mm 크기의 마디를 잘라  $0.2\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  BA를 첨가한 MS배지에 배양하였다. 광질은 형광등을 대조구로 하여, 적색(660nm), 청색(460nm), 백색, 적:청(8:2), 적:청(7:3) LED를 20cm 거리에서  $150\pm 5\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  광합성유효광량자속(PPF)을 유지하였으며, 일장은 16/8(day/night)시간, 배양온도는  $25^{\circ}\text{C}$ 로 조절하였다. LED 광질에 대한 품종간 반응은 적색 LED에서 같은 방법으로 10품종의 마디배양을 하여 소식물체 생장을 조사하였다. 배양 3주 후에 줄기신장은 적색 LED에서 형광등보다 유의하게 증가하였으며, 청색광에서 가장 낮았다. 줄기두께는 적:청(7:3)과 백색 LED에서 증가하였다. 생체중 및 건물중도 적

색광에서 가장 높았다. 또한 적색 LED에서 신초생육은 유의한 품종간 차이를 보였다. 줄기길이, 생체중 및 건물중 등은 ‘신천미’, ‘맛나미’, ‘신항미’ 등에서 컸다. 따라서 LED 광원을 이용한 고구마 마디배양은 적색 LED에서 3주간 배양하여 5cm 이상 키운 소식물체를 토양이식하는 것이 대조구인 형광등보다 배양기간을 1주 이상 단축할 수 있었다.

**추가주요어:** 건물중, 생체중, *Ipomoea batatas*, 마디배양, 줄기생장

## Literature Cited

- Bourget CM (2008) An introduction to light-emitting diodes. HortScience 43:1944-1946
- Briggs WR (1993) New light on stem growth. Nature 366:110-111. doi:10.1038/366110a0
- Budiarto K (2010) Spectral quality affects morphogenesis on anthurium plantlet during in vitro culture. AGRIVITA 32:234-240
- Cha MK, Cho JH, Cho YY (2013) Growth of leaf lettuce as affected by light quality of LED in closed-type plant factory system. Protected Hortic Plant Fac 22:291-297. doi:10.12791/KSBEC.2013.22.4.291
- Cheong EJ, Hurtt S, Salih S, Li R (2010) Development of a reliable technique to eliminate sweet potato leaf curl virus through meristem tip culture combined with therapy of infected *Ipomoea* species. Korean J Plant Res 23:233-241
- Chung MN (2008) A study on the virus detection methods and virus-free plant mass production in sweetpotato. PhD Thesis, Chonnam National University, Gwangju, Korea
- Choi MK, Baek GY, Kwon SJ, Yoon YC, Kim HT (2014) Effect of LED light wavelength on lettuce growth, vitamin C and anthocyanin contents. Protected Hortic Plant Fac 23:19-25. doi:10.12791/KSBEC.2014.23.1.019
- Choi YW, Ahn CK, Kang JS, Son BG, Choi IS (2003) Growth, photomorphogenesis, and photosynthesis of *Perilla* grown under red, blue light emitting diodes and light intensities. J Kor Soc Hortic Sci 44:281-286
- Hahn EJ, Kozai T, Paek KY (2000) Blue and red light-emitting diodes with or without sucrose and ventilation affect in vitro growth of *Rehmannia glutinosa* plantlets. J Plant Biol 43:247-250. doi:10.1007/BF03030425
- Heo JW, Lee CW, Chakrabarty D, Paek YK (2002) Growth responses of marigold and salvia bedding plants as affected by monochromatic or mixture radiation provided by a light emitting diode (LED). Plant Growth Regul 38:225-230. doi:10.1023/A:1021523832488
- Im JU, Yoon YC, Soe KW, Kim KH, Moon AK, Kim HT (2013) Effect of LED light wavelength on chrysanthemum growth. Protected Hortic Plant Fac 22:49-54. doi:10.12791/KSBEC.2013.22.1.049
- Karyeija RF, Gibson RW, Valkonen JPT (1998) The significance of sweet potato feathery mottle virus in subsistence sweet potato production in Africa. Plant Dis 82: 4-15. doi:10.1094/PDIS.1998.82.1.4
- Kim EY, Park SA, Park BJ, Lee Y, Oh MM (2014) Growth and antioxidant phenolic compounds in cherry tomato seedlings grown under monochromatic light-emitting diodes. Hortic Environ Biotechnol 55:506-513. doi:10.1007/s13580-014-0121-7
- Kim HH, Goins GD, Wheeler RM, Sager JC (2004a) Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue-light-emitting diodes. HortScience 39:1617-1622
- Kim HR, You YH (2013) Effects of red, blue, white, and far-red LED source on growth responses of *Wasabia japonica* seedlings in plant factory. Korean J Hortic Sci Technol 31:415-422. doi:10.7235/hort.2013.13011
- Kim SJ, Hahn EJ, Heo JW, Paek KY (2004b) Effects of LED on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of *chrysanthemum* plantlets in vitro. Sci Hortic 101:143-151. doi:10.1016/j.scienta.2003.10.003
- 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. Cent Eur J Biol 3:161-167. doi:10.2478/s11535-008-0006-9
- Lee JG, Oh SS, Cha SH, Jang YA, Kim SY, Um YC, Cheong SR (2010) Effects of red/blue light ratio and short-term light quality conversion on growth and anthocyanin contents of baby leaf lettuce. J Bio-Environ Control 19:351-359
- Lee JS, Kim YH (2014) Growth and anthocyanins of lettuce grown under red or blue light-emitting diodes with distinct peak wavelength. Korean J Hortic Sci Technol 32:330-339. doi:10.7235/hort.2014.13152
- Lee JS, Lee HI, Kim YH (2012) Seedling quality and early yield after transplanting of paprika nursed under light-emitting diodes, fluorescent lamps and natural light. J Bio-Environ Control 21:220-227
- Lee NR, Lee SY (2014) Growth and tuber yield of sweet potato slips grown under different light-emitting diodes. Protected Hortic Plant Fac 23:356-363. doi:10.12791/KSBEC.2014.23.4.356
- Li H, Xu Z, Tang C (2010) Effect of light-emitting diodes on growth and morphogenesis of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plantlets in vitro. Plant Cell Tiss Organ Cult 103:155-163. doi:10.1007/s11240-010-9763-z
- Lian ML, Murthy HN, Paek KY (2002) Effect of light emitting diodes (LED) on the in vitro induction and growth of bulblets of *Lilium* oriental hybrid 'Pesaro'. Sci Hortic 94:365-370. doi:10.1016/S0304-4238(01)00385-5
- Manivannan A, Soundararajan P, Halimah N, Chung HK, Jeong BR (2015) Blue LED light enhances growth, phytochemical contents, and antioxidant enzyme activities of *Rehmannia glutinosa* cultured in vitro. Hortic Environ Biotechnol 56:105-113. doi:10.1007/s13580-015-0114-1



- Manivannan A, Soundararajan P, Park YG, Wei H, Kim SH, Jeong BR (2017) Blue and red light-emitting diodes improve the growth and physiology of in vitro-grown carnations 'Green Beauty' and 'Purple Beauty'. *Hortic Environ Biotechnol* 58, 12-20. doi:10.1007/s13580-017-0051-2
- Murashige T, Skoog F (1962) A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol Plant* 15:473-497. doi:10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x
- Nam SS, Chung MN, Lee JS, Lee HU, Yang JW, Hwang EJ, Lee KB (2016) Effect of liquid culture on the propagation of virus free plantlets from meristem culture-derived of sweet potato [*Ipomoea batatas* L. (Lam)]. *Korean Soc Int Agric* 28:215-219. doi:10.12719/KSIA.2016.28.2.215
- Nhut DT, Takamura T, Watanabe H, Tanaka M (2003a) Efficiency of a novel culture system by using light-emitting diode (LED) on in vitro and subsequent growth of micropropagated banana plantlets. *Acta Hort* 616:121-127. doi:10.17660/ActaHortic.2003.616.10
- Nhut DT, Takamura T, Watanabe H, Okamoto K, Tanaka M (2003b) Responses of strawberry plantlets cultured in vitro under superbright red and blue light-emitting diodes (LED). *Plant Cell Tiss Org Cult* 73:43-52. doi:10.1023/A:1022638508007
- Nhut DT, Takamura T, Watanabe H, Okamoto K, Tanaka M (2005) Artificial light source using light-emitting diodes (LED) in the efficient micropropagation of *Spathiphyllum* plantlets. *Acta Hort* 692:137-142. doi:10.17660/ActaHortic.2005.692.18
- Poudel PR, Kataoka I, Mochioka R (2008) Effect of red- and blue-light-emitting diodes on growth and morphogenesis of grapes. *Plant Cell Tiss Org Cult* 92:147-153. doi:10.1007/s11240-007-9317-1
- Ryu JH, Seo KS, Choi GL, Rha ES, Lee SC, Choi SK, Kang SY, Bae CH (2012) Effects of LED light illumination on germination, growth and anthocyanin content of dandelion (*Taraxacum officinale*). *Korean J Plant Res* 25:731-738. doi:10.7732/kjpr.2012.25.6.731
- Saebo A, Krekling T, Appelgren M (1995) Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of birch plantlets in vitro. *Plant Cell Tiss Org Cult* 41:177-185. doi:10.1007/BF00051588
- Shin HM (2011) Propagation of virus-free sweet potato plant. Chungcheongbuk-do Agricultural Research and Extension Services Research Report, 2011. p 42-47
- Shin KS, Murthy HN, Heo JW, Hahn EJ, Paek KY (2008) The effect of light quality on the growth and development of in vitro cultured *Doritaenopsis* plants. *Acta Physiol Plant* 30:339-343. doi:10.1007/s11738-007-0128-0
- Shin YS, Lee MJ, Lee ES, Ahn JH, Lim JH, Kim HJ, Park HW, Um YG, Park SD, et al. (2012) Effect of LED (light emitting diodes) irradiation on growth and mineral absorption of lettuce (*Lactuca sativa* L. 'Lollo Rosa'). *J Bio-Environ Control* 21:180-185
- Son KH, Park JH, Kim DI, Oh MM (2012) Leaf shape, growth, and phytochemicals in two leaf lettuce cultivars grown under monochromatic light-emitting diodes. *Korean J Hortic Sci Technol* 30:664-672. doi:10.7235/hort.2012.12063
- Tennessen DJ, Singasaal EL, Sharkeyl TD (1994) Light-emitting diodes as a light source for photosynthesis research. *Photosyn Res* 39:85-92. doi:10.1007/BF00027146
- Yoo KR, Lee SY (2013) Growth characteristics and yield of sweet potato cultivars between virus-free and farmer' slips in late season cultivation. *Korean J Crop Sci* 58:43-49. doi:10.7740/kjcs.2013.58.1.043
- Yorio NC, Goins GD, Kagie HR, Wheeler RM, Sager JC (2001) Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LED) with blue light supplementation. *HortScience* 36:380-383