

LED 혼합광이 표고 ‘농진고’ 자실체의 생육에 미치는 영향

박윤진^{1,2} · 오태석¹ · 조용구¹ · 김창호¹ · 김태권¹ · 장명준^{1,*}

¹공주대학교 식물자원학과

²공주대학교 두과농비자원센터

Effects of mixed LED light sources on the fruiting body growth of oak mushroom (*Lentinula edodes*) ‘Nongjingo’

Youn-JIn Park^{1,2}, Tae-Seok Oh¹, Young-Koo Cho¹, Chang-Ho Kim¹, Tae-Kwon Kim¹, and Myoung-Jun Jang^{1,*}

¹Kongju National University Plant Resources

²Kongju National University Legumes Green Manure Resource Center(LGMRC)

ABSTRACT: In this study, we investigated the morphological characteristics and antioxidant ability of mushroom cultivar *Lentinula edodes* ‘Nongjingo’ fruiting bodies after exposure to various light conditions. Color differences between mushrooms treated with mixtures of LED light revealed that mushrooms displayed lighter color shades when compared to the control group (fluorescent light treated mushrooms). Redness increased and yellowness decreased after exposure to all treatments other than the fluorescent control. Measurement of growth characteristics of ‘Nongjingo’ fruiting bodies showed increases after exposure to all mixed LED treatments. In addition, the uniformity of fruiting bodies was higher when using LED light compared to fluorescent light. The measurement of stem diameters did not show a significant difference between the treatments, however, diameters were slightly larger with exposure to white-green LED. Moreover, stem length was longer in the mixed LED treatments when compared to those exposed to fluorescent light. Examination of the ratio of stem diameter to stem length revealed that the diameter of the stem was greater than the length. The antioxidant activity of water extracts made from Nongjingo fruiting bodies grown under mixed LED conditions was compared to those from mushrooms grown under fluorescence light conditions. The highest antioxidant activity was observed from mushrooms treated with white LED; however, no significant difference was found between mushrooms exposed to white-green LED compared to white-blue LED. The treatment showed higher antioxidant ability than vitamin C. Our results confirm that treatment of white LED and white-blue LED affects the growth and antioxidant ability of Nongjingo mushroom fruiting bodies.

KEYWORDS: DPPH, Fluorescent lamp, IC₅₀, LED light, *Lentinula edodes*, Nongjingo, Oak mushroom

서론

버섯을 재배하여 자실체를 생산하기 위해서는 여러 가지 배지를 비롯한 외부환경요인들이 영향을 미치게 된다. 이러한 온도, 습도, 환기, 광 등이 있으며, 자실체가 생장하는 동안 수량이나 품질에 매우 중요한 역할을 하게 된다. 이 중에서 주로 온도, 습도, 환기 조건들을 맞추기 위한 여러 가지 기술들이 개발되어 왔다. 특히 공조시설 안에서 이 3가지 요인을 맞추어 나가는 것은 매우 복잡한 일일 수 있다. 그러나 광의 경우는 온도, 습도, 환기 조건과는 달리 광요인 하나만 조절할 수 있으며, 상대적으로 다른 환경요인들의 영향은 적은 편이며, 그 결과 광의 중요성이 온도, 습도, 환기에 비해 다소 낮은 평가를 받아왔

J. Mushrooms 2017 December, 15(4):259-263
<http://dx.doi.org/10.14480/JM.2017.15.4.259>
 Print ISSN 1738-0294, Online ISSN 2288-8853
 © The Korean Society of Mushroom Science

*Corresponding author
 E-mail : plant119@kongju.ac.kr
 Tel : +82-41-330-1204

Received November 9, 2017
 Revised November 22, 2017
 Accepted December 1, 2017

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

다. 하지만 자실체가 광에 의해 유기되거나 촉진되는 것으로 보고되어 있고, 더불어 자실체의 분화나 발육에도 광이 영향을 미치는 것으로 보고되어 있다(Furukawa, 1992). 또한 최근 각 파장별로 조절이 가능한 LED의 농업적 활용과 함께 버섯의 생산과 품질에 영향을 미치는 여러 주요 결과를 얻게 되었다. 청색LED에서는 갓이 커지고, 적색LED에서는 대가 길어지는 버섯으로 큰느타리(Hideyuki *et al.*, 2005; Jang *et al.*, 2011), 느티만가닥(Jang *et al.*, 2013), 맛버섯(Kaori *et al.*, 2005)에 대한 결과들이 보고되었다. 이러한 버섯들은 주로 균상을 단단으로 하여 재배하는 버섯들로 대부분 4단으로 재배를 하고 있으나 기존에는 천정주변 위에 하나 정도의 형광등을 설치하여 재배할 경우 단과 단사이에는 광이 영향을 미치기에는 매우 어려운 구조를 가지고 있었다. 그러나 LED의 개발을 통해 단과 단사이에 설치하여 재배할 경우 품질의 균일성 또한 확보할 수 있었다.

표고의 경우 최근 원목재배에서 톱밥재배로 전환되고 있는 실정이며, 대부분의 농가에서는 지면 또는 지상의 1단재배를 수행하고 있으나 선도농가들을 중심으로 2단재배로 확산되고 있으며, 일부 농가에서는 공조시설을 이용 4단 연중재배를 하고 있는 실정이다. 따라서 LED혼합광에 따른 표고버섯 자실체의 생육특성을 구멍코자 본 연구를 수행하게 되었다.

재료 및 방법

시험균주 및 광원설치

본 실험에 사용된 균주는 농촌진흥청 버섯과에서 분양 받은 표고 '농진고'를 PDA평판배지에서 5일간 배양한 후 톱밥과 미강이 80:20(v/v)로 혼합된 삼각플라스크에서 20일 배양시킨 다음 포플러톱밥과 미강이 80:20(v/v)로 혼합된 850 mL PP (polyethylene)병에서 30일간 배양하여 종균으로 사용하였다.

재배광원

광원은 온도, 습도, 환기가 조절 가능한 재배사에 아크릴 챔버(950 (W) × 1000 (D) × 400 (H)mm)를 제작설치하여 상자간 빛의 간섭이 발생되지 않게 하였다. 형광등 처리구를 대조구로 설정하였고, White LED, White Green LED, White Blue LED를 챔버마다 각각 설치하여 시험용으로 활용하였다.

추출물 제조

본 실험에 사용된 표고 '농진고'는 White LED, White Green LED, White Blue LED 챔버에서 2개월 자란 자실체를 사용하였으며, 증류수 1,000 mL에 100 g의 시료를 가하여 95°C에서 2 간 동안 3회 반복 추출 여과하였다. 추출물을 회전식증발농축기(EYELA, A-1000S, Japan)로

농축하여 동결건조한 후, 각 광원별 농진고 자실체의 항산화능을 측정하였다.

자실체 생육특성 측정

배지는 참나무톱밥+미강(80:20, v/v)을 사용하였고, 배지의 수분함량이 약 58%내외가 되도록 조절하였다. 배지의 혼합과정이 끝난 후 입봉기를 이용하여 봉지당 1.4kg을 입봉하였다. 121°C에 90분간 살균하여 냉각시키고, 냉각된 배지에 종균을 접종하였다. 배양온도는 20±1°C로 배양기간은 암배양으로 60일간 처리한 후 30일간 명배양을 실시하여 갈변을 유도하였다. 갈변이 완료된 배지는 봉지를 제거한 후 버섯의 발생을 유도하기 위해 지하수를 이용하여 24시간 침수하였다. 침수가 끝난 후 생육실에 설치되어 있는 광원별 챔버에 각각 9봉지씩 입상하여 생육온도를 12시간은 25±1°C, 나머지 12시간은 15±1°C로 설정하여 발이를 유도하였고, 발이 후 18±1°C에서 생육을 전개하였다. 상대습도는 90%내외, CO₂농도는 800ppm이하로 설정하여 생육을 제어하였으며, 수확 후 생육조사는 농업과학기술 연구조사분석기준(농촌진흥청, 2012)에 준하여 조사하였다.

광원별 자실체의 갓색은 색차계 (Minolta CR200, Japan)를 이용하여 L, a, b 값을 측정하였고, 갓의 경도는 물성분석기 (SUN RHEO meter Compac-100D)를 이용하여 측정하였다. 이 때의 광량은 광량조절기를 이용하여 광이 버섯에 도달하는 지점을 300lux이하로 조절하였다.

항산화능 측정

물추출시료에 대한 항산화 활성 측정은 1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl (DPPH)를 이용하여 Blois 법을 변형하여 시료의 radical 소거효과를 측정하는 DPPH 법을 사용하였다. DPPH 용액 100 μl와 시료를 농도별 각 100 μl씩 취하여 DPPH용액과 혼합후 30분간 상온 무광조건 상태에서 반응시킨 후 잔존 radical 농도를 Microplate reader(Sunrise Tecan) 흡광도 517 nm에서 측정하였다. IC₅₀ 값은 시료를 첨가 하지 않은 양성대조구인 Vitamin C의 흡광도를 1/2로 감소시키는 시료의 농도(μg)를 계산하였다.

결과 및 고찰

표고 '농진고' 혼합광에 따른 갓의 색차 및 경도를 조사한 결과 Table 1과 같다. 갓의 명도값은 형광등 처리구 대비 LED혼합광 처리구 모두 낮아지는 결과를 나타내었다. 적색도는 형광등처리구에 비해 처리구 모두 높아졌고, 황색도는 낮아지는 결과를 보였다. 형광등 처리구와의 색차값을 조사한 결과 White Blue LED처리구에서 80.4로 가장 높았고, White Green LED처리구에서 66.3으로 가장 낮았다. 명도차는 처리구 모두 대조구에 비해 10이상 낮

Table 1. Effect of LED light source on the color and hardness of pileus of 'Nongjingo'

| Light source | The color of pileus | | | | Hardness of pileus | |
|---------------------------|---------------------|-------------|----------------|--------------|--------------------|--------|
| | Lightness (L) | Redness (a) | Yellowness (b) | ΔE^a | ΔL^b | (g) |
| Fluorescent lamp(control) | 41.3 | 8.1 | 17.1 | - | - | 3,576 |
| White LED | 31.0 | 14.3 | 15.9 | 73.8 | -10.3 | 2,893 |
| White Green LED | 31.2 | 13.4 | 15.7 | 66.3 | -10.1 | 3,149 |
| White Blue LED | 29.9 | 13.2 | 15.4 | 80.4 | -11.5 | 3,648. |

$$^a \Delta E = \sqrt{(L_{\text{Fluorescent lamp}} - L_{\text{led treatment}})^2 + (a_{\text{Fluorescent lamp}} - a_{\text{led treatment}})^2 + (b_{\text{Fluorescent lamp}} - b_{\text{led treatment}})^2}$$

$$^b \Delta L = L_{\text{Fluorescent lamp}} - L_{\text{led treatment}}$$

Table 2. Characteristics of fruit body for 'Nongjingo' according to LED light source

| Light source | Diameter of pileus (mm) | Uniformity of pileus (CV ^a) | Diameter of stipe (mm) | Length of stipe (mm) |
|---------------------------|-------------------------|---|------------------------|----------------------|
| Fluorescent lamp(control) | 51.4 | 18.0 | 36.2 | 10.8 |
| White LED | 66.5 | 4.5 | 39.2 | 16.1 |
| White Green LED | 59.4 | 8.3 | 43.3 | 14.9 |
| White Blue LED | 68.3 | 8.3 | 37.7 | 14.8 |

^a variation coefficient

**Fig. 2.** Morphological properties of 'Nongjingo' grown under different LED mixed light source.

은 값으로 조사되었다. 느타리의 경우에서(Jang & Lee, 2014)도 형광등 대비 White Blue LED와 White Green LED에서 명도값이 낮아진다고 한 결과와 같이 표고 '농진고'에서도 이와 대등한 결과를 나타내었다. 갓의 경도값은 처리구별 큰 차이를 보이지는 않았으나 White LED 처리구에서 다소 낮은 값을 보였다.

광원별 자실체의 생육특성을 조사한 결과 Table 2 및 Fig 2와 같이 나타났다. 형광등 대조구 대비 처리구 모두에서 갓직경이 컸으며, 자실체들에 대한 균일도를 변이계수(variation coefficient)로 계산한 결과 형광등 처리구 대비 LED를 사용하였을 경우 낮은 값을 나타내어 형광등을 처리하는 것 보다 균일도가 있는 것으로 나타났다.

청색광은 흰가루목물버섯(Richard *et al.*, 1999)의 원기

형성 등의 성장에 영향을 주고, 영지버섯의 균사체 생산량을 많게 한다고 하였으며(Paola *et al.*, 2009), Baek 등(2013)은 표고 '산조 701호' 품종에서 청색광에 처리구에서 갓직경이 커진다고 하였다. 본 실험에서도 'Nongjingo'에 청색과 백색이 1:1로 들어간 처리구에서 상대적으로 갓직경이 크게 나타났으며, 이는 백색광원이 비록 석여 있으나 청색광이 갓의 성장에 영향을 준 것으로 판단되었다.

대직경은 처리구간 큰 차이를 보이지는 않았으나 White Green LED에서 43.3mm로 다른 처리구 보다 높은 것으로 조사되었고, 대길이는 형광등 처리구 보다 LED 처리구 모두에서 다소 높게 조사되었다.

또한 갓직경과 대길이의 비를 조사한 결과 White Green LED를 제외한 White LED와 White Blue LED에

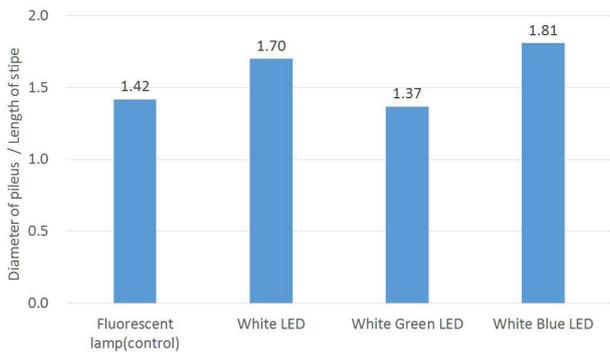


Fig. 1. Morphological properties of 'Nongjinggo' grown under different LED light source.

서 형광등 처리구 대비 높은 값을 나타내어 대길이에 비해 갓의 직경이 길어지는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 1).

광원에 따른 수량성을 비교한 결과 유효경수는 크게 차이가 나지 않았으며, 3주기까지의 수량은 형광등 처리구에서 수량지수 100일 때 White LED는 111, White Green LED는 126, White Blue LED는 119로 White Green LED에서 가장 높은 값을 나타내었다. 또한 상품화율은 형광등 처리구가 80.0%일 때 White LED처리구는 79.7%로 이와 대등한 결과를 보였으며, White Green LED과 White Blue LED는 각각 83.4, 84.0으로 대조구 보다 높은 경향을 보였다.

이상의 결과 수량 및 상품화율이 형광등 대비 White Green LED과 White Blue LED에서 더 높아 표고 '농진고'의 생육에 적합한 광원으로 조사되었다. 다만 이러한 광원들에 대한 영향이 기존에 재배되고 있는 표고 품종들간에도 동일한 결과를 나타내는지에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

DPPH는 항산화물질과 환원반응을 통해 자색으로 탈색되는 원리를 이용한다. 이를 이용하여 '농진고' 자실체 물 추출물의 DPPH radical 소거능을 측정된 결과는 Table 4

과 같다. '농진고' 자실체를 형광등, White LED, White Green LED, White Blue LED상에서 재배 후 물 추출물 하였을 때 IC₅₀ 값은 형광등 9.55±0.84 µg/ml로 가장 높은 라디칼 소거능을 확인할 수 있었고, White LED 5.613±1.24 µg/ml, White Green LED 5.48±1.14 µg/ml, White Blue LED 5.04±2.40에서는 유의한 라디칼 소거능은 확인하지 못하였으나 LED처리는 Vitamin C가 3.13±0.01 µg/ml 나타냄을 확인함으로써 천연 항산화물질인 Vitamin C보다는 높은 라디칼 소거능을 확인할 수 있었다.

최근 연구에서는 큰느타리 버섯에서 형광등, White LED, White Green LED, White Blue LED와 같은 인공광조건하에서 자실체의 형태적 변화 및 2차 대사산물인 에르고스테롤(Ergosterol)이 높아지는 결과가 보고되고 있다(Jang *et al.*, 2011). 이는 본 연구와 같은 결과임을 확인할 수 있었다.

적 요

표고 '농진고'를 LED 혼합광에 따른 갓의 색차 및 경도차를 확인한 결과 갓의 명도값은 형광등 처리구 대비 LED혼합광 처리구 모두 낮아지는 결과를 나타내었다. 적색도는 형광등 처리구에 비해 처리구 모두 높아졌고, 황색도는 낮아지는 결과를 보였다. 광원별 자실체의 생육특성을 조사한 결과 형광등 대조구 대비 처리구 모두에서 갓직경이 컸으며, 자실체들에 대한 균일도는 형광등 처리구 대비 LED를 사용하였을 경우 낮은 값을 나타내어 형광등을 처리하는 것보다 균일도가 있는 것으로 나타났다. 대직경은 처리구간 큰 차이를 보이지는 않았으나 White Green LED에서 다른 처리구보다 높은 것으로 조사되었고, 대길이는 형광등 처리구보다 LED처리구 모두에서 다소 높게 조사되었다. 갓직경과 대길이의 비를 조사한 결과 White Green LED을 제외한 White LED와 White

Table 3. The comparison for yield of 'Nongjinggo' according to LED light source

| Light source | Number of available stipes (ea/bag, 1.4kg) | Yield (g/bag) | Yield index | Ratio of the marketing value(%) |
|---------------------------|--|---------------|-------------|---------------------------------|
| Fluorescent lamp(control) | 4.8±2.0 | 227.3 | 100 | 80.0 |
| White LED | 5.0±1.5 | 251.6 | 111 | 79.7 |
| White Green LED | 5.7±1.0 | 286.7 | 126 | 83.4 |
| White Blue LED | 5.1±1.6 | 270.0 | 119 | 84.0 |

Table 4. DPPH radical scavenging activity of different light source on 'Nongjinggo'

| Sample (mg/ml) | Fluorescent lamp (control) | White LED | White Green LED | White Blue LED | Vitamin C |
|------------------|----------------------------|------------|-----------------|----------------|-----------|
| IC ₅₀ | 9.55±0.84 | 5.613±1.24 | 5.48±1.14 | 5.04±2.40 | 3.13±0.01 |

IC₅₀ : Inhibitory activity is expressed as the mean of 50% inhibitory concentration of triplicate determination. The values are obtained by interpolation of concentration-inhibition curve

Blue LED에서 형광등 처리구 대비 높은 값을 나타내어 대길이에 비해 갓의 직경이 길어지는 것을 확인할 수 있었다. 자실체 물추출물의 항산화능을 확인한 결과 형광등 처리구에서 가장 높은 항산화능을 확인할 수 있었고 LED 처리는 White LED처리에서 가장 큰 항산화능을 확인하였고 White Green LED, White Blue LED간에는 유의한 차이를 보이지 않았으나 LED처리는 Vitamin C 보다 높은 항산화능을 나타내었다. 위의 결과를 통해 White LED와 White Blue 처리가 표고버섯 자실체의 생육 및 항산화능에 영향을 미치는 광원임을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구결과는 농촌진흥청 버섯 품종육성 및 첨단생산 기술개발(과제번호 PJ011967)의 연구비지원의 일부결과이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

Furukawa H. 1992. Mushroom science. Tokyo: Kyoritsu Shuppan

- Co. Ltd.; p. 89-92 (in Japanese).
- Hideyuki Y, Daisuke M, Junji H, Toshio M, Kouzou N, Yasuo O. 2005. Effects of wavelength of light stimuli on the bio-electric potential and the morphogenetic properties of *Pleurotus eryngii*. *J SHITA*. 17:175-181.
- Jang MJ, Lee YH, Kim JH, Ju YC. 2011. Effect of LED light on primordium formation, morphological properties, ergosterol content and antioxidant activity of fruit body in *Pleurotus eryngii*. *Kor J Mycol*. 39:175-179.
- Jang MJ, Lee YH, Ju YC, Kim SM, Koo HM. 2013. Effect of color of light emitting diode on development of fruit body in *Hypsizygus marmoreus*. *Mycobiology*. 41:63-66.
- Jang MJ and Lee YH. 2014. The suitable mixed LED and light intensity for cultivation of oyster mushroom. *J Mushroom Sci Prod*. 12:318-322.
- Richard JE, Gwynne AB, Bethanee FS. 1999. Properties of blue light requirements for primordia initiation and basidiocarp maturation in *Coprinus stercorarius*. *British Mycolo Soc*. 103:779-784.
- Paola AZ, Diego FR, David AR, Carlos F, Lucia A. 2009. Effect of different light-emitting diodes on mycelial biomass production of Ling Zhi or Reishi medicinal mushroom *Ganoderma lucidum* (W. Curt.: Fr.) P. Karst. (Aphyllphoromycetideae). *Inter J Med Mushrooms*. 11:93-99.