

느타리버섯 재배를 위한 적정 LED혼합광 및 광량

장명준* · 이윤혜¹

경기도농업기술원 환경농업연구과

¹경기도농업기술원 버섯연구소

The suitable mixed LED and light intensity for cultivation of oyster mushroom

Myoung-Jun Jang* and Yun-Hae Lee¹

Environmental Agriculture Research Division, GARES, Hwaseong, Gyeonggi-Do, 445-784, Korea

¹Mushroom Research Institute, GARES, Gyeonggi Province Gwang-ju 464-870, Korea

ABSTRACT: We aim to elucidate suitable mixed color of light during development of fruit body in *Pleurotus ostreatus*. The four mixed color of LED(Light Emitting Diode), blue and white, green and white, blue and green and green and red LED, were irradiated for formation of fruit-body. First, as effect of mixed color of LED, the properties of fruit body of *P. ostreatus* in blue and white LED irradiation were showed higher commercial yields than those in control(fluorescent lamp). And the ergothioneine was the highest at the blue and white LED. Second, we could obtain higher commercial yields than those at the 1 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ of light intensity by blue and white LED in *P. ostreatus*.

KEYWORDS: Environment, Ergothioneine, LED, Mushroom

서론

LED (Light Emitting Diode)는 식물재배에 있어 소규모 공간 내 설치가 용이하며, 수명이 길고 분이나 초 단위로 간헐적 조사가 가능하여 다른 광원에 비해 전력소모량이 적어 경제적이다(Brown *et al*, 1995). 또한 최근에 식물공장과 아울러 LED의 농업적 활용도가 제시되고 있으며, 작물이나 채소 및 화훼 등에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으나 국내에서 버섯재배에 대한 LED의

적용연구는 매우 미흡한 실정이다.

2013년 기준 우리나라 농산버섯 생산량은 1999년 123,271 M/T에서 2013년 161,603M/T로 23.7%가량 증가하였다(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2014). 이러한 주된 원인은 공장형으로 재배되고 있는 버섯류의 대량공급으로 인한 것으로 추정된다. 그러나 이러한 대량공급을 위해 시설재배사에 생육하는 버섯별 생육환경에 대한 연구는 다소 미흡하며, 그 중에서도 시설재배에 관한 연구는 환기나 온도에 관한 것이 주를 이루고 있다.

자실체발생이 광에 의해 유기 또는 촉진되는 것이 많으며, 자실체의 분화나 발육에도 광이 효과적으로 작용한다고 알려져 있다 (Furukawa, 1992). 주요 식용버섯들에 있어서 광조건이 생육에 많은 영향을 미치고 있으며, 우리나라는 버섯시설재배 농가에서 재배시 형광등을 광원으로 사용하고 있다. 그러나 기존 시설재배사에 설치되어 있는 형광등은 파장조절을 할 수 없으며, 자주 단전되어 교체하는 경우가 빈번히 발생되고 있다. 따라서 형광등 교체 주기를 없앴으로써 경제성을 도모하고, 최근 작물재배에 있어 에너지 절감 및 품질향상 등에 효과가 인정되며, 파장조절이 용이한 LED를 버섯 재배에 적용하기 위해 실험을 수행하였다.

J. Mushrooms 2014 December, 12(4):258-262
<http://dx.doi.org/10.14480/JM.2014.12.4.258>
 Print ISSN 1738-0294, Online ISSN 2288-8853
 © The Korean Society of Mushroom Science

*Corresponding author
 E-mail : plant119@gg.go.kr
 Tel : +82-31-229-5832, Fax : +82-31-229-5964

Received September 24, 2014
 Revised November 3, 2014
 Accepted November 24, 2014

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.

재료 및 방법

시험균주 및 종균제조

시험에 사용한 균주는 버섯연구소에서 보유하고 있는 춘추느타리2호 (*P. ostreaus*)를 PDA평판배지에서 5일간 배양 후 톱밥과 미강이 80:20 (v/v)로 혼합된 삼각플라스틱에서 20일 배양시킨 다음 톱밥과 미강이 80:20(v/v)로 혼합된 850 mL PP (polyethylene)병에서 25일간 배양하여 종균으로 사용하였다.

배지제조 및 생육조사

느타리버섯의 배지는 미송톱밥+비트펄프+면실박 (50:30:20, v/v)을 사용하였고, 배지의 수분함량이 약 65%내외가 되도록 조절하였다. 배지의 혼합과정이 끝난 후 16구 자동입병기를 이용하여 850 mL 내열성플라스틱 (Poly propylene)병에 입병한 다음 121°C에 90분간 살균하여 냉각시키고, 냉각된 배지에 종균을 접종하였다. 배양기간은 30일, 배양온도는 20±1°C로 암배양한 후 균급기를 실시한 다음 생육실에 입상하였다. 생육온도 15±1°C, 상대습도 90±5%, CO₂농도 1,500 ppm 이하로 설정하여 생육을 제어하였다. 초발이 이후 LED가 설치되어 있는 생육실내의 생육상자로 옮겨 수확기까지의 생육형태를 조사하였다. 생육조사 방법은 농업과학기술 연구조사분석기준 (농촌진흥청, 2003)에 준하여 조사하였다.

LED혼합광 선발

생육상자 (stainless chamber)는 950 (W)×1000 (D)×400 (H)mm 크기로 상자간 빛의 간섭을 받지 않도록 제작하였다. 각각의 생육상자는 2구획으로 나누어 제작하였으며, 1구획당 32병을 입상하였다. 백색광 LED, 450 nm의 청색광 LED, 525 nm 녹색광 LED, 660 nm 적색광 LED를 이용하여 청색광+백색광, 녹색광+백색광, 청색광+녹색광, 녹색광+적색광의 4가지 형태로 광원을 혼합하여 1구획당 2개씩 설치하여 생육특성을 조사하였다. 그리고 생육환경이 조절되는 버섯재배 생육실에 생육상자를 설치하였으며, 생육환경조건으로 생육온도 15±1°C, 상대습도 90±5%, CO₂농도 1,500 ppm 이하 이었다. LED에 따른 버섯별 생육특성을 조사하였으며, 갓색은 색차계 (Minolta CR200, Japan)를 이용하여 L, a, b 값을 측정하였고, 대의 물성은 물성분석기 (SUN RHEO meter Compac-100D)를 이용하여 측정하였다. 이 때의 광량은 광량조절기를 이용하여 광이 버섯에 도달하는 지점을 5 μmol/m²/s이하로 조절하였으며, 대조구로 형광등 및 무광처리구를 두었다.

Ergothioneine 조사

느타리버섯의 ergothioneine 함량은 Dubost 등 (2006)의 방법으로 정량하였으며, 자실체의 생육기간 동안 LED 혼합광을 조사한 다음 수확 후 갓부위를 동결건조하여 시

료로 이용하였다. 시료 0.2 g에 20 mL의 cold 70%-ethanolic extraction 용액 (10mM diethiothreitol, 100 μM 베타인 (betaine), 100 μM 2-mercapto-1-methyl imidazole 함유)을 첨가, 교반 후 3분간 초음파 처리 (sonicate) 후 여기에 1.0%-sodium dodecylsulfate 함유 에탄올 용액 4 mL를 첨가하여 혼합한 다음, 원심분리 하였다. 그리고 상등액 10 mL을 취해 농축 건조하고 여기에 10 mL의 증류수를 첨가하여 녹인 후 원심분리하여 상등액을 ergothioneine 함량 분석용으로 사용하였다.

HPLC 분석은 C18 100A 5 μm column (4.6 mm×150 mm)이 장착된 Shimadzu prominence 기종을 사용하였다. 이동상은 50 mM sodium phosphate with 3% acetonitrile (0.1% triethylamine으로 pH 7.3 조절)를 유속은 0.7 mL/min로 하여 UV (ultraviolet - visible) 검출기 254 nm에서 측정하였다.

LED광량 선발

생육상자 및 환경조건은 모두 LED혼합광 설치방법의 의해 수행하였으며, 선발된 LED혼합광의 광량은 1, 5, 10, 15 μmol/m²/s로 조절하였으며, 광량센서 (FLA623-PS, AHLBON Co, Germany)를 이용하여 1일 3회 광량을 확인하였고, 생육이 완료된 후 LED혼합광 선발시의 기준에 따라 생육 조사를 수행하였다.

결과 및 고찰

LED혼합광 선발

LED혼합광에 따른 갓의 색차 및 대의 물리성을 조사한 결과 Table 1과 같다. 갓의 명도(L)는 LED혼합광 모두 형광등보다 다소 갓색이 짙어지는 경향이였다. 대의 물리성 중 경도는 형광등 처리구보다 녹색광+백색광, 녹색광+적색광에서 높았고, 깨짐성은 청색광+백색광, 녹색광+백

Table 1. Effect of LED mixed light source on the color of pileus and the physical properties of stipe of oyster mushroom

Light source	Lightness of pileus	properties of stipe		
		Hardness (kg/cm ²)	Brittleness (kg)	Springness (%)
fluorescent lamp	52.7a ^a	4.0bc	48b	95.2bc
dark	- ^b	-	-	-
blue + white	49.5c	4.3ab	54a	96.4ab
green + white	47.7d	4.6a	57a	96.5a
blue + green	50.8bc	3.2d	40c	95.2bc
green + red	51.2b	4.8a	56a	95.2bc

*The intensity of radiation : 5 μmol/m²/sec

^aValues followed by the same letter do not differ significantly at p > 0.05 according to Duncan's multiple range test.

^bNot detect

Table 2. Effect of LED mixed light on the properties of fruit body and yield

Light source	Diameter of pileus(mm)	Length of stipe(mm)	Diameter of pileus(mm) /Length of stipe(mm)	No. of available stipes (No./850 mL)	Yields (g/850 mL)	Commercial yields (g/850 mL)
fluorescent lamp	30a ^a	82b	0.37	30ab±3	152ab±8	118c
dark	-	89a	-	- ^b	86c±12	0
blue + white	30a	80b	0.38	31a±3	159a±7	134a
green + white	27a	85b	0.32	27b±4	156a±7	123b
blue + green	28a	81b	0.35	30ab±4	155a±7	120c
green + red	19b	91a	0.21	23c±3	149b±10	114d

※The intensity of radiation : 5 μmol/m²/sec

^aValues followed by the same letter do not differ significantly at p > 0.05 according to Duncan's multiple range test.

^bNot detect

색광, 녹색광+적색광, 탄성은 녹색광+백색광에서 높았다. LED혼합광에 따른 자실체의 생육특성 및 균일도를 조사한 결과 Table 2와 같다. 갓직경의 경우 녹색광+적색광을 제외한 모든 처리구가 형광등처리구와 대등하였으며, 갓직경/대길이는 청색광+백색광에서 가장 컸고, 대의 길이는 무광과 녹색광+적색광에서 가장 길었다. Jang *et al* (2011)은 큰느타리버섯에서 갓직경이 단과장 보다 장과장 영역에서 작아지는 경향이었고, 대길이는 커지는 경향이 있다고 하였는바 본 실험에서도 장과장영역의 녹색광과 적색광을 혼합한 처리구에서 대길이가 커지는 경향이였다. 수량은 녹색광+적색광을 제외한 혼합광 처리구 모두에서 대조구와 대등하였고, 상품수량은 청색광+백색광에서 가장 많았다. 광의 영향에 대한 연구 중 표고버섯 원기형성 시 청색광이 색소형성을 유도한다는 보고가 있으며(Gary

& Mark, 1987), Richard *et al* (1999)은 흰가루목물버섯 (*Coprinus stercorarius*)의 원기형성 및 담자과 (basidiocarp)의 성장에 청색광이 영향을 주고, 영지버섯은 액체배양시 청색광 (425~475 nm)에서 균사체 생산량이 많았다고 하였다 (Paola *et al*, 2009). 이와 같이 청색광이 버섯재배에 유용한 것으로 판단되나 청색광에서 갓의 크기가 커지는 버섯으로 맛버섯 (Kengi *et al*, 2002), 만가닥버섯 (Kaori *et al*, 2005) 등이 보고되어 있다. 느타리도 이와 유사한 형태를 가진 버섯으로 갓의 크기가 커질 경우 상대적으로 하위층에 있는 개체들이 작아져 균일도가 떨어져 상품성이 낮아질 수 있다. 따라서 본 실험에서 이러한 점을 보완하기 위하여 여러 가지 LED광원으로 혼합한 결과 청색광에 백색광을 혼합한 처리구에서 상품수량이 많아지는 결과를 나타내었다.

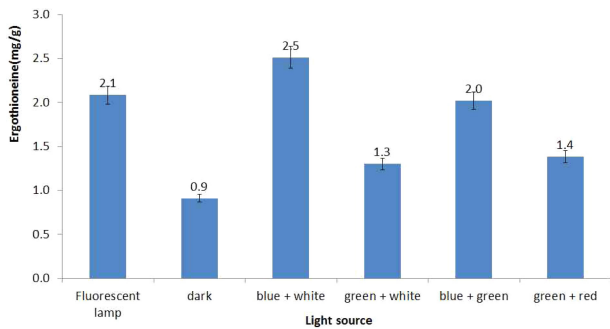


Fig. 1. The ergothioneine content of fruit body by LED mixed light

Table 3. Effect of the intensity of radiation on the color of pileus and the physical properties of stipe of oyster mushroom

The intensity of radiation (μmol/m ² /sec)	Lightness of pileus	properties of stipe		
		Hardness (kg/cm ²)	Brittleness (kg)	Springness (%)
1	49a ^a	3,991a	44,546a	88.1a
5	47b	3,237b	38,788ab	87.6ab
10	46b	3,140b	38,421ab	87.4ab
15	45b	2,907b	33,364b	85.4b

^aValues followed by the same letter do not differ significantly at p > 0.05 according to Duncan's multiple range test.



Fig. 2. The characteristics of fruit body by LED intensity of radiation. A, 1 μmol/m²/sec; B, 2 μmol/m²/sec; C, 3 μmol/m²/sec; D, 4 μmol/m²/sec

Table 4. Effect of the intensity of radiation on the properties of fruit body and yield

The intensity of radiation ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$)	Diameter of pileus(mm)	Length of stipe(mm)	Diameter of pileus(mm) /Length of stipe(mm)	No. of available stipes (No./850 mL)	Yields (g/850 mL)	Commercial yields (g/850 mL)
1	29.1c ^a	84.7a	0.34	34a	134a	172a
5	31.1bc	74.8b	0.42	32ab	119b	173a
10	32.0ab	73.6b	0.43	28bc	117b	173a
15	33.6a	72.1b	0.47	27c	117b	170a

^aValues followed by the same letter do not differ significantly at $p > 0.05$ according to Duncan's multiple range test.

버섯류의 대표적인 항산화물질인 ergothioneine (ERG)은 동물이나 고등식물에서 합성하지 못하며 (Audley & Tan, 1968; Melville *et al.*, 1956), 인체에서 중요한 생리적 역할을 한다 (Arduino *et al.*, 1990; Akanmu *et al.*, 1991; Aruoma *et al.*, 1997; Sakrak *et al.*, 2008). 이러한 ergothioneine의 함량이 LED혼합광에 의해 버섯의 갓에서 생성되는 함량을 조사한 결과 Fig. 1과 같으며, ergothioneine은 청색광+백색광에서 다른 처리구에 비해 가장 높게 나타났다. 식용버섯의 ergothioneine 함량은 버섯의 종류에 따라 차이가 있으나 평균 2 mg/g (Dubost *et al.*, 2006; Dubost *et al.*, 2007)이며, 본 실험에서 수행한 느타리버섯의 경우 형광등, 청색광+백색광, 청색광+녹색광에서 이와 유사한 경향이였다.

느타리버섯의 생육에 적합한 적정 광량을 조사하기 위하여 상품수량이 높게 조사되었던 청색광+백색광을 이용하여 갓의 명도 및 대의 물리성을 조사한 결과 Table 3과 같다. 광량에 따른 갓의 색차 중 명도는 광량이 높아질수록 낮아지는 경향이였고, 대의 물리성 중 경도는 광량이 가장 낮았던 $1 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 에서 가장 컸으며, 깨짐성 및 탄력성은 광량이 많을수록 작아지는 경향이였다.

광량에 따른 느타리버섯의 생육특성 및 수량성은 Table 4와 같다. 광량에 따른 생육특성 중 갓직경은 광량이 작을수록 작아지는 경향이였고, 대길이는 $1 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 에서 가장 길었으며, 갓직경/대길이는 $1 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 에서 0.34로 다른 처리구에 비해 가장 작았다. 수량은 모든 처리구에서 대등하였으나 광량이 작을수록 유효경수와 상품수량이 많았다.

이상과 같은 결과 청색광+백색광의 적정 광량은 $1 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 판단되었으며, 초발이 이후 수확시까지 상품수량이 많은 것으로 나타났다.

적 요

LED혼합광에 따른 자실체의 생육특성을 조사한 결과 갓직경은 녹색광+적색광을 제외한 모든 처리구가 형광등 처리구와 대등하였으며, 갓직경/대길이는 청색광+백색광에서 가장 컸다. 대의 길이는 무광과 녹색광+적색광에서 가장 길었고, 수량은 녹색광+적색광을 제외한 혼합광에서 대조구와 대등하였으며, 상품수량은 청색광+백색광에서

가장 많았다. 또한 버섯류의 대표적인 항산화물질인 ergothioneine은 청색광+백색광에서 다른 처리구에 비해 가장 높았다.

광량에 따른 생육특성 중 갓직경은 광량이 작을수록 작아지는 경향이였고, 대길이는 $1 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 에서 가장 길었으며, 갓직경/대길이는 $1 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 에서 0.34로 다른 처리구에 비해 가장 작았다. 수량은 모든 처리구에서 대등하였으나 광량이 작을수록 유효경수와 상품수량이 많았다.

감사의 말씀

본 연구결과는 농촌진흥청 지역특화기술개발과제(과제번호 PJ007311042012)의 연구비지원의 일부결과이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Akanmu D, Cecchini R, Aruoma OI, Halliwell B. 1991. The antioxidant action of ergothioneine. *Arch Biochemical and Biophysics*. 288:10-16.
- Arduino A, Eddy L, Hochstein P. 1990. The reduction of ferryl myoglobin by ergothioneine: a novel function for ergothioneine. *Arch Biochemical and Biophysics*. 281:41-43.
- Aruoma OI, Whiteman ME, Halliwell B. 1997. The antioxidant action of L-ergothioneine. Assessment of its ability to scavenge peroxynitrite. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 231:389-391.
- Audley BG, Tan CH. 1968. The uptake of ergothioneine from the soil into the latex of *Hevea brasiliensis*. *Phytochemistry*. 7:999-2000.
- Brown CS, Schuerger AC, 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.
- Dubost NJ, Beelman RD, Royle D. 2006. Identification and quantification of ergothioneine in cultivated mushrooms using liquid chromatography mass spectroscopy. *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 8:215-222.
- Dubost NJ, Ou B, Beelman RB. 2007. Quantification of polyphenols and ergothioneine in cultivated mushrooms and correlation to total antioxidant capacity. *Food Chemistry*. 105: 727-735.

- Furukawa H. 1992. Erinki cultivation from the foundation. Rural cultural history. (in Japanese);
- Gary FL, Mark AS. 1987. Effect of light and aeration on fruiting of *Lentinula edodes*. *Transactions of the British Mycological Society*. 88:9-20.
- Jang MJ, Lee YH, Kim JH, Ju TC. 2011. Effect of LED light on primordium formation, morphological properties, ergosterol content and antioxidant activity of fruit body in *Pleurotus eryngii*. *The Korean Journal of Mycology*. 39: 175-179.
- Kaori S, Katsunori J, Koji S, Hidehiko N, Norimitsu F, Toshio O, Junji H, Toshio M. 2005. Analysis on genes expressed during photomorphogenesis the fruiting bodies in *Pholiota nameko*. *J. SHITA*. 17:3-10.
- Kengi N, Satoshi I, Kouichirou M, Makoto S, Mitsuo O. 2002. Effect of LED lights on fruit-body production in *Hypsizygus marmoreus*. *Mush. Sci. Biotech*. 10:141-146.
- Melville DB, Genghof DS, Inamine E, Kovalenko. 1956. Ergothioneine in microorganisms. *Journal of Biological Chemistry*. 233: 9-17.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2014. 2013 Production performance of Industrial Crop. p62-65. (in Korean)
- 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. (Aphyllorphomycetidae). *The International Journal of Medicinal Mushrooms*. 11:93-99.
- Richard JE, Gwynne AB, Bethanee FS. 1999. Properties of blue light requirements for primordia initiation and basidicarp maturation in *Coprinus stercorearius*. *The British Mycological Society*. 103:779-784.
- Sakrak O, Kerem M, Bedirli A, Pasaoglu H, Akyurek N, Oflluoglu E, Gltekin FA. 2008. Ergothioneine modulates proinflammatory cytokines and heat shock protein 70 in mesenteric ischemia and reperfusion injury. *Journal of Surgical Research*. 144:36-42.