

RESEARCH ARTICLE

광 파장이 표고 품종 산조 701호 균사의 갈변에 미치는 영향

서동석^{ID}, 구창덕^{ID}

충북대학교 산림학과

Effect of Light Wavelengths on the Mycelial Browning of *Lentinula edodes* Strain Sanjo 701ho

Dong-Seok Seo^{ID}, Chang-Duck Koo^{ID}

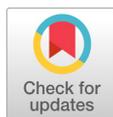
Department of Forest Science, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

Corresponding author: koocdm@chungbuk.ac.kr

ABSTRACT

Mycelial browning, which protects the organism from contamination and moisture loss, is essential for sawdust cultivation of *Lentinula edodes*. The effects of light and light wavelengths on the mycelial browning of the *L. edodes* Sanjo 701ho strain, and the characteristics of its brown hyphae, were investigated. After the mycelia were cultured on potato dextrose agar medium under fluorescent lamps covered with colored cellophane filters (red, green, and blue) or under light emitted diodes (LED), with wavelengths ranging from 400 to 700 nm (far-red, red, green, and blue), for 14 h per day for 40 days, the mycelial browning rate was measured. The wavelength of fluorescent lamps, which range from 300 to 1,100 nm, was reduced to 360 to 1,022 nm with the use of three colored cellophane filters and the photosynthetic photon flux density was reduced by 42 to 71 % depending on the light wavelength. The browning rate by colony area of mycelia exposed to light was at an average of 64 %, whereas, that of unexposed mycelia was only 5 %. The browning rate was 0.02 % in far-red, 1.5 % in red, 53.8 % in green, 57.3 % in blue, and 64.0 % in fluorescent light. The white mycelia were resilient with actively growing hyphae, filled with cytoplasm, and thin cell walls less than 1 μm thick. Conversely, the brown mycelia possessed dead, hard hyphal structures without cytoplasm, but with approximately 2-4 μm-thick cell walls. In conclusion, lights of varying wavelengths, especially short-wavelength LEDs, are effective for forming dead, brown mycelia of *L. edodes*, thus, forming a protective functional layer for its living white mycelia.

Keywords: Dead brown hyphae, *Lentinula edodes*, Light wavelength effect, Mycelial browning, Sanjo 701ho



OPEN ACCESS

pISSN : 0253-651X

eISSN : 2383-5249

Kor. J. Mycol. 2019 March, 47(1): 63-73
<https://doi.org/10.4489/KJM20190008>

Dong-Seok Seo
<https://orcid.org/0000-0002-3204-1312>
 Chang-Duck Koo
<https://orcid.org/0000-0001-9508-8858>

Received: November 17, 2018

Revised: December 8, 2018

Accepted: December 25, 2018

© 2019 THE KOREAN SOCIETY OF MYCOLOGY.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

표고는 항암작용이 있는 다당류 렌티난(lentinan) [1] 성분과 혈장 콜레스테롤 저하에 효과가 있는 에리타데닌(eritadenin) 성분을 함유하여[2] 건강에 기여하는 10대 음식물 중의 하나이다[3]. 이런 가치 있는 표고는 최근 국내 수요량이 약 47,500톤에 이르지만, 국내 자급량은 약 28,000톤으로 자급률이 59% 밖에 안 된다[4]. 표고의 증산을 위하여 원목보다는 톱밥을 이용하여 톱밥방지 상면재배법과 봉형균상재배법 등을 개발하여, 버섯 발생과 수확을 향상시키고 있다. 한편 톱밥재배 시에 배지 표면에서는 표고 균사의 갈변이 필수적이다. 이 갈변층이 일종의 표피 기능을 하여 배지의 내부 균사를 외부 스트레스 즉, 오염균과 수분 손실로부터 보호하기 때문이다. 이 균사의 갈변에 빛이 중요하게 작용한다.

버섯을 포함하는 균류는 식물과 달리 엽록소가 없어서 광합성 능력이 없고, 다른 유기물에 기생하므로 에너지 면에서는 빛을 필요로 하지는 않는다. 하지만 빛은 자극이나 신호로서 균류의 대사 작용과 2차대사물 생성과 같은 생리활동과 원기형성과 같은 생식과정에 작용한다[5]. 빛은 양송이나 치마버섯 등 몇 종을 제외하고는 대부분의 담자균 버섯에서 원기형성과 줄기 및 갓의 정상적인 발달에 매우 중요하다. 예로 똥먹물버섯(*Coprinus stercorarius*)의 원기형성과 버섯의 성장에 청색광이 영향을 미친다[6]. 빛은 외부 환경에 노출된 표고버섯 균사의 생존과 성장[7], 균사의 갈변, 그리고 원기발생[8]에 매우 중요하다. 표고 균사는 광조건에서만 갈색으로 착색되고[9, 10], 특히 청색광이 색소를 형성시킨다[11].

표고 톱밥배지에 있어서 갈변 균사막은 원목재배에서 원목의 수피와 유사한 역할을 한다. 갈변이 이루어지기 전에 버섯을 발생시키면 버섯 발생수가 적고 푸른곰팡이병 등에 쉽게 감염된다. 적갈색으로 갈변화된 배지는 외부 공기와 접촉시켜도 다른 균에 오염되지 않을 뿐 아니라 배지 내 수분 증발을 억제하여 버섯 발생을 양호하게 한다[12]. 이 갈변은 자외선(320~400 nm)과 청색광(400~520 nm)을 비추었을 때 잘 일어난다[13, 14].

표고 톱밥재배에서 배지의 갈변이 완료되기까지는 100일 이상의 긴 시간이 요구된다. 최근 다양한 light emitted diode (LED)를 활용한 버섯 재배기술이 발전하고 있으므로 이 빛의 특징과 그 효과를 정확히 이해할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 형광등빛과 LED 파장의 특징과 이들이 표고 균사의 갈변에 미치는 영향을 알고자 하였다.

재료 및 방법

균사배양 및 광 파장 처리

시험재료로는 산림조합중앙회 산림버섯연구센터에서 표고 톱밥재배용으로 보급하고 있는 산조 701호 품종을 사용하였다. 이 품종은 표고 톱밥재배용으로 대만에서 도입된 것으로 중고온성이며 우리나라에서 적정 재배법이 확립되어 2007년에 품종 등록된 톱밥표고 생산의 주력 품종이다[3]. 또한 이 품종을 모종으로 하여 701호, 708호, 참아람 등 우수한 품종이 계속 개발되었다[15].

먼저 균사체 준비를 위하여 산조 701호의 균사를 지름 9 cm의 감자한천배지(PDA; Difco, Detroit, MI, USA)에서 25°C로 40일간 암배양하였다. 광 파장별 처리는 두 가지 방법으로 셀로판 필터를 통해서 또는 LED 광원으로 표고 균사배양체에 비추었다. 셀로판 필터는 적색, 녹색, 청색의 것을 균사배양 플레이트를 씌우고 형광등 아래에 두었으며, LED 광원으로는 원적색광(far-red), 적색광, 녹

Table 1. Wavelength and PPFD of LED sources used for browning and primordial formation of *Lentinula edodes* mycelial culture

Light source	Wavelength (nm)	PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)
Fluorescent lamp	300~1,100	37.0
Far-red LED	732	0.945
Red LED	650	0.124
Green LED	520	0.028
Blue LED	458	0.386

PPFD, photosynthetic photon flux density; LED, light emitted diode.

색광, 청색광을 균사배양 플레이트에 비추고, LI-1800 휴대용 스펙트로 라디오미터(Li-COR Biotechnology, Lincoln, NE, USA)를 이용하여 300~1,100 nm 범위에서 각 파장별로 실제 비추어진 파장을 측정하였다. LED용 생육상자는 350 (W) × 500 (H) × 320 (D) mm 크기로 상자 간 빛의 간섭을 서로 받지 않게 하였다. LED 조광기 콘트롤러를 이용하여 원적색, 적색, 녹색, 청색으로 LED 광원(Table 1)을 고정하였다. 모든 균사배양 플레이트는 25°C로 유지되는 조직배양실 내에서 대조구는 암처리하고 각 파장의 빛은 14시간/1일 비추었고, 균사의 갈변율은 40일 후에 측정하였다. 각 처리당 9개 플레이트씩 반복하였다. 갈변 형태는 육안으로 구분하고, 갈변 면적 비율(갈변율,%)은, 갈변된 배지 면적/총 배지 면적 × 100의 식으로 계산하였다.

결과 및 고찰

광 파장별 셀로판지의 필터링 효과

백색광 형광등의 파장대 범위는 300~1,100 nm이지만, 적색, 녹색, 청색의 셀로판 필터를 씌웠을 때는 360~1,022 nm 범위로 약 17%가 좁아졌다(Figs. 1, 2). 백색 형광등의 광합성광양자밀도(photosynthetic photon flux density, PPFD)는 37.0 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 약 2,740 lux였다. 이 형광등 빛의 파장대별 PPFD는 360~404 nm에서 0.005~0.064 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 청색인 436 nm에서는 0.652 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 녹색인

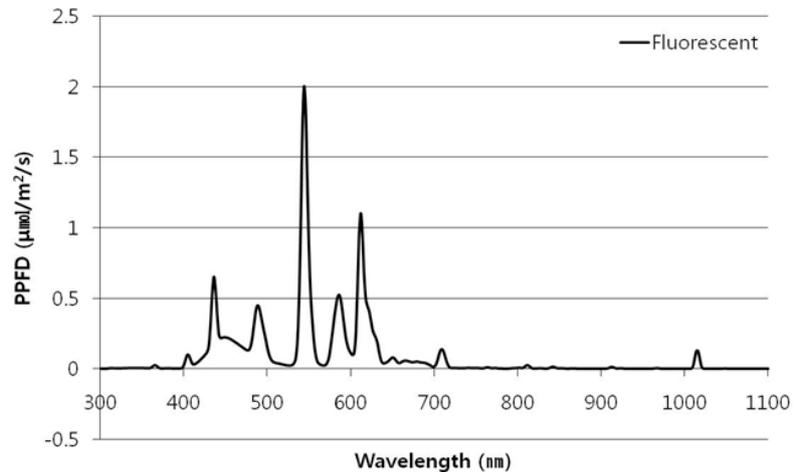


Fig. 1. Wavelengths of fluorescent lamp ranging from 300 nm to 1,100 nm. Its maximum photosynthetic photon flux density (PPFD) was 2.003 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ at 544 nm.

544 nm에서 2.003 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 적색 612 nm에서는 1.103 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 였다.

백색광에 색 필터를 씌우면서 각 파장별 PPFD 최대값은 약 42-71%가 감소되었다. 감소된 PPFD의 최대값을 보면 청색 필터를 투과한 빛은 436 nm에서 0.377 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로, 녹색 필터를 투과한 빛은 544 nm에서 0.577 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로, 그리고 적색 필터를 투과한 빛은 612 nm에서 0.513 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 낮아졌다. 이것은 셀로판 필터를 이용하여 특정 파장 구역만을 투과시킬 수 있다는 보고[14]와는 차이가 있는 것으로, 색 필터는 여러 파장대를 통과시켰지만, 그 색에 해당하는 특정 파장을 다른 파장보다는 적게 걸러내는 것이었다.

LED 빛의 광도

LED 광원의 파장별 PPFD는 원적색(far-red) 732 nm 파장에서 0.945 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 적색 650 nm 파장에서 0.124 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 녹색 520 nm 파장에서 0.028 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 청색 458 nm 파장에서 0.386 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 각각 최대값을 보였다(Fig. 3). 그 외 파장의 범위에서 PPFD는 0.01~0.1 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 였다. LED가 셀로판지보다는 선명한 범위의 빛을 방출하였다. 녹색 파장의 다이오드 빛이 표고 균사생장을 촉진시킬 수 있으므로[16] 원하는 파장대를 얻기에는 LED 광원이 더 효율적이라고 생각되었다.

광에 의한 균사체의 갈변

표고 균사의 갈변에는 광처리가 절대적으로 필요하였으며 그 정도는 광의 종류와 광 파장에 따라 달랐다. 배양된 표고 균사체의 갈변 정도는, 40일간 형광등 처리구에서 64%였지만, 무처리구에서는 5% 내외였다(Fig. 4). 이번 실험에서는 갈변에 필요한 광처리 시간과 강도를 밝히지는 못하였지만, Tang 등[10]에 의하면, 표고 균사를 30~60일간 암배양하였을 때는 전혀 갈변되지 않으나, 50일간 매일 12시간씩 광처리 받은 균사체는 갈변되었다.

한편 빛뿐만 아니라 공기도 표고 균사의 갈변을 촉진시킨다. 빛과 공기는 표고 배지의 갈변을 촉진시키는 중요한 요인이며, 균사배양이 잘 이루어진 배지는 빛과 산소에 노출되면 표면에 갈색 또는 암갈색의 피막이 형성된다[12]. 톱밥배지의 봉지 내부에서 표고 균사생장으로 생긴 용기는 균사

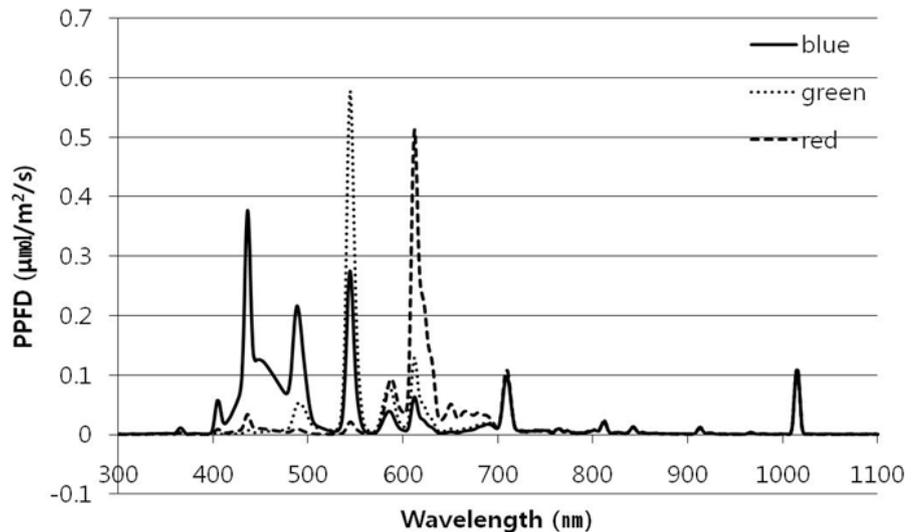


Fig. 2. Wavelengths of fluorescent lamp penetrated through cellophane filter ranging from 300 nm to 1,100 nm. Each light (red, green, blue) had its own wavelength in which the maximum photosynthetic photon flux density (PPFD) value was found.

막과 배양봉지 사이에 공간을 형성하여 공기의 순환을 증진시키고 균사막의 갈변화를 촉진시켰다 [17]. 균사 갈변의 시작은 빛을 처리한 후 25~30일째부터였고, 충분히 갈변시키기 위해서는 200 Lux 이상의 광이 필요한데, 이에 직접 관련된 주요 효소는 티로시나제 효소[18]로, 이것은 표고 자실체의 주름살에서 멜라닌 생성에도 관여한다[19]. 표고 균사의 갈변층은 갈색의 짧은 균사가 치밀하게 형성된 것으로 균사생장이 멈춘 것이다. 이 갈변층은 두께가 0.34 ± 0.04 mm로, 표면에서는 표고 균사가 치밀하게 분지하여 망상을 형성하고, 그 아래에는 흰색의 탄력 있는 균사층이 형성되어 있다[20, 21].

표고 톱밥배지에서 빛으로 유도되는 갈변 관련 단백질의 기능은, 빛을 수용하거나, 빛 신호를 전

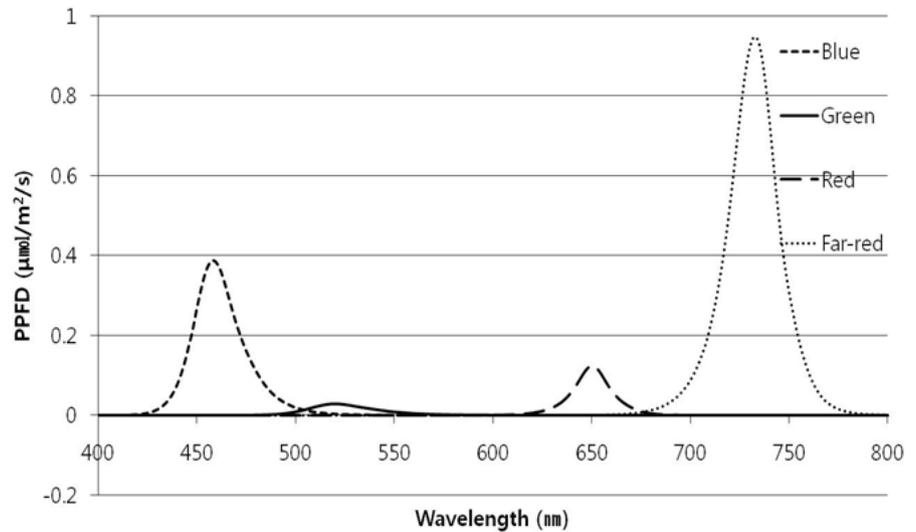


Fig. 3. Photosynthetically active photon flux density (PPFD) under various wavelengths of light emitted diode (LED) lamp in far-red, red, green and blue. The maximum PPFD was at 732 nm by far-red, 650 nm by red, 520 nm by green, and 458 nm by blue.

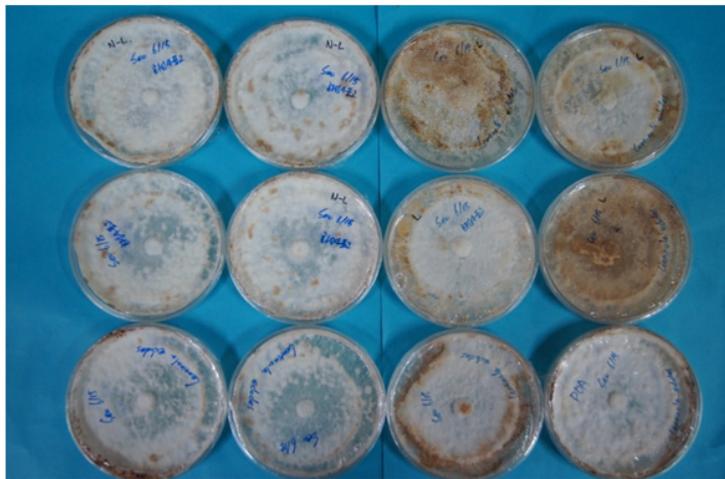


Fig. 4. Browning of *Lentinula edodes* mycelial depending on existence of light. Browning occurred in the non-irradiated medium by 5% only of the colony area (left six plates), and browning occurred in the irradiated medium by 64% of the colony area (right six plates).

달하거나, 색소를 형성하는 과정과 관련된다[10]. 또한 갈변 배지와 미갈변 배지에서 차이가 나는 73 개 단백질에서 52개의 단백질 종류를 파악한 결과, 이중 23개는 갈변 배지에서 증가하였고, 특히 네 가지의 뉴클레시드 이인산 키나아제가 2배 이상 증가하였는데, 이들은 빛 신호 전달과 관련된 단백질이다[22]. 티로시나제 효소와 과산화 효소는 갈변이 진행될수록 활성이 증가하는데, 전자는 갈변 순간에 높은 활성을 나타내고 후자는 균사배양 기간이 길어짐에 따라 증가하는 경향이 있다[18, 23]. 표고 균사의 갈변은 빛의 자극으로 생성된 효소와 관련되었다. 이들 효소로는 페놀 산화효소[24], 티로시나제, 라카제[25]와 퍼옥시다제 등[26]이 있으며, 이들은 과일과 채소류 등 음식물[27]에서도 갈변과 멜라닌화를 일으킨다. 이 중에서 특히 페놀 산화효소는 표고 균사의 갈변 과정 중에 증가되고 [28], 라카제는 리그닌 분해와 착색 그리고 포자 형성에 작용한다[29].

그 외 갈변의 요인에는 경쟁미생물과 병원균도 있다. 표고 균사가 *Trichoderma* 같은 병원균이나 유전형질이 다른 표고 균주와 접촉하였을 때에도 갈변이 일어난다[30]. 표고 골목 내에 병원균인 *Trichoderma*속 균이 침입하면 표고 균사는 갈색으로 대선막을 형성하며, 이때 갈변을 촉진시키는 효소는 폴리페놀 산화효소이고 어린 골목일수록 효소 활성이 높다[31].

광 파장에 따른 균사체의 갈변

LED 파장별 표고 균사체의 갈변율은 녹색 파장에서 53.8%, 청색에서 57.3%, 형광등에서 64.0%로 높았으나, 원적색 파장에서는 0.02%와 적색 파장에서는 1.5%로 매우 낮았다(Table 2, Fig. 4). 이 결과는 광처리하지 않았을 때는 갈변이 전혀 일어나지 않았으며 청색광은 갈변을 촉진시킨다[32]는 결과와 일치하였다. 본 시험에서 갈변은 모두 균총의 가장자리부터 나타났고, 파장에 따라서 갈변의 형태가 달라지지는 않았다(Fig. 5).

광 파장은 배지의 갈변뿐만 아니라 배지 표면의 균사생장에도 영향을 주었다. 625 nm 이상 파장대인 원적색과 적색 LED 광원을 받은 균사는 갈변되지 않았고 배지 표면의 균사들이 공기 중으로 옷자라면서 뭉쳐져서 울퉁불퉁하게 되었다.(Fig. 6A). 반면에 550 nm 이하 파장대인 녹색, 청색 LED 광원을 받은 균사들은 가장자리부터 갈변하면서 배지표면이 편평하게 되었다.(Fig. 6B).

미갈변 균사와 갈변 균사의 큰 차이는 색깔이지만, 생장하는 균사와 죽은 균사와의 차이이기도 하다. 적색 파장대에서 미갈변 균사들은, 대부분이 활성이 있고 생장하는 것들로서 콜로니 표면이 융단처럼 자라고 있었다(Fig. 6C). 이 미갈변 균사들은 흰색이며 굵기는 5~40 μm 범위가 넓었으나(Fig. 6E), 특히 정단부가 둥근 5~7 μm 굵기의 것이 많고, 세포벽 두께는 1 μm 미만으로 얇고 탄력이 있으며, 대부분은 세포 내부가 원형질로 가득 차 있었고, 격막 부위에서는 연결 격벽이 뚜렷하게 형성되었으며, 액포가 넓은 것은 가끔 있고, 세포 속이 비어 있는 것은 아주 드물었다.

반면에 녹색~청색 파장대에서 갈변 균사들은 모두가 세포벽이 두껍고 내용물이 없는 죽은 것들로 탄력이 없이 딱딱하며, 잎이 없는 나무 가지 모양 부정형으로 콜로니 표면을 뺨뺨하게 덮고 있었다(Fig. 6D). 이 갈변 균사들은 갈색으로 굵기는 5~30 μm 범위였고, 세포벽 두께는 2~4 μm 로 두껍게

Table 2. Browning area rate (%) in *Lentinula edodes* mycelial culture plates irradiated with various light wavelengths

	Far-red (702~760 nm)	Red (646~654 nm)	Green (502~546 nm)	Blue (442~480 nm)	Fluorescent (300~1,100 nm)
Browning rate (%) mean \pm S.D.	0.02 \pm 0.07 ^a	1.5 \pm 2.4 ^a	53.8 \pm 40.1 ^b	57.3 \pm 30.1 ^b	64.0 \pm 24.3 ^b

^{a, b}, different at $p = 0.05$ by Duncan's multiple range test.

S.D, standard deviation.

뚜렷하게 보였으며, 연결 껍질이 뚜렷하며, 세포의 속은 완전히 비어 있었다(Fig. 6F).

한편 빛이 표고 균사체의 생장에 미친 연구에 의하면 여러 파장의 LED를 12일간 하루 1분씩, 0.4 W/m^2 로 빛에 노출하였을 때, 표고 균사체의 건생물량은 녹색, 청색, 적색, 무광처리 순으로 높았으며, 가장 영향력이 높은 녹색 LED에서 균체량은 무광처리의 1.6배였다[16]. 영지 액체배양 시에는 청색광(425~475 nm)에서 균사체 생산량이 가장 많았고[33], 느타리버섯의 균사체 생성 및 원기형성에서 최적파장은 340~500 nm 범위였다[34].

표고 톱밥재배에서 빛의 활용

빛에 의한 표고 균사의 갈변과 원기형성 현상을 버섯재배에 적용하는 것이 중요하다. 표고 균사가 톱밥조직을 충분히 분해하여 균사체 내에 에너지와 양분을 축적한 후에 배지 표면에 갈변층을 형성하면, 그 갈변층 아래에서 활력이 높은 표고 균사체가 보호되고 수분이 유지되어서 버섯의 자실체 발생과 발달에 적합한 조건이 조성된다.

빛은 비광합성 생물인 버섯의 성장과 생식에 에너지원은 아니지만, 중요한 환경적 신호로서 큰 영향을 미친다. 광 센서인 색소 단백질(chromoproteins)은 저분자량 복합체로 특정한 파장을 흡수하고 균류의 반응을 유도한다. 균류는 주로 근자외선과 청색광에 의하여 조절되고, 이들의 광수용체는 청색광이나 자외선-A 및 자외선-B의 흡광색소이며, 몇몇 균류 종은 황적색광에 의해서도 영향을 받는다[35].

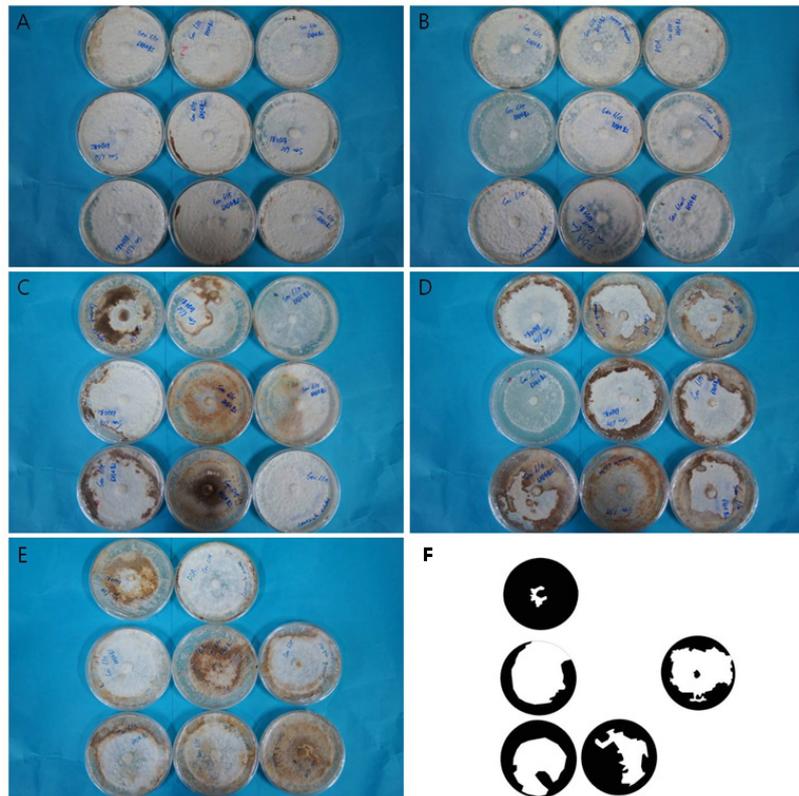


Fig. 5. Effects of light wavelengths on browning of *Lentinula edodes* mycelia cultured in potato dextrose agar (PDA) medium. A, In far-red (702~760 nm); B, Red (646~654 nm); C, Green (502~546 nm); D, Blue (442~480 nm); E, Fluorescent light (300~1,100 nm); F, Brown portion shown as black under fluorescent light.

표고 균사체는 빛과 산소에 노출되면 스스로를 보호하기 위해 표면에 갈색 또는 암갈색의 피막을 형성하는데, 이는 수피와 유사한 기능을 한다. 이 갈변 표면층은 수분 유지와 병원균 침입 방지, 그리고 봉지 내 측면 발생을 억제하는데 중요하다[12, 23]. 따라서 배지 전체에 갈변이 고루 잘 될수록 버섯의 품질이 좋아지고 배지의 수명도 늘어난다[8]. 느타리버섯도 암조건에서 생육하면 착색이 되지 않고 갓이 거의 형성되지 않지만, 30~100 Lux의 광을 조사했을 때는 대가 길고 크기도 일정하게 된다[9].

하지만 표고 톱밥배지의 초기 배양 단계에는 가급적 빛(인공광, 자연광)을 차단하여 균사가 안정적으로 성장할 수 있도록 해야 한다. 표고버섯 품종 중 하나인 참아람은 배양 초기에 빛에 노출되면 균사체가 갈변되지 않으므로 배지 품질을 유지하기 어렵고, 버섯 발생도 잘 되지 않게 된다[3]. 그리고 상업용으로 생산되는 참송이라는 품종은 빛을 쬐어도 갈변이 되지 않는다. 이와 같이 표고품종에 따라 빛에 대한 반응이 다른 특성들을 이해하기 위해서는 여러 품종을 가지고 더욱 깊이 연구할 필요가 있다.

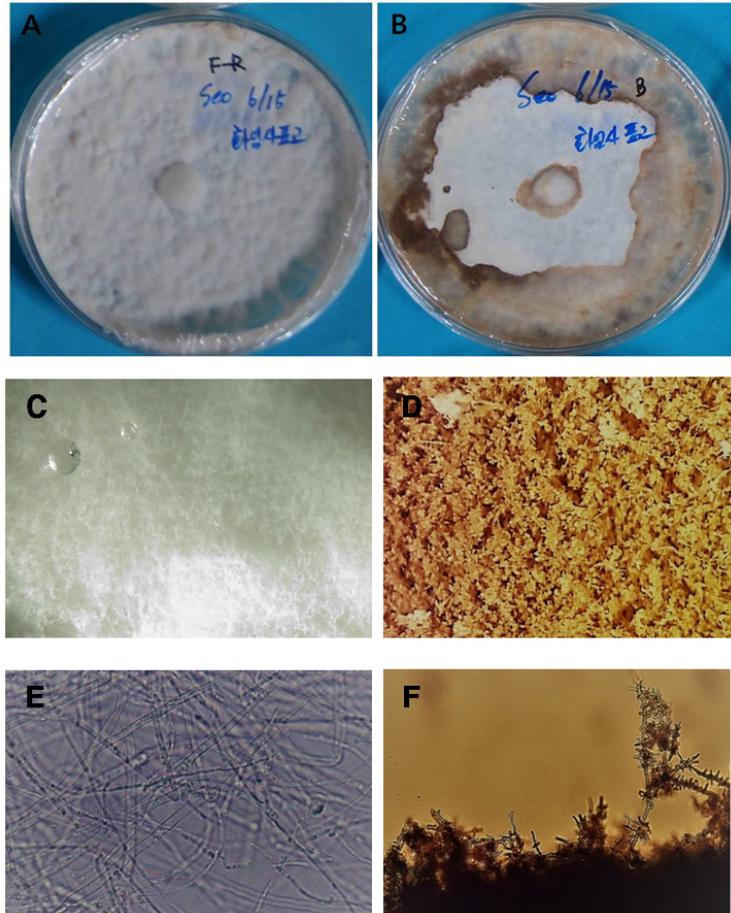


Fig. 6. White and brown mycelia of *Lentinula edodes* cultured under different light wavelengths. A, White bumpy colony under red light (646~654 nm); B, Brown colony under blue light (442~480 nm); C, Enlarged white cottony colony surface, x 20; D, Enlarged brown colony surface, x 20; E, Soft thin wall hyaline hyphae on white colony, x 600; F, Hard thick wall brown hyphae on brown colony surface, x 400.

적요

표고 균사체의 갈변은 균사배양체의 오염과 수분 손실을 방지하는데 매우 효과적이다. 광과 광 파장이 표고 산조701호 품종의 균사체 갈변에 미치는 영향과 갈변 균사의 특징을 이해하고자 하였다. 표고 균사체를 감자한천배지에서 암배양한 후 적색, 녹색, 청색의 색 셀로판 필터를 덮거나, 원적색 (far-red), 적색, 녹색, 청색의 light emitted diode (LED)를 매일 14시간씩 40일간 비춘 후 균사배양체의 갈변 면적 비율(갈변율)과 갈변 균사의 특징을 조사하였다. 파장대 범위가 300~1,100 nm인 백색 형광등 빛은 세 가지 각각의 색 셀로판을 통과하면서 360~1,022 nm로 좁아졌고 각 파장별로 photosynthetic photon flux density (PPFD)는 42~71%가 감소하였다. 형광등 빛 처리로 균사체의 갈변율은 면적비율로 평균 64%였으나, 빛을 받지 않은 균사체의 갈변율은 5%에 지나지 않았다. 광 파장별로 표고 균사체의 갈변율은 원적색에서 0.02%, 적색에서 1.5%, 녹색에서 53.8%, 청색에서 57.3%였다. 그리고 흰색의 미갈변 표고 균사는 세포벽이 1 μm 미만으로 얇고 원형질이 들어찬 성장하는 것이었다. 이에 반하여, 갈변층의 균사는 세포벽이 2~4 μm 으로 두껍고 세포 내용물이 없는 죽은 것으로 탄력이 없이 단단한 부정형의 구조체였다. 결론적으로 녹색~청색 파장의 빛으로 촉진된 표고 균사의 갈변층은 죽은 조직이지만 그 아래 내부 활력 균사체를 보호하는 중요한 기능층이었다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was carried out with the support of R&D Program for Forest Science Technology (Project No. S121315L120100, 2014068C10-1719-AA03) provided by Korea Forest Service (Korea Forestry Promotion Institute). The authors are thankful to Forestry Mushroom Research Center for providing Sanjo 701ho culture.

REFERENCES

1. Park WC, Ko HK, Kim SC. Pyogo. In: Yoo YB, editor. Mushroom sciences crop details. Seoul: Kyohaksa; 2015. p. 199-238.
2. Park YA, Lee KT, Bak WC, Kim MK, Ka KH, Koo CD. Eritadenin contents analysis in various strains of *Lentinula edodes* using LC-MS/MS. Kor J Mycol 2011;39:239-42.
3. Forest Mushroom Research Center. Oak mushroom production technology. Yeosu: Forest Mushroom Research Center; 2015.
4. Korea Forest Service. Production of forest products. Daejeon: Korea Forest Service; 2018.
5. Tisch D, Schmoll M. Light regulation of metabolic pathways in fungi. Appl Microbiol Biotechnol 2010;85:1259-77.
6. Ellis RJ, Bragdon GA, Schlosser BJ. Properties of the blue light requirements for primordia initiation and basidiocarp maturation in *Coprinus stercorarius*. Mycol Res 1999;103:779-84.
7. Lee J, Yoon KH, Shin WS. Effect of UV-B irradiation on the content of vitamin D2, color and flavor pattern in *Lentinus edodes*. Korean J Food Cook Sci 2003;19:121-6.
8. Park WC, Yoon GH, Kim SC, Hong GS. New cultivation technology for sustainable production of *Lentinula edodes*. Seoul: Korea Forest Research Institute; 2008.
9. Inatomi S, Namba K, Kodaira R, Okazaki M. Effects of light on the initiation and development of fruit-bodies in commercial cultivation of *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kummer. Mushroom Sci Biotechnol 2000;8:183-9.

10. Tang LH, Jian HH, Song CY, Bao DP, Shang XD, Wu DQ, Tan Q, Zhang XH. Transcriptome analysis of candidate genes and signaling pathways associated with light-induced brown film formation in *Lentinula edodes*. *Appl Microbiol Biotechnol* 2013;97:4977-89.
11. Leatham GF, Stahmann MA. Effect of light and aeration on fruiting of *Lentinula edodes*. *Trans Br Mycol Soc* 1987;88:9-20.
12. Forest Mushroom Research Center. Oak mushroom production technology. Yeosu: Forest Mushroom Research Center; 2009.
13. Wessels JG. Development of fruit bodies in Homobasidiomycetes. In: Wessels JG, Meinhardt F, editors. *Growth, differentiation and sexuality*. Berlin: Springer; 1994. p. 351-66.
14. www.forest.go.kr. Forest Press Release. 2010.2.23
15. Hong DH, Kim SW. Experiments on selective transmittance and composition of light using cellophane filter. *J Korean Soc Imaging Sci Technol* 2011;17:1-6.
16. Glukhova LB, Sokolyanskaya LO, Plotnikov EV, Gerasimchuk AL, Karnachuk OV, Solioz M, Karnachuk RA. Increased mycelial biomass production by *Lentinula edodes* intermittently illuminated by green light emitting diodes. *Biotechnol Lett* 2014;36:2283-9.
17. Tokimoto K, Kawai A. Nutritional aspects on fruit-body development in replacement cultures of *Lentinula edodes* (Berk) Sing. *Rep Tottori Mycol Inst* 1975;12:25-30.
18. Kim YH, Jhune CS, Park SC, You CH, Sung JM, Kong WS. The changes in intracellular enzyme during the mycelial browning of *Lentinula edodes* (Berkeley) Sing. *J Mushroom* 2009;7:110-4.
19. Sato T, Kanda K, Okawa K, Takahashi M, Watanabe H, Hirano T, Yaegashi K, Sakamoto Y, Uchimiya H. The tyrosinase-encoding gene of *Lentinula edodes*, *Letyr*, is abundantly expressed in the gills of the fruit-body during post-harvest preservation. *Biosci Biotechnol Biochem* 2009;73:1042-7.
20. Koo CD, Lee SJ, Lee HY. Morphological characteristics of decomposition and browning of oak sawdust medium for ground bed cultivation of *Lentinula edodes*. *Kor J Mycol* 2013;41:85-90.
21. Koo CD, Lee HY, Lee HS, Park YW, Kim JS. Cultivation processes and yield of *Lentinula edodes* on surface sawdust bed. *J Korean For Soc* 2015;104:434-42.
22. Tang LH, Tan Q, Bao DP, Zhang XH, Jian HH, Li Y, Yang RH, Wang Y. Comparative proteomic analysis of light-induced mycelial brown film formation in *Lentinula edodes*. *Biomed Res Int* 2016;2016:5837293.
23. Kim YH, Jhune CS, Park SC, You CH, Sung JM, Kong WS. The effect of environmental condition to the mycelial browning of *Lentinula edodes* (Berkeley) Sing. during sawdust bag cultivation. *J Mushroom Sci Prod* 2009;7:115-21.
24. Mayer AM. Polyphenol oxidases in plant-recent progress. *Phytochemistry* 1986;26:11-20.
25. Mayer AM, Harel E. Polyphenoloxidases and their significance in fruits and vegetables. In: Fox PF, editor. *Food enzymology*. New York: Elsevier Applied Science; 1991. p. 373-98.
26. Vámos-Vigyázó L. Polyphenol oxidase and peroxidases in fruits and vegetables. *Crit Rev Food Sci Nutr* 1981;15:49-127.
27. Robinson DS. Peroxidases and their significance in fruits and vegetables. In: Fox PF, editor. *Food enzymology*. New York: Elsevier Applied Science; 1991. p. 399-426.
28. Kim YH, Jhune CS, Park SC, You CH, Sung JM, Kong WS. Cultural characteristics on collected strains of *Lentinula edodes* and correlation with mycelial browning. *J Mushroom Sci Prod* 2011;9:145-54.
29. Devries OM, Kooistra WH, Wessels JG. Formation of an extracellular laccase by a

- Schizophyllum commune* dikaryon. J Gen Microbiol 1986;132:2817-26.
30. Savoie JM, Mata G, Billette C. Extracellular laccase production during hyphal interactions between *Tricholoma* sp. and shiitake, *Lentinula edodes*. Appl Microbiol Biotechnol 1998;49:589-93.
 31. Tokimoto K, Fukuda M. Changes in enzyme-activities in bedlogs of *Lentinula edodes* accompanying fruit body development. J Jpn Wood Res Soc 1997;43:444-9.
 32. Leatham GF, Kirk TK. Regulation of ligninolytic activity by nutrient nitrogen in white-rot Basidiomycetes. FEMS Microbiol Lett 1983;16:65-7.
 33. Zapata PA, Rojas DF, Ramirez DA, Fernandez C, Atehortua L. 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). Int J Med Mushrooms 2009;11:93-9.
 34. Lee KD, Kang BS, Park YK. An action spectrum for light-induced mycelial growth and primordium formation in *Pleurotus ostreatus*. Korean J Life Sci 1996;6:193-7.
 35. Kumagai T. Photocontrol of fungal development. Photochem Photobiol 1988;47:889-96.