

LED광원이 큰느타리버섯 자실체의 발생, 생육, 에르고스테롤 함량 및 항산화활성에 미치는 영향

장명준* · 이윤혜 · 김정한 · 주영철

경기도농업기술원 버섯연구소

Effect of LED Light on Primordium Formation, Morphological Properties, Ergosterol Content and Antioxidant Activity of Fruit Body in *Pleurotus eryngii*

Myoung-Jun Jang*, Yun-Hae Lee, Jeong-Han Kim and Young-Cheol Ju

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

(Received 27, August 2011., 1st Revised 22, September 2011., Accepted 28, October 2011)

ABSTRACT : Light wavelength is the major factor of fruit body development associated with mushroom cultivation, but its wavelength range in *Pleurotus eryngii* is poorly understood. Using four kinds of light emitting diode (LED) including blue (475 nm), green (525 nm), yellowed (590 nm) and red (660 nm), we investigated to elucidate suitable light wavelength during primordium formation and fruit body development of *P. eryngii* on bottle cultivation. Primordia formation did not occur in blue light and red light. The morphological properties of fruit body in fluorescent lamp and blue light irradiation were showed thicker and larger pileus than those in other LEDs. However, length of stipe in fluorescent lamp and blue light was shorter than that of other LEDs. The DPPH radical was high in blue light, green light, and yellow light except for red light, and the polyphenol was high in four kinds of LED sources. And ergosterol was the highest in the green light. Thus, the high-quality mushroom production of *P. eryngii* is possible to green light condition considering productivity and functional materials.

KEYWORDS : Bottle cultivation, DPPH, Ergosterol, Light, Polyphenol

서 론

LED(light emitting diode)는 다양한 파장을 가진 제품이 개발되고 있으며, 현재 농업적 활용도가 높아지고 있다. 특히 LED의 주요한 특징은 환경 친화적이며, 전력절감이 우수하고, 내구연한이 긴 장점이 있다(황 등, 2004). 담자 균류 중에는 자실체 발생이 광에 의해 유기 또는 촉진되는 것이 많으며, 자실체의 분화나 발육에도 광이 효과적으로 작용하는 것으로 알려져 있고, 광이 자실체의 원기형성을 유도하는 대표적인 버섯종류로 표고, 느타리버섯 등이 있으며, 갓의 전개를 유도하는 것으로 팽이, 잣버섯 등이 있다(古川, 1992).

버섯의 생육환경조건에 미치는 광의 영향에 대한 연구 중 표고버섯 원기형성 시 청색광이 색소형성을 유도한다는 보고가 있으며(Gary와 Mark, 1987), Richard 등(1999)은 흰가루먹물버섯(*Coprinus stercorarius*)의 원기형성 및 담자과(basidiocarp)의 성장에 청색광이 영향을 미친다고 하였다. 느타리만가타리버섯의 경우 자실체의 생육기간 중 12일 동안 30 lux

가량의 LED광을 조사한 결과 청색 LED에서 갓이 커지며, 갓색이 짙어진다고 하였으며, 장파장(적색광) 영역으로 갈수록 갓의 크기는 작아지며, 갓색도 옅어진다고 하였다(Kengi *et al.*, 2002). 영지버섯은 액체배양시 청색광(425~475 nm)에서 균사체 생산량이 많았다고 하였다(Paola *et al.*, 2009).

표고버섯의 경우 톱밥배지에서 배양한 후 암조건에서는 갈변이 되지 않고, 광조건에서만 갈색으로 착색되며, 암조건에서 생육한 느타리버섯은 착색이 되지 않고 갓이 거의 형성되지 않지만, 30~100 lux의 광을 조사했을 때는 대가 길고 크기도 일정한 우수한 품질의 버섯을 생산할 수 있다(Inatomi *et al.*, 2000).

큰느타리버섯의 경우 木村(1999)이 보고한 광량에 대한 연구가 있으며, 우리나라에서는 큰느타리버섯 자실체에 미치는 광의 영향에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 앞서 연구가 진행되었던 주요 식용버섯들에 있어서 광 조건이 생육에 많은 영향을 미치고 있으며, 현재 농가에서는 버섯재배 생육과정 중 광 조절을 통하여 재배를 하고 있는 실정으로 고품질의 큰느타리버섯 생산을 위해서 적정 광 조건을 구명할 필요가 있다. 따라서 최근 작물 및 원예분야에 있어 에너지 절감 및 품질향상 등에 효과가 인정되고

*Corresponding author <E-mail : plant119@gg.go.kr>

있는 LED를 큰느타리버섯 재배에 적용하기 위해 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

시험균주 및 종균제조

시험에 사용한 균주는 경기도농업기술원 버섯연구소에서 보유하고 있는 큰느타리버섯 2호를 PDA평판배지에서 10일간 배양 한 후 접종원으로 사용하였다. 미루나무 톱밥과 미강을 혼합한 배지(80:20, v/v)를 250 ml 삼각플라스크에 약 150 g씩 담아 121°C에서 40분간 살균한 다음 냉각한 후 PDA평판배지에서 생장한 버섯 균사체를 접종하였으며, 20일간 25°C에서 배양하였다. 삼각플라스크에 넣어던 배지와 동일한 톱밥배지를 850 ml 내열성플라스틱(Polypropylene) 병에 약 500 g씩 담아 121°C에서 90분간 살균한 후 톱밥 접종원을 접종하여 30일간 배양하여 종균으로 사용하였다.

배지제조 및 생육조사

생육배지는 미송톱밥, 콘코브, 미강, 밀기울을 50:25:15:10 (v/v)의 비율로 혼합하여 사용하였고, 수분함량이 약 65% 내외가 되도록 조절하였다. 배지의 혼합과정이 끝난 후 자동입병기를 이용하여 850 ml 내열성 플라스틱병에 약 560 g씩 입병한 다음 121°C에 90분간 살균하여 냉각시키고, 냉각된 배지에 종균을 약 10~15 g씩 접종하였다. 큰느타리버섯은 40일 동안 20 ± 1°C에서 암배양한 후 균균기를 실시한 다음 버섯 생육에 적합한 환경조절 생육실에 입상하였다. 발이특성 조사를 위해 균균기 후 LED생육상자에 넣어 발이유도기간 동안 LED에 따른 발이형태를 조사한 후 폐상하였다. 그리고 생육특성 조사를 위해 생육온도 15 ± 1°C, 상대습도 90 ± 5%의 환경조건에서 발이를 유도시킨 후 LED가 설치되어 있는 생육상자로 옮겨 수확기까지의 생육형태를 조사하였으며, 생육조사방법은 농업과학기술 연구조사분석기준(농촌진흥청, 2003)에 준하여 조사하였다.

LED 광원 처리

생육상자(stainless chamber)는 950(W) × 400(H) × 1000(D) mm 크기로 상자 간 빛의 간섭을 서로 받지 않도록 제작하였다. 각각의 생육상자는 2구획으로 나누어 제작하였으며, 1구획당 2트레이(32병)를 입상하였다. 각각의 1구획당 청색, 녹색, 주황색, 적색의 LED 바를 2개씩 설치하여 생육특성을 조사하였고, 온도가 조절되는 버섯재배 생육실에 설치하여 생육온도 15 ± 1°C, 상대습도 90 ± 5%, CO₂농도 1,500 ± 100 ppm으로 설정하였으며, 생육상자내의 생육환경 조건도 동일하게 하기 위하여 챔버 후면에 배기용 팬을 달아 생육실에서 조정된 온도, 습도 및 CO₂가 생육상자 내에서도 동일하게 적용되도록 하였다. LED에 따른 버섯별 생육특성을 조사하였으며, 갓 색깔은 색차계(Minolta CR200, Japan)를 이용하여 L, a, b 값을 측정하였다. 이 때의

Table 1. LED sources used in this study

Light source	Wavelength (nm)	Photosynthetic photon flux density (umol/m ² /s)
Fluorescent lamp	- ^a	8.6
Blue LED	450	16.5
Green LED	525	2.7
Yellow LED	590	3.1
Red LED	660	8.2

^aThere is no wavelength

시험용 LED의 재원은 Table 1과 같으며, 광량은 광량조절기를 이용하여 광이 버섯에 도달하는 지점을 200 lux이하로 조절한 후 광양자속 밀도를 조사한 결과 모든 처리구에서 10 ± 1 umol/m²/s 이었고(Table 1), 대조구로 형광등 및 무광 처리구를 두었다.

에르고스테롤(Ergosterol) 함량분석

김 등(2004)의 분석방법을 응용하여 에르고스테롤을 분석하였다. 큰느타리버섯의 에르고스테롤을 정량하기 위해 동결건조하여 사용하였으며, 시료의 양은 0.3 g으로 메탄올 50 ml를 가해 10분 동안 sonicate한 후 5,000 rpm에서 10분간 원심분리를 실시하였다. 상등액을 취한 다음 에탄올 20 ml와 2 M KOH 10 ml를 넣은 후 80°C에서 1시간 동안 water bath에서 진탕하면서 비누화(saponification)시켰다. 비누화된 용액에 증류수 50 ml를 첨가한 후 분리형 깔때기를 이용하여 n-Hexane 50 ml으로 2회 추출하였다. 추출액은 40°C에서 20분간 회전감압농축기로 농축한 후 메탄올 1 ml에 녹여 -20°C에서 보관하였다. HPLC 분석은 C18 100A 5 um column(4.6 mm × 150 mm)이 장착된 Shimadzu prominence 기종을 사용하였다. 이동상 용매는 99.9% 메탄올을 상온에서 1 ml/min의 유속을 균일하게 사용하였으며 280 nm상에서 에르고스테롤의 분석을 실시하였다. 정량분석을 위한 검량선은 에르고스테롤 표준품(Sigma, 45480-10G-F)을 사용하여 위의 조건하에서 작성하였다.

라디칼소거능 및 폴리페놀 함량 분석

시료의 전자공여능 (electron donating ability; EDA)은 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH)을 사용하였다(Blois, 1958). DPPH 활성을 검정하기 위하여 자실체를 동결건조하여 분쇄한 후 분쇄시료 4 g을 사용하였다. 5,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 Miracloth로 거른 후 측정용 재료로 이용하였다. DPPH는 각각의 용매추출물 0.1 ml에 4.1 × 10⁻⁵ M의 DPPH 용액 0.9 ml를 가한 후 상온에서 10분간 반응시켜 517 nm에서 흡광도를 측정하였고(분광광도계 UV-2550, Shimadzu), 아래와 같이 계산하였다.

전자공여능(%)

$$= (1 - \text{시료첨가구의 흡광도} / \text{무첨가구의 흡광도}) \times 100$$

폴리페놀(polyphenol) 함량은 Dewanto 등의 방법(2002)에 준하여 조사하였다. 시료 1 ml에 2% Na₂CO₃용액 1 ml를 가하여 3분간 방치한 후, 50% Folin-ciocalteau's reagent 시약 0.2 ml를 가하여 반응시켜 30분간 상온에서 반응시켰다. 이 혼합물을 10분간 12,000 rpm에서 원심분리한 후, 상등액 1 ml를 취하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 폴리페놀 함량은 gallic acid를 이용하여 작성한 표준곡선으로 하여 흡광도를 측정한 후 계산하였다.

결과 및 고찰

LED 광원에 따른 큰느타리버섯의 발이특성을 조사하기 위하여 균균기 후 LED 생육상자에 입상하여 발이특성을 조사한 결과 Fig. 1과 같다. 형광등 처리구에서 갓의 형성이 가장 빨랐으며, 무광과 주황색광 처리구에서는 갓의 형성이 늦은 편이었다. 청색광 및 적색광에서는 원기가 형성되어 지지 않았다. 따라서 발이 유도기에 청색광 및 적색광은 적합하지 않은 것으로 판단되었다.

초발이 이후 수확기 까지 LED 광원이 큰느타리버섯의 갓의 색깔에 영향을 미치는 결과를 조사한 결과 Table 2와 같다. 갓의 명도값은 청색광에서 58로 형광등과 대등하였으며, 다른 처리구에 비해 가장 낮아 갓의 색이 짙은 경향이 있었다. 또한 황색도의 경우 녹색광, 주황색광 및 적색광에서 다른 처리구에 비해 가장 높았다.

Kaori 등(2005)은 맛버섯의 경우 무광 및 적색광의 갓색보다 형광등 및 청색광 영역에서 갓의 크기가 커지며 갓

Table 2. Effect of LED sources on the color of pileus

Light source	Lightness(L)	Redness(a)	Yellowness(b)
Fluorescent lamp	59b ^a	5.6a	15.7b
Darkness	66a	5.1a	16.7ab
Blue LED	58b	5.3a	14.5b
Green LED	64a	5.6a	17.9a
Yellow LED	62ab	5.9a	18.3a
Red LED	67a	5.4a	17.4a

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

색은 짙어진다고 하였는데, 본 실험에서 수행한 큰느타리버섯의 경우도 이와 유사한 결과를 나타내었다.

초발이 이후부터 수확기까지 LED 광원에 따른 생육일수 및 자실체의 생육특성을 조사한 결과는 Table 3 및 Fig. 2와 같다. 생육기간은 청색광 및 녹색광에서 16일로 형광등 처리구와 대등하였다. 갓 직경과 갓 굵기는 무광, 주황색광 및 적색광에서 가장 작아서 장파장으로 갈수록 작아지는 경향이 있었다. 그리고 대 길이는 무광, 녹색광, 주황색광 및 적색광에서 형광등 처리구 보다 길어, 장파장으로 갈수록 길어지는 경향이다.

Hideyuki 등(2005)은 큰느타리버섯의 경우 청색광(458 nm)에서 형광등 처리구에 비해 갓의 크기는 대등하며, 대 길이는 짧다고 보고하였다. 그리고 적색광(660 nm)에서는 형광등 처리구에 비해 갓은 작고 대 길이는 길다고 하였으며, 무

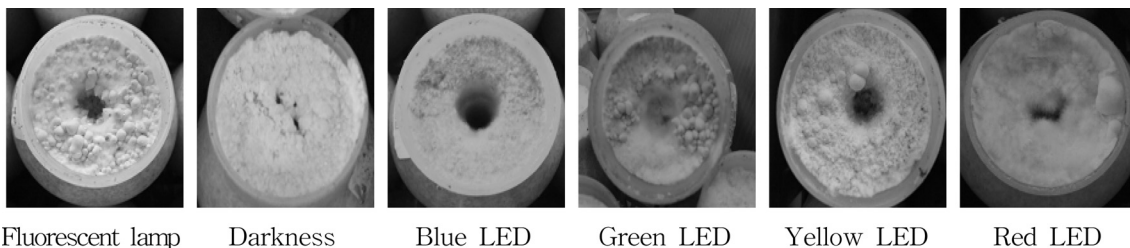


Fig. 1. Primordial properties of *P. eryngii* according to LED.

Table 3. Effect of LED sources on fruit body properties of *P. eryngii*

Light source	Growth period of fruit body (days)	Fruit body properties				
		Diameter of pileus (mm)	Thickness of pileus (mm)	Thickness of stipe (mm)	Length of stipe (mm)	Diameter of pileus /Length of stipe
Fluorescent lamp	16	53a ^a	21a	32b	111b	0.48
Darkness	19	23c	10c	38a	129a	0.18
Blue LED	16	50a	20a	27c	101c	0.50
Green LED	16	37b	17b	39a	122a	0.30
Yellow LED	19	20c	9c	34b	126a	0.16
Red LED	19	23c	10c	40a	123a	0.19

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

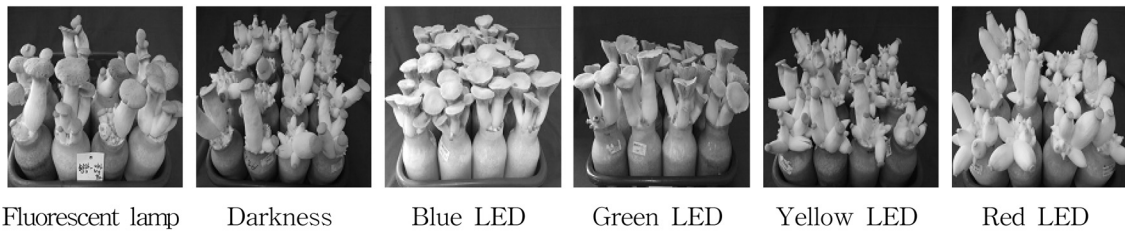


Fig. 2. Morphological properties of *P. eryngii* according to LED.

광에서는 적색광과 유사한 형태를 보인다고 하였는바, 본 실험에서도 이와 같은 결과를 나타내었다.

그리고 류 등(2006)은 큰느타리버섯의 품질을 9등급으로 제시하였으며, 대 길이가 120~130 mm일 경우 특대로 가장 우수하다고 하였으며, 하품으로 갈수록 대가 짧다고 하였는데, 본 실험에서 류 등(2006)이 제시한 품질기준에 따라 수량이 많았고, 대 길이가 가장 길었던 처리구는 녹색광이었다.

LED광원에 따른 수량성을 조사한 결과 Table 4와 같다. 수량은 청색광, 녹색광 및 적색광에서 가장 많았고, 상품 수량은 청색광 및 녹색광에서 형광등과 대등하였다. 장과 장인 주황색광과 적색광에서 수량은 형광등과 대등하였으나, 갓의 형성이 불량하여 상품수량이 낮았다.

DPPH radical은 화학적으로 유도되는 비교적 안정한 radical로서 LED에 따른 전자공여능은 Fig. 3과 같다. 적색광을 제외한 청색광, 녹색광 및 주황색광의 전자공여능은 형광등 조건 보다 높은 것으로 조사되었다. LED광원에 따른 큰느타리버섯 자실체의 총폴리페놀함량을 조사한 결과 Fig. 4와 같다. 총 폴리페놀함량은 형광등 및 무광조건 보다 LED 처리구에서 성장한 큰느타리버섯 자실체에서 모두 높은 것으로 조사되었다. LED광원에 따른 큰느타리버섯 자실체의 에르고스테롤을 조사한 결과 녹색광에서 303.4 ppm으로 가장 높았으며, 그 다음으로 청색광이 높게 조사되었다.

라디칼소거능 및 총폴리페놀함량의 경우 LED 광원에 따라 일정한 경향성을 보였으나 에르고스테롤 함량의 경우 청색광 및 녹색광에서 높아지는 경향을 나타내어 에르고스테롤은 특정 파장 영역에서만 증가되는 것으로 판단되

Table 4. Effect of LED sources on yield properties of *P. eryngii*

Light source	No. of available stipes (No./850ml)	Yields (g/850 ml)	Commercial Yields (g/850 ml)
Fluorescent lamp	4.0 ^a	98 ^b	93 ^{ab}
Darkness	1.5 ^c	86 ^c	74 ^c
Blue LED	3.7 ^a	110 ^a	105 ^a
Green LED	2.6 ^b	102 ^{ab}	98 ^{ab}
Yellow LED	2.4 ^b	91 ^b	51 ^d
Red LED	1.6 ^c	101 ^{ab}	56 ^d

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

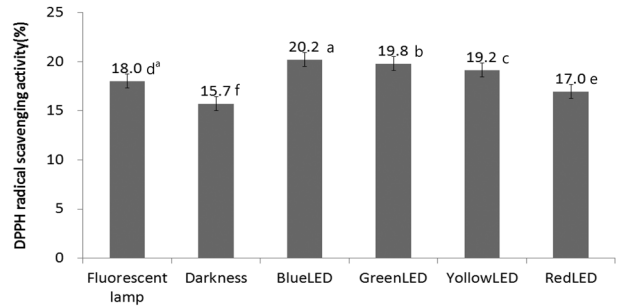


Fig. 3. DPPH radical scavenging activity of *P. eryngii* according to light sources. ^aValues followed by the same letter do not differ significantly at $p > 0.05$ according to Duncan's multiple range test.

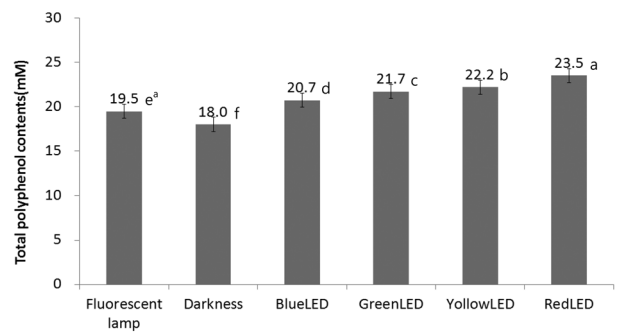


Fig. 4. Total polyphenol contents of *P. eryngii* according to light sources. ^aValues followed by the same letter do not differ significantly at $p > 0.05$ according to Duncan's multiple range test.

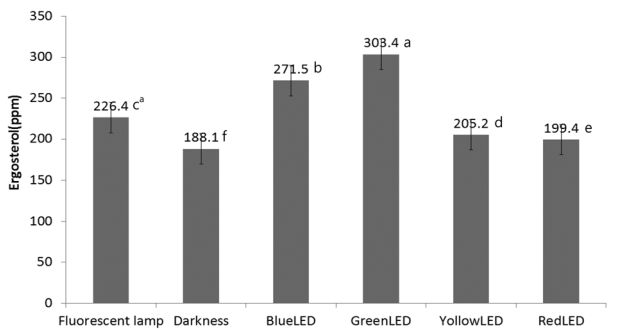


Fig. 5. The ergosterol content of *P. eryngii* according to light sources. ^aValues followed by the same letter do not differ significantly at $p > 0.05$ according to Duncan's multiple range test.

었다. 또한 이러한 결과는 특정 광원에 대한 큰느타리버섯 자실체에 광수용성 인자가 있을 것으로 판단되고 이러한 인자들의 생리적 활동에 의하여 에르고스테롤의 함량 및 항산화성분을 증가시킨 것으로 추정되며, 이 후 큰느타리버섯의 광수용성 인자에 대한 추가시험이 요구된다.

그리고 UV 광원에 의하여 느타리버섯, 표고버섯 및 양송이버섯의 비타민 D₂가 높아진다고 하였는데(이 등, 2003; 이, 2007; Anja *et al.*, 2007; Koyyalamudia *et al.*, 2009), 본 실험에서는 단과장 영역인 청색광 및 녹색광에서 비타민 D₂의 전구물질인 에르고스테롤의 함량이 높았다. 따라서 UV 광원 처리에 대한 큰느타리버섯의 에르고스테롤 함량 변화에 대한 연구가 요구되며, 이상의 결과 녹색광을 큰느타리버섯에 적용할 수 있을 것으로 판단되었다.

적요

LED광원에 대한 큰느타리버섯의 생육특성, 에르고스테롤 및 항산화활성에 미치는 영향을 조사하였다. 원기형성기에 LED광원을 조사한 결과 청색광 및 적색광에서 원기가 형성되지 않았다. 초발이 이후 LED광원을 조사시 형광등과 청색광에서 다른 처리구 보다 갓의 크기는 커지며, 갓의 굽기가 굽어지는 경향이였다. 그러나 대의 길이는 형광등과 청색광에서 다른 처리구 보다 짧았다. 생육특성 중 상품수량은 청색광 및 녹색광에서 형광등과 대등하였다. DPPH는 청색광, 녹색광 및 주황색광에서 가장 높았고, 총폴리페놀 함량은 LED 처리구 모두 형광등 처리구보다 높았으며, 에르고스테롤은 녹색광에서 가장 높았다. 이상의 결과 큰느타리버섯의 고품질 버섯 생산을 위해서는 녹색광이 적합하였다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 지역특화기술개발연구사업 연구비지원(과제번호PJ007311)으로 수행되었으며, 이에 감사함을 전합니다.

참고문헌

김명길, 윤갑희, 박원철, 박현, 최준원, 이재원, 이봉훈. 2004. 표고균주의 배양기간과 자실체 발생기간에 따른 에르고스테롤 변화와 효소적 특성. *임산에너지*. 23:21-28.
농촌진흥청. 2003. 농업과학기술연구조사 기준. pp. 721-723.

류재산, 김민근, 송근우, 이상대, 이춘희, 노치용, 이현숙. 2006. 큰느타리버섯의 품질기준에 관한 연구. *한국버섯학회지*. 4:129-134.
이진실. 2007. 자외선 B파 조사가 느타리버섯의 비타민 D₂ 함량, 색도 및 향패턴에 미치는 영향. *한국식품조리과학회지*. 23:99-106.
이진실, 윤갑희, 신원선. 2003. 자외선 B파 조사가 표고버섯의 비타민 D₂ 함량, 색도 및 향패턴에 미치는 영향. *한국조리과학회지*. 19:121-126.
황명근, 허창수, 서유진. 2004. SMD형 Y/G/W HB LED의 광특성 비교분석. *조명·전기설비학회논문지*. 18:15-21.
古川久彦. 1992. *きのこ學*. 共立出版(株). pp. 89-92.
木村一. 1999. *基礎からのエリノギ栽培安定生産技術へのアプローチ*. 農村文化社. pp. 197-200.
Anja, T., Pares, C. D., Anders, S. and Margaretha, J. 2007. Sterol and Vitamin D₂ concentrations in cultivated and wild grown mushrooms: Effects of UV irradiation. *Swiss Society of Food Science and Technology* 40:815-822.
Blois, M. S. 1958. Antioxidant determination by the use of stable free radical. *Nature* 26:1199-1204.
Dewanto, V., Wu, X. and Liu, R. H. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J. Agric Food Chem* 50:4959-4964.
Gary, F. L. and Mark, A. S. 1987. Effect of light and aeration on fruiting of *Lentinula edodes*. *Transactions of the British Mycological Society* 88:9-20.
Hideyuki, Y., Daisuke, M., Junji, H., Toshio, M. Kouzou, N. and Yasuo, O. 2005. Effects of wavelength of light on the bio-electric potential and the morphogenetic properties of *Pleurotus eryngii*. *J. SHITA* 17:175-181.
Inatomi, S., Namba, K., Kodaira, R. and Okazaki, M. 2000. Effects of light on the initiation and development of fruit-bodies in commercial cultivation of *Pleurotus ostreatus* (Jacq;Fr.) Kummer. *Mush. Sci. Biotech.* 8:183-189.(In Japanese)
Kaori, S., Katsunori, J., Koji, S., Hidehiko, N., Norimitsu, F., Toshio, O., Junji, H. and 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. and Mitsuo, O. 2002. Effect of LED lights on fruit-body production in *Hypsizygus marmoreus*. *Mush. Sci. Biotech.* 10:141-146.
Koyyalamudia, S. R., Jeong, S.C., Song, C.H., Cho, K. Y. and Pang, G. 2009. Vitamin D₂ formation and bioavailability from *Agaricus bisporus* button mushroom treated with ultraviolet irradiation. *J. Agric. Food Chem.* 57:3351-3355.
Paola, A. Z., Diego, F. R., David, A. R. Carlos, F. and 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. (Aphyllphoromycetidae). *The International Journal of Medicinal Mushrooms* 11:93-99.
Richard, J. E., Gwynne, A. B. and Bethanee, F. S. 1999. Properties of blue light requirements for primordia initiation and basidicarp maturation in *Coprinus stercorarius*. *The British Mycological Society* 103:779-784.