

표고 톱밥배지 재배시 녹색LED 광량이 자실체 생육에 미치는 영향

백일선* · 정윤경 · 이윤혜 · 김정한 · 지정현

경기도농업기술원버섯연구소

Effects of fruit body characteristics of *Lentinula edodes* according to irradiation intensity of the green LED with sawdust substrate cultivation

Il-Sun Baek*, Yun-Kyeong Jeong, Yun-Hae Lee, Jeong-Han Kim and Jeong-Hyun Chi

Mushroom Research Institute, GARES, Gyeonggi Province Gwang-Ju Korea, 464-873

ABSTRACT: In previous studies, we selected the green LED(light emitting diodes) for suitable wavelength of the light by higher commercial yields and lower ratio of the abnormal fruit body in *Lentinula edodes*. In this study, we aimed to select efficient irradiation intensity of the green LED. Stronger irradiation intensity of the green LED resulted in more polyphenol content of fruit body. And Polyphenol content of fluorescent lamp was similar to that of the green LED 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Ergosterol content of the green LED 5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ was showed higher 2.1 times than that of the fluorescent lamp. In four level of irradiation intensity, 5, 10, 15, 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ there was no big difference in characteristics of the fruit body. However the yield of fruit body in the green LED 5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ is higher than the others. In addition, The amount of electricity used of the green LED 5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ was reduced 15.9% than that of the fluorescent lamp. In conclusion, we selected 5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ for suitable irradiation intensity in *Lentinula edodes* with sawdust substrate cultivation.

KEYWORDS: Ergosterol, Green LED, Irradiation intensity, *Lentinula edodes*, Polyphenol

서론

표고재배는 최근 원목재배에서 톱밥재배 농가로 전환되고 있는 실정이며 세계적으로 생산과 소비량이 증가하고 있다. 현재 표고재배는 주로 하우스에서 이루어지고 있지

만 연중 안정 생산을 위해서는 공조시설 재배가 필수적이며 그에 대한 재배 기술이 필요한 시점이다. 온·습도 및 이산화탄소 농도, 광조절 등 재배환경 제어로 버섯생장 및 품질 향상에 대한 연구가 필요하며 그에 대한 국내 연구는 미미하다. 광(光)은 버섯에 있어 자실체 형성과 밀접하게 관련되어 있으며 실제로 다양한 재배버섯의 품질 및 수량을 증가시키는 데 큰 역할을 하고, 표고버섯, 느타리버섯, 팽이버섯, 만가닥버섯, 잎새버섯 등 다양한 재배 버섯의 원기 형성에도 영향을 준다(Leatham G.F. and Stahmann M.A, 1987). 버섯생육과 광조건에 관한 선행연구결과로는 느타리버섯과 느티만가닥버섯에서 청색 LED, 큰느타리버섯에선 녹색 LED가 자실체 생육에 적합하다는 연구결과가 보고되었고(Jang *et al.*, 2010), 표고버섯에 자외선조사로 에르고스테롤이 에르고칼시페롤(Vit.D2)로 전환되어 그 함량이 증가된다는 보고가 있었다(Park *et al.*, 2001). 최근 저가격화에 따라 LED(Light-Emitting Diode)를 식물 재배에 인공광원으로 이용하거나 느타리버섯 재배농가에서 활용하고 있는 사례가 늘어나고 있다.

J. Mushrooms 2014 December, 12(4):270-274
<http://dx.doi.org/10.14480/JM.2014.12.4.270>
 Print ISSN 1738-0294, Online ISSN 2288-8853
 © The Korean Society of Mushroom Science

*Corresponding author
 E-mail : bisun@gg.go.kr
 Tel : +82-31-229-6123, Fax : +82-31-229-6139

Received November 14, 2014
 Revised November 23, 2014
 Accepted November 30, 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.

LED는 전력소모량이 적으며 수명이 길고, 필요한 파장역만 광원을 선택할 수 있고, 열 발생이 적다는 장점이 있어 (Bugbee and Salisbury, 1988) 버섯재배에서 유용하게 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 한국버섯학회지 11권 4호에 발표한 바와 같이 표고 톱밥봉지재배에 적합한 LED 광원으로 녹색광(Baek *et al.*, 2013)을 선발하였고, 이어서 녹색LED와 관련하여 적합 광량 선별을 위해 이에 따른 자실체 생육특성, 기능성물질 및 전력소모량을 비교 분석한 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

시험품종 및 시험배지

시험 품종은 산림버섯연구센터에서 산조701호를 분양받아 사용하였고, 시험배지는 참나무톱밥과 미강을 부피비 8:2로 혼합하여 수분함량을 65%로 봉지당 1.2 kg 입봉하였고, 121°C에서 90분 살균 후 종균을 접종하였다. 배양실 온도는 20°C±0.5로 60일 암배양 후 60일 갈변과정을 거쳐 시험에 사용하였다.

자실체 생육 및 LED처리

갈변이 완료된 배지의 비닐을 제거하고 버섯 발생을 유도하기 위하여 20±1°C 온도조건에서 형광등(관행)을 대조로 녹색LED(520~540 nm) 광조건에 입상하여 발이특성 및 생육특성을 관찰하였다. 각 광원별로 600봉지/24 m²에 3단으로 입상하였으며 녹색LED의 광량은 광합성광량자속밀도(PPFD)를 5, 10, 15, 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 조절하였고, 동일한 생육환경을 위해 한 생육실에서 구역을 나누어 처리하였으며 광량에 따른 간섭을 피하기 위해 적당한 거리를 두고 생육시켰다. 입상 후 일정광량 조사를 위해 광량 측정기를 이용하여 수시 측정하였다. 대조로 형광등의 광합성광량자속밀도는 1 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 사용하였다. 본 연구는 느타리버섯 공조시스템을 이용하여 표고를 재배하는데 목적이 있으므로 관행적으로 사용하는 형광등의 광량을 그대로 사용하였으며, 2시간 점등 1시간 소등으로 설정 시험하였다. 이는 광량 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 지속적인 광량 조사시 과부하에 의한 전등누전 예방차원에서 실시하였으며, 자연상태의 광주기 조건인 낮 16시간, 밤 8시간 조건에 비례해서 2시간 점등 1시간 소등으로 실시하였다. 발이시 환경은 CO₂농도 1,000±100 ppm으로 설정하였으며 발이 후에는 CO₂농도를 700±100 ppm으로 설정하였다. 생육온도는 22°C±1, 실내습도는 70% 내외로 하였으며 수확 후 휴지기에는 생육온도 24°C±1, 습도 90% 내외를 유지하였다. 2주기 생육조건은 1주기와 동일하게 설정하였으며 2주기 발이 유도를 위하여 24시간 침수 후 입상하였고 3주기는 2주기와 동일하게 설정하였다. 자실체의 색도는 색차계(Minolta CR200, Japan)를 사용하여 측정하였으며, 그 외의 생육조사방법은 농업과학기술 연구조사

분석기준(농촌진흥청, 2012)에 준하여 조사하였다.

자실체의 폴리페놀 함량 분석

폴리페놀 함량분석은 자실체를 동결건조하여 시료 1 g을 99% 메탄올 20 ml에 추출하였다. 이 추출물 50 μl 를 취하여 증류수 4.2 ml를 첨가하고 2N Folin Cicalteu phenol reagent(Sigma, F9252-1L) 0.5 ml과 혼합한 후 3분간 반응시켰다. 20% Na₂CO₃ 용액 500 μl 를 첨가한 후 1시간동안 상온에서 암반응 후 Spectrophotometer(Shimadzu, UV-2550, Japan)로 750 nm에서 흡광도를 측정하고 표준검량선을 작성하기 위해 Gallic acid(Sigma, G7384-100 g, F.W. 107.1)를 최대 흡광도 1.0을 넘지 않도록 농도를 조절하여 제조하여 사용하였다.

자실체의 에르고스테롤 함량 분석

에르고스테롤 함량분석은 자실체를 동결건조하여 시료 0.3 g에 메탄올 50 ml를 가하고 10분 동안 sonicate한 후 5,000 rpm에서 10분간 원심분리하였다. 상등액을 취해 에탄올 20 ml과 2 M KOH 10 ml을 넣은 후 80°C에서 1시간 동안 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 HPLC 분석하였다. HPLC분석은 shimadzu prominence (Japan)기종을 사용하였으며 이동상 용매는 99.9% 메탄올을 1 ml/min의 유속으로 280 nm 상에서 ergosterol을 분석하였고, 정량분석을 위한 검량선은 ergosterol 표준품(sigma, 45480-10G-F)을 사용하여 작성하였다.

전력량 분석

소비된 전력량은 3주기 기준으로 조사하였으며 생육실 규모는 24 m², 3단 규모에서 실시하였다. 휴지기간에는 광을 주지 않았으며, 발이유도가 되면 가습을 주지 않는 조건으로 하였다. 전력량 분석을 위해 녹색LED 및 형광등(대조) 생육실에 각각 환기, 냉방, 난방, 가습, 전등에 타이머를 설치해 작동시간을 계산하여 전력량을 산출하였으며 산출방식은 다음과 같다.

- 환기 : 시로코펜의 전력(w)× 작동시간(h)
- 냉방 : 냉동기 전력(w)× 실외기팬모터(w)× 실내기팬모터(w)× 작동시간(h)
- 난방 : 히터 전력(w)× 실내기팬모터(w)× 작동시간(h)
- 가습 : 원심식가습기 전력(w)× 작동시간(h)
- 전등 : 전등전력(w)× 작동시간(h)

결과 및 고찰

광량에 따른 자실체 특성

공조시설을 활용한 표고 톱밥배지 재배시 LED 광과장

Table 1. Characteristics of growing fruit body according to green LED intensity in *Lentinula edodes*

Light type	Size of pileus (mm)	Thickness of stipes (mm)	Length of stipes (mm)	Thickness of pileus (mm)	Color of pileus (L-value)	Ratio of pileus opening (%)
Fluorescent lamp	52.5	11.3	55.0	23.5	41.2	0
Green LED ^a	T1	56.5	10.7	53.3	41.5	0
	T2	53.7	9.7	49.7	38.0	0.4
	T3	54.5	9.4	49.5	38.4	0.8
	T4	52.3	10.7	49.2	22.8	0.4

^a T1: 5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, T2: 10 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, T3: 15 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, T4: 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

Table 2. Characteristics of primordia formation at first flush according to green LED intensity in *Lentinula edodes*

Light type	Fluorescent lamp (control)	Green LED ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)			
		5	10	15	20
Day of primordia formation (days)	3	3	3	2	3
Ratio of primordia formation ^a (%)	98	99	98	98	97

^a Investigated on 3days after inducing primordia formation

에 따른 생육특성은 한국버섯학회지 11권 4호에 발표한 바와 같이 녹색광을 선발하였고, 선발된 광원으로 광량에 따른 자실체 품질을 조사하였다(Table 1). 자실체 특성으로서 갓 직경은 광량 5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 형광등 관행 재배보다 4 mm 정도 컸으며, 광량이 증가되어도 갓 직경의 크기는 5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 생육한 결과보다 작은 52.3~54.5 mm로 조사되었다. 갓 색은 광량이 증가할수록 진해졌으며 형광등과 녹색LED 5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 유의한 차이는 없었다. 대의 길이는 형광등에서 55 mm, 녹색LED에서는 5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 53 mm, 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 49 mm로 광량 증가에 따라 대 길이는 짧아지는 결과를 보였다. 광량에 따른 발이율은 97~99%, 초발이 소요일수도 2~3일로 유의한 차이는 없었다(Table 2).

녹색LED 광량에 따른 수량 분석

광량에 따른 표고 수량을 분석한 결과(Table 3) 3주기가

지 배지당 총수량은 녹색LED 5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 239 g, 10 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서는 203 g, 15 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서는 200 g, 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서는 196 g 순으로 광량증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 형광등 관행 생육에서는 202 g으로 녹색LED 5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 수량과 비교시 18% 낮은 수량을 보였다. 주기별 수량은 녹색LED 5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 1주기 103.6 g으로 다른 광량에 비해 높았으며 2~3주기 수량 간에 차이는 크지 않았다. 개체중도 5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 22 g으로 가장 높았으며, 형광등은 17.6 g 이었고 나머지 광량처리에서는 형광등과 대등한 개체중을 보였다. 광량에 따른 봉지당 유효경수는 10.9~12.7개로 유의한 차이를 보이지 않았다. 또한 상품으로 출하가 불가능한 이형 개체율을 조사한 결과 녹색LED 5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 2.7%로 가장 낮았다. 따라서 표고 재배에 적합한 광량은 5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 판단되었다.

광량에 따른 자실체 폴리페놀 및 에르고스테롤 분석

표고버섯에서 녹색LED 광량에 따른 자실체 항산화활성 분석을 위해 총페놀함량(Fig. 1)과 비타민D로 전환되는 에르고스테롤함량(Fig. 2)을 분석한 결과 총페놀함량은 녹색LED 광량이 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며 시험처리 최고 광량인 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광량에서 107.6 ppm으로 형광등에서 생육한 결과와 비슷한 함량을 보였다. 이 결과는 기 보고된 함량보다 적은 결과를 얻었는데 이는 광원을 포함한 생육환경 차이에 따른 영향으로 판단된다. 에르고스테롤 함량의 경우에는 5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

Table 3. Productivity of growing fruit body according to green LED intensity in *Lentinula edodes*.

Light type	Number of fruiting body (ea/pot)	Productivity(g/bag)				Weight of fruiting body (g/ea)	Ratio of abnormality (%)	
		total	1 st	2 nd	3 rd			
Fluorescent lamp(c)	11.5	202b [↓]	65.3	61.8	75.1	17.6	4.6	
Green LED ^a	T1	10.9	239a	103.6	62.5	73.3	22.0	2.7
	T2	12.7	203b	73.3	54.9	75.5	16.0	4.5
	T3	11.7	200b	72.1	47.8	80.1	17.8	2.8
	T4	12.2	196b	73.4	51.6	75.1	16.9	4.3

[↓] DMRT at 5%

^a T1: 5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, T2: 10 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, T3: 15 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, T4: 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

에서 307 ppm으로 가장 높았으며, 형광등에서의 함량 145 ppm보다 2.1배 높았다. 폴리페놀 화합물은 flavonoids,

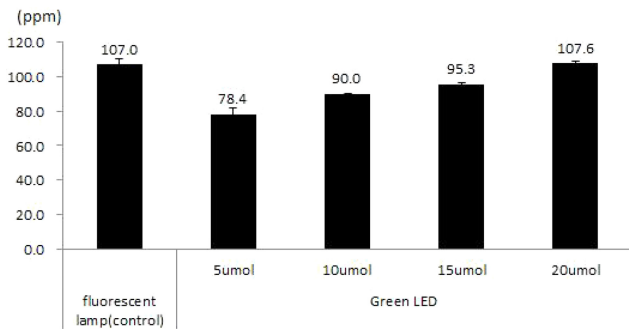


Fig. 1. The polyphenol content of fruiting body according to irradiation intensity of light in *Lentinula edodes*.

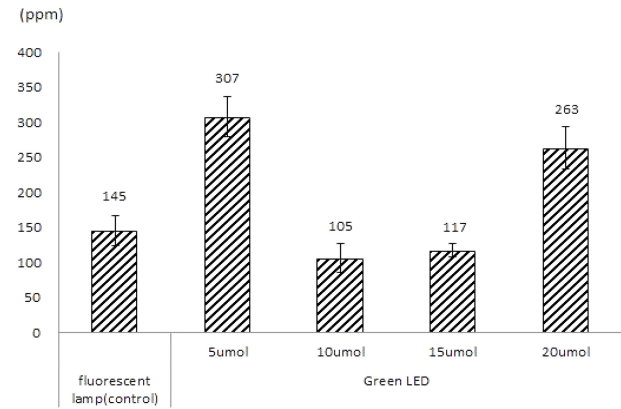


Fig. 2. The ergosterol content of fruiting body according to irradiation intensity of light in *Lentinula edodes*.

anthocyanins, tannins, isoflavones, lignans, catechins 등을 총칭하며, 폴리페놀에 존재하는 다수의 하이드록실기 (-OH)는 여러 화합물과 쉽게 결합하는 특성이 있어 항산화 및 항염, 항암효과가 뛰어나다고 보고되어 있다(Dai J and Mumper JR, 2010). 한편 균류의 스테롤인 에르고스테롤은 비타민D의 전구체로 뼈 건강에 관여하며 느타리버섯은 43.3 ppm, 잣버섯은 145.9 ppm을 함유하고 있다(Jang *et al.*, 2014). 또한 큰느타리버섯에서 LED 광원에 따른 에르고스테롤 함량 연구결과, 녹색LED처리로 308.4 ppm 형광등 처리로 225.4 ppm이 함유되어 있다는 보고가 있다(Jang *et al.*, 2011). 본 연구결과는 느타리버섯, 잣버섯 및 큰느타리버섯에서의 에르고스테롤 함량보다 높았으며, 큰느타리버섯에서 LED처리에 따른 경향과 비슷한 결과를 보여주었다.(Jang *et al.*, 2011).

광원에 따른 전력소비량 분석

에너지효율 분석을 위해 녹색LED 5 umol·m⁻²·s⁻¹와 형광등 생육시 소비되는 전력량을 전등, 냉방, 환기, 가습으로 나누어 각각 분석하였다(Table 4). 본 연구는 봄부터 가을까지 수행된 결과로 난방에 관한 전력소비량은 기록되지 않았다. 총전력량 기준으로 환기에 관한 전력소모량이 형광등(대조) 생육시 67.2%, 녹색LED 생육시 75.2% 소비되어 전력소비량의 대부분을 차지하는 것으로 조사되었다. 따라서 형광등 대비 녹색LED 생육시 전력소모 기구별로 나누어 전력소비량 분석한 결과 전등에서 77.5%의 가장 큰 전력량 절감효과를 나타내었으며, 냉방, 환기, 가습의 전력량 절감효과는 각각 6.7%, 5.9%, 8.3%로 크지 않았다. 녹색LED 사용시 총전력량 기준 15.9%의 에너지절감효과를 보였다.

Table 4. Amount of electricity used according to the light type in *Lentinula edodes*.

Light type	Period of growth	Amount of electricity used(Kwh)				Total
		Light	Air conditioner	Air circulation	Humidification	
Fluorescent lamp (A)	1 st period of rest	34.8	25.3	112.0	-	172.1
	2 nd period of rest	49.2	34.3	155.5	-	239.0
	3 rd period of rest	30.7	21.8	96.9	-	149.4
	Total	114.7	127.5	563.9	32.7	838.8
	A-B(%) ^a		Δ77.5	Δ6.7	Δ5.9	Δ8.3
Green LED (B)	1 st period of rest	7.9	21.4	109.0	-	138.3
	2 nd period of rest	11.2	33.2	146.0	-	190.4
	3 rd period of rest	6.7	28.0	95.4	-	130.1
	Total	25.8	118.9	530.4	30.0	705.1
	A-B(%) ^a		Δ77.5	Δ6.7	Δ5.9	Δ8.3

^a A percentage change of amount of electricity used according to the light type

적 요

표고 톱밥배지 재배시 녹색LED 광량에 따른 생육특성 분석 결과 $5 \text{ umol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 3주기 기준 배지당 자실체의 수량은 239 g으로 형광등 202 g 대비 18% 증수효과가 있었으며, 자실체 폴리페놀 함량은 형광등 107 ppm에 대비 78.4 ppm으로 27% 정도 낮았지만 에르고스테롤 함량은 형광등 145 ppm 대비 307 ppm으로 2.1배 높은 함량을 보였다. 전력소모량은 형광등 대비 15.9%의 에너지 절감율을 보였으며, 전등의 에너지 효율이 77.5%로 가장 컸다.

감사의 말씀

농촌진흥청 연구지원(과제번호:PJ009166022014)에 감사드립니다.

References

- Baek IS, Lee YH, Jang MJ, Jeoung YK, Lee HB, Chi JH. 2013. Effects of cultural characteristics of *Lentinula edodes* according to LED wavelength. *Kor. J Mycol.* 11(4): 226-229
- Bugbee B, Salisbury FB. 1988. Exploring the limits of crop productivity. I Photosynthetic efficiency of wheat in high irradiance environments. *Plant Physiol.* 88: 869-878
- Dai J, Mumper JR. 2010. Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules* 15: 7313-7352
- Jang MJ, Kim JH, Ju YC. 2014. Aroma constituents, ergosterol and proximate analysis of *Neolentinus lepideus*. *Kor.J Mycol.* 12(2): 73-76
- Jang MJ, Lee HB, Lee YH, Kim JH, Ju YC. 2011. Mushroom growth characteristic by LED light mixture treatment. GARES. *Annual Agricultural Research Report.* 673-682
- Jang MJ, Lee HB, Lee YH, Kim JH, Ju YC. 2010. LED condition of primordia and growth in *Pleurotus Ostreatus*. GARES. *Annual Agricultural Research Report.* 430-443
- Leatham G.F & Stahmann M.A 1987. Effect of light and aeration on fruiting of *Lentinula edodes*. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 88: 9-20
- Park HO, Oh HS, Yoon S. 2001. The Changes of Vit.D₂ and Vit.B₂ contents according to ultraviolet rays and cooking methods of mushrooms. *Korean J. Dietary Culture.* 16(5): 463-469.
- Rural Development Administration(RDA). 2012. Manual for Agricultural investigation. Suwon.
- SAS, SAS/STAT User's Guide. 2009. 6(2) 4th ed. SAS Institute, Cary, NC.