

표고버섯의 지면 톱밥균상재배에 의한 재배과정과 수확

구창덕* · 이화용 · 이희수 · 박용우 · 김재수
충북대학교 산림학과

Cultivation Processes and Yield of *Lentinula edodes* on Surface Sawdust Bed

Chang-Duck Koo*, Hwa-Yong Lee, Hee-Su Lee, Yong-Woo Park and Je-Su Kim
Department of Forest Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

요약: 본 연구는 표고버섯의 지면 톱밥균상재배 과정과 버섯수확량을 구명하였다. 이 톱밥 균상재배는 봉지를 사용하지 않고, 살균된 톱밥과 표고의 톱밥종균을 3:1로 섞어서 지면에 두께 약 10 cm의 균상을 만들어 재배하는 방법이다. 톱밥배지는, 함수율을 65%로 맞추고 65°C에서 저온살균 후 종균을 접종하고 지면에 약 10 cm 두께의 균상으로 만들고 보습과 보온을 위하여 유공비닐로 덮어두었다. 이 배지는 배양 78일 후에, 함수율이 61~72%, pH는 5.6에서 3.9~4.6로 낮아졌다. 배양기간중 배지내 에르고스테롤 농도는 0.33~0.59 µg/g로 변동이 있었다. 지면배지를 입상한 후 2주 만에 이산화탄소 농도는 약 8.06%까지 급격히 증가하였다. 7주차에는 배지표면이 갈변되기 시작하였고, 이산화탄소 농도는 11주차까지 6~7%를 유지하였다. 그 후 지면배지의 표면비닐을 제거한 12주차부터는 통기성이 증대하여 이산화탄소가 1.5% 이하로 급격히 감소하였다. 이 재배사내 온도는 7.1~29°C, 습도는 27.3~100%였고, 톱밥배지내의 온도 변화범위는 11.6~30°C였다. 이 지면 재배에서 표고수확은, 입상 약 120일 후인 7월 말경부터 시작되었고, 그 후 약 100일 동안, 즉 12월초까지 8주기에 걸쳐 관수관리하면서 이루어졌다. 이 재배에서 주기별 총 표고수확량은 1주기(7/29~8/4)에 352 kg, 2주기(8/17~8/22)에 288 kg, 3주기(9/3~9/7)에 320 kg, 4주기(9/19~9/24)에 800 kg, 5주기(10/3~10/8)에 1,296 kg, 6주기(10/17~10/22)에 1,853 kg, 7주기(11/4~11/9)에 1,476 kg, 마지막 8주기(11/23~12/7)에 990 kg이었다. 농장 전체는 약 33.0톤의 톱밥배지에서 약 7.4톤의 표고를 수확하여 지면 톱밥균상재배의 표고생산 효율은 약 22.4%였다.

Abstract: The process of cultivation and production of oak mushroom (*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler) on sawdust surface beds were investigated. Sawdust surface bed cultivation is the method by which oak mushrooms are cultured and produced on sterilized sawdust surface bed without using bags. The bed was made by inoculating with 3 to 1 ratio of bed sawdust to oak mushroom mycelial inoculum. The sawdust bed medium with 65% water content was pasteurized at 65°C, inoculated with sawdust spawn and spread on the surface on vinyl film in cultivation shed. During 78 days of cultivation period, water content in the medium varied from 61 to 72%, its pH decreased from 5.6 to 3.9~4.6 and ergosterol concentration increased to 0.33~0.59 µg/g. CO₂ concentration in the medium rapidly increased to 8.06% in two weeks. In seven weeks the medium surface started browning and CO₂ concentration increased to about 5.63%. Until 11th week the CO₂ concentration was maintained at 6~7%. After removing the plastic cover on the bed for ventilation in 12 weeks, CO₂ within the bed reduced dramatically to 1.5%. In the cultivation shed the internal temperature was 7.1~29°C and humidity was 27.3 to 100%, while bed temperature ranged 11.6~30°C. Oak mushroom fruiting started from late July, in 120 days after bed establishment in late March and continued for approximately 100 days until early December with eight cycles of irrigation treatment. The mushroom yield of the eight cycles were 288~352 kg during the 1st (7/29~8/4) to 3rd cycle (9/3~9/7), 800 kg at the 4th cycle (9/19~9/24), 1,296~1,853 kg during 5th (10/3~10/8) to 7th cycle (4.11~11/9) and 990 kg at 8th cycle (11/23~12/7). Total production was approximately 7.4 tons from 33.0 tons of oak sawdust medium, thus harvest efficiency of the mushroom production was approximately 22.4%.

Key words: cultivation of *Lentinula edodes*, surface sawdust bed, oak mushroom, mycelial inoculum, ergosterol concentration, CO₂ concentration, mushroom yield cycles

*Corresponding author
E-mail: koocdm@chungbuk.ac.kr

서론

표고는 자실체와 균사체에 항암과 항바이러스 물질인 렌티난, 혈중 콜레스테롤 저하물질인 에리타데닌 등의 성분이 있어서 고혈압 예방에 효과가 큰 버섯이다(Jung et al., 2013; Park et al., 2011, Bak et al., 2015). 최근 우리나라 표고는 수요량이 약 6~7만톤에 이르지만 국내 생산은 약 3~4만톤으로 자급율이 50% 밖에 안 되므로(Min, 2014), 생산량과 생산성 향상이 매우 중요하다. 현재 표고 톱밥재배는 수율이 25~35%로 원목재배의 수율인 15~20%보다 높고, 노동력이 적게 들어가므로 생산량이 계속 증가하여 전체 표고생산량의 약 30%를 담당하고 있다(Ko, 2014). 현재 표고 톱밥재배는 크게 균상재배와 봉지재배 2 가지 형태로 버섯발생과 수확면에서 재배기술의 향상이 필요한 실정이다.

표고의 균상재배는, 톱밥배지를 내열성 비닐봉지에 넣고 100°C에서 상압살균한 후 표고종균을 접종하고 약 100일간 배양한 후, 봉지 전체를 개방하여 표고를 발생시키고 수확하는 방식이다. 이 방법은 표고버섯이 배지의 측면에서 발생하더라도 수확할 수 있으나, 배지수분과 버섯 발생밀도 그리고 수확관리 등에서는 세심한 기술이 요구된다. 이 균상재배에서는 빛과 온도변화 등의 물리적 충격으로 인하여 예기치 않게 많은 버섯이 배지의 모든 방면에서 다량 발생하므로 수시로 숙아내야 하고, 배지도 건조되기 쉬우므로, 고품질의 상품성 있는 버섯으로 만들려면 노력이 많이 든다.

이에 비하여 표고의 봉지재배는 현재 가장 효율적인 방법으로, 위 균상재배의 결점을 개선한 것이다. 즉 톱밥배지가 담긴 봉지내에서 표고균을 접종하고 약 100일간 배양한 후, 봉지 상면만 개방하여 버섯을 발생시키는 것으로, 오염이 적고 배지의 수분관리와 버섯 수확이 수월하다. 하지만, 봉지내 배지의 측면에서 버섯이 잘 생기므로, 배지의 상부로만 버섯이 나오게 유지하려면 뒤집기 작업과 온도 및 수분관리 등 미묘한 기술이 필요하다(personal

communication with oak mushroom grower, Mr Taek-Gi Chae).

위 두 가지 방법의 단점을 보완한 톱밥표고 지면 균상재배는, 봉지를 사용하지 않고 살균된 톱밥배지에 표고 톱밥종균을 접종하여 쉬는다. 이것을 지면에 비닐을 깔고 그 위에 편평하게 약 15 cm 두께로 펼쳐서 균사를 배양한 후 표고를 발생시키는 방법이다. 이 방법은 표고발생과 수확에 수월한 면이 있으나, 버섯 생산에 주요한 환경인자인 수분, 통기, 온도의 변화가 심하므로 재배과정을 과학적으로 정립할 필요가 있다. 따라서 이 연구에서는 표고의 지면 톱밥균상재배과정에서 배지입상 후, 배지내 균사생장과 수분, 이산화탄소, 온도의 변화, 버섯원기발생과 수확 주기, 그리고 표고생산량을 알고자 하였다.

재료 및 방법

표고의 톱밥 지면균상재배 과정은 참나무 톱밥배지의 살균, 종균접종, 균사배양, 온도와 습도 및 통기관리, 그리고 8주기의 버섯발생 및 수확으로 구성된다.

1. 재배사의 위치와 구조

표고지면 균상재배는 충청북도 증평군 증평읍 남차리에 있는 표고농장에서 하였고, 재배사는 평지에 동서방향으로 설치된 단동형이었다. 재배사는 폭 10 m, 길이 85 m, 면적 850 m² 규모였다. 재배사 내 온도, 습도, 광 등을 인공적으로 제어하기 위해 차광막, 단열재, 스프링클러 등을 설치하였다.

2. 톱밥배지의 접종, 입상, 관수 관리

참나무 톱밥은 이 농장의 비가림 저장소에서 2월 18일부터 3월 28일까지 약 30일간 적재하여 발효시켰다(Koo et al., 2014). 발효된 톱밥은 함수율을 65% 정도로 맞춘 후 65°C에서 11시간 저온살균하였다. 표고종균은 톱밥과 미강비율을 89:11로 섞은 배지에 표고종균 921을 접종하



Figure 1. Surface cultivation bed just after inoculation into sawdust medium (left), well set bed with *Lentinula edodes* mycelium (right).

여 3개월간 배양한 것이다. 접종은 저온살균된 톱밥과 약 0.5 cm 크기로 파쇄한 톱밥 중균을 7:3으로 섞었다. 입상은 배수가 양호한 지면에 비닐을 깔고, 그 위에 톱밥과 중균 혼합체를 폭 1.3 m, 두께 15 cm로 펼치고, 보습과 보온을 위하여 비닐로 피복하였다(Figure 1). 입상은 3월 30일을 시작으로 4월 4일, 4월 14일, 4월 15일, 4월 16일, 5월 10일 총 6차례에 걸쳐 재배사 전체에 총 33 ton을 하였다. 관수는 배지에서 비닐을 제거한 6월 16일부터 초발이(버섯 원기가 생김) 직전까지는 34일 동안 배지표면이 마르지 않을 정도로 매일 뿌렸고, 2주기 전까지는 7일, 3주기와 4주기에는 6일, 5주기에서 8주기까지는 5일 동안 매일 관수를 하였다. 관수는 표고원기가 형성되면 중단하였다.

3. 지면균상배지 내 온습도 및 이산화탄소 변화 측정

버섯 재배에서의 주요한 환경요인인 온도, 습도의 변화를 기록하기 위해서, 재배사 외부 50 cm 높이에 온습도 데이터 로거(HOBO Pro H8, Onset computer corporation, USA)를, 재배사 내부에서는 중앙부 25 cm 높이에 온습도 데이터 로거(Watchdog 2450, Spectrum Technologies, USA)를 설치하였다. 배지 내 온도와 수분변화는 온도센서(external temperature sensor-20ft, Spectrum Technologies, USA)와 수분센서(water scout SM 100 sensor-20ft, spectrum technologies, USA)를 삽입하여 지속적으로 측정하였다. 이 장비들은 각 1개 측정지점에서 1시간단위로 2010년 4월 11일부터 2010년 11월 11일까지 기록했으며, 기록된 자료들은 분석프로그램인 SpecWare9 Professional과 Boxcar Pro를 이용하여 주기적으로 전송받았다.

표고균사를 배양하는 동안 배지표면의 표고균사생장 및 오염균의 생장을 육안으로 확인하였다. 그리고 배지 입상 2주후부터 표면비닐을 제거한 6월 16일까지 1주 간격으로 기체채취기(GV-110S, Gasteko, Japan)와 이산화탄소 검지관(2H, 2HH, Gasteko, Japan)으로 배지 내 이산화탄소 농도의 변화를 측정하였다.

4. 배지 내 pH 및 에르고스테롤 분석

3월 30일에 입상한 표고톱밥 지면배지에서 균사 배양이 끝난 후, 6월 25일부터 11월 5일까지 2주 간격으로 가로 7 cm, 세로 13 cm의 크기로 배지시료를 채취하였다. 채취한 배지의 함수율은 60°C에 건조한 후 생중량 기준으로 구하였으며, pH는 잘게 부순 톱밥배지와 증류수를 1:20(W:V)으로 혼합하여 진탕배양기(SI-4000R, JEIO TECH, Korea)에서 105 rpm으로 3시간 동안 진탕 한 후 pH meter로 측정하였다.

에르고스테롤은 곰팡이 균사체내 원형질막의 주요한 구성성분으로 이 막의 유동성과 생성 및 기능을 조절하며 (Yang et al., 2015), 그 함량은 배지내 균사체량과 비례한

다(Djajakirana et al., 1996; Kim et al., 2004; Linsler et al., 2015). 그러므로 톱밥배지내 표고균사의 생체량 변화를 추정하기 위하여, 지면배지 4곳에서 2주 간격으로 시료를 채집하여 에르고스테롤 함량을 Koo et al.(2000) 방법으로 분석하였다.

5. 표고발생량 조사

표고발생량은 8개 주기별로 그 기간동안 매일 수확한 버섯의 생중량으로 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 재배사와 지면배지 내의 온습도 변화

1) 재배사 내의 온습도 변화

재배사의 내부온도는 외부온도보다 최저온도는 높고 최고온도는 낮아서 온도변동폭이 적었다(Figure 2). 재배기간 중 재배사의 일평균 온도변화는 내부에서 7.1~29.0°C, 외부에서는 3.1~30.7°C였다. 기간별 일평균온도는, 4월부터 5월 말경까지 내부온도는 9.3~22.6°C 외부 온도는 3.5~21.0°C였고, 9월과 10월에는 내부온도는 14.3~26°C 외부온도는 3.0~28.7°C이었다. 내외부의 최저온도를 비교해보면, 내부가 봄엔 6°C 가을엔 11.3°C 높았지만, 최고온도는 내부가 봄엔 1.6°C 가을엔 2.7°C 낮아, 내부가 연중 온도변화폭이 적었다.

일평균 상대습도변화는 외부는 1.25~100%, 내부는 27~100%였다. 기간별 일평균 습도는 4월~7월 초순까지는 외부가 1~100%였고, 내부는 27~100%였다. 그 후 8월 초순부터 9월 말까지 재배사외는 60~100%범위였고 재배사 내는 80~100%범위였다. 즉 상대습도는 내부가 높았으며, 매일 최저온도에 가까우면 100%에 도달하였다.

버섯의 발생과 성장에 가장 중요한 요소인 온도와 습도는 버섯의 두께와 길이 등 고품질 표고 생산에 영향을 크게 준다(Choi, 2001). 하지만 지면 균상재배 재배사내 온

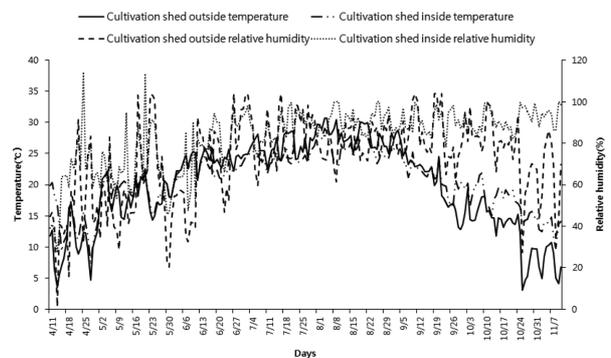


Figure 2. Daily changes in temperature and relative humidity inside and outside of shed for *Lentinula edodes* surface sawdust bed cultivation during 11th April to 11th November.

습도 변화는 상당히 심해서, 최고온도 35.6°C, 최저온도 7.1°C, 평균 온도는 21°C였고, 최고습도 100%, 최저습도는 27%였다(Figure 2). 온도가 상승하는 봄철 4~5월에는 일평균온도가 7.1~22.5°C, 일평균습도는 27~100%였다. 이 기간 동안 최저온도는 6~17.5°C 최고온도는 16.8~34.3°C로 밤낮 온도차이가 21.1°C까지도 되며, 일평균 기온상승이 단계적으로 일어나는 날이 3-5일 주기로 생겼다.

고온다습하여 버섯발생에 불리한 여름은 7월 중순~8월 중순으로 일최고온도는 35.1°C, 일평균온도 23.4~29°C, 일평균습도가 82~100%, 밤낮온도 차이는 10°C 미만, 일평균온도의 단기간 차이는 2~3°C 정도였다. 또한 온도가 하강하여 버섯이 다량 발생하는 가을발생기는 8월말~10월로 최저온도는 7.6°C, 최고온도는 35.6°C, 일평균온도 13.7~28.4°C, 일평균습도는 82~100%였다. 이 기간 중에는 밤낮 온도차이가 10~15°C에 이르고, 일 평균온도가 5°C 이상 하강하였다가 다시 상승하는 날이 5~7일 주기로 반복되었다.

2) 지면 균상배지 내 온-습도의 변화

지면 균상배지내의 일평균온도변화는 11.6~30°C, 일평균수분변화는 60~65%로 표고균사생장에 적당한 상태를 유지하였다(Figure 3). 배지내 기간별 일평균온도는, 4월~5월에 11.6~27°C, 7월 중순~8월 중순에 24.1~30°C, 8월말~10월에는 17~30°C였다. 배지내 평균온도는 24.6°C로 표고균사의 최적 생육 온도가 유지되었다. 전체적으로 봄철 일평균온도는 3°C 이상 하강하였다가 상승하는 현상이 3~5일 주기로 반복되었다. 배지내 수분은 계절과 일변화에 관계없이 5월 초부터 10월 중순까지 일평균 60~65%였고, 10월 말부터는 54~60%의 범위였다. 지면 균상배지는 노출된 상태이므로 수피가 있는 원목재배에서보다 배지의 표면이 건조되기 쉽다. 따라서 버섯 발생 시에는 주위 온도를 조절하여 상대습도를 효율적으로 유지하는 것도 물과 에너지를 절약하는 방법이 될 수 있다.

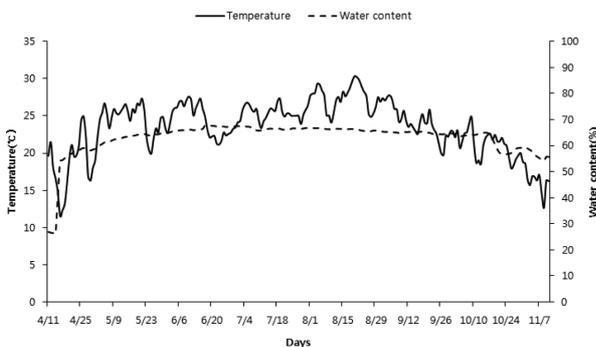


Figure 3. Daily changes in temperature and water contents within surface sawdust cultivation bed for *Lentinula edodes* during 11th April to 11th November.

3) 표고 균사 배양 기간 중 재배사내 온-습도 일변화

봄철은 집중된 표고균사가 오염균과 경쟁하면서도 배지에 활착하는 매우 중요한 시기이다. 3월 30일에 입상한 직후부터 표고균사가 배지를 점유하는 2주 동안 평균온도는 12.1°C, 온도범위는 -2.1~29.4°C, 평균 상대습도는 50.7%, 상대습도 범위는 7.6~100%였다. 이 시기에 오염균인 *Rhizopus* sp.가 발생하였으나, 표고균사가 활착하면서 오염의 범위가 넓어지지 않았다. 한편 2009년도에 입상한 후 균사배양에 실패한 경우를 보면, 재배사내 평균온도는 18.0°C, 온도변화 범위는 8.4~29.0°C, 상대습도는 32.3~100%였다. 입상 10일 후 지면배지에서 *Trichoderma* sp.균이 발생하면서 배지 전체가 오염되면 표고균사의 생장이 불가능하였다.

한편 표고 균사가 활발하게 자라는 4월 1일부터 6월 15일 동안 재배사내 일평균온도와 일평균 습도변화는 각각 4.9~22.1°C와 33~100%였다(Figure 4). 표고균사 활착 이후 평균온도가 12.1°C에서 18.4°C, 최고 온도가 29.4°C에서 34.3°C로, 평균 상대습도는 50.7%에서 66.1%로 상승하였다.

톱밥표고 지면 균상재배의 성공여부는 접종원의 품질이 매우 중요한 것으로 생각된다. 종균을 접종하기 위하여 파쇄하는 동안 표고균사는 손상을 많이 입으므로 활력이 크게 떨어진 상태에서, 오염균이 점유하면 표고균사활착이 매우 어려워진다. 한편 표고균사가 이미 활착된 배지에서는 다른 잡균의 오염이 적었다. 따라서 활력이 높고 파쇄시에 손상이 적은 종균과 함께, 균사 활착시기에 오염균의 성장속도를 낮추도록 재배사내 온도를 20°C 이하로 내리는 것이 표고 지면 균상재배의 성공 요인이라고 생각된다.

4) 표고 수확 기간 중 재배사내 온-습도 일변화

지면배지의 비닐을 제거 한 후 표고 수확기간 중 재배사내 평균온도는 21.6°C, 온도변화 범위는 5.5~36.6°C, 평

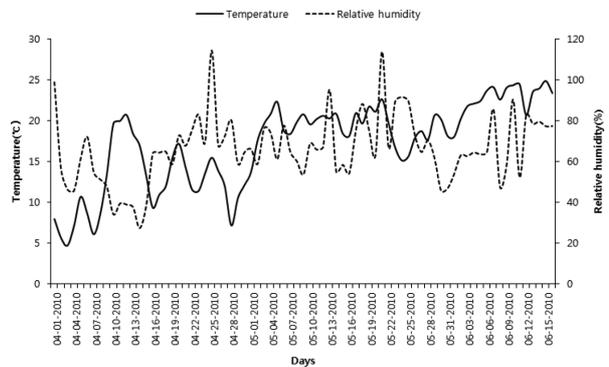


Figure 4. Changes in daily mean temperature and relative humidity in shed for *Lentinula edodes* surface sawdust cultivation during 1st April to 15th June.

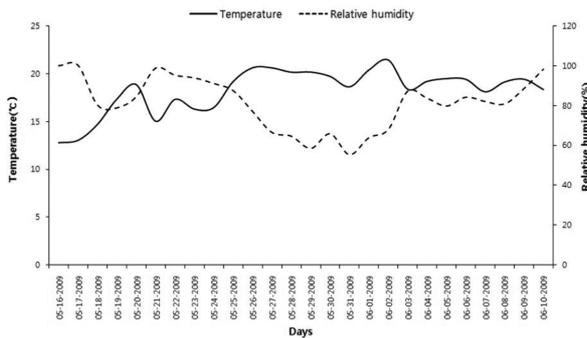


Figure 5. Changes in daily mean temperature and relative humidity in cultivation shed for *Lentinula edodes* during 15th May to 10th June 2009.

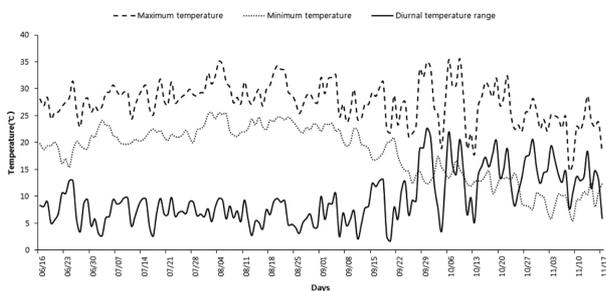


Figure 6. Changes in daily maximum and minimum temperatures and diurnal temperature difference in cultivation shed for *Lentinula edodes* since 16th June to 17th November 2009 after removal of vinyl tent on the surface bed.

균 상대습도는 90.1%, 상대습도변화 범위는 37.9~100%였다(Figures 5). 여름철이 되면서 재배사내 평균온도는 균사배양 시기보다 4.4°C 상승하였으며, 표고 발생작업을 위한 관수 때문에 평균 상대습도는 24.0% 상승하였다. 가을철, 9월 말경 일교차가 3~6일 주기로 3~22°C를 크게 오르내리면서 버섯발생이 유리하여졌다. 그리고 이 일교차는 11월이면 8~18°C 정도가 되면서 온도 하강과 더불어 적어졌다. 이러한 일교차는 버섯원기가 생기기 위해서 필수적이다(Stamets, 2005). 균사가 배지를 완전히 점유하면 균사활력이 낮아지고 온도가 내려가서 주변 환경온도와 같아진다. 이때가 온도를 낮추어 버섯을 발생시키는 적기가 된다.

5) 지면배지 내 변화

(1) 함수율 변화

이번 지면 균사 배지는 78일 동안 (균사 배양 기간이 끝난 6월 25일까지) 약 61%의 함수율을 유지하였다(Figure 7). 그후 표고원기를 발생하기 위하여 관수한 결과 배지내 함수율은 최고 72%까지 높아졌다. 표고 균사의 생장은 일반적으로 배지 내의 함수율이 40~70% 사이에서 매우 양호, 최적 함수율은 60% 내외로 알려져 있다(Bak et al., 2008).

표고균사의 생장은 배지 내 수분 함량에 크게 좌우된다

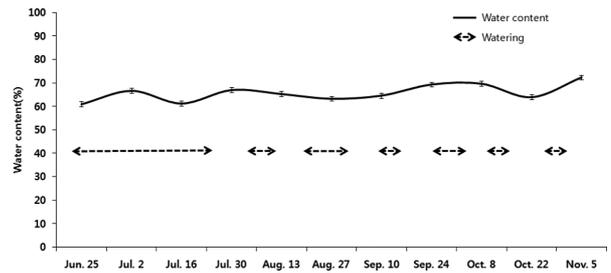


Figure 7. Watering and water content in sawdust bed for *Lentinula edodes* cultivation during 25th June to 5th November 2010.

(Koo et al., 2000). 또한 버섯 원기 형성 시에 배지 표층부의 건조는 원기의 형성을 방해한다. 그러나 자실체 형성 시기에 배지의 수분이 과잉되면, 자실체의 함수량이 증대되고 푸른곰팡이균이 번성하게되어 자실체 품질나빠진다(Bak et al., 2008). 따라서 표고 톱밥배지내의 적당한 수분 조절은 버섯생산량에 중요하다. 입상 4달 후인 10월 22일경에 지면배지의 중간이 20 cm 정도 갈라졌다. 이는 배지내 표고균사가 성장하면서 톱밥을 분해하고 수분을 소비하여 수축된 결과였다.

(2) 이산화탄소 변화

지면배지내 이산화탄소의 농도증가는 균사의 왕성한 성장력과도 관련이 있었다. 3월 말경에 지면배지를 입상한 후 2주 만에 표고균사는 배지의 표면을 가득 덮었다. 이때 이산화탄소 농도는 약 8.06%로 매우 높았다(Figure 8). 이후 배지내 이산화탄소 농도는 3주차까지 약 2.83%로 급격히 감소하고, 그 이후 6주차까지는 점진적으로 감소하였다. 이렇게 입상초기에 이산화탄소 농도가 급격히 증가한 후 감소한 현상은, 접촉된 균사가 매우 왕성한 성장을 하면서 배지내 산소를 소비하고 이산화탄소를 발생시킨 후, 쉽게 가용한 탄수화물과 무기양분 그리고 산소를 고갈시킨 후 균사생장이 느려진 결과라고 생각되었다. 톱밥 표고 봉지재배인 경우, 봉지의 통기성 구멍의 크기는 이산화탄소 확산과 배지의 수분손실에 영향을 주고 표고균사생장에도 영향을 미쳤다(Lee et al., 2012).

배양 6주차에는 배지 표면이 용기되었으며, 이 때 이산화탄소 농도는 약 1.07%였다. 용기된 배지표면의 내부는 치밀한 균사조직으로, 수분이 충분하고 팽윤되어 있었다. 이 현상은 Koo et al.(2013)의 표고톱밥배지의 갈변층 조사에서도 나타났다. 7주차에는 배지표면이 갈변되기 시작하였으며, 배지 내부의 이산화탄소 농도는 다시 증가하여 약 5.63%, 11주차에는 6~7%로 되었다. 이것은 통기성이 낮은 갈변층 아래에 활력이 높은 균사층의 호흡에 의한 것으로 생각되었다. 그러나 배지의 비닐을 개봉한 12주차부터는 통기성이 증대하여 이산화탄소가 휘산되어 다시 1.5%이하로 급격히 감소하였다.

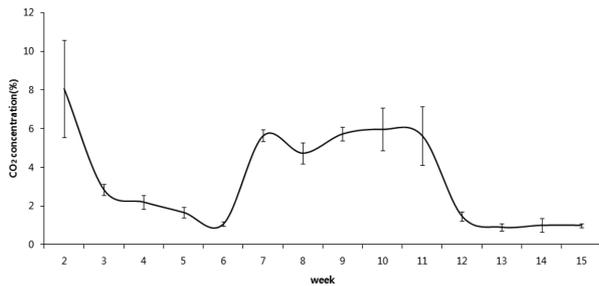


Figure 8. CO₂ changes in surface sawdust cultivation bed for *Lentinula edodes* for 15 weeks. Vinyl cover on the bed were removed at 11th week.

톱밥표고 재배는 통기성, 보온, 보습이 균형적인 가운데 이루어진다. 버섯원기 생장에 중요한 4가지 환경인자는 수분, 산소, 온도, 그리고 광이지만, 최대 버섯생산을 위하여는 통기성을 높혀서 산소농도를 높게하고 CO₂는 500 ppm미만으로 유지할 필요가 있다(Stamets, 2005). 또한 이산화탄소농도가 높으면 대의 길이생장이 촉진되고 갓 생장은 억제되어, 버섯이 가늘어지고 작아지는 경향이 있으므로(Gyeonggido Mushroom Research Committee, 2009) 버섯발생기에 배지는 통기가 잘 되어야 한다.

(3) pH 변화

톱밥지면배지는 3월 29일 중균을 접종하기 전에는 pH가 5.6이었다. 표고균사배양 기간 중 pH는 입상 60일 후에 3.9였으며, 90일 후에는 4.6이었다(Figure 9). 중균 접종 후 배지 내 표고 균사가 배양되면서 6월 25일의 pH는 4.4로 떨어졌으며 중균 접종 전보다 약 1.2가 낮아졌다. 이는 배지내에서 균사체가 성장하는 동안 배출된 대사산물 중 유기산 등이 pH를 낮추었기 때문이다(Deacon, 2013). 재배기간 중 pH는 3.85~4.56이었다. 표고버섯은 산성의 환경을 선호하고(Korea Forest Research Institute, 2006), 자실체 발생의 최적 pH도 4 내외의 산성으로 알려져 있다(Yoo et al., 2010). 꽃송이 버섯같은 부후성 곰팡이(Kim et al., 2012)도 pH 4~5범위에서 가장 잘 자랐다.

(4) 에르고스테롤 함량 변화

표고 톱밥 지면 재배 기간 중 배지 내 균체량을 추정할 수 있는 에르고스테롤 농도는 6월 중순 배지의 비닐을 제거한 후 7월 중순까지 0.45 µg/g에서 0.57 µg/g으로 점진적으로 증가하였다(Figure 9). 이후 이것은 8월 말경에 1.15 µg/g로 급격히 증가 하여 최대가 되었으며, 9월 중순경에 0.52 µg/g로 낮아진후 11월 초까지 0.38~0.59 µg/g 수준을 유지하였다. 배양 기간에 따른 이런 에르고스테롤 함량의 변화는 균사체의 노화와 관련 되었다(Koo et al., 2000). 즉 균사체내 원형질은 계속 자라는 균사 정단부로 이동하여, 오래된 균사에는 원형질은 적고 균사벽만 남게 된다. 표고균사체 액체배양에서 에르고스테롤 함량은 균사호흡량, 균사체내 질소축적량 그리고 균체량과 일치하

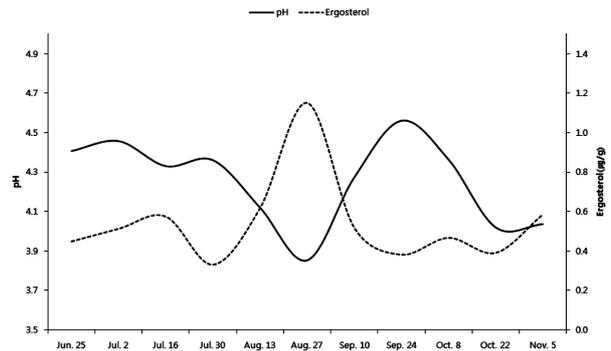


Figure 9. pH and ergosterol content changes in surface sawdust cultivation bed for *Lentinula edodes*.

는 경향있는데, 오래된 균사체에서 균사벽에 존재하는 키틴함량은 증가하였지만, 원형질막에 존재하는 에르고스테롤의 함량변화는 적었다(Shim et al., 2014). 한편 성숙한 배지에서 표고균사체는 배지의 갈변된 표면 안쪽 아래에 집적하여 버섯원기를 발생시키므로, 배지의 중심부에서 채집된 시료에서는 에르고스테롤 함량이 표면 근처에서 보다 낮을 수 있다고 생각한다.

재배기간 중 지면배지 내 에르고스테롤의 농도가 가장 높았던 시기(8월 27일)에 배지의 pH는 3.85로 가장 낮았다. 균사생장이 왕성한 시기에 톱밥배재의 pH가 낮은 것은 균사가 유기산 등 대사물을 많이 배출한 결과로 균사량과 pH 변화는 반대적인 경향을 나타내었다고 생각된다.

6) 지면 균상재배에서 표고의 발생주기와 수확

(1) 재배사내 온습도변화와 표고발생주기

표고발생 주기별로 재배사내 평균온도는, 1주기부터 4주기까지는 23.8~26.2°C였고, 5~7주기에는 16.9~18.6°C로(Figure 11) 약 8°C 낮아졌다. 그러나 상대습도는 모두 80~100%사이를 유지하였다. 한편 재배사내 일교차는 1~4주기 동안에는 7.0~8.5°C였으나, 5~7주기 동안에는 12.7~16.8°C로 커지면서 버섯생산량이 크게 증가하였다(Table 1, Figure 12).

버섯 재배기간 중 온도편차는 균사체를 자극시켜서 표고 자실체 원기를 형성하게 한다(Stamets, 2000). 특히 버섯 발생기간 동안 10°C이상의 큰 일교차는 갓과 대를 두 겹게하고 육질을 단단하게 하여 품질을 우수하게 한다(Forest Mushroom Research Center, 2009). 그리고 표고 품종을 버섯발생 온도에 따라 저온성(8~15°C), 중온성(10~20°C), 고온성(15~25°C)으로 구분된다(Bak et al., 2013). 이에 따라 중고온성 품종인 산조 701호는 저온(8~15°C)일 때보다 고온(15~25°C)일 때 품질 좋은 버섯이 더 많이 발생할 수 있다. 톱밥표고재배에서 온-습도 관리는 원기를 형성시키고, 고품질 표고를 다량 생산하는 매우 중요한 기술이라 생각된다.

Table 1. Temperature and water changes inside and outside of cultivation shed and within surface sawdust bed during *Lentinula edodes* production cycles. T:temperature, RH: relative humidity, WC:water content.

Date	Outside of shed		Inside of shed		Within sawdust bed		Daily T difference (°C)	Operation and yield
	T(°C)	RH(%)	T(°C)	RH(%)	T(°C)	WC(%)		
14 May	18.0	41.0	20.8	55.0	26.6	63.3		remove vinyl cover and watering
17 Jun	24.0	85.0	22.6	87.2	24.9	67.6		watering
14 Jul	25.9	77.7	24.1	82.6	25.4	66.4	5~9	primordia formation
4 Aug	30.7	72.1	29.0	83.0	29.3	66.7		1st cycle, 352 kg
9 Aug	30.4	61.5	23.9	100	25.1	66.3	4~9	primordia formation
22 Aug	30.0	71.4	27.7	83.2	29.8	66.0		2nd cycle, 288 kg
28 Aug	27.5	77.8	25.5	86.9	25.3	65.7	3~10	primordia formation
7 Sep	25.5	74.6	23.7	88.0	26.0	65.0		3rd cycle, 320 kg
10 Sep	23.7	100	25.2	85.0	25.7	65.2	2~12	primordia formation
24 Sep	17.0	64.8	19.7	78.2	22.6	64.3		4th cycle, 800 kg
26 Sep	16.9	72.8	16.6	96.4	20.0	64.3	3~20	primordia formation
8 Oct	16.9	83.1	21.5	88.6	24.0	64.0		5th cycle, 1296 kg
10 Oct	18.1	81.0	18.4	99.3	21.4	64.0	13~17	primordia formation
22 Oct	13.8	72.4	19.1	82.5	22.1	56.7		6th cycle, 1853 kg
25 Oct	12.1	59.6	16.4	99.6	19.5	56.9	7~17	primordia formation
9 Nov	5.0	33.6	9.8	86.1	12.7	54.2		7th cycle, 1476 kg

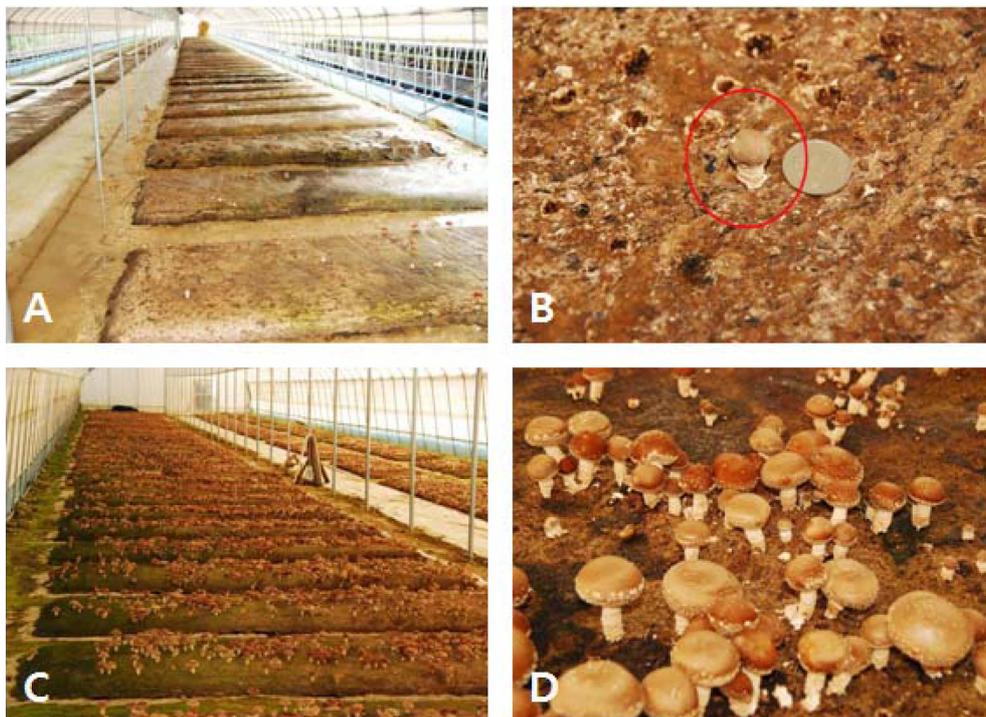


Figure 10. Surface sawdust bed cultivation shed for *Lentinula edodes*. Watering(A), fruiting(B), fruiting surface bed(C), mushrooms to be harvested(D).

(2) 주기별 표고발생

표고발생은 배지를 3월말에 입상한 후 약 120일 지난 7월 말경부터 시작하여 약 100일 동안, 12월초까지 8주기에 걸쳐 지속되었다(Table 1, Figures 11, 12). 톱밥표고 봉지재배에서 버섯의 수확기간은 배지의 크기, 관리 방법 등에 따라서 다르나, 일반적으로 3~4개월 기간 중에 5~7회 수확한다(personal communication with oak mushroom

grower with sawdust, E.Y. Jung). 이번 지면 균상재배에서 표고생산기간은 한 주기가 평균 5~6일이었고 총 8주기였다. 수확일 수는 1주기 7일, 2주기~7주기는 5~6일, 8주기는 13일간이었으며, 원기 형성 후 자실체로 성숙하는 기간은 1주기가 6일, 2주기 5일, 3~4주기가 4일, 5~6주기가 3일, 7~8주기는 7일이었다(Figure 11).

주기별 표고 총수확량은 일중 온도차이가 12°C이상되

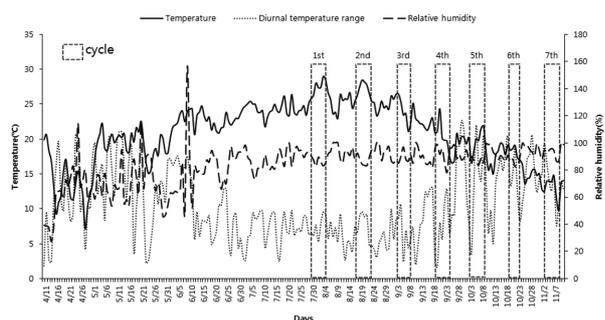


Figure 11. Daily mean temperatures, temperature differences and relative humidities in the shed of sawdust surface bed cultivation for *Lentinula edodes* during seven cycles of production from 11th April to 11th November 2010.

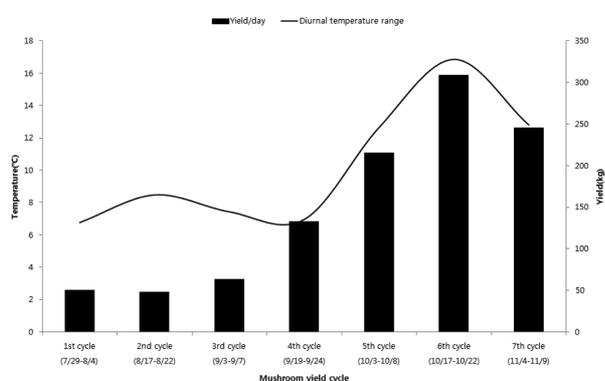


Figure 12. Daily temperature differences inside of cultivation shed and *Lentinula edodes* yield.

는 가을철에 크게 증가하여, 6주기인 10월 중순에 최대가 되었다(Figure 12, Table 1). 즉 1주기(7/29~8/4, 50.3 kg/일) 352 kg, 2주기(8/17~8/22, 48.0 kg/일) 288 kg, 3주기(9/3~9/7, 64.0 kg/일) 320 kg, 4주기(9/19~9/24, 133.3 kg/일) 800 kg, 5주기(10/3~10/8, 216.0 kg/일) 1,296 kg, 6주기(10/17~10/22, 308.8 kg/일) 1,853 kg, 7주기(11/4~11/9, 246.0 kg/일) 1,476 kg, 8주기(11/23~12/7, 76.2 kg/일) 990 kg이었다(Figure 14). 최소 수확기는 2주기로 288 kg였으며, 최대 수확기는 6주기로 1,853 kg였다. 결국 한솔 표고농장 전체적으로는 약 33.0톤의 톱밥에서 약 7.4톤의 표고가 수확되어 톱밥배지의 버섯생산 효율은 약 22.4%였다. 이 효율은 일반적으로 알려진 표고톱밥재배 생산효율 25~30%(Bak et al., 2008) 보다는 낮았지만, 표고버섯의 발생 및 수확관리가 수월한 점은 있다고 생각되었다.

결론

표고버섯의 지면 톱밥균상재배는 살균된 톱밥과 표고 톱밥 종균을 섞어서 지면에 균상을 만들어 재배하는 방법이다. 표고 수확은 3월에 입상한 후 약 120일 후인 7월 말경부터 시작하여 약 100일 동안, 12월초까지 8주기에 걸

쳐 관수관리하면서 이루어졌다. 이 재배에서 농장 전체 약 33.0톤의 톱밥에서 약 7.4톤의 표고를 수확하여 지면균상재배의 표고생산 효율은 약 22.4%였다. 이 방법은 일반적인 표고톱밥재배보다 생산효율이 낮지만, 버섯발생과 수확관리면서 편리한 점이 있었다. 그러나 톱밥과 종균을 섞는 배지 입상과정은 오염균의 피해를 줄이도록 개선될 필요가 있다.

감사의 말씀

본 연구는 산림청의 산림과학기술개발사업의 ‘혈기성발효 참나무톱밥을 이용한 저비용 고효율 표고지면재배 기술개발(과제번호 2009-자유10)’ 과제의 연구비 지원으로 수행된 것입니다. 톱밥표고의 지면 균상재배를 수행한 충북 증평군의 한솔표고농장 이근희씨, 그리고 표고생산 등 자료수집을 도와준 김재영 충북대 산림학과 학생에게 감사드립니다.

References

- Bak, W.C., Ko, H.G., and Kim, S.C. 2015. *Lentinula edodes*. pp. 199-238. In Y.B. Yoo, ed. Mushroom sciences crop details. Kyohak. Seoul.
- Bak, W.C., Park Y.A. and Park, J.H. 2013. Status and prospect of oak mushroom industry. Kfri Forest Policy Issue. No. 11. pp. 17. (in Korean)
- Bak, W.C., Yoon, G.H., Kim, S.C., and Hong, G.S. 2008. New cultivation technology for sustainable production of *Lentinula edodes*. National Forest Research Institute. Seoul. pp. 307. (in Korean)
- Choi, W.S. 2001. Analysis of environment factors affecting growth of high-quality oak mushroom. Graduate School of Seoul National University masters Thesis.
- Deacon, J. 2013. Fungal Biology. 4th edition. Blackwell Publishing Ltd. pp. 371.
- Djakirana, G., Joergensen, R.G., and Meyer, B. 1996. Ergosterol and microbial biomass relationship. Biology and Fertility of Soils 22: 299-304.
- Forest Mushroom Research Center. 2009. Oak mushroom cultivation technology. Forest Cooperatives, Gyeonggido. (in Korean). pp. 230.
- Gyeonggido Mushroom Research Committee. 2009. Know well mushroom cultivation. Theory and practice. Gyeonggido. pp. 440.
- Kim, H., You, J., Jo, Y., Lee, Y., Park, I., Park, J., Jung, M.A., Kim, Y.-S., and Kim, S. 2013. Inhibitory Effects of *Lentinus edodes* and Rice with *Lentinus edodes* mycelium on Diabetes and Obesity. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition 42(2): 175-181.
- Kim, J.W., Cheon, W.J., Chai, K.H., Kim, D.G., Son, S.H.,

- Kim, J.G., and Lim, H.J. 2012. Optimization of medium composition for the mycelial growth of *Sparassis crispa*. *Journal of Life Science* 22: 200-208.
- Kim, M.G, Yun, G.H., Park, W.C., Park, H., Choi, J.W., Lee, J.W., and Lee, B.H. 2004. Ergosterol contents and enzymatic characteristics of *Lentinula edodes* during culture and fruiting periods. *Journal of Korea Forestry Energy* 23(2): 21-28.
- Ko, H.G. 2014. Oak mushroom industry status and development plan in Korea. 37-57p. In The 2nd specialist forum to develop oak mushroom industry in Korea and China. National Forestry Cooperatives Federation, Forest Mushroom Research Center. 14th October 2014.
- Koo, C.D., Cho, N.S., Kim, J.S., Park, J.I., Choi, T.H. and Min, D.S. 2000. Variation of ergosterol content in *Lentinula edodes* culture. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 28(1): 65-70.
- Koo, C.D., Lee, S.J. and Lee, H.W. 2013. Morphological characteristics of decomposition and browning of oak sawdust medium for ground bed cultivation of *Lentinula edodes*. *The Korean Journal of Mycology* 41(2): 85-90.
- Koo, C.D., Lee, S.J., Lee, H.Y., Park, Y.W., Lee, H.S., and Kim, J.S. 2014. Changes on physio-chemical properties of oak sawdust during fermentation. *J. Mushrooms* 12(3): 209-215.
- Lee, H.Y., Ham, E.J., Yoo, Y.J., Kim, E.S., Shim, K.K., Kim, M.K., and Koo, C.D. 2012. Effects of aeration of sawdust cultivation bags on hyphal growth of *Lentinula edodes*. *Mycobiology* 40(3): 164-167.
- Linsler, D., Taube, F., Geisseler, D., Joergensen, R.G., and Ludwig, B. 2015. Temporal variations of the distribution of water-stable aggregates, microbial biomass and ergosterol in temperate grassland soils with different cultivation histories
- Min, K.T. 2014. Oak mushroom supply trend and prospect in Korea. 31-36p. In 2nd specialist forum to development oak mushroom industry in Korea and China. National Forestry Cooperatives Federation, Forest Mushroom Research Center. 14 October 2014.
- Park, Y.A., Lee, K.T., Bak, W.C., Kim, M.K., Ka, K.H., and Koo, C.D. 2011. Ergosterol contents analysis in various strains of *Lentinula edodes* using LC-MS/MS. *The Korean Journal of Mycology* 39: 239-242. (in Korean)
- Shim K.K., Yoo, Y.J., Koo, C.D., and Kim, M.K. 2014. Changes of nutrients in media and mycelia on liquid spawn culture of *Lentinula edodes*. *Korean Journal of Mycology* 42(2): 144-149.
- Stamets, P. 2000. Growing gourmet and medicinal mushroom. 3rd ed. Ten Speed Press. Berkeley. pp. 574.
- Stamets, P. 2005. Mycelium running. How mushrooms can help save the world. Ten Speed Press. Berkeley. pp. 343.
- Yang, H., Tong, J., Lee, C., Ha, S. Eom, S.H., and Im, Y.J. 2015. Structural mechanism of ergosterol regulation by fungal sterol transcription factor Upc2. *Nature Communications* 6:6129/doi:10.1038/Ncomms7129.
- Yoo, Y.B., Koo, C.D., Kim, S.H. Seo, G.S., Shin H.D., Lee, J.W., Lee, C.S., and Jang, H.Y. 2010. Mushroom Science. Nature and Human Being. Seoul, pp 453. (in Korean)

(Received: March 12, 2015; Accepted: July 7, 2015)