참나무류 톱밥의 발효기간 중 물리화학적 특성 변화

구창덕* · 이선정¹ · 이화용 · 박용우 · 이희수 · 김재수

충북대학교 산림학과, ¹국립산림과학원 산림환경부

Changes on physio-chemical properties of oak sawdust during fermentation

Chang-Duck Koo*, Sun-Jeong Lee¹, Hwa-Yong Lee, Yong-woo Park, Hee-Su Lee and Je-su Kim

Department of Forest Science, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Korea

¹Division of Forest Environment, Korea Forest Research Institute, Seoul, 130-712, Korea

ABSTRACT: Changes in physical and chemical properties of oak sawdust were investigated by depth and time for 46 days during the fermentation process of 33 tons of the sawdust for oak mushroom cultivation. The degrees of change in the properties of the sawdust differed depending on the depth and fermentation period. Most of the physical-chemical properties except temperature and pH gradually changed during the fermentation. The temperature change was highly sensitive to the environment at the surface sawdust to 20 cm depth, while it gradually increased to the maximum 58.9°C at 40~100 cm depths in 12 days and slowly to the maximum at 150 cm depth in 24 days. The moisture content of the sawdust decreased gradually from 31% to 26.5~28.0% in 24 days. Of the chemical properties during the fermentation, pH generally rose from 5.2 to 5.6, but it decreased to 4.4~4.7 at 150 cm depth in 16 days. While the carbon content of the sawdust was 68~70% without significant change, nitrogen content increased from 0.22% to 0.25% and thus C/N ratio gradually lowered from 320 to 280. P content in the sawdust gradually increased from 0.005% to 0.022% for 46 days. Osmotic concentration of the hot water extract of the sawdust varied 41.5~44.2 mmol/kg without significant change by the depth and time. The starch particles within initial ray parenchyma cells of sawdust decreased and fungal hyphae formed on the surface of the sawdust granules and within xylem vessel cells in 35 days. The effect of the sawdust fermentation on oak mushroom cultivation needs continued research.

KEYWORDS: Physio-chemical properties, Oak sawdust, Fermentation, *Lentinula edodes*

서론

표고(*Lentinula edodes*(Berk) Pegler)는 맛과 향이 좋은 식용버섯으로 중국에서는 향구(Xianggu, 香菇), 일본에서는 시이타케(椎茸)라고 한다. 표고는 항암작용 물질

인 렌티난(lentinan)과 콜레스테롤 함량을 낮추는 에리타데닌(eritadenin) (Park *et al.*, 2011)을 함유한 약용버섯이며, 비타민 D의 전구물질인 에르고스테롤을 많이 함유하고 (Kim *et al.*, 2004), 방향족 화합물을 분해할 수 있어 오염된 토양을 복원(Stamets, 2005)할 수 있는 버섯이기도 하다.

이 표고생산에 원목보다는 톱밥이 점차적으로 많이 사용되고 있다. 표고톱밥 재배의 배지 효율은 약 30%로 원목재배 효율의 15%에 비하여 월등히 높고, 배지생산을 자동화 할 수 있고, 배양기간을 단축하여 자본회전이 빠르다 (Park *et al.*, 2008; Forest Mushroom Research Institute, 2009). 참나무 톱밥을 이용하는 표고생산은 중국이 전체 생산량의 거의 대부분인 345만톤(Yu, 2012), 일본은 전체 생산량의 약 80%인 약 8만톤, 한국에서는 연간 3.7~4.4만톤의 약 25%인 0.8~1만톤이 생산되는 것으로 추정된다(Park *et al.*, 2013).

한편 생톱밥에서는 미생물생장에 불리한 기체가 발생하고, 신속하게 성장하는 미생물이 이용하기 쉬운 탄수화물

J. Mushrooms 2014 June, 12(3):209-215
http://dx.doi.org/10.14480/JM.2014.12.3.209
Print ISSN 1738-0294, Online ISSN 2288-8853
© The Korean Society of Mushroom Science

*Corresponding author
E-mail : koocdm@chungbuk.ac.kr
Tel : +82-43-261-2537, Fax : +82-43-272-5921

Received July 22, 2014
Revised September 13, 2014
Accepted September 22, 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.

이 노출되어 잡균의 오염이 쉽고, 날카로운 톱밥 알갱이는 재배봉지에 구멍을 내어서 오염균이 침투하게 되고, 수분이 손실되어 배지가 저질화될 가능성이 크다(정의용, 부여, 표고 톱밥재배자). 이에 비하여 발효톱밥에서는 표고균이 자라는데 장애를 주는 가스가 휘산되고, 급속히 자라는 미생물들이 톱밥내 단순한 화합물을 이용하고 고갈시키므로, 이들을 살균하면 표고균사가 자라기에 유리하게 될 수 있다. 따라서 발효톱밥은 생톱밥에 비해 균사의 초기 활착 및 성장속도가 빠르게 될 수 있다. 발효된 활엽수 톱밥은 느타리 재배에서도 생산을 높이고(Oh *et al.*, 2004), 발효된 톱밥은 가축사료의 질(Kim *et al.*, 2011)이나 돼지고기의 육질(Lee *et al.*, 1999)을 개선하는데도 응용이 가능하다.

본 연구에서는 참나무류 톱밥 발효기간과 적재깊이에 따른 물리화학적 특성을 분석하여 표고봉지재배에 활용할 수 있는 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

재료 및 방법

참나무류 톱밥

참나무톱밥 33ton을 2012년 2월 18일 충북 증평군 증평읍 남차리의 표고농장에서 한쪽 입구가 열린 비닐하우스 내에 적재하였다. 높이 2m정도로 적재된 톱밥에 깊이를 측정할 수 있도록 외부에 눈금을 표시한 직경 10 cm의 pvc 파이프를 경사지게 놓고 이를 통하여 시료를 채취하였다(Fig. 1). 톱밥적재 당시의 온도는 3°C였으며, 톱밥의 물리화학적 특성으로 수분함량 31%, pH 5.2, 총탄소함량 69%, 총질소함량 0.22%, C/N율 314, P함량 0.004%, 톱밥의 열수추출액 농도는 약 42.3 mmol/kg 었다.

톱밥의 발효기간 및 적재 깊이별 온도와 함수를 변화

참나무 톱밥 발효 기간 및 적재 깊이별 온도와 함수율은 2010년 2월 18일부터 4일 간격으로 적재된 톱밥의 표면, 20 cm, 60 cm, 80 cm, 100 cm, 150 cm 깊이에서 측정하였다. 퇴적 깊이별 온도는 온도계(Testo 915-1, Testo,

Fig. 1. Sampling of the fermented oak sawdust by injecting a 10 cm-diameter pipe into 150 cm depth in the sawdust pile.

Germany)를 넣어 온도를 측정하였으며 온도 측정이 끝난 직후 시료를 100 g정도 채취하였다. 함수율은 톱밥시료 10 g씩 3개 반복시료를 건조기에서 50°C로 무게 변화가 없을 때까지 건조한 후 습량기준으로 구하였다.

톱밥의 발효기간 및 적재 깊이별 화학성

참나무 톱밥의 발효 기간 및 적재 깊이에 따른 화학성 변화는 톱밥 적재 후 4~12일 간격으로 46일 동안 표면 ~20 cm, 40~60 cm, 80~100 cm 깊이에서 시료를 채취하여 조사하였다. pH는 톱밥 시료를 증류수와 1:20(W:V)으로 혼합하여 105 rpm으로 3시간 진탕한 후 pH meter(pH/mV/TEMP Meter P25, EcoMet, Korea)로 3반복 시료에 대하여 측정하였다(Lee *et al.*, 2002). 발효 톱밥 내 T-C, T-N, P의 함량 변화는 충북대학교 환경자원분석센터에 의뢰하여 T-C는 회화법(ASTM, 2000), T-N은 Kjeldahl 자동분석기(Automatic Kjeldahl Analyzer 1035, Tectar AB, Sweden), P는 Vanadate법(Kalra and Maynard, 1991)으로 분석하였다. 발효톱밥의 수용성물질 농도변화는 톱밥의 열수추출액에서 삼투압 농도로 측정하였다. 톱밥의 열수추출은 톱밥을 파쇄한 후 106~710 μm 로 거른 뒤 2차 증류수와 1:50(W:W)비율로 섞고 중탕기(WB-11, DAIHAN, Korea)를 이용하여 100°C에 3시간 중탕하여 추출하였다. 열수 추출액은 20 μm 나일론망(20 μm NY20, MILLIPORE, Ireland)으로 여과 후 삼투압 측정기(MODEL 5520, WESCOR, USA)로 농도를 측정하였다.

톱밥조직 세포내 전분, 조직 및 군사 조사

참나무 발효 톱밥내 전분여부, 미생물생장 그리고 목재조직의 변화 조사는 톱밥시료의 횡단면, 종단면, 접선단면으로 절단하여, 광학현미경(E200, Nikon, Japan)과 전계방출형 주사전자현미경(충북대학교 공동실험실습관, LEO-1530, Carl Zeiss, Germany)으로 미세구조를 관찰하였다. 주사전자현미경으로 관찰하기 위해 제작된 시료는 2.5% glutaraldehyde에 전고정을 하여 보관한 후 0.1M phosphate Buffer로 10분씩 2회 씻어낸 뒤 0.1% Osmium tetroxide로 후고정을 하였다. 후고정이 끝난 시료는 30, 50, 70, 80, 90, 95% 알콜에 10분씩 1회, 100% 알콜과 Isoamylacetate에 10분씩 2회 탈수 한 후 백금 및 금으로 코팅하여 검경하였다.

결과 및 고찰

참나무톱밥 발효기간과 적재깊이별 온도와 수분함량 변화

2012년 2월 중 적재기간 처음 4일간에는 톱밥내 온도는 전체적으로 7~15°C범위였고 그 후는 톱밥내 깊이별로 온도변화가 달라졌다(Fig. 2). 톱밥표면에서 온도변화는 6~13°C였다. 적재 8일째부터는 20~80 cm 깊이에서는 40~50°C 이었고, 100 cm 깊이에서는 36°C이었다. 적재

Fig. 2. Temperature changes in different depth of the oak sawdust pile during fermentation periods.

12일째에는 표면과 150 cm 깊이를 제외한 모든 깊이에서 50~56°C 이었다.

한편 적재 16일 째에는 톱밥퇴적하우스의 천장을 열은 결과 20 cm 깊이에서는 35.4°C로, 40 cm 깊이에서는 47.2°C로 낮아졌지만, 60 cm 이상의 깊이에서는 50~56°C를 유지하였다. 적재 20일째에는 20 cm 깊이에서 31.3°C, 40 cm 깊이에서 44.4°C, 60 cm 깊이가 49.3°C로 등으로 각각 낮아졌지만, 80~150 cm 깊이에서는 계속 56°C를 유지하였다. 그리고 24일째에는 80 cm 깊이에서도 50°C로 낮아졌고, 100~150 cm 깊이에서만 56°C가 유지되었다. 적재 깊이가 깊어질수록 온도의 상승과 하강이 느린 이유는 톱밥이 겨울철에 제조되어 온도가 낮았고, 톱밥의 단열성이 있었기 때문으로 생각된다.

적재된 톱밥의 표면은 대기온도에 직접 영향을 받아 3~20°C로 변하였지만, 톱밥 깊이는 보온단열층이 되어, 100 cm 정도 깊이는 외기 영향을 거의 받지 않았다. 적재된 톱밥 내부에서 온도가 올라가는 것은 미생물의 생장과 증식활동에 의한 호흡열로서, 발열정도는 혐기보다 호기 상태에서 높지만, 단열층이 있어야 이 온도가 보존이 된다. 이 연구에서 적재기간 중 최고온도는 20일째 100 cm 깊이에서 58.9°C였다. 한편 발효를 지속시키면 톱밥 깊이 80~100 cm에서는 온도가 55~58°C로 약 80일까지 유지되었지만, 이 보다 얇은 깊이에서는 50일 이후에는 55°C 이하로 낮아졌다 (미발표 자료).

발효기간과 퇴적깊이에 따른 수분함량 변화

톱밥의 수분함량은 적재 4일째 표면에서 20%이었고, 20~100 cm 깊이에서 30~31%이었다(Fig. 3). 적재 8일째에는 함수율이 적재표면에서 19%로 1%가 줄었으나, 20~100 cm 깊이에서는 적재 4일째와 변함이 없었다. 적재 12일째 함수율은 표면에서 16%, 20 cm 깊이에서는 32%, 40~100 cm 깊이에서는 26~28%, 그리고 150 cm 깊이에서는 33%이었다.

적재 20일째에는 전날 하우스 지붕의 열림과 함께 강설

Fig. 3. Water content changes in different depth of the oak sawdust pile during fermentation periods.

Fig. 4. pH changes in oak sawdust pile by depth during fermentation periods.

과 강우로 적재톱밥 표면에서 수분이 증가하였으나 내부에서는 감소하였다. 즉 함수율이 톱밥표면에서 35%, 20 cm 깊이에서 29%로 증가하였으나, 40~100 cm 깊이에서는 적재 4일째에 비해 약 3~5%정도 감소하여 평균 25%였다. 이는 톱밥 내 미생물의 활발한 대사활동과 높은 발열로 인하여 수분 소모가 있었기 때문이다(Ha *et al.*, 2008). 24일째에 함수율은 표면이 31%, 20 cm 깊이에서 27%, 40 cm~80 cm 깊이에서 23~26%, 100 cm 깊이에서 29%, 그리고 150 cm 깊이에서는 31%이었다.

발효 기간 및 적재 깊이에 따른 톱밥의 화학성 변화

적재톱밥의 pH는 적재 4일째 pH 5.19에서 24일째 pH 5.64로 점진적으로 그리고 전체적으로 증가하였으나, 150 cm 깊이에서는 pH 4.4~4.7 정도로 유지되었다(Fig. 4). 적재 16일째에 100 cm 깊이에서 pH가 150 cm 깊이에서 나타나는 pH 4.42로 낮았던 것은 적재 톱밥 내부의 일부 부위에서 생길 수 있는 오차라고 생각이 된다.

가장 깊은 150 cm에서 pH가 가장 낮은 이유는 산소가 고갈된 상태에서 톱밥 내에 존재하는 미생물들의 무기호흡에 의한 알코올 및 젖산 발효의 영향이라고 생각된다

Fig. 5. Total carbon content changes in different depth of the oak sawdust pile during fermentation periods.

(Ha *et al.*, 2008). 시료 채취시 시큼한 술냄새가 풍겼는데 이는 이러한 생각을 뒷받침 한다.

발효 기간 및 적재 깊이에 따른 톱밥의 T-C, T-N, P 함량 변화

톱밥적재 기간 중에 깊이별 T-C(총탄소)변화는 4일째 66~76%에서 8일~20일째에 56~59% 낮아졌고, 46일째는 69~71%로 큰 변화가 있었다(Fig. 5). 이는 적재 톱밥내 불균일한 조건의 영향으로 생각된다. 발효 중에는 미생물의 활동에 의하여 생성된 이산화탄소와 메탄 등의 탄소 화합물들이 방출되는데, 표면 및 20 cm 깊이는 공기중에 노출되어 있어 톱밥 내 미생물의 활동에 의한 발효 중 생성되는 이산화탄소 및 메탄 등이 쉽게 확산될 수 있는 환경이나, 적재 내부는 확산이 어렵고 단열과 동시에 톱밥내 산소량이 고갈되어, 46일 단기간에 T-C함량 변화는 적었던 것으로 생각된다.

적재된 톱밥내 T-N(총질소)함량은 발효기간과 적재 깊이에 따라 유의한 변화는 없었으나 발효 20일째 이후부터는 점진적으로 증가하는 경향이 있었다(Fig. 6). 즉 적재 4일째 0.20~0.25%에서 46일째 0.25% 내외였다. 유기물이 발효되면서 질소농도가 증가되는 이유는 미생물이 유기물을 분해하면서 탄수화물을 에너지원으로 사용하여 호흡으로 CO₂로 발산시키는 반면에 유기물내 질소화합물은 미생물체내에 단백질로 합성되어 축적되기 때문이다 (Garraway and Evans, 1984).

Jhun *et al* (2004)은 느타리 재배용 폐면 발효 시 암모니아태 질소 함량은 혐기성 발효 경우가 호기성 발효보다 평균 680 ppm정도 높다고 하였다. 한편 톱밥에는 분해가 쉽고 세포벽이 얇은 유조적이 적어서 46일간에 N 농도의 변화가 감지되기는 어려운 것으로 생각되었다.

한편 폐면의 발효에서도 발효시간이 경과하고 온도가 바뀔에 따라 발효에 관련된 우점종이 천이한다(Ha *et al.*, 2008). 그리고 톱밥에 있던 여러 영양분과 미네랄은 미생

Fig. 6. Total nitrogen content changes in different depth of the oak sawdust pile during fermentation periods.

Fig. 7. P content changes in in different depth of the oak sawdust pile during fermentation periods.

Fig. 8. C/N ration changes in different depth of the oak sawdust pile during fermentation periods.

물에 의해 재생산되어 버섯균사 성장에 이로운 영양분으로 바뀌게 된다(Shim, 2002). 이에 따라 본 톱밥에서도 함유 성분과 발효온도에 따라, 발효초기에는 톱밥 내에서 중온성 미생물이 이용하기 쉬운 수용성 탄소원과 질소원 그리고 미네랄 등을 이용하여 증식하게 되고, 온도가 높아짐에 따라 고온성 미생물들이 가용 탄소원을 사용하여

Fig. 9. Hot water extract changes in different depth of the oak sawdust pile during fermentation periods.

성장하므로, 이들 생체내에 질소양분이 축적된다고 생각 한다. 이렇게 톱밥발효에 관련된 균들은 차후 표고균을 접종하기 전에 톱밥배지를 살균하면 죽게 되고, 이들의 사체가 표고균사생장에 이용된다.

적재된 톱밥 내 P함량의 변화는 4일째 0.005%에서 46일째 0.015~0.027%로 점진적으로 증가하는 경향이였다. (Fig. 7).

적재된 톱밥에서 C/N율은 적재 4일째에서 261~361에서 46일째는 272~288로 점진적으로 감소하였지만 톱밥값 이별로는 차이가 나지 않았다 (Fig. 8).

표고는 질소함량이 0.03~1.0% 정도로 아주 낮은 목질에서 자라는 균이므로 C/N비율이 350~500:1 정도 되는 기질을 선호한다(Oh *et al.*, 2004; Yoo *et al.*, 2010). 톱밥은 C/N비가 310 내외에서 280정도의 범위였으므로 어느 시기에도 사용가능한 상태였다고 생각한다.

참나무 톱밥의 발효 기간 및 적재 깊이에 따른 열수추출액 농도의 변화

참나무 발효 톱밥의 열수추출액의 농도는 41.2~44.2 mmol/kg로 변동하였으나, 발효기간 및 적재깊이에 따른 차이는 없었다(Fig. 9). 톱밥의 열수추출물은 목질성분 중에서 녹기 쉬운 헤미셀룰로스나 당당 그리고 전분일 수 있으나 미생물생장을 억제하는 복합물 일수도 있다. 스페인 참나무의 심재에는 엘라지탄닌과, 저분자 페놀, 휘발성 화합물들이 존재한다(Fernndez de Simn, 2010). 신갈나무의 열수 추출물은 1,000 ppm 농도에서 잣빛곰팡이균 (*Botrytis cinerea* (Kumsan))의 균사생장을 27% 억제하였다(Yeo *et al.*, 2008). 소나무톱밥의 열수 추출물도 1000 ppm에서 표고균사의 생장을 24% 억제하였다(Hong, 2004). 하지만 미송과 낙엽송의 열수추출물은 푸른곰팡이균, *Trichoderma harzianum*과 *T. viridae* 종의 균사생장을 억제하지 않았다(Kim *et al.*, 2009). 그러므로 발효과정 중에 이러한 표고균사 생장을 저해할 물질들이 분해되거나 침출수로 빠져 나갈수 있을 것이라 생각된다.

Fig. 10. Starch granules within ray cells on tangential section of fresh oak sawdust. 400x. RP: ray cells, ST: starch granules stained with Melzer's reagent.

Fig. 11. Starch granules within parenchyma cells on the tangential section of fresh oak sawdust. 500x. no fungal hyphae in vessel(V). F: fiber cell.

참나무 발효 톱밥 내 전분 변화 및 분해균사 생장

최초 채취한 상수리나무 톱밥의 방사유세포에서는 전분이 존재하였고(Figs. 10, 11), 도관에서는 곰팡이의 균사가 없었다. 적재 후 35일 경과한 참나무 발효톱밥 입자 표면에는 균사가 점유하고 포자가 형성되었으며(Fig. 12), 도관내부에는 곰팡이의 균사와 소수의 전분입자가 관찰되었다(Figs. 13). 톱밥발효 중에 나타나는 고온성이며 호기성 방선균으로는 *Amycolatopsis* 균이 보고된 바 있다(Lee *et al.*, 2013).

이상의 결과, 참나무 톱밥의 발효 과정 중에 톱밥의 물리성과 화학성의 변화 정도는 발효기간과 적재 깊이에 따라 달랐다. 톱밥의 물리성 중에서 온도는 초기 3°C에서 적재 12일만에 최고온도 56°C에 도달하였고, 수분함량은 초기 31%에서 26.5%로 점진적으로 감소하였다. 화학적 성질 중에서 톱밥의 pH는 5.2에서 5.6으로 점진적으로 상승하였으나, 150 cm 깊이에서는 발효기간 중에 4.4~4.7을 유

Fig. 12. Hyphae(H) in ray cells of oak sawdust fermented for 35 days. 1000x.

Fig. 13. Hyphae(H) and few starch particles (SP) in vessel(V) cell of oak sawdust fermented for 35 days. 500x.

지하였다. 톱밥의 탄소함량은 초기 68%에서 70%로 변화가 적는데 비하여, 질소함량은 0.22%에서 0.25%로 점진적으로 상승하여 C/N비는 320에서 280으로 낮아졌다. 톱밥 내 P함량은 0.005%에서 46일째 0.022%로 점진적으로 증가하였다. 톱밥의 열수추출액 삼투압 농도는 발효 기간, 적재 깊이에 따라 41.5~44.2 mmol/kg로 차이가 없었다.

이 기간 중에 톱밥 입자의 유세포에서 저장 전분은 소멸되면서, 곰팡이 균사가 도관과 유세포 공간에 증식되었다. 이런 변화가 표고균사의 생장과 버섯발생에 어떻게 영향을 주는지는 차후 연구가 필요하다고 생각된다.

감사의 말씀

이 논문은 2012년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비와 산림청 ‘산림과학기술개발사업(과제번호: S120909-L100100)’의 지원에 의하여 연구된 결과입니다. 톱밥과 실험조사에 협조하여 주신 증평의 이근희씨와 산림학과 최은희 학생에게 감사합니다.

적 요

표고 재배에 이용되는 참나무 톱밥의 발효과정에서 물리화학적 특성변화를 알기 위하여 참나무 톱밥 33 ton을 적재하고, 46일 동안 기간별로 깊이별로 변화를 조사하였다. 톱밥의 물리화학적 특성은 발효기간과 적재 깊이에 따라 변화정도가 달랐다. 대부분의 물리·화학적 성질은 발효 동안 점진적으로 변화하였지만, 온도는 기간과 깊이에 따라 다르게 변하였다. 톱밥의 온도는 표면 20 cm 깊이는 환경에 따라 민감하게 변하는데 비하여, 40~100 cm 깊이에서는 점진적으로 변하여 적재 12일 만에 3°C에서 최고온도 58.9°C에 도달하였고, 150 cm 깊이에서는 24일 만에 최고온도에 도달하였다. 수분함량은 발효 24일 만에 초기 31%에서 26.5~28.0%로 점진적으로 감소하였다. 발효기간 중 톱밥의 화학성을 보면, pH는 대체로 5.2에서 5.6으로 점진적으로 상승하였으나, 150 cm 깊이에서만은 16일 만에 4.4~4.7로 낮아졌다. 톱밥의 탄소함량은 68~70%로 변화가 적는데 비하여, 질소함량은 0.22%에서 0.25%로 점진적으로 상승하여 C/N비는 320에서 280으로 낮아졌다. 톱밥의 P함량은 0.005%에서 46일째 0.022%로 점진적으로 증가하였다. 톱밥의 열수추출액 삼투압 농도는 41.5~44.2 mmol/kg로 적재 깊이에 따른 차이는 없었다. 초기 톱밥의 방사유세포에는 전분 입자가 존재하고 도관에는 균사가 없었으나, 발효 35일 후에는 세포 내 전분입자는 소수 남았고, 톱밥입자의 표면과 목질부 도관 내에는 균사가 생장하였다. 톱밥발효가 표고재배에 미치는 영향은 차후 계속적인 연구가 필요하다.

참고문헌

- ASTM. 2000. Standard test methods for moisture, ash, and organic matter of peat and other organic soils. Method D 2974-00. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA.
- Bak WC, Park YA, Park JH. 2013. Status and prospect of oak mushroom industry. Kfri Forest Policy Issue. No 11. pp.17. (in Korean)
- Bak WC, Yoon GH, Kim SC, Hong GS. 2008. New cultivation technology for sustainable production of *Lentinula edodes*. pp. 307. National Forest Research Institute. Seoul. (in Korean).
- Fernández de Simn B, Cadaha E, del Alamo M, Nevares I. 2010; Effect of size, seasoning and toasting in the volatile compounds in toasted oak wood and in a red wine treated with them. *Analytica chimica acta*. 660:211-220.
- Forest Mushroom Research Institute. 2009. Oak mushroom cultivation technology. pp. 230. Forest Cooperatives, Gyeonggi-do. (in Korean).
- Garraway, MO, Evans RC. 1984. Fungal nutrition and physiology. pp. 401..
- Ha TM, Yoon SM, Ju YC, Sung JM. 2008. Physical and chemical characteristics of cotton waste substrate

- according to fermentation conditions for oyster mushroom bed cultivation. Korean Journal of Mycology. 36:163-171.
- Hong SC. 2004. Application of softwood sawdust for *Lentinus edodes* cultivation in polypropylene bag. Gyeongsang National University. MS thesis. pp. 61.
- Jhune, CS, Jang KY, Cho SM, Oh SJ, Park JS, Weon HY. 2004. Change of chemical and microbial properties during fermentation of cotton waste for oyster mushroom cultivation. Korean Journal of Mycology 32:105-111.
- Kalra YP, Maynard DG. 1991. Methods manual for forest soil and plant analysis. Forestry Canada, Information report NOR-X319. pp.125.
- Kim JW, Yeo HD, Jung JY, Nam JB, Choi MS, Yang JK. 2009. Antifungal activity of wood extracts against *Trichoderma* spp. Journal of Mushroom Science and Production. 7:61-62.
- Kim MG, Yun GH, Park WC, Park H, Choi JW, Lee JW, Lee BH. 2004. Ergosterol contents and enzymatic characteristics of *Lentinula edodes* during culture and fruiting periods. Journal of Korea Forestry Energy 23(2): 21-28.
- Kim, MK, Lee, HG, Park, JA, Kang, SK, Choi, YJ. 2011. Recycling of fermented sawdust-based oyster mushroom spent substrate as a feed supplement for postweaning calves. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 24:493-499.
- Lee HS, Koo CD, Lee HY, Park YW, Lee DH, Yun SY. 2013. Growth characteristics of actinomycete *Amicolatopsis* sp. OSD-2 fermenting oak sawdust. J Agr. Sci. Chungbuk Nat'l Univ. 29:72-75. (in Korean)
- Lee JI, Ju ST, Park GB. 1999. The effect of fish power oil additive in diet on the fatty acids composition and cholesterol content of pork belly from the pigs fed on the fermented sawdust feds. Korean J. Food Sci. Ani Resour. 19:127-135.(in Korean)
- Lee YH, Cho YJ, Kim HD. 2002. Effect on mycelial growth and fruit body development according to additives and mixing ratio in pot cultivation of *Pleurotus ostreatus*. Korean Journal of Mycology. 30:104-108. (in Korean)
- Oh SJ, Park JS, Shin PG, Yoo YB, Jhune CS. 2004. An improved compost using cotton waste and fermented sawdust substrate for cultivation of oyster mushroom. Mycobiology 32:115-118.
- Park YA, Lee KT, Bak WC, Kim MK, Ka KH, Koo CD. 2011. Eritadenin contents analysis in various strains of *Lentinula edodes* using LC-MS/MS. Kor. J. Mycol. 39:239-242. (in Korean)
- Shim MS. 2002. Composting of sawdust substrate for growing shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). Ministry of Agriculture and Forestry. pp.141. (in Korean)
- Stamets, P. 2005. Mycelium running. How mushrooms can help save the world. Ten Speed Press. pp. 343.
- Yeo HD, Lee HC, Lim BK, Kim HK, Choi, MS, Yang JK. 2008. Antifungal activity of the *Quercus mongolica* extracts against *Botrytis cinerea*. Mokchae Konghak 36:88101. (in Korean).
- 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).
- Yu, L. 2012. Present development situation and tendency of edible mushrooms industry in China. Mushroom Science XVIII:3-9. Proceedings of the 18th Congress of the International Society for Mushroom Science. Edited by J. Zhang, H. Wang and M. Chen. China Agriculture Press, Beijing.