

느타리버섯 폐면배지의 발효조건별 이화학적 특성

하태문* · 윤선미 · 주영철¹ · 성재모²

¹경기도농업기술원 버섯연구소, ²강원대학교 농생물학과

Physical and Chemical Characteristics of Cotton Waste Substrate According to Fermentation Conditions for Oyster Mushroom Bed Cultivation

Tai-Moon Ha*, Seon-Mee Yoon, Young-Cheul Ju¹ and Jae-Mo Sung²

¹Mushroom Research Institute, Agricultural Research and Extension Services, Gwangju 464-873, Korea

²Department of Environmental Biology, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

(Received , 2008. Accepted , 2008)

ABSTRACT: We have surveyed the variation of physical and chemical characteristics of aerobic and anaerobic outdoor fermentation of cotton wastes using for oyster mushroom cultivation. The inner temperature of cotton wastes fermented aerobically covered with thin cloth and setting pallet at bottom was higher than that of anaerobic fermented cotton wastes covered with P.E vinyl and the maximum temperature was 75°C at 5th day after fermentation. pH of cotton wastes fermented aerobically was increased up to 8.9 after fermentation of 9~12 days, but that of anaerobically fermented was decreased up to 5.0. Total carbon content was decreased but total nitrogen content was increased when fermentation was in progress. Oxygen concentration of cotton wastes fermented aerobically was decreased until 6 days after fermentation but increased after 9 days of fermentation. Ammonia concentration of cotton wastes fermented aerobically and anaerobically was below 10 ppm and 20~85 ppm respectively. In anaerobic condition the cotton wastes was contaminated with mold (15~50%), where no contamination was found in aerobic condition during spawn running stage. Yields of mushroom grown on cotton wastes aerobically fermented for 6~9 days was 23.0~23.6 kg per 3.3 m² area.

KEYWORDS : Bed cultivation, Chemical and physical characteristics. Cotton wastes, Covering material, Outdoor fermentation, Oyster mushroom

느타리버섯은 현재 우리나라에서 가장 많이 재배되고 있는 버섯이며, 전국 재배농가수는 약 3,805호로 전체 버섯재배 농가수의 62.3%를 차지하고 있다(농림부, 2007). 1970년대 이전에는 주로 참나무나 활엽수 원목을 이용하여 재배되었고, 그 이후에 벚짚을 이용한 재배기술이 보급되면서(박 등, 1973) 생산량이 급격히 증가하게 되었다. 또한, 1990년대 초반에 폐면을 이용한 재배기술이 개발되면서 한때 생산량이 전체 버섯생산량의 80%를 차지할 만큼 많은 양이 생산되기도 하였다. 그러나 최근, 팽이버섯, 큰느타리버섯 등의 대규모 시설재배농가가 늘어나면서 상대적으로 느타리버섯의 생산량은 감소하여, 현재는 그 생산량이 연간 45,957 M/T으로 전체 버섯생산량의 약 31%를 차지하고 있다(농림부, 2007).

느타리버섯 재배에 사용되고 있는 배지재료는 호남 및 충청 일부 지역의 평야지 벼농사 지역을 제외하고는 대부분 폐면이다. 폐면을 이용한 균상재배 기술은 숙련된 기술과 경험이 요구되며, 발효나 살균이 잘 못될 경우 푸른

곰팡이병균 등에 의한 오염이 문제되기도 한다.

폐면 균상재배법이 봉지 또는 병재배법과 다른 점 중의 하나는 살균방법이다. 봉지나 병재배법은 배지를 100°C 이상의 고온으로 살균하여 배지내 미생물을 멸균하고 버섯균만 선택적으로 배양시키는 반면, 폐면 균상재배법은 발효과정을 거치며 65°C의 저온살균을 실시한다. 저온살균은 발효를 완성하기 위한 단계로서 배지내 존재하는 미생물을 완전히 멸균시키는 것이 아니다. 최근, 폐면재배시 배지의 발효과정을 생략하거나 소홀히 다루는 농가가 많고, 야외발효시 폐면의 물빠짐이 원활하지 않거나 Polyethylene(P.E) 비닐을 피복재로 사용하고 있어 배지의 발효불량으로 균배양 중 잡균에 의한 오염과 배양지연, 수량감소 등 여러가지 문제가 발생되고 있다. 느타리버섯 폐면배지의 발효 및 제조과정은 기본적으로 양송이버섯 퇴비제조 과정을 응용한 것이지만, 느타리버섯 폐면배지 발효과정 중의 배지특성에 대한 연구는 이루어지지 않았다. 최근, 전 등(2004)은 소형발효조에서 폐면배지 발효중 배지온도, CO₂ 발생량, pH, 미생물상의 변화 등을 조사한 바 있으나, 발효 및 저온살균 과정 중 배지의 이화학적 변화

*Corresponding author <E-mail : mushha@naver.com>

와 발효방법 등에 대한 기초연구는 매우 미흡한 실정이다.

본 연구는 폐면을 이용한 느타리버섯 균상재배시 배지 야외발효과정 중의 이화학적인 변화를 조사하고 발효기간 및 발효방법이 균 배양 및 버섯 생육에 미치는 영향을 조사함으로써, 느타리버섯 균상재배농가의 안정적인 재배와 증수를 위한 기초 자료로 활용하고자 실시하였다.

재료 및 방법

시험균주 및 종균제조

본 시험에 사용된 균주는 경기도농업기술원 버섯연구소에서 보유하고 있는 춘추느타리2호를 공시하였으며, 시험균주의 종균 제조를 위하여 시험균주를 PDA평판배지에 옮겨 25°C에서 7일간 배양한 후 톱밥과 미강이 80:20(v/v) 비율로 혼합된 톱밥배지가 담긴 250 ml 삼각플라스크에 이식하여 25°C에서 15일간 배양하였다. 이를 다시 톱밥배지가 담긴 850 ml 종균병으로 옮겨 22°C에서 30일간 배양한 후 종균으로 사용하였다.

배지 야외발효 및 발효특성 조사

배지의 야외발효는 호기성발효와 혐기성발효 두 가지 방법으로 실시하였다. 호기성발효를 유도하기 위해서 파렛트 위에 망사를 깔고 폐면을 폐면 털이 기계로 털어 높이 1~1.2 m, 폭 1~1.2 m로 쌓고 통기가 잘되는 얇은 부직포를 덮어 발효를 실시하였다. 또한 혐기성발효를 유도하기 위해서는 콘크리트 바닥에 폐면을 털어 높이 1~1.2 m, 폭 1~1.2 m로 쌓고 0.05 mm P.E.비닐을 덮어 발효를 실시하였다. 각 처리구의 폐면량은 건물 중으로 3.3 m²(평)당 44 kg로 조절하였고 15일간 야외발효를 실시하면서 3일 간격으로 온도, pH, 수분함량, 가스(O₂, CO₂, NH₃)농도, 전탄소량(T-C) 및 전질소량(T-N), 폐면조직의 미세구조 등을 조사하였다.

발효과정중 폐면배지의 물리·화학적 특성 조사는 처리구별로 배지표면으로부터 10, 30, 50 cm 깊이에서 조사하였다. 막대온도계와, 디지털온도계(데이터로그-HOBO)로 배지온도와 외기온도의 변화를 매일 조사하였고, 배지의 수분함량은 105°C 건조중량법으로 조사하였다. 배지의 pH는 배지재료와 증류수를 1:10(중량비)으로 혼합하여 1시간 동안 정치한 후 pH meter(Orion-720)로 측정하였다. 배지내 O₂, CO₂ 농도는 가스검지관으로 측정하였으며, NH₃은 NH₃분석키트(Merck社)로 측정하였다. 배지재료의 성분분석은 시료를 음건한 후 전탄소, 전질소 함량을 분석하였으며, 전탄소는 회화법, 전질소는 Kjeldahl법으로 정량분석하였다(농촌진흥청, 1988). 배지내 미생물의 밀도조사를 위해 멸균수 10 ml에 폐면 1 g을 넣고 30분간 진탕시킨 후 10⁷까지 희석하였다. 이 희석액 0.1 ml를 취하여 각각의 배지에 도말한 다음 25°C에서 5일간 배양한 후 다음 생성된 균총의 수를 조사하였다. 세균은 NA(nutrient

agar) 평판배지, 곰팡이는 YMPD(yeast malt pepton detrose)평판배지를 이용하였다. 폐면 미세구조는 발효시작 3, 9, 15일 후에 시료를 취하여 투과전자현미경(TEM)으로 검경하였다.

배지살균 및 후발효

각 처리별로 야외발효를 실시한 배지는 65°C에서 12시간 살균하였고, 55°C에서 3일간 후발효를 실시하였다.

종균접종, 배양관리 및 배양특성 조사

종균접종량은 균상면적 3.3 m²(평)당 850 ml들이 톱밥종균 12병씩을 혼합 접종하였고, 0.03 mm 유공비닐을 피복하여 배양온도 22~23°C, 상대습도 65~70% 조건에서 배양을 완료한 후 약 5일간 후배양을 실시하면서 각 처리구별로 배양소요일수, 배양율, 잡균 이병율 등을 조사하였다. 배양일수는 종균접종 후 균활착이 완료될 때까지의 소요일수를, 이병율은 전체 배양면적 중 잡균이 발생한 면적의 백분율을 조사하였다.

발이유도, 생육관리 및 생육특성 조사

배양완료 후 버섯발생을 유도하기 위하여 재배사내의 온도를 15~16°C로 낮추고, 상대습도를 95% 내외로 조절하였고, 버섯발생 후 습도는 85%, 환기는 버섯의 형태를 관찰하면서 적절히 조절하였다. 처리구별로 초발이 소요일수, 생육일수, 유효경수, 수량, 회수율 등 재배적 특성과 갓크기, 대굵기, 대길이 등 자실체의 형태적 특성을 조사하였다. 초발이 소요일수는 종균 접종후 버섯원기가 형성될 때까지의 경과일수를, 회수율은 건조배지 중량에 대한 생버섯 중량을 백분율로 나타내었다.

결과 및 고찰

발효과정 중 폐면 배지의 온도변화

폐면배지의 발효조건 및 발효기간별 배지의 온도변화를 조사한 결과(Fig. 1), 배지 온도변화는 발효초기에 온도 상승속도가 빨라지면서 발효시작 약 5일 후 최고온도에 도달하였고 7~9일 후 느린 속도로 낮아지는 경향을 나타내었다. 배지 최고온도는 파렛트위에 폐면을 쌓아 부직포를 피복한 처리구(호기성발효유도처리구)가 배지 깊이 30 cm부위에서 75°C, 콘크리트 바닥에 폐면을 쌓고 P.E 비닐을 피복한 처리구(혐기발효유도처리구)가 배지 깊이 10 cm 부위에서 59°C로 발효조건에 따라 최고온도 차이가 약 15°C 이상이었다. 배지 깊이별로는 호기성발효 유도처리구가 배지 깊이 30 cm에서 배지온도가 가장 높았으나 배지 깊이별 온도차이가 크지 않았던 반면, 혐기성발효 유도처리구에서는 배지 깊이별 온도차이가 컸으며 배지 깊이가 깊을수록 배지온도는 낮았다. 폐면배지 발효과정에서 배지온도가 상승하는 것은 배지내 존재하는 많은 미생

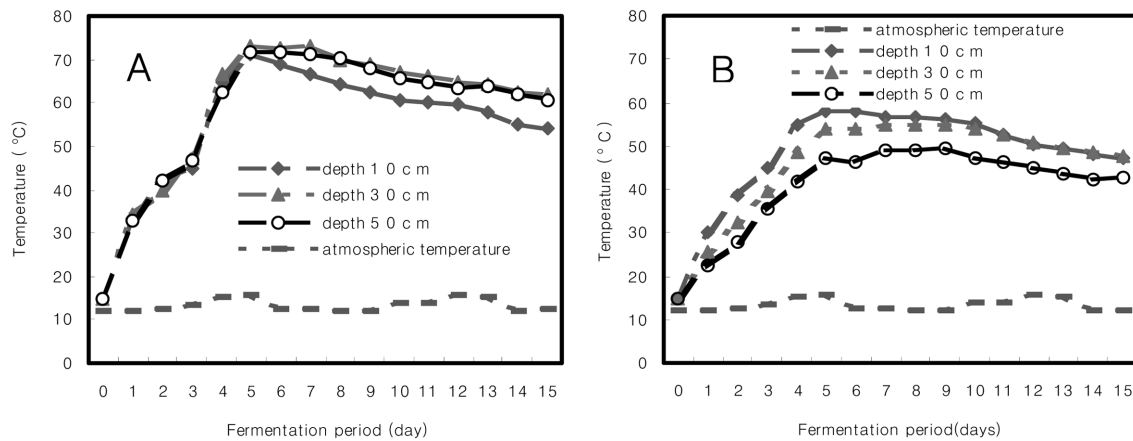


Fig. 1. Changes of temperature in cotton waste during the outdoor fermentation. A: substrate cover with thin cloth on the pallet, aerobic fermentation. B: substrate cover with P.E vinyl on the concrete floor, anaerobic fermentation.

물들의 대사활동에서 비롯되는데, 세균 등 모든 미생물들은 먹이활동을 통해 최종적으로 섭취하여 흡수한 포도당 1분자가 EMP경로를 통해 여러종류의 효소의 활동으로 2분자의 피루브산으로 분해되어 에너지를 발생시키며 특히, 산소가 존재하는 상태에서는 TCA, HMP, EDP경로 등을 거치면서 EMP경로의 18배가 많은 에너지를 발생시킨다 (Stanier *et al.*, 1979). 일반적으로 폐면배지 발효과정중 생성되는 미생물체량은 배지건물당 약 2%(Spurling *et al.*, 1982)이며, 폐면배지내 존재하는 많은 미생물들이 배지온도를 상승시키는 역할을 하면서 동시에 버섯균의 영양원으로 이용될 수도 있다고 한다(Barron, 1988).

PE비닐 피복에 의해 배지내부로 산소공급이 차단되는 혐기성발효 유도처리구보다, 바닥에 파렛트를 깔고 부직포로 피복하여 산소공급이 원활하도록 한 호기성발효 유도처리구에서 배지온도가 높았던 이유도 폐면배지내 존재하는 미생물들이 산소공급으로 더 많은 에너지를 발산시켰기 때문이며, 야외발효시 발생하는 고온은 폐면배지속에 존재하고 있던 잡균들을 살균하는 효과가 있음으로(차

등, 1989), 폐면배지발효시 배지내부로의 산소공급이 반드시 필요하다고 판단된다.

배지수분함량 변화

Table 1은 발효조건 및 기간별 폐면배지의 수분함량을 나타낸 것이고, Fig. 2는 발효조건 및 기간별 야외발효를

Table 1. Moisture content of cotton waste according to substrate fermentation method covering materials during the outdoor fermentation

Substrate fermentation method	Depth (cm)	Moisture content of cotton waste (%)					
		0	3	6	9	12	15 days
Aerobic condition	10	68.3	65.4	65.9	62.3	61.1	59.7
	30	71.2	66.5	64.6	63.3	63.2	58.6
	50	72.4	68.0	68.0	66.1	65.1	64.7
Anaerobic condition	10	71.8	67.2	69.4	69.2	67.6	65.9
	30	71.7	70.5	68.9	68.8	67.7	66.4
	50	74.3	71.8	72.5	70.8	69.8	71.7

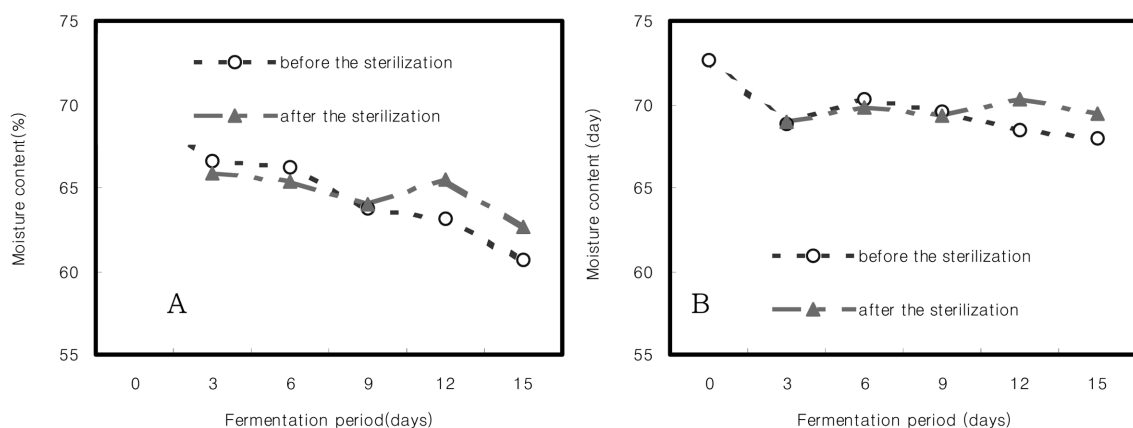


Fig. 2. Changes of moisture content of cotton waste substrate before or after sterilization. A: substrate cover with thin cloth on the pallet (aerobic fermentation). B: substrate cover with P.E vinyl on the concrete floor (anaerobic fermentation).

실시한 다음 살균과 후발효 이후의 수분함량을 다시 조사한 것이다. 폐면을 털어 퇴적한 직후의 수분함량은 68~74% 범위로 배지의 깊이에 따라 차이가 있었고, 발효기간이 경과하면서 낮아지는 경향이었다. 발효조건별로는 호기성발효 유도처리구에서 수분함량의 감소가 커서 발효 15일째의 경우 배지깊이 10, 30 cm 부위에서 60% 이하로 낮았던 반면, 혐기성발효 유도처리구에서는 발효 15일째까지 모든 부위에서 65% 이상의 수분함량을 유지하였다. 호기성발효 유도처리구에서 수분함량의 감소가 빨랐던 것은 배지내 미생물의 활발한 대사활동과 높은 배지 발열로 인한 수분 소모 및 증발량이 많았기 때문으로 생각된다. 발효조건 및 발효기간별로 야외발효를 실시하여 살균과 후발효 이후의 수분함량을 다시 조사한 결과(Fig. 2), 두 처리구 모두 발효 9일째 이후 수분함량이 다소 증가하였는데 이는 야외발효기간 중 증발로 인하여 감소하였던 수분함량이 습열살균과 후발효과정을 거치면서 보충된 것으로 생각된다.

차 등(1989)은 폐면배지의 적정 수분함량인 65~75%에서 균사배양과 생육이 양호하다고 보고하였는데, 본 시험에서 호기성발효 유도처리구의 발효 15일 처리구의 경우 살균전 수분함량이 60% 이하로 감소하였고, 살균 및 후발효과정을 거치면서 수분함량이 보충되었지만 65% 이하로 낮아 야외발효과정중 일정량의 수분공급이 이루어져야 필요할 것으로 판단된다.

배지 pH변화

폐면배지 발효조건 및 기간별 pH의 변화를 조사한 결과(Table 2), 호기성발효 유도처리구에서는 배지깊이와 관계없이 발효기간이 경과함에 따라 pH가 높아져 발효 9~12일째 pH 8.9로 나타났고, 혐기성발효 유도처리구의 경우 배지의 깊이에 따라 차이가 있어 배지 깊이 10 cm 부위에서는 발효기간이 경과함에 따라 pH가 약간 상승하였으나 30 cm와 50 cm 부위에서는 발효 9~10일째에 pH 5~6으로 낮아졌다. 혐기성 발효유도처리구에서 pH가 낮아진 것은 산소가 존재하지 않은 상태에서도 에너지가 생성되는 EMP경로에서 포도당이 여러 가지 조효소의 작용으로 피루브산으로 분해된 후 $\text{NADH}+\text{H}^+$ 에 의해 젖산으

Table 2. pH value of cotton waste according to substrate fermentation method during the outdoor fermentation

Substrate fermentation method	Depth (cm)	pH					
		0	3	6	9	12	15 days
Aerobic condition	10	7.5	8.3	8.8	8.9	8.7	8.3
	30	7.5	8.3	8.5	8.9	8.9	8.4
	50	7.4	8.6	8.8	8.9	8.9	8.8
Anaerobic condition	10	7.3	7.8	8.3	8.7	8.1	7.7
	30	7.3	6.3	6.3	6.0	5.6	5.8
	50	7.3	6.1	5.5	5.1	5.2	5.0

Table 3. Effect of pH of the cotton seed waste on the mycelial growth of *P. ostreatus* and *Trichoderma* sp.

(unit: mm/7 days)								
pH	4	5	6	7	8	9	10	
<i>Pleurotus ostreatus</i>	6.3	6.7	6.8	7.1	7.6	8.0	7.8	
<i>Trichoderma</i> sp.	6.4	3.4	3.3	0	0	0	0	

로 만들어진다는 Stanier *et al.*(1979)의 이론을 비추어 볼 때, 산소공급이 차단된 조건에서 폐면배지내 존재하는 미생물들이 무기호흡을 통해 젖산 등의 유기산을 생성하였기 때문으로 생각되며, 이 결과는 소형발효조를 이용하여 폐면배지 내부로 공기를 많이 유입시킬수록 pH가 높아지고, 공기유입량이 없을 경우 낮아졌다는 전 등(2004)의 결과와도 일치하였다.

폐면발효배지의 pH별로 느타리버섯 균사와 푸른곰팡이균의 균사생장을 비교한 결과(Table 3), 느타리버섯 균사는 pH 8~10, 푸른곰팡이균사는 pH 4~6 정도의 범위에서 균사생장이 양호하였다.

일반적으로 버섯균사는 균사체 표면에 접해 있는 용액으로부터 영양분을 흡수하며 이때 용액의 pH에 따라 양분의 흡수정도가 달라진다. 배지내에 존재하는 무기물, 예를 들면 철, 칼슘, 아연 이온 등은 pH가 낮을 때 용액속에 녹아 있지만 pH가 높을 때는 불용성 염의 상태로 존재한다. 또한, pH는 균사가 양분을 흡수할 때 세포막투과성에 영향을 미치는데 배지의 pH가 낮으면 세포막의 양이온 투과성이 나빠지며, pH가 높으면 음이온 투과성이 나빠진다(성 등, 1998). 이와 같은 결과를 놓고 볼 때 배지의 pH는 버섯균사와 푸른곰팡이 균사생장에 영향을 줄 수 있는 요인중의 하나로 판단된다. Zadrazil(1974)은 느타리버섯 생육최적 pH는 5.5~6.5이고, 성 등(1999)은 황백당 3%, 대두박 0.3% 등이 혼합된 액체배지상에서 느타리버섯 8종에 대하여 균사생장에 적합한 pH는 5.5~6.5라고 보고하였다. 본 시험에서는 pH 7~10에서 오히려 균사생장이 양호하였으며 이들과 상반된 결과를 나타내었는데, 이는 배지종류의 차이에서 기인된 것으로 생각된다.

배지 T-C, T-N변화

폐면배지 발효조건별 T-C, T-N, C/N율의 변화를 조사한 결과(Fig. 3), T-C는 두 처리구 모두 발효기간이 경과함에 따라 감소하였고, 호기성발효 유도처리구에서 초기 54.8%에서 발효 15일째 52.9%로 혐기성발효 유도처리구보다 감소량이 다소 많았다. T-N은 두처리구 모두 T-C와 반대로 높아지는 경향이었으며, 호기성발효 유도처리구에서 혐기성발효 유도처리구보다 T-N의 증가가 다소 많았다. 통일빛깔을 이용한 양송이 퇴비제조방법에 관한 연구에서 야외퇴적기간이 경과할수록 T-C는 감소하고, T-N은 증가한다고 보고한 김 등(1975)의 결과와 일치하였다.

폐면배지가 발효기간이 경과하면서 T-C는 감소하고, T-

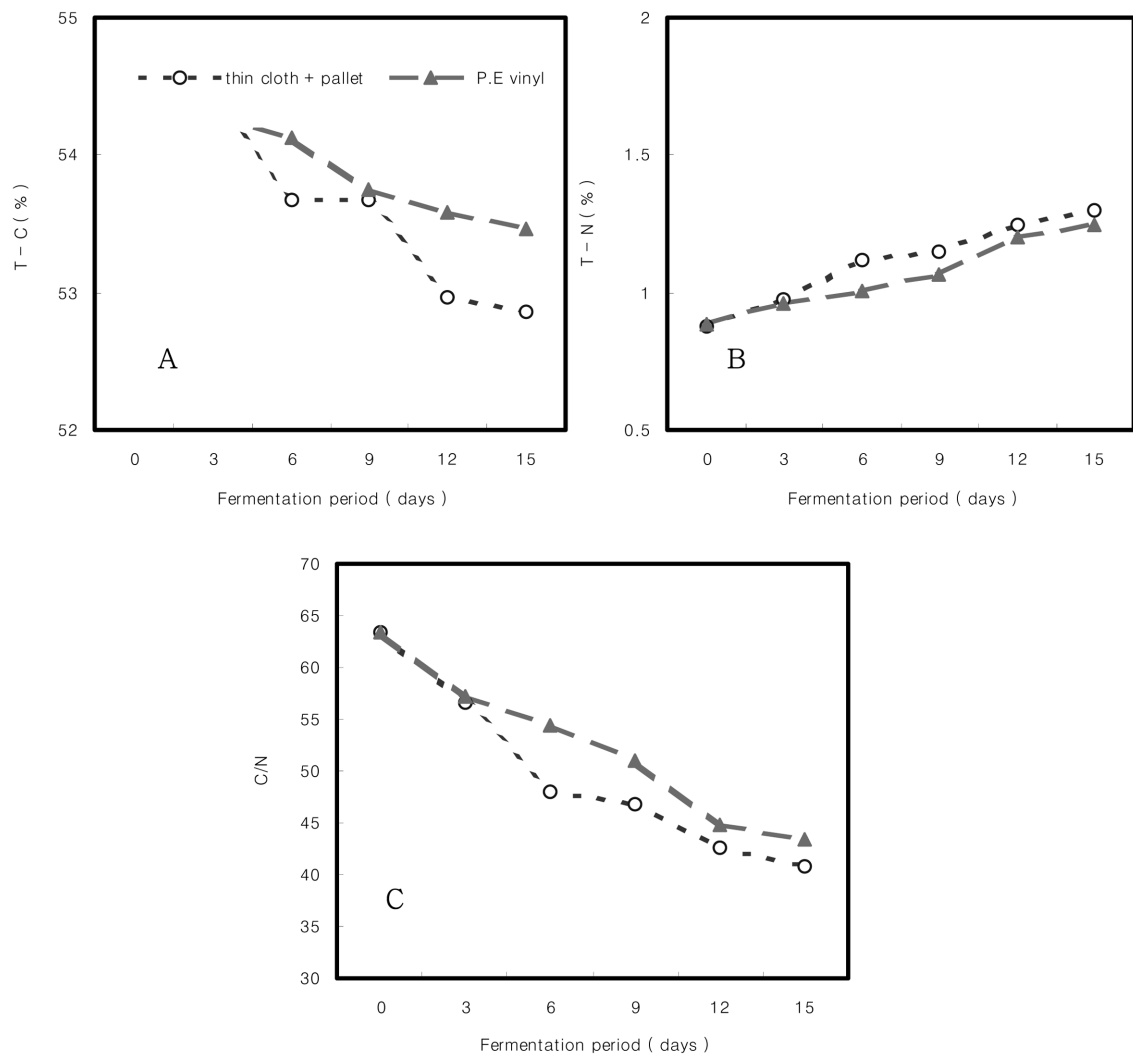


Fig. 3. Changes of total carbon (A), total nitrogen (B) and C/N ratio of cotton waste according to substrate fermentation method during the outdoor fermentation.

N은 증가하는 것은 폐면을 구성하고 있는 셀룰로오스, 리그닌과 같은 고분자 탄수화물이 미생물들의 대사활동과 효소에 의해 분해되어 탄산가스로 방출되고 질소는 미생물 체내에 축적되었기(Garraway and Evans, 1976) 때문

으로 판단된다.

배지내 가스농도 변화

배지 발효조건별로 배지내 O₂, CO₂, NH₃ 농도의 변화

Table 4. Changes of O₂ concentration of cotton waste according to substrate fermentation method during the outdoor fermentation

Substrate fermentation method	Depth (cm)	O ₂ concentration (%)					
		0	3	6	9	12	15 days
Aerobic condition	10	21.0	10.0	6.3	9.7	14.5	18.9
	30	21.0	6.7	6.0	8.7	11.8	13.7
	50	21.0	4.7	1.3	4.0	10.3	13.2
Anaerobic condition	10	21.0	4.0	< 1	< 1	3.5	3.3
	30	21.0	< 1	"	"	< 1	< 1
	50	21.0	"	"	"	"	"

Table 5. Changes of CO₂ concentration cotton waste according to substrate fermentation method during the outdoor fermentation

Substrate fermentation method	Depth (cm)	CO ₂ concentration (%)					
		0	3	6	9	12	15 days
Aerobic condition	10	0	8.7	19.7	12.7	6.3	3.7
	30	0	10.3	21.7	13.0	10.5	4.3
	50	0	13.0	31.0	19.3	15.6	4.0
Anaerobic condition	10	0	7.3	25.3	23.3	25.7	22.0
	30	0	8.3	27.3	32.3	28.3	26.3
	50	0	10.0	12.0	22.3	23.0	24.3

Table 6. Changes of NH_3 concentration of cotton waste according to substrate fermentation method during the outdoor fermentation

Substrate fermentation method	Depth (cm)	NH_3 concentration(ppm)					
		0	3	6	9	12	15 days
Aerobic condition	10	0	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	30	0	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	50	0	17	19	18	12	15
Anaerobic condition	10	0	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	30	0	20	32	69	59	62
	50	0	27	43	82	85	78

를 조사한 결과(Table 4~6), 발효기간별 O_2 농도 변화는 호기성발효 유도처리구에서는 야외발효가 진행되면서 산소농도가 감소하다가 발효 9일째부터 다시 증가하기 시작하였으며, 배지 깊이가 깊을수록 산소농도가 낮았다. 혐기성발효 유도처리구는 전체적으로 1% 이하의 낮은 농도를 유지하였다. 이산화탄소 농도는 호기성발효 유도처리구의 경우 발효 6일째 가장 높은 농도를 나타낸 이후 다시 감소하는 경향이었고 배지 깊이가 깊을수록 높았다. 혐기성발효 유도처리구는 호기성발효 유도처리구에 비해 전체적으로 높은 농도를 유지하였으나 발효기간 및 배지 깊이에 따른 뚜렷한 경향은 나타나지 않았다. 산소와 이산화탄소 농도의 변화양상을 볼 때 상호연관이 있었다. 호기성발효 유도처리구에서 산소 농도가 발효 6일째 최저치

를 나타낸 반면, 이산화탄소 농도는 최고치를 나타내었으며, 이후 산소 농도는 증가하였으나 이산화탄소 농도는 감소하였다. 이는 Fig. 1의 배지온도 변화와 관련이 있는 것으로 판단되며, 배지온도가 가장 높았던 발효 5~7일에 산소 농도가 낮고 이산화탄소 농도가 높았던 것은 이 시기에 배지내 미생물들의 대사활동이 왕성하여 가장 많은 대사에너지를 발산시키면서 많은 양의 산소 소비와 이산화탄소 방출이 이루어졌기 때문으로 판단된다.

배지발효조건 및 기간별 배지내 암모니아 농도 변화를 조사한 결과(Table 6), 호기성발효 유도처리구에서는 배지 깊이 10 cm와 30 cm 부위에서 10 ppm 이하로 낮았지만, 50 cm 부위 12~19 ppm을 유지하였으며 발효 6일 이후 감소되는 경향을 보였다. 혐기성발효 유도처리구는 배지 깊이 10 cm 부위에서 10 ppm 이하였으며, 30 cm와 50 cm 부위 20~85 ppm으로 높았으나 뚜렷한 경향은 나타나지 않았다.

전 등(2004)은 소형발효조를 이용하여 폐면배지의 암모니아태 질소함량을 분석한 결과 산소공급이 이루어지지 않은 혐기발효구가 산소공급을 실시한 호기발효구에 비해 암모니아태질소 함량이 평균 670 ppm 정도로 높았다고 보고하였는데, 본 시험의 결과에서도 암모니아태질소 농도의 차이는 있었으나 비슷한 경향을 확인할 수 있었다.

폐면 미세구조 변화

폐면배지의 발효조건 및 발효기간별 미세구조를 투과전

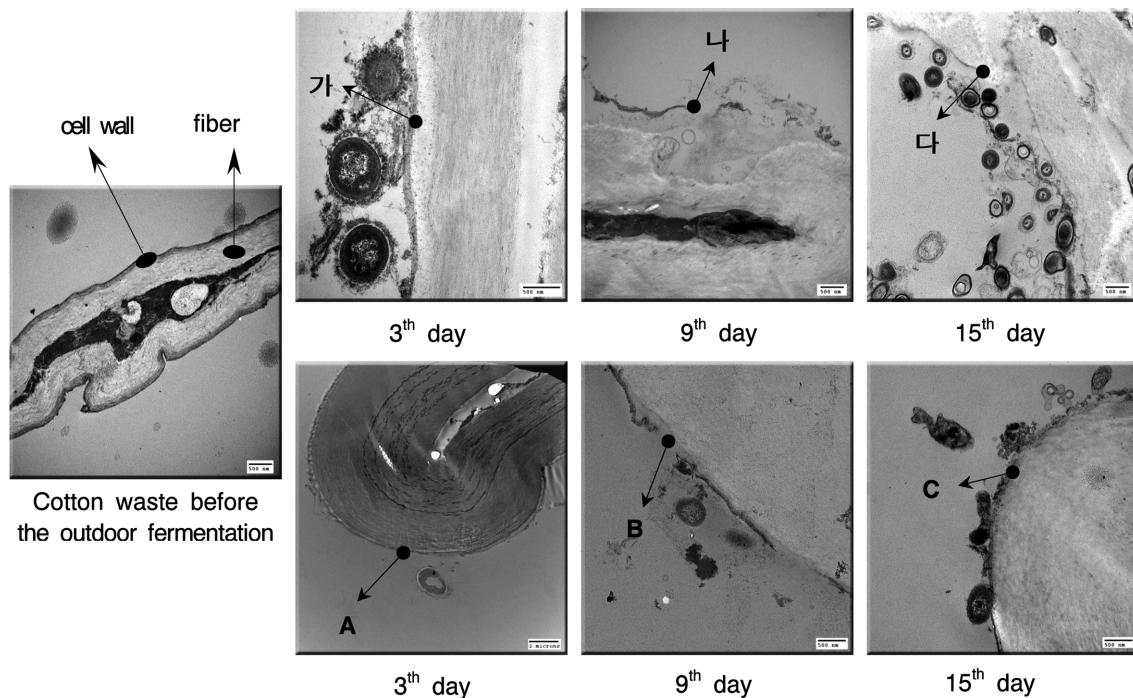


Fig. 4. Decomposition of cotton waste according to substrate fermentation method during the outdoor fermentation. Upper photos: substrate cover with thin cloth on the pallet, aerobic fermentation. Bottom photos: substrate cover with P.E vinyl on the concrete floor, anaerobic fermentation.

Table 7. The number of total microorganism in the substrate according to substrate fermentation method during the outdoor fermentation

Substrate fermentation method	The number of total microorganism (colony/g)					
	0	3	6	9	12	15 adys
Aerobic condition	202×10^5	311×10^7	341×10^7	383×10^6	183×10^6	122×10^6
Anaerobic condition	188×10^5	297×10^6	303×10^6	238×10^6	153×10^6	175×10^6

자현미경(TEM)으로 검경한 결과(Fig. 4), 폐면 미세조직의 변화정도는 발효조건 및 발효기간별로 뚜렷한 차이를 나타내었다. 야외발효전 폐면조직은 외벽과 섬유질이 깨끗한 상태이나 호기성발효유도처리구의 경우 발효기간이 경과하면서 폐면조직의 외벽이 붕괴되면서 내부의 섬유질이 나출되는 현상이 뚜렷하였던 반면(Fig. 4의 가~다), 혐기성발효 유도처리구에서는 발효 15일째까지 외벽과 섬유질이 비교적 온전한 상태로 남아 있어(Fig. 4의 A~C) 발효조건에 따라 폐면의 분해정도의 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

미생물 밀도 변화

배지발효조건 및 기간별 미생물 밀도 변화는 Table 7과 같다. 발효기간이 경과하면서 미생물 밀도가 증가하다가 발효 6일 이후 감소하는 경향이었고, 발효조건별로는 호기성발효 유도처리구의 밀도가 혐기성발효유도처리구보다 다소 높았다. 전 등(2004)은 소형발효조를 이용하여 폐면을 발효시킬 때 미생물의 밀도변화를 조사한 바 있는데, 발효 3일째 고온성세균의 밀도는 100배 정도 증가한 반면, 중온성미생물은 약 150배 급격히 감소하였고, 호기조건하에서 혐기조건보다 밀도가 높았다고 하였다. 또한, 신(2001)은 폐면발효배지의 발효시간에 따른 미생물 성장변화를 조사하여 보고한 바 있는데, 그에 의하면 특정 미생물이 발효과정의 처음부터 끝까지 우점하는 것이 아니라, 발효시간이 경과하고 배지온도가 변화됨에 따라 각각 다른 우점종을 형성하면서 천이를 해 나간다고 하였으며,

Table 8. Mycelial growth of *P. ostreatus* and *T. virens* in the substrate according to substrate fermentation method during the outdoor fermentation after 7 days culture

Substrate fermentation method	<i>Pleurotus ostreatus</i>	<i>Trichoderma virens</i>
Aerobic condition	9.6	3.8
Anaerobic condition	6.9	10.8

30°C에서 최적성장을 나타내는 중온성미생물이 배지온도가 상승하면서 50°C 이상 높아지게 되면 점차 감소되어 50°C 이상의 온도에서도 생장이 가능한 고온성미생물의 영양분으로 활용된다고 하였다. 본 시험의 결과에서 발효 6일 이후에 미생물밀도가 감소한 것은 발효 6일째 배지온도가 70°C 이상의 고온을 유지하는 동안 중온성 미생물들의 밀도가 낮아졌기 때문으로 생각된다.

배지발효조건별 균사생장정도

호기성발효와 혐기성발효를 유도한 폐면배지에 느타리버섯과 푸른곰팡이균을 접종하여 균사생장정도를 조사한 결과(Table 8), 느타리버섯 균사는 호기성발효와 혐기성발효를 유도한 폐면배지에서 각각 9.6 mm, 6.9 mm/7일로 호기성발효 유도구에서 균사생장이 1.4배 빨랐고, 푸른곰팡이 균사는 각각 3.8 mm, 10.8 mm/7일로 혐기성발효 유도구에서 2.8배 빨랐다. 따라서 혐기성발효가 진행된 배지에서는 느타리균사가 활착되기전에 푸른곰팡이균이 쉽게 배지에 정착하여 오염을 발생시킬 가능성이 높은 것

Table 9. Characteristics of mycelial growth and fruit body development of *P. ostreatus* according to substrate fermentation method

Substrate fermentation method	Fermentation period (days)	Incubation period (days)	Incubation finishing rate (%)	Primordium induction period (days)	Characteristics of fruit body			Yields (kg/3.3 m ²)	Biological efficiency (%)
					Size of pileus (mm)	Diameter of stipe (mm)	Length of stipe (mm)		
Aerobic condition	3	14	95	23	40.3	11.9	65.3	20.4 ab [↓]	46.4
	6	14	100	22	37.6	11.4	59.1	23.0 a	52.3
	9	13	100	21	38.7	10.8	62.1	23.6 a	53.6
	12	12	100	20	38.6	11.7	63.1	22.2 a	50.5
	15	12	100	20	41.1	11.3	57.0	18.8 bc	42.7
Anaerobic condition	3	15	75	28	39.5	11.8	60.1	21.8 ab	49.5
	6	19	60	32	39.4	10.8	59.6	16.6 bc	37.7
	9	16	85	29	39.9	10.8	61.2	15.5 c	35.2
	12	17	50	30	40.5	11.7	58.9	8.2 d	18.6
	15	15	70	27	41.4	11.5	54.3	5.6 d	12.7

※ dry weight of medium: 44 kg/3.3 m², ↓ : DMRT 5%

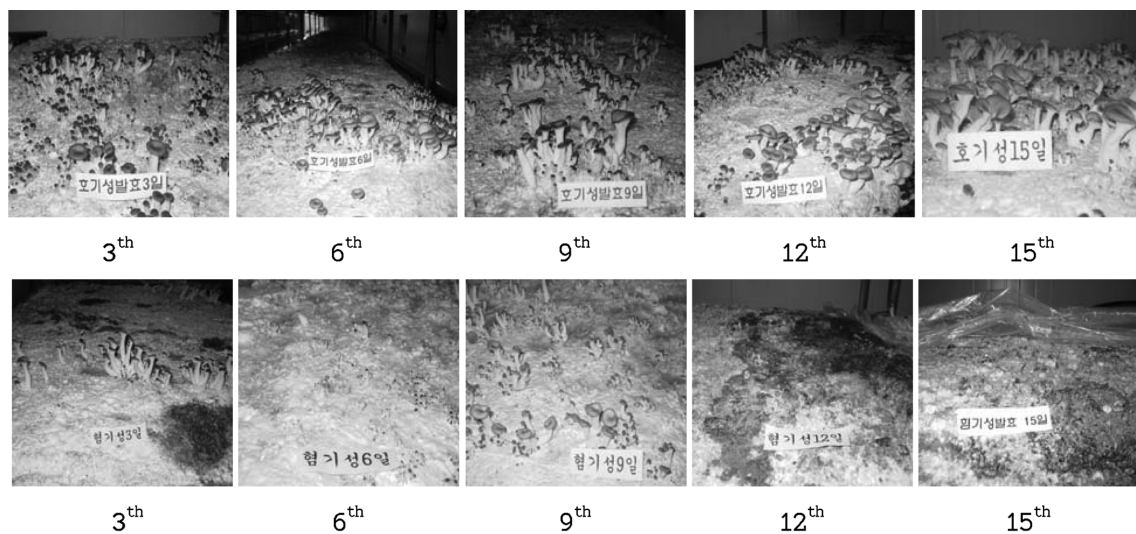


Fig. 5. Fruit body development of *P. ostreatus* according to different fermentation method.

Upper photos: substrate cover with thin cloth on the pallet, aerobic fermentation. Bottom photos: substrate cover with P.E vinyl on the concrete floor, anaerobic fermentation.

으로 판단된다.

배양 및 생육특성

피복재 종류별 균배양 및 생육특성을 조사한 결과 (Table 9, Fig. 5), 배양일수는 호기성발효 유도처리구에서 12~14일로 혐기성발효유도처리구의 15~19일보다 짧았고, 호기성발효 유도처리구에서는 야외발효기간이 길수록 배양기간이 짧았다.

배양율은 호기성발효 유도처리구에서 95~100%로 혐기성발효 유도처리구 50~85%보다 높았고, 호기성발효 유도처리구에서는 발효 3일 처리구를 제외한 나머지 처리구는 배양율 100%로 배양이 양호하였으나 혐기성발효 유도처리구는 발효기간에 따른 일정한 경향치는 나타나지 않았으나 푸른곰팡이병이 부분적으로 발생되어 전체적으로 배양상태가 불량하였다. 초발이소요일수는 호기성발효 유도처리구에서 20~23일로 혐기성발효 유도처리구 27~32일보다 짧았고, 호기성발효 유도처리구에서는 야외발효기간이 길수록 초발이 소요일수가 짧아지는 경향이였다. 수량은 호기성발효 유도처리구에서 건조배지 44 kg에서 3.3 m²(평)당 18.8~23.6 kg으로 혐기성발효유도처리구의 5.6~21.8 kg보다 평균 1.6배가 높았다. 발효기간별로는 호기성발효유도처리구 발효 6~9일 처리구에서 통계적 유의성은 없었으나 수량이 높은 경향이었고, 혐기성발효유도처리구에서는 발효기간이 길어질수록 수량이 낮은 경향을 보였다.

적 요

느타리버섯 폐면배지 야외발효기간중 피복재 종류별 배지의 이화학적 변화와 균배양 및 생육특성을 조사한 결과

는 다음과 같다. 배지온도는 호기성발효 유도처리구에서 발효 1일째부터 급격히 증가하여 발효 5일~발효 7일째 최고온도 75°C 도달 후 천천히 낮아졌고, 배지의 깊이에 따른 온도차이는 크지 않았다. 혐기성발효 유도처리구에서 배지온도변화의 양상은 호기성발효유도처리구와 비슷하였으나 최고온도가 약 60°C 정도였고 배지 깊이별로 온도차이가 컸으며 배지 깊이 10 cm 부위에서 높았다.

배지내 수분함량은 두 처리구 모두 발효기간이 경과할수록 감소하였고, 호기성발효 유도처리구가 혐기성발효 유도처리구보다 수분함량 감소가 많았다. 살균전·후의 배지수분함량변화는 살균 시 수분 보충으로 살균 후 수분함량이 다소 증가하였다. 배지 pH는 호기성발효 유도처리구에서 발효기간이 경과함에 따라 높아져 발효 9~12일째 pH 8.9까지 상승하였고, 혐기성발효 유도처리구는 배지 깊이 30 cm와 50 cm 부위에서 pH 5.0~5.6 정도로 낮아졌다. 배지 총 탄소 함량은 두 처리구 모두 발효기간의 경과에 따라 감소하였으나 호기성발효 유도처리구가 혐기성발효 유도처리구보다 다소 낮았고, 총질소 함량은 발효기간이 경과함에 따라 높아지는 경향이였으며, 호기성발효 유도처리구에서 혐기성발효 유도처리구보다 다소 높았다.

배지내 산소농도는 호기성발효 유도처리구 발효 6일까지 감소한 후 9일째부터 다시 증가하는 경향을 보였고, 혐기성발효 유도처리구는 배지깊이 10 cm 부위를 제외한 나머지 부위에서 1% 이하로 낮았다. 배지내 이산화탄소 농도는 산소농도 변화와 반대로 호기성발효 유도처리구 발효 6일까지 증가한 후 9일째부터 다시 감소하는 경향을 보였고, 혐기성발효 유도처리구는 지속적으로 증가하였다. 암모니아 함량은 호기성발효 유도처리구의 배지 깊이 10 cm와 30 cm 부위에서는 10 ppm 이하, 50 cm 부위에서 약 12~19 ppm이었고, 혐기성발효 유도처리구의 배지깊이

10 cm 부위에서는 10 ppm 이하, 30 cm와 50 cm 깊이에서는 20~85 ppm 정도로 높았다.

배지발효조건 및 발효기간별 균배양일수는 호기성발효 유도처리구에서 12~14일로 혐기성발효 유도처리구 15~19일보다 짧았고, 초발이 소요일수는 호기성발효 유도처리구 20~23일로 혐기성발효 유도처리구 27~32일보다 짧았다. 배양율은 호기성발효 유도처리구 발효 3일 처리구를 제외한 나머지 처리구에서 100%로 높았고, 혐기성발효 유도처리구는 50~85% 낮았다. 수량은 호기성발효 유도처리구에서 발효기간이 길수록 수량이 증가하여 발효9일째 23.6 kg(건조배지 44 kg당)으로 높았다.

참고문헌

- Barron, G. L. 1988. Microcolonies of bacteria as nutrient source for lignicolous and other fungi. *Can. J. Bot.* 66:2505-2510.
- Block, S. S., Taso, G. and Han, L. 1958. Production of mushroom from sawdust. *J. Agric. Food Chem.* 6:923-927.
- Garraway, M. O. and Evans, R. C. 1976. Fungal nutrition and physiology. pp. 71-95.
- Sparling, G. P., Fermor, T. R. and Wood, D. A. 1982. Measurement of the microbial biomass in composted wheat straw and the possible contribution of biomass to the nutrition of *Agaricus bisporus*. *Soil Biol. Biochem.* 14:609-611.
- Stanier, R. Y., Adelberg, E. A., Ingraham, J. L. and Wheelis, M. L. 1979. Introduction to microbial world. pp. 71-76.
- Zadrazil, F. 1974. The ecology on industrial production of *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus florida*, *Pleurotus cornucopiae* and *Pleurotus eyngii*. *Mushroom Sci.* 9(1):621-652.
- 김광포, 장현세, 김동수. 1975. 통일벼짚을 이용한 양송이 퇴비제조 방법에 관한 시험. 농사시험연구보고서 제17보(토양비료, 작물보호, 균이편). pp. 129-135.
- 농림부. 2004. 특용작물생산실적. pp. 44-81.
- 농촌진흥청 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법.
- 박용환, 고승주, 김동수. 1973. 벚짚을 이용한 느타리버섯 재배에 관한 연구. 농사시험연구보고서 제17보 (토양비료, 작물보호, 균이편). pp. 103-107.
- 성재모, 문희우, 박동수. 1999. 액체배양에서 느타리버섯균의 적합한 생장조건 구명. 한국균학회지 27(1):1-9.
- 성재모, 유영복, 차동열. 1998. 버섯학. 교학사. pp. 100-101.
- 신문수. 2001. 버섯의 발효생리와 배지제조. 버섯 5(2):53-77.
- 전창성, 장갑열, 조수목, 오세중, 박정식, 원형연. 2004. 느타리버섯 재배용 폐면발효 중의 화학성 및 미생물상의 변화. 한국균학회지 32(2):105-111.
- 차동열, 유창현, 김광포. 1989. 최신버섯재배기술. 상록사.