

느타리버섯 배지 제조기를 이용한 배지의 제조 연구

이호용* · 신창엽 · 이영근¹ · 장화형¹ · 민봉희²

상지대학교 생명과학과, ¹원자력연구소 방사선응용연구팀, ²대구대학교 생물학과

A Short Composting Method by the Single Phase Composter for the Production of Oyster Mushroom

Ho Yong Lee*, Chang Yup Shin, Young-Keun Lee¹, Hwa-Hyoung Chang¹ and Bong Hee Min²

Department of Biological Science, Sang Ji University, Wonju 220-702, Korea

¹Radiation Application Team, Korea Atomic Energy Research Institute, Taejon 305-353, Korea

²Department of Biology, Taegu University, Kyungsan 712-714, Korea

ABSTRACT: A single phase composter was constructed by modifying the conventional mixer of sawdust for the cultivation of oyster mushroom *Pleurotus ostreatus*. The machine was designed on the basis of 3-phase-1 system which was controlled in prewetting, pasteurization and fermentation processes. In composting 200 kg of straw and cotton waste in the machine, it took 20 minutes in prewetting step and also 10 hours at 65°C in pasteurization process. Postfermentation by aerothermophiles was completed by treating the compost at 45°C-50°C for 48 hours which was shorten 24 hours from the conventional method. In the postfermentation at high temperature, forced aeration and/or vigorous mixing process(es) played a great role in the improvement of spawn quality. The growth of mycelium of oyster mushroom was excellent in the culture combined with 3 parts of surface inoculation and 7 parts of mechanical mixing.

KEYWORDS: Oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus*, 3-phase-1 system, single phase composter

1995년도 농촌진흥청 자료에 따르면 주요 농작물 가운데 소득이 가장 높은 작물은 느타리버섯으로 나타났으며 (Table 1), 이로 인해 버섯 생산은 확대 일로에 있다 (Table 2). 이렇게 버섯의 재배가 다른 작목보다 농가 소득이 높고 소득 향상과 식생활 패턴의 변화로 인해 소비량이 매년 17% 이상 꾸준히 증가함에 따라 1998년 현재 버섯을 재배하는 농가는 전국적으로는 18,898개소로 많은 농민들이 버섯 생산에 관심을 기울이고 있으나, 버섯 생산에는 실패 요인이 많아 재배에 어려움을 겪고 있는 실정이다(신 등, 1994; 신, 1987).

느타리버섯 생산과정의 가장 큰 어려움은 외부로부터 유입되는 여러 유해 미생물의 오염과 이에 따른 병 발생이다. 느타리버섯 생산의 실패율은 약 60% 정도이고 이 중 90%가 균사 배양과정에서 발생한다(신 등, 1994; 전·차, 1988). 따라서 배양과정에서 오염원을 최대한 차단함과 동시에 균사 배양시간을 최대한 단축하여 오염으로 인한 실패를 최소한으로 줄일 수 있을 것으로 기대되어 이에 대한 많은 연구가 진행되고 있다(Noble and Gaze, 1994; 박 등, 1981; Derk, 1973).

본 연구는 느타리버섯 배지의 재료인 볏짚과 폐면을 재료로 사용하여 침수, 살균 및 접종이 기계적으로 가능한 느타리버섯 배지 제조기를 제작하여 그 이용성을 검토하였다.

제작한 느타리버섯 배지제조기를 이용하여 1998년 6월 19일부터 1998년 11월 15일까지 13회에 걸쳐 느타리버섯의 시험용 배지를 제조하고 배지 생산에 따른 환경의 변화와 균사배양에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

느타리버섯 배지 제조기의 제작

느타리버섯 배지제조는 퇴적, 침수, 살균, 후발효 등의 단계를 거치게 된다. 이러한 느타리버섯 배지의 효과적인 생산을 위해서는 이러한 각 단계가 하나의 시설 내에서 이루어지는 방법이 필요하며, 이는 Derk(1973)의 3-phase-1 방법인 터널시스템(Straatsma *et al.*, 1995; 박 등, 1981; Atkins, 1979)을 보완하는 방법이다. 이를 위하여 세계정밀사에서 판매하는 팽이버섯용 톱밥 교반기(지승산업 제작)를 구입한 후, 수도관, 보일러, 스팀 파이프, 공기 압축기, 워터 재킷, 보온장치 및 에어라인 등을 설치(Fig. 1)하여 느타리버섯 배지제조를 위한 기계화의 가능성을 실험하였다.

느타리버섯의 배지 제조기는 배지재료를 혼합, 발효시키는 본체(10), 배지재료의 침수를 위해 물을 공급하는 펌프(32), 배지재료의 살균을 목적으로 가열 증기를 주입하는 증기 보일러(20), 살균배지의 냉각 및 산소 공급을 위한 공기 주입용 공기 압축기(40) 등 4개의 주요 부분으로 구성되어 있다. 여기에 부가하여 배지재료로 사용되는 볏짚과 폐면을

*Corresponding author

Table 1. The comparison of gross and net profits among some different agricultural products^a

Name of agricultural product	Gross profit (Won/10a)	Operating costs (Won/10a)	Net profit (Won/10a)	Ratio of profit (%)
Rice	736,874	197,947	538,927	73.1
Cabbage on cold high hill	1,552,128	421,691	1,130,437	72.8
Cucumber	2,567,400	691,112	1,876,288	73.1
Apple	2,084,131	866,652	1,217,479	58.4
Lily	16,287,565	9,419,475	6,868,090	42.2
Gerbera	17,765,865	9,051,641	8,714,224	49.1
Oyster mushroom ^b	17,268,699	5,884,548	11,384,151	65.9

^aData compiled from Rural Development Administration (1995).

^bNumbers in oyster mushroom were calculated as won per 262 m².

Table 2. Annual increase in the production of oyster mushroom in Korea

Year	No. of cultivator	Area under cultivation (m ²)	Productive mass (ton)
1972	538	23,140	158
1980	1,433	198,350	3,208
1990	6,266	3,649,590	43,732
1995	8,216	5,914,050	72,801

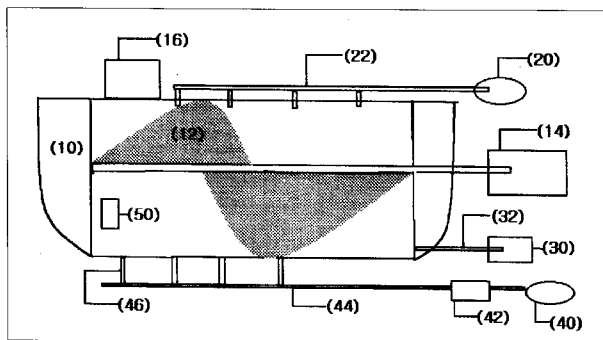


Fig. 1. Detail inside view of the single phase composter.

- 10: Main body and water jacket
- 12: Mixing screw
- 14: Motor
- 16: Main door
- 20: Steam boiler
- 22: Steam pipe
- 30: Temperature control system
- 32: Water intake
- 40: Air compressor
- 42: Air control system
- 44: Air duct system
- 46: Air intake
- 50: Thermometer

컨베이어 벨트를 이용해 내부로 주입할 수 있는 배지재료 주입구(16), 배지재료를 혼합하는 스크루(12), 이를 회전시키는 모터(14), 배지 제조기의 온도 조절용 워터 재킷(10), 워터 재킷에 일정한 온도의 물을 공급하는 온도 조절장치(30) 등이 있으며 이밖에도 주입되는 공기 정화용 다단계 에어 필터, 냉각공기 제조용 에어 드라이어, 칠러 등의 냉각장치 등을 설치하였다. 특히 각종 조절장치에는 자동제어장치를 부착, 정확한 조절을 피하였으며 나아가 노동력의

절감, 작업기간의 단축, 미생물 오염의 방지 및 생산량의 증가 등을 고려하여 제조, 설치하였다.

느타리버섯 배지 제조기를 이용한 배지 제조 과정

배지 재료: 기계를 이용한 배지 제작실험 1회에 사용되는 배지재료의 총 건중량은 200 kg으로 폐면(120 kg), 분진솜(60 kg), 볏짚(20 kg)을 혼합하여 사용하였다. 배지를 생산하는 공정은 배지재료의 투입, 침수, 상온, 살균, 하온I, 후발효, 하온II, 접종 순으로 진행하였고 접종에 사용한 종균인 원형느타리 1호는 원주시에 소재한 치악종균소에서 구입하여 사용하였다.

배지의 침수: 기계 내부로 투입된 배지재료에 수분을 공급하기 위한 침수과정에는 1마력의 양수기를 이용, 장착된 수도관을 통해 약 20분간 살수하였다. 동력축을 이용한 연속 교반으로 배지재료가 전체적으로 골고루 침수되도록 하였으며 기계에 설치된 동력축의 회전 속도는 12 rpm으로 고정하여 사용하였다.

배지의 살균과 하온I과정: 살균과정을 위하여 5,000 kcal의 보일러를 이용하여 고온의 스팀을 스팀 파이프를 통해 40±10분간 주입하여 배지 살균온도인 65°C로 상온하고 살균 온도를 유지하면서 배지재료의 살균을 실시하였다. 살균단계에서도 동력축을 이용하여 교반(10분 간격으로 2분씩 교반)함으로써 배지재료가 전체적으로 살균되도록 하였다. 후발효과정을 진행하기 위한 하온I과정은 연속교반을 이용한 자연적인 하온방식 또는 연속교반과 더불어 기계에 설치된 보온장치에 찬물을 순환시켜 하온시키는 강제적인 하온방식등 2가지의 방법을 사용하였다.

배지의 후발효와 하온II과정: 후발효과정은 고온-호기성 미생물이 충분하게 성장하여 배지 내에 존재하는 유해 미생물의 성장을 저해하는 antagonism 효과를 극대화하기 위하여 기계에 설치된 보온장치에 후발효 온도를 유지할 수 있도록 일정 온도의 물을 순환시켜 기계 내부의 배지온도를 유지하도록 하였다. 에어라인을 이용한 공기 공급으로 신선한 공기를 지속적으로 소량 주입하였고, 혐기성 발효의 진행을 방지하기 위해 3시간마다 3분씩 교반시켜 주었다. 종균 접종을 위한 하온II 과정은 연속교반과 더불어 기계에 설치된 보온장치에 찬물을 순환시키고 압축기와 2 µm의 HEPA filter를 통과한 공기를 공급하여 종균 접종에 적합한 온도까지 급속한 하온을 실시하였다.

종균의 접종: 사용한 배지재료 총 건중량의 10%에 해당하는 종균량을 접종에 사용하였으며, 종균접종방법은 재래식 느타리버섯 재배시에 널리 사용되고 있는 혼합접종, 표면접종, 표면+혼합접종(6:4)으로 접종방법을 구분하여 종균 접종방법에 따른 실험배지의 균사 배양 성공률을 측정하였다.

각 단계별 배지 내 함유량 측정

배지제조 의 각 단계별로 함유량을 측정하였다. 시료를 채취하기 전에 2분간의 교반을 시행한 후 3개의 시료를 clean

bag에 채취하고 중량을 측정후, 80°C drying oven에서 48시간 동안 건조시켜 건조중량을 측정하였다. 채취한 표본의 중량에서 clean bag의 중량과 건조중량을 제하여 함수량을 백분율로 계산하였다.

각 단계별 배지의 온도 측정

배지제조기를 이용한 배지제조 단계는 상온(살균), 정온(살균, 후발효), 하온(접종)의 시기로 구분되므로, 이러한 각 단계별로 배지의 온도를 측정전 2분의 교반을 시행한 후에 110°C 알코올 온도계를 이용하여 직접 측정하였다.

각 단계별 배지의 pH의 측정

배지재료가 고온상태와 발효과정을 거치게 되므로 배지재료의 물성 변화 및 화학적 변화를 관찰하기 위하여 각 단계마다 pH를 측정하였다. 시료 채취전 2분간의 교반을 시행한 후에 3개의 표본시료를 clean bag에 채취하고 D.W 100 ml에 채취한 시료 5g을 넣어 1시간 동안 magnetic stirrer를 이용하여 혼합한 후 여과(Whatman No. 2)하여 pH meter를 이용, 그 용출액의 pH를 측정하였다.

후발효 시간에 따른 균사 생장 비교

기존의 재래식 느타리버섯 재배에서는 후발효 시간을 72시간으로 상정하고 있는 바, 후발효 시간의 단축 가능성을 실험하였다. 동일한 조건에서 제조한 배지에 후발효 시간(48시간, 60시간, 72시간)을 달리하여 동일한 균주를 동일한 방법으로 접종하고 25±2°C의 배양실에서 20일간 배양한 후 육안으로 균사의 생장을 비교하였다.

종균 접종방법에 따른 균사 생장 비교

종균 접종방법에 따라 균사의 활착도 및 오염도에 차이가 있기 때문에 표면접종, 혼합접종(수작업 혼합 또는 기계적 혼합), 표면+혼합접종(6:4) 방법 등을 비교하였다. 후발효과정을 완료한 배지에 여러가지 접종방법을 이용하여 종균을 접종하고 25±2°C의 배양실에서 20일간 배양한 후 접종방법에 따른 균사의 생장을 육안으로 관찰하였다.

결과 및 고찰

각 단계별 배지의 함수량

최초 기계 내부에서 20분간 살수하여 배지재료를 침수시킨 결과 평균 76.87%의 함수량을 나타내고 있었다. 보일러의 스팀을 이용하여 살균온도까지 상온하고 배지재료를 살균한 후, 후발효 과정에 도달하기까지의 함수량은 평균 74.73%로 약 1.54%의 수분 손실이 있었다. 그러나 후발효 과정이 종료된 후 종균 접종시의 함수량은 평균 70.63%로 비교적 많은 수분의 손실(4.08%)이 있었다. 이는 후발효 과정에서 고온·호기성 미생물의 생장을 유도하기 위한 공기 주입에 기인하는 것으로 사료된다. 전체적으로 최초 배지재료의 침수후 함수량 76.87%에서 종균 접종전 함수량

Table 3. Comparison of the water contents in the composts processed in the single phase composter (unit: %)

	1st	2nd	3rd	4th	5th	Average
Watering	76.65	76.98	77.11	76.96	76.65	76.87
Time I	76.12	75.85	74.01	78.42	73.41	75.56
Pasteurization	75.48	77.38	69.31	77.38	73.53	74.61
Time II	75.26	76.34	73.72	73.20	77.91	75.28
Fermentation	75.73	75.52	72.75	72.46	77.21	74.73
Time III	71.07	71.11	70.98	70.36	71.75	71.05
Inoculation	71.73	71.11	69.92	69.36	71.07	70.63

70.63%로 5.63% 정도의 수분 손실을 보였으나, 종균 접종시의 배지 함수량은 약 70% 내외로서 비교적 양호한 함수량을 나타내고 있었다. 이같은 함수량은 기존의 재래식 재배방법에서 상정하고 있는 종균 접종시의 배지 함수량인 70~72%(박 등, 1975; 박 등, 1977)와 비슷한 함수량을 나타내었다(Table 3). 또한 본 실험에서와 같이 기계화에 의한 느타리버섯의 배지를 제조할 경우, 200 kg의 배지재료를 기계적으로 침수하는데 약 20분이 소요되었던 바, 이러한 침수시간은 관행 방법에 비해 5%에 불과한 침수시간으로 짧은 시간에 높은 침수효율을 얻을 수 있는 침수방법으로 판단되었다.

각 단계별 배지의 온도와 온도 조절 시간

배지 제조기 안에 배지재료를 투입한 후 20분간 물을 가하며 교반한 후 배지의 온도를 측정후 결과 평균온도는 23.56°C로 외기온도와 매우 유사하였다. 그러나 침수후 살균온도인 65°C까지 도달하는 시간은 침수온도에 관계없이 40~50분이 소요되었다. 이때 온도 조절장치를 65°C로 조절하여 살균을 실시한 결과, 평균온도는 66°C로 나타나 1°C 이내에서 온도의 조절이 가능하였으며 이는 터널시스템 방법(박 등, 1981; 정, 1983) 및 관행 방법에 비하여 보다 정확한 온도 조절능력이 있었으며, 후발효 과정에서의 평균온도와 조절온도간의 차이 역시 살균과정에서와 같이 1°C 이내에서 온도가 조절되고 있음을 확인하였다. 살균온도인 65°C에서 후발효 온도인 45°C까지 하온시키는데 소요되는 시간은 약 1.5시간 정도로서 외기온도에 따라 소요시간이 다르게 나타났다. 후발효가 끝난 후 접종온도인 25°C까지 걸리는 시간은 약 2~3시간으로 나타났으며 이 역시 외기온도에 따라 크게 변하였다. 그러나 이러한 조절시간은 관행 방법(10시간 내외)과 비교할 때 20~25%에 지나지 않아 온도 조절시간도 크게 단축되었다(Fig. 2).

각 단계별 배지의 pH

배지 제조기를 이용한 배지의 제조과정 단계별 배지의 pH는 살균과정에서 침수과정보다 pH가 낮았으며, 종균의 접종시 pH가 높아지는 경향을 보였다. 그러나 배지 생산과정의 각 단계에서는 배지의 pH가 7~8 사이로 큰 변화를 보

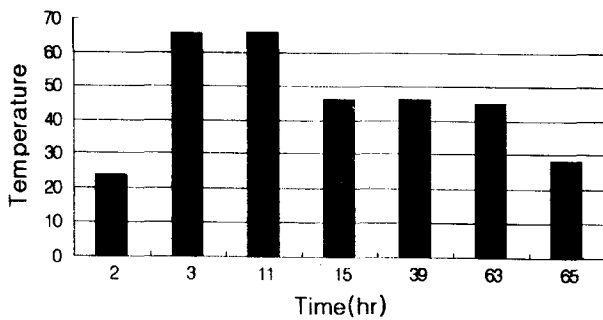


Fig. 2. The changes of temperatures in the composts processed in the single phase composter.

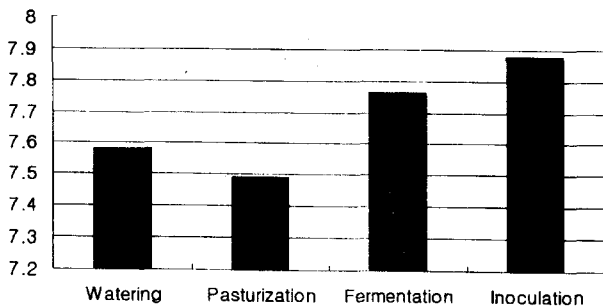


Fig. 3. The changes of pH in the composts during watering, pasteurization, fermentation and inoculation steps in the single phase composter.

이지는 않았다(Fig. 3).

후발효 시간에 따른 균사 배양 성공률

온도와 습도 및 환기에 대한 기계적인 조절로 인해 후발효 시간이 단축될 것으로 기대되어, 후발효 시간의 차이에 따른 균사 배양 성공률을 측정하였다. 후발효 시간 48시간에는 78%의 균사 배양 성공률로 가장 양호하게 나타내는 반면, 후발효 시간이 증가함에 따라 균사 배양 성공률은 점차 감소하여 72시간에는 43%로 저조하였다(Fig. 4).

이같은 결과는 기존의 후발효 시간을 72시간에서 48시간으로 24시간 단축한 실험결과로서 후발효시간을 48시간으로 단축하여도 느타리버섯의 균사생장이 양호할 뿐만 아니라, 장기간 발효에 따른 오염 가능성을 감소시킬 수 있으며, 경비절감에도 크게 기여할 것으로 기대된다.

종균 접종 방법에 따른 균사 배양 성공률

후발효가 완료되고 접종온도로 배지를 하온한 후 종균 접종방법을 표면접종, 혼합접종, 표면+혼합접종(6:4) 등 여러가지 방식으로 종균을 접종하여 균사 배양 성공률을 관찰하였다. 균사 배양 성공률은 표면+혼합접종(95%) > 표면접종(80%) > 수작업 혼합접종(71%) > 기계적 혼합접종(36%)의 순으로 표면+혼합접종 방법에서 95%로 가장 양호하였으며 기계적 혼합접종에서는 36%로 가장 저조하였다(Fig. 5).

이러한 결과는 표면+혼합접종 방법에서는 표면에 접종된

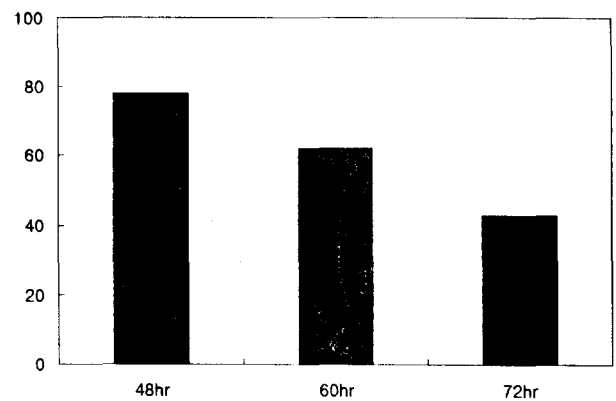


Fig. 4. Comparison of mycelial growth in the composts during the postfermentation periods in the single phase composter.

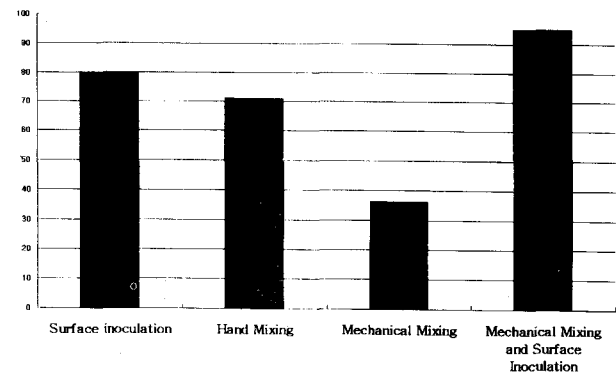


Fig. 5. Comparison of mycelial growth in the composts with different inoculation and mixing methods in the single phase composter.

종균은 배지표면의 오염을 방지하고 혼합된 종균은 오염에 대한 위협없이 배지 내에서 양호하게 배양되고 있음을 의미하고 있다. 그러나, 표면+혼합접종 방법의 경우는 소요 노동량이 많기 때문에 이러한 문제를 해결할 수 있는 일련의 연구가 시급하다고 하겠다.

적 요

느타리버섯의 재배시에 사용되는 배지재료인 볏짚과 폐면을 사용하여 기계적으로 침수, 살균 및 접종이 가능한 느타리버섯 배지 제조기를 제작하고, 이를 이용한 균사 배양을 시도하였다. 본 배지 제조기에 의한 침수시간은 약 20분 정도가 소요되었으며 이때 최초 단계인 침수 후 배지재료의 함수량은 평균 76.27%이었으며 최종 단계인 종균 접종 단계에서의 함수량은 평균 70.64%로 최적의 상태를 유지하였다. 이는 관행의 방법에서의 10여시간과 비교하여 0.33%의 수준이었다. 또한 배지살균에 필요한 상온시간은 약 40±10분이 소요되었으며 배지살균에는 65°C에서 10시간이 소요되었다. 살균에 사용된 시간은 관행방법과 비교하여 50%의 시간 안에 정확한 온도와 고른 교반으로 우수한 살균 효과를 거둔 것으로 평가되었다. 고온·호기성 미생물의

배양단계인 후발효 단계는 45~50°C의 온도에서 48시간으로서 기존의 재래식 방식에서 사용하던 후발효 시간보다 24시간이 단축되었다. 종균 접종방법에 따른 균사 배양 성공률은 표면+혼합접종(95%)>표면접종(80%)>수작업 혼합접종(71%)>기계적 혼합접종(36%)의 순으로 나타나 표면+혼합접종 방법이 가장 양호하였으며 기계적 혼합방법이 가장 저조한 것으로 나타났다. 그러나 더욱 효과적인 느타리버섯 배지제조 기계화를 위하여는 보다 활성이 높은 후발효 균주의 개발이 요구되며 이를 위한 고온, 호기성 미생물의 선별 및 관리를 비롯하여 후발효 과정에서의 증식과 발효효과 등에 대한 연구가 앞으로도 계속되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 통산산업부, 산업기술정책연구소의 공업기술 개발 1998~1999년도 사업비와 영농 조합법인 겨자씨의 1998년도 연구비에 의하여 진행되었기에 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 박용환, 고승주, 김동수. 1975. 볏짚을 이용한 느타리버섯 재배에 관한 연구, 제 1보. 배지 재료에 관한 시험. 농사시험연구보고 17: 103-107.
- 박용환, 고승주, 장학길. 1977. 볏짚을 이용한 느타리버섯 재배에 관한 연구, 제 2보. 배지의 열처리에 관한 시험. 농사시험연구보고 19: 93-97.
- 박정식, 신관철, 김광포, 박용환. 1981. Tunnel system에 의한 양송이 합성배지 발효 및 자실체 생산에 관한 연구. 한국균학회지 9: 117-122.
- 신관철. 1987. 느타리버섯 볏짚배지에 발생하는 유해균류. 한국균학회지 15: 92-98.
- 신관철, 조수목, 전낙범, 구자형. 1994. Sodium hypochlorite (NaOCl) 처리가 느타리버섯의 세균성 갈반병에 미치는 효과. 한국균학회지 22: 190-195.
- 이영석. 1996. 버섯 산업의 정책 과제와 육성 방향. 한국농촌경제연구원 연구보고 R 343.
- 전창선, 차동열. 1988. 느타리버섯 병해 발생 조사. 농업기술연구소 시험연구보고서, 생물부편 pp. 794-800.
- 정환채. 1983. 느타리버섯의 볏짚배지 발효방법에 관한 연구. 한국균학회지 11: 177-181.
- Atkins, F. C. 1979. Composting in drums and tunnels. *Mushroom J.* 74: 41-47.
- Derk, G. 1973. 3-phase-1. *Mushroom J.* 9: 396-403.
- Noble, R. and Gaze, R. H. 1994. Controlled environment composting for mushroom cultivation: Substrates based on wheat and barley straw and deep litter poultry manure. *J. Agri. Sci.* 123: 71-79.
- Straatsma, G., Samson, R. A., Olijnsma, T. W., Gerits, J. P. G., H. J. M. Op den Camp, and L. J. L. D. Van Griensven. 1995. Bioconversion of cereal straw into mushroom compost. *Can. J. Bot.* 73: S1019-S1024.