

느타리 재배용 폐면 발효 중의 화학성 및 미생물 상의 변화

전창성 · 장갑열 · 조수목 · 오세종 · 박정식 · 원함연*

농업과학기술원 응용미생물과

Change of Chemical and Microbial Properties during Fermentation of Cotton Waste for Oyster Mushroom Cultivation

Chang-Sung Jhune, Kap-Yeul Jang, Soo-Muk Cho, Sejong Oh,
Jung-Sik Park and Hang-Yeon Weon*

Division of Applied Microbiology, National Institute of Agricultural Science and Technology, R.D.A., Suwon 441-707, Korea
(Received October 5, 2004)

ABSTRACT: The changes of microflora and chemical characteristics during fermentation process of cotton waste for oyster mushroom cultivation were investigated with 5l bench-scale reactors placed in an incubator at different temperatures (40, 50 and 60°C). Cotton waste was wetted to 70% moisture, and air flow rates to the substrate were 50, 100 and 300 cc/min. In processing of composting, the mesophilic bacterial population decreased sharply but thermophilic bacterial population increased. In case of fungi, both mesophilic and thermophilic population decreased. The daily CO₂ evolution showed little difference in all treatments, while NH₃ dropped sharply after 3 days. The desirable composting temperature and air flow based on the mycelial growth of oyster mushroom were 50°C and 100 cc/min, respectively.

KEYWORDS: Microbial flora, Mushroom composting, Oyster mushroom

느타리버섯은 배지 제조, 균사생육, 버섯 생육 및 수확의 3단계 과정을 거쳐 생산되고 있다. 배지제조 과정은 버섯 생산을 위한 고품질의 기질을 조제하는 것으로 버섯 생산과정 중 가장 중요한 단계이다. 이 과정은 수분, 온도 및 산소 농도의 제어를 통해 일련의 미생물이 정착하고, 이들의 활성으로 물리, 화학적 변화가 수반되어 버섯생육에 적합한 기질로 전환되는 발효의 과정이다(Randle and Flegg, 1978; Miller *et al.*, 1989). 잘 제조된 배지는 버섯 생육에는 이로우면서 잡균을 억제하는 선택성을 지니며, 영양적인 면과 미생물학적인 면이 관여한다. 이러한 선택성은 발효과정 중 잡균이 쉽게 이용할 수 있는 가용성 양분은 분해되고, 더 이상 암모니아화가 진행되지 않아 버섯 생육에 적합한 형태로 전환되어 나타나며(Stolzer and Grabbe, 1991), 60°C 이상의 온도와 항미생물제에 의해서도 잡균이 파괴될 수 있는 것으로 알려져 있다(Ross and Harris, 1983a).

배지의 발효과정 중에 생성된 미생물체량은 건물당 약 2%로서(Sparling *et al.*, 1982) 종균재식 후 버섯의 영양 원으로 이용될 수 있다(Barron, 1988; Sparling *et al.*, 1982). 일반적으로 느타리버섯 배지 발효는 60°C에서 6~8

시간 살균하고, 50~55°C에서 3~4일간 후발효하는 것이 관행이다(차 등, 1989). 볏짚배지의 살균조건이 느타리버섯균의 균사생장에 미치는 영향에 대해 검토한 결과, 느타리버섯의 균사생장은 고온보다는 60°C에서 살균한 것이 우수하며, 살균시간은 8, 12시간이 가장 양호한 것으로 보고되었다(전 등, 2002). 또한 2회 살균보다는 1회 살균이 좋으며, 전발효를 하는 경우는 오히려 균사생장이 불량한 것으로 나타났다. 그러나 느타리버섯 배지제조는 기본적으로 양송이버섯 퇴비화를 응용하면서도 이에 대한 충분한 학문적 검토가 이루어지지 않은 상태이다. 특히 발효과정 중 화학성 및 미생물상의 변화에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 또한 대부분의 연구들이 볏짚발효에 관한 것으로 폐면에 관한 보고는 드물다. 따라서 본 연구는 조절된 발효기 조건하에서 폐면발효 과정중의 화학성분 변화 및 미생물상 천이의 관점에서 느타리버섯 재배의 최적 온도조건을 검토하였다.

재료 및 방법

소형발효기의 운전조건

발효조건에 따른 미생물상 변화와 이화학성분의 변화를 조사하고자 Fig. 1과 같이 온도, 통기량 등을 조절할 수

*Corresponding author <E-mail: hyweon@rda.go.kr>

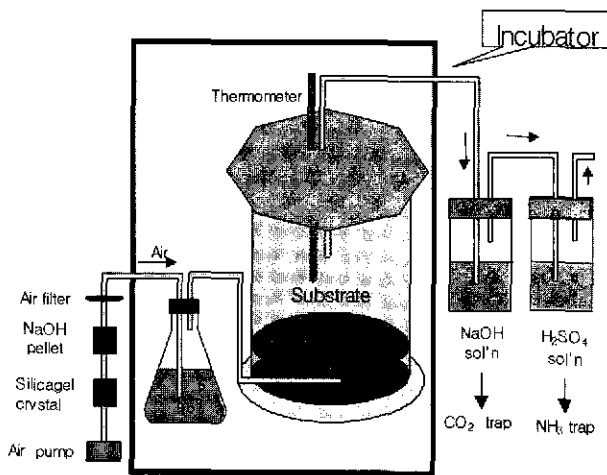


Fig. 1. Schematic diagram of bench scale fermenter.

있는 내부용량 5 l인 소형발효기를 제작하여 시험에 사용하였다. 배지재료는 폐면을 사용하였고, 70%의 수분함량으로 조절한 후 2 kg을 발효기에 충전하였다. 발효 온도를 조절하기 위하여 배지가 담긴 발효기를 항온기내에 설치하여 40, 50 및 60°C로 조절하였으며 3반복으로 실험하였다. 발효기로 주입되는 공기는 실리카겔과 NaOH 펠렛을 통과시켜 수분과 탄산가스를 제거한 후, 배양기 내부의 증류수가 담긴 플라스크를 통과시켜 습윤 공기를 주입하였다. 통기량은 flow meter를 통해 50, 100 및 300 cc/min으로 조절하였다. 이 때 배지내 온도는 data logger에 연결된 thermocouple을 배지 중앙부에 설치한 후, 연속적으로 측정하면서 발효온도 조건을 조절하였다.

이화학적 성분 분석

발효과정 중에 발생하는 암모니아 및 탄산가스를 발효 종료시까지 매일 1 N H₂SO₄ 용액과 5 N NaOH 용액에 포집하여 Chalaux *et al.*(1991)이 기술한 방법에 준하여 분석하였다. 배지의 수분함량은 80°C에서 24시간 건조한 후 건조 전·후의 무게 변화량을 조사하였고, pH는 발효 폐면 10 g에 증류수 100 ml를 가하여 10분간 진탕한 후 Whatman No. 2 여과지로 통과시킨 다음 pH meter(Orion 520a)로 측정하였다. 총탄소와 질소는 건조후 분쇄한 폐면을 0.15~0.2 g을 취하여 원소분석기(CHN-1000, LECO)로 측정하였다. 또한 NH₄-N는 시료 5 g을 2 M KCl 용액 20 ml로 추출한 후 여과물을 Kjeldahl 증류법으로 정량하였다.

미생물상조사

퇴비내의 미생물상을 조사하기 위하여 희석평판법을 이용하였다. 살균증류수 135 ml에 폐면 15 g을 첨가하여 150 rpm에서 30분간 진탕한 후 일련의 희석현탁액(10⁻⁶)을 만든 후 0.1 ml씩 배지에 도말하였다. 배양은 중온성

(25°C)과 고온성(55°C)으로 나누어, 고온성 세균은 20시간, 중온성 세균은 48시간을 배양하였으며, 방선균과 곰팡이는 고온 및 중온성에 관계없이 각각 5일, 7일간 배양하였다. 배양매지로 세균은 trypticase soy agar(BBL Microbiology Systems, trypticase peptone 17 g, phytone peptone 3 g, NaCl 5 g, K₂HPO₄ 2.5 g, glucose 2.5 g, agar 20 g, distilled water 1 l, pH 7.3), 방선균은 starch casein agar(soluble starch 10 g, vitamin-free casein 0.3 g, KNO₃ 2 g, NaCl 2 g, K₂HPO₄ 2 g, MgSO₄ · 7H₂O 0.05 g, CaCO₃ 0.02 g, FeSO₄ · 7H₂O 0.01 g, agar 20 g, distilled water 1 l, pH 7.2), 사상균은 rose bengal agar(KH₂PO₄ 1 g, MgSO₄ · 7H₂O 0.5 g, peptone 5 g, glucose 10 g, rose bengal 0.033 g, streptomycin sulfate 0.033 g, agar 20 g, distilled water 1 l) 배지를 사용하였다. 퇴비내 미생물수는 3개의 평판배지에 나타난 콜로니를 각각 계수한 후 평균값을 콜로니 형성수(colony forming unit, cfu)로 표시하였다.

분리 미생물의 특성 검정

분리미생물의 최적생육 온도를 측정하기 위하여 세균은 200 μl의 trypticase soy broth를 96well microplate에 분주한 후, 세균현탁액을 접종하였다. 접종된 plate는 20~60°C로 조절된 배양기에서 18시간 배양 후 660 nm에서 OD값을 측정하여 최대값을 보인 온도를 최적 생육온도로 하였다. 곰팡이의 최적생육 온도를 구하기 위해서는 Potato Dextrose Agar(PDA)를 사용하였다. 즉 배양된 균사체를 코르크보러로 5 mm의 disk를 만든 후 PDA 배지 정 중앙에 접종하였다. 접종된 평판은 25~50°C로 조절된 항온기에서 5일간 배양 후 균사생장 길이를 측정하여 최적 생육 온도를 조사하였다.

균사생장 속도 측정

발효가 끝난 배지를 회수하여 충분히 혼합한 다음, 시험관(길이 200 mm×직경 30 mm)에 35 g씩 균일하게 충전하였다. 비섯균주로는 분쇄된 원형노타리 1호 종균을 10 g씩 배지 표면에 접종한 후 실리스트퍼로 마개를 하여 25°C에서 배양하였으며, 균사 생장 길이는 종균접종 후 10일째에 측정하였다.

결과 및 고찰

발효과정 중 배지의 이화학적 성분 변화

Fig. 2는 소형발효기에서 발효경과 일수별 배양온도 및 통기량별 폐면내의 온도변화로서 첫 번째 온도 peak는 60°C에서 10시간 저온살균을 했을 때의 온도이며, 3일째의 온도하강은 발효기에서 시료 채취에 의한 것을 나타낸다. 공기주입시에는 통기량 별 온도간 차이는 크지 않았으며, 자체 발열에 의한 온도상승으로 인해 전체적으로 설정된 배양 온도보다 평균 6°C 정도 높았다. 그러나 곰

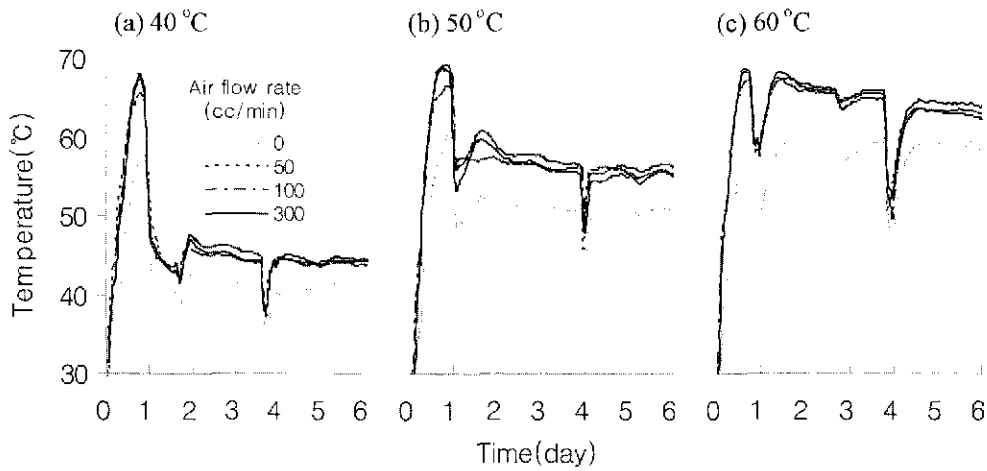


Fig. 2. Change of temperatures in substrate during fermentation at different temperatures and air flow rates.

기주입이 없었던 혐기발효의 온도는 주입시보다 5°C 정도 낮았다. Walker and Harrison(1960)의 보고에 의하면 혐기조건 하에서 발열속도는 호기조건에 비해 100배 이상 둔화되며 고온에 도달하기 어렵다고 하였으며, 본 시험에서도 일정하게 온도가 유지될 수 있는 배양기 내에서도 혐기발효는 호기발효에 비해 온도가 낮다는 것을 관찰할 수 있었다.

통기량 및 발효온도에 따른 배지의 이화학성분 변화는 Table 1과 같다. pH는 호기발효(통기량 50, 100, 300 cc/min)의 경우 7.0~8.0으로 혐기발효 5.1~7.2에 비해 평균 1.7으로 높았다. 호기발효시 온도가 낮아질수록 pH가 높아지는 경향을 보였으나 통기량간에는 일정한 경향이 없었다. 암모니아태 질소 함량은 혐기 발효시 호기발효보다 평균 670 ppm 정도 높았으며 강한 악취를 동반하였다. 이러한 악취는 propanoic acid, butanoic acid 등의 휘발성 유기산, 휘발성 황, 질소화합물에 의한 것으로 알려져 있다 (Miller and Macaulay, 1988, 1989). 호기발효시 암모니아태 질소 함량은 40°C에서 가장 낮았는데, 이는 암모니아의 소실 최적온도는 40~50°C라는 보고(Ross and Harris, 1982)와 유사하며, Fig. 5에서와 같이 이 때의 온도에서 암모니아 발생량이 다른 온도에 비해 많은 것도 한 원인

Table 1. Change of moisture, pH, NH₄⁺-N and C/N ratio of cotton wastes fermented at different temperatures and aeration rates

| | Fermentation temperature (°C) | Air flow rate (cc/min) | | | |
|---------------------------------------|-------------------------------|------------------------|------|------|------|
| | | 0 | 50 | 100 | 300 |
| Moisture contents (%) | 40 | 70 | 74 | 72 | 71 |
| | 50 | 69 | 72 | 72 | 70 |
| | 60 | 72 | 74 | 73 | 71 |
| pH (1 : 10) | 40 | 6.6 | 8.0 | 7.9 | 7.8 |
| | 50 | 5.3 | 7.9 | 7.8 | 7.7 |
| | 60 | 5.1 | 7.0 | 7.3 | 7.0 |
| NH ₄ ⁺ -N (ppm) | 40 | 895 | 83 | 68 | 91 |
| | 50 | 894 | 143 | 151 | 139 |
| | 60 | 508 | 138 | 133 | 157 |
| C/N ratio | 40 | 49.1 | 59.6 | 64.5 | 56.3 |
| | 50 | 59.6 | 49.0 | 60.2 | 55.3 |
| | 60 | 49.5 | 68.5 | 55.6 | 57.0 |

이라고 사료된다. 한편 C/N ratio는 6일간의 단기간의 발효과정이었기 때문에 발효온도 및 통기량에 따라 일정한 경향은 없었다고 추정된다.

발효과정 중 암모니아 및 탄산 가스를 분석한 결과, 이

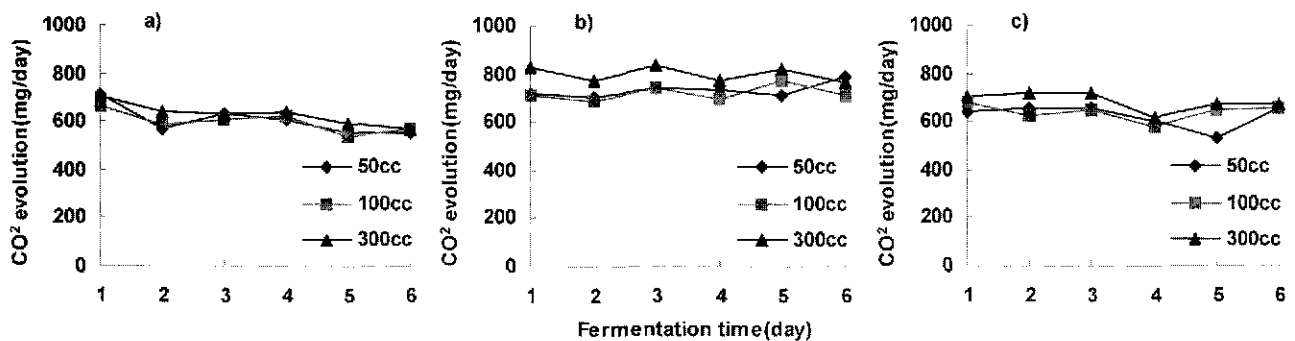


Fig. 3. Daily CO₂ production during fermentation process at 40°C (a), 50°C (b) and 60°C (c).

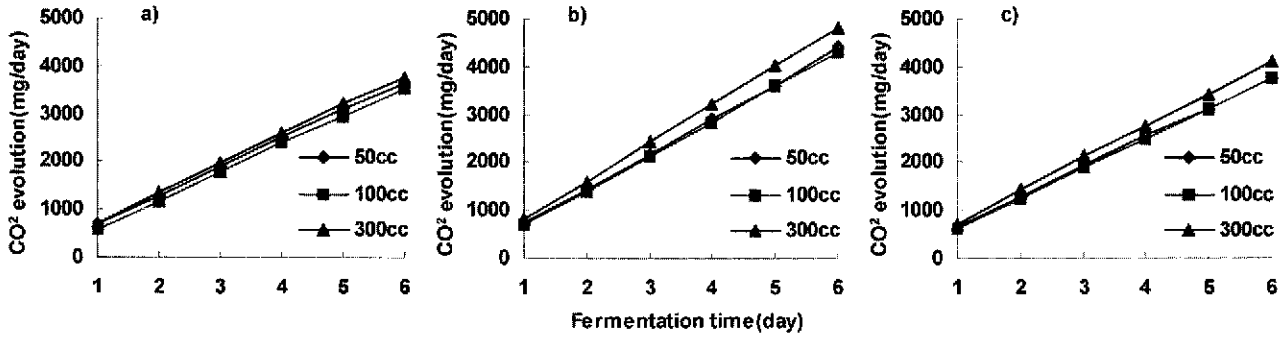


Fig. 4. Accumulative CO₂ production during fermentation process at 40°C (a), 50°C (b) and 60°C (c).

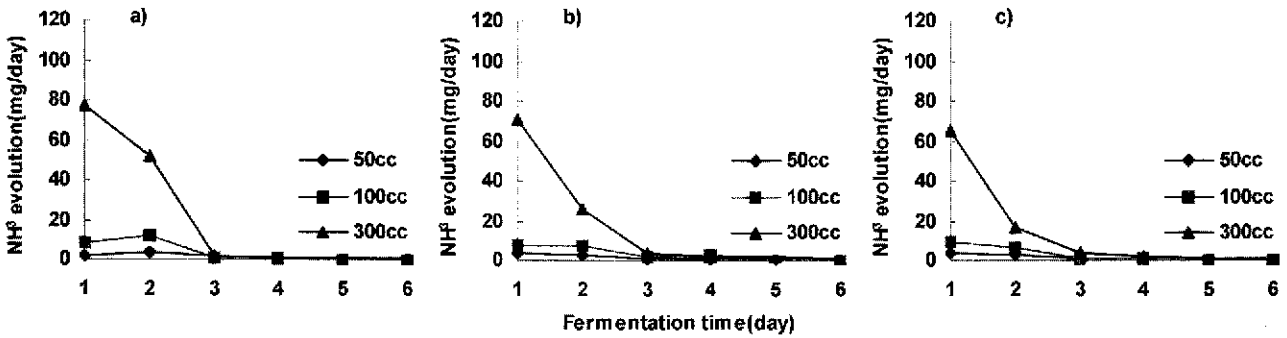


Fig. 5. Daily NH₃ production during fermentation process at 40°C (a), 50°C (b) and 60°C (c).

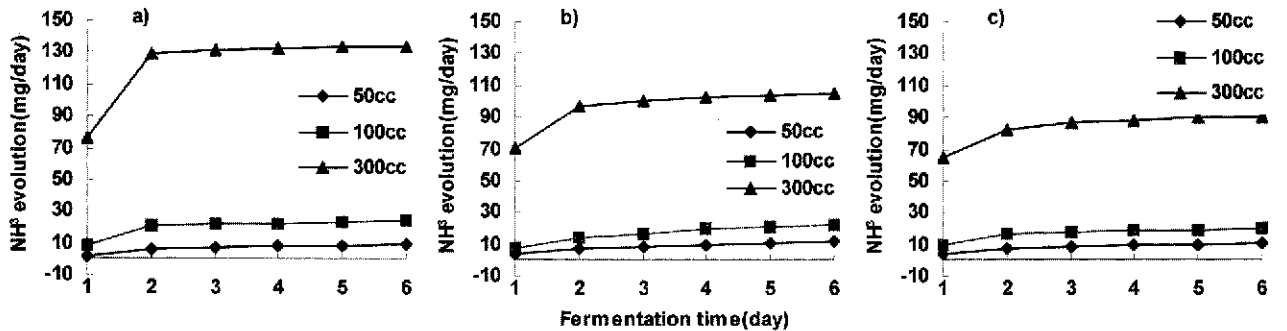


Fig. 6. Accumulative NH₃ production during fermentation process at 40°C (a), 50°C (b) and 60°C (c).

산화탄소 발생량은 통기량을 300cc/min으로 했을 때 가장 많았으며, 발효온도 별로는 50°C<60°C<40°C 순으로 낮아지는 경향을 보였다(Fig. 3~6). 일별 발생량에는 큰 차이가 없었고 이것을 누적량으로 표시하면 1차식의 형태를 띠고 있다. 결론적으로 이산화탄소 발생량은 50°C, 300 cc/min의 발효조건에서 가장 높았던 것으로 미루어, 이때의 조건이 고온성 미생물의 활성에 최적이었다고 판단된다.

암모니아는 저온살균시 급격한 발생이 있었으며 3일째 부터는 거의 발생하지 않았다. 이러한 이유는 느타리 배지 발효는 양송이 퇴비와는 달리 질소원이 첨가되지 않기 때문에 암모니아 생성을 위한 기질이 적었기 때문이라 사료된다. 누적암모니아 발생량은 발효온도가 높아질수록

낮아지고 통기량이 많아질수록 증가하는 경향을 보였다.

배지내 미생물상의 변화와 분리균주의 특성

앞의 결과에서 배지의 이화학성분 및 가스발생량에 미치는 영향이 통기량<발효온도<통기유무 순으로 컸으나, 시기별 미생물 밀도는 통기량과 온도에 따른 변화가 크지 않았기 때문에 온도(40, 50, 60°C)와 통기량(50, 100, 300 cc/min)를 평균하고 호기조건과 혐기조건으로 구분하여 발효일수에 따른 미생물상의 변화를 살펴보았다(Fig. 7). 고온성세균의 밀도는 호기조건하에서 온도에 큰 영향없이 발효 3일째에 약 100배 정도 증가하였으나 혐기상태에서는 증가가 미미하였다. 한편 중온성은 3일째에 150배 정도의 급격한 감소가 관찰되었는데 이는 배지내의 중온성

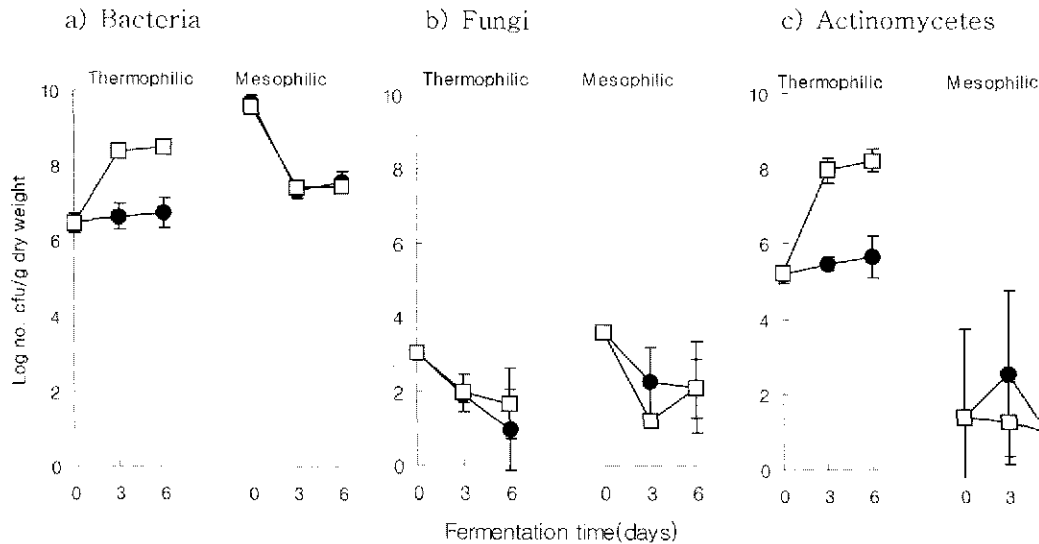


Fig. 7. Change of microbial population during aerobic (□) and anaerobic (●) fermentation processes. Bars represent standard error of the mean.

세균이 급속히 감소하는 반면 고온성 세균이 급격히 발달하면서 증온성에서 고온성세균으로 천이 일어나고 있다는 것을 의미한다. 사상균은 고온성 및 증온성에서 모두 감소하였으며, Table 5에서 제시한 것처럼 고온성 사상균 대부분이 50°C에서 최적의 점을 감안하면 본 시험에서 65°C에서 10시간 저온살균한 결과, 열에 의한 손상을 받았기 때문이라 판단된다. 방선균의 경우는 세균과 같은 경향을 보이고 있으며, 호기발효시 온도에 상관없이 발효 3일째 급격한 증가를 보이고 있으며 증가폭은 세균보다 더 큰 경향이였다. 통기량에 따라 고온성 미생물이 큰 차이가 없었던 것은 최저 통기량인 50 cc/min이 호기조건의 최저한계온도(threshold)이상의 조건을 조성해 주었기 때문이라 생각된다. 또한 초기의 저온살균이 배지내의 미생물에 큰 영향을 주어 후기의 발효과정에 의한 영향은 적었다고 판단되며, 차후 초기의 온도변화에 따른 발효양상에 관한 실험이 진행될 필요가 있다.

발효가 완료된 배지(발효 6일째)에서 세균의 밀도는 고온성 및 증온성 모두 발효 온도별 큰 차이가 없었지만 사상균과 방선균의 밀도는 고온성의 경우 50°C에서, 증온성은 40°C에서 가장 높았다(Table 2). 고온성균의 밀도는 혐

기발효를 하였을 경우, 호기발효에 비해 급격히 감소하여 세균, 사상균 및 방선균이 각각 63, 5, 316배로 감소하였으며, 특히 방선균의 경우가 현저하였다. 한편 고온성 사상균은 배지의 질에 상당한 영향을 끼치며 버섯의 선택적인 생육에 이르기 암모니아 농도를 낮추고(Ross *et al.*, 1983b), 양분을 부동화시킨다(Fermor and Grant, 1985a). 또한, *Scytalidim thermophilum* 같은 균은 버섯의 균사 생장을 촉진하는 것으로(Straatsma *et al.*, 1991, 1994) 알려져 있다. 그러나 본 시험에서는 고온성 사상균은 크게 발달하지 않았으며 오히려 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 원인은 초기 저온살균의 영향으로 원재료에 존재 하던 균들이 열에 의한 손상을 받았기 때문이며, 느타리 폐면 발효에서의 기여도는 낮은 것이라 사료된다.

미생물계수가 끝난 배지에서 순수분리한 316균주를 대상으로 최적 생육온도를 조사한 결과, 증온성 세균은 40°C와 50°C에서, 고온성 세균의 경우는 50°C에서 대부분 최적의 생육을 보였다(Table 3과 4). 사상균의 경우 증온성은 30°C에서, 고온성은 50°C에서 최적의 생육을 나타내었다. 이 결과로 보아 세균은 고온 또는 증온에서 분리하더라도 양쪽의 온도에서 나타나는 균이 많은 반면,

Table 2. Microbial population in the cotton wastes fermented for 6 days

| Microorganisms | Fermentation temperature | Bacteria | | Fungi | | Actinomycetes | |
|----------------|--------------------------|------------------|---------|-----------|---------|---------------|---------|
| | | Anaerobic | Aerobic | Anaerobic | Aerobic | Anaerobic | Aerobic |
| Thermophilic | 40°C | 7.2 ^a | 8.4 | 0 | 1.8 | 5.7 | 7.9 |
| | 50°C | 6.6 | 8.5 | 2.1 | 2.6 | 6.2 | 8.5 |
| | 60°C | 6.5 | 8.6 | 0.7 | 0.7 | 5.1 | 8.2 |
| Mesophilic | 40°C | 7.5 | 7.7 | 2.9 | 3.5 | 2.1 | 2.9 |
| | 50°C | 7.3 | 7.3 | 2.0 | 1.3 | 0 | 0 |
| | 60°C | 7.8 | 7.4 | 1.3 | 1.5 | 0 | 0 |

^aLog no. of cfu/g dry weight.

Table 3. The percentage of bacterial isolates showing optimal growth at different temperatures

| Isolates | The percentage of bacterial isolates showing optimal growth | | | | |
|--------------|---|----|----|----|----|
| | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| Mesophilic | 6 | 14 | 37 | 38 | 4 |
| Thermophilic | 1 | 5 | 9 | 68 | 17 |

Table 4. The percentage of fungal isolates showing optimal growth at different temperatures

| Isolates | Optimal temperature (°C) | | | | | |
|--------------|--------------------------|----|----|----|----|----|
| | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| Mesophilic | 25 | 33 | 27 | 10 | 5 | 0 |
| Thermophilic | 0 | 0 | 3 | 0 | 36 | 62 |

Table 5. Mycelial growth rates (cm/10 days) of oyster mushroom in fermented substrates at the different temperatures and aeration flow rates

| Fermentation temperature (°C) | Mycelial growth at air flow rates (cc/min) | | | |
|-------------------------------|--|---------|----------|----------|
| | 0 | 50 | 100 | 300 |
| 40 | 8.1±0.1* | 9.6±0.1 | 9.3±0.2 | 9.7±0.2 |
| 50 | 7.3±0.9* | 9.2±0.1 | 10.9±0.3 | 10.7±0.2 |
| 60 | 0 | 7.3±0.7 | 8.3±0.3 | 7.4±0.4 |

*Mean of three values±standard deviation.

사상균은 중온(25°C)과 고온(55°C)에서 나타나는 균이 전혀 다르다는 것을 알 수가 있었다. 폐면 발효에 관여하는 세균에 대한 보고는 없으나 양송이버섯의 경우는 *Bacillus coagulans*, *Bacillus stearothermophilus*, *Bacillus subtilis* 등의 세균과 *Thermoactinomyces vulgaris*, *Thermomonospora* spp., *Actinobifida* spp., *Actinobifida chromogena* 등의 방선균이 우점하는 것으로 알려져 있다(Fermor et al., 1985). 앞으로 분리된 균의 동정 및 이들의 발효과정에서의 역할에 대한 연구가 필요하리라 생각된다.

발효가 완료된 배지에 느타리균을 접종한 후 25°C에서 10일간 배양한 다음, 균사생장길이를 측정된 결과, 균사생장 속도는 50°C에서 발효된 배지에서 가장 좋았으며, 통기량을 100 cc/min로 조절했을 때 최대였다(Table 5). 이와 같은 결과는 50°C에서 발효시 분해활성(CO₂ 발생)이 최대였고, 고온성 곰팡이의 밀도가 높았던 점에 미루어, 이 때의 조건이 미생물학적 측면에서 발효의 최적조건으로 판단되었다. 한편 40°C에서 발효할 경우에는 앞의 Table 2에서 나타난 바와 같이 중온성 곰팡이의 밀도가 높아 균사생장시 느타리버섯 균사와 영양요구적으로 경쟁할 우려가 있어 발효온도로서는 낮은 온도라고 할 수 있다. 이에 반해 60°C 이상에서 발효가 진행될 경우, 고온성 균의 발달이 저해되기 때문에 지나친 고온은 지양해야 한다. 혐기발효시는 pH가 낮고 암모니아태 질소가 상당히 높아 균사생육이 저해되었다고 판단된다.

적 요

느타리 재배시 배지발효 조건이 배지내 이화학성분 및 미생물상에 미치는 영향을 조사한 결과는 다음과 같다. 소형발효기에서 온도와 통기량을 조절하여 배지내 이화학성 및 미생물상 변화를 관찰하였다. 그 결과, 혐기 발효시 pH는 호기발효보다 상당히 낮았으나 암모니아태 질소는 높았다. 이산화탄소 발생량은 발효 6일째까지 큰 변화가 없었으나 암모니아는 발효 초기에 다량 발생후 3일째에는 거의 발생되지 않았다. 발효가 진행될수록 세균의 경우 중온성은 감소하고 고온성은 증가하였으나 사상균은 고온 및 중온 모두 감소하였으며, 혐기발효시 호기발효보다 고온성 세균, 사상균은 현저히 감소하였다. 발효온도 별 배지의 느타리균사 생장속도는 50°C에서 통기량을 100 cc/min에서 발효시킨 배지에서 가장 좋았다.

참고문헌

- 전창성, 신동훈, 박정식, 오세중. 2002. 벚지배지의 살균조건이 느타리버섯균의 균사생장에 미치는 영향. 한국균학회지 28: 103-108.
- 차동열, 유창현, 김광포. 1989. 최신편배재배기술. 상록사. 118-119.
- Barron, G. L. 1988. Microcolonies of bacteria as a nutrient source for lignicolous and other fungi. *Can. J. Bot.* 66: 2505-2510.
- Chaloux, N., Olivier, J. M. and Minvielle, N. 1991. Bench scale composting and wheat straw biodegradability. Pp. 207-214. In: Maher, M. J. Ed. Science and Cultivation of edible fungi. Ashgate Pub Co., Netherlands.
- Fermor, T. R. and Grant, W. D. 1985a. Degradation of fungal and actinomycete mycelia by *Agaricus bisporus*. *J. Gen. Microbiol.* 131: 1729-1734.
- _____, Randle, P. E. and Smith, J. F. 1985b. Compost as a substrate and its preparation. Pp. 81-109. In: The biology and technology of the cultivated mushroom. Eds. Spencer, D. M. and Wood, D. A. John Wiley & Sons Inc. UK.
- Miller, F. C. and Macauley, B. J. 1988. Odours arising from mushroom composting: A review. *Aust. J. Exp. Agric.* 28: 553-560.
- _____, and _____. 1989. Substrate usage and odours in mushroom composting. *Austr. J. Exp. Agric.* 29: 119-124.
- _____, Harper, E. R. and Macauley, B. J. 1989. Field examination of temperature and oxygen relationships in mushroom composting stacks-consideration of stack oxygenation based on utilisation and supply. *Austr. J. Exp. Agric.* 31: 415-425.
- Randle, P. and Flegg, P. B. 1978. Oxygen measurements in a mushroom compost stack. *Sci. Hortic.* 19: 315-323.
- Ross, P. C. and Harris, P. J. 1982. Some factors involved in phase II of mushroom compost. *Sci. Hortic.* 17: 61-70.
- _____, and _____. 1983a. An investigation into the selective nature of mushroom compost. *Sci. Hortic.* 19: 55-64.
- _____, and _____. 1983b. The significance of thermophilic fungi in mushroom compost preparation. *Sci. Hortic.* 20: 61-70.
- 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 the biomass to the nutrition of

- Agaricus bisporus*. *Soil Biol. Biochem.* **14**: 609-611.
- Stölzer, S. and Grabbe, K. 1991. Mechanisms of substrate selectivity in the cultivation of edible fungi. Pp. 141-146. *In*: Maher, M. J. Ed. Science and Cultivation of edible fungi. Ashgate Pub Co., Netherlands.
- Straatsma, G., Gerrits, J. P. G., Augustijn, M. P. A. M. Op den Camp, H. J. M., Vogels, G. D. and Van Griensven, L. J. L. D. 1991. Growth kinetics of *Agaricus bisporus* mycelium on solid substrate (mushroom compost). *J. Gen. Microbiol.* **137**: 1471-1477.
- _____, Samson, R. A. Olijnsma, T. W., Op den Camp, H. J. M., Gerrit, J. P. G. and Van Griensven, L. J. L. D. 1994. Ecology of Thermophilic fungi in mushroom compost, with emphasis on *Scytalidium thermophilum* and growth stimulation of *Agaricus bisporus* mycelium. *Appl. Environ. Microbiol.* **60**: 454-458.
- Walker, I. K. and Harrison, W. J. 1960. The self heating of wet wool. *N. Z. J. Agric. Res.* **3**: 861-895.