

육계분의 콤포스터 처리시 내부온도 조절이 생산물의 영양학적, 미생물학적 성상에 미치는 영향

곽완섭 · 김태규** · 김언현 · 김창원

건국대학교 동물자원연구센터, 자연과학대학 축산학과

Effect of Pile Temperature Control on Changes of Nutritional and Microbiological Parameters of Composted Poultry Waste*

Wansup Kwak, Taegy Kim**, Ounhyun Kim and Changwon Kim

College of Natural Sciences, Department of Animal Science,
and Animal Resources Research Center, Kon-Kuk University

Summary

In an attempt to recycle as feed or fertilizer, broiler litter containing rice hull was manually composted under the control of peak temperature of piles(uncontrolled or controlled below 70°C or below 60°C) in each of three 1.0 × 1.0 × 1.2m dimensional facilities. Changes of nutritional and microbiological parameters were evaluated throughout the 8 weeks of processing period. The initial content of crude protein(29.6%) decreased to 17.8% after 8 weeks of composting. The rapid nitrogen(N) loss observed in the early phase was attributed mainly to non-protein-N(NPN) loss. The initial content of ash(19.1%) increased to 26~29% after 8 weeks. For toxic heavy metals, Cr, Pb, and Hg contents of final composts were far less than the maximum tolerance levels allowed in food or compost. Bacterial growth was rather depressed until the second week, increased thereafter, and reached to peak(10¹²cfu level) at the 4th week of composting. With composting, actinomycetes were active at the level of 10⁷ to 10⁹. Fungi were active during the first to third week of composting.

In general, control of pile temperature below 70°C did not remarkably alter the nutritional and microbiological parameters of broiler litter compost, compared to that of pile temperature below 60°C. Further researches on prevention from the rapid loss of NPN in the early phase of composting are required for more effective recycling of broiler litter.

(Key words : Broiler litter, compost, nutrition, bacteria, actinomycetes, fungi)

*본 연구는 과학재단, 주식회사 한일, 건국대학교(1995년)의 연구비 지원으로 수행되었음.

**Hannah Research Institute, Scotland

서 론

축산폐기물로 인한 환경오염 문제는 축산업계의 당면 해결 과제이다. 축산폐기물은 산업폐기물과 달리 유기물 함량이 높고, 중금속에 의한 오염이 거의 없기 때문에 이의 비료 또는 사료로의 재이용 가능성이 매우 높고, 그 필요성 또한 어느 때보다도 절실한 시점에 와 있다. 특히 유기질 비료화를 위한 효율적인 퇴비화 (composting) 공법에 관해서는 요사이 전세계적으로 매우 활발하게 재조명되고 있다 (Bangar 등, 1988; Chaney, 1991; Diaz 등, 1993). 또한 이 공법은 ensiling, deepstacking 공법과 함께 축산폐기물의 사료화를 위해서 효과적으로 이용되어지는 공법들 중의 하나이다 (곽, 1990). 축산폐기물 중 육계분은 함수율이 상대적으로 낮아 취급이 매우 용이하며, 영양성 또한 뛰어나 영양자원화 하기에 매우 좋으며, 이때 이용되는 콤포스터 공법은 최종 생산물의 안정도를 높이고 동시에 함수율을 현저히 감소시키는 등의 장점을 가진다. 그러나 우리나라 육계분은 외국의 것과 비교해서 함수율이 매우 높아 콤포스터 처리시 성분 변화가 판이하게 다를 것으로 추정된다. 그리고 우리나라에서 콤포스터 처리되는 계분의 내부온도는 상당히 높은 편인데, 이 또한 콤포스터 효율에 영향을 미칠 수 있다.

향후 효율적인 육계분 콤포스터 공법 개량을 위한 기초 자료로 삼기 위하여 실시된 본 연구에서는 콤포스터 공법을 이용하여 육계분을 가공처리할 시 퇴적물 (compost)의 내부온도를 달리하였을 때의 공정 경과에 따른 영양학적, 미생물학적 성상의 변화를 추적하였다.

재료 및 방법

1. 일반적 사항

콤포스터 처리를 위한 시설물은 가로, 세로, 높이 각각 1m, 1m, 1.2m로 하여 베니아 판막이로 3기를 제작하였다. 베니아 판막이는 통기가

용이하도록 하였다. 육계분 처리에 있어서, 깔개로 왕겨를 이용하는 육계농장에서 당일 배출된 신선한 육계분을 저장 1일 후 3개 처리별로 나누어 작업하였다. 처리 A는 pile 내부온도를 조절하지 않았고, 처리 B는 내부온도를 70℃ 이하로 유지하였으며, 처리 C는 60℃ 이하로 유지하였다. 처리별 온도 조절은 수작업을 통한 교반작용으로 실시하였다. 각 pile의 총 중량은 450kg으로 동일하게 맞추어 위 시설물내에서 8주간 콤포스터 처리를 실시하였다. Thermocouples 설치 등 그 외의 구체적인 실험사항은 곽 등 (1994)에서와 동일하였다.

2. 시료 채취 및 분석

각 처리별로 공정이 진행됨에 따라 0일, 3일, 1주, 2주, 3주, 4주, 5주, 6주, 8주가 되는 시점에 시료를 채취하여 pH를 측정하고, 나머지는 화학 분석을 위하여 -20℃에서 냉동 보관하였다.

화학분석시 시료의 건물은 60℃ dry oven에서 48시간 건조하여 구하였으며, total Kjeldahl nitrogen은 AOAC(1990) 방법에 따라 습시료를 분석하여 건물기준으로 보정해 주었다. Non-protein N(NPN)은 10% trichloroacetic acid 용액에 용해되는 양으로 구하였다. Total organic carbon은 % carbon = (100 - % ash)/1.8 공식 (University of California at Berkeley, 1953)에 따라 구하였다. ash 함량은 muffle furnace에서 3시간 동안, 600℃에서 태워 구하였다.

3. 미생물 분석

위에 열거한 공정 시점에서 채취한 각각의 시료는 5℃의 냉장고에 보관한 후 24시간 이내에 미생물 분석을 행하였다.

0.1% Tween 80이 포함 멸균된 생리식염수 9ml에 시료 1g를 넣고서 3시간 동안 흔들면서 미생물을 혼탁 추출한 후 serial dilution 방법으로 희석하였다. 희석액은 각각의 배지에 도말하

여 배양한 후 각 colony 수를 측정하여 균수를 계수하였다. 총 세균수는 LB(Luria Bertani) 배지 (tryptone 1%, yeast extract 0.5%, NaCl 1%, agar 1.5%)를 멸균한 후 membrane filtering하여 cycloheximide(0.2g/15ml distilled water)를 주입하여 37℃에서 48시간 배양한 후 측정하였다. 총 방선균수는 Bennet agar 배지(yeast extract 0.1%, beef extract 0.1%, N-Z amine type A 0.2%, glucose 1%, agar 1.5%)를 멸균한 후 membrane filtering하여 cycloheximide(0.2g/15ml distilled water)와 nalidixic acid(0.16g/15ml chloroform)를 주입하여 30℃에서 7일간 배양하여 측정하였다. 총 fungi수를 측정하기 위해서 potato dextrose agar 배지(potatoes 20%, glucose 2%, agar 1.5%)에 타균의 증식을 막을 목적으로 ethanol에 녹인 tetracyclin(0.1g/10ml ethanol)를 혼합하여 28℃에서 72시간 배양하여 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 영양학적 성상 변화

가. 단백질 성상 변화

처리별 내부온도 조절에 따른 CP 함량의 변화(Fig. 1)는 큰 차이를 보이지 않았으나, 공정 초기의 내부 peak 온도가 60℃ 이하로 유지된

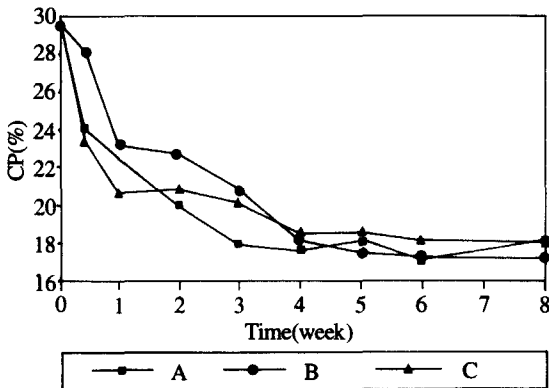


Fig. 1. Changes of crude protein contents(% of DM) of composts on different treatments.

pile C에서의 급속한 CP 손실율은 빈번한 교반으로 인한 NPN, 특히 $\text{NH}_3\text{-N}$ 증발에 기인한 것으로 판단된다. 콤포스터의 crude protein(CP) 함량은 공정 개시시 29.6%였으나 공정 초기 1주일 간에 걸쳐 급속히 감소하였고(20.6~23.2% CP까지), 이후 지속적인 감소와 함께 8주 경과시 콤포스터의 CP 함량은 17.2~18.1%로 이 때의 손실율은 최초 CP 함량의 약 40% 정도였다(Fig. 1). 다른 보고(Overcash, 1983)에서도 콤포스터 처리 공정에 따른 축산폐기물의 N 손실율은 0~70%의 넓은 범위를 나타내었다.

콤포스터의 NPN 함량의 변화 또한 CP 함량 변화와 비슷한 quadratic 곡선을 보여주었다(Fig. 2). 공정 개시후 1주일 동안의 CP 손실량 중 NPN의 손실량이 전체의 76.1%를 차지하였다. 이것은 공정 초기의 CP 손실은 protein-N 보다는 NPN의 손실이 주 요인임을 증명한다(Fig. 2, 3). P의 일종인 urea-N은 공정 5일 이내에 모두 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 으로 전환되어 버린다(Bangar 등, 1988). 공정 초기의 뒤집기 작업시에 콤포스터의 암모니아취가 심했던 것으로 보아 NPN의 손실은 주로 암모니아의 형태로 발생하는 것으로 사료된다. 공정이 경과함에 따라 최초 1주일 동안 콤포스터의 NPN 함량은 급속히 감소되다가 이 후부터 8주 경과시까지의 변화의 폭이 매우 적었다. True protein의 함량은 공정 개시후부터 4~6주 경과시까지 지속적인 감소 양상을 보였으며(Fig. 3), 유사한 실험(Martin과 Loehr, 1983)에서 호기성발효 처리된 난계분의 아미노산 함량은 공정과 더불어 현저한 감소를 보였다. 본 연구에서는 8주간의 콤포스터 처리 공정을 통하여 CP 함량이 11.5~12.4%(avg. 11.8%)로 감소하였으며, 이 중에서 NPN으로의 손실이 6.5~6.8%(avg. 6.7%)정도로 전체 손실의 약 56%, protein-N으로의 손실이 4.7~5.9%(avg. 5.2%) 정도로 전체 손실의 약 44% 정도를 차지하였다. $\text{NH}_3\text{-N}$ 증발로 인한 N 손실율은 높은 pH와 고온에 의해서 더욱 촉진되는 것으로 알려져 있다(Diaz 등, 1993).

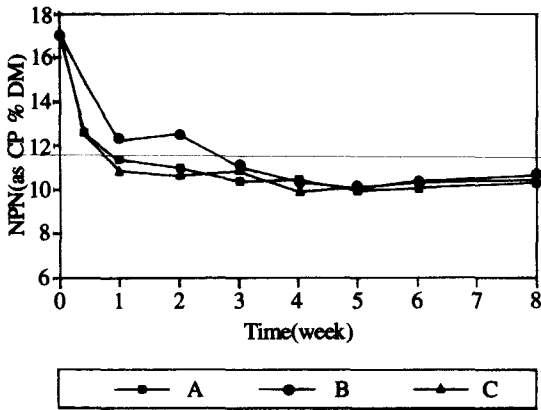


Fig. 2. Changes of non-protein-N contents (as CP % of DM) of composts on different treatments.

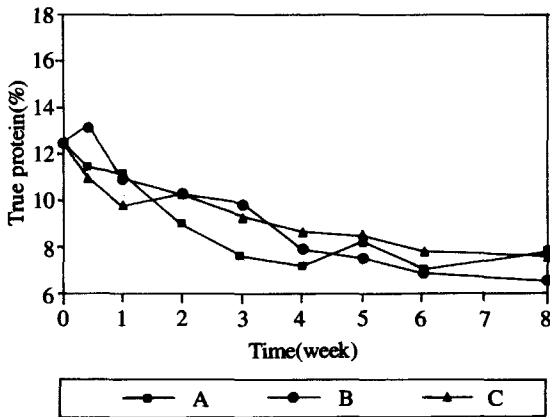


Fig. 3. Changes of true protein(% of DM) of composts on different treatments.

콤포스터 처리의 전체 과정을 통하여 콤포스터의 CP 성분중 NPN-N : protein-N의 성분 비율 (%)의 변화는 매우 낮았으며(Fig. 4), 8주 경과시의 콤포스터의 NPN : protein-N 비율은 57:43~62:38의 범위에 있었으며 평균 비율은 59:41 이었고 이 수치는 공정 개시시의 비율(58:42)과 비교해 별 차이가 없었다.

이와 같이 콤포스터 처리 공정에 필연적으로 발생되는 CP 함량의 상당한 손실, 특히 공정 초기의 손실을 사전에 방지하기 위해 공정 개시전

에 암모니아를 포착 결합하는 화학제 또는 pH 하강제의 혼합 (McCaskey와 Martin, 1988, Bangar 등, 1988) 및 에너지원(탄소원)의 보충 (Cathcart 등, 1986) 등의 조치가 요구된다.

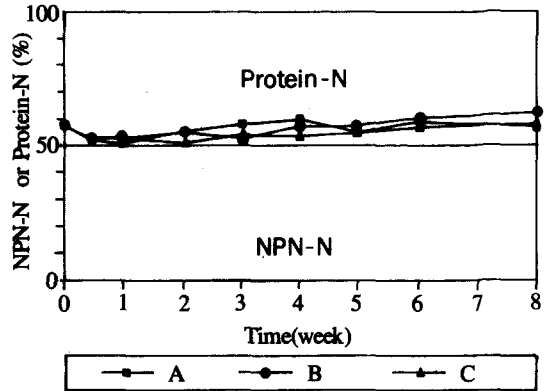


Fig. 4. Changes of ratios of non-protein-N and protein-N in composts N on different treatments.

나. Ash 성분 변화 및 중금속 함량

콤포스터의 ash 성분은 공정 개시시 19.1%였는데, 콤포스터 처리와 더불어 지속적으로 증가하다가 공정 8주 경과시에는 26~29% 정도의 수준을 보여 주었다(Fig. 5). Ash 성분은 주당 평균 약 1% 정도로 증가한 셈인데 ash 성분의 증가는 공정중 미생물 발효로 인한 유기물의 상대적 손실 때문이었다. 우분을 7주간 콤포스터 처리를 하였을 때, ash 함량은 최초 9%에서 13%로 증가하였다(Tarre 등, 1987). 본 실험에서 8주간의 전체 공정을 통하여 처리된 pile B의 ash 함량이 상대적으로 높은 이유는 정확히 밝혀지지 않으나 흙의 오염이 주요인일 수 있다. Toth(1973)는 계분 콤포스터의 산불용성 광물질(acid-insoluble ash)의 함량은 건물의 5.7%였다고 보고 하였다.

최종 콤포스터의 중금속 함량은 Cr 7.3~7.4 ppm, Pb 1.9~2.7 ppm, Hg 14.1~16.0 ppb의 수준을 보였다. 식품에서의 Pb와 Hg의 최대잔류허용량이 각각 30 ppm과 2 ppm이라고 제시한 NRC

(1988) 수치 또는 슬러지 퇴비 중에서의 Cr, Pb, Hg의 무영향수준(No Observed Adverse Effect Level)이 각각 3,000 ppm, Pb 300 ppm, Hg 20 ppm이라고 제안한 Chaney(1991)의 수치와 비교해 보면, 본 연구에서 생산된 콤포스터의 중금속 분석치는 매우 안전한 수준에 속하였다.

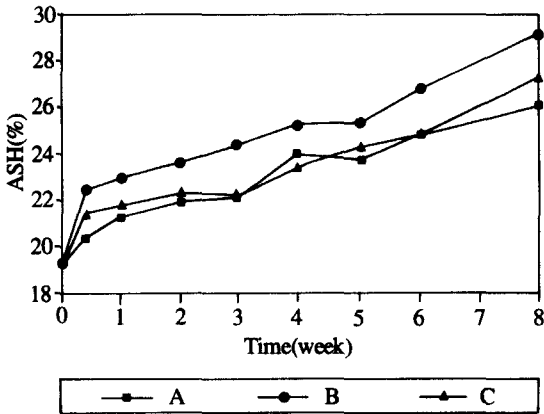


Fig. 5. Changes of ash contents(% of DM) of composts on different treatments.

2. 미생물학적 성상 변화

공정의 시간경과에 따른 총 세균수의 변화는 Fig. 6에 제시되어져 있다. 처리별 내부온도 조절에 의한 총세균수의 일정한 변화는 관찰되지 않았다. 공정 개시시 $10^9 \sim 10^{10}$ cfu 수준이던 총세균수는 공정 3일째에 일률적으로 감소(평균 3.4×10^8 cfu 수준)하다가 공정 2주 후부터 급속히 증가하여 4주 경과시에 peak(10^{12} cfu 수준)에 도달하였다. 이후 5~8주 경과시까지의 변화의 폭이 작았고 일률적으로 10^{11} cfu 수준에 머물렀다. 본 실험에서의 $10^9 \sim 10^{12}$ cfu 범위의 총세균수는 다른 연구자들이(Falcon 등, 1987; Mandelbaum 등, 1988) 발표한 $10^6 \sim 10^7$ cfu(계분, 우분 콤포스터의 경우) 수준보다 훨씬 높은 수치였다. 호열성 세균은 pile의 온도가 50~70℃ 범위일 때 최적의 성장율을 보인다(Taiganides, 1977). 이러한 호열성 세균은 단백질, 지질, 비구조성 탄수화물들을 잘 분해시키나, 구조성 탄수

화물은 잘 분해시키지 못한다(Forsyth와 Webley, 1948). Diaz 등(1993)은 내부온도가 65~71℃ 수준일 때 포아형성세균은 포아를 형성하여 휴식단계에 들어가기 때문에 콤포스터의 분해율이 저조해지게 되며, 이 때 포아를 형성하지 못하는 세균들은 성장이 억제되거나 사멸하게 된다고 보고하면서 최고온도는 65℃ 정도가 적절하다고 하였다. 본 연구에서 pile의 내부온도 조절이 총세균수에 영향을 미치지 않았던 것으로 보아, 공정 2주까지의 억제된 세균 증식은 높은 암모니아 생성량과 연관되는 것으로 추정된다.

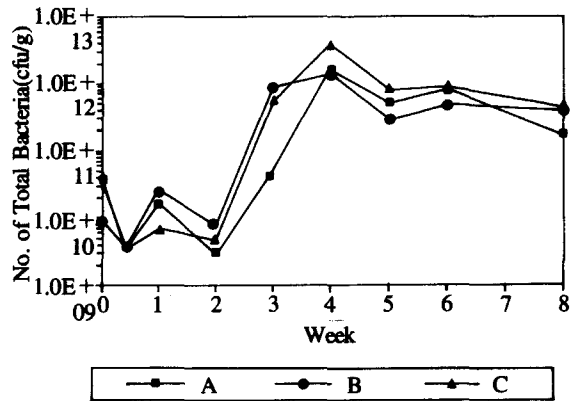


Fig. 6. Changes of the total counts of bacteria in composts on different treatments.

총 actinomycetes수는 공정 3일 경과시 최저치 (10^7 cfu 수준)에 달한 다음, 이후 4주 경과시에 일률적으로 10^8 cfu 수준으로 peak에 달하였고, 이후 서서히 감소하여 8주 경과시까지 대체로 10^8 cfu 수준에 머물렀다(Fig. 7). Actinomycetes는 72℃의 pile 온도에서도 잘 자라며, 고온에서 우세한 균에 속하고(Chang과 Hudson, 1967), hemicellulose 뿐만 아니라 cellulose도 분해하는 것으로 알려져 있다(Stutzenberger, 1971). 본 실험에서도 공정 초기의 고온에서 이 균의 활동성이 양호한 것으로 나타났다.

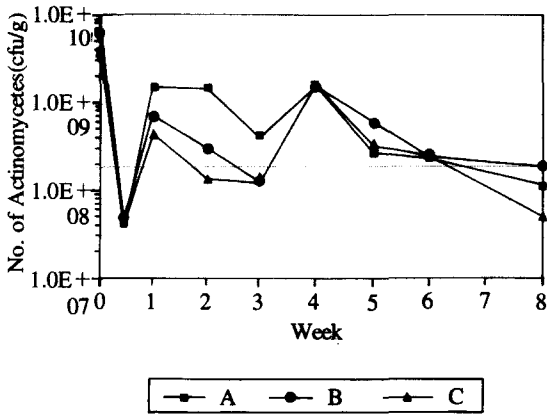


Fig. 7. Changes of the total counts of actinomycetes in composts on different treatments.

총 fungi수는 공정 초기에는 관찰되지 않았으나 1주 경과시 평균적으로 peak($10^4 \sim 10^5$ cfu 수준)에 달한 다음, 3주 경과시까지 10^4 cfu 수준으로 서식하는 것으로 관찰되다가 4주 후부터는 전혀 관찰되지 않았다(Fig. 8). 본 실험에서의 $10^4 \sim 10^5$ cfu 범위의 fungi수는 다른 연구자들이 (Falcon 등, 1987; Mandelbaum 등, 1988) 발표한 $10^2 \sim 10^3$ cfu(계분, 우분 콤포스터의 경우) 수준 보

다 훨씬 높은 수치이다. 일반적으로 fungi는 cellulose, hemicellulose 분해에 중요한 역할을 하며, 열에 약하여 60°C 이상에서는 사멸되는 것으로 알려져 있으나(Merkel, 1981), 본 연구에서는 $60 \sim 70^\circ\text{C}$ 수준의 내부온도에서도 fungi의 활동이 왕성한 것으로 나타났으나 이 결과 수치는 계속되는 연구에서 지속적 검정을 요할 것으로 사료된다.

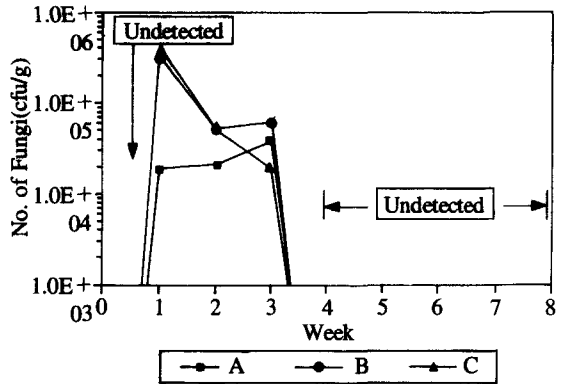


Fig. 8. Changes of the total counts of fungi in composts on different treatments.

3. 육계분 콤포스터의 종합적 성상 비교

Table 1. Comparison of characteristics of composts in this study and ideal compost

| | Composts in this study | Ideal compost |
|----------------------|------------------------|----------------------------------|
| Final color | brown | dark brown to black ^a |
| Final odour | slightly musty | slightly musty ^a |
| Moisture, initial, % | 55.4 | 40 ~ 60 ^b |
| final, % | 26 ~ 27 | 10 ~ 20 ^a |
| pH, initial | 8.5 | 6.5 ~ 7.2 ^c |
| final | 9.0 ~ 9.1 | 5.5 ~ 6.5 ^a |
| C/N ratio, initial | 9.5 | 20 ~ 25 ^d |
| final | 14.0 ~ 14.3 | 12 ~ 20 ^e |
| Final total N, % | 2.8 ~ 2.9 | 2.5 ~ 3.5 ^a |
| Final ash, % | 26 ~ 29 | 10 ~ 20 ^a |

^a Toth(1973).

^b Taiganides(1977).

^c Sweeten(1988).

^d Diaz 등(1993).

^e Merkel(1981).

육계분의 비료화 또는 사료화를 위해서는 최종 콤포스터의 안정성은 필수적으로 요구된다. 본 실험에서 생산된 육계분 콤포스터의 성장과 이상적인 콤포스터의 성장들이 Table 1에 비교·제시되어져 있다. 일반적으로 이상적인 성장을 모두 갖추고 있는 단일 콤포스터는 찾기 힘들다. 본 실험에서 이용된 육계분의 최소 함수율과 콤포스터의 최종 색깔, 냄새 및 최종 N 함량은 이상적인 조건들과 일치하였다. 그러나 이상적이지 못한 성장들을 지적한다면, 최종 함수율, 최초·최종 pH와 C/N ratio 그리고 최종 ash 함량 등을 들 수 있었다. 최종 함수율은 26~27% 정도로 유기질 비료로는 적합하나 사료화를 위해서는 최소 14% 이하(배합사료 기준)로 줄어들어야 한다. 비이상적인 pH와 C/N ratio는 육계분의 높은 N 함량에 기인하는 바, 최소한의 탄소원을 보충해 주면서 pH 조절제를 첨가하는 것이 도움이 될 것으로 사료되며, 육계분 콤포스터의 ash 함량은 높은 편이며 특히 사료화시 최소화 노력의 일환으로 흙에 의한 오염을 사전 예방함이 바람직할 것이다.

적 요

왕겨를 함유하는 육계분을 사료 또는 비료로 재이용할 목적으로 1.0×1.0×1.2m 크기의 구조물내에서 pile의 내부최고온도를 교반작업을 통하여 조절(처리 A=무제한, 처리 B=70℃ 이하, 처리 C=60℃ 이하)하면서 8주 동안 콤포스터 처리를 하였을 때 공정기간에 걸친 영양학적, 미생물학적 성장 변화를 고찰하였다. 공정 개시시 29.6%였던 CP 함량은 8주 경과시 평균 17.8%로 낮아졌고, 공정 초기의 심한 N 손실은 NPN-N의 손실에 기인하였다. 공정 개시시 19.1%였던 콤포스터의 ash 함량은 8주 경과시 26~29% 수준으로 증가하였고, 이때 중금속의 함량은 Cr 7.3~7.4 ppm, Pb 1.9~2.7 ppm, Hg 14.1~16.0 ppb로 식품이나 퇴비내에서의 한계허용치보다 훨씬 낮은 수준을 보였다. 공정 개시시 10⁹~10¹⁰cfu 수준이던 총세균수는 4주 경과시에

peak(10¹⁰cfu 수준)에 도달하였다. 총 actinomycetes(방선균)수는 4주 경과시에 10⁹cfu 수준이었으나 이 후부터 서서히 감소하였다. 총 fungi수는 처리 1주에서 3주 사이에 10⁴~10⁶cfu 수준을 보이다가 4주째부터는 감지되지 않았다. 전반적으로 육계분 콤포스터 처리시 pile의 내부 peak 온도가 70℃ 이내로 조절하였을 때도 60℃ 이내로 조절하였을 때와 비교해서 콤포스터의 영양학적, 미생물학적 성장 변화상의 뚜렷한 차이는 없었다. 결론적으로 본 시험에서 분석된 영양학적, 미생물학적 성장들의 변화를 고려해 볼 때, 육계분 콤포스터는 공정 개시 후 5~6주 경과시에 안정기에 접어들었으며, 특히 육계분의 보다 효율적인 콤포스터 처리를 위해서는 공정 초기의 상당한 NH₃-N 손실을 사전 예방해 주는 방안이 병행되어야 할 것으로 사료되었다.

감사의 글

본 연구에서 미생물 분석을 측면 지원해 준 건국대학교 축산대학 낙농학과 양시용 박사과 정생에게 감사를 표합니다.

인 용 문 헌

1. Association of Official Agricultural Chemists. 1985. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th ed. Washington, D. C.
2. Bangar, K. C., K. K. Kapoor, and M. M. Mishra. 1988. Effect of pyrite on conservation of nitrogen during composting. Biological Wastes 26:227-231.
3. Cathcart, T. P., F. W. Wheaton, and R. B. Brinsfield. 1986. Optimizing variables affecting composting of blue crab scrap. Agricultural Wastes 15:269-287.
4. Chaney, R. L. 1991. Land application of composted municipal solid waste: public

- health, safety, and environmental issues. In proceedings of the Solid Waste Composting Council 1991 National Conference, pp. 61-83. Solid Waste Composting Council, Arlington, VA.
5. Chang, Y. and H. J. Hudson. 1967. The fungi of wheat straw compost. I. Ecological studies. Trans. Br. Mycol. Soc. 50(4):649-666.
 6. Diaz, L. F., G. M. Savage, L. L. Eggerth, and C. G. Golueke. 1993. Composting and Recycling Municipal Solid Waste. Lewis Publishers, Boca Raton, Fa.
 7. Falcon, M. A., E. Corominas, M. L. Perez, and F. Perestelo. 1987. Aerobic bacterial populations and environmental factors involved in the composting of agricultural and forest wastes of the canary islands. Biological Wastes 89-99.
 8. Forsyth, W. G. C. and D. M. Webley. 1948. The microbiology of composting. II. A study of the aerobic thermophilic bacteria flora developing in grass compost. Proc. Soc. Appl. Bacteriol. 3:34-39.
 9. Mandelbaum, R., Y. Hadar, and Y. Chen. 1988. Composting of agricultural wastes for their use as container media: effect of heat treatments on suppression of *Pythium aphanidermatum* and microbial activities in substrates containing compost. Biological Wastes 26:261-274.
 10. Martin, J. H. and R. C. Loehr. 1983. Enhancement of laying-hen manure as a feedstuff by aerobic stabilization. Agricultural Wastes 8:27-49.
 11. McCaskey, T. A. and J. B. Martin, Jr. 1988. Evaluation of a process for improved quality and microbial safety of broiler litter. Biological Wastes 26:209-218.
 12. Merkel, J. A. 1981. Managing Livestock Wastes. AVI Publishing Company, INC., Westport, Ct.
 13. National Research Council. 1988. Nutrient Requirements of Dairy Cattle (6th rev. Ed.). National Academy Press, Washington, D. C.
 14. Overcash, M. R. 1983. Livestock Waste Management. Volume II. CRC Press., Inc. Boca Raton, Florida.
 15. Stutzenberger, F. J. 1971. Cellulose production by *Thermomonospora curvata* isolated from municipal solid waste compost. Appl. Microbiol. 22(2):147-152.
 16. Sweeten, J. M. 1988. Composting manure and sludge. In: Proc. Nat. Poult. Waste Manage. Symp. pp. 38-44. The Ohio State Univ., Columbus.
 17. Taiganides, E. P. 1977. composting of feedlot wastes. In: Animal Wastes. pp. 241-251. Applied Science Publishers LTD, London.
 18. Tarre, S., M. Raviv, and G. Shelef. 1987. Composting of fibrous solids from cow manure and anaerobically digested manure. Biological Wastes 19:299-308.
 19. Toth, S. J. 1973. Composting agricultural and industrial organic wastes. In: Symposium on Processing Agricultural and Municipal Wastes (ed. G. E. Inglett), pp. 172-182. AVI Publishing Co., Westport, Conn.
 20. University of California at Berkeley. 1953. Reclamation of municipal refuse by composting. Tech. Bull. No. 9, Sanitary Engineering Research Project.
 21. 곽완섭. 1990. 육계분의 반추가축사료로의 재활용 I. 영양적 가치와 가공처리 방법. 한국영양사료학회지 14(6):255-261.
 22. 곽완섭, 김태규, 김창원. 1994. 계분의 콤포스터 처리시 내부온도 조절이 생산물의 물리·화학적 성상에 미치는 영향. 한국유기성 폐기물자원화협회학회지 2(2):39-51.