ORIGINAL PAPER 원저

고품질의 돈분 퇴비를 위한 합리적인 퇴비화 조건 개발

장기운, 유영석, 민경훈*

충남대학교 농화학과, 세미니스코리아*

(2002년 12월 18일 접수, 2002년 12월 26일 채택)

Development of the Optimal Composting Condition for the High Quality of Pig manure compost

Ki-Woon Chang, Young-Seok Yu, Kyoung-Hoon Min*

Dept. of Agricultural Chemistry, Chungnam National University, 220, Yousung-ku, Daejeon, 305-764, Korea

Seminis korea, Nursery Research Center, Kim-je, Jeon-buk, 576-350*

Abstract

This study was conducted to induce the optimal composting conditions of pig manure mixed with sawdust and dried paper-mill sludge in the composting for production of high quality compost. Pig manure contains high water content and low C/N ratio because of comparatively high nitrogen content than sawdust and dried paper-mill sludge. Therefore the addition of dried paper-mill sludge and sawdust to the raw materials helps controlling the C/N and the water content of compost pile. The composting system used in the experiment was agitated static bed system. The physical properties of the mixed raw materials was not good at the working conditions in the early stage of composting.

The temperature of compost heap reaches at 60℃ within 5 day after starting composting in P-2 treatment mixed with pig manure and sawdust(56.6 : 43.4). Then the water content of P-2 was 58%. The pH in all treatments were slowly decreased as the composting was proceeded. Although the changes of T-C and T-N were not extended because of the short composting experiment period. Reduction rates of T-C in treatments were 5~12% without special difference.

By considering the efficiency of composting in each of five treatments with pig manure the optimal water contents was about 57% level. Mixing a sawdust as a bulking agent was more positive than dried paper-mill sludge from a viewpoint of compost quality.

Key Words : Dried paper-mill sludge, Pig manure, Compost, Maturity

초 록

본 연구는 고품질의 퇴비 생산을 목적으로 건조된 제지슬러지와 톱밥을 돈분에 혼합하여 합리적인 퇴비화 조건을 도출하기 위해 실행되었다.

돈분은 톱밥과 건조 제지슬러지보다 비교적 높은 질소함량으로 인한 낮은 C/N율과 과다한 함수율이 특징이다. 그러므로 건조 제지슬러지와 톱밥을 첨가하여 퇴비더미의 C/N율과 수분함량을 조절하였으며, 퇴비화 방식은 교반 정체식을 이용하였다.

퇴비화 초기 혼합된 퇴비더미의 물리적 특성 때문에 작업성이 용이하지 않았으나 곧 회복되었다. 돈분과 톱밥을

혼합한 P-2 처리구(56.6 : 43.4)는 퇴비화 시작 후 5일 이내에 퇴비더미의 온도가 60℃에 도달했으며, 그 때 P-2의 수분함량은 58%이었다. 모든 처리구의 pH는 퇴비화 진행과정에서 미약하게 감소하였다. 짧은 퇴비화 기간 때문에 T-C와 T-N의 변화는 크지 않았지만, T-C의 감소율은 5~12% 범위였다.

5개의 돈분 처리구에서 합리적인 퇴비화 조건을 고려하면 최적의 수분함량은 57%이었고 팽화제로써 톱밥을 사용하는 것이 건조 제지슬러지를 처리하는 것보다 퇴비의 품질면에서 우수하였다.

핵심용어 : 건조 제지슬러지, 돈분, 퇴비, 완숙

1. 서 론

우분, 돈분, 계분 등은 퇴비화, 건조화, 단순퇴적 등 다양한 방법에 의해 재활용되고 있다. 부숙 과정을 생략하고 토양에 시용할 경우 미부숙에 의한 암모니아 가스 발생, 뿌리 저해, 생육 부진 등의 문제가 빈번하게 발생되었다.[1] 퇴비화는 유기성폐자원을 안정화하고 재활용할 수 있는 중요한 방법중의 하나로 인식되어 왔다.[2] 퇴비화 과정에서 퇴비의 품질과 부숙도에 영향을 미치는 중요한 인자인 원료의 수분함량, 공기공급량, C/N율, 적당한 퇴비화 더미 등의 다양한 검토가 이루어져 왔다.[3] 과다한 수분은 퇴비더미에 필요한 산소 공급을 차단해 퇴비더미를 혐기 상태로 전환시켜 부숙의 지연을 초래하였다. 과도한 수분을 제어할 목적으로 톱밥과 같은 공극개선제를 사용하여 공극을 확보하는 것이 필요하며,[4] 파쇄 나무 조각, 건조 제지슬러지, 왕겨 등이 최근에 많이 이용되고 있다. 퇴비의 품질은 토양에 시용되었을 경우 물리성과 화학성의 개량 측면에서 평가되며, 퇴비화 과정 중 부숙정도와 함유된 비료성분이 평가된다. 고품질일수록 퇴비에서 발생하는 악취 및 유해성분함량이 낮으며, 병원성 미생물이 사멸되고 영양학적인 측면에서 다량원소와 미량원소가 풍부하다.

본 연구는 돈분에 톱밥과 건조 제지슬러지를 일정비율로 혼합하여 초기 수분함량의 최적 수준과 퇴비화 초기의 이화학성 변화를 조사하여 고품질의 퇴비생산을 위한 합리적인 퇴비화 조건을 설정하는데 있다.

2. 재료 및 방법

2.1 원료

돈분은 질소함량이 높아 비교적 C/N율이 낮은 편이지만 cellulose나 lignin을 다량 함유한 톱밥은 높은 C/N율을 갖는다. 돈분의 수분함량은 축사의 시설에 관련되어 생각할 수 있으며, 단독으로 퇴비화 하기에는 수분이 과다하고 C/N율이 낮기 때문에 수분함량이 적고 C/N율이 높은 물질을 적절히 혼합하면 양질의 퇴비생산이 가능하다. 본 실험에 사용한 원료의 특성은 (Table 1)과 같다.

2.2 방법

2.2.1 처리구 설정

돈분의 수분함량은 65~70%이었으며, 톱밥과 건조 제지슬러지는 각각 34%와 24%이었다. 혼합물질의 함수율 차이가 생기도록 원료의 혼합비율을 조절하여 5개의 처리구를 두었으며, 가급적 톱밥의 혼합비율에 심도를 기울였다(Table 2).

(Table 1) Chemical properties of raw materials used in composting

Materials	pH (1:5)	T-N	T-C	C/N Ratio	K	Ca	Mg	Na	Al
		g kg^{-1}			g kg^{-1}				
Pig manure	6.49	25.0	416	16.4	12.9	61.0	10.2	4.0	3.4
Chicken manure	5.73	35.0	352	10.0	13.7	32.3	10.7	5.7	6.2
Sawdust	4.92	2.0	500	250	1.4	8.0	4.0	0.3	1.0
Dried paper mill sludge	7.08	10.8	254	23.5	1.5	1.5	21.8	0.6	3.1

[Table 2] Water contents and mixing ratios of pig manure and bulking agents (Unit : %, D.W.)

Materials	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5
Pig manure	65.3	56.6	70.9	34.3	63.3
Sawdust	34.7	43.4	29.1	-	21.1
Dried paper mill sludge	-	-	-	65.7	15.6
Water contents	65	59	57.8	50	53
C/N ratios	17.0	20.4	14.6	12.2	13.5

2.2.2 퇴비화

혼합비율별로 축분과 부재료의 $5m^3$ 규모의 발효조에 투입은 기계식 벨트에 의해 호퍼에서 떨어진 혼합물질의 이동으로 실행되었다. 발효조는 Rectangular agitated bed system으로 이루어졌으며, 공기 공급 및 물질의 균질성을 높일 수 있도록 퇴비화기간 동안 1일 1회 뒤집기를 실시하였다. 송풍기를 이용하여 매일 30분씩 강제송풍을 하였다.

2.2.3 퇴비의 이화학성 측정

시료채취는 퇴비화를 시작한 날을 0일로 설정하여 0, 4, 8, 12, 16일째 등 총 5회에 걸쳐 실시하였으며, 퇴비더미 30~35cm 깊이에서 골고루 채취한 시료는 직사광선이 차단된 공간에서 풍건한 다음 2mm 체에 통과시켜 분석에 이용하였다.

퇴비더미의 온도분포를 살펴보기 위해 퇴비화 동안 퇴비더미를 상(5~15cm), 중(35~45cm), 하(60~70cm)로 구분하여 스텐레스 온도계를 이용하여 측정한 후, 평균값을 제시하였다. pH는 시료와 증류수를 1 : 5(w/v)로 혼합하여 pH meter로 측정하였다. T-C는 회화법을 이용하였으며, T-N은 kjeldahl법으로 분석하였다. 색도는 색도계(MINOLTA CR-300)를 이용하여 Y값을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 혼합물질의 작업성

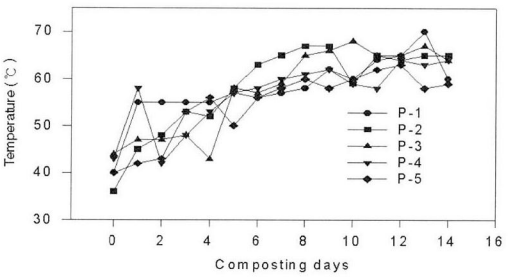
퇴비의 주원료로 이용되는 축분은 축사의 시설이나 형태에 따라서 작업성의 차이가 발생된다. 돈분의 경우 스크랩퍼 방식으로 수거되었기 때문에 미세한 입자가 적어 작업성에 긍정적인 영향을 미쳤으며, 부재료로 사용된 톱밥과 건조 제지슬러지도 마찬가지로 입자가 비교적 크기 때문에 양호한 작업성을 보였다.

5개의 처리구 중 P-2가 양호한 물리성을 가질 것으로 판단되었으나, 5개 처리구 모두 원료 투입시와 발효조내에서 이송되지 않는 문제가 발생되었다. 그러나 퇴비화 4일 이후 급격한 수분 저하로 문제가 해결되었다. 부재료로 건조 제지슬러지를 사용하였을 경우 혼합물의 혼합비율이 주재료보다 높고 수분흡수 후 입자의 파쇄와 풀어짐에 의해 혼합물질의 물리성이 오히려 악화되는 결과를 보였다. 그러나 톱밥과 건조 제지슬러지를 1 : 1로 혼합하여 부재료로 사용했을 때는 문제점이 약간 개선되었다.

3.2 퇴비화 과정중 이화학적 특성 변화

3.2.1 온도

온도변화는 [Fig. 1]과 같다. P-2는 5일째, P-3는 6일째, P-4는 7일째, 그리고 P-1과 P-5는 8일째 퇴비더미의 중심온도가 60℃까지 상승하였다. 퇴비화 초기에 퇴적물의 중심온도가 60℃까지 상승하는데 소요되는 시일은 퇴비원료의 초기 상태와 밀접한 연관성이 있으며, 퇴비화 초기 온도 상승은 외부의 온도[6]와 퇴비더미의 공극량[3]과 상관관계가 높다고 알려져 있다.



[Fig. 1] Changes of temperature in pig manure mixed with sawdust and dried paper-mill sludge during the composting

퇴비화 초기부터 온도가 꾸준히 상승하여 대부분 60℃ 이상을 유지하는 것은 지속적인 분해과정이 진행되고 있음을 보여주는 결과이다. 처리구에서 톱밥과 건조 제지슬러지 혼합에 따른 수분함량 차이로 초기 퇴비화의 온도상승에 영향을 미쳤지만, 퇴비더미의 안정과 미생물의 활성으로 인해 그 후의 온도변화에 큰 영향을 주지 못하였다.

3.2.2 수분

돈분 퇴비더미의 수분함량과 60℃까지 상승하는데 걸리는 시간과의 상관관계에서 합리적인 수분함량은 57%로 제시되었다(Fig. 2). 이는 임 등[5]에 의해 돈분 퇴비화에서 최적의 수분조건은 60%이고 C/N율이 37.5라고 제시한 수치와 비슷한 수준이었다.

퇴비더미의 적정 수분에서 5%이상 낮거나 높게 되면 퇴비화 초기에 온도의 상승력이 감소되고 일정한 온도에 도달하는 시간이 지연됨에 따라 전반적인 퇴비화 효율을 감소시킬 수 있다.

3.2.3 pH

초기 pH는 원료의 혼합비율에 따라 다른 결과를 보였으며, 퇴비화가 진행될수록 낮아져 중성으로 근접하는 경향을 보였다(Fig. 3). 특히, 돈분 함량이 많고 수분함량이 가장 합리적인 수준의 P-3구에서 pH의 변화가 심하였다.

pH의 감소는 acetic acid, N-butylic acid, propionic acid 등과 같은 휘발성 유기산의 생성에 의하여 일어나며,[7] 상승은 NH_4^+-N[8]와 NO_3^--N의 증가와 퇴비화 기간과 상관관계가 크다고 하였다.[7] 원료에서 돈분과 건조 제지슬러지의 pH가 높기 때문에 이들의 혼합비율이 높은 처리구(P-4, P-5)의 초기 pH는 높은 결과를 보여야 하는데 이와 다른 결과는 검토가 필요하였다.

3.2.4 T-C, T-N, C/N율

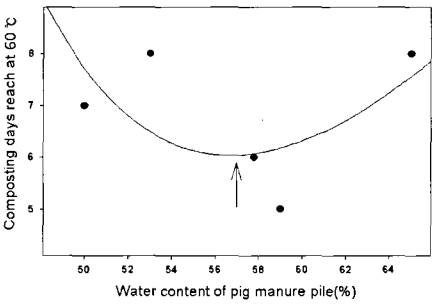
퇴비화에 의해 T-C는 일반적으로 감소하는 경향을 보이는 반면 T-N은 퇴비화 조건에 따라 증가[9] 또는 감소하는데, 이는 혼합물질의 특성에 따라 매우 달라진다. 처리구 모두 퇴비화가 진행되면서 T-C가 감소하는 경향을 보였으며, 혼합물질이나 혼합비율에 따라 조금은 다른 결과를 보였지만, 질소는 대체로 증가하는 경향을 보였다(Fig. 4).

처리구들의 탄소 감소율은 5~12% 였으며, 퇴비화 기간동안 계속적으로 감소하였다. 처리구의 적정 수분조건(57%)에서 고려해 보면 수분함량이 낮은 것보다 높은 경우 탄소 감소에 더 부정적인 영향을 미쳤다.

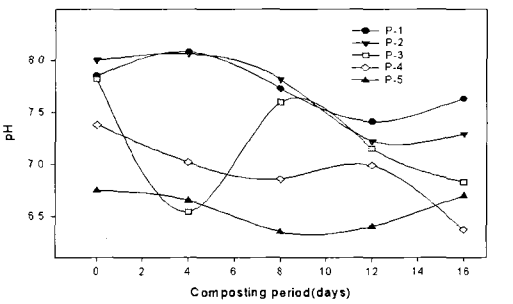
퇴비화 과정 중 탄소의 감소는 6N-HCl에 가수분해되는 부분의 감소에 의한 것이며, 축분 퇴비화에서 그 감소율이 50%정도이었다.[2] 탄소의 감소와 질소의 증가는 C/N율의 감소를 초래하기 때문에 퇴비화 과정에서 C/N율의 감소는 당연한 결과로 받아들여진다(Fig. 5). 그러나 원료의 초기 C/N율, 퇴비화 속도, 퇴비더미의 온도, 원료의 pH 등에 의해 감소형태가 매우 달라질 수 있다. 건조 제지와 하수슬러지 퇴비화의 경우 C/N율의 감소는 퇴비화 25일까지 감소하였다가 안정화되는 경향을 보였다.[3]

3.2.5 색도

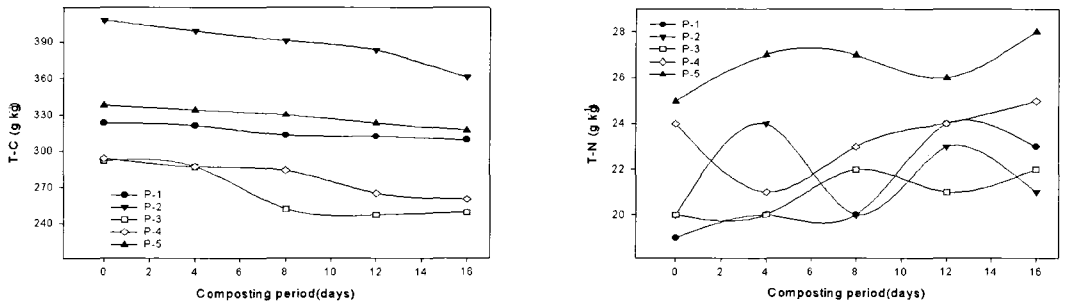
색도는 퇴비화가 진행되면서 점점 감소하는 경향을 보이는데, 본 연구에서 퇴비화가 진행될수록 일반적



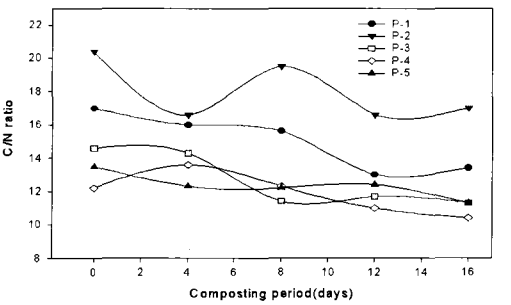
(Fig. 2) Relation between water contents and time demanded to reach at 60℃ of pig manure compost piles



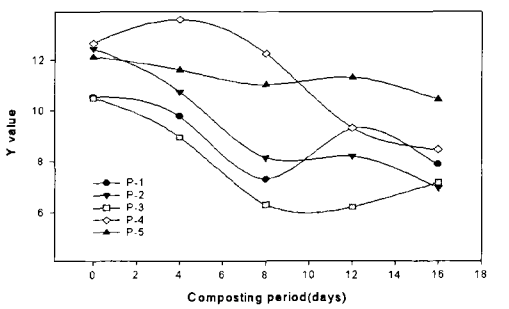
(Fig. 3) Changes of pH in pig manure mixed with sawdust and dried paper-mill sludge during the composting



[Fig. 4] Changes of T-C and T-N in pig manure mixed with sawdust and dried paper-mill sludge during the composting



[Fig. 5] Changes of C/N ratios in pig manure mixed with sawdust and dried paper mill sludge during the composting



[Fig. 6] Changes of Y value in pig manure and bulking agents during the composting period

인 경향을 따랐으며, 그 변화는 퇴비화 10일 이내에 대부분 진행되었다. 색도는 퇴비화에 사용되는 원료에 따라 초기 값이 상당히 다르며, 건조 제지슬러지의 혼합비율이 높을수록 Y값이 높아졌다. 돈분과 건조 제지슬러지를 혼합한 처리구에서는 퇴비화 초기에 비해 5이상의 감소를 보여 건조 제지슬러지를 처리하였을 경우 퇴비화과정 중 Y값의 변화가 크다고 한 결과[10]와 유사하였다[Fig. 6].

4. 결 론

고품질의 돈분 퇴비 생산을 위한 합리적인 퇴비화 조건 개발에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 퇴비더미의 함수율이 57%일 때 퇴비화 초기 온도 상승에 가장 우수한 결과를 보였다.

2. 처리구는 첨가된 부재료의 특징에 따라 물리성이 달랐고, 특히 건조 제지슬러지가 많이 처리된 처리구일수록 물리성이 다른 처리구에 비해 부정적이었다.

3. 퇴비화 기간 중 모든 처리구에서 질소가 증가되고 탄소가 감소하는 일반적인 퇴비화 경향을 따랐으며, 특히, 질소함량이 낮은 처리구에서 질소의 증가율이 상대적으로 높았다.

이상의 결과로 보아 돈분의 퇴비화 적정 함수율은 57% 전후였으며, 부재료로써 건조 제지슬러지 보다 톱밥의 혼합이 작업성 및 퇴비의 부숙도 측면에서 고품질의 축분 퇴비를 생산하는데 효과적이었다.

참고문헌

1. 김필주, 장기운, 민경훈 "음식물찌꺼기 고속발효기에 의해 처리된 퇴비의 안정성 검토", 유기성폐자원학회지 3(1), pp35~42(1995).
2. T. Pare, H. Dinel, M. Schnitzer, S. Dumontet "Transformations of carbon and nitrogen during composting of animal manure and shredded paper", Biol. Fertil. Soils. 26, pp173~178(1998).
3. 유영석, 장기운 "공극개선재의 혼합비율에 따른 제지 · 하수슬러지의 퇴비화과정 중 이화학성 변화", 유기성폐자원학회지 6(2), pp45~57(1998).

4. O. Hassouneh, A. Jamrah, K. Qaisi "Sludge stabilzation by composting: a jordanian case study", Bioprocess Engineering 20, pp413~421(1999).
5. 임명재, 한동준, 강현재 "목질계 Bulking agent가 돈분의 1차 퇴비화에 미치는 영향", 한국폐기물학회지 12(3), 288~296(1995).
6. 정광화, 강호 "축분 퇴비화과정중 특성변화와 축분퇴비 이용 효과", 유기성폐자원학회지 9(1), pp56~64(2001).
7. B. BECK-FRIIS, M. PELL, U. SONESSON, H. JONSSON and H. KIRCHMANN "FORMATION AND EMISSION OF N2O AND CH4 FROM COMPOST HEAPS OF ORGANIC HOUSEHOLD WASTE", Environmental Monitoring and Assessment 62, pp317~331(2000).
8. Miller. F. C. "Composting as a process based on the control of ecologically selective factors", In : Marcel Dekker. Inc. New York. Soil microbial ecology(F. Blaine Metting. Jr. ed), pp515~544(1992).
9. 김태일, 한영근, 전병수, 유용희, 박주희, 권두중, 김형호, 김경남 "돈분퇴비화의 단계별 물질수지 변화를 통한 퇴비 규격화 연구", J. Anim. Sci. & Technol. (Kor.) 43(6), pp997~1004(2001).
10. 민경훈, 장기운, 유영석 "제지슬러지와 돈분을 이용한 퇴비화 과정중 이화학적 특성 변화", 유기성폐자원학회 8(4), pp86~92(2000).