

톱밥 혼합비율이 랜더링 처리 가축사체의 퇴비화에 미치는 영향

최익원[†] · 서동철[†] · 강세원 · 서영진 · 이상규 · 성환후¹ · 허종수² · 강석진^{1**} · 조주식^{*}

순천대학교 생물환경학과, ¹농촌진흥청 국립축산과학원,

²경상대학교 응용생명과학부 (BK21 농업생명산업 글로벌 인재 육성 사업단) & 농업생명과학원

Effect of Sawdust Mixing Ratio on Composting of Animal Cadaver Residue Using Rendering Treatment Method

Ik-Won Choi[†], Dong-Cheol Seo[†], Se-Won Kang, Young-Jin Seo, Sang-Gyu Lee, Hwan-Hoo Sung¹, Jong-Soo Heo², Seog-Jin Kang^{1**}, and Ju-Sik Cho^{*}

Department of Bio-Environmental Sciences, Suncheon National University

¹National Institute of Animal Science, Rural Development Administration

²Division of Applied Life Science (BK21 program) & Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University

In order to obtain optimum mixing conditions with animal cadaver residue and sawdust for composting using rendering treatment method for agricultural recycling, changes of chemical characteristics and compost quality after composting were investigated. Initial mixing ratios with animal cadaver residue and sawdust were adjusted 100 : 0, 50 : 50 and 30 : 70. Temperature, pH, contents of ammonia and carbon dioxide were rapidly increased in 3 days and then decreased with time. Organic matter content was similar in all conditions. In mixing ratio of 50 : 50, the compost quality was satisfied with compost depending on official standard for product fertilizer. Thus, the optimum mixing ratio of animal cadaver residue and sawdust were 50 : 50.

Key words: Recycling, Rendering treatment, Animal cadavers, Sawdust, Compost

서 언

최근 들어 조류인플루엔자 (AI) 및 구제역 (FMD)과 같은 가축전염병이 빈번히 발생되어 사회 경제적으로 많은 문제가 발생 되고 있다. 우리나라에서는 구제역 발생으로 인하여 2000년 2,215두의 한육우, 2002년에는 16만두의 돼지와 소를 살처분 되었다. 또한 2010년 1월부터 2011년 3월까지 5,660여개 농장에서 총 사육두수의 33.3%의 돼지, 3.4%의 한육우, 8.4%의 젖소 등 345만두의 가축을 살처분하여 우리나라도 더 이상 가축질병에 대한 안전지대가 아니다 (Kim et al., 2011).

우리나라에서는 가축전염병 예방법에 의해 살처분한 가축사체에 대해서 신속히 소각 및 매몰을 하게 되어 있다

(Seo et al., 2011; Kim et al., 2010). 가축전염병에 전염된 가축은 특성상 발병과 동시에 기하급수적으로 그 수가 늘어난다. 축산환경 여건상 소각이나 그 밖의 처리는 현실적으로 어려운 실정으로 대부분 매몰방법에 의해서 처리되고 있는 실정이다 (Seo et al., 2011; Kim, 2008). 그러나 매몰법 등을 이용한 처리시 토양 및 지하수의 2차 오염이 문제시 되고 있어서 최근 랜더링 (Rendering)에 의한 처리가 주목 받고 있다 (Kang, 2010). 랜더링 처리방식은 버리는 가축을 유용하게 사용하기 위한 기술로 가축사체를 파쇄과정과 열처리 (고온 고압에서 가열·멸균) 과정을 거쳐 필요한 지방과 육골분을 분리하는 처리방식이다. 분리된 지방은 바이오디젤 등의 제조에 사용하고, 육골분은 고품질, 고기능성 액비나 퇴비 등으로 농업적으로 활용이 가능한 것으로 알려져 있다 (Seo et al., 2011). 현재 랜더링 처리가 가능한 곳은 미국 276개소 (2010년)와 일본 103개소 (2008년)등에 비하여 국내는 경기, 전북, 충북 2개소 등 4개소 (2010년)로 외국에 비해서 상당히 미미한 실정이었으나, 매년 가축전염병이 발생하고 살처분 되는 가축수가 늘어남에 따라서 정부와 각 지자체에서 가축랜더링 시설을 확대하고 있다 (Kang,

접수 : 2012. 2. 19 수리 : 2012. 5. 30

*연락처 : Phone: +82617503297

E-mail: chojs@sunchon.ac.kr

**공동연락처 : Phone: +82312901575

E-mail: hikang@rda.go.kr

[†]공동 제1저자

2010). 랜더링 가축사체의 농업적 활용방안 중에서 가장 손쉽게 적용 가능한 방법으로 퇴비화를 들 수 있다. 그러나 현재 랜더링 처리 가축사체는 국내에서 부산물비료에 사용가능한 원료로 지정되어 있지 못하여 금후 관련법규의 검토가 필요하다. 또한 화학비료 대체물질로서 활용하고자 할 경우 무엇보다도 먼저 양분함량 및 성분조성에 관한 정확한 정보가 필요하다고 판단된다 (Yun et al., 2011). 호기조건에서 퇴비화의 주요인자는 수분함량, C/N비, pH, 산소공급 등이 있으며, 적절한 보조제의 혼합을 통해서 주요인자 조절이 가능하고 퇴비화 공정의 효율에 영향을 미친다. 퇴비화 보조제로 가장 많이 사용되는 톱밥은 높은 수분 흡수력과 압모니아 흡착력, 공극의 안정성 등이 가장 뛰어난 것으로 알려져 있다 (Hwang and Jun, 2009).

따라서 본 연구에서는 랜더링 처리 가축사체의 퇴비화를 통한 재활용의 기반을 구축하기 위해 가축사체와 톱밥의 혼합비율을 달리한 후 퇴비화하여 퇴비화 초기의 물질변환과 비료성분 분석을 통해 화학비료 대체물질로서 품질을 평가하여 최적 톱밥 혼합비율을 구명 하고자 수행하였다.

재료 및 방법

공시재료 본 연구에 사용된 공시 랜더링처리 가축사체 부산물 및 퇴비화 보조제인 톱밥의 이화학적 특성은 Table 1에서 보는 바와 같다. 공시 랜더링처리 가축사체 부산물은 농촌진흥청 국립축산과학원 (충남 천안)의 검시실에 보관중인 자연사한 가축 (돼지, 소와 닭)을 고온 (250°C) 고압 (4 kgf cm⁻²) 조건에서 3시간 랜더링 처리한 후 고온건조 분쇄기를 이용하여 약 4일간 건조시켜서 공시재료로 사용하였다 (Seo et al., 2011). 랜더링처리 가축사체 부산물의 pH는 6.2, 수분함량은 9% 및 유기물대 질소비는 22.9이었다. 퇴비화 보조제인 톱밥의 pH는 4.4, 수분함량은 9.0%이었고, 유기물 함량은 98.5%로, 유기물대 질소비는 820으로 상당히 높았다.

실험방법 랜더링처리 가축사체 부산물의 퇴비화시 최적 톱밥 혼합조건을 조사하기 위해 건조 분쇄된 랜더링처리 가축 부산물과 톱밥을 100 : 0, 50 : 50 및 30 : 70의 비율로 혼합한 후 수분함량을 약 60%로 조절하여 가로, 세로 및 높이를 1 m × 1 m × 1 m 크기의 더미로 형성하여 퇴비화 초

기 과정을 15일간 관찰하였다. 퇴비화에 필요한 산소는 따로 공급하지 않고, 3일 간격으로 뒤집기를 실시하여 산소가 공급되도록 하였다.

분석방법 퇴비화 초기 기간 중 퇴비의 온도 측정은 퇴비더미의 중심에 20 cm, 40 cm, 60 cm 깊이 및 기울기 중간지점의 20 cm 깊이 4곳에서 측정하여 평균값을 구하였다. 퇴비의 분석은 105°C에서 24시간 건조 후 분쇄기 (MF 10 basic, IKA, Germany)로 분쇄하여 사용하였다. pH와 EC 측정은 퇴비시료 5 g에 증류수 50 ml를 가하여 160 rpm에서 30분간 진탕 (JEIO TECH SK-760M)하여 pH, EC meter (Seven Multi, METTLER TOLEDO)로 측정하였다 (NIAST, 2000). 총 질소분석은 황산으로 습식분해한 후 Kjeldahl 증류법으로 분석하였으며, 유기물 측정은 20 g 내외의 퇴비시료를 도가니에 취하여 550°C 전기로에서 4시간 탄화시킨 다음 데시케이터에서 냉열 후 무게를 달았다 (Peters et al., 2003). 유해 중금속함량 (As, Cd, Hg, Pb, Cr, Cu, Ni 및 Zn) 분석은 1 g 내외의 퇴비시료를 분해용 튜브에 취하고, 황산 10 ml과 과염소산 10 ml을 가하여 가열하고 과염소산의 흰 연기가 발생하면 건조에 가깝도록 농축 방냉 후 증류수로 100 ml 표선을 하였다. 표선한 여액의 일부를 취하여 ICP (ICPE-9000, Shimadzu)로 측정하였다 (NIAST, 1996). 또한 Ammonia 및 CO₂ 분석은 가스검지관법 (GV-110S, Gastec)을 이용하였다. 가스검지관 (Ammonia 측정용 3La, 3M; CO₂ 측정용 2L, 2H 및 2HH)을 퇴비더미 속에 찢러 넣어서 100 ml 흡인하여 측정하였다.

결과 및 고찰

퇴비화 초기의 물질변화 랜더링처리 가축사체 부산물과 톱밥의 혼합비율에 따른 퇴비화 초기의 온도변화는 Fig. 1과 같다. 랜더링처리 가축사체와 톱밥의 비율이 30 : 70 처리구에는 4일째 65°C로 가장 높았으며, 50 : 50 처리구에는 4일째 60°C로 가장 높았고, 100 : 0 처리구에는 6일째 50°C로 각각 가장 높았다. 30 : 70 처리구와 50 : 50 처리구에서는 온도가 최고점을 지난 후 급격하게 감소하는 경향을 나타내었다. 모든 처리구에서 7일 후부터 45°C 내외로 안정한 상태를 유지하였다. 이는 일반적인 돈분을 이용한 퇴비화 과정에서의 온도변화에 비해서 빨리 안정화 단계에

Table 1. Chemical characteristics of compost used in the experiment.

	pH	OM	TN	OM/N	Water content
	(1:10)	---- %	Dry weight	----	%
Animal cadavers	6.2	84.3	3.7	22.8	9.0
Sawdust	4.4	98.5	0.12	820	9.0

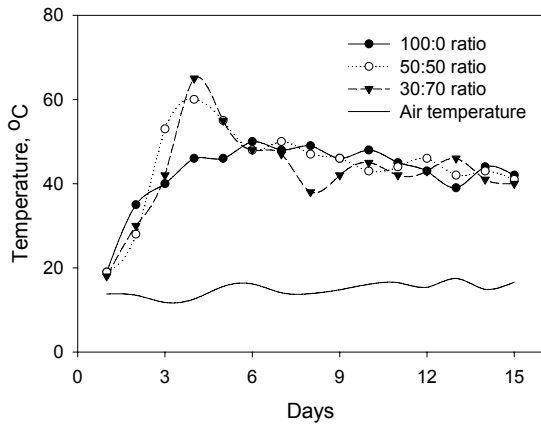


Fig. 1. Changes of temperature during composting under different mixing ratios with animal cadaver residue and sawdust.

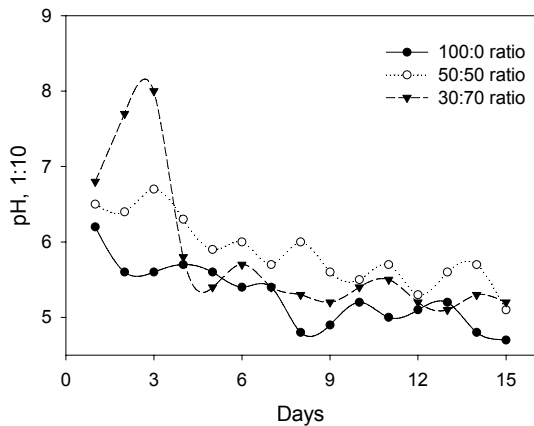


Fig. 2. Changes of pH during composting under different mixing ratios with animal cadaver residue and sawdust.

접어들었다 (Lee et al., 1999).

랜더링처리 가축사체 부산물과 톱밥의 혼합비율에 따른 퇴비화 초기의 pH변화는 Fig. 2와 같다. 퇴비화 초기 pH는 랜더링처리 가축사체와 톱밥의 비율이 30 : 70 처리구에서는 6.8, 50 : 50 처리구에서는 6.5, 100 : 0 처리구에서는 6.2로 랜더링처리 가축사체의 비율이 높을수록 초기 pH는 낮았다. 30 : 70 처리구에서는 퇴비화 진행초기에 pH가 급격하게 증가하였다. 이는 암모니아 발생량 증가가 그 원인으로 판단된다 (Chang et al., 2008; Lee et al., 2005). 모든 처리구에서 퇴비화가 진행될수록 pH가 감소하는 경향을 나타내어 시험개시 15일째 100 : 0 처리구에서는 pH 4.7, 50 : 50 처리구에서는 pH 5.1, 30 : 70 처리구에서는 pH 5.2로 나타났다. 일반적으로 퇴비화시에 pH가 낮으면 퇴비화가 지연되며, pH가 5 이하로 내려가면 퇴비화가 거의 이루어지지 않는 것으로 알려져 있다 (Lee et al., 1999).

랜더링처리 가축사체 부산물과 톱밥의 혼합비율에 따른 퇴비화 초기의 유기물변화는 Table 2와 같다. 퇴비화 진행 초기의 유기물 함량은 랜더링처리 가축사체 부산물대 톱밥 비율이 30 : 70 처리구에서는 89.5%, 50 : 50 처리구에서는 88.9%, 100 : 0 처리구에서는 84.3%로 나타났다. 퇴비화가 진행되면서 모든 처리구에서 유기물 함량이 낮아지는 경향을 나타내었다. 15일째 접어들면서 30 : 70 처리구에서는 유기물 함량이 73.2%, 50 : 50 처리구에서는 유기물 함량이 73.1%, 100:0 처리구에서는 유기물 함량이 79.7%로 나타났다.

랜더링처리 가축사체와 톱밥의 혼합비율에 따른 퇴비화 초기의 총질소 변화는 Table 2와 같다. 퇴비화 진행 초기의 총질소 함량은 30 : 70 처리구에서는 1.33%, 50 : 50 처리구에서는 2.18%, 100 : 0 처리구에서는 3.7%로 랜더링처리 가

Table 2. Changes of Organic matter and total nitrogen contents during composting under different mixing ratios of animal cadaver residue to sawdust.

Content	Rate	Days					
		1	3	6	9	12	15
OM (%)	100 : 0	84.3	88.2	88.1	82.0	81.7	79.7
	50 : 50	88.9	88.1	85.4	84.0	83.9	73.1
	30 : 70	89.5	84.4	82.6	79.0	77.8	73.2
	LSD [†] (<i>p</i> <0.05)	5.0	1.24	2.3	1.9	2.0	4.2
TN (%)	100 : 0	3.70	3.71	3.34	3.50	3.25	3.20
	50 : 50	2.18	2.06	1.86	1.91	1.68	1.68
	30 : 70	1.33	1.17	0.83	0.74	0.76	0.74
	LSD [†] (<i>p</i> <0.05)	1.63	1.41	0.98	1.03	1.13	1.42
OM/N	100 : 0	22.8	23.8	26.7	23.4	25.5	24.9
	50 : 50	40.8	42.8	45.9	44.0	49.9	43.5
	30 : 70	67.3	72.1	99.5	106.8	102.4	98.9
	LSD [†] (<i>p</i> <0.05)	7.5	12.4	11.6	16.8	10.7	11.8

[†]The Fisher's least significant difference (LSD) was used to detect and separate the mean treatment differences at 5.0% levels of significance.

축사체 부산물의 비율이 높을 경우 총질소의 함량도 높았다. 모든 처리구에서 퇴비화가 진행될수록 총질소 함량이 감소하는 경향을 나타내어 15일째 30 : 70 처리구에서는 총질소 함량 0.74%, 50 : 50 처리구에서는 총질소 함량 1.68%, 100 : 0 처리구에서는 총질소 함량 3.2%로 나타났다.

랜더링처리 가축사체와 톱밥의 혼합비율에 따른 퇴비화 초기의 유기물대 질소비 변화는 Table 2와 같다. 퇴비화 진행 초기 유기물대 질소비는 랜더링처리 가축사체 부산물대 톱밥의 비율이 30 : 70 처리구에서는 유기물대 질소비가 67.3, 50 : 50 처리구의 초기 유기물대 질소비는 40.8, 100 : 0 처리구의 초기 유기물대 질소비는 22.8로 나타났다. 퇴비화 과정 중 유기물대 질소비의 변화는 퇴비화의 공법, 재료의 성상 및 질소의 휘산과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다 (Chino et al., 1983). 본 시험에서는 모든 처리구에서 퇴비화가 진행될수록 유기물대 질소비가 미세하게 상승하는 경향을 나타내었다. 30 : 70 처리구에서는 6일째부터 유기물대 질소비가 100에 가깝게 상승하였는데 이렇게 퇴비화가 진행되면서 유기물대 질소비가 상승하는 Lee et al. (1999)의 연구결과와도 유사하였다.

랜더링처리 가축사체와 톱밥의 혼합비율에 따른 퇴비화 초기의 퇴비더미 공기 중의 암모니아 농도는 Fig. 3과 같다. 100 : 0 처리구에서는 퇴비화 진행초기에 암모니아가 거의 발생되지 않았으나 5일째부터 증가하기 시작하여 7일째에 0.7%까지 증가하였고, 그 이후에도 퇴비더미 공기 중의 암모니아 농도가 0.45% 이상으로 유지되었다. 그러나 30 : 70 처리구와 50 : 50 처리구에서는 3일째부터 암모니아 농도가 급격하게 증가 하였는데 이는 랜더링처리 가축사체의 퇴비화 진행에 따른 변화로 판단되어진다. 암모니아는 퇴비화의 진행과정에 따라 농도가 증가하게 되어 퇴비화 15일째에서는 암모니아의 농도가 현저히 감소하였다. 이는 Kissel과 Henry (1992)가 보고한 퇴비화시 암모니아 방출량의 감소가

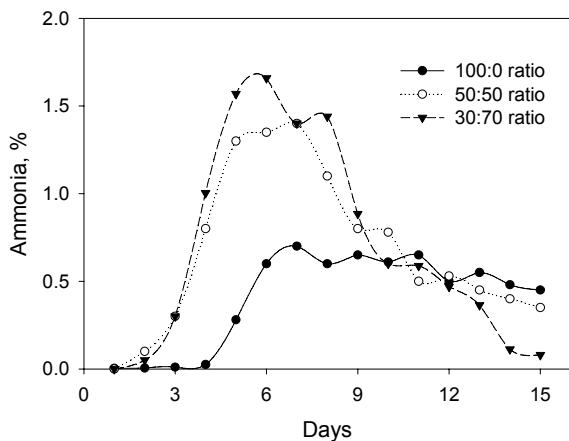


Fig. 3. Changes of Ammonia contents during composting under different mixing ratios with animal cadaver residue and sawdust.

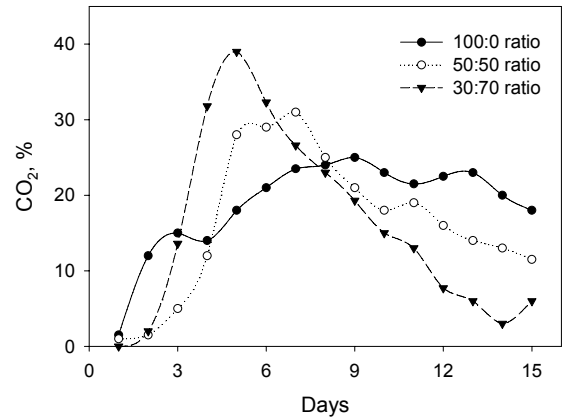


Fig. 4. Changes of CO₂ contents during composting under different mixing ratios with animal cadaver residue and sawdust.

C/N을 증가에 기인한다는 결과와 일치하였다.

랜더링처리 가축사체 부산물과 톱밥의 혼합비율에 따른 퇴비화 초기의 CO₂ 발생량은 Fig. 4와 같다. 랜더링처리 가축사체와 톱밥의 비율이 30 : 70 처리구 및 50 : 50 처리구에서는 초기에 CO₂ 발생량이 급격하게 증가하였으며 그 이후부터 점점 감소되는 경향이었으며, 100 : 0 처리구에서는 초기에 증가하는 경향은 비슷하였으나 3일째부터 서서히 증가하는 경향을 나타내었다. 퇴비화가 진행되면서 최종 분해산물로 발생하는 CO₂는 퇴비화과정 중 온도변화와 더불어 퇴비화의 진행 상태를 파악하는 중요한 지표로 이용될 수 있다 (Lee et al., 1998; Sikoka et al., 1982). 이러한 여러 항목들의 변화를 비교 검토한 결과 랜더링처리 가축사체와 톱밥의 비율이 100 : 0에 비해서 50 : 50과 30 : 70일 때의 퇴비화 초기 효율이 좋은 것으로 나타났다.

랜더링처리된 가축사체를 이용하여 제조된 퇴비의 성분

제조된 퇴비의 비료성분 함량 및 유해성분 함량을 나타낸 결과는 Table 3에서 보는 바와 같다. 비료 공정규격에서 퇴비의 유기물 함량 기준은 50% 이상으로 100 : 0 처리구의 유기물함량 79.7%, 50 : 50 처리구의 유기물함량 73.1% 및 30 : 70 처리구의 유기물함량 73.2%가 모두 유기물 함량기준에 적합한 것으로 나타났다. 또한 비료 공정규격의 유해성분 중에서 As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb 및 Zn의 함량을 조사한 결과 모든 처리구에서 각각의 성분함량이 비료 공정규격의 기준치 이하로 적합한 것을 확인하였다. 그 외의 유해성분으로 병원성 미생물, 대장균 및 살모넬라의 경우는 고온 (250°C) 고압 (4 kgf cm⁻²) 조건에서 랜더링 처리함으로써 멸균된 것으로 판단되어 본 연구에서는 실시하지 않았으나 (Choi et al., 2012), 상업화 할 경우는 부숙도와 함께 충분한 안전성 검토가 필요 하다고 생각된다. 그 밖의 규격에서 유기물대 질소의 비가 50이하인데 100 : 0 처리구와 50 : 50 처리구는 비료 공정규격을 만족시켰으나 30

Table 3. Inorganic components of compost after composting of animal cadavars using rendering treatment method.

Items	Official standard for product fertilizer (Compost) [†]	Compost driven by animal cadavars with rendering			
		100 : 0	50 : 50	30 : 70	
Principal components	OM (%)	> 50	79.7	73.1	73.2
Hazardous components	As (mg kg ⁻¹)	< 45	0.007	0.013	0.064
	Cd (mg kg ⁻¹)	< 5	0.001	0.001	0.002
	Cu (mg kg ⁻¹)	< 400	0.079	0.061	0.069
	Cr (mg kg ⁻¹)	< 250	0.020	0.022	0.184
	Hg (mg kg ⁻¹)	< 2	0.009	0.001	0.016
	Ni (mg kg ⁻¹)	< 45	0.013	0.015	0.031
	Pb (mg kg ⁻¹)	< 130	0.016	0.010	0.010
Other components	Zn (mg kg ⁻¹)	< 1,000	0.356	0.394	0.508
	OM/N	< 50	24.9	43.5	98.9
	NaCl (%)	< 2.0	0.03	0.02	0.02
	Water content (%)	< 55	42.9	41.8	39.5

[†]Official standard from Rural Development Administration (RDA, 2012).

: 70 처리구에서는 유기물대 질소비가 98.9로 상당히 높게 나타났다. 그 외에 비료 공정규격의 염분 (NaCl) 함량은 2.0% 이하, 수분함량은 55% 이하인데, 모든 처리구에서 기준치에 적합한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 제조한 랜더링처리 가축부산물을 이용한 퇴비는 100 : 0과 30 : 70의 비율의 처리구에 대해서 50 : 50의 비율로 혼합하여 퇴비화 할 경우 효율이 우수하고 비료공정규격과 비교하여 유기물함량, 유기물대질소비, 염분함량, 수분함량 및 유해 성분 (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb 및 Zn)의 항목에서 퇴비 규격에 적합한 것으로 나타났다. 따라서 관련법 등 몇 가지 사안들이 해결되면 랜더링처리 가축사체를 이용한 퇴비의 상품화도 충분히 가능할 것으로 판단되었다.

요 약

본 연구는 랜더링처리 가축사체 부산물의 농업적 재활용을 위한 퇴비화의 최적 톱밥 혼합조건을 구명하기 위하여 랜더링처리 가축사체와 톱밥의 비율을 100 : 0, 50 : 50 및 30 : 70으로 혼합하여 퇴비화 초기의 물질변환과 퇴비화 완료 후 퇴비 품질을 조사하였다. 퇴비의 온도, pH, Ammonia 및 CO₂의 발생은 시험개시 3일째 급격히 증가하였으며, 그 이후 시간이 지남에 따라 감소하였고, 유기물함량은 각각의 혼합비율에서 큰 차이를 보이지 않았다. 랜더링처리 가축사체와 톱밥의 비율이 100 : 0 처리구에서는 퇴비화의 진행속도가 느리거나 온도가 적정수준까지 상승하지 못하는 등의 문제점이 발생하였고, 30 : 70 처리구에서는 퇴비화 과정에서 유기물대 질소비가 부산물비료 공정규격 50이하를 충족

시키지 못하였다. 따라서 랜더링처리 가축사체와 톱밥의 혼합비율은 100 : 0과 30 : 70에 비해서 50 : 50이 가장 적합하였다. 랜더링처리 가축사체와 톱밥을 50 : 50으로 혼합하여 제조된 퇴비의 유기물 규격함량과 유해물질(As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb 및 Zn)의 함량 및 그 밖의 규격 (유기물대 질소비, 염분함량 및 수분함량)을 조사한 결과 비료 공정규격을 충족시키는 결과를 나타내었고, 추후 퇴비의 상품화를 위해서는 병원성 미생물, 대장균, 살모넬라균 및 부속도 조사를 통한 안전성 검토가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ008239) 과 농림수산식품부 농림기술개발사업 (과제번호: 20090423) 의 지원에 의해 이루어진 것임.

인용문헌

- Chang, K.W., J.H. Hong, J.J. Lee, K.P. Han, and N.C. Kim. 2008. Evaluation of Compost Maturity by physico-chemical properties and germination index of livestock manure compost. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 41:137-142.
- Chino, M., C.K. Shinhiro, M. Tadahiro, A. michio, and K. Bunzaemon. 1983. Biochemical studies on composting of municipal sewage sludge mixed with rice hull. *Soil Sci. Plant Nutr.* 29:159-173.
- Choi, I.W., D.C. Seo, S.W. Kang, Y.J. Seo, S.G. Lee, S.J. Kang, B.J. Lim, J.B. Lee, J.S. Heo, and J.S. Cho. 2012.

- Evaluation of possibility of water plant wastes in composting for agricultural recycling. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(2):248-252.
- Hwang, E.J. and K.S. Jun. 2009. Carbonized sludge as moisture amendment in composting. *Kor. Soc. Wast. Man.* 26(4):358-366.
- Kang, S.J. 2010. Management of rendering in animal cadavers. *Water Journal* 81:78-80.
- Kim, K.H. 2008. The management plan of environmental pollution by animals burying. Ministry of Environment, Korea (In Korean).
- Kim, K.H., K.R. Kim, H.S. Kim, G.T. Lee, and K.H. Lee. 2010. Assessment soil and ground water contamination at two animal carcass disposal sites. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:368-370.
- Kim, S.K., J.E. Kim, and D.M. Paek. 2011. The cultural analysis of 2010-2011 foot and mouth disease massacre in Korea. *J. Environ. Health Sci.* 37:165-169.
- Kissel, J.C. and C.L. Henry. 1992. Emissions of volatile and odorous organic compounds from municipal waste composting facilities: A Literature Review. The National Composting Council, Alexandria, VA.
- Lee, H.J., J.M. Sim, J.S. Cho, S.T. Lee, and J.S. Heo. 1999. Physico-chemical properties during composting of sewage sludge and livestock manure in static piles system composter. *J. Kor. Environ. Sci. Soc.* 8:509-514.
- Lee, H.J., J.S. Cho, and J.S. Heo. 1998. Study on optimum conditions for the composting of industrial wastewater sludge. *J. Korean Environ. Sci. Soc.* 7:96-103.
- Lee, H.J., J.S. Cho, H.S. Choi, and J.S. Heo. 1997. Development of Operating Parameters for composting of municipal sewage sludge. *Kor. J. Environ. Agri.* 16:382-389.
- Lee, J.E., J.H. Hong, K.W. Chang, and J.Y. Hwang. 2005. Effect of pyroligenous acid liquor on the maturity of pig manure compost. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 38:101-107.
- NIAST. 1996. The official test methods for the fertilizer quality and sampling guideline, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- NIAST. 2000. Methods of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA.
- Peters, J., S.M. Comb, B. Hoskins, B. Jarman, M.E. Watson, A.M. Wolf, and N. Wolf. 2003. Recommended methods of manure analysis. Cooperative Extension Publishing, Madison, WI, USA. pp. 18-43.
- Seo, D.C., S.W. Kang, I.W. Choi, H.H. Sung, T.Y. Hur, J.Y. Yoo, Y.J. Lee, J.S. Heo, S.J. Kang, and J.S. Cho. 2011. Evaluation of fertilizer value of animal waste for agricultural recycling. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:788-793.
- Sikoka, L.J. and G.B. Willson. 1981. Materials balance in aerated static pile composting. *J. WPCF.* 53:123-132.
- Yun, H.B., D.I. Kaown, J.S. Lee, Y.J. Lee, M.S. Kim, Y.S. Song, and Y.B. Lee. 2011. The nitrogen, phosphate, and potassium contents in organic fertilizer. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:498-501.