

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2017.50.6.623>
pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Effects of Animal Waste Addition on Food Waste Compost under Co-composting

Chang Hoon Lee, Seok-Cheol Kim, Seong-Jin Park, Myeong-Sook Kim, and Taek-Keun Oh^{1*}

Soil & Fertilizer division, National Academy of Agricultural Science, Wanju 55365, Korea

¹Department of biological chemistry, Chungnam national university, Daejeon 34134, Korea

*Corresponding author: ok5832@cnu.ac.kr

ABSTRACT

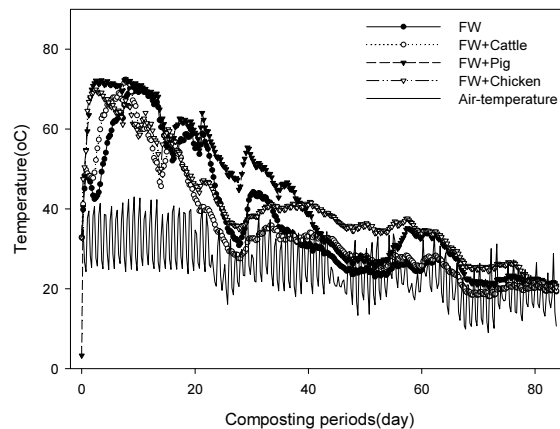
Received: November 15, 2017

Revised: November 16, 2017

Accepted: November 16, 2017

Food waste has been recognized as a organic sources for composting and many research was conducted to efficiently utilize or treat. This study was to evaluate a feasibility for producing food waste compost under co-composting with mixture of food and animal waste. The mixing ratio of food and animal waste was 35% as main material, which additionally mixed 30% of sawdust for co-composting. Total days of composting experiment were 84 days and each sub samples were collected at every 7 days from starting of composting. Results showed that inner temperature in composting was rapidly increased to $70 \pm 4^\circ\text{C}$ within 3~5 days depending on mixing animal waste of cattle, pig, and chicken base compared to sole food waste base. Expecially, the CN ratio in the mixture of food and pig water was the highest (16.2) among compost. After finishing composting experiment, maturity was evaluated with solvita and germination test. Maturity index (MI) of the mixture of food and animal waste was ranged between 6~7, but was 3 in sole food waste. Calculated germination index (GI) was at the range of about 100 irrespectively of mixing of food and animal waste. However, NaCl content and heavy metal as Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn contents was increased in the mixture of food and animal waste. which was the highest in compost mixed the food and pig waste. Both MI and GI showed that manufactured fertilizer was suitable for fertilizer criteria while sole food waste was not adequate for composting due to composting periods. Overall, mixing the food and animal waste can be utilized for improving compost maturity, but more research should be conducted to make high quality of food waste compost with animal waste in agricultural fields.

Keywords: Composting, Food waste, Animal waste, Compost quality



Changes of temperature in compost piles during co-composting with food and animal waste.



Introduction

퇴비화는 유기물이 미생물에 의하여 분해되어 안정화되는 과정이며, 저장하기에 충분한 부식도 상태의 물질로 변화시키는 생화학적 공정 또는 고체 폐기물의 유기성분을 인위적으로 만든 조건하에서 연속적으로 생물학적 처리를 하는 것으로 그 최종물질은 환경에 영향을 주지 않아야 하고, 토양에 사용 될 수 있어야 한다 (Kim and Jung, 2006). 이러한 퇴비화 과정을 거치면서 병원성 미생물 및 잡초 종자가 사멸되고, 악취가 감소되며, 그리고 30~50%의 부피가 감소되는 것으로 알려져 있다 (Sweeten, 1988; Dao, 1999). 퇴비화의 정의에는 농업적 이용을 위한 퇴비뿐만 아니라 폐기물 처리차원의 퇴비화도 포함하고 있다. 특히, 농업부문에서는 유기물과 양분에 의한 토양의 물리성과 화학성 개량 및 농작물에 양분을 공급, 그리고 장기간 연용에 따른 농작물에 대한 위해성이 낮아야 한다 (Sikora and Sullivan, 2000; Sullivan et al., 1998; Touart, 1999). 그러나 식물성 폐기물 퇴비에 포함된 이물질 및 높은 염분 (NaCl) 함량 등으로 농경지에 식물성 폐기물 사용에 대한 우려는 지속적으로 제기되고 있으나 (Kwon et al., 2009ab; Lee et al., 2000), Lee et al. (2016)은 논·밭 토양에 식물성 폐기물 퇴비를 각각 10과 30 Mg ha⁻¹ 사용할 경우, 벼와 고추의 최대 수량을 보인 반면에 토양 중 치환성 Na 함량은 증가된다고 보고하였다. 따라서 농업적 이용에는 식물성 폐기물 퇴비의 염분이 중요한 요소가 될 수 있다.

식물성 폐기물의 자원화 공정에 있어서 염분함량 기준을 맞추면서 퇴비를 생산하기 위한 가수 및 탈수 공정을 두고 있는데, 식물성 폐기물 원료의 염분함량이 최대 1%일 때 물기를 짜내면 염분함량이 0.5~0.8%로 감소되고, 이를 물로 한번 헹구면 염분함량은 초기 농도의 1/3로 감소된다 (Phae et al., 2002). 식물성 폐기물 처리시설에서 퇴비화할 때는 수분 및 통기성 개량을 위해 톱밥을 50% 가량 섞으면 최종 생산된 퇴비에는 염분이 0.4% 정도 포함된다 (Phae et al., 2002). 또한 염분함량이 낮은 가축분뇨와 함께 섞어서 퇴비화하거나 다른 퇴비를 섞어서 사용하면 염분의 농도를 줄일 수 있다 (Lee et al., 2016; Phae et al., 2002).

퇴비를 제조할 때 퇴비화 속도 및 안정화는 원료 특성, 수분 조절재 및 이들 원료의 혼합비율 등에 따라 매우 가변적이다. 지금까지 알려진 가장 이상적인 퇴비화 조건은 탄질비가 30 내외 그리고 수분함량이 60-70%로 알려져 있다 (Rynk et al., 1992; Lee et al., 2001). 식물성 폐기물에 톱밥을 30~40%를 혼합하여 퇴비를 제조할 경우에 온도상승, 적정 pH 및 수분함량 유지, 부숙은 잘 이루어지나 (Lee et al., 2017), 퇴비화 기간 및 퇴비의 염분함량이 문제점으로 지적되고 있다 (Lee et al., 2015). 본 연구는 퇴비원료의 혼합을 통한 퇴비화 촉진 및 염분 제어에 대한 개선 방안을 모색하고자 식물성 폐기물과 가축분과 혼합하여 퇴비화 과정 중 퇴비 특성 변화를 조사하였다.

Materials and Methods

퇴비원료 식물성 폐기물 퇴비화를 위해 식물성 폐기물 처리시설에서 반입, 파쇄, 선별 및 탈수과정을 거친 중간처리물 (탈수케이크)을 채취하여 퇴비화 시험에 이용하였다. 탈수케이크는 수분이 71.6%, 탄질비가 10.2, 염분함량은 1.78%이었다. 가축분은 전북 김제시 일대 축사에서 가축분 (우분, 돈분, 계분)을 채취하였다. 이때, 우분, 돈분, 계분의 탄질비는 각각 17.3, 11.0, 7.9이었고, 염분함량은 각각 0.36, 1.02, 1.68%를 나타내었다 (Table 1).

Table 1. Characteristics of materials used compositing.

Materials	Moisture	TC	TN	----- (%) -----				
				P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	NaCl
Food	71.6	39.6	3.9	0.67	0.49	4.66	0.10	1.78
Cattle	67.9	34.5	2.0	1.15	0.51	5.37	1.15	0.36
Pig	43.5	34.2	3.1	2.09	1.77	5.41	1.92	1.02
Chicken	5.0	24.6	3.1	1.50	2.23	8.42	1.91	1.68
Sawdust	7.0	48.2	0.19	0.35	0.08	0.22	0.05	0.01

퇴비화 본 연구에 이용된 퇴비화 반응기는 약 61 L의 아이스박스 (W36×L61×H30cm)를 이용하였다. 반응기 내부 바닥에는 공기 주입기 (MA-200, wave point, USA)에 연결된 튜브를 고정하여 퇴비시료에 1.67 L min⁻¹의 공기가 지속적으로 공급되도록 하였고, 온도센서 (EM50, Decagon devices, USA)를 퇴비더미의 하단에 설치하여 0.5시간 간격으로 온도를 측정하였다. 퇴비화를 위한 최적 수분함량인 50~60%를 고려하여 퇴비원료를 혼합하였다. 대조구인 음식물쓰레기 퇴비는 탈수케이크와 톱밥을 70:30 (w/w)으로, 가축분 혼합퇴비는 가축분:음식물쓰레기:톱밥을 35:35:30 (w/w)으로 혼합하였다 (Table 2). 퇴비화 시험은 2016년 6월부터 8월까지 약 84일간 진행되었으며 퇴비화 기간 동안에 7일 간격으로 뒤집기를 실시하였다. 퇴비시료 500g을 플라스틱 샘플 백에 넣은 후 건조기에서 60°C로 건조 및 분쇄하였고, 2 mm체를 통과한 시료를 분석에 이용하였다.

Table 2. Mixture ratio of base materials for co-composting.

Treatments	Mixture of base materials (wt wt ⁻¹)		
	Food waste	Animal waste	Sawdust
FW	70	0	30
FW + Cattle	35	35	30
FW + Pig	35	35	30
FW + Chicken	35	35	30

부숙도 평가 퇴비 부숙도 평가는 비료의 품질검사방법 및 시료채취기준에 명시되어 있는 기계 적부숙도 측정법 (Solvita)과 종자발아시험을 통해 실시하였다. Solvita 측정법은 제조사에서 제공한 시험방법을 바탕으로 측정용기에 표시된 부분까지 퇴비를 약 50 g 채우고 이산화탄소와 암모니아 반응 패드를 꽃아 25°C에서 4시간 방치 후 색깔변화를 표준차트와 비교하여 분석하였다 (Kim et al., 2016). 종자발아시험은 시료 2 g에 증류수 40 mL 가하여 80°C에서 2시간 열수 침탕 하였다. 추출된 용액은 여과한 후 무 종자 (*Raphanus sativus* L.) 30립을 90 mm 페트리디시 (petri dish)에 가하여 상온에서 5일간 배양한 후 발아율과 뿌리길이를 조사하였다. 대조구는 추출용액 대신 증류수를 이용하여 동일하게 배양한 무 종자의 발아를 이용하였다. 종자발아지수 (Germination Index, GI)는 발아율 (Germination rate, GR)과 뿌리길이 (Root extension, RE)을 이용하여 지수화 한 것으로 다음의 식을 이용하였다 (Lee et al., 2015).

$$GI = (GR \times RE)$$

$$GR = (\text{발아율} / \text{대조구 발아율}) \times 100$$

$$RE = (\text{뿌리길이} / \text{대조구 뿌리길이}) \times 100$$

퇴비 분석 퇴비분석은 농촌진흥청에서 고시한 비료의 품질검사방법 및 시료채취기준에 준하여 분석하였다 (NAS, 2017). 수분함량은 105°C에서 5시간 건조하여 감량을 측정하였고 pH와 전기전도도 (EC)는 시료와 증류수를 각각 1 : 10 (w/v)으로 혼합하여 1시간 교반 후 pH meter (Orion 5 star, Thermo Scientific, Singapore)와 EC meter (Orion star A222, Thermo Scientific, Indonesia)로 측정하였다. 유기물 측정은 회화법을 이용하였으며 600°C에서 약 4시간 가열한 후 강열함량을 계산하였다. 퇴비의 총 탄소와 질소는 자동원소분석기 (Vario Max CNS, Elementar, Germany)을 이용해 분석하였다. 또한 퇴비의 중금속 함량을 조사하기 위해 1 g의 시료를 삼각 플라스크에 취하여 진한 질산 20 mL을 가하고 하루 간 정치한 후 가열하여 건조시켰다. 또한 냉각 후 질산, 황산, 과염소산을 각각 10 : 1 : 4의 비율로 혼합한 Ternary solution 20 mL 가하여 분해 한 후 ICP-AES (Icap 7000, Thermo fisher scientific, USA)로 분석하였다 (NAS, 2010).

통계처리 모본 연구는 각 처리구에서 3반복으로 시료를 채취하여 진행하였으며 결과값은 평균과 표준편차를 구하여 one-way analysis of variance (ANOVA)와 최소 유의 차 검정 (Least Significant Difference, LSD)의 통계분석법을 통해 처리구간의 유의적인 차이 ($p < 0.05$)가 있는지 확인하였다. 통계적 분석은 Duncan test를 이용하였으며 SAS 9.2 소프트웨어로 분석하였다.

Results and Discussion

퇴비더미 온도변화 호기성 퇴비화에서 온도변화는 미생물의 대사활동의 지표로서 이용되며 최적온도는 45~55°C이다 (de Bertoldi et al., 1983). 퇴비화 과정 중 음식물류 폐기물과 가축분 혼합에 따른 온도변화를 Fig. 1에 나타내었다. 음식물류 폐기물 단용 (FW: 탈수케이크와 톱밥)에서는 퇴비화 1일차부터 온도가 완만하게 상승하였으며, 약 10일차에 최고점에 도달하였다. 그 후 서서히 온도가 하강하여 퇴비화 35일차 이후로 퇴비온도는 25~34°C의 대기온도와 유사하게 나타나면서 일정하게 유지되었다. 음식물류 폐기물에 우분, 돈분, 계분 혼합은 퇴비 더미의 온도를 급격히 상승시켰고, 퇴비화 3~7일차에 최고온도인 68~72°C에 도달하였다. 우분 및 계분 혼합한 퇴비는 퇴비화 30일차 전·후로 퇴비온도는 안정화 되었고, 음식물류 폐기물과 돈분을 혼합의 경우에는 퇴비화 30일차에 퇴비온도가 급격히 감소되어 다시 상승, 그리고 퇴비화 약 45일 이후에 퇴비온도가 안정화 되었다.

이와 같이 퇴비더미의 온도변화는 원료의 특성과 부자재와의 혼합비, 수분함량, 공기공급 조건에 의해 크게 달라질 수 있다 (Bueno et al., 2008; Yu and Chang, 1998). 음식물류 폐기물의 퇴비화에 대한 선행 연구결과를 참조한 결과, 대부분 퇴비화 5~7일째에 최고온도가 약 50~70°C까지 상승하였으며, 퇴비화 20~30일 이후로 온도변화가 크게 나타나지 않았다 (Lee et al., 2017). Fig. 1에서와 같이, 음식물쓰레기 탈수케이크와 가축분 혼합은 퇴비화 시작 1~5일째에 퇴비온도가 약 70°C 까지 상승되었고, 이는 전체 퇴비화 기간을 단축시키는 효과가 있었다. 음식물류 폐기물의 퇴비화는 혼합원료의 질소 첨가에 따라 차이가 더욱 크게 나타나기 때문에, 질소를 3.0% 함유한 돈분 및 계분의 혼합이 초기 퇴비온도 등 퇴비화에 영향을 끼친 것으로 판단된다 (Chang et al., 2008; Sohn et al., 1996; Lee et al., 2001; Park, 2003).

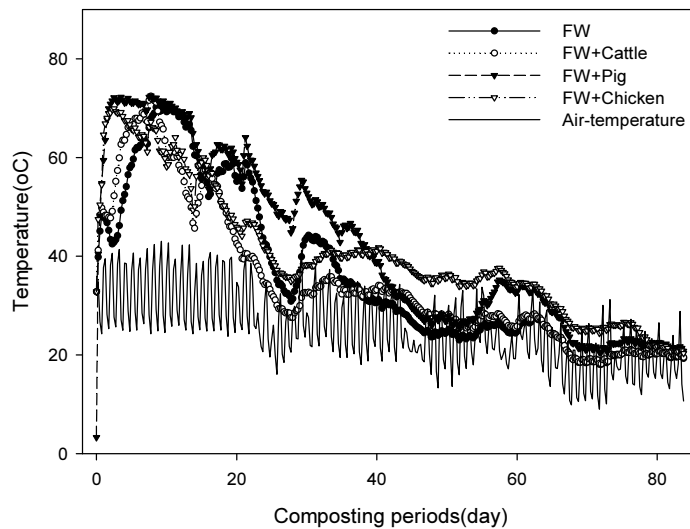


Fig. 1. Changes in temperature of compost piles during co-composting with the mixture of food and animal waste.

pH 및 EC 변화 퇴비화에서 pH는 퇴비 부숙의 간접적 지표로 이용될 수 있으며, 퇴비화 과정 중 미생물 활성의 최적범위는 6.0~9.0 정도이다 (Miller, 1992). 음식물류 폐기물은 퇴비화 초기에 산성 pH를 나타내는 경우가 많은데 이는 퇴비화 과정에서 발생하는 유기산의 영향 때문이라는 선행 연구 결과가 있다 (Lee et al., 2004; Chang et al., 1995). 이러한 낮은 pH에서는 퇴비화에 관여하는 세균, 방선균 등의 미생물 활성이 저해될 수 있다. 그러나 Fig. 2와 같이, 음식물류 폐기물의 탈수케이이크와 톱밥을 혼합한 퇴비 (FW)는 퇴비화 초기의 pH는 6.95 이었고, 가축분 혼합한 퇴비는 pH 6.94~7.02로 모두 중성 부근을 나타내었다. 퇴비화 과정에서 FW는 퇴비화 21일차부터 pH가 급격히 상승하여 pH 7.45~7.63을 유지한 반면, 초기 퇴비화 속도가 빠른 우분 (FW + Cattle)과 계분 혼합퇴비 (FW + Chicken)의 pH는 퇴비화 초기 pH 7.0에서 14일 pH 7.8로 상승한 이후에 서서히 감소하는 경향을, 돈분 혼합퇴비 (FW + Pig)의 pH는 음식물류폐기물 퇴비와 유사한 경향을 나타내었다. 퇴비의 pH 상승은 에어펌프와 교반으로 인한 산소공급으로 호기적 조건이 유지되면서 퇴비화 과정 중 유기산의 분해와 단백질로부터 암모니아의 생성에 영향을 받는다 (Said-pullicino et al., 2007). 우분과 계분을 혼합한 최종 퇴비의 pH 감소는 암모니아 휘산 및 질산화가 활발하여 퇴비화 기간이 늘어남에 따라 퇴비 pH의 감소를 초래한 것으로 판단된다. 그러나 음식물류 폐기물의 탈수케이이크와 가축분 혼합한 퇴비는 pH는 7.0~8.0 범위에서 안정화 되었다 (Joo et al., 2007).

퇴비화에서 전기전도도 (EC)의 변화는 미생물에 의해 유기물이 분해되며 생성되는 이온들과 관련이 있으며 (Yun et al., 2012) 토양에 사용하였을 때 식물독성을 나타낼 수 있는 가능성을 평가할 수 있다 (Petric et al., 2012). 음식물류 폐기물 퇴비의 EC는 44.4~53.0 dS m^{-1} 로 나타났고, 가축분 혼합 퇴비는 가축분 종류에 따라 EC 변화의 경향은 차이를 보였다 (Fig. 3). 우분 혼합퇴비의 EC는 25~35 dS m^{-1} 로 퇴비 중 가장 낮은 반면에, 돈분과 계분을 혼합한 퇴비의 EC 범위는 58~70 dS m^{-1} 로 음식물류 폐기물 단용 퇴비보다 더 높았다. Chang et al., (2003)은 일반적인 퇴비의 EC 범위는 25~50 dS m^{-1} 로 보고 하였는데, 음식물류 폐기물과 돈분 및 계분 혼합은 퇴비의 EC를 높이는 것으로 평가되었다.

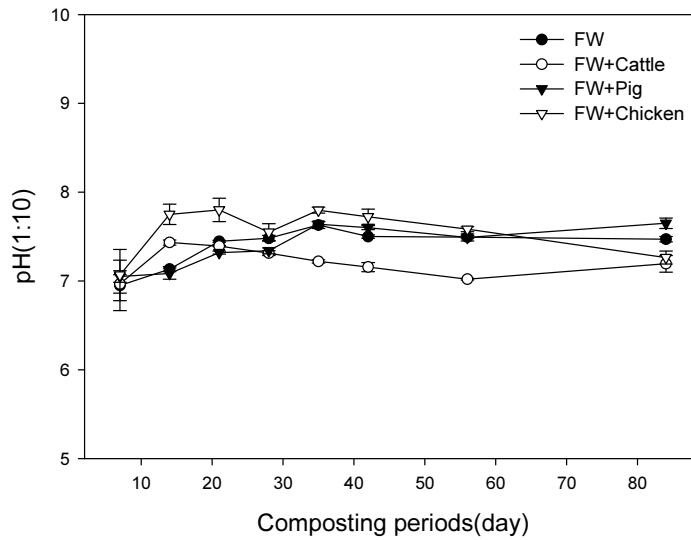


Fig. 2. Changes in pH of compost piles during co-composting with the mixture of food and animal waste.

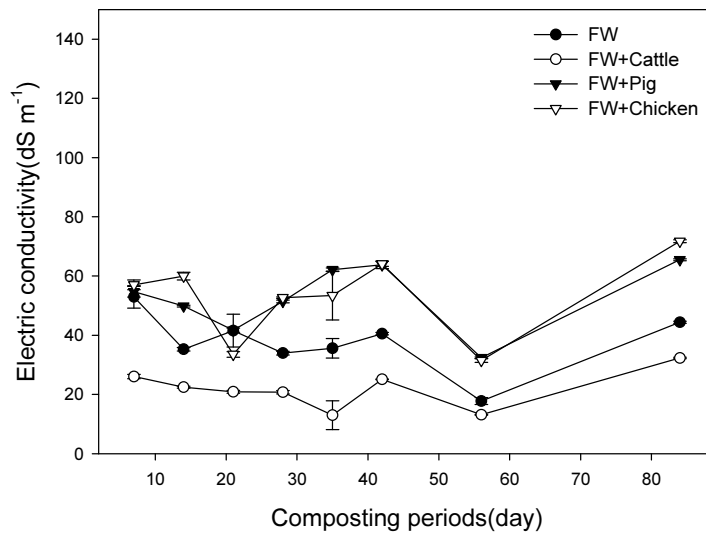


Fig. 3. Changes in EC of compost piles during co-composting with the mixture of food and animal waste.

총 탄소 및 질소함량 퇴비화에서 탄소는 미생물의 유기물 분해를 위한 에너지원으로 이용되며 미생물의 성장에 필요한 단백질 합성을 위해 질소가 이용된다(Lee et al., 2004). 따라서 퇴비화 과정 동안 미생물에 의한 분해과정에서 이산화탄소 발생에 의하여 탄소함량이 감소하는 경향을 보이게 된다(Chang et al., 1995). 음식물류 폐기물 퇴비의 전 탄소 함량은 퇴비화 기간 동안 3.3%, 우분 혼합은 2.5%, 돈분 혼합은 6.7%, 계분 혼합은 0.3% 감소되었고, 최종 퇴비의 전탄소 함량은 35.8~44.1% 사이에 있었다(Fig. 4 & 5). 전질소 함량은 음식물류 폐기물 퇴비에서 44.4% 감소, 우분 및 돈분 혼합은 각각 25.8과 13.9%의 증가를, 계분 혼합은 질소함량 변화가 없었다(Fig. 5). 특히, 퇴비의 질소 함량 변화는 pH 변화에 의존한 무기화된 암모니아의 휘산에 따른 결과로 판단된다. 최종 퇴비의 탄질비는 음식물류 폐기물 및 우분 혼합퇴비가 각각 29.6과 31.3이었고, 돈분 및 계분 혼합 퇴비는 각각 16.2와 23.7로써 퇴비화 촉진되는 것으로 평가되었다.

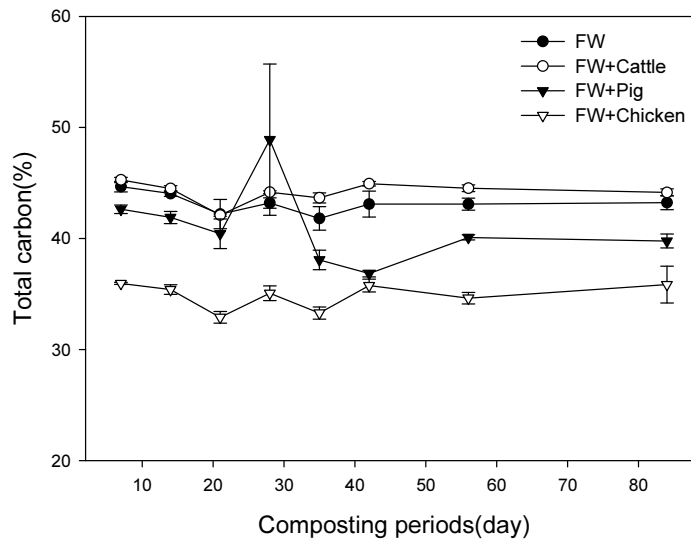


Fig. 4. Changes in total C of compost piles during co-composting with the mixture of food and animal waste.

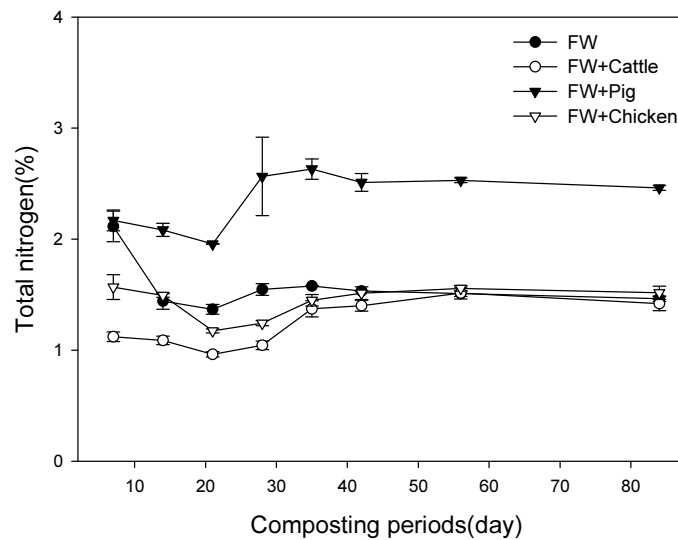


Fig. 5. Changes in total N of compost piles during co-composting with the mixture of food and animal waste.

퇴비부숙도 부숙된 퇴비는 미생물의 활동이 안정화 되고 식물독성을 나타내는 물질이 없는 퇴비로 미숙 퇴비에 서는 작물의 생장을 억제하게 된다 (Zucconi et al., 1985). 본 연구에서는 퇴비화 기간 동안에 비료의 품질검사방법 및 시료채취기준에 준하여 기계적 부숙도 측정방법인 solvita와 종자발아시험을 이용하여 퇴비 부숙도 변화를 조사하였다 (Table 3과 4). Solvita 부숙도 측정법은 퇴비의 암모니아와 이산화탄소 방출량을 조사하여 미생물에 의한 반응이 안정되었는지 확인함으로써 부숙도를 측정하는 방법이다. 부숙지수 (Maturity Index)에서 4~6은 부숙후기, 7~8은 부숙완료 단계로 4 이상일 때 부숙된 것으로 판정한다. Solvita를 이용한 분석결과, 음식물류 폐기물 퇴비는 퇴비화 84일차에도 퇴비의 부숙이 미완료되었으나, 우분혼합 퇴비는 56일차에, 돈분 및 계분 혼합 퇴비는 84일차에 각각 부숙 완료로 판정되었다 (Table 3). 또한 무종자 (*Raphanus sativus* L.)를 이용한 발아시험 결과, 발아율과 뿌리길이를 통해

산출한 발아지수 (GI) 70 이상을 만족한 퇴비화 기간은 음식물류 폐기물 퇴비는 28일, 우분 혼합은 14일, 돈분 혼합은 35일, 계분 혼합은 21일차에 발아지수 기준을 만족하였다 (Table 4). 특히 우분 혼합 퇴비의 EC가 발아지수에 영향을 미친 것으로 해석되며, 돈분 및 계분 혼합 퇴비의 EC는 각각 65.5와 71.75 dS m⁻¹로 일반 퇴비의 EC 25~50 dS m⁻¹ 보다 높았고 (Fig. 3), 이는 음식물류 폐기물 단용 퇴비보다 낮은 발아지수를 초래한 것으로 해석된다. 음식물류 폐기물 과 돈분 및 계분의 혼합 퇴비의 높은 EC를 나타내기 때문에 작물 근권 발달의 저해 가능성이 높은 것으로 평가된다.

Table 3. Evaluation of compost maturity by Solvita index after co-composting for 84 days.

Compost	Compost period (day)							
	7	14	21	28	35	42	56	84
FW	4	1	1	2	2	2	3	3
FW + Cattle	3	5	2	2	2	3	5	7
FW + Pig	2	3	1	2	2	2	3	6
FW + Chicken	2	2	2	3	1	2	2	7

Table 4. Evaluation of compost maturity by germination index after co-composting for 84 days.

Compost	Compost period (day)							
	7	14	21	28	35	42	56	84
FW	37	69	68	78	74	109	107	100
FW + Cattle	50	85	87	75	115	111	108	102
FW + Pig	65	69	82	56	77	73	89	100
FW + Chicken	47	47	75	99	99	95	115	99
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	37.7	24.1	ns

Note) ns means not significant.

퇴비품질 비료공정규격에 의하면 유기물은 퇴비의 주성분 필수함량으로서 최소 30% 이상이며 유기물/질소 비가 45이하이어야 한다 (RDA, 2013). 본 연구에서 최종퇴비 품질 중 일반성분 특성은 Table 5에 나타내었다. 유기물함량은 61.8~74.5%로 우분, 돈분, 계분에 음식물류 폐기물의 혼합은 유기물 함량을 감소시켰다. 대조구의 유기물/질소 비는 50.9이었고, 우분, 돈분, 계분을 혼합한 퇴비의 유기물/질소 비는 각각 53.6, 27.9, 40.7로 질소함량이 2.46%로 가장 높았던 돈분 혼합 퇴비의 유기물/질소 비가 가장 낮은 결과를 보였다. 선행 연구에서는 퇴비화 과정동안 퇴비의 유기물 함량과 유기물/질소 비는 감소하는 경향을 나타내는데 (Yun et al., 2012), 돈분과 계분 혼합퇴비의 유기물/질소 비가 낮은 것은 퇴비화가 촉진된 결과로 사료된다. 최종 우분, 돈분, 계분 혼합 퇴비의 염분함량은 각각 0.46, 1.71, 0.97%이었고, 음식물류 폐기물과 돈분을 혼합할 경우 타 처리구에 비해 염분함량 가장 높았다. 퇴비에 포함된 염분함량은 작물의 수분흡수를 저해할 수 있기 때문에 (Hayward and Wadleigh, 1949; Shannon, 1997). 음식물류 폐기물과 돈분 및 계분을 혼합한 퇴비는 작물 재배 시 적정 사용이 필요할 것으로 판단된다.

중금속은 이동성이 적어 퇴비 사용에 의해 토양에 축적되어 작물에 위해성을 나타낼 수 있다. 비료공정규격에서는 퇴비와 그 원료에 대해 As, Cd, Hg, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn의 중금속 함량 기준을 명시하고 있으며 각각의 함량 기준은 As

45 mg kg⁻¹, Cr 200 mg kg⁻¹, Cd 5 mg kg⁻¹, Cu 360 mg kg⁻¹, Ni 45 mg kg⁻¹, Pb 130 mg kg⁻¹, Zn 900 mg kg⁻¹, Hg 2 mg kg⁻¹ 이하이다 (RDA, 2013). 퇴비화 종료 후 최종퇴비에서 중금속 함량을 조사한 결과 (Table 5), As 0.66~1.15 mg kg⁻¹, Cd 0.13~0.38 mg kg⁻¹, Cr 4.31~11.51 mg kg⁻¹, Cu 10.5~121.2 mg kg⁻¹, Ni 1.76~5.56 mg kg⁻¹, Pb 3.20~7.64 mg kg⁻¹, Zn 45.3~337.9 mg kg⁻¹ (Hg 검출한계 이하)으로 모든 처리구에서 중금속 함량은 기준 미만으로 나타났다 (Table 6). 돈분과 음식물류 폐기물을 혼합함에 따라 Cr, Cu, Ni, Pb, Zn 함량이 높아졌고, 계분의 혼합은 Cr, Cu, Zn 함량 또한 증가되었다. 퇴비품질 항목 중 유해성분으로 분류되는 중금속 함량은 음식물류 폐기물과 돈분 및 계분 혼합으로 높아지는 것으로 평가되었다.

Table 5. Characteristics of compost after co-composting for 84 days.

Compost	Moisture	OM	TN	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	NaCl
----- (%) -----								
FW	66.7	74.5	1.46	0.28	0.45	2.64	0.16	0.80
FW + Cattle	63.8	76.1	1.42	0.26	0.38	2.19	0.31	0.46
FW + Pig	61.1	68.6	2.46	0.86	1.88	5.89	1.77	1.71
FW + Chicken	62.7	61.8	1.52	0.52	1.12	4.16	1.34	0.97
LSD _{0.05}	2.42	6.21	0.17	0.11	0.18	0.65	0.14	0.31

Table 6. Heavy metal contents of compost after co-composting for 84 days.

Compost	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
----- (mg kg ⁻¹) -----							
FW	0.66	0.37	6.61	13.9	2.04	4.99	45.3
FW + Cattle	0.55	0.21	4.31	10.5	1.76	3.37	52.7
FW + Pig	1.11	0.38	11.51	121.2	5.56	7.64	337.9
FW + Chicken	1.15	0.13	5.07	38.9	2.74	3.20	309.3
LSD _{0.05}	0.42	0.09	2.67	5.04	0.62	2.22	52.9

Note) Hg: non-detected.

Conclusions

본 연구에서는 음식물류 폐기물과 가축분을 혼합하여 84일 간의 퇴비화 과정 중 퇴비의 특성변화를 평가하였다. 음식물류 폐기물과 가축분 혼합 퇴비는 퇴비의 부숙 기간을 단축시켰다. pH는 퇴비화 초기 7.0 부근에서 상승하여 최종 퇴비에서는 7.5 부근으로 조사되어 안정된 퇴비의 pH를 나타내었고, 전탄소 함량은 초기 37~45%에서 최종퇴비에서는 35~40.0%로 소폭 감소하였다. 음식물류 폐기물과 돈분 및 계분을 혼합 한 퇴비에서는 질소 함량 증가로 탄질비가 각각 16.2와 23.7를 나타내었고 이것은 퇴비화를 촉진시키는 것으로 평가되었다. 음식물류 폐기물과 가축분의 혼합 함에 따라 염분함량과 중금속 함량은 증가되지만, 비료공정규격의 기준에는 적합하였다. 본 연구 결과, 음식물류 폐기물과 가축분 혼합은 퇴비의 부숙을 촉진시키는 것을 확인하였다. 그러나 돈분 및 계분 의 혼합은 EC의 상승을 초래 하기 때문에 퇴비 시용에 따른 작물 및 토양특성 평가에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Acknowledgment

This study was supported by research project of National Institute of Agricultural Science (PJ010925012017), Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Bueno, P., R. Tapias, F. López, and M.J. Díaz. 2008. Optimizing composting parameters for nitrogen conservation in composting. *Bioresour. Technol.* 99(11):5069-5077.
- Chang, K.W. and Y.S. Yu. 2003. Composting of small scale static pile by addition of microorganism. *J. Kor. Org. Resour. Recyc. Assoc.* 11(1):149-153.
- Chang, K.W., I.B. Lee, and J.S. Lim. 1995. Changes of physicochemical properties during the composting of Korean food waste. *J. Kor. Org. Resour. Recyc. Assoc.* 3(1):3-11.
- 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(2):137-142.
- De Bertoldi, M.D., G.E. Vallini, and A. Pera. 1983. The biology of composting: a review. *Waste Manag. Research.* 1(2):157-176.
- Dao, T.H. 1999. Coamendments to modify phosphorus extractability and nitrogen/phosphorus ratio in feedlot manure and composted manure. *J. Environ. Qual.* 28:1114-1121.
- Hayward, H.E. and C.H. Wadleigh. 1949. Plant growth on saline and alkali soils. *Adv. Agron.* 1:1-38.
- Joo, J.H., D.H. Kim, J.H. Yoo, and Y.S. Ok. 2007. The effect of some amendments to reduce ammonia during pig manure composting. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40(4):269-273.
- Kim, N.C. and B.M. Jung. 2006. The experiment of process efficiency and salt elimination in food waste compost using triple salt. *J. Korean Org. Resour. Recycl. Assoc.* 14(2):83-90.
- Kwon, S.I., K.H. So, S.G. Hong, G.Y. Kim, J.T. Lee, K.S. Seong, K.R. Kim, D.B. Lee, and K.Y. Jung. 2009a. The effect of continuous application of the food waste composts on the paddy field environment. *J. Kor. Org. Resour. Recyc. Assoc.* 17(3):55-70.
- Kwon, S.I., K.H. So, S.G. Hong, G.Y. Kim, J.T. Lee, K.S. Seong, K.R. Kim, D.B. Lee, and K.Y. Jung. 2009b. The continuous application effect of the food waste composts on the cultivated upland soils and plants. *J. Kor. Org. Resour. Recyc. Assoc.* 17(3):71-81.
- Lee, C.H., S.J. Park, M.S. Kim, S.G. Yun, B.G. Ko, D.B. Lee, S.C. Kim, and T.K. Oh. 2015. Characteristics of compost produced in food waste processing facility. *CNU J. Agri. Sci.* 42(3):177-181.
- Lee, C.H., B.G. Ko, M.S. Kim, S.J. Park, S.G. Yun, and T.K. Oh. 2016. Effect of food waste compost on crop productivity and soil chemical properties under rice and pepper cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49(6):682-688.
- Lee, C.H., K.K. Ko, S.C. Kim, S.C. Kim, J.S. Sung, Y. Shinogi, and T.K. Oh. 2017. Characteristics of food waste composting with various particle sizes of sawdust. *J. Fac. Agr. Kyushu Univ.* 62(1):123-129.
- Lee, D.S., J.B. Lee, M.Y. Lee, R.N. Joo, K.S. Lee, S.W. Min, B.D. Hong, and D.Y. Chung. 2016. Chemical properties of liquid swine manure for fermentation step in public livestock recycling center. *Korean J. Agricultural Science* 43:424-431.
- Lee, J.T., Y.G. Nam, and J.I. Lee. 2001. Changes of physico-chemical properties and microflora of pig manure due to composting with some bulking agents. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34:134-144.
- Lee, I.B., C.K. Park, and P.J. Kim. 2001. Study on the lowering of NaCl content by co-composting food wastes. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34(1):17-25.

- Lee, S.E., H.J. Ahn, S.K. Youn, S.M. Kim, and K.Y. Jung. 2000. Application effect of food waste compost abundant in NaCl on the growth and cationic balance of rice plant on paddy soil. *Korean J. Soil Sci. & Fert.* 33(2):100-108.
- Lee, Y.S., H.K. Choi, J.K. Kim, Y.H. Lee, K.T. Chung, J.S. Roh, and M.G. Suh. 2004. Optimum mixing ratio of sewage sludge during composting of food wastes. *J. Kor. Envir. Health.* 30(5):366-373.
- Miller, F.C. and F.B. Metting Jr. 1992. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors. *Soil. Microb. Ecol. Applic. Agr. Envir. Manag.* 515-544.
- Park, S.H. 2003. Comparison of effects of chaff and sawdust on aerobic composting of food wastes. *J. Kor. Envir. Health.* 29(3):28-34.
- Phae, C.G., Y.S. Chu, and J. S. Park. 2002. Investigation of affect on composting process and plant growth of salt concentration in food waste. *J. Kor. Org. Resour. Recyc. Assoc.* 10(4):103-111.
- Petric, I., A. Helić, and E.A. Avdić. 2012. Evolution of process parameters and determination of kinetics for co-composting of organic fraction of municipal solid waste with poultry manure *Bioresour. Technol.* 117:107-116.
- Rural Development Administration (RDA). 2013. Sampling and analysis methods for fertilizer.
- Rynk, R., M. van de Kamp, G.B. Willson, M.E. Singley, T.L. Richard, J.J. Kolega, F.R. Gouin, L. Jr. Lucien, D. Kay, D.W. Murphy, H.A.J. Hoitink, and W.F. Brinton. 1992. *On-farm composting handbook*. National resource, agriculture and engineering service. Ithaca, New York, USA. p.16.
- Said-Pullicino, D., F.G. Erriquens, and G. Gigliotti. 2007. Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity. *Bioresour. Technol.* 98(9):1822-1831.
- Shannon, M.C. 1997. Adaption of plants to salinity. *Adv. Agron.* 60:75-120.
- Sikora, L.J. and D. M. Sullivan. 2000. Case studies of municipal and on-farm composting in the United States. p. 605-623. In J. Power and W. Dick (ed.) *Land application of agricultural, industrial, and municipal by-products*. SSSA Book Ser. No. 6. SSSA, Madison, WI.
- Sohn, B.K., J.H. Hong, and K.J. Park. 1996. Comparative studies on static windrow and aerated static pile composting of the mixtures of cattle manure and rice hulls : I. Variation of Physico-chemical Parameters. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 29(4):403-410.
- Sweeten, J.M. 1988. Composting manure sludge. In *National poultry waste management symp.*, Columbus, OH. Dep. of Poultry Sci. Ohio State Univ., Columbus. p. 38-44.
- Sullivan, D.M., S.C. Fransen, A.I. Bary, and C.G. Cogger. 1998. Slow-release nitrogen from composts: The bulking agent is more than just fluff. p. 319-325. In Brown et al. (ed.) *Beneficial co-utilization of agricultural, municipal and industrial by-products*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.
- Touart, A.P. 1999. Investing upfront in a compost factory. *Biocycle.* 40:31-33.
- Yu, Y.S. and K.W. Chang. 1998. Changes of physicochemical properties of paper mill sludge and sewage sludge mixed with various ratios of a bulking agent during composting. *J. Kor. Org. Resour. Recyc. Assoc.* 6(2):45-57.
- Yun, H.B., Y.J. Lee, M.S. Kim, S.M. Lee, Y.U. Lee, and Y.B. Lee. 2012. Composting of pig manure affected by mixed ratio of sawdust and rice hull. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(6):1032-1036.
- Zucconi, F., A. Monaco, M. Forte, and M.D. Bertoldi. 1985. *Phytotoxins during the stabilization of organic matter. Composting of agricultural and other wastes*. Elsevier Applied Science Publishers, London, England.