

## 톱밥 및 왕겨 혼합조건이 돈분 퇴비화에 미치는 영향

윤홍배 · 이예진 · 김명숙 · 이상민 · 이연 · 이용복<sup>1\*</sup>

농촌진흥청 국립농업과학원, <sup>1</sup>경상대학교 농업생명과학원

## Composting of Pig Manure Affected by Mixed Ratio of Sawdust and Rice Hull

Hong-Bae Yun, Ye-Jin Lee, Myung-Sook Kim, Sang-Min Lee, Yeoun Lee, and Yong Bok Lee<sup>1\*</sup>

National Academy of Agricultural Science, RDA.

<sup>1</sup>Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University

A bulking agent is an essential material for composting of high-moisture livestock manure such as pig slurry. Sawdust has been used as the most popular bulking agent but resources are limited in Korea. In this study, the feasibility of rice hull as a bulking agent was examined for composting of solid pig manure. The solid pig manure was mixed with 15% sawdust (PM+SD15), 15% rice hull (PM+RH15), 10% sawdust and 5% rice hull (PM+SD10+RH5), and 5% sawdust and 10% rice hull (PM+SD5+RH10) based on fresh weight. These mixtures were composted for 35 days. The average temperature of the composting pile for 35 days was higher in PM+SD10+RH5 and PM+SD5+RH10 than in PM+SD15 and PM+RH15. The mass loss of PM+SD10+RH5 and PM+SD5+RH10 were 36.7 and 36.4%, respectively, which were higher than that of PM+SD15 and PM+RH15. After composting, organic matter content and organic matter/nitrogen ratio in all treatments met the official standards of commercial fertilizers. We concluded that rice hull may be a good bulking agent for pig manure composting when it is used in mixture with sawdust.

**Key words:** Pig manure, Sawdust, Rice hull, Compost, Bulking agent

### 서 언

우리나라의 연간 가축분뇨 발생량은 2010년 기준으로 4,650만톤 내외이며, 이중 돈분뇨는 전체 분뇨발생량의 약 38%를 차지하며 (Kwon et al., 2010), 우분과 계분에 비해 수분 함량이 높은 특징을 가지고 있다. 국내의 슬러리 돈사에서 발생하는 돈분뇨의 수분 함량은 돈사 관리방법 및 계절에 따라 다소의 차이는 있지만 평균 95-98%로 알려져 있다 (Kim et al., 2011).

퇴비화는 세계적으로 가축분뇨의 친환경적 처리와 자원화 방법으로 가장 많이 활용되고 있다. 가축분뇨는 퇴비화 과정을 통해서 병원성 미생물 및 잡초 종자가 사멸되고, 악취가 감소되며, 그리고 30-50%의 부피가 감소되는 것으로 알려져 있다 (Sweeten, 1988; Dao, 1999). 국내에서도 가축분 자원화 방법으로 퇴비화가 가장 많은편이며, 전체 발생량의 약 80% 이상이 퇴액비형태로 부숙과정을 통하여 농경지에 활용되고 있다 (RDA, 2007). 국내의 양돈농가에서 발생하는 분뇨는 대부분 슬러리 형태이다. 슬러리 돈분뇨의 자원화는 분뇨 슬러리를 바로 액비 저장조로 이송하여 발효

시키는 방법과 슬러리를 고액분리한 후 고형분은 톱밥과 혼용하여 퇴비화하고 액상은 액비 저장조에서 발효시키는 방법이 대부분이다. 그러나 고액분리한 돈분 고형분의 경우 탄질율이 낮고 수분함량이 여전히 높기 때문에 퇴비를 제조할 경우 퇴비화 효율 향상을 위해서 탄소원 보충 또는 수분 조절을 위한 충전제 (bulking agent)가 반드시 필요하다.

가축분을 이용하여 퇴비를 제조할 때 퇴비화 속도 및 물질변화는 가축분뇨 종류, 수분 조절제 종류 및 이들 원료의 혼합비율 등에 따라 매우 가변적이다. 지금까지 알려진 가장 이상적인 퇴비화 조건은 탄질율 (C/N ratio) 30 내외 그리고 수분함량 60-70%로 알려져 있다 (Rynk et al., 1992; Lee et al., 2001). 현재 국내에서 돈분뇨 퇴비화 시 가장 많이 활용되고 있는 충전제는 톱밥이지만, 최근 국내에서는 돈분뇨 발생량 증가에 따른 톱밥 수요 급증은 돈분뇨 퇴비화에 대한 제한요인이 되고 있다. 이와 같은 문제의 해결을 위해서 지금까지 여러 연구자들은 가축분 퇴비제조 시 충전재로써 왕겨, 볏짚 및 파쇄목 등의 활용 가능성을 제시하였다 (Mori et al., 1981; Kim et al., 1997; Larney et al., 2008; Lee et al., 2001; Lim et al., 2009). 이중 왕겨는 원료 수급의 편리성 및 통기성 향상등의 실용적인 적용면에서 우수한 특성을 지고 있지만, 단독으로 사용시 탄소원 부족

접수 : 2012. 10. 12 수리 : 2012. 11. 23

\*연락처 : Phone: +82557721967

E-mail: yblee@gnu.ac.kr

으로 인한 고온 지속효과가 낮은 한계점을 가지고 있다 (Sohn et al., 1996; Lee et al., 2001). 따라서 본 연구에서는 양돈장에서 발생된 슬러리를 고액분리한 고품분에 대하여 퇴비 제조 시 톱밥 사용량을 줄이는 방법을 모색하고자, 톱밥과 왕겨의 혼용비율을 달리하여 퇴비 제조과정 중 온도, 퇴비의 총 무게 변화 등을 분석하였다.

### 재료 및 방법

**퇴비 원료특성 및 제조방법** 퇴비제조에 이용된 돈분의 고품분은 경기도 수원소재 국립축산과학원 양돈장에서 배출된 것이며, 충전재로 이용된 톱밥과 왕겨는 시중에서 구입하였다. 왕겨는 미분쇄 왕겨를 이용하였으며, 이들 원료의 특성은 Table 1에 나타내었다. 돈분의 수분함량은 72.6%, 총 질소함량은 2.32%, 탄질율은 17이었으며, 톱밥의 탄질율은 742로 매우 높았으며, 왕겨의 탄질율은 88을 나타내었다.

퇴비제조는 34 L 사각 플라스틱박스 (543×363×268 mm)에 고품돈분 원료와 보조재로써 톱밥과 왕겨를 혼용비율을 각각 달리하여 2반복 수행하였다. 고품돈분 원료는 처리별 20kg를 사용하였으며, 이에 톱밥 및 왕겨 혼합은 무게 비율 (wt wt<sup>-1</sup>)로 각각 처리하였다. 처리내용은 ① 돈분+톱밥15% (PM+SD15%, 대조구), ② 돈분+왕겨15% (PM+RH15%), ③ 돈분+톱밥10%+왕겨5% (PM+SD10%+RH5%) 및 ④ 돈분+톱밥5%+왕겨10% (PM+SD5%+RH10%)로 하였다. 퇴비화의 원활한 진행을 위하여 flowmeter를 이용하여 퇴비제조 시험 35일 동안 30분 간격 (on-off)으로 3 L min<sup>-1</sup>의 공기를 주입하였다. 한편, 퇴비의 총 무게 감소율 측정을 위하여 주 1회 무게를 측정하였으며, 무게 측정 후 바로 뒤집기를 실시하여 고루 섞고 분석용 시료를 채취 하였다.

**퇴비 온도 측정 및 성분 분석** 퇴비화 정도를 간접적으로 판단할 수 있는 지표로써 퇴비의 온도를 측정하였다. 퇴비의 온도 측정은 퇴비 중심부에 온도 센서를 묻고 데이터 로거 (Watch dog, Spectrum Technologies, Inc. 450)를 이용하여 2시간 간격으로 값을 획득하여 시험 종료 후 이들 값을 평균하여 변화패턴을 분석하였다. 퇴비의 질소분석은 식물체 분해법 (NIAST, 2000)에 준하여 산 분해 후 킬달 증

류법으로 실시하였으며, pH 및 EC측정은 습퇴비 5g에 증류수 50mL을 가하여 30분간 간헐적으로 진탕 후 측정하였다. EC 값은 측정치에 희석배수 10을 곱하여 나타내었다. 2012년 현행 국내 비료공정규격에서는 퇴비품질 기준을 C/N ratio보다 유기물 대 질소비 즉, OM/N 비로 나타내고 있는 바, 본 연구에서는 유기물함량 분석을 회화법 (Seo, 1988)으로 측정하여 나타내었다.

### 결과 및 고찰

**퇴비의 온도변화** 퇴비화 기간 동안 온도변화는 생물학적 변화에서 비롯된 것으로 퇴비화 과정을 가장 잘 나타내는 지표이다 (Bustamante et al., 2008). 온도변화는 시험 개시 1-2일차에 모든 처리구에서 최고점에 도달하였으며, 이때 최고 온도는 PM+SD15, PM+RH15, PM+SD10+RH5, PM+SD5+RH10 처리에서 각각 58, 67, 64, 67°C 이었다 (Fig. 1). 따라서 퇴비화 초기 온도 상승효과는 톱밥보다는 왕겨 단독 및 혼합처리구가 우수한 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 왕겨 처리로 인한 통기성 향상이 호기적 발효에 필요한 산소 공급이 많았기 때문으로 판단된다. Lee et al. (2001)은 가축분 퇴비화 시 왕겨 처리는 처리 1주일

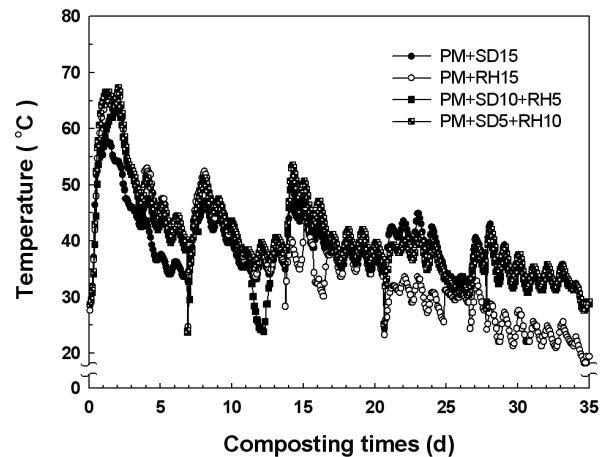


Fig. 1. Changes in the temperature during composting for 35 days. Terms represent the rate of sawdust (SD), rice hull (RH) addition at 5, 10, or 15% of pig manure (PM) fresh weight.

Table 1. Properties of the composting materials.

Parameters	Pig manure	Sawdust	Rice hull
pH (1:10)	7.8	5.8	6.8
Water content (%)	72.6	9.6	11.0
Total Nitrogen (DM, g kg <sup>-1</sup> )	23.2	0.6	5.0
C/N ratio	17	742	88

이내에 70°C 이상 상승하였고, 톱밥 처리는 약 60°C를 나타내었다고 보고 하였다. Falcon et al. (1987)은 퇴비온도가 70°C 이상 상승의 경우는 양분 손실 또는 유효미생물의 생육억제로 인해 퇴비화가 지연된다고 하였다. 그리고 Lo et al. (1993)은 퇴비제조에 있어서 퇴비의 온도는 퇴비화를 가름하는 가장 중요한 요인중 하나로서 최적의 퇴비화 온도는 50–55°C라고 하였다. 따라서 가축분 퇴비화 시 왕겨처리로 인한 과도한 온도 상승 억제를 위해서 톱밥과 같은 보조재료 혼합의 필요성이 강조되었다 (Lee et al., 2001). 시험기간내 퇴비의 온도는 모든 처리에서 뒤집기 직후 약간의 상승효과가 있었으나 장기간 지속되지 못하였다. 특히, 왕겨 15%를 혼합 처리한 PM+RH15% 경우는 2주 이전까지 타 처리에 비해 온도가 높게 유지되었으나, 그 이후 타 처리에 비해 낮은 온도를 보였다. 이는 왕겨를 단독 혼합함으로써 수분 보유력과 탄소원 공급효과가 톱밥보다 낮아 미생물의 활성을 감소 시켰기 때문으로 생각된다.

**pH 와 EC의 변화** 퇴비화 기간 중 pH변화에 대하여 Cardenas and Wang (1989)는 퇴비화 초기에는 유기산 생성

에 의해 감소하다 물질분해가 본격화되면 암모니아 생성의 영향으로 인해 상승하며, 일정기간 경과 후 퇴비화 안정기를 거치면 pH가 7–8정도가 된다고 하였다. 본 연구에서는 모든 처리구에서 퇴비화 초기인 2주차까지는 감소하다가 3주차부터 상승하는 결과를 나타내었다 (Fig. 2). 그러나 퇴비의 안정화단계의 pH 7–8까지 도달하지 못한 것은 시험기간이 35일로 다소 단기간 수행되었으며, 게다가 퇴비규모가 작은 소규모 조건에서 수행되었기 때문이라 생각된다. 퇴비화 과정 중 EC (electrical conductivity,  $\text{dS m}^{-1}$ ) 값의 변화는 유기물 분해시 생성되는 이온들의 활성과 밀접한 관계가 있다. Inbar et al. (1993)은 우분퇴비화 과정 중 EC 값은  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ , P 등에 의해 상승한다고 하였으며, Huang et al. (2001)은 돈분에 낙엽을 혼합 퇴비화 시험에서 EC 값은 2주차에  $28 \text{ dS m}^{-1}$  내외를 상회하는 값으로 가장 높았으며, 그 이후 점차 감소하여 9주차에는  $20 \text{ dS m}^{-1}$  내외를 나타내었다. 본 시험의 EC 값 변화는 모든 처리가 유사한 경향을 나타내어 4주차 까지 최고  $27\text{--}28 \text{ dS m}^{-1}$  상승하였으며, 그 이후 5주차에서는 낮아지는 결과를 보였다 (Fig. 2).

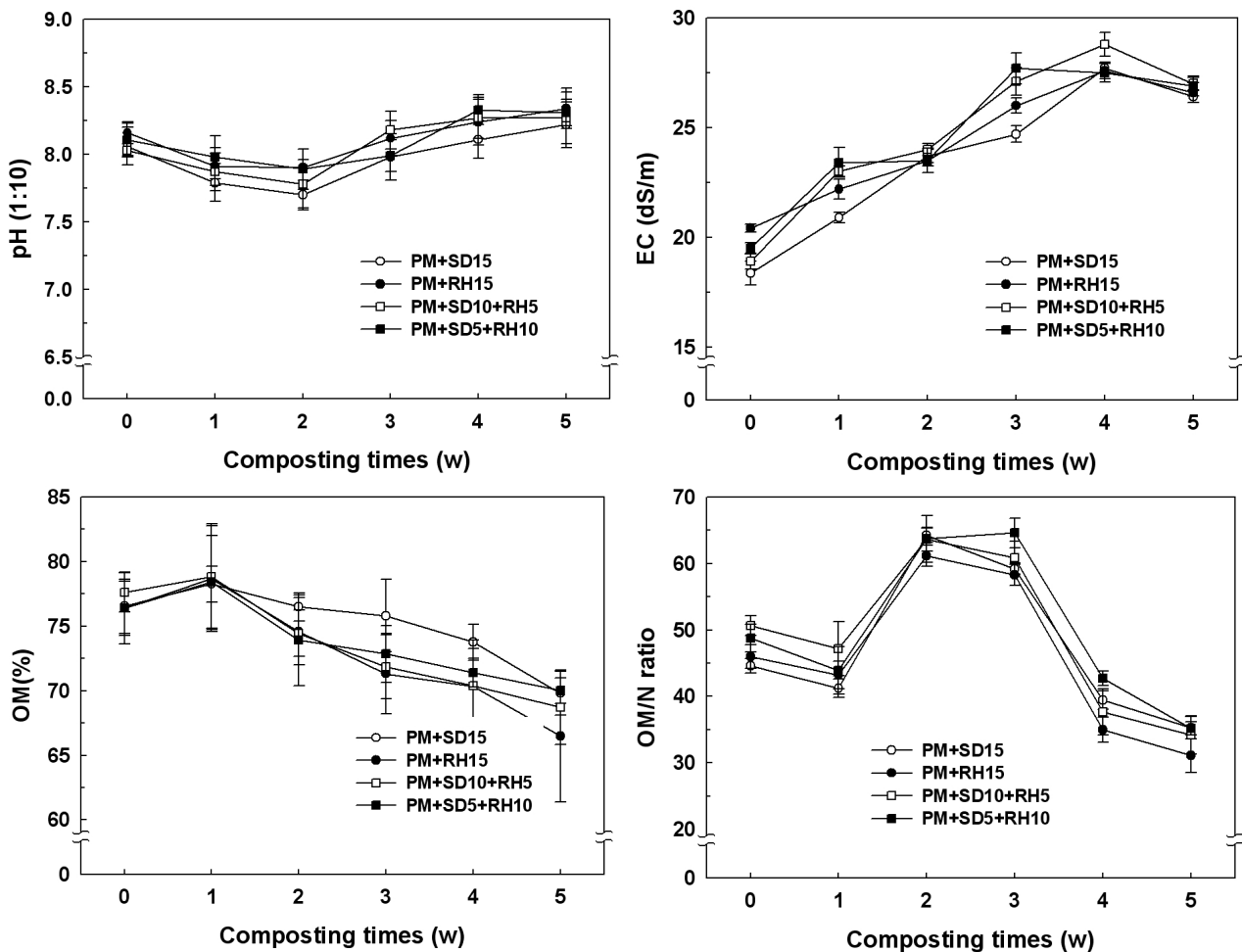


Fig. 2. Changes in the physico-chemical properties during composting for 35 days. Terms represent the rate of sawdust (SD), rice hull (RH) addition at 5, 10, or 15% of pig manure (PM) fresh weight. The vertical bars are standard errors.

**유기물 함량 및 OM/N ratio 변화** 현행 국내 비료공정규격에서는 퇴비 제조시 원료로써 가축분뇨가 50% 이상 사용된 경우를 가축분퇴비로 명명하고 있으며, 가축분퇴비의 유기물함량은 건물중에 대하여 55% 이상, OM/N ratio는 40이하로 규정하고 있다. 본 시험에서는 시험 종료시점인 5주차에서 유기물함량 및 OM/N ratio 모두 비료공정규격의 범위를 만족하였다. 따라서 가축분 퇴비화 시 톱밥대신 5-10% 왕겨 혼합이 가능한 것으로 나타났다. 유기물함량은 PM+RH15와 PM+SD10+RH5 에서 가장 많은 감소를 보였으며, PM+SD5+RH10에서 가장 적었다. 다수의 연구결과를 통해서 볼 때 퇴비의 유기물함량과 OM/N ratio는 시험개시 때 보다 시험종료 후 다소 감소하는 경향을 나타내고 있다 (Lee et al., 2001; Kim et al., 2001; Chang et al., 2002). 본 연구결과에서도 유기물 함량은 시험개시 1주차 이후 급격히 감소하는 경향을 보였으며, OM/N ratio는 모든 처리에서 2주차에서 시험개시 때 보다 높아졌으나 그 이후 점차 감소하여 시험종료 5주차에서는 감소정도가 급격히 둔화되는 경향을 나타내었다 (Fig. 2). 퇴비화 진행 중 OM/N ratio의 경우 2주차에서 급격히 높아진 것은 유기물의 분해량에 비해 상대적으로 질소 분해량이 적었기 때문으로 생각된다.

**퇴비의 총 무게 변화** 35일간 퇴비의 총 무게 감소율(수분 손실량 포함)을 측정한 결과, PIM+SD10+RH5와 PIM+SD5+RH10처리는 각각36.7%와 36.4%로 타 처리구에 비해 컸다 (Fig. 3). Jeong and Kang (2001)은 90일간 우분 퇴비화시험을 통해 톱밥혼용구는 16%, 왕겨구는 19%, 벧짚구는 35%의 부피가 감소하였다고 하며, Eghball et al. (1997)은 육우 사육장에서 퇴비화기간 중 퇴비의 무게 감소율(건물기준)을 측정한 결과 14.9-20.4%라고 하였다. 이들 결과를 통하여 볼 때 퇴비화 진행에 따라 유기물함량의 감소 및 수

분변화는 퇴비의 부피 또는 중량의 변화를 동반함으로 퇴비의 온도변화와 더불어 퇴비화 정도를 나타내는 간접지표로 사용가능하다고 생각된다. 따라서 PIM+SD10+RH5와 PIM+SD5+RH10처리에서 얻어진 결과로써 퇴비의 온도상승과 무게 감소율을 종합하여 대조구 PIM+SD15와 비교하면 톱밥의 소요량을 줄이기 위해서는 톱밥 사용량의 약 30-65%는 왕겨 대체가 가능할 것으로 판단되었다.

**적 요**

본 연구에서는 돈분퇴비 제조 시 톱밥소요량을 줄이는 방안을 모색하고자 왕겨의 혼용 효과를 분석하였다. 실험기간 35일 동안 퇴비의 평균 온도는 PM+SD5+RH10 와 PM+SD10+RH5 처리구가 가장 높게 유지되었다. 모든 처리구의 유기물함량 및 OM/N ratio는 시험을 종료한 5주차에서 비료공정규격의 범위를 만족하였다. 퇴비의 중량 감소율은 PIM+SD10+RH5와 PIM+SD5+RH10 처리에서 각각 36.7%와 36.4%로 타 처리에 비해 가장 높았다. 따라서 퇴비의 온도상승과 더불어 무게 감소율을 종합해 볼 때 대조구 (PIM+SD15 처리) 대비 PIM+SD10+RH5와 PIM+SD5+RH10 처리에서 왕겨를 활용함으로써 톱밥사용량의 약 30-65% 대체가 가능한 것으로 판단된다.

**사 사**

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업 (과제번호: PJ008569) 의 지원에 의해 이루어진 것임.

**인 용 문 헌**

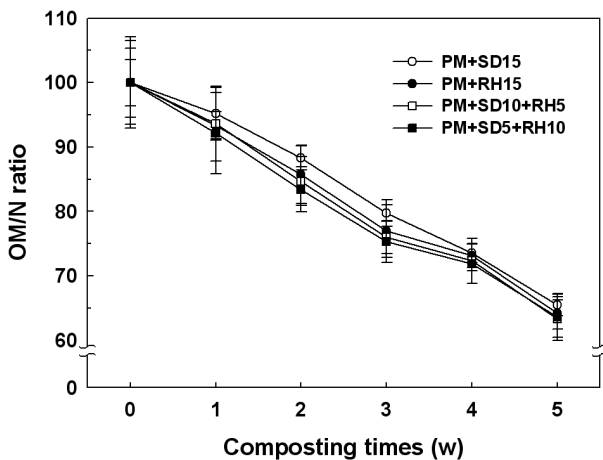
Bustamante, M.A., C. Paredes, F.C. Marhuenda-Egea, A. Perez-Espinoza, M. P. Bernal, and R. Moral. 2008. Co-composting of distillery wastes with animal manures: carbon and nitrogen transformation in the evaluation of compost stability. *Chemosphere*, 72:551-557.

Cardenas, R.R. and L.K. Wang. 1989. Evaluation of city refuse compost maturity; A review. *Biol. Wastes*. 27:115-142.

Chang, K.W., Y.S. Yu, and K.H. Min. 2002. Development of the optimal composting condition for the high quality of pig manure compost. *J. of KOWREC*. 10:112-117.

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.

Eghball, B., J.F. Power, J.E. Gilley, and J.W. Doran. 1997.



**Fig. 3.** Changes in the mass loss during composting for 35 days. Terms represent the rate of sawdust (SD), rice hull (RH) addition at 5, 10, or 15% of pig manure (PM) fresh weight. The vertical bars are standard errors.

- Nutrient, carbon and mass loss during composting of beef cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual.* 26:189-193.
- 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. *Biol. Wastes.* 20:89-99.
- Huang, G.F., M. Fang, Q.T. Wu, L.X. Zhou, and J.W.C. Wong. 2001. Co-composting of pig manure with leaves. *Environ. Technol.* 22:1203-1212.
- Inbar, Y., Y. Hadar, and Y. Chen. 1993. "Recycling of cattle manure: The composting process and characterization of manurity". *J. Environ. Qual.* 22:857-863.
- Jeong K.H. and H. Kang. 2001. Changes of characteristics of livestock fees compost pile during composting period and land application effect of compost. *J. of KOWREC.* 9:56-64.
- Kim, S.H., C.H. Kim, and Y.M. Yoon. 2011. Bioenergy and material production potential by life cycle assessment in swine waste biomass. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:1245-1251.
- Kim, S.K., K.H. Choi, and M.S. Zong. 1997. A study on the effect of the biodegradability of the composting bulking agent in the swine manure-composting. *Kor. J. Env. Hlth. Soc.* 23:35-43.
- Kim, T.I., Y.K. Han, B.S. Jeon, Y.H. Yoo, J.H. Park, D.J. Kweon, H.H. Kim, and K.N. Kim. 2001. Studies on the standardization for swine manure composts based on the material balances during composting. *J. Anim. Sci.&Technol.* 43:997-1004.
- Kwon, Y.R., J. Kim, B.K. Ahn, and S.B. Lee. 2010. Effect of liquid pig manure and synthetic fertilizer on rice growth, yield, and quality. *Korean J. Environ. Agri.* 29:54-60.
- Larney, F.J., A.F. Olson, J.J. Miller, P.R. DeMaere, F. Zvomuya, and T.A. McAllister. 2008. Physical and chemical changes during composting of wood chip-bedded and straw-bedded beef cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual.* 37:725-735.
- 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.
- Lim, S.S., H. J. Park, S.I. Lee, D.S. Lee, J. H. Kwak, and W. J. Choi. 2009. The role of organic amendments with different biodegradability in ammonia volatilization during composting of cattle manure. *Korean J. Environ. Agri.* 28:20-24.
- Lo, K.V., A.K. Lau, and P.H. Liao. 1993. Composting of seperated solid swine waste. *J. Agric. Engr. Res.* 54:307-317.
- Mori, T., A. Narita, T. Amimoto, and M. Chino. 1981. Composting of municipal sewage sludge mixed with rice hulls. *Soil Sci. Plant Nutr.* 27:477-486.
- NIAS (National Institute Agriculture Science & Technology). 2000. The methods of soil and plant analysis. National Institute Agricultural Science and Technology. Suwon, Korea.
- RDA (Rural Development Administration). 2007. Reaearch and policy trends on the livestock manure for sustainable agriculture. RDA, Suwon Korea.
- 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.
- Seo, J.Y. 1988. Changes of chemical compounds in compost of municipal refuse, 1. Changes of carbon compounds. *Korean. J. Environ.* 7:136-145.
- Sohn, B.K. J.H. Hong, and K.J. Park. 1996. Comparative studies on static windrow and aerated static pile composting of the mixture of cattle manure and rice hulls. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 29:403-410.
- 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.