A Study on the Nutrition Components for Compost Fertilizers in 2020 to 2021

Jae-Hong Shim¹, Seong-Heon Kim¹, Yun-Hae Lee², Soon-Ik Kwon², and Seong Jin Park^{1*}

¹Researcher, Soil & Fertilizer Management Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

²Senior Researcher, Soil & Fertilizer Management Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

*Corresponding author: archha98@korea.kr

ABSTRACT

Received: November 8, 2021

Revised: February 21, 2022

Accepted: February 22, 2022

Edited by

Kwon Rae Kim,
Gyeongsang National University,
Korea

This study was conducted to confirm the necessity of a fertilizer labeling with the nutrition components. The contents of total nitrogen (T-N), phosphorus (T-P₂O₅), and potassium (T-K₂O) are important factors to determine the application rate of the organic fertilizers to arable lands. The mean values of total nitrogen, phosphorus, and potassium recorded in compost fertilizer in 2020 and 2021 were 1.91%, 2.40%, and 2.33%, respectively. Comparatively, the mean values of T-N, T-P₂O₅, and T-K₂O increased by 0.23%p, 0.90%p, and 0.91%, respectively, relative to the respective mean concentrations in 2016. The nutrient contents were observed to be within the range of 1.5 to 2.0% distributed in 306 samples (39.6%), 206 samples (26.6%), and 191 samples (24.7%), for T-N, P₂O₅, K₂O, respectively. There was no significant change in fertilizer nutrient composition (T-N, T-P₂O₅, T-K₂O) and chemical properties (pH, EC, water content, organic matter, NO₃-N, NH₄-N) during storage period.

Keywords: Livestock compost, Nutrient content, Total nitrogen (T-N), Total phosphorus (T-P₂O₅), Total potassium (T-K₂O)

Mean contents of total nitrogen (T-N), phosphorus (T-P₂O₅), and potassium (T-K₂O) in compost fertilizers in 2020 and 2021 (n = 773).

Introduction

가축분퇴비는 가축분(돈분, 우분, 계분 등)을 톱밥, 수피, 왕겨 등의 부재료와 혼합하여 일정 기간 부숙 과정을 거쳐 만들어지는 부숙유기질비료의 한 종류이다 (Kang et al., 2001; Kim et al., 2002; Hwang et al., 2007). 가축분뇨는 대부분이 수분과 유기성 물질로 구성되어 있으며 질소, 인산, 칼리와 같은 영양성분 뿐만 아니라 칼슘과 마그네슘과 같은 미네랄(소량원소)까지 포함하고 있어 국내 유기성 자원 중 가장 많이 재활용되고 있다 (Hwang et al., 2007; Ahn et al., 2017; Kim et al., 2018). 2018년 말 기준 총 51,013천 톤의 가축분뇨 발생량 중 79.7% (40,647천 톤)가 퇴비화로 재활용되어 농경지로 환원된다고 알려져 있다 (MAFRA, 2018).

가축분퇴비는 토양에 유기물 및 작물의 양분 공급원이며, 토양의 이화학적 특성 및 생물학적 특성을 개선하는 역할을 한다 (Gilmour et al., 1998; Yang et al., 2007). 그러나 농경지에 과다 사용은 토양 내 염류집적 등 작물 생산성 저하 및 비점오염원으로 작용할 수 있다 (Sa et al., 2008; Lee et al., 2015). 작물별 비료사용처방에 따르면 (RDA, 2019) 퇴비는 일반적으로 토양 유기물함량 또는 질소함량 기준으로 사용량을 추천하는데, 농경지 양분 관리의 중요성을 고려하여 퇴비의 비료 성분이 반영된 사용량을 제시해줄 필요가 있다 (Kang et al., 2001; Lee and Yun, 2010; Ahn et al., 2017). 이러한 이유로 최근 가축분퇴비의 비료영양성분 자율적 표시제 도입이 제기되고 있는 상황이다 (Kim et al., 2015, 2018). 퇴비는 원료가 다양하며, 연중 일정하게 원료사용량을 유지하는 것이 현실적으로 어려워 양분 함량이 생산업체 및 생산 시기에 영향을 받는다 (Jung et al., 2005; Kim et al., 2015). 가축분퇴비 포장지의 양분관련 정보는 유기물함량과 원료배합비율의 정보만 표기되어 있어 농업현장에서 비료성분을 고려한 가축분퇴비 투입량을 산정하는데 어려움이 있다 (Kang et al., 2010; Lee and Yun, 2010). 이와 같이, 가축분퇴비의 비료성분 표준화에 대한 필요성이 중요시 되고 있지만 가축분퇴비의 품질관리 방향 제시와 퇴비 사용에 따른 농경지 양분 관리에 관한 국내 연구가 미흡한 실정이다 (MIFAFF, 2000; Kim et al., 2018).

본 연구에서는 최신 상용 가축분퇴비의 영양 성분 (NPK) 함량 조사를 통해 가축분퇴비의 비료로써 가치를 확인하고, 보관 기간에 따른 양분 함량과 화학성 (EC, pH, 유기물 함량 등) 변화를 모니터링 하였다. 이와 같은 결과를 통해 가축분퇴비의 영양성분을 고려한 농경지 사용의 필요성과 제조시 포장지에 비료성분을 표시할 경우 보관 기간에 따른 성분 변화의 문제점을 고찰하여 국내 단계적 비료성분표시제 도입 필요성에 대한 확인하고자 하였다.

Materials and Methods

공시재료 본 연구에서는 2020년부터 2021년까지 시중에 유통되고 있는 가축분퇴비 773점 (2020년 374점, 2021년 399점)을 수집하여 비료의 영양 성분인 총질소, 총인산 및 총칼리를 분석하였다. 이전 Kim et al. (2018)이 보고한 2016년 및 2017년 퇴비의 영양성분 분석결과와 비교하여 연도별 추이에 따른 가축분 퇴비 내 영양성분 변화를 확인하였다. 퇴비 보관 기간별 양분성분 및 화학성 변화를 알아보기 위한 시료는 원료혼합비율이 다르게 제조된 시판 가축분퇴비 6종류를 20 kg짜리 15포씩 일괄 구입 (Apr. 2020)하여 동일한 장소에 천막을 덮어 보관하였고 분석 시 개봉되지 않는 퇴비를 이용하였다 (Table 1).

실험방법 가축분퇴비 내 총질소, 총인산, 총칼리 함량 분석은 비료 품질검사 방법 및 시료 채취 기준에 따라 실시하였으며, 퇴비의 생중량 기준으로 각 양분의 함량 값을 산출하였다. 총질소는 황산분해 후 킬달 (Kjeldahl) 증류법

Table 1. Ratio of the materials constituting each compost fertilizers investigated.

Type of samples	Mixture information of livestock composts
a [†]	Poultry manure 50% , Sawdust 20%, Food waste 25%, Effective Microorganism (EM) 3%, Lime 2%
b	Cattle manure 70% , Poultry manure 10%, Compressed expansion rice hull 5%, Sawdust 15%
c	Swine manure 60% , Sawdust 30%, Peatmoss 10%
d	Poultry manure 50% , Cattle manure 10%, Peat moss 5%, Sawdust 15%, Compressed expansion rice hull 5%, Zeolite 5%
e	Cattle manure 58% , Swine manure 7%, Poultry manure 7%, Zeolite 3%, Sawdust 25%
f	Cattle manure 40% , Poultry manure 20%, Sawdust 25%, Peat moss 13%, Effective Microorganism 2%

[†] a: Poultry manure ≥50%, b: Cattle manure 70%, c: Swine manure 60%, d: Poultry manure 50%, e: Cattle manure 58%, f: Cattle manure 40%.

으로 분석하였으며, 총인산 및 총칼리 분석은 0.3 g 시료에 진한 질산 10 mL를 첨가한 뒤 마이크로웨이브 분해장치 (Mars 5, CEM, UAS)를 이용하여 분해하였다. 분해된 용액을 0.45 µm pore size의 주사기 필터를 이용해 여과 후 유도결합플라즈마분석기 (GBC, Integra XL, Australia)로 측정하였다 (RDA, 2016).

20 kg씩 개별 포장된 6종류 (a - f)의 상용가축분퇴비를 상온에서 보관하면서 보관 기간에 따른 성분 변화를 고찰하기 위해 총 4회에 걸쳐 (2020년 4, 7, 9, 11월) 분석 시료를 각 미개봉 퇴비 포대에서 채취하였다. 종류별 가축분퇴비의 총질소, 총인산, 총칼리, 유기물 함량 및 수분함량 등은 각각의 개별 포대에서 3반복 (포대당 5개 시료 혼합)으로 채취해 분석하여 변화를 모니터링하였다 (Table 2). 수분과 유기물은 각각 가열감량법과 회화법을 이용하였고 (RDA, 2016), pH 및 EC는 풍건 조건에서 건조한 시료와 증류수를 1:10 (w v⁻¹) 비율로 30분 교반하여 pH meter (ORION STAR A₁₂₁, Thermo Fisher SCIENTIFIC, Waltham, USA) 및 EC meter (ORION STAR A₁₂₁, Thermo Fisher SCIENTIFIC, Waltham, USA)로 각각 측정하였다. 가용성 질소 함량은 2 M KCl로 추출한 여액을 이용하여 질소자동분석기 (Auto Analyzer, BRAN + LUEBBE, Germany)로 여액 중 NO₃-N 및 NH₄-N을 분석하였다.

Table 2. Temporal changes in the water content and chemical properties of six different compost fertilizers.

		pH (1:10 H ₂ O)	EC (dS m ⁻¹)	Water content (%)	Organic matter (%)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)
a	1st [†]	7.4 ab [‡]	37.1 c	18.5 a	54.6 a	1,561 c	98 a
	2nd	7.3 ab	51.3 b	16.6 a	48.7 b	1,774 b	104 a
	3rd	7.2 b	58.4 a	13.0 b	49.9 b	2,906 a	113 a
	4th	7.5 a	59.6 a	13.0 b	50.4 ab	2,317 ab	102 a
b	1st	9.3 a	77.2 c	22.5 a	60.8 a	1,946 c	230 a
	2nd	7.9 b	103.9 b	22.5 a	54.6 b	2,324 b	65 b
	3rd	7.9 b	120.2 a	28.0 a	54.0 b	2,606 a	73 b
	4th	7.9 b	105.8 b	22.5 a	54.7 b	2,581 a	66 b
c	1st	6.9 a	30.0 a	19.6 a	71.9 a	1,941 d	152 b
	2nd	6.2 c	37.2 b	18.0 a	68.9 b	1,330 c	255 b
	3rd	6.0 c	48.9 d	17.7 a	70.2 ab	3,014 a	533 a
	4th	6.2 b	46.6 c	16.5 a	70.7 a	2,673 b	482 a

Table 2. Temporal changes in the water content and chemical properties of six different compost fertilizers. (Continued)

		pH (1:10 H ₂ O)	EC (dS m ⁻¹)	Water content (%)	Organic matter (%)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)
d	1st	6.6 b	62.9 a	19.8 a	54.0 a	1,791 d	672 c
	2nd	7.0 a	66.9 b	19.6 a	48.3 b	1,648 c	784 c
	3rd	6.8 ab	75.4 c	21.6 a	51.1 ab	2,296 b	707 b
	4th	6.8 ab	80.7 d	20.2 a	52.7 a	2,987 a	1,359 a
e	1st	8.4 a	96.0 c	25.6 a	43.6 a	520 b	166 a
	2nd	9.1 a	104.3 b	21.9 ab	43.7 a	570 b	98 b
	3rd	9.0 a	110.9 a	20.0 b	44.6 a	489 a	132 a
	4th	9.2 a	107.3 ab	20.1 b	45.7 a	608 a	148 a
f	1st	5.7 a	35.9 ab	35.9 a	56.8 a	1,690 c	859 b
	2nd	5.5 a	25.3 b	25.3 b	55.5 a	2,633 b	906 a
	3rd	5.4 a	14.4 a	14.4 c	58.3 a	3,275 a	1,036 a
	4th	5.8 a	13.9 b	13.9 c	57.9 a	2,350 b	1,081 a

[†] Sampling period: 1st 2020. Apr., 2nd 2020. Jul., 3rd 2020. Sep., 4th 2020. Nov.

[‡] Different letters indicate statistics significance at 5% level.

통계분석 실험데이터는 IBM SPSS Statistics (v.26)을 이용하여 ANOVA분석을 실시하였으며, 각 처리구 별 평균 비교를 위해 유의수준 5%로 Duncan's multiple test를 수행하였다.

Results and Discussion

부숙유기질비료의 양분성분 특성 2020년부터 2021년까지 시중에 유통되는 773점의 가축분퇴비의 총질소, 총인산 및 총칼리의 평균 농도는 Fig. 1과 같다. 총질소, 총인산 및 총칼리의 평균 함량은 각각 1.91%, 2.40% 및 2.33%로 나타났다. 가축분퇴비 총질소 함량의 범위는 최소 0.33%에서 최대 4.71%에 분포하였고, 총인산은 0.51%

Fig. 1. Mean contents of total nitrogen (T-N), phosphorus (P₂O₅), and potassium (K₂O) in compost fertilizers in 2020 and 2021 (n= 773).

에서 최대 2.40%, 총칼리는 최소 0.33%에서 최대 6.86%에 분포하였다(Fig. 1). 가축분퇴비의 양분 함량의 변화 요인은 동일 축분을 이용하더라도 퇴비 제조과정에서 퇴비화 전처리 및 분뇨의 불균일성, 수분 조절제의 차이 등의 편차가 발생하기 때문이라고 보고되어져 있다 (Hsu and Lo, 2001).

773점의 가축분퇴비의 총질소, 총인산, 총칼리의 함량 분포 범위를 각 성분 별로 나타내었다(Fig. 2). 분포 비율이 1.5 - 2.0% 범위에 총질소, 총인산, 총칼리가 각각 306점, 206점, 191점을 차지하고 있었다. 1% 이하 비율에서 시료수는 총질소 29점 > 총칼리 21점 > 총인 10점이었고, 3% 이상 비율은 총인 169점 > 총칼리 152점 > 총질소 51점이다. 총질소의 평균값 1.91%를 고려할 때 1.5 - 2.0범위에 가장 많은 시료가 포함된 비율인 39.6%로 일치했으나, 총인산, 총칼리의 평균값이 각각 2.40%, 2.33%를 고려할 때 평균값 이하의 범위인 1.5 - 2.0% 범위에서 많은 분포를 형성하였다. 평균값과 주요 범위 분포가 일치하지 않는 점을 고려할 때 단순 평균값 적용으로 비료 대체량을 계산한다면 양분 과다 및 양분 부족을 초래할 수 있다고 판단된다.

Fig. 2. Distribution of total (A) nitrogen (T-N), (B) phosphorus (T-P₂O₅), and (C) potassium (T-K₂O) in compost fertilizers in 2020 to 2021 (n = 773).

연도별 가축분퇴비 성분 변화 추이 Kim et al. (2018)의 연구결과인 2016년도 322점 시료의 총질소, 총인산, 총칼리의 평균함량은 각각 1.75%, 1.89%, 1.66%이었으며, 2017년 337점 시료의 총질소, 총인산, 총칼리의 평균 함량은 각각 1.65%, 1.88%, 1.73%로 가축분퇴비의 양분 함량 변화가 미미 하였다(Fig. 3). 그러나, 2021년도 가축분퇴비 399점을 분석한 결과 비료 성분(NPK)이 각각 1.95%, 2.79%, 2.57%로 Kim et al. (2018)의 선행 연구결과와 비교한 결과 2016년부터 2021년 동안 총질소, 총인산, 총칼리의 평균 함량 변화는 각각 0.20%p, 0.90%p, 0.91%p 증가하였다(Fig. 3). 인산과 칼리 성분이 2020년도에서 2021년도에 사이에 0.81%p, 0.49%p로 각각 증가하였고, 성분 별로는 총인산 > 총칼리 > 총질소 순으로 나타났다(Fig. 3). 이와 같은 결과를 통해 가축분퇴비 내 양분함량은 2016년도부터 증가추세를 보이고 있으며, 그 중 총인산과 총칼리 함량 변화에 주목할 필요가 있다고 판단된다.

Fig. 3. Temporal changes in the nutrient contents of the compost fertilizers from 2016 to 2021.

가축분퇴비 보관기간에 따른 질소, 인산, 칼리 함량의 변화 가축분퇴비의 보관 기간에 따른 pH, 유기물 함량, EC 등과 영양성분 변화를 분석하였다(Table 2, Fig. 4). 혼합가축분퇴비를 시기별(4월, 7월, 9월, 11월)로 비료 영양성분을 분석한 결과, 원료혼합비율과 상관없이 질소와 칼리의 함량 변화는 거의 없었다. 총인 함량의 경우 초기 농도 대비 증가하는 경향을 보이다가 4차(11월) 시기에 감소하였다(Fig. 4). 총인 농도 분석 시료가 유통 퇴비로써 부숙 완료 단계일지라도 보관기간중에 미생물 분해 기작에 따른 밀도 변화가 주요 원인으로 예상된다. 이러한 총인의 농도 변화에 미생물 분해의 영향이라는 근거는 질산태 질소(NO₃-N)와 암모니아태 질소(NH₄-N)와 변화로 설명할 수 있다. 또한, Lee et al. (2003)에 따르면 퇴비 분해시 용적밀도 변화 등으로 인해 총인산의 함량이 증가한다고 보고하고 있으며 본 연구 결과 또한 이와 같은 이유인 것으로 판단된다. 다만, 2 - 3차(7 - 9월)의 여름철 고온기 이후 4차(11월) 시기에 총인 농도가 감소한 원인에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 영양성분의 제외한 나머지 이 화학적 분석 결과는 b, c 상용퇴비의 pH와 EC와 질산태 질소(NO₃-N) 및 암모니아태 질소(NH₄-N)은 통계적 유의한 변화를 확인하였다(Table 2). 퇴비 내 pH와 전기전도도(EC) 변화는 미생물에 의해 유기물이 분해되어 생성되는 이온들과 관련이 있다고 보고되어졌다(Said-Pullicino et al., 2007). 이와 같은 결과는 퇴비 더미 내 미생물의 영양성분 영향으로 나타날 수 있는 화학성 변화로 퇴비화 공정 중 대표적인 변화 인자이다. 즉, 부숙이 완료된 퇴비는 6개월 동안 보관하여도 주요 영양성분과 화학성 변화는 거의 없음을 의미하는 결과이다.

Table 3. Nutrient contents of the compost fertilizers with mixtures containing $\geq 50\%$ each livestock manure.

Types	Meaning	T-N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	Samples
Swine manure $\geq 50\%$	Average	1.57	1.93	2.03	n = 13
	Min	0.78	0.73	1.00	
	Max	2.38	3.85	3.11	
Cattle manure $\geq 50\%$	Average	1.98	1.83	2.01	n = 42
	Min	0.72	1.19	1.25	
	Max	4.21	5.86	5.37	
Poultry manure $\geq 50\%$	Average	2.00	2.20	2.23	n = 107
	Min	0.62	0.99	0.92	
	Max	4.21	5.86	5.37

Fig. 4. Effects of storage periods on the concentrations (A) nitrogen (T-N), (B) phosphorus (T-P₂O₅), and (C) potassium (T-K₂O), in the compost fertilizers during storage periods.

원료 혼합비율에 따른 가축분퇴비 양분성분 분석 가축분의 혼합비율에 따른 양분 함량을 분석하기 위해 773점의 가축분퇴비 시료 중 돈분, 우분, 계분이 50% 이상 투입된 시료를 조사하였다. 연도별 (2020, 2021) 주요 가축분의 50% 이상 혼합된 퇴비의 비율은 돈분 50% 이상 20년 13점에서 21년 16점, 우분 50% 이상 20년 42점에서 21년 44점, 계분 50% 이상 20년 107점에서 21년 122점으로 큰 차이는 없었다. 전체 시료 중 (773점) 한 종류의 축분 (돈분, 우분, 계분, 마분 등)이 50% 이상 함유된 시료는 162점으로 전체 중 21.0%를 차지하였으며, 가축분종류에 따라서는 계분 (107점) > 우분 (42점) > 돈분 (13점)으로 확인되었다. 돈분이 50% 이상일 때 질소, 인, 칼리의 평균값은 1.57%, 1.93%, 2.03%, 우분이 50% 이상일 때 1.98%, 1.83%, 2.01%, 계분 50% 이상일 때 2.00%, 2.20%, 2.23%이었다 (Table 3). 가축분 50% 이상 함유 기준으로 영양성분을 고려할 때 계분 > 우분 > 돈분 순으로 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 Hwang et al. (2002)의 연구결과와 유사했으며, 계분혼합퇴비 내 인산성분으로 인한 토양의 양분 과다를 초래할 수 있다는 점을 고려한 사용의 중요성을 확인할 수 있었다.

또한, 농촌진흥청 작물별 시비처방기준에서 가축분퇴비의 농경지 사용량은 우분톱밥퇴비, 돈분톱밥퇴비, 계분톱밥퇴비의 특성에 따라 추천량을 산출하는데, 이는 계분 혼합이 증가할수록 양분 성분이 증가하는 것을 고려한 것으로 (Lee et al., 2015; Kim et al., 2018), 가축분퇴비의 양분 함량을 지속적으로 모니터링하여 농경지에 적합한 사용량을 제안하는 것이 지속되어야 할 것이다.

Conclusions

본 연구는 연도별 가축분혼합퇴비의 영양성분 함량 변화 조사를 통해 비료로써 가치를 평가하였다. 현행 유기물 공급원으로 사용되고 있는 가축분퇴비를 비료로써 가치를 인정하고 농경지에 투입 시 양분을 고려해야 함으로써 양분 불균형 및 오염원으로써 영향을 최소화할 필요가 있음을 보여주는 결과들이다. 또한, 보관 기간에 따른 양분 성분의 변화가 미미한 결과를 고려할 때 퇴비 구입 후 농가에서 농경지에 투입하는 시기가 다르더라도 포장지의 비료 성분과 실제 사용시 비료의 영양성분 차이로 인한 작물 생육 저해 및 환경오염원의 원인으로 작용할 가능성은 매우 낮을 것으로 예상된다. 이와 같은 결과를 통해 효과적인 국가 농경지 양분 관리를 위해서는 가축분퇴비의 비료성분표시제 도입이 필요할 것으로 사료된다.

Acknowledgement

본 연구는 농촌진흥청 연구과제인 음식물류폐기물을 활용한 가축분 퇴비의 품질 균일화 기술 개발 (PJ015293)과정에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

This study was carried out with the support of “PJ015293” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Ahn, B.K., D.Y. Ko, H.J. Kim, and M.S. Ahn. 2017. Investigate decomposed degree and fertilizer component in livestock manure compost and liquid pig manure. p. 387-397. In Research Report of Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, Iksan, Korea.
- Gilmour, J.T., A. Mauromoustakos, P.M. Gale, and R.J. Noman. 1998. Kinetics of crop residue decomposition: Variability among crops and years. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:750-755.
- Hsu, J.H. and S.L. Lo. 2001. Effect of composting on characterization and leaching of copper, manganese, and zinc from swine manure. *Environ. Pollut.* 114:119-127.
- Hwang, K.S., I.B. Lee, J.M. Park, and B.S. Yoo. 2007. Fractional recovery as extractable form of nutrient in composted livestock manure application on soil distributed in Jeju. *Korean J. Environ. Agric.* 26(1):49-54.
- Hwang, K.S., Q.S. Ho, H.D. Kim, and J.H. Choi. 2002. Changes of electrical conductivity and nitrate nitrogen in soil applied with livestock manure. *Korean J. Environ. Agric.* 21:197-201.
- Jung, K.H., C.H. Park, D.Y. Choi, J.H. Kwa, C.B. Yang, and H. Kang. 2005. Physicochemical characteristics of fermented pig manure compost and cow manure compost by pelletizing. *J. Korea Org. Resour. Recycl. Assoc.* 13:118-127.
- Kang, C.S., A.S. Roh, and J.M. Sim. 2010. The quality characteristics of livestock compost produced in Gyeonggi area in 2008. p. 274-275. In Proceedings of the Conference on Korean Society of Soil Sciences and Fertilizer, Daegu, Korea.
- Kang, H.W., H.M. Park, J.Y. Ko, J.S. Lee, M.T. Kim, U.G. Kang, D.C. Lee, and H.P. Moon. 2001. Investigation on optimal aeration rate for minimizing odor emission during composting of poultry manure with sawdust. *Korean J. Environ. Agric.* 20(4):225-231.
- Kim, C.B., D.H. Lee, and J. Choi. 2002. Effects of soil improvement on the dependence of rice nutrient contents and grain quality. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 35:296-305.

- Kim, C.G., H.K. Jeong, P.E. Im, and T.H. Im. 2015. Scheme for simple regionally based maximum nutrients loading system. p. 1-8. Korea Rural Economic Institute, NaJu, Korea.
- Kim, M.S., S.C. Kim, S.J. Park, and C.H. Lee. 2018. Analysis of commercial organic compost manufactured with livestock manure. *J. Korea Org. Resour. Recycl. Assoc.* 26(4):21-29.
- Lee, H.G. and H.B. Yun. 2010. Inspection for quality control of fertilizers in circulation. p. 404-411. In *Research Report of National Institute of Agricultural Sciences*, Suwon, Korea.
- Lee, J.E., D.H. Seo, and S.I. Yun. 2015. Salt removal in a reclaimed tidal land soil with gypsum, compost, and phosphate amendment. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 48(5):326-331.
- Lee, Y.R., J.E. Lee, and K.W. Chang. 2003. Changes and availability of inorganic phosphate during the composting (pig manure). *J. Korea Org. Resour. Recycl. Assoc.* 11(1):127-128.
- MAFRA. 2018. Yield of livestock manure in South Korea. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Sejong, Korea.
- MFAFF. 2000. The criteria of physical quality for compost using agricultural by-product. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Gwacheon, Korea.
- RDA. 2016. Quality inspection method and sampling standard for fertilizer. Rural Development Administration, Wanju, Korea.
- RDA. 2019. Fertilizer recommendation amount of crops. Rural Development Administration, Wanju, Korea.
- Sa, T.M., J.B. Chung, and G.H. Han. 2008. Effect of livestock manure on yield of plant and change in physio-chemical properties of soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 41(2):63-75.
- 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.
- Yang, C.H., B.S. Kim, C.H. Yoo, W.K. Park, Y.S. Yoo, J.D. Kim, and K.Y. Jung. 2007. Composting impacts on soil properties and productivity in a fluvio-marine deposit paddy field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40(3):181-188.