The Effect of Livestock and Food Waste Compost on Rice Yield and Nutrient Utilization Efficiency according to Different Nitrogen Fertilizer Treatments Rates

Song Rae Cho¹, Ye-Jin Lee², Chan-Wook Lee², Byeong-Geun Hyun², Yo-Sung Song², Chul-Hyun Ryu², Yang Min Kim², and Seoul-Bi Lee^{2*}

¹Postdoctoral Researcher, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

²Researcher, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

*Corresponding author: seulvi23@korea.kr

ABSTRACT

Received: November 2, 2021

Revised: November 21, 2021

Accepted: November 23, 2021

ORCID

Song Rae Cho

<https://orcid.org/0000-0003-4719-7106>

Ye-jin Lee

<https://orcid.org/0000-0003-4415-846X>

Yang Min Kim

<https://orcid.org/0000-0002-6246-5845>

Seoul-Bi Lee

<https://orcid.org/0000-0001-5216-6908>

The amount of livestock manure generated was 1,532 hundred tons/day as of 2019, and it increased by about 11% over 10 years. It has been raised as a cause of soil and water pollution due to the continuous overspray of livestock compost on farmland. It is essential to calculate an appropriate amount of livestock compost that can replace chemical fertilizers in order to manage local environment-friendly nutrients without problems caused by the use of livestock compost. In addition, food waste is mostly agricultural products-derived materials, and it is necessary to establish a comprehensive management system for agricultural cycle use. In this study, to confirm the compost mixed with livestock and food waste as an alternative to chemical fertilizer, comparison of the basic replacement of chemical fertilizer and livestock, the replacement of the mixed compost including food waste, the replacement of the total nitrogen amount of livestock compost, and the replacement of the total nitrogen amount of the mixed compost. Experiments were conducted to confirm the effect of each compost on crop production. Commercially available livestock compost (L) and mixed compost (food waste and livestock) (M) were used as the material for the experiment. Treatments were control, NPK, 5N_L, 5N_M, 7.5N_L, 7.5N_M, 9N_L, 9N_M. The comparison between livestock compost and mixed compost, mixed compost has 30% high crop productivity. The nitrogen use efficiency was shown as 7.5N_M > 5N_M > 5N_L > NPK > 7.5N_L > 9N_M > 9N_L. For high yield and nutrient uptake, fertilizer partial replacement (55.6% or 83.3% than total replacement) will be more efficient than 100% total nitrogen requirement replacement.

Keywords: Chemical fertilizer, Manure, Paddy soil, Pot test, Rice productivity

Rice yield index and nutrient use efficiency between different nitrogen application levels of livestock compost and mixed compost with food waste and livestock compost.

Introduction

농업에 사용되는 퇴비의 주된 원료인 가축분뇨는 유기물과 작물 가용 양분의 함량이 높아 농경지에서의 작물의 생육을 촉진하고 토양의 물리성, 화학성의 증가와 생물상의 활성화를 기대할 수 있기에 농업에서는 가축분 퇴비의 적정 사용을 권장하고 있다 (Park et al., 2001; Kim et al., 2008, 2014; Sa et al., 2008; Lee et al., 2012). 국내 가축분뇨 발생량은 2019년 기준으로 1,532백 톤/일이 발생했으며, 10년간 약 11% (175백 톤/일)이 증가하였다. 가축분뇨의 발생량에 맞춰 처리량 또한 2019년 기준 1,531백 톤/일로 10년 대비 약 13% (199백 톤/일)이 증가하였다. 이중 위탁처리 혹은 자가 처리 퇴비화 양은 2019년 약 1,440백 톤/일로 10년 전과 비교하여 약 13% (191백 톤/일)이 증가하여 국내 가축분뇨 자원화율은 94%를 보이고 있다 (NIER, 2020). 우리나라는 2012년 런던 협약에 의한 해양투기 금지로 가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법률 제정을 통해 가축분뇨 자원화 시설 지원 확대, 지역 양분 관리제 도입, 과밀 사육 억제, 친환경 축산 직불제 등 다양한 정책이 추진 중이다. 또다른 퇴비 원료인 음식물류폐기물은 2019년 비료 공정 규격이 일부 개정되어 농업에서 건조 분말을 퇴비 원료로 이용할 수 있다 (RDA, 2019). 건조된 음식물류폐기물은 새로운 유기물 투입원으로서 기대를 갖고 있으나 퇴비 원료로서 허가된 기간이 짧기에 농업분야에서의 이용을 위한 종합적 관리 체계가 갖춰져 있지 않다 (Kwon et al., 2009a). 또한 음식물류폐기물 퇴비 사용은 염분 (NaCl) 함량이 문제점으로 지적되고 있으며, 해당 염분이 토양에 공급됨으로 인해, 토양 입단을 교란하여 근권의 생육 저해, 환원 장애 등을 야기시킨다고 알려져 있다 (Lee et al., 2016). 이 같은 이유로 음식물류폐기물류를 활용한 퇴비는 유기물과 양분에 의해 토양의 물리성과 화학성을 개량하고, 농작물에 양분을 공급할 수 있어야 하며 염분에 의한 염류 장애, 양분 결핍 등의 농작물 위해성이 없어야 한다는 조건이 있다 (Kwon et al., 2009b). 가축분뇨와 음식물류폐기물을 함유한 퇴비는 가축분 퇴비가 지속적인 농경지 과잉 살포로 토양, 수질 오염의 원인으로 제기되고 있으며, 음식물류폐기물이 갖는 염류장애 등이 또다른 오염 원인이 될 수 있기에 정숙 순환 활성화와 함께 지역의 친환경적 양분 관리를 위해서 화학비료를 대체할 수 있는 퇴비의 적정 사용량을 설정하는 것이 필수적이다 (Gerber et al., 2005).

따라서 본 연구에서는 화학비료 대체재로서 가축분 퇴비와 음식물류 폐기물이 혼합된 가축분 퇴비가 질소 필요량을 기준으로 사용할 때, 작물의 생산과 양분흡수율에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

Materials and Methods

포트 시험 해당 실험은 전북 완주군 이서면에 위치한 국립농업과학원 종합 유리온실 내에서 진행되었고 포트 실험에 사용된 토양은 김제에 위치한 논 토양을 채취하여 1/3,000 a 크기의 포트에 토양을 충진한 뒤 (용적밀도 1.2 g cm^{-3}) 실험을 진행하였으며, 공시 토양의 Av. P_2O_5 와 치환성 Ca함량이 벼 재배 기준 적정 토양 화학성 범위 보다 낮았으나 다른 항목들은 적정 범위 내의 화학적 특성을 가진 토양이었다 (Table 1). 실험 재배 작물로서 벼 (신동진)를 재배하였고, 2019년 6월 5일에 정식하여 10월 26일에 수확하였다. 실험재료로 시중에 판매되는 가축분 퇴비, 혼합분 퇴비 (음식물류 폐기물 + 가축분)를 사용하였으며 두 재료 모두 유기물 30% 이상을 포함한 퇴비를 사용하였으며 각 재료의 양분 함량과 재료혼합비율은 Table 2와 같다. 처리구는 다음과 같이 설정하였다. 1. 질소 무비구 (인산, 칼리 필요량은 화학비료로 보충), 2. NPK 표준 시비 처리구 ($9.0\text{-}4.5\text{-}5.7 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$), 3. 질소 밀거름 필요량 ($5 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$)의 100%를 가축분으로 대체한 처리구 (5N_L)와 4. 혼합분 (음식물 폐기물 + 가축분)으로 대체한 처리구 (5N_M), 5. 질소 밀거름 필요량 ($5 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$)의 150%를 가축분으로 대체한 처리구 (7.5N_L)와 6. 혼합분으로 대체한 처리구 (7.5N_M),

7. 질소 전체 필요량 ($9 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$)의 100%를 가축분으로 대체한 처리구 (9N_L)와 8. 혼합분으로 대체한 처리구 (9N_M). 각 처리구에서 부족한 영양분은 화학비료를 추가하여 그 필요량을 보충해 주었다 (Table 3).

Table 1. Chemical properties of the soils before rice cultivation.

Parameters	pH (1:5 H_2O)	OM (g kg^{-1})	Av. P_2O_5 (mg kg^{-1})	Ex. cations ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)		
				K	Ca	Mg
Analyzed value	5.8	18.8	39	0.25	7.0	1.3
Optimum range [†]	5.5 - 6.5	20 - 30	80 - 120	0.20 - 0.30	5.0 - 6.0	1.5 - 2.0

[†]Optimum range for rice cultivation in a normal paddy (NIAS, 2017).

Table 2. Nutrient content and its mixing ratio of experimental materials.

Parameters	Nutrient Content (%)				Mixing ratio (standard criteria)
	N	P_2O_5	K_2O	Moisture content	
A Livestock compost	2.93	3.15	6.6	42.9	Cow manure 58%, Swine manure 7%, Chicken manure 7%, zeolite 3%, Saw dust 25% (Organic matter 30% or more, OM/N ratio 40% or less)
B Mixed compost (food waste + livestock compost)	1.45	0.9	0.61	37.3	Chicken manure 50%, Saw dust 20%, F.W 25%, Effective microorganism 3%, Quicklime 2% (Organic matter 30% or more)

Table 3. Amount of NPK applied with treatments (unit: $\text{kg } 10\text{a}^{-1}$).

Treatments	N	P_2O_5	K_2O
Control	-	-	-
Standard fertilization (by mineral fertilizer, $9\text{-}4.5\text{-}5.7 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$) (NPK)	9	4.5	5.7
Nitrogen 5 kg (5N)	Livestock manure (L) Mixed Compost (M)	5 (4) 3.1 (1.4)	11.3 2.1 (3.6)
Nitrogen 7.5 kg (7.5N)	Livestock manure (L) Mixed Compost (M)	7.5 (1.5) 4.7	16.9 3.2 (2.5)
Nitrogen 9 kg (9N)	Livestock manure (L) Mixed Compost (M)	9 5.6	20.3 3.8 (1.9)

Values in parenthesis are supplementally added amount to mineral fertilizer input.

생육 조사, 토양 및 식물체 분석 벼 이앙 후 60일부터 30일 간격으로 3회에 걸쳐 작물 생육 (초장, 분얼비, 수확량) 조사를 농촌진흥청의 농사시험연구 조사 기준에 준하여 측정하였다 (RDA, 1999). 화학성 분석은 농촌진흥청 분석법에 준하여 실시하였다 (NAAS, 2010). 토양을 건조한 다음, 2 mm체로 쳐서 분석 시료로 사용하였으며, 토양 pH와 EC는 토양과 증류수 1:5의 비율로 30분간 진탕한 후 pH meter/EC meter (Thermo fisher scientific, USA)로 측정하였다. 토양 유기물 (OM)은 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 으로, 유효 인산 (Av. P_2O_5)는 Lancaster-용액, 치환성 K, Ca, Mg는 $1\text{N\_NH}_4\text{OAC}$ 법을 활용하여 유도 결합 플라즈마 (induced coupling plasma spectroscopy)로 분석하였다. 식물체를 건조 (80°C , 48

시간)하여 마쇄한 후, 식물체 분석 시료 0.5 g을 식물체 분해액 (377 mM H₂SO₄ + 36% HClO₄)으로 습식분해하여 Whatman No.6에 여과하였다 (Lee et al., 2019). 여과액을 증류수로 10배 희석 후, 질소는 자동 분석기 (Auto analyzer 3, BRAN + LUEBBE, Germany)로 660 nm에서 측정하였다. 인산은 UV-Spectrometer (Hitachi, Japan)을 이용해 880 nm에서 측정하였다. 칼리 등 양이온함량은 ICP (GBC, Intergra XL, Australia)를 이용해 측정하였다.

양분 이용효율 식물체의 양분 이용 효율은 토양에 처리한 화학비료, 가축분 퇴비, 혼합분 퇴비 내의 양분 함량과 식물체내 흡수된 양분의 함량으로서 아래 식과 같이 산정하였다.

$$\text{Nutrient use efficiency (\%)} = \frac{[(\text{Amount of the nutrient uptake with application}) - (\text{Amount of the nutrient uptake without application})] / (\text{Amount of the nutrient applied}) \times 100}{\text{(Eq. 1)}}$$

통계처리 모든 데이터는 SPSS 27 프로그램 (SPSS ver. 27, IBM, USA)으로 ANOVA 분석을 실시하였고, 유의 수준 5%에서 Duncan 검정으로 처리 간 평균을 비교하였다.

Results and Discussion

토양 화학성 및 작물 생육 변화 벼 재배 토양에서 질소 처리량 기준 가축분 퇴비, 혼합분 퇴비 처리시 토양의 화학성 변화는 Table 4와 같다. 시험 후 질소 무처리구를 제외한 나머지 처리구에서 토양 내 OM, Av. P₂O₅는 투입된 양분으로 인해 증가하는 경향이었으나 양이온 K, Ca, Mg 함량은 작물 재배로 인해 그 값이 감소하였다. NPK와 비교하여 밀거름 질소 100% 투입할 경우 (5N_L와 5N_M 처리구)가 각각 97, 92 mg kg⁻¹으로 다른 처리구에 비해 Av. P₂O₅의 증가량이 낮게 나타났다. 이를 제외한 밀거름 질소 150%, 전체 질소 100% 처리구 (7.5N_L와 7.5N_M, 9N_L, 9N_M)에서 각각 105, 101, 136, 104 mg kg⁻¹의 결과 값을 보여 시험 전 토양 대비 최소 61에서 최대 71%의

Table 4. Chemical properties of soil applied with different rates of compost at harvesting stage.

Treatment	pH (1:5 H ₂ O)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cations (cmol _c kg ⁻¹)		
				K	Ca	Mg
Control [†]	6.0 a [‡]	20 a	32 a	0.1 a	5.9 a	0.9 a
NPK	6.1 ab	21 a	84 b	0.1 a	5.9 a	0.9 ab
5N_L	6.3 abc	22 ab	97 c	0.1 bc	6.4 ab	1.0 bc
5N_M	6.1 bcd	23 b	92 bc	0.1 ab	6.4 cd	1.0 ab
7.5N_L	6.2 cd	23 a	105 bc	0.1 ab	6.5 bc	1.1 bc
7.5N_M	6.2 d	25 ab	101 b	0.1 ab	7.0 bc	1.0 ab
9N_L	6.2 d	23 ab	136 bc	0.1 c	6.2 bc	1.0 c
9N_M	6.3 d	24 c	104 bc	0.1 ab	6.7 d	1.0 bc

[†] Control, no nitrogen application; NPK, standard fertilization for rice cultivation; 5N, N basal fertilization at the application level of 100%; 7.5N, N basal fertilization at the application level of 150%; 9N, N total fertilization at the application level of 100% (A, livestock compost; B, mixed compost (food waste + livestock compost)).

[‡] Numbers followed by the same letter within a same column are not significantly different (Duncan test, *P* < 0.05).

증가율을 보였는데 이는 가축분 퇴비 및 혼합분 퇴비에 포함된 인 함량에 기인하는 것으로 판단되며, Park et al. (2004)의 결과와 유사하게 가축분 퇴비를 지속적으로 사용할 경우 토양 내 인산 축적이 가중될 것으로 판단된다.

처리구별 벼 생육 특성을 살펴보면, 7월까지의 NPK처리구에서 가장 높은 초장 값을 보였다. 이후 8월이 되어 5N_L,M > 9N_M > Control > NPK > 7.5N_L,M > 9N_L 순으로 초장이 크게 나타났으며, 수확 한달 전인 9월에 들어 신장은 5N_L,M > NPK, 7.5N_L,M > 9N_M > Control > 9N_L 순으로 나타났다. 가축분 퇴비와 혼합 퇴비에 관계 없이 밀거름 필요량을 대체한 처리구(5N_L,M, 7.5N_L,M)가 전체 필요량을 대체한 처리구(9N_L,M) 보다 상대적으로 높은 값이 나타났다 (Table 5). 이는 퇴비를 과량 사용하게 되면, 퇴비 내의 염류가 토양에 집적되고 이로 인해 작물의 뿌리 생육 장애가 나타날 수 있다는 Hwang et al. (2002)과 Kim et al. (2020)의 결과처럼 전체 필요량을 대체한 처리구에서 생육 장애가 나타난 것으로 판단된다.

Table 5. Changes of rice growth with different treatments.

Treatment	Date						
	June	July		August		September	
	Height (cm)	Height (cm)	Tiller number	Height (cm)	Tiller number	Height (cm)	Tiller number
Control	15 ns [†]	75 c	6 ns	98 bc	8 a	103 ns	10 ns
NPK	15 ns	81 d	9 ns	97 b	13 bc	111 ns	17 ns
5N_L	15 ns	75 c	8 ns	101 bc	8 c	112 ns	18 ns
5N_M	15 ns	73 a	8 ns	101 a	11 a	112 ns	18 ns
7.5N_L	15 ns	70 c	8 ns	96 c	7 a	111 ns	17 ns
7.5N_M	15 ns	68 bc	6 ns	96 c	8 b	111 ns	20 ns
9N_L	15 ns	76 ab	13 ns	91 b	14 a	101 ns	14 ns
9N_M	15 ns	67 a	6 ns	100 b	12 a	105 ns	18 ns

[†]Numbers followed by the same letter within a same column are not significantly different (Duncan test, $P < 0.05$).

벼 생산성은 NPK처리구와 상대적으로 비교하였을 때, NPK 대비 약 90%의 결과를 보인 5N_L와 약 85%인 7.5N_L, 약 60%의 결과를 보인 9N_L 모두에서 상대적으로 낮은 수확량을 보였다. 가축분 퇴비의 수확량 결과와는 다르게 혼합분에서는 9N_M를 제외한 모든 처리구들에서 NPK보다 더 높은 수확량을 나타내었다 (Fig. 1). Lee et al. (2016)은 음식물류 폐기물로만 조성된 퇴비를 논 토양에 10 Mg ha⁻¹ 사용할 경우, 벼의 최고 수량을 보였으며, 이후 음식물류 폐기물 퇴비 사용량이 증가할수록 작물 수량이 감소된다고 하였다. 이러한 수량 감소의 원인으로 담수 조건에서 이분해성 유기물이 다량 포함되어 있을 것으로 예상되는 음식물류 폐기물과 혼합된 퇴비 사용은 토양의 환원 상태를 가속화할 수 있으며, 해당 유기물의 분해로 벼 뿌리 신장 저해 및 뿌리 세포 파괴를 일으킨다고 알려져 있다 (Delaune et al., 1990; Lee et al., 2016). 질소 필요량 밀거름 대체 처리구 (5N_L,M, 7.5N_L,M)와 질소 전체 필요량 대체 처리구 (9N_L,M)를 비교 했을 때, 밀거름 대체 처리구가 질소 전체 필요량 대체 구보다 더 높은 수확량을 보였다. 해당 결과는 밀거름 대체 처리구에서 질소의 부족량을 화학비료로 처리하여 작물이 빠르게 사용할 수 있는 형태의 양분 유입으로 인한 결과로 보인다. 가축분 퇴비와 혼합분 퇴비를 비교하였을 때, 혼합분 퇴비가 가축분 퇴비 보다 더 높은 수확량을 보였다. 하지만 100%와 150%의 대체 처리를 비교하였을 때, 밀거름 대체량 차이에서는 유의미한

차이를 나타내지 않았다. 논, 밭 토양에서 벼와 고추 재배 시 음식물류 폐기물의 시용이 수확량을 약 15.5% 높이는 것으로 보고되어 있다 (Kwon et al., 2009a, 2009b).

Fig. 1. Rice yield index between different treatments of livestock compost and mixed compost with food waste and livestock compost ($P < 0.05$).

토양으로의 양분 유입과 유출에 따른 양분의 이용률 토양으로 유입되는 양분과 유출되는 양분 (질소, 인)을 보았을 때, 질소의 경우, 모든 처리구에서 화학비료와 퇴비 (가축분, 혼합분)로 유입된 질소량 보다 식물체의 흡수량이 높아 유출량이 더 높게 나타났다 (Fig. 2). 하지만 이와는 달리 인의 경우 7.5N_L와 9N_L 처리구에서 유입량이 유출량보다 높은 경향이였다. Sharpley (1995)는 가축분 퇴비 내의 인은 상대적으로 유효도가 낮아 작물의 생육에 쓰이지 않고 토양에 다량 고정될 경우 수계로 유출되어 부영양화를 초래할 위험이 있기에 퇴비를 사용할 경우 인의 함량에 대한 투입량 조절이 필요하다고 하였다.

Fig. 2. Soil nitrogen and Phosphorus input and output with treatments.

양분 유입과 유출 결과를 바탕으로 처리구별 벼 재배기간 양분 이용 효율은 Fig. 3과 같다. 7.5N_M > 5N_M > 5N_L > NPK > 7.5N_L > 9N_M > 9N_L 순으로 이용효율이 높게 나타났다. 인의 경우 5N_M > 7.5N_M > NPK > 5N_L > 7.5N_L > 9N_M > 9N_L 순으로 나타났다. 밀거름을 가축분 퇴비 혹은 혼합분 퇴비로 100, 150% 대체하였을 경우 화학비료와 비교하여 비슷하거나 더 높은 값을 보였고, 작물 생육에 필요한 전제 질소량을 대체할 경우 퇴비의 종류에 관계없이 화학비료와 비교하여 더 낮은 양분 이용율을 보였다. 해당 결과는 Yeon et al. (2007)에 의하면 벼 재배 시에 퇴비를 사용할 경우, 20.2%의 양분 흡수량이 증가한다고 하였으며, Park et al. (2004)은 화학비료와 퇴비를 함께 사용하면 약 30.7%의 양분 흡수량이 증가한다고 하였다.

Fig. 3. Nutrient use efficiency between different treatments of livestock compost and mixed compost with food waste and livestock compost ($P < 0.05$). (Note: Statistic analysis was performed separately for nitrogen and phosphorous).

Conclusions

본 연구에서는 논 토양의 벼 재배 조건에서 작물의 생육 및 수량 변화와 양분 이용 효율에 대한 화학비료, 가축분 퇴비, 음식물류 폐기물을 포함한 혼합분 퇴비 시용의 영향을 평가하였다. 작물의 생육에 필요한 질소의 양을 전체 다 퇴비로 대체하였을 시 화학비료 보다 벼 생산성에서 낮은 경향을 나타내었으며 (59 - 81%), 질소 밀거름 량을 퇴비로 대체할 경우 최대 113%의 높은 벼 생산성을 보이는 것으로 평가되었다. 질소 밀거름 100% 대체와 150%대체 간에 벼 생산성에는 유의미한 차이가 없었지만 양분 이용효율에서 질소 밀거름 100%대체 처리구가 더 높은 경향을 나타내어, 벼 재배 시 생산성과 함께 잉여양분으로 인한 환경 부하를 저감하는데 100%의 밀거름 대체 처리가 더 효과적일 것으로 평가되었다.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. PJ01516002)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- DeLaune, R.D., S.R. Pezeshki, and J.H. Pardue. 1990. An oxidation-reduction buffer for evaluating physiological response of plants to root oxygen stress. *Environ. Exp. Bot.* 30:243-247.
- Gerber, P., P. Chilonda, G. Franceschini, and H. Menzi. 2005. Geographical determinants and environmental implications of livestock production intensification in Asia. *Bioresour. Technol.* 96:263-276.
- 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(3):197-201.
- Kim, S.H., S.J. Park, J.H. Shim, H.B. Seo, J.E. Lim, Y.H. Lee, H.Y. Hwang, and M.S. Kim. 2020. Effects of different organic fertilizers and fertilization method on red pepper growth and soil chemical properties. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 53(2):110-117.
- Kim, T.G., C.H. Yang, J.H. Yu, S.B. Lee, and C.H. Yu. 2008. The effect of application of organic fertilizer combined treatment on rice growth and soil fertility in reclaimed land. p. 961-966. Research Report, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju, Korea.
- Kim, Y.G., W.S. Lim, C.O. Hong, and P.J. Kim. 2014. Effect of combined application of bottom ash and compost on heavy metal concentration and enzyme activities in upland soil. *Korean J. Environ. Agric.* 33(4):262-270.
- 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. Korea Org. Resour. Recycl. 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. Korea Org. Resour. Recycl. Assoc.* 17(3):71-81.
- 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., S.J. Park, H.Y. Hwang, M.S. Kim, H.I. Jung, D. Luyima, S.Y. Hong, T.K. Oh, and S.H. Kim. 2019. Effects of food waste compost on the shift of microbial community in water saturated and unsaturated soil condition. *Appl. Biol. Chem.* 2019(62):1-7.
- Lee, S.B., K.M. Cho, N.H. Baik, C.H. Yang, J.H. Jung, K.J. Kim, and G.B. Lee. 2012. Effects of pig compost and liquid manure on yield, nutrients uptake of rice plant and physicochemical properties of soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(5):772-778.
- NAAS (National Academy of Agricultural Science). 2010. Fertilizer recommendation for crop production. RDA, Wanju, Korea.
- NIAS. 2017. Fertilizer recommendation for crop production (3rd ed.). National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju, Korea.
- NIER. 2020. Study on integrated management of organic waste. National institute of Environmental Research Report, Incheon, Korea.
- Park, B.K., J.S. Lee, N.J. Cho, and K.Y. Jung. 2001. Effects of application time and amount of pig manure on growth of rice and infiltration water quality. *Korea J. Soil Sci. Fert.* 34:147-152.

- Park, M., O. Singvilay, W. Shin, E. Kim, J. Chung, and T. Sa. 2004. Effects of long-term compost and fertilizer application on soil phosphorus status under paddy cropping system. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 35:1635-1644.
- RDA. 1999. Manufacture and utilization of compost and liquid manure for environmental friendly agriculture. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- RDA. 2019. Fertilizer regulations. Rural Development Administration, Suwon, 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. p. 63-75. In *Proceedings of the Korean Society of Soil Sciences and Fertilizer Conference*, Wanjū, Korea.
- Sharpley, A.N. 1995. Dependence of runoff phosphorus on extractable soil phosphorus. *J. Environ. Qual.* 24(5):920-926.
- Yeon, B.Y., H.K. Kwak, Y.S. Song, H.J. Jun, H.J. Cho, and C.H. Kim. 2007. Changes in rice yield and soil organic matter content under continued application of rice straw compost for 50 years in paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40:454-459.