

Evaluation of Soil Characteristics and Rice Productivity in a Paddy Field with Annual Application of Organic Resources

Ji-Eun Byeon¹, Seong-Heon Kim², Jae-Hong Shim², Yu-Na Lee³, Soon-Ik Kwon⁴, and Yun-Hae Lee^{4*}¹Post Doctoral Associates, Soil and Fertilizer Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju, 55365, Korea²Researcher, Soil and Fertilizer Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju, 55365, Korea³Assistant Researcher, Soil and Fertilizer Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju, 55365, Korea⁴Senior Researcher, Soil and Fertilizer Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju, 55365, Korea*Corresponding author: mushlee87@korea.kr

ABSTRACT

Received: October 18, 2022**Revised:** November 10, 2022**Accepted:** November 15, 2022**Edited by**Young Han Lee,
Gyeongsangnam-do Agricultural
Research & Extension Services,
Korea

This study was carried out to investigate the effect of the annual application of organic resources on the soil environment and rice production. The experiment consisted of five treatments; NF (no-fertilization), NPK (inorganic fertilizer), NPKR (inorganic fertilizer + rice straw), NPKC (inorganic fertilizer + cow compost) and NPKS (inorganic fertilizer + swine compost). Soil organic matter content was not different for all treatments in 2021. The soil organic carbon (SOC) and soil organic carbon stock (SOC stock) were not difference for all treatments in 2021. The highest rice production was NPKR treatment in 2018 and 2021. However, the rice production was no significant difference among the other organic resource application treatments (NPKR, NPKC, NPKS) and only inorganic fertilizer treatment. The application of organic resources can improve the soil environment and increase crop production. Still, long-term studies are needed to evaluate the impact of the application of organic resources on the soil environment and crop production.

Keywords: Livestock manure, Organic matter, Physicochemical properties of soil, Rice, Soil organic carbon**ORCID**

Ji-Eun Byeon

<https://orcid.org/0000-0002-8435-6172>

Yun-Hae Lee

<https://orcid.org/0000-0001-9255-143X>**Bulk density, soil organic carbon (SOC) and SOC stock of treated soil of organic fertilizer in 2018 and 2021.**

Year	Treatments	Bulk density (Mg m ⁻³)	SOC (g kg ⁻¹)	SOC stock (Mg C ha ⁻¹)
2018	NF [†]	1.34 A [‡]	8.9 B	35.8 A
	NPK	1.26 B	9.1 B	34.4 A
	NPKR	1.09 C	10.9 A	35.6 A
	NPKC	1.24 B	10.4 AB	38.7 A
	NPKS	1.25 B	10.6 A	39.8 A
2021	NF	1.42 a	9.9 a	42.2 a
	NPK	1.40 a	10.7 a	44.9 a
	NPKR	1.32 bc	10.1 a	40.0 a
	NPKC	1.29 c	11.7 a	45.3 a
	NPKS	1.37 ab	11.4 a	46.9 a

[†]NF, no fertilization; NPK, inorganic fertilizer; NPKR, NPK + rise straw; NPKC, NPK + cow compost; NPKS, NPK + swine compost.[‡]The different letters indicated significant difference among five treatments within same year at Duncan multiple range test.

Introduction

벼 재배 면적은 2014년 814,334 ha에서 매년 감소하여 2021년은 732,070 ha로 2014년보다 약 10% 감소하였으며, 논 벼의 10 a 당 생산량은 2014년 504 kg, 2021년 530 kg으로 5% 증가하는 추세였다 (Statistics Korea, 2022). 벼 생산량은 기상 조건, 품종, 토양 비옥도, 재배관리 등의 영향을 받으며, 생산량 증가는 품종 개발 및 재배기술 발달 등이 기인하는 것으로 보고되었다 (Kang et al., 2012; Shon et al., 2016). 토양 비옥도 감소, 불균형한 토양 시비 등은 생산량 감소에 영향을 줄 수 있으며, 작물생육에 필요한 양분을 균형 있게 공급을 위해 무기질비료에만 의존하면 지력 유지가 어렵기 때문에 유기물 사용으로 토양의 비옥도 유지 및 증진이 필요하며, 유기물 및 토양개량제의 사용은 지력을 높이는데 필수적이다 (Jeong et al., 2001; Lee et al., 2013; Zayed et al., 2013; Rollon et al., 2021). 토양 유기물이 증가하면 용적밀도, 경도와 같은 토양의 물리적인 특성을 개량하며, 그 중 토양의 용적밀도는 보수성과 배수성, 통기성, 뿌리의 활력, 토양 미생물 활동 등에 영향을 미치기 때문에 작물생육에 중요하다 (Kim et al., 2001; Yang et al., 2007; Hemmat et al., 2010).

유기물의 주요 공급원인 퇴비 사용은 토양의 비옥도 유지 및 증진, 벼의 생산성을 증대시키는 효과적인 방법이며, 토양유기탄소 (soil organic carbon) 함량을 유지하는데 중요한 역할을 한다 (Preethi et al., 2013; Kwon et al., 2022). 퇴비는 토양 개량제이면서 양분 공급원 역할을 하기 때문에 토양의 물리적, 화학적 특성을 개선할 수 있으며, 이를 통해 작물의 수확량을 증가시킬 수 있으나 토양의 특성과 비옥도 증진 효과는 변화가 점진적으로 나타나기 때문에 장기적인 시험을 통해 확인해야 한다 (Sarwar et al., 2007; Kwon et al., 2022). 이외에도 토양유기탄소의 경우에는 무사용구와 무기질비료 처리구보다 유기물 투입 처리구에서 증가했다는 보고가 있으며, 쌀의 수량은 NPK와 퇴비 혼합 처리가 무비와 NPK보다 많았다는 보고가 있다 (Preethi et al., 2013; Shon et al., 2016).

유기물원에 따라 벼의 생산성 및 토양의 화학성 변화에 미치는 영향뿐만 아니라 토양 유기물 공급원으로 가축분퇴비 및 볏짚이 토양유기탄소축적에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다. 이에 본 연구에서는 돈분퇴비, 우분퇴비 및 볏짚을 사용하였을 때 벼의 생산량, 토양 화학성 및 탄소축적량 변화를 알아보려고 하였다.

Materials and Methods

시험 포장 및 처리구 전라북도 완주군에 위치한 연용시험포장은 2014년부터 운영되고 있으며, 본 시험에서는 2018년과 2021년의 토양의 이화학성 및 벼의 생산량을 비교하였다. 벼 품종은 신동진을 사용하였으며, 유기물원으로는 볏짚 (rice straw), 우분퇴비 (cow compost), 돈분퇴비 (swine compost)를 사용하였다. 처리구는 무비구 (no fertilization), NPK (inorganic fertilizer), NPK와 볏짚 혼합 처리구 (NPK + rice straw, NPKR), NPK와 우분퇴비 혼합 처리구 (NPK + cow compost, NPKC), NPK와 돈분퇴비 혼합 처리구 (NPK + swine compost, NPKS)로 3반복씩 임의 배치법으로 배치하였으며, 유기물원은 모내기 6주 전에 투입하였다. 우분퇴비와 돈분퇴비는 비료사용처방 기준에 준하여 투입하였으며, NPK와 볏짚 혼합 처리구에 사용된 볏짚은 NPK와 볏짚 혼합 처리구의 수확 후 잔재물을 전량 토양에 환원하였다. 무기질비료는 표준시비량인 $N-P_2O_5-K_2O = 9-4.5-5.7 \text{ kg } 10a^{-1}$ 으로 기비, 분얼비, 수비로 분시하였으며, 분시량은 질소는 $5.0-2.0-2.0 \text{ kg } 10a^{-1}$, 인산은 $4.5-0-0 \text{ kg } 10a^{-1}$, 칼리는 $4.0-0-1.7 \text{ kg } 10a^{-1}$ 이다.

토양의 이화학성, 유기탄소, 유기탄소축적량 분석 토양 시료는 IPCC 기준에 따라 깊이 30 cm 까지 채취하였으며(IPCC, 2003), 토양을 풍건하여 2 mm체를 통과한 것을 분석 시료로 사용하였다. 토양의 이화학성은 pH, 유기물 (organic matter, OM), 유효인산 (Avail. P_2O_5), 유효규산 (Avail. SiO_2), 교환성 양이온 (Exch. cations K, Ca, Mg, Na), 용적밀도를 분석하였다. 농촌진흥청 농업과학기술원 토양화학분석법 (NASS, 2010)에 준하여 토양의 pH는 토양과 증류수를 1:5비율로 희석하여 pH meter (Orion 5-star, Thermo scientific, Singapore)를 이용해 측정하였으며, 유효인산은 Lancaster법, 유효규산은 1 M NaOAc (pH 4.0) 침출액으로 추출하여 분광광도계 (U-3000, Hitachi, Japan)를 이용해 측정하였다. 교환성 양이온은 1 M NH_4OAc (pH 7.0) 침출액으로 추출하여 유도결합 플라즈마 분광계 (AU/CINTRA 6, GBC Scientific Equipment Pty Ltd., Australia)를 이용해 측정하였다. 유기물은 원소분석기 (CHNS-932, LECO, USA)로 총탄소 및 총질소 함량을 분석한 후 총탄소 함량을 이용하여 환산계수에 의해 산출하였으며, 토양의 용적밀도는 코어를 이용하여 토양을 채취해 105°C에서 72시간 건조한 후 산정하였다. 토양유기탄소 (soil organic carbon, SOC)와 토양유기탄소 축적량 (soil organic carbon stock, SOC stock)을 아래 산출식을 이용하여 산출하였다 (Eqs. 1, 2).

$$\text{Soil organic carbon (g kg}^{-1}\text{)} = \text{Soil organic matter (g kg}^{-1}\text{)} / 1.724 \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\begin{aligned} \text{Soil organic carbon stock (Mg C ha}^{-1}\text{)} = \\ \text{Soil organic carbon (g kg}^{-1}\text{)} \times \text{Bulk density (Mg m}^{-3}\text{)} \times \text{Depth (0.3 m)} \times 10 \end{aligned} \quad (\text{Eq. 2})$$

통계분석 IBM SPSS statistics 27를 이용하여 연도별 처리구간 평균의 비교는 5%의 유의수준으로 Duncan 다중 분석을 실시하였다.

Results and Discussion

토양 화학성의 변화 유기물원 종류에 따른 논토양의 화학성 변화를 알아보기 위해 2018년과 2021년을 비교하였다 (Table 1). pH는 2018년에 모든 처리에서 6.5 - 6.6으로 나타났으며, 2018년과 비교하여 2021년에 pH가 큰 변화를 보이지 않았다. 유기물함량은 2018년에는 처리구 중 NPKR과 NPKS가 높았으나 2021년에는 처리구간에 차이를 보이지 않았다. 본 연구 결과 유기물 함량은 2018년과 비교하여 2021년에 모든 처리에서 큰 차이를 보이지 않았으며, Shon et al. (2016)의 연구결과에서도 31년간 연용에 따른 유기물 함량은 연용 초기와 비교하여 대부분의 처리 (NPK, NPK와 볏짚 혼합, NPK와 석회 혼합 등)에서 유의한 차이를 보이지 않았다. Yeon et al. (2007)의 연구결과에서는 50년간 장기 연용 시 3요소와 퇴비 혼합 처리구에서 유기물함량이 증가되는 추세였지만 3요소구에서는 큰 변화가 없었다. 본 연구에서 2018, 2021년 토양의 유효인산 함량은 NPK보다 가축분퇴비 투입 처리구인 NPKC, NPKS에서 높았는데 Yang et al. (2007)의 연구결과에서도 연용 시 화학비료 처리에 비하여 우분퇴비, 돈분퇴비 처리에서 유효인산함량이 높았다. 2021년 시험 토양의 pH와 교환성 양이온은 대부분의 처리에서 적정 범위에 속하였으나 유기물함량은 17 - 20 g kg⁻¹로 모든 처리에서 적정범위인 20 - 30 g kg⁻¹ 보다 낮았으며, 유효인산의 경우에도 33 - 70 mg kg⁻¹로 모든 처리에서 적정범위인 80 - 120 mg kg⁻¹보다 낮았다.

Table 1. Chemical properties of soil in 2018 and 2021.

Year	Treatments	pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	Avail. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Avail. SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	Exch. cations (cmol _c kg ⁻¹)			
						K	Ca	Mg	Na
2018	NF [†]	6.6 ± 0.11 A [‡]	15 ± 0.60 B	55 ± 12.33 C	148 ± 7.36 A	0.27 ± 0.05 B	5.7 ± 0.65 A	2.0 ± 0.16 A	0.21 ± 0.04 A
	NPK	6.6 ± 0.11 A	16 ± 1.24 B	72 ± 6.65 B	181 ± 15.95 A	0.28 ± 0.05 AB	5.2 ± 0.26 A	1.8 ± 0.04 AB	0.19 ± 0.02 A
	NPKR	6.5 ± 0.14 A	19 ± 0.93 A	71 ± 4.23 B	169 ± 31.42 A	0.37 ± 0.05 A	5.0 ± 0.24 A	1.6 ± 0.06 B	0.16 ± 0.03 A
	NPKC	6.6 ± 0.11 A	18 ± 1.70 AB	99 ± 2.45 A	169 ± 20.68 A	0.30 ± 0.03 AB	5.4 ± 0.29 A	2.0 ± 0.18 A	0.21 ± 0.02 A
	NPKS	6.5 ± 0.14 A	18 ± 1.60 A	90 ± 4.65 A	172 ± 25.32 A	0.34 ± 0.04 AB	5.5 ± 0.48 A	2.0 ± 0.26 A	0.18 ± 0.02 A
2021	NF	6.4 ± 0.17 ab	17 ± 0.88 a	33 ± 6.29 b	147 ± 11.02 a	0.25 ± 0.06 a	5.3 ± 0.63 a	1.8 ± 0.18 a	0.15 ± 0.01 b
	NPK	6.4 ± 0.07 ab	19 ± 3.44 a	61 ± 22.92 ab	173 ± 24.77 a	0.24 ± 0.04 a	4.9 ± 0.20 a	1.7 ± 0.02 a	0.13 ± 0.01 cd
	NPKR	6.3 ± 0.16 b	17 ± 1.69 a	52 ± 14.06 ab	143 ± 7.26 a	0.32 ± 0.05 a	5.1 ± 0.18 a	1.7 ± 0.01 a	0.13 ± 0.01 d
	NPKC	6.7 ± 0.11 a	20 ± 1.60 a	70 ± 11.92 a	149 ± 16.30 a	0.34 ± 0.05 a	5.4 ± 0.27 a	1.9 ± 0.12 a	0.19 ± 0.01 a
	NPKS	6.5 ± 0.20 ab	20 ± 2.44 a	70 ± 22.57 a	176 ± 21.48 a	0.31 ± 0.07 a	5.4 ± 0.09 a	1.9 ± 0.04 a	0.14 ± 0.01 bc
Optimal range		5.5 - 6.5	25 - 30	80 - 120	157 ≤	0.20 - 0.30	5.0 - 6.0	1.5 - 2.0	-

[†]NF, no fertilization; NPK, inorganic fertilizer; NPKR, NPK + rise straw; NPKC, NPK + cow compost; NPKS, NPK + swine compost.

[‡]The different letters indicated significant difference among five treatments within same year at Duncan multiple range test.

토양유기탄소 및 축적량 변화 토양유기탄소는 토양에 유기태로 존재하는 탄소로 질소, 인 등의 양분을 포함하고 있기 때문에 화학비료 절감 및 작물생육 증진에 효과적이라고 알려져 있다 (Lee et al., 2019). 또한 토양유기탄소 저장은 대기 중으로의 CO₂ 증가를 상쇄할 수 있기 때문에 온실가스배출 절감측면에서 중요하다고 알려져 있다 (Lee et al., 2019). 본 연구는 유기물원 연용에 따른 용적밀도, SOC 및 SOC stock에 대하여 조사하였다 (Table 2). 2018년의 SOC 함량은 유기물원 투입 처리구인 NPKR과 NPKS에서 NF, NPK보다 높아 유기물 장기연용 시 유기물 투입 처리구에서 무비구와 무기질비료 처리구보다 토양유기탄소가 높았다는 선행연구 결과와 일치하였다 (Yu et al., 2020). 2021년의 SOC 함량은 처리 간에 차이를 보이지 않았다. SOC stock은 2018년, 2021년 모두 처리간 유의적 차이를 보이지 않았다. 2018년 SOC 함량은 유기물원 투입 처리구와 NF, NPK 처리구에서 차이를 보였으나 SOC stock은 차이

Table 2. Bulk density, soil organic carbon (SOC) and SOC stock of treated soil of organic fertilizer in 2018 and 2021.

Year	Treatments	Bulk density (Mg m ⁻³)	SOC (g kg ⁻¹)	SOC stock (Mg C ha ⁻¹)
2018	NF [†]	1.34 A [‡]	8.9 B	35.8 A
	NPK	1.26 B	9.1 B	34.4 A
	NPKR	1.09 C	10.9 A	35.6 A
	NPKC	1.24 B	10.4 AB	38.7 A
	NPKS	1.25 B	10.6 A	39.8 A
2021	NF	1.42 a	9.9 a	42.2 a
	NPK	1.40 a	10.7 a	44.9 a
	NPKR	1.32 bc	10.1 a	40.0 a
	NPKC	1.29 c	11.7 a	45.3 a
	NPKS	1.37 ab	11.4 a	46.9 a

[†]NF, no fertilization; NPK, inorganic fertilizer; NPKR, NPK + rise straw; NPKC, NPK + cow compost; NPKS, NPK + swine compost.

[‡]The different letters indicated significant difference among five treatments within same year at Duncan multiple range test.

를 보이지 않아 SOC 함량과 SOC stock의 경향이 일치하지 않았다. 본 연구와 유사하게 Huang et al. (2014)의 연구에서도 SOC 함량과 SOC stock의 경향이 일치하지 않았다. 이는 SOC stock이 SOC 함량뿐만 아니라 용적밀도의 영향도 받기 때문으로 판단된다. 기온 상승 시 유기물 분해가 촉진되어 SOC 함량이 감소한다는 보고 (Hong et al., 2018)가 있어 유기물원 투입에 따른 토양유기탄소 축적 효과를 평가하기 위해서는 장기적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

유기물원 연용에 따른 벼 생산량 비교 유기물원에 따라 2018년과 2021년의 벼 생산량을 비교한 결과는 Fig. 1과 같다. 2018년에는 NPKR이 $973 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 로 가장 많았으나 NPK ($901 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$), NPKC ($930 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$)와 유의한 차이를 보이지 않았다. 2021년에도 NPKR이 $677 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 로 가장 많았으나 NPK ($614 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$), NPKS ($637 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$)와 유의한 차이를 보이지 않았다.

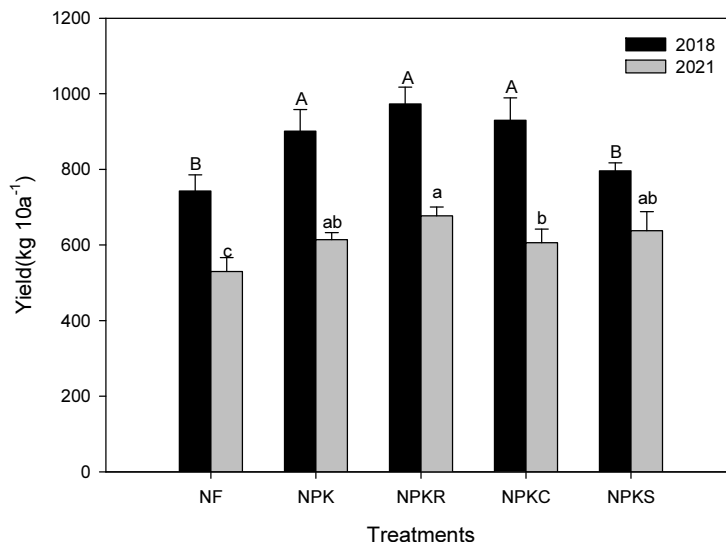


Fig. 1. Grain yield under different organic matter in 2018 and 2021. NF, no fertilization; NPK, inorganic fertilizer; NPKR, NPK + rise straw; NPKC, NPK + cow compost; NPKS, NPK + swine compost. The different letters indicated significant difference among five treatments within same year at Duncan multiple range test. Black bars mean rice production in 2018, and grey bars mean rice production in 2021.

NPK와 유기물원 투입 처리구의 벼 생산량을 비교해 볼 때 2018년과 2021년 모두 NPKR, NPKC에서 NPK와 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이는 Oh et al. (2014)의 연구 결과 유기질비료 3년 연용 시 무기질비료, 유기질비료, 무기질비료와 유기질비료 혼합 처리의 벼 수확량이 유의한 차이를 보이지 않은 결과와 일치하였다. 반면, Tang et al. (2022)의 연구에서는 장기 연용 시 벼의 생산량이 이른 벼, 늦벼 모두 볏짚 잔여물과 무기질비료 혼합 처리, 유기퇴비와 무기질비료 혼합 처리에서 무기질비료 단일 처리보다 높았다는 연구결과가 있다. 퇴비는 토양의 물리적, 화학적 특성의 개선을 통해 작물의 수확량을 증가시킬 수 있으나 토양의 특성 및 비옥도 증진 효과는 점진적으로 나타나기 때문에 (Preethi et al., 2013; Kwon et al., 2022) 유기물원의 토양 환경 개선 효과를 평가하기 위해서는 보다 장기간 연구가 필요한 것으로 판단된다.

Conclusions

4년간 유기물원 투입에 따른 벼의 생산량 및 토양 화학성을 평가한 결과, 논토양의 이화학성과 토양유기탄소축적량 등 유기물원 투입이 무기질비료 처리와 차이를 보이지 않았으며, 벼의 생산량의 경우에도 유기물원 투입이 무기질비료 처리와 차이를 보이지 않았다. 유기물원인 가축분퇴비 및 볏짚이 작물의 생산량, 토양의 화학성 및 탄소축적량의 변화에 미치는 영향을 알아보기 위해서는 지속적으로 유기물원 연용에 따른 토양 환경과 작물 생육 변동 평가가 필요하다.

Acknowledgement

This study was carried out with support of “PJ013522” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Hemmat, A., N. Aghilinategh, Y. Rezainejad, and M. Sadeghi. 2010. Long-term impacts of municipal solid waste compost, sewage sludge and farmyard manure application on organic carbon, bulk density and consistency limits of a calcareous soil in central Iran. *Soil Tillage Res.* 108:43-50.
- Hong, S.C., S.H. Hur, S.K. Choi, D.H. Choi, and E.S. Jang. 2018. Elevated temperature treatment induced rice growth and changes of carbon content in paddy water and soil. *Korean J. Environ. Agric.* 37(1):15-20.
- Huang, Q.H., D.M. Li, K.L. Liu, X.C. Yu, H.C. Ye, H.W. Hu, X.L. Xu, S.L. Wang, L.J. Zhou, Y.H. Duan, and W.J. Zhang. 2014. Effects of long-term organic amendments on soil organic carbon in a paddy field: A case study on red soil. *J. Integr. Agric.* 13(3):570-576.
- IPCC. 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Hayama, Japan.
- Jeong, J.H., B.W. Sin, and C.H. Yoo. 2001. Effects of the successive application of organic matters on soil properties and rice yields. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34(2):129-133.
- Kang, S.S., A.S. Roh, S.C. Choi, Y.S. Kim, H.J. Kim, M.T. Choi, B.K. Ahn, H.W. Kim, H.K. Kim, J.H. Park, Y.H. Lee, S.H. Yang, J.S. Ryu, Y.S. Jang, M.S. Kim, Y.K. Sonn, C.H. Lee, S.G. Ha, D.B. Lee, and Y.H. Kim. 2012. Status and changes in chemical properties of paddy soil in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(6):968-972.
- Kim, J.G., S.B. Lee, and S.J. Kim. 2001. The effect of long-term application of different organic materials sources on soil physical property and microflora of upland soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34(5):365-372.
- Kwon, S.I., Y.H. Lee, H.Y. Hwang, and S.H. Kim. 2022. Long-term application effects of soil amendments on yield and soil properties in paddy. *J. Korea Org. Resour. Recycl. Assoc.* 30(1):5-11.
- Lee, C.H., C.Y. Park, K.Y. Jung, and S.S. Kang. 2013. Long-term effects of inorganic fertilizer and compost application on rice sustainability in paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 46(3):223-229.
- Lee, T.H., S.W. Kim, Y.C. Shin, Y.H. Jung, K.J. Lim, J.E. Yang, and W.S. Jang. 2019. Development of soil organic carbon storage estimation model using soil characteristics. *J. Korean Soc. Agric. Eng.* 61(6):1-8.
- NASS. 2010. Methods of soil chemical analysis. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
- Oh, T.S., S.M. Kim, and C.H. Kim. 2014. The effect of organic fertilizer according to the duration and amount of soil chemical changes on yield components of rice. *Korean J. Crop Sci.* 59(3):209-215.
- Preethi, B., R. Poorniammal, D. Balachandar, S. Karthikeyan, K. Chendrayan, P. Bhattacharyya, and T.K. Adhya. 2013.

- Long-term organic nutrient managements foster the biological properties and carbon sequestering capability of a wetland rice soil. *Arch. Agron. Soil Sci.* 59(12):1607-1624.
- Rollon, R.J.C., J.M. Golis, and E. Salas. 2021. Impacts of soil nutrient management practices on soil fertility, nutrient uptake, rice (*Oryza sativa* L.) productivity, and profitability. *J. Appl. Biol. Biotechnol.* 9(2):75-84.
- Sarwar, G., N. Hussain, H. Schmelsky, and S. Muhammad. 2007. Use of compost an environment friendly technology for enhancing rice-wheat production in Pakistan. *Pak. J. Bot.* 39(5):1553-1558.
- Shon, J.Y., J.H. Kim, S.G. Kang, S.H. Shin, K.B. Shim, W.H. Yang, and S.G. Heu. 2016. Effect of long-term fertilization on rice yield and soil chemical properties in the mid-plain of Korea. *Korean J. Crop Sci.* 61(1):25-32.
- Statistics Korea. 2022. Rice production by city and county (milled grain, 92.9%). https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0034&conn_path=I3.
- Tang, H., K. Cheng, L. Shi, C. Li, L. Wen, M. Sun, G. Sun, and Z. Long. 2022. Effects of long-term organic matter application on soil carbon accumulation and nitrogen use efficiency in a double-cropping rice field. *Environ. Res.* 213:113700.
- 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.
- 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(6):454-459.
- Yu, Q., X. Hu, J. Ma, J. Ye, W. Sun, Q. Wang, and H. Lin. 2020. Effects of long-term organic material applications on soil carbon and nitrogen fractions in paddy fields. *Soil Tillage Res.* 196:104483.
- Zayed, B.A., W.M. Elkhoby, A.K. Salem, M. Ceesay, and N.T. Uphoff. 2013. Effect of integrated nitrogen fertilizer on rice productivity and soil fertility under saline soil conditions. *J. Plant Bio. Res.* 2(1):14-24.