

# Korean Journal of Soil Science and Fertilizer

## Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2023.56.4.407>  
pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

## Assessment of Lettuce Yield and Soil Organic Carbon Fraction Distribution under Different Types of Organic Matter in South Korea

Yu Na Lee<sup>1</sup>, Dong-Won Lee<sup>1</sup>, Young Jae Jeong<sup>1</sup>, Jin Ju Yun<sup>2</sup>, Jae-Hong Shim<sup>3</sup>, Sang-Ho Jeon<sup>3</sup>, Yun-Hae Lee<sup>4</sup>, Soon-Ik Kwon<sup>4</sup>, and Seong-Heon Kim<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Assistant Researcher, Soil and Fertilizer Management Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

<sup>2</sup>Postdoctoral Associates, Soil and Fertilizer Management Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

<sup>3</sup>Researcher, Soil and Fertilizer Management Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

<sup>4</sup>Senior Researcher, Soil and Fertilizer Management Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

\*Corresponding author: ksh4054@korea.kr

## ABSTRACT

Received: October 17, 2023

Revised: November 22, 2023

Accepted: November 27, 2023

## Edited by

Seong-Soo Kang,  
Rural Development  
Administration, Korea

## ORCID

Yu Na Lee

<https://orcid.org/0009-0002-7308-8173>

Young Jae Jeong

<https://orcid.org/0000-0002-9249-9413>

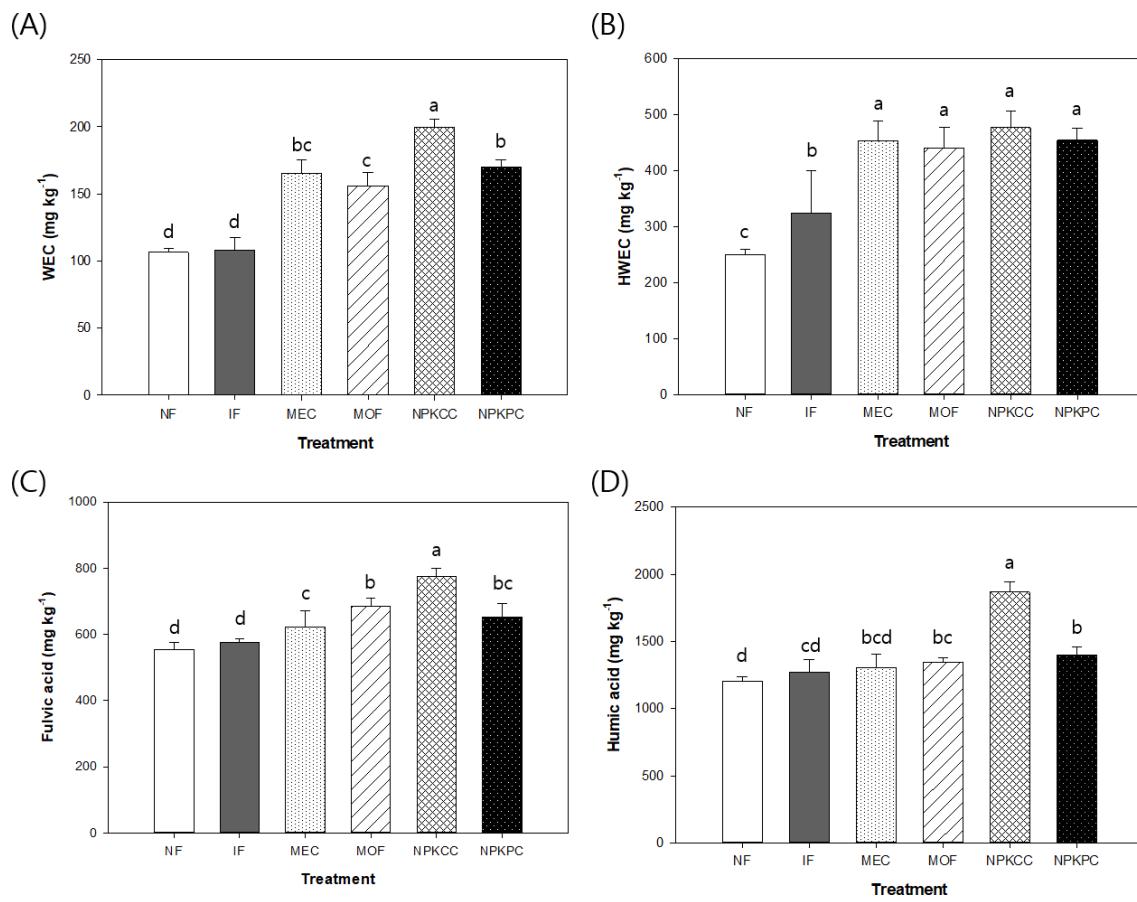
Seong-Heon Kim

<https://orcid.org/0000-0001-6047-9103>

In this study, we evaluated the effect of applying different types of organic matter on yield, soil chemical properties, and soil carbon fraction in lettuce cultivation. The experiment consisted of six different fertilizations; no fertilizer (NF), inorganic fertilizer (IF), mixed expeller cake (MEC), mixed organic fertilizer (MOF), NPK+ Cow manure compost (NPKCC), NPK+Pig manure compost (NPKPC). The yield of lettuce under NPKCC (2,962 kg 10a<sup>-1</sup>) was higher than NF (1,157 kg 10a<sup>-1</sup>), IF (1,990 kg 10a<sup>-1</sup>), MEC (2,173 kg 10a<sup>-1</sup>), MOF (2,398 kg 10a<sup>-1</sup>), and NPKPC (2,810 kg 10a<sup>-1</sup>). In the soil chemical analysis, the pH showed no significant difference between treatment, whereas both EC and available phosphate demonstrated statistically significant increases in response to the application of inorganic fertilizer and cow manure compost. The concentration of fulvic acid (FA) was high in the following order: NPKCC (776 mg kg<sup>-1</sup>) > MOF (684 mg kg<sup>-1</sup>) > NPKPC (652 mg kg<sup>-1</sup>) > MEC (623 mg kg<sup>-1</sup>) > IF (577 mg kg<sup>-1</sup>) > NF (555 mg kg<sup>-1</sup>). The concentration of humic acid (HA) was high in the following order: NPKCC (1,868 mg kg<sup>-1</sup>) > NPKPC (1,403 mg kg<sup>-1</sup>) > MOF (1,346 mg kg<sup>-1</sup>) > MEC (1,304 mg kg<sup>-1</sup>) > IF (1,273 mg kg<sup>-1</sup>) > NF (1,206 mg kg<sup>-1</sup>). In conclusion, application of cow manure compost with inorganic fertilizer can increase lettuce yield and stable carbon (fulvic acid, humic acid) concentration. Therefore, it is recommendable for suitable soil management strategy to improve soil carbon and increase crop yield in upland soil. Furthermore, in order to provide a comprehensive evaluation of the enduring effects of organic matter application on crop yields, soil chemical properties, and soil organic carbon stocks, it is strongly recommended that further studies be undertaken.

**Keywords:** Carbon fraction, Lettuce, Organic carbon, Organic matter





Effect of different organic matter on soil organic carbon fractions.

## Introduction

1990년대 화학공정을 통하여 무기질비료가 제조되었으며 작물 생산량 증대를 위해 무기질비료를 사용하여 작물을 재배하였다 (An et al., 2022). 무기질비료는 양분 공급이 속효성이이며 공정을 통하여 합성, 제조되기 때문에 토양이나 작물이 필요로 하는 양분의 양에 맞추어 제조할 수 있는 편리성 등의 장점을 가지고 있어 생산량 증대를 위해 오랫동안 사용되고 있다 (Lee et al., 2008; Kim et al., 2018b). 하지만 과다사용 및 장기적인 사용은 토양 유기물을 감소시키고 토양구조 악화와 같은 문제를 일으킨다고 알려져 있다 (Lee et al., 2013a; Kim et al., 2018b, 2020a; Park et al., 2021). 또한 빗물이나 관개시설을 통한 양분 유출로 인한 수질 오염과 같은 다양한 환경오염 문제를 일으킬 수 있는 가능성이 높기 때문에 (Ryu and Lee, 2010; Hong et al., 2016), 지속 가능한 농업을 위해서 토양에 퇴비, 풋거름 작물, 농업 부산물과 같은 유기물원을 농경지에 사용하는 것을 권장하고 있다 (Kim et al., 2020a; Lee et al., 2020).

퇴비의 사용은 토양의 보수력 및 통기성을 증진시키고, 토양 입단화를 촉진시켜 물리성을 개선시키는 효과가 있다 (Ouedraogo et al., 2001; Barzegar et al., 2002; Tavali, 2021; Lee et al., 2023). 뿐만 아니라 토양 내 미생물에 에너지원을 공급하여 생물 다양성을 증대시키는 역할을 하고 (Bastida et al., 2021; Lee et al., 2021b) 유용미생물 증가로 인하여 토양 병해에 대한 저항성을 증가시킨다 (Kim et al., 2001; An et al., 2018). 또한 토양 탄소 축적원으로 토양유기탄소 함량을 유지하는데 중요한 역할을 한다 (Preethi et al., 2013; Byeon et al., 2022; Kwon et al., 2022).

토양유기탄소 (soil organic carbon, SOC)는 토양유기물의 주요 성분이며 수분, 온도, 토양미생물의 작용으로 인하여 분해되며, 이 후 결합 형태에 따라 토양에 축적되는 기간이 달라지게 된다 (Lee et al., 2013b; Cho et al., 2018). 토양유기탄소는 산, 염기 용해도의 차이를 이용하고 있으며, 산과 염기에서 모두 용해되는 탄소는 풀비산 (fulvic acid, FA), 산에서 용해되는 탄소는 부식산 (humic acid, HA), 산과 염기에서 용해되지 않는 탄소는 휴민 (humin, Hm)으로 정의되어진다 (Seo et al., 2015; Lee et al., 2020). 풀비산, 휴민산 및 휴민과 같은 안정한 형태 (non-labile 형태)인 탄소는 분해과정을 거쳐 난분해성이 많아져 토양에 잔류하는 기간이 길어져 토양 내 저장 효과가 높아 토양탄소 저장을 증대하는 효과를 가져올 수 있다 (Cho et al., 2018). 이러한 토양유기탄소는 토지 이용 및 탄소 순환에 있어 중요하며, 현재 기후변화 문제로 토양유기탄소 저장에 대한 중요성이 커지고 있다 (Hong et al., 2015; Byeon et al., 2023).

토양유기탄소 저장은 대기 중에 포함된 이산화탄소를 분해되기 어려운 형태의 유기탄소로 변화하여 장기간 저장하는 것을 말하며 토양탄소 저장방법에는 퇴비를 이용한 양분관리, 무경운, 간작 및 혼작, 바이오차 투입, 피복작물 재배 등이 알려져 있다 (Lal, 2004; Six et al., 2006; Ahn et al., 2020; Lee et al., 2021a).

본 연구는 종류가 다른 유기물 투입에 따른 토양탄소 저장 형태를 평가하기 위하여, 상추재배 기간동안 종류가 다른 유기물 (혼합유박, 혼합유기질비료, 우분퇴비, 돈분퇴비)을 투입하여 작물의 생육 및 토양화학성을 분석하였다.

## Materials and Methods

**포트 재배 실험** 토양에 종류가 다른 유기물원 투입에 따른 작물 생육 및 토양의 화학성, 토양 탄소 저장 형태를 조사하기 위해 전북 완주군 이서면에 위치한 국립농업과학원 종합 유리온실 내에서 상추 (*Lactuca sativa L.*) 포트 재배시험을 하였다. 상추 재배를 위해 15,000a<sup>-1</sup> 크기의 포트에 토양 3 kg을 충진한 뒤 실험을 진행하였으며, 시험 전 토양 화학성은 Table 1과 같다. 처리구는 무처리구 (no fertilizer, NF), NPK 처리구 (inorganic fertilizer, IF), NPK+우분 처리구 (NPK+Cow manure compost, NPKCC), NPK+돈분 처리구 (NPK+Pig manure compost, NPKPC), 혼합유박 처리구 (mixed expeller cake, MEC), 혼합유기질비료 처리구 (mixed organic fertilizer, MOF)로 설정하였다. 시비량은 농촌진흥청 작물별 비료사용처방 (5차 개정본, RDA, 2022)의 상추 시비량에 따라 노지재배 표준사용량 기준으로 무기질비료는 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O = 20.0-5.9-12.8 kg 10a<sup>-1</sup> 처리하였으며 퇴비는 유기물함량을 기준으로 우분 및 돈분퇴비는 각각 2,000 kg 10a<sup>-1</sup>, 440 kg 10a<sup>-1</sup>을 처리하였다. 유기질비료 (혼합유박, 혼합유기질비료)는 무기질비료 질소 표준사용량인 20 kg 10a<sup>-1</sup>에 상응하는 유기질비료 사용량을 Eq. 1과 같이 산정하여 1배 기준으로 혼합유박 및 혼합유기질비료를 각각 324.7 kg 10a<sup>-1</sup>, 259.7 kg 10a<sup>-1</sup>을 처리하였다. 유기물원 (우분퇴비, 돈분퇴비, 혼합유박, 혼합유기질비료)은 상추 정식 3주 전에 처리하였으며 질소, 인산 및 칼리는 각각 요소, 용과린, 염화가리를 사용하였다. 기비 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O = 10-5.9-6.4 kg 10a<sup>-1</sup>)는 상추 정식날 처리하였으며 웃거름 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O = 5.0-0.0-3.2 kg 10a<sup>-1</sup>)은 정식 3주 후 10일 간격으로 2회 처리하였다. 생육 시기는 봄철 생육 (4월 초 - 5월 말)이었으며 토양수분은 수분센서 (5TE, Decagon)을 설치하여 포장용수량 25%에 맞추어 물을 주입하였다. 처리구의 배치는 임의배치로 3반복하여 진행하였다. 시험에 사용한 퇴비와 유기질비료의 화학적 특성은 Table 2와 같다.

$$\text{유기질비료 사용량 (kg } 10\text{a}^{-1}) = \frac{\text{토양표준 } N \text{ 사용량 (kg } 10^{-1}) \times 100}{\text{유기질비료질소함량 (\%)}} \quad (\text{Eq. 1})$$

**Table 1.** Chemical properties of soil.

	pH (1:5)	EC (dS m <sup>-1</sup> )	OM (g kg <sup>-1</sup> )	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )		Exch. cation (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		
Soil	7.1	0.7	13.2	267	0.44	K	Ca	Mg
Optimal range <sup>†</sup>	6.5 - 7.0	≤2	20 - 30	250 - 400	0.40 - 0.60	6.0 - 7.0	2.0 - 2.5	-

<sup>†</sup>Optimal range for lettuce cultivation in a normal field (RDA, 2022).

**Table 2.** Chemical properties of different type organic matter.

Type <sup>†</sup>	TC (%)	TN (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CaO (%)	MgO (%)	C/N
MEC	39	4.00	2.00	1.00	6.01	0.59	10
MOF	33	5.00	1.00	1.00	11.71	1.15	7
CC	30	2.85	2.34	3.66	6.23	2.06	11
PC	41	2.72	3.73	0.80	4.74	1.42	15

<sup>†</sup>MEC, mixed expeller cake; MOF, mixed organic fertilizer; CC, cow manure compost; PC, pig manure compost.

**생육 조사 및 시료 분석** 2023년 4월 19일에 이식하여 5월 30일까지 6주간 재배 후 상추 지상부를 수확하였다. 퇴비 및 유기질비료 처리에 따른 상추의 생육을 알아보기 위해 pot 이식 후 14일 후에 2주일 간격으로 3회에 걸쳐 상추의 생체중, 엽장, 엽폭 및 엽수를 조사하였으며, 엽색도는 SPAD-502 (Konica minolta, Japan)을 이용하여 측정하였다. 토양의 화학성 분석은 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 분석하였다. 토양 pH와 전기전도도 (electrical conductivity, EC)는 토양과 종류수의 비를 1:5로 하여 30분간 진탕시킨 후 pH meter (Orion 5 star, Thermo Scientific, USA)와 EC meter (Orion star A222, Thermo Scientific, USA)로 각각 측정하였다. 전질소 (total nitrogen, TN) 및 전탄소 (total carbon, TC)는 원소분석기 (Vario Max, Elementar, Germany)로, 유효인산 (Avail. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)은 Lancaster 법으로 분석하였다. 교환성 양이온 (exch. cation)은 1 M NH<sub>4</sub>OAc 용액으로 추출하여 유도결합 플라즈마 발광광도계 (ICP-OEC, GBC, Malaysia)로 분석하였다.

**유기물원 사용에 따른 상추의 질소흡수량 및 질소이용효율 분석** 유기물원 사용에 따른 상추의 질소흡수량 및 질소이용효율을 조사하기 위해 식물체 분석을 하였으며 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 분석하였다. 식물체는 70°C dry oven에서 48시간 건조한 후 분석에 이용하였으며 총 질소는 원소분석기 (Vario Max, Elementar, Germany)로 분석하였다. 유기물원 종류별 질소흡수량은 아래의 Eq. 2를 이용하였으며 질소이용효율은 Eq. 3을 이용하여 산출하였다. 질소이용효율 계산 시 질소 총 시비량은 유기물 투입에 의한 질소 투입량을 포함하지 않았다.

$$\text{질소흡수량 (kg ha}^{-1}) = \frac{\text{건물중 (kg ha}^{-1}) \times \text{식물체 질소함량 (\%)} }{100} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\text{질소이용효율 (\%)} = \frac{\text{각 처리구 질소흡수량 (kg ha}^{-1}) - \text{무처리 질소흡수량 (kg ha}^{-1})}{\text{질소 총 시비량 (kg ha}^{-1})} \times 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

**토양 탄소 분획 분석** 토양의 가용성 유기탄소(dissolved organic carbon, DOC)는 water extraction (WEC) 및 hot water extraction (HWEC)법을 이용하였다 (Ghani et al., 2003; Lee et al., 2020). WEC는 토양 3 g에 증류수 30 mL을 넣은 다음 30분간 진탕한 후 3,600 rpm에서 20분간 원심분리하여 상징액과 침전물을 분리하였다. 상징액은 0.45  $\mu\text{m}$  membrane filter를 이용하여 여과한 후 TOC 분석기 (TOC-V 5050A, Shimadzu, Japan)로 분석하였다. HWEC는 여과 후 남은 침전물에 증류수 30 mL를 넣고 10초간 진동교반 후 80°C 항온수조에서 16시간 정지한 후 3,600 rpm에서 20분간 원심분리 하였다. 상징액을 0.45  $\mu\text{m}$  membrane filter를 이용하여 여과한 후 2배 희석하여 TOC 분석기 (TOC-V 5050A, Shimadzu, Japan)로 분석하였다.

형태별 탄소 함량은 산과 염기용액을 이용하여 휴믹산과 풀비산으로 분획하였다 (Christl et al., 2000; Michael and Hayes, 2006). 토양 3 g에 30 mL 1 M NaOH 용액을 첨가하여 125 rpm에서 24시간 동안 진탕한 후 3,600 rpm에서 30 분간 원심분리하여 상징액과 침전물을 분리하였다 (Solution A). 상징액은 0.45  $\mu\text{m}$  membrane filter로 여과하여 20 배 희석한 후 분석하였으며 이때 상징액은 풀비산(fulvic acid, FA)과 휴믹산(humic acid, HA)으로 분류하였고 염기 용액에 용해되지 않고 남은 침전물은 난분해성인 휴민으로 분류하였다. 여과한 용액에 30 mL 6 M HCl을 첨가하여 3,600 rpm에서 20분간 원심분리하여 상징액과 침전물을 분리하여 20배로 희석한 후 탄소 함량을 분석하였다 (Solution B). 산에 용해되어 상징액에 포함된 탄소는 풀비산 탄소이며 침전물은 휴믹산 탄소로 분류하였으며 산, 염기로 분획한 용액의 탄소 함량은 TOC 분석기 (TOC-V 5050A, Shimadzu, Japan)를 이용하여 분석하였다. 풀비산은 Solution B의 탄소함량이며, 휴믹산과 휴민의 탄소 함량은 아래의 Eq. 4, Eq. 5로 정의하였다.

$$\text{휴믹산 (humic acid, HA)} = \text{Solution A} - \text{Solution B} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$\text{휴민 (humin, Hm)} = \text{총탄소 (total carbon, TC)} - \text{Solution A} \quad (\text{Eq. 5})$$

**통계분석** 통계분석은 SPSS statistics 27을 사용하여 ANOVA 분석을 실시하였으며 DMRT (Duncan's multiple range test)로 처리구 간 평균차이에 대한 사후검정을 유의수준 5%에서 실시하였다.

## Results and Discussion

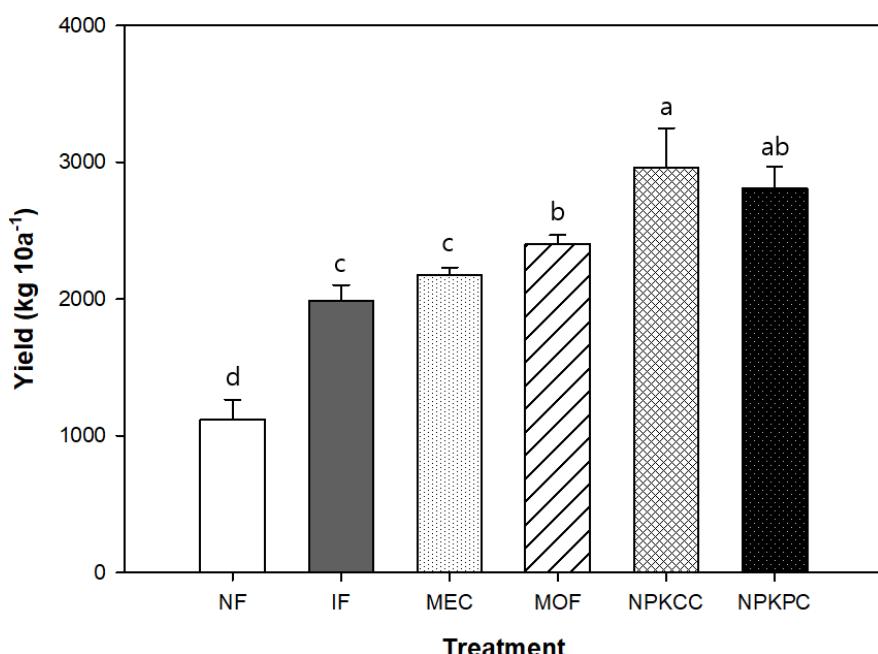
**유기물원 종류에 따른 상추 생육 특성** 종류가 다른 유기물원 사용에 따른 상추의 생육 특성 및 수량을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 엽장, 엽폭, 엽수 및 SPAD는 NF, IF 처리구보다 유기물원을 투입한 처리구에서 증가하는 경향을 보였으며 NPKCC 처리구에서 가장 높은 생육 특성을 보였다. 상추 생산량은 NPKCC ( $2,962 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ ) > NPKPC ( $2,810 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ ) > MOF ( $2,398 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ ) > MEC ( $2,173 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ ) ≈ IF ( $1,990 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ ) > NF ( $1,157 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ ) 순으로 나타난다 (Fig. 1). 선행연구에서 고추 재배 시 유기물원을 사용하였을 때 생육이 증가한다고 하였으며 무기질 비료를 단용으로 사용하는 것보다 퇴비와 같은 유기물원을 혼용하여 처리하였을 때 생산량이 증가한다는 결과와 유사하였다 (Park et al., 2009; Lee et al., 2021c). 이러한 결과는 퇴비와 같은 유기물원을 투입할 시 무기화과정을 통해 작물이 흡수할 수 있는 양분 형태가 공급되어졌기 때문이라고 판단된다 (Lim et al., 2011; Kim et al., 2018a, 2019, 2020b, 2021).

**Table 3.** Fresh weight, Leaf length, width, number and SPAD value of lettuce under the different type of organic matter.

Treatment <sup>†</sup>	Fresh weight (g)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf number (ea)	SPAD
NF	33.5 ± 7.7 d <sup>‡</sup>	16.3 ± 0.0 c	9.3 ± 1.0 d	18 ± 2 c	19.9 ± 1.0 b
IF	59.7 ± 6.0 c	18.2 ± 0.6 b	10.9 ± 0.5 c	21 ± 2 b	23.3 ± 2.0 ab
MEC	65.2 ± 3.0 c	19.2 ± 0.6 a	11.1 ± 0.5 bc	24 ± 1 ab	23.4 ± 0.7 ab
MOF	71.9 ± 3.6 bc	18.7 ± 0.6 ab	11.0 ± 0.7 bc	25 ± 2 a	26.8 ± 3.3 a
NPKCC	88.9 ± 15.0 a	18.7 ± 0.4 ab	11.7 ± 0.5 ab	27 ± 1 a	27.2 ± 4.9 a
NPKPC	84.3 ± 8.2 ab	19.3 ± 0.7 a	12.2 ± 0.9 a	25 ± 2 a	28.1 ± 1.8 a

<sup>†</sup>NF, no fertilizer; IF, inorganic fertilizer; MEC, mixed expeller cake; MOF, mixed organic fertilizer; CC, cow manure compost; PC, pig manure compost.

<sup>‡</sup>Numbers with the same letter within a column are not significantly different (Duncan's test,  $p < 0.05$ ).



**Fig. 1.** Yield of Lettuce according to the different type of organic matter. <sup>†</sup>NF, no fertilizer; IF, inorganic fertilizer; MEC, mixed expeller cake; MOF, mixed organic fertilizer; CC, cow manure compost; PC, pig manure compost. <sup>‡</sup>Numbers with the same letter within a column are not significantly different (Duncan's test,  $p < 0.05$ ).

**유기물원 종류에 따른 상추 질소흡수량 및 질소이용효율 분석** 수확 후 상추 식물체 분석을 통하여 상추 질소흡수량 및 질소이용효율을 분석한 결과는 Table 4와 같다. 질소흡수량은 NPKCC ( $54.2 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ ) > NPKPC ( $52.1 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ ) > MOF ( $42.5 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ ) > MEC ( $34.3 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ ) > IF ( $34.2 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ ) 순이었다. 질소흡수량이 IF 처리구보다 유기물원 처리구가 높은 이유는 질소 투입이 IF 처리구보다 많았을 뿐만 아니라 유기물이 미생물에 의해 분해되어 작물이 흡수할 수 있는 질소가 증가하였기 때문이라고 판단된다 (Byeon et al., 2023). 질소이용효율은 NPKCC 처리구에서 61.8%로 가장 높았으며 NPKPC > MOF > MEC > IF 순이었다. 양분이용효율은 투입량이 많을수록 시비효율은 감소되지만 유기물원을 투입한 처리구가 IF 처리구보다 높은 이유는 생산량이 많아 흡수량이 많았다는 선형연구와 일치하였다 (Lee et al., 1993; Lim et al., 2020).

**Table 4.** The amount of uptake and use efficiency in N of lettuce under the different type of organic matter.

Treatment <sup>†</sup>	N uptake (kg ha <sup>-1</sup> )	N use efficiency (%)
IF	34.2 ± 2.4 b <sup>‡</sup>	33.3 ± 3.4 c
MEC	34.3 ± 4.8 b	33.6 ± 6.8 c
MOF	42.5 ± 2.3 ab	45.3 ± 4.0 bc
NPKCC	54.1 ± 5.6 a	61.8 ± 8.0 a
NPKPC	52.1 ± 8.6 a	59.0 ± 12.3 ab

<sup>†</sup>IF, inorganic fertilizer; MEC, mixed expeller cake; MOF, mixed organic fertilizer; CC, cow manure compost; PC, pig manure compost.

<sup>‡</sup>Numbers with the same letter within a column are not significantly different (Duncan's test,  $p < 0.05$ ).

**유기물원 종류에 따른 토양 화학성 변화** 상추수확 후 종류에 따른 유기물원 사용에 따른 토양의 화학성 변화에 대해 조사하였다 (Table 5). pH는 모든 처리구에서 미미하게 증가하였으며 Kim et al. (1999)은 계분퇴비, 우분퇴비 등을 사용하였을 때 pH가 약간 높아졌다고 하였다. 이는 단기간에 퇴비를 사용한 경우 퇴비 제조 시 수분조절제로 사용되는 톱밥 등의 분해속도가 늦어 pH가 상대적으로 증가된 것으로 판단된다 (Kim et al., 2000; Lee et al., 2021b). EC는 NPKCC 처리구에서 가장 높게 나타났는데, 이러한 결과는 유기질비료와 같은 유기물원을 사용 시 NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N과 같은 양분의 공급 증가로 토양 EC가 증가한다는 선행연구 결과와 유사하였다 (Kang et al., 1997; Kim et al., 2020b, 2022). 또한 OM 및 Avail. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>은 NPKCC 처리구에서 높았으며 퇴비의 유기물원과 무기질비료의 인산이 결합하여 인산의 고정이 억제되어 토양에 집적되어 증가한다는 결과와 유사하였다 (Yang et al., 2006; Lee et al., 2020, 2021c). 선행연구 결과들에 따르면 유기물원을 투입하였을 때 교환성 양이온이 증가한다고 보고되었지만 (Cho et al., 2011; Ahn et al., 2017; Lee et al., 2021b) 본 연구결과에서는 시험 전보다 교환성 K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 교환성 양이온은 K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> 등의 양분을 작물이 이용할 수 있게 하는 능력으로 (Lim et al., 2020) 본 연구결과에서도 공급된 양이온이 작물 생육에 흡수하여 사용되어졌기 때문이라고 판단된다.

**Table 5.** Differences in soil chemical properties under the different type of organic matter.

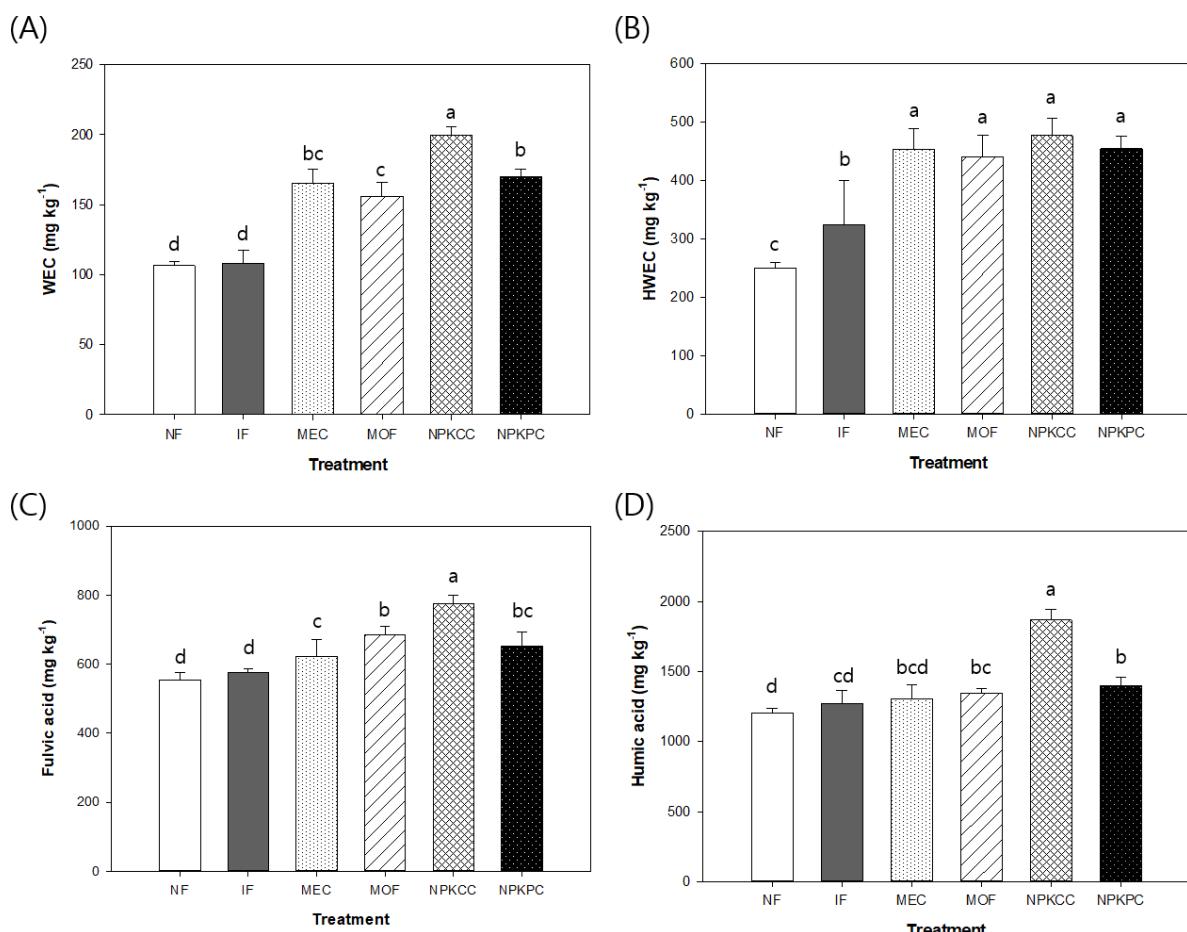
Treatment <sup>†</sup>	pH (1:5)	EC (dS m <sup>-1</sup> )	OM (g kg <sup>-1</sup> )	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Exch. cation (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )			
					K	Ca	Mg	Na
NF	7.3 a <sup>‡</sup>	0.6 c	11.5 c	275 b	0.27 b	7.0 a	1.3 a	0.15 b
IF	7.3 a	0.6 bc	11.7 c	276 b	0.27 b	7.3 a	1.3 a	0.14 c
MEC	7.3 a	0.7 bc	11.8 c	279 b	0.26 b	7.6 a	1.4 a	0.19 b
MOF	7.2 a	0.8 b	11.9 c	278 b	0.25 b	7.5 a	1.3 a	0.15 b
NPKCC	7.4 a	0.9 a	13.7 a	366 a	0.44 a	7.7 a	1.4 a	0.33 a
NPKPC	7.3 a	0.7 bc	12.9 b	285 b	0.26 b	7.4 a	1.4 a	0.16 b
Optimal range <sup>§</sup>	6.5 - 7.0	≤2	20 - 30	250 - 400	0.40 - 0.60	6.0 - 7.0	2.0 - 2.5	-

<sup>†</sup>NF, no fertilizer; IF, inorganic fertilizer; MEC, mixed expeller cake; MOF, mixed organic fertilizer; CC, cow manure compost; PC, pig manure compost.

<sup>‡</sup>Numbers with the same letter within a column are not significantly different (Duncan's test,  $p < 0.05$ ).

<sup>§</sup>Optimal range for lettuce cultivation in a normal field (RDA, 2022).

**유기물원 종류에 따른 토양 탄소 형태 평가** 투입 유기물원 종류에 따른 토양 탄소 형태를 분석한 결과는 Fig. 2와 같다. 가용성 탄소 중 WEC은 NPKCC 처리구에서  $199 \text{ mg kg}^{-1}$ 로 가장 높았으며 HWEC는 IF 처리구와 비교하였을 때 유기물원을 투입한 처리구에서 높은 경향이었지만 유기물원 처리구 간 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 이러한 WEC 및 HWEC는 불안정한 탄소(이분해성 탄소)로 정의하며 미생물에 의해 쉽게 분해되는 형태의 탄소이다 (Hong et al., 2013; Kwon et al., 2022). Kwon et al. (2022)은 토양개량제를 처리한 장기연용 포장에서 가용성 탄소의 증감을 확인할 수 없었으며 이는 미생물에 의해 쉽게 분해되지 않는 형태의 탄소인 부식(난분해성)으로 축적되어졌기 때문이라고 보고하였다. 본 연구는 상추를 재배한 단기 실험이기 때문에 가용성 탄소의 함량이 높은 것으로 판단된다.



**Fig. 2.** Effect of different organic matter on soil organic carbon fractions; (A) Water extractable carbon, (B) Hot water extractable carbon, (C) Fulvic acid, (D) Humic acid. <sup>a</sup>NF, no fertilizer; IF, inorganic fertilizer; MEC, mixed expeller cake; MOF, mixed organic fertilizer; CC, cow manure compost; PC, pig manure compost. <sup>b</sup>Numbers with the same letter within a column are not significantly different (Duncan's test,  $p < 0.05$ ).

산과 염기에 따른 토양유기탄소 형태별로 분획한 결과 FA (fulvic acid) 함량은 NPKCC 처리구에서  $776 \text{ mg kg}^{-1}$ 로 높았으며 MOF ( $684 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > NPKPC ( $652 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > MEC ( $623 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > IF ( $577 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ≈ NF ( $555 \text{ mg kg}^{-1}$ ) 순이었다 (Fig. 2c). HA (humic acid) 함량 또한 NPKCC 처리구에서  $1,868 \text{ mg kg}^{-1}$ 로 가장 높았으며 NPKPC ( $1,403$

$\text{mg kg}^{-1}$ ) > MOF ( $1,346 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > MEC ( $1,304 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > IF ( $1,273 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > NF ( $1,206 \text{ mg kg}^{-1}$ ) 순이었다 (Fig. 2d). FA와 HA는 가용성 탄소보다 분해가 쉽게 되지 않는 토양탄소의 형태이며 HA가 FA보다 분해속도가 느리다고 알려져 있다 (Seo et al., 2015). NPKCC 처리구에서 안정된 형태의 탄소인 HA 함량이 높은 이유는 우분퇴비에 리그닌과 셀룰로오스 등과 같은 생물학적으로 분해되기 어려운 형태인 난분해성 물질의 함량이 높기 때문이라고 판단된다.

## Conclusions

본 연구는 투입되는 유기물원 종류에 따라 작물생육, 토양화학성을 조사하고 탄소를 분획하여 토양 탄소 저장 형태를 평가하였다. NPK와 비교하였을 때 유기물원을 투입한 처리구에서 작물 생육 및 생산량이 증가함을 확인하였다. 토양화학성의 경우 유기물원 투입에 따라 큰 변화는 없었지만 가축분 퇴비를 혼용하여 처리한 처리구에서 풀비산 및 휴미산과 같은 안정된 형태의 탄소가 증가하는 경향이었다. 유기물원을 혼용함으로써 유기물 분해속도를 조절하여 양분 공급과 안정된 토양탄소 함량을 높일 수 있으며, 이를 통해 토양 탄소저장에 효과적인 방법이라고 제안할 수 있다. 하지만 본 실험은 단기간의 실험결과로 장기간 실험을 통해 유기물원 사용에 따른 작물 및 토양에 미치는 영향을 평가할 필요가 있다고 판단된다.

## Acknowledgement

This study was carried out with the support of “RS-2022-RD010351” Rural Development Administration, Republic of Korea.

## References

- Ahn, B.G., D.Y. Ko, H.J. Kim, J.H. Kim, and J.H. Lee. 2017. Effect of application amount of livestock manure compost on soil properties and rice growth. *J. Agric. Life Sci.* 48(1):1-7.
- Ahn, D.L., N.H. An, D.H. Kim, B.H. Han, J.H. You, I.C. Park, and J.H. Ahn. 2020. Effects of tillage on organic matters and microbial communities in organically cultivated corn field soils. *Korean J. Environ. Agric.* 39(1):65-74.
- An, H.R., S.J. Bae, Y.M. Lee, J.H. Lee, S.H. Jeon, and S.Y. Kim. 2022. Effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on mitigation greenhouse gas emissions and improving maize productivity in a field condition. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 55(4):261-272.
- An, N.H., S.M. Lee, J.R. Cho, H.S. Nam, J.A. Jung, and M.J. Kong. 2018. Effects of animal manure compost, tillage method and crop system on soil properties in newly organic corn cultivation field. *J. Korea Org. Resour. Recycl. Assoc.* 26(4):31-43.
- Barzegar, A.R., A. Yousefi, and A. Daryashenas. 2002. The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. *Plant Soil* 247(2):295-301.
- Bastida, F., D.J. Eldridge, C. Garcia, G. Kenny Png, R.D. Bardgett, and M. Delgado-Baquerizo. 2021. Soil microbial diversity-biomass relationships are driven by soil carbon across global biomes. *ISME J.* 15:2081-2091.
- Byeon, J.E., S.H. Kim, J.H. Shim, S.H. Jeon, Y.H. Lee, and S.I. Kwon. 2023. Effects of rice straw compost application on soil properties and soil organic carbon stock in paddy fields. *Korean J. Crop Sci.* 68(2):90-96.
- Byeon, J.E., S.H. Kim, J.H. Shim, Y.N. Lee, S.I. Kwon, and Y.H. Lee. 2022. Evaluation of soil characteristics and rice

- productivity in a paddy field with annual application of organic resources. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 55(4):541-547.
- Cho, H.S., C.R. Rom, and M. Gu. 2011. Effects of different organic apple production systems on seasonal nutrient variations of soil and leaf. *Sci. Hortic.* 129:9-17.
- Cho, H.S., M.C. Seo, J.H. Kim, W.G. Sang, P. Shin, and J.K. Baek. 2018. The changes of soil carbon as affected by several kinds of organic material in upland soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51(4):586-595.
- Christl, I., H. Knicker, I. Kögel-Knabner, and R. Kretzschmar. 2000. Chemical heterogeneity of humic substances: Characterization of size fractions obtained by hollow-fibre ultrafiltration. *Eur. J. Soil. Sci.* 51:617-625.
- Ghani, A., M. Dexter, and K.W. Perrott. 2003. Hot-water extractable carbon in soils: A sensitive measurement for determining impacts of fertilization, grazing and cultivation. *Soil Biol. Biochem.* 35:1231-1243.
- Hong, C.H., J.S. Kang, H.N. Shin, J.H. Cho, and J.M. Seo. 2013. Effect of compost and tillage on soil carbon sequestration and stability in paddy soil. *J. Environ. Sci. Int.* 22(11):1509-1517.
- Hong, S.G., J.D. Shin, K.L. Park, S.B. Lee, S.H. Kim, S.C. Kim, H. Shiedung, and W. Amelung. 2015. Feasibility of analyzing soil organic carbon fractions using mid-infrared spectroscopy. *J. Korea Org. Resour. Recycl. Assoc.* 23(3):85-92.
- Hong, S.G., K.L. Park, J.H. Kim, M.S. Ahn, C.R. Lee, M.G. Kim, and S.C. Kim. 2016. Properties of organically practiced paddy soils. *J. Korea Org. Resour. Recycl. Assoc.* 24(4):69-76.
- Kang, B.G., I.M. Kim, J.J. Kim, S.D. Hong, and K.B. Min. 1997. Chemical characteristics of plastic film house soil in chunbuk area. *Korea J. Soil Sci. Fert.* 30:265-271.
- Kim, J.G., K.B. Lee, S.B. Lee, D.B. Lee, and S.J. Kim. 1999. The effect of long-term application of different organic material sources on chemical properties of upland soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 32(3):239-253.
- Kim, J.G., K.B. Lee, S.B. Lee, D.B. Lee, and S.J. Kim. 2000. The effect of long-term application of different organic material sources on chemical properties in upland soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 33(3):182-192.
- Kim, J.G., S.B. Lee, and S.J. Kim. 2001. The effect of long-term application of different organic material sources on soil physical property and microflora of upland soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34(5):365-375.
- Kim, M.S., S.C. Kim, S.G. Yun, S.J. Park, and C.H. Lee. 2018a. Quality characteristics of commercial organic fertilizers circulated. *J. Korea Org. Resour. Recycl. Assoc.* 26(1):21-28.
- Kim, S.C., M.S. Kim, S.J. Park, S.H. Kim, and C.H. Lee. 2018b. Estimation of nutrient balance in field crops applied with different fertilization. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51(4):427-434.
- Kim, S.H., H.Y. Hwang, H.B. Seo, J.E. Lim, S.J. Park, Y.H. Lee, and M.S. Kim. 2019. Response of yield and nitrogen use efficiency for garlic on different types and rates of organic fertilizer. *J. Korea Org. Resour. Recycl. Assoc.* 27(4):35-42.
- Kim, S.H., H.Y. Hwang, M.S. Kim, S.J. Park, J.H. Shim, and Y.H. Lee. 2020a. Assessment of fertilizer usage by food crops at the national level. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 53(2):231-236.
- Kim, S.H., J.H. Shim, S.J. Park, Y.H. Lee, and S.I. Kwon. 2022. Effects of dried food waste powder on growth of Chinese cabbage and soil chemical properties. *J. Agric. Life Sci.* 56(4):43-38.
- Kim, S.H., J.H. Shim, Y.H. Lee, S.I. Kwon, and S.J. Park. 2021b. Effect of organic fertilizer application on plant growth and soil chemical properties under different crops cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 54(4):643-650.
- 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. 2020b. 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.
- 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.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123:1-22.

- Lee, C.H., C.Y. Park, K.Y. Jung, and S.S. Kang. 2013a. 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, C.S., Y.S. Song, J.Y. Lee, H.K. Kwak, Y.D. Park, and D.S. Kim. 1993. Newly recommended rates of N P K fertilizers based on soil testing for some upland crops. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 26(2):111-120.
- Lee, I.B., S.B. Kang, and J.M. Park. 2008. Effect of soil incorporation of gramiaceous and leguminous manures on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) growth and soil nutrient balances. *Korea J. Environ. Agric.* 27(4):343-348.
- Lee, K.S., K.S. Yoon, D.H. Choi, J.W. Jung, W.J. Choi, and S.S. Lim. 2013b. Agricultural soil carbon management considering water environment. *J. Environ. Impact Assess.* 22(1):1-17.
- Lee, S.I., S.S. Kang, E.J. Choi, H.S. Gwon, H.S. Lee, J.M. Lee, S.S. Lim, and W.J. Choi. 2021a. Soil carbon storage in upland soils by biochar application in east asia: Review and data analysis. *Korean J. Environ. Agric.* 40(3):219-230.
- Lee, Y.H., H.Y. Hwang, M.S. Kim, S.J. Park, J.H. Shim, and S.H. Kim. 2020. Assessment of soil organic carbon fraction and stocks under different farming practice in a single maize cropping system. *Korea J. Soil Sci. Fert.* 53(4):626-634.
- Lee, Y.H., S.J. Park, J.H. Shim, S.I. Kwon, and S.H. Kim. 2021b. Effects of livestock manure composts application on yield, soil chemical properties and carbon sequestration on maize cropping for five years. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 54(4):636-642.
- Lee, Y.M., H.R. An, S.H. Yoon, C.H. Lee, S.T. Jeong, and S.Y. Kim. 2023. Evaluation of potential organic resources as low carbon-emitting soil amendment in a red pepper cultivated soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 56(3):246-259.
- Lee, Y.M., S.W. Choi, J.H. Lee, H.R. An, C.H. Lee, P.H. Yi, S.T. Jeong, and S.Y. Kim. 2021c. Characteristics of distribution and decomposition of organic matter in soils cultivated with various fruits and vegetables in plastic film house fields. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 54(4):401-412.
- Lim, J.S., B.H. Lee, S.H. Kang, and T.G. Lee. 2020. Influence of fertilization treatment using organic amendment based on soil testing on plant growth and nutrient use efficiency in potato. *Korean J. Crop Sci.* 65(4):436-446.
- Lim, T.J., J.M. Park, S.E. Lee, H.C. Jung, S.H. Jeon, and S.D. Hong. 2011. Optimal application rate of mixed expeller cake and rice straw and impacts on physical properties of soil in organic cultivation of tomato. *Korean J. Environ. Agric.* 30:105-110.
- Michael, H. and B. Hayes. 2006. Solvent system for the isolation of organic components from soils. *J. Soil Sci. Soc. Am.* 70:986-994.
- NIAST. 2000. Methods of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Ouédraogo, E., A. Mando, and N.P. Zombré. 2001. Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. *Agric. Ecosyst. Environ.* 84(3):259-266.
- Park, J.H., S.W. Kang, J.J. Yun, S.G. Lee, S.H. Kim, J.S. Baek, and J.S. Cho. 2021. Effects of co-application of biochars and composts on lettuce growth. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 54(2):151-160.
- Park, J.M., I.B. Lee, Y.I. Kang, and K.S. Hwang. 2009. Effects of mineral and organic fertilizations on yield of hot pepper and changes in chemical properties of upland soil. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 27(1):24-29.
- 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.
- RDA. 2022. Establishment of official standard of fertilizers. Rural Development Administration, Wanju, Korea.
- Ryu, B.R. and H.S. Lee. 2010. Removal characteristics of pollutants by cultivated soil in agricultural area. *J. Korean Soc. Environ. Technol.* 11(3):122-129.
- Seo, M.C., H.S. Cho, J.H. Kim, W.G. Sang, P. Shin, and G.H. Lee. 2015. Evaluating soil carbon changes in paddy field

- based on different fraction of soil organic matter. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 48(6):736-743.
- Six, J., S.D. Frey, R.K. Thiet, and K.M. Batten. 2006. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70(2):555-569.
- Tavali, I.E. 2021. Short-term effect of compost amendment on the fertility of calcareous soil and basil growth. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 52(2):172-182.
- Yang, C.H., Y.S. Yoo, J.H. Jung, J.D. Kim, and K.Y. Jung. 2006. Changes of nutrient accumulation type and chemical property on annual dressing paddy soil in fluvio-marine deposit. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39(6):351-356.