

유기질비료의 사용이 작물의 생육, 토양화학적 성 및 토양탄소 축적량에 미치는 영향

이유나^a, 이동원^b, 윤진주^c, 심재홍^d, 전상호^d, 이윤혜^e, 권순익^e, 김성헌[†]

Effect of organic fertilizer application on soil carbon accumulation

Yu Na Lee^a, Dong Won Lee^b, Jin Ju Yun^c, Jae Hong Shim^d,
Sang Ho Jeon^d, Yun Hae Lee^e, Soon Ik Kwon^e, Seong Heon Kim[†]

(Received: Nov. 16, 2023 / Revised: Mar. 11, 2024 / Accepted: Mar. 18, 2024)

ABSTRACT: Objective of this study was to evaluate the effect of organic fertilizer application on yield, soil chemical properties and soil organic carbon (SOC) in Korean cabbage cultural field. The experimental treatments consisted of none fertilizer (NF), NPK (inorganic fertilizer, N-P₂O₅-K₂O : 320-78-198 kg ha⁻¹), Organic fertilizer (OF 50, 100, 150% on application rate of standard 110 kg ha⁻¹ as N, topdressing: 210 kg ha⁻¹ as inorganic fertilizer). In experimental results, the growth characteristics and yields were not significantly different among the treatments. There was no significant difference in soil pH, available phosphate, ammonium nitrogen and exchangeable potassium, while organic matter, electrical conductivity and nitrate nitrogen were increased when organic fertilizer application. Also, SOC was increased with the application of organic fertilizers. These results showed that pre-application of organic fertilizer might be effective in a carbon storage in the field soil cultivating Korean cabbage.

Keywords: Organic fertilizer, Soil organic carbon, Crop yield

초 록: 유기질비료는 무기질비료와 달리 작물의 생산량뿐만 아니라 토양 비옥도 등을 향상시킨다고 알려져 있다. 그러나 유기질비료의 사용이 작물 생산성 및 토양특성뿐만 아니라 최근 이슈화 되고 있는 탄소 축적에 미치는 영향에 대해서는 연구가 미비한 실정이다. 이에 본 연구는 배추 재배시 유기질비료를 밀거름으로 사용하고 이때 작물의 생산성 및 토양 화학성의 변화와 작물 재배 후 토양의 탄소축적량에 대해 평가하고자 하였다. 본 시험은 무처리, NPK처리구(N-P₂O₅-K₂O : 32-7.8-12.8 kg 10a⁻¹), 유기질비료 처리구로 설정하였으며, 유기질비료 처리구는 질소 밀거름 시비량(11 kg 10a⁻¹)을 기준으로 50, 100 및 150%로 설정하였다. 배추의 생산량은 무처리구를 제외하고는

^a 농촌진흥청 국립농업과학원 석사후연구원(Post-master researcher, Division of soil and fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration)

^b 농촌진흥청 국립농업과학원 연구원(Asistant researcher, Division of soil and fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration)

^c 농촌진흥청 국립농업과학원 박사후연구원(Post-doctoral researcher, Division of soil and fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration)

^d 농촌진흥청 국립농업과학원 연구사(Researcher, Division of soil and fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration)

^e 농촌진흥청 국립농업과학원 연구관(Senior Researcher, Division of soil and fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration)

† Corresponding author(e-mail: ksh4054@korea.kr)

유의적인 차이가 없었으며 밀거름 비율에 따라서도 차이가 없었다. 토양의 화학성은 토양 유기물함량, 전기전도도 및 질산성질소의 함량은 유기질비료 사용에 따라 증가하는 경향이었으나 그 외 항목은 차이가 나지 않는 것으로 확인되었다. 유기질비료 사용에 따른 토양 유기탄소축적은 무기질비료에 비해 유기질비료 처리구에서 증가하는 경향이었으며 밀거름 사용량에 따라서는 큰 차이를 보이지 않았다. 이를 통해 농업에서 유기질비료의 밀거름 사용은 작물의 생산성뿐만 아니라 토양 유기탄소의 축적에 효과적이었으며 탄소중립을 위한 하나의 방법으로 판단된다.

주제어: 유기질비료, 토양유기탄소, 작물생산량

1. 서론

최근 기후 변화에 대한 대응 방안으로 기후변화를 막을 수 있는 핵심기술 중 하나로 토양탄소의 저장 및 축적이 주목을 받고 있다. 농경지에서 토양 탄소저장 방법에는 유기물투입, 양분관리, 무경운, 피복작물 재배 등이 알려져 있으며¹⁾, 농경지에서 투입되는 유기물원으로는 유기질비료, 퇴비, 잔사 등이 있다. 이 중 유기질비료는 무기질비료와 같이 양분의 공급능도 있으면서 토양에 유기물 공급원으로서 최근 많이 사용되고 있는 추세이다²⁾.

유기질비료는 비료공정규격상 부산물비료에 속해 있으며 원료특성에 따라 식물성 유박이 2종이상 혼합된 혼합유박, 식물성 유박과 동물성 잔재물 등의 유기물질이 2종이상 혼합된 혼합유기질비료 그리고 식물성 유박, 동물성 잔재물, 천연광물질이 2종이상 혼합된 유기복합비료 등으로 구성되어 있다³⁾. 이러한 유기질비료는 무기질비료와는 달리 토양에 사용 후 미생물에 의한 무기화 과정을 거쳐 각종 아미노산, 유기산, 핵산 등이 생성되며 작물 생육에 필요한 양분을 공급하는 특징을 가지고 있다⁴⁾. 또한 유기질비료의 경우 가축분 퇴비에 비해 질소함량이 높고 질소 대부분이 유효태 질소로 존재하며 양분의 공급특성이 완효적인 특성을 지니고 있다고 알려져 있다. 또한 상대적으로 염류의 농도가 낮아 토양 전전성을 지속하는데 유리하다고 알려져 있다⁵⁾.

최근 기후변화를 막을 수 있는 기술로 농경지 토양 탄소의 저장이 대두되고 있으며 토양의 탄소 저장은 유기탄소의 형태로 토양에 저장하는 것을 말한다. 농경지에서 토양탄소를 저장할 수 있는 방법으로는 양분관리, 무경운, 바이오차 투입 등이 있으며 퇴비 유기질비료와 같은 유기물원의 투입이 있다고 알려져 있다⁶⁻⁹⁾.

현재 유기질비료에 대한 연구는 벼(*Oryza sativa*), 상추(*Lactuca sativa*), 고추(*Capsicum annuum* L.), 배추(*Brassica rapa* var. *glabra*), 마늘(*Allium sativum* L.) 등 작물에 따른 적정사용량 및 적정사용방법에 대한 연구^{4,10)}가 진행되고 있으나 유기질비료 사용에 따른 탄소축적에 대한 평가는 미미한 실정이다.

이에 본 연구는 작물 재배 시 유기질비료의 사용이 작물의 생육과 토양탄소 축적에 미치는 영향에 대해 평가하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시험재료

본 연구는 전라북도 완주군 이서면에 위치한 국립농업과학원 시험 포장에서 수행되었다. 공시토양의 화학적 특성은 Table 1과 같으며 공시작물로는 배추(춘광, *Brassica rapa* var. *glabra*)으로 선발하였다. 시

Table 1. The Chemical Properties of Soil Used

pH	EC	OM ⁺	Av.P ₂ O ₅	Exch. cation			
				K	Ca	Mg	Na
(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹			
6.3	0.6	22.1	1,462	0.6	5.1	1.3	0.1

Table 2. The Chemical Properties of Organic Fertilizer Used

T-C	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	C/N
%						
33.0	5.0	1.0	1.0	11.7	1.2	7

험에 사용된 무기질비료로 질소는 요소, 인산은 용과린, 칼리는 염화가리를 사용하였으며, 유기질비료는 시중에 판매하고 있는 혼합유기질비료를 사용하였다. 사용한 유기질비료의 화학적 특성은 Table 2와 같다.

2.2. 작물 재배 시험

유기질비료의 사용에 따른 작물 생육 및 토양의 화학성, 토양 유기탄소 축적량을 조사하기 위해 배추 재배 시험을 하였다. 배추의 재식거리는 60 cm × 50 cm로 설정하여 정식하였으며, 처리구는 무처리구 (no fertilizer, NF), 무기질비료 처리구 (inorganic fertilizer, NPK), 유기질비료 처리구 (organic fertilizer, OF)로 설정하였다. 시비량은 농촌진흥청 작물별 비료사용 처방의 배추 시비량에 따라 노지재배 표준사용량을 기준으로 무기질비료는 N-P₂O₅-K₂O=32.0-7.8-19.8 kg 10a⁻¹ 처리하였다. 유기질비료는 표준시비량을 이용하여 배추의 질소 밀거름 양인 11 kg 10a⁻¹을 유기질비료의 질소 기준으로 환산하여 사용하였으며, 21 kg 10a⁻¹는 무기질비료를 사용하였다. 유기질비료의 밀거름 양에 따른 작물 및 토양 유기탄소 축적량을 평가하기 위해 밀거름 양의 비율을 달리하여 50, 100, 150%의 3수준으로 사용하였다.

2.3. 작물의 생육 및 질소 이용 효율성 평가

배추 수확 후 생체중, 엽폭, 엽장 및 엽록소를 조사하였다. 엽록소는 엽록소 측정기 (SPAD-502 plus, Konica Minolta, Japan)를 이용하여 측정하였고, 엽폭과 엽장은 가장 큰 잎을 채취하여 최장길이와 폭을 조사하였으며, 생체중은 수확 직후 저울 (EC 15-D, CAS, Korea)를 이용하여 측정하였다. 질소의 흡수량을 조사하기 위해 70°C 조건의 dry oven (DS-80-3, Dasol scientific, Korea)에서 건조한 후 분석에 이용하였으며 총 질소는 원소분석기 (Vario Max, Elementar, Germany)로 분석하였다. 질소 흡수량은 아래의 식 (1)을 이용하였다¹¹⁾.

$$\text{질소흡수량 (kg 10a}^{-1}\text{)} = \frac{\text{건물중 (kg 10a}^{-1}\text{)} \times \text{식물체 질소함량 (\%)}}{100} \quad \text{식 (1)}$$

2.4. 토양의 이화학성 분석

토양 분석은 국립농업과학원에서 발간한 토양 및 식물체 분석법¹²⁾에 준하여 분석하였다. 채취된 토양은 음지에서 풍건한 후 2 mm 체를 통과시켜 사용하였다. 토양의 pH 및 EC는 수확 후 시료를 채취하여 풍건조건에서 전처리한 토양시료와 증류수를 1:5 (w:v) 비율로 30분 교반하여 pH meter (Orion star A121, Thermo, USA) 및 EC meter (Orion star A121, Thermo, USA)로 각각 측정하였다. 유효인산은 Lancaster법, 교환성 양이온은 1M ammonium acetate (pH 7.0)으로 침출하여 유도결합플라즈마 발광광도계 (inductively coupled plasma optical emission spectrometer, ICP-OES; GBC, Australia)로 K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ 및 Na⁺ 함량을 분석하였다. 무기태 질소는 2 M KCl로 전처리한 시료를 질소 자동분석기 (DE/QUARTO, Bran-luebbe GmbH, German)를 이용하여 분석하였다.

2.5. 토양 유기탄소 축적량

토양 유기탄소 축적량을 평가하기 위해 토양 깊이 0-30 cm에서 시료를 채취하였으며 풍건 및 분쇄하여 2 mm 체에 통과된 시료를 분석에 사용하였다. 토양 유기탄소 함량은 원소분석기 (Vario Max, Elementar, Germany)로 분석한 유기물 함량에 1.724를 나누어 산출하였으며, 처리구별 용적밀도는 지름 7.5 cm 및 높이 7.5 cm의 코어를 이용해 시료를 채취한 후 용적밀도를 조사하였다. 토양 유기탄소 축적량은 식 (2)을 이용하여 산정하였다.

$$\text{토양 탄소 축적량 (t C ha}^{-1}\text{)} = \text{SOC 함량 (g kg}^{-1}\text{)} \times \text{용적밀도 (g cm}^{-1}\text{)} \times \text{깊이 (m)} \quad \text{식 (2)}$$

SOC: soil organic carbon

2.6. 통계분석

유기질비료 처리량에 따른 작물의 생육 및 토양 특성 변화를 확인하기 위해 SPSS 27을 사용하여 분산분석(one-way analysis of variance, ANOVA)을 실시하였으며, DMRT (Duncan's Multiple Range Test)로 처리구 간 평균차이에 대한 사후검정을 유의수준 5%에서 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 작물 재배 후 토양화학성 평가

유기질비료 사용에 따른 작물 재배 후 토양의 화학적 특성 변화는 Table 3과 같다. 토양의 pH는 유기질비료 사용에 따라 유의적인 차이가 없었다. 토양의 EC는 무기질비료 처리구와 비교하였을 때 유의한 차이를 보이지 않았지만 유기질비료 처리구 간을 비교하였을 때 사용량이 많아질수록 증가하는 경향이 있었다. 이는 유기질비료의 특성상 투입 후 무기화가 진행되기 때문에 그 과정에서 무기태 질소와 같은 토양 EC의 증가에 영향을 미치는 양분 공급의 증가 때문이라고 판단된다^{2,13,14}. 토양 유기물 함량은 OF 100%, OF 150% 처리구에서 각각 24.8 g kg^{-1} 및 25.4 g kg^{-1} 으로 높았으며, 이는 유기질비료 자체의 유기물 함량이 높아 증가되었다고 판단되었다¹⁵. 또한 유기물원의 사용량이 증가함에 따라 토양 유기물 함량이 증가한다는 선행연구 결과와 일치하였다¹⁶. 무

기태 질소의 경우 유기질비료 사용 시 증가하는 경향이였으며 교환성 양이온은 처리구간 유의한 차이를 보이지 않았다.

3.2. 유기질비료 사용에 따른 배추의 생육 평가

유기질비료 사용에 따른 배추의 생육 및 수량을 조사한 결과는 Fig. 1 및 Table 4과 같다. 배추의 생육 특성의 경우 무처리구를 제외하고 무기질비료 처리구와 유기질비료 처리구를 비교하였을 때 유의적인 차이는 없었다($p > 0.05$). 배추의 생산량 또한 무기질비료 처리구와 비교하였을 때 유의적인 차이는 없었다($p > 0.05$). 무기질비료보다 상대적으로 양분

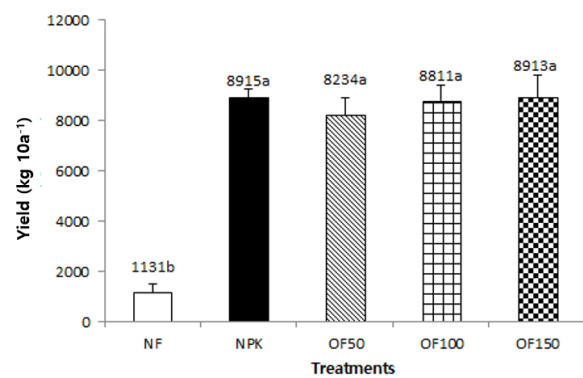


Fig. 1. Yield of Chinese cabbage according to pretreatment application rate of organic fertilizer. * Error bars indicates standard deviation and different letters indicates significant different at $p < 0.05$ level according to Duncan's multiple range test.

Table 3. The Chemical Properties of Soil after Chinese Cabbage Cultivation Using Organic Fertilizer

Treatment	pH	OM	EC	Av.P ₂ O ₅	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Ex. cation			
							K	Ca	Mg	
	(1:5)	g kg ⁻¹	dS m ⁻¹	mg kg ⁻¹			cmol _c kg ⁻¹			
NF [†]	6.3a [¶]	20.5b	0.23b	563b	12.8b	9.0b	0.45b	5.1a	1.3a	
NPK [‡]	6.3a	20.3b	0.55ab	1,167ab	28.1ab	13.1a	0.55a	5.3a	1.3a	
OF*	50%	6.2a	23.8ab	0.54ab	1,120ab	31.0a	12.8a	0.51a	5.4a	1.2a
	100%	6.4a	24.8a	0.56a	1311a	33.3a	13.5a	0.53a	5.2a	1.3a
	150%	6.2a	25.4a	0.64a	1233a	32.4a	14.1a	0.57a	5.5a	1.3a

[†]NF : no fertilization treatment

[‡]NPK : inorganic fertilizer treatment

*OF : organic fertilizer treatment and 50, 100, 150% were amount of pretreatment fertilization

[¶]Means with the same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$ level.

공급에 완효적인 유기질비료가 들어갔음에도 최종적인 생육에서 처리구별 차이가 나지 않는 이유는 배추는 결구기부터 추가적인 양분의 공급이 필요하며 이때의 공급유무가 생산량에 큰 영향을 미친다고 알려져 있는데^{10,17)} 본 처리구의 경우 웃거름으로 무기질비료의 사용으로 인해 결구 시기에 양분공급이 충분했기 때문이라고 판단된다.

3.3. 유기질비료 사용에 따른 배추의 질소 이용 효율성 평가

유기질비료 사용에 따른 배추의 질소 흡수 특성은 Table 5와 같다. 질소의 흡수량은 NPK 처리구에서 6.53 kg 10a⁻¹로 가장 높았으며, 유기질비료 처리구간의 차이는 없었다. 이는 속효성의 특성을 가지고 있는 무기질비료가 투입되었을 때 완효성인 유기질비료보다 바로 흡수·이용하였기 때문이라고 판단된다¹⁵⁾. 유기질비료 처리구만을 비교하였을 때 선행연구결과에서 사용량이 많을수록 흡수량 및 이용효율이 높았다고 하였으나 본 연구 결과는 100% 처리구보다 150% 처리구에서 낮은 경향이였다. 유기질비료를 과량으로 시비할 경우 전량 흡수되는게 아니라, 일부만 이용·흡수되고 나머지는 토양에 남거나 용탈, 휘산, 탈질 등에 의한 손실이 된다는 선행연구¹⁸⁾처럼 본 연구에서도 과량의 유기질비료 사용이 식물체로의 흡수로 이행되지 않았다고 판단된다.

3.4. 유기질비료 사용에 따른 작물 재배 후 토양 유기탄소 축적량 평가

토양 내 유기탄소의 축적에 대한 변화는 Table 6과 같다. Kwon et al.¹⁹⁾의 선행연구 결과에 따르면 퇴비, 유기질비료와 같은 유기물원의 투입이 토양 유기탄소의 함량을 증가시킨다고 보고하였으며, 본 연구에서도 무처리구와 무기질비료 처리구(대조구)보다 유기질비료 처리구에서 토양 탄소 축적량이 증가하였다. 유기질비료 처리구 간의 비교를 하였을 때 유기탄소 함량은 OF 150% 및 100% 처리구에서 14.7 및 14.4 g kg⁻¹였고, 토양 유기탄소 축적량은 OF 150% ≍ OF 100% > OF 50% 순으로 나타났다. 선행 연구결과에 따르면 유기물원 사용량이 많을수록 토양 탄소 축적이 증가한다고 하였는데²⁰⁻²²⁾, 본 연구에서도 유

Table 4. Growth Characteristics of Chinese Cabbage according to Pretreatment Application Rate of Organic Fertilizer

Treatment	Leaf Length	Leaf Width	SPAD 502
	cm	cm	value
NF [†]	21.1b [¶]	46.8b	33.1b
NPK [‡]	39.3a	65.8a	45.4a
OF [*]	50%	38.9a	65.7a
	100%	39.9a	65.6a
	150%	38.7a	65.5a

[†]NF : no fertilization treatment

[‡]NPK : inorganic fertilizer treatment

^{*}OF : organic fertilizer treatment and 50, 100, 150% were amount of pretreatment fertilization

[¶]Means with the same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05 level.

Table 5. Nitrogen Uptake Characteristics of Chinese Cabbage by Preplant Application Rate of Organic Fertilizer

Treatment	Amount of nitrogen uptake	
	kg 10a ⁻¹	
NF [†]	0.06c [¶]	
NPK [‡]	6.53a	
OF [*]	50%	5.99b
	100%	6.06b
	150%	5.87b

[†]NF : no fertilization treatment

[‡]NPK : inorganic fertilizer treatment

^{*}OF : organic fertilizer treatment and 50, 100, 150% were amount of pretreatment fertilization

[¶]Means with the same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05 level.

Table 6. Soil Organic Carbon Stock of Soil after Chinese Cabbage Cultivation Using Organic Fertilizer

Treatment	SOC ^{**}	Bulk density	SOC stock
	g kg ⁻¹	g m ⁻³	kg C ha ⁻¹
NF [†]	11.8b [¶]	1.24a	22.1b
NPK [‡]	11.7b	1.25a	22.1b
OF [*]	50%	13.7ab	1.21a
	100%	14.4a	1.23a
	150%	14.7a	1.23a

[†]NF : no fertilization treatment

[‡]NPK : inorganic fertilizer treatment

^{*}OF : organic fertilizer treatment and 50, 100, 150% were amount of pretreatment fertilization

^{**}SOC : soil organic carbon

[¶]Means with the same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05 level.

기질비료 150% 처리구 및 100% 처리구에서 토양 유기탄소 함량 및 축적량이 가장 높았다. Byeon et al.¹⁶⁾은 용적밀도가 낮아짐으로써 토양의 공극을 통해 물과 산소의 공급으로 인하여 유기물의 분해가 증가하여 토양 유기탄소로 저장된다고 하였으며, Ahn et al.²¹⁾은 수직상균근균과 같은 토양미생물이 토양 유기탄소 축적량 및 토양 입단의 안정화에 중요한 역할을 한다고 보고하였다^{22,23)}. 하지만 본 연구는 단기간으로 진행되었기 때문에 연용 실험을 통해 유기물 함량, 용적밀도의 모니터링이 필요하며 토양 미생물 활동에 대한 추가 연구가 필요하다고 판단된다.

4. 결론

본 연구는 농경지에서 유기질비료의 사용이 작물 생육 및 토양화학성 변화에 미치는 영향뿐만 아니라 토양 유기탄소의 축적에 미치는 영향에 대해 평가하고자 배추 재배 시 유기질비료를 밀거름을 사용하여 연구를 수행하였다. 연구 결과 유기질비료의 사용은 기존 무기질비료의 처리구와 유사한 생육을 보였으며 밀거름 사용량에 대해서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 토양화학성의 경우 유기질비료 사용으로 인해 토양 유기물 함량, EC 및 무기태 질소가 증가하는 경향을 보였으며 토양 pH, 교환성 양이온 등은 차이를 보이지 않았다. 토양 유기탄소 축적량의 경우 유기질비료 사용 시 증가하는 경향을 보였으며 이러한 결과를 종합하였을 때 작물 재배 시 유기질비료의 밀거름 사용은 작물 생육뿐만 아니라 토양유기탄소 저장에 효과적이며 농경지 토양탄소 축적에 기여할 수 있는 방법이라고 판단된다. 하지만 이는 단기간에 대한 연구로 장기 연용시험을 통한 검증이 필요할 것으로 판단된다.

사 사

This study was carried out with the support of "PJ016756" Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

1. Lee, S.I., Kang, S.S., Choi, E.J., Gwon, H.S., Lee, J.M., Lim, S.S. and Choi, W.J., "Soil carbon storage in upland soils by biochar application in East Asia: Review and Data Analysis", *Korean J. Environ. Agric.*, 40(3), pp. 219~230. (2021).
2. Cho, K.R., Won, T.J., Kang, C.S., Lim, J.W. and Park, K.Y., "Effects of mixed organic fertilizer application with rice cultivation on yield and nitrogen use efficiency in paddy field", *Korean J. Soil. Sci. Fert.*, 42(3), pp. 152~159. (2009).
3. RDA, "Fertilizer regulation", Rural development administration, Suwon, Korea. (2017).
4. Kim, S.H., Hwang, H.Y., Park, S.J., Kim, S.C. and Kim, M.S., "Evaluation of preplant optimum application rate of mixed expeller cake in chinese cabbage cultivation at the field", *J. of KORRA*, 27(3), pp. 41~48. (2019).
5. Cho, S.H. and Chan, K.W., "Nitrogen mineralization of oil cakes according to changes in temperature, moisture, soil depth and soil texture", *J. Korea Org. Resour. Recycl. Assoc.*, 15(1), pp. 149~158. (2007).
6. Six, J., Frey, S.D., Thiet, R.K. and Batten, K.M., "Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems", *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 70(2), pp. 555~569. (2006).
7. An, N.H., Lee, S.M., Cho, J.R., Nam, H.S., Jung, J.A. and Kong, M.J., "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), pp. 31~43. (2020).
8. Lee, J.H., "The impact of manure compost amendments on NH₃ volatilization and its mechanistic insights in rice paddy ecosystem", Master Thesis, Suncheon National University, Suncheon, Korea, pp. 1~67. (2021).
9. LaI, R., "Soil carbon sequestration to mitigate climate change", *Geoderma.*, 123, pp. 1~22. (2004).

10. Kim, S.C., Ko, B.G., Park, S.J., Kim, M.S., Kim, S.H. and Lee, C.H., "Estimation of optimum organic fertilizer application under fertilizer recommendation system", *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 51(3), pp. 296~605. (2018).
11. Jeong, Y.J., Lee, S.G., Kim, S.H., Jeon, S.H., Lee, Y.H., Kwon, S.I. and Shim, J.H., "Evaluation of the effect of different application ratios of lime-treated fertilizer mixed with food waste on Chinese cabbage (*Brassica rapa* L.) yield and soil chemical properties", *Korean J. Crop Sci.*, 68(2), pp. 81~89. (2023).
12. NAIST (national institute of agricultural science and technology), "Method of soil and plant analysis", RDA, Suwon, Korea. (2000).
13. Kang, S.W., Yoo, C.H., Yang, C.H. and Han, S.S., "Effects of rapeseed cake application at panicle initiation stage on rice yield and N-use efficiency in machine transplanting cultivation", *Korea J. Soil Sci. Fert.*, 35(5), pp. 272~279. (2002).
14. Kang, B.G., Kim, I.M., Kim, J.J., Hong, S.D. and Min, K.B., "Chemical characteristics of plastic film house soil in chunbuk area", *Korea J. Soil Sci. Fert.*, 30(3), pp. 265~271. (1997).
15. Uhm, M.J., Noh, J.J., Chon, H.G., Kwon, S.W. and Song, Y.J., "Application effect of organic fertilizer and chemical fertilizer on the watermelon growth and soil chemical properties in greenhouse", *Korean J. Environ. Agri.*, 31(1), pp. 1~18. (2012).
16. Byeon, J.E., Kim, S.H., Shim, J.H., Jeon, S.H., Lee, Y.H. and Kwon, S.I., "Effects of rice straw compost application on soil chemical properties and soil organic carbon stock in paddy fields", *Korean J. Crop Sci.*, 68(2), pp. 90~96. (2023).
17. Freyman, S., Toivonen, P.M., Lin, W.C., Perrin, P.W. and Hall, J.W., "Effect of nitrogen fertilization on yield, storage losses and chemical composition of winter cabbage", *Can J. Plant Sci.*, 71, pp. 943~946. (1991).
18. Kim, Y.S., Kim, K.H., Youn, C.K., Kim, I.J. and Kim, Y.H., "Effect of mixed organic fertilizer on growth, yield and component contents of *Saururus chinensis* Baill in paddy field cultivation", *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 54(4), pp. 432~441. (2021).
19. Kwon, S.I., Lee, Y.H., Hwang, H.Y. and Kim, S.H., "Long-term application effects of soil amendments on yield and soil properties in paddy", *J. of KORRA*, 30(1), pp. 5~11. (2022).
20. Cheng, W., Padre, A.T., Shiono, H., Sato, C., Nguyen-Sy, T., Tawaraya, K. and Kumagai, K., "Changes in the pH, EC, available P, SOC and TN stocks in a single rice paddy after long-term application of inorganic fertilizers and organic matters in a cool temperate region of Japan", *J. Soils Sediments.*, 17(7), pp. 1834~1842. (2017).
21. Yang, X., Reynolds, D., Drury, C.F., Fleming R., Tan, C.S., Denholm, K. and Yang, J., "Organic carbon and nitrogen stocks in a clay loam soil 10 years after a single compost application", *Can. J. Soil Sci.*, 94(3), pp. 357~363. (2014).
22. Ahn, D.L., An, N.H., Kim, D.H., Han, B.H., You, J.H., Park, I.C. and Ahn, J.H., "Effects of tillage on organic matters and microbial communities in organically cultivated corn field soils", *Korean J. Environ. Agric.*, 39(1), pp. 65~74. (2020).
23. Bedini, S., Pellegrino, E., Avio, L., Pellegrini, S., Bazzoffi, P., Argese, E. and Giovannetti, M., "Changes in soil aggregation and glomalin-related soil protein content as affected by the arbuscular mycorrhizal fungal species *Glomus intraradices*", *Soil Biology and Biochemistry.*, 41, pp. 1491~1496. (2009).