Effect of Oil-Cake and Amino Acid Fertilizer on Soil Bio-Chemical Properties and Pepper Yield

Young Eun Yoon¹, Jong Uk Im^{1,3}, Jang Hwan Kim^{1,4}, Seong Hwa Jeon¹, Mi sun Jeong^{1,2}, and Yong Bok Lee^{1,2*}

¹Division of Applied Life Science (BK21 Plus), Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

²Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

³Geoje-si Agricultural Development & Technology Center, Geoje-si, Gyeongsangnam-do 53257, Korea

⁴Fertilizer Research Team, FarmHannong Co., Ltd, Nonsan-si, Chungcheongnam-do 33010, Korea

*Corresponding author: yblee@gnu.ac.kr

ABSTRACT

Received: February 25, 2019

Revised: July 8, 2019

Accepted: July 15, 2019

A variety of organic materials has been currently used for the nutrient management in agricultural land. However, there is little study to understand the impact of organic materials for crop production with soil bio-chemical properties. The aim of this research was to investigate the effect of organic materials using pepper crop (*Capsicum annuum*). Using oil-cake and amino acid fertilizer as organic materials, both soil characteristics such as bio-chemical properties and microbial community and pepper yield were tested for three years. The pepper was cultivated with four different treatments; Control (No fertilizer), NPK (inorganic fertilizer), OCF (Oil-cake), and (OCF+AAF) (Oil-cake with amino acid fertilizer). The result of soil properties showed that available phosphate content and microbial biomass were the highest in NPK and organic matter content was higher in OCF and OCF+AAF than NPK. Biochemical properties including activities of β -glucosidase, acid phosphatase, alkaline phosphatase and arylsulfatase were not different among all treated samples. For pepper yield, OCF and OCF+AAF showed 10 - 40% less than NPK. Therefore, this study concludes that organic materials affect microbial biomass linked with organic matter contents and alter the soil microbial community.

Keywords: Amino acid fertilizer, Oil-cake, Organic material, Pepper, Yield

Three years yield data of red pepper on dry weight basis as influenced by different organic amendments; Control – no fertilizer, OCF – oil-cake fertilizer, OCF+AAF – oil-cake with amino acid fertilizer, NPK – mineral fertilizer.

Introduction

소비자들의 안전한 먹거리에 대한 관심이 증대됨에 따라 유기농업의 재배면적은 증가하고 있는 추세이다 (Lernoud and Willer, 2017). 국내의 경우 유기농업 재배면적이 2001년 450 ha에서 2013년 21,210 ha로 지속적인 성장을 하고 있으며, 시장규모 또한 2011년 이후로 꾸준히 증가하고 있고, 2020년에는 국내 농산물 총 거래액의 약 20%를 차지할 것으로 추정하고 있다 (Kim et al., 2012). 유기농업은 무기질비료, 합성농약, 제초제 등 합성화학물질을 사용하지 않기 때문에 유기농작물의 생산성은 양분관리와 병해충 방제에 크게 영향을 받게 된다. 유기농업으로 재배한 작물의 생산성은 관행재배와 비교하였을 때 약 80% 에도 미치지 못하는 것으로 보고되었으나 (Seufert et al., 2012; Kim et al., 2018b), 양분과 에너지 투입량은 낮고 (Kim et al., 2018c), 합성농약의 투입량 또한 크게 저감되어 토양의 비옥도와 생물다양성 증가에 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 국외의 경우 유기농업과 토양의 물리 및 화학성, 생물학적인 특성 그리고 생산성 등 다양한 분야에 대한 비교 연구가 종합적으로 수행되고 있으며, 유기농업은 농경지의 토양 비옥도와 생물 다양성을 증진시키고, 에너지 투입량을 감소시킨다 (Mader et al., 2002). 따라서, 유기농업은 안정적인 수량을 확보하면서 농업환경을 보존시킬 수 있는 방향으로 성장해 나갈 것으로 판단된다.

유기농업자재는 농작물의 안정적인 생산을 위해서 사용 및 개발되며, 병해충 및 양분관리를 위한 목적으로 약 1,333종이 등록되어 있다. 이 중 토양개량 및 작물생육의 목적으로 등록된 유기농업자재는 약 900종이며, 가축분퇴비, 유박, 그리고 혈분, 동물부산물, 아미노산 추출액과 같은 동물성이 주종을 이루고 있다. 이와 같은 유기농업자재는 대부분 유기물 형태로 토양에 유입이 되기 때문에 무기질 비료를 양분으로 투입하는 관행농업의 토양과는 물리, 화학, 생물학적 특성에서 큰 차이점을 가지게 된다 (Gomiero et al., 2011; Kim et al., 2018a). 무기질비료 및 퇴비를 장기 시용 할 경우, 시간이 경과함에 따라 무기질비료는 토양 내 유기물 함량을 감소시키고, 퇴비는 유기물 함량을 증가시킨다 (Liu et al., 2013; Lee et al., 2013). 또한 무기질비료와 퇴비의 장기 사용은 토양 내 인산의 불균형과 인산집적을 초래하여 토양 비옥도에 악영향을 미치는 것으로 평가되고 있다 (Lee et al., 2004; Park et al., 2004). 그러나, 무기질비료와 유기농업자재를 함께 장기 시용 할 경우 토양 내 유기탄소의 함량을 증가시키며 (Li et al., 2018), 토양의 물리성을 개선시킬 뿐만 아니라 (Mitran et al., 2017), 미생물 활성을 증가시키는 것으로 보고되었다 (Ferrerias et al., 2006). 또한 토양 내 유기물 함량의 증가는 용적밀도 감소 및 내수성 입단을 증가시켜 토양의 물리적인 특성을 크게 향상시키는 것으로 보고되었다 (Lee et al., 2009). 토양 내 미생물상은 여러 인자에 영향을 받으며, 특히 농경지 토양의 미생물상은 유기농업자재에 의해서 큰 영향을 받는 것으로 나타났다 (Goyal et al., 1999). 장기시비관리 농경지에서 무기질비료와 유기농업자재인 퇴비의 혼합 사용은 무기질비료만 시비한 경우와 비교하여 토양의 화학적 특성뿐만 아니라 미생물 생체량 및 토양효소 활성을 증진시키는 것으로 나타났다 (Lee et al., 2013).

현재 농경지 양분관리를 목적으로 다양한 유기농업자재가 사용되고 있으며 유기농업자재에 대한 연구가 지속적으로 수행되고 있는 실정에도 불구하고, 다양한 유기농업자재의 사용효과에 대한 종합적인 평가는 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 본 연구는 현재 국내에서 양분관리를 목적으로 사용되고 있는 유기농업자재 중 대표적인 식물성 및 동물성 비료를 선발하여 토양의 화학, 생물학적 특성 변화 및 유기농작물 생산성에 미치는 영향을 구명하고자 하였다.

Materials and Methods

고추 재배시험 본 시험에 사용된 고추의 품종은 ‘독립선언’이며, 경상남도 진주시 산청군 포장에서 2015년부터

2017년까지 3년간 실시하였다. 시험 전 토양의 이화학적 특성은 Table 1과 같다. 고추 재배시험의 시험구는 무처리 (Control), 관행 (NPK), 식물성비료 (OCF), 그리고 식물성+동물성비료 (OCF+AAF)로 나누어 재배하였다. 관행구는 고추 표준시비량 (N-P₂O₅-K₂O:19-11.2-14.9 kg 10a⁻¹)을 시비하였으며, 질소와 칼륨은 3회 분시하였다. 식물성비료인 유박과 동물성비료인 아미노산은 관행구 고추 표준시비량의 질소를 기준으로 시비하였다 (Table 2). 식물성비료 처리구에는 유박 (19 kg N 10a⁻¹)을 전량 기비로 시비하였고, 식물성+동물성비료 처리구에는 유박 (10.3 kg N 10a⁻¹)을 기비로 사용 후 아미노산 비료 (8.7 kg N 10a⁻¹)를 3회 분시하였다. 고추 모종은 120 × 40 cm 간격으로 이식하였으며, 이식 90일 후 15일 간격으로 총 4번에 걸쳐 7 cm 이상의 홍고추를 수확하였다. 마지막 고추 수확 후 토양 시료를 채취하였으며, 채취한 토양 시료는 풍건 후 2 mm 체로 쳐서 화학적 특성 평가에 사용하였고, 건조시키지 않은 토양은 -4°C에서 보관하며 생물학적 특성 평가에 사용하였다.

Table 1. The chemical characteristics of soil used in this study.

pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. Cation (cmol _c kg ⁻¹)			Texture
			K	Ca	Mg	
6.63	23.79	675.7	0.45	5.8	1.7	Silt loam

Table 2. Application level of mineral fertilizer and organic amendments.

Treatment	Application level of fertilizer (kg 10a ⁻¹)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Compost
Control	-	-	-	-
OCF	19.0	3.84	3.67	-
OCF+AAF	19.0	4.23	3.38	-
NPK	19.0	11.2	14.9	2000

Control – no fertilizer, OCF – oil-cake fertilizer, OCF+AAF – oil-cake with amino acid fertilizer, NPK – mineral fertilizer.

고추재배지 토양의 화학적 특성 평가 고추재배지 토양의 화학적 특성으로는 pH, 유기물, 유효인산, 치환성 양이온 (K, Ca, Mg)을 분석하였다. 토양 화학성 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법 (NIAS, 1988)에 준하여 실시하였다. pH는 토양과 증류수를 1:5 비율로 추출하여 초자전극법 (Orion 2 star, Thermo)으로 분석하였으며, 유기물은 Tyurin 법을 이용해 분석하였다. 유효인산은 Lancaster 법으로 추출 후 UV-Spectrophotometer (Cary 50, VARIAN)를 이용하여 측정하였으며, 치환성 양이온은 1N Ammonium acetate (pH 7.0)로 추출 후 ICP-OES (OPTIMA 5300DV, PerkinElmer)로 분석하였다.

고추재배지 토양의 생물학적 특성 평가 고추재배지 토양의 생물학적 특성으로 인지질 지방산 (Phospholipid fatty acid, PLFA) 과 토양효소 활성을 분석하였다. PLFA 분석은 Frostegard et al. (1991)의 방법을 이용하여 추출하였으며, 추출한 시료는 미생물 동정장치 (MIDI, Agilent)를 이용하여 정량 하였다. 미생물 활성에 미치는 영향평가를 위해 토양효소 활성 평가를 3년간 실시하였다. 토양에 일정량의 기질 (substrate)과 Buffer를 첨가하고 항온 시킨 후 분석하고자 하는 효소에 의해서 분리되는 p-nitrophenol을 410 nm에서 흡광도를 측정하였다. 토양효소는 β -glucosidase (Eivazi and Tabatabai, 1988), Acid phosphatase, Alkaline phosphatase (Frankenberger and Johanson, 1982), Arylsulfatase (Tabatabai and Bremmer, 1970)를 분석하였다.

Results and Discussion

유기농업자재 시용에 의한 고추 수량 본 연구에서 유기농업자재 처리에 의한 고추의 연차간 수량은 2년차에 가장 높았고, 3년차에 다소 감소되었다. 일반적으로 유기농업은 시간이 경과할수록 수량이 증가하지만, 노지고추의 경우 외부 환경에 의한 병발생이 수량에 많은 영향을 미치고 있다 (Hansen and Keinath, 2013). 본 연구에서는 3년차 청고병 발병 (data not shown)으로 인해 2년차에 비해 수량이 다소 감소하는 경향을 나타냈다. Fig. 1의 연차간 수량에서는 NPK의 수량이 가장 높게 나타났다. Seufert et al. (2012)에 의하면 유기농업의 경우 관행재배 대비 5 - 34% 수량 감소가 있다고 보고하였으며, 본 연구결과와 같은 경향을 나타낸다. 유기농업자재를 사용한 처리구간 비교하였을 때 OCF에서는 1, 2, 3년차에서 각각 132, 367, 282 kg 10a⁻¹였으며, OCF+AAF에서는 각각 151, 389, 295 kg 10a⁻¹로 관행재배 처리구에 비해 10 - 40%의 수량감소가 있었다.

Fig. 1. Three years yield data of red pepper on dry weight basis as influenced by different organic amendments.

유기농업자재 시용에 의한 토양의 이화학적 특성 변화 pH와 유기물(O.M.) 함량은 연차간, 처리구간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, 3년차의 경우 NPK의 유기물 함량이 OCF와 OCF+AAF 처리구 보다 높은 값을 나타냈다 (Table 3). Hao et al. (2008)에 의하면, 논토양에서 무기질비료와 유기농업자재를 혼합 시용 시 토양내 유기물함량과 질소함량이 증가한다는 보고와는 상반되는 결과로, 본 연구에서는 무기질비료와 혼합 시용하지 않고 유기농업자재 단독 시용하였기 때문인 것으로 사료된다. 또한, 유박과 아미노산 비료와 같은 유기농업자재의 탄소는 대부분 분해되고 미량의 유기물 형태로 토양에 남기 때문에 판단된다 (Im et al., 2015). 유효인산의 경우 NPK에서 1, 2, 3년차에 각각 1,222, 1,503, 1,130 mg kg⁻¹으로 가장 높은 값을 나타냈으며, 유기농업자재를 사용한 OCF, OCF+AAF에서는 모든 연차에서 NPK 보다 낮은 값을 나타냈다. 인산집적은 현재 일반 고추 유기농가 포장의 가장 큰 문제점으로 인식되고 있으며, 유기농업자재로 가축분 퇴비를 사용한 농경지에서 인산 집적 현상이 보고되고 있다 (Lee et al., 2004). OCF와 OCF+AAF의 경우 연차간 인산 집적 현상은 나타나지 않으나, 가축분 퇴비를 사용한 NPK에서의 높은 유효인산 함량은 연차간 인산 집적 현상이 나타나고 있음을 말해준다. 따라서 유기농경지의 인산 집적을 예방하기 위해서는 가축분 퇴비를 대신할 수 있는 탄소 공급원이 필요한 것으로 판단된다. 토양의 이화학적 특성을 요인으로 주

Table 3. Chemical characteristics of soil as influenced by organic amendments for 3 years.

Treatment		pH (1:5)	O.M. (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. Cation (cmol _c kg ⁻¹)		
					K	Ca	Mg
1 st year	Control	6.9 a	24.4 a	895 b	0.36 a	8.3 a	2.6 a
	OCF	6.1 b	22.3 a	907 b	0.24 b	6.8 a	2.0 ab
	OCF+AAF	6.3 b	23.4 a	902 b	0.32 ab	7.0 a	2.4 a
	NPK	6.0 b	22.3 a	1222 a	0.38 a	3.1 b	1.1 b
2 nd year	Control	6.8 a	23.7 a	922 b	0.30 b	7.7 a	2.8 b
	OCF	5.9 b	26.2 a	932 b	0.30 b	8.0 a	2.6 b
	OCF+AAF	6.1 b	26.9 a	964 b	0.40 b	8.2 a	3.3 b
	NPK	6.0 b	28.7 a	1503 a	1.70 a	8.1 a	5.6 a
3 rd year	Control	6.3 a	24.3 b	912 b	0.07 b	8.5 ab	2.2 ab
	OCF	5.4 b	26.3 b	878 b	0.09 b	7.2 b	1.6 b
	OCF+AAF	5.6 b	28.1 b	949 b	0.10 b	8.8 ab	2.3 ab
	NPK	6.4 a	34.1 a	1130 a	0.48 a	9.1 a	2.6 a

Control – no fertilizer, OCF – oil-cake fertilizer, OCF+AAF – oil-cake with amino acid fertilizer, NPK – mineral fertilizer. Means with the same matching letter(s), in the same column and year are not significantly ($p > 0.05$) different according to Tukey's test.

Fig. 2. Principal component analysis (PCA) for the change of soil chemical characteristics as influenced by organic amendments for 3 years.

Fig. 2. Principal component analysis (PCA) for the change of soil chemical characteristics as influenced by organic amendments for 3 years. (Continued)

성분 분석을 실시한 결과, 1년차에는 NPK vs Control, OCF, OCF+AAF으로 구분되었으며, 2, 3년차 분석결과 NPK vs Control vs OCF, OCF+AAF 세 그룹으로 구분되었다 (Fig. 2). 유기농업자재 처리는 2년차부터 영향을 미치는 것으로 나타났으며, OCF와 OCF+AAF 사이의 차이는 없는 것으로 나타났다. 3년차 주성분 분석 결과 PC1은 유효인산과 가장 높은 상관계수 값을 보였으며, PC2는 유기물과 가장 높은 상관계수 값을 보였다 (data not shown). 따라서 3년차 결과와 같이 NPK vs OCF, OCF+AAF, Control, 두 그룹으로 구분된 것은 무기질비료를 사용함에 따른 유효인산 함량이 차이에 의한 것으로 사료되며, 2, 3년차에서 Control vs OCF, OCF+AAF과 같이 두 그룹으로 구분되어진 것은 유기농업자재에 의한 유기물 함량 차이에 의한 것으로 판단된다. 본 결과에 따르면 현재 유기농업자재로 사용되고 있는 가축분 퇴비는 토양 유기물 공급효과는 뛰어나지만 유기농경지의 인산 집적에 가장 큰 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 따라서 유기농경지 토양의 건전성 확보를 위한 양질의 유기자원 공급이 필요할 것으로 판단된다.

유기농업자재 시용에 의한 토양 생물학적 특성 변화 토양 내 미생물 호흡과 효소활성은 미생물의 생육과 밀접한 관계를 가지고 있으며 토양의 건전성을 대표하는 지표로 널리 이용되고 있다 (Garcia-Ruiz et al., 2008). 유기농업자재 처리에 따른 고추 수확 후 토양 미생물 생체량은 1년차에서는 NPK에서 $642 \mu\text{mol g}^{-1}$ 으로 가장 높은 값을 나타냈고, OCF에서는 $629 \mu\text{mol g}^{-1}$ 으로 OCF+AAF의 $572 \mu\text{mol g}^{-1}$ 보다 높은 값을 나타냈다. 3년간 미생물 생체량 분석 결과에서 NPK, OCF, OCF+AAF가 Control 보다 더 높은 값을 나타냈는데 (Table 4), 이는 토양 내 유기물 함량 차이에 의한 결과로 판단된다 (Jia et al., 2017). 미생물 활성을 나타내는 토양 효소 반응에서는 β -glucosidase의 경우 모든 처리구에서 3년차에 가장 높은 값이 나타났고, alkaline phosphate의 경우 모든 처리구에서 1년차에 가장 높은 값을 나타내었다. 토양 생물학적 특성을 요인으로 주성분 분석을 실시한 결과 유기농업자재 처리는 토양의 미생물 군집구조 변화에 영향을 미치는 것으로 나타났다 (Fig. 3). 1, 2년차 연구결과에서는 NPK vs Control, OCF, OCF+AAF으로 구분되었으며, 3년차에서는 NPK vs Control vs OCF, OCF+AAF 세 그룹으로 구분되었다. 3년간의 단기 시험에서 유기농업자재로 사용되고 있는 유박과 아미노산 비료는 토양 내 미생물 군집구조 변화에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이는 토양 미생물 생체량 변화에 미치는 영향과 같은 경향으로 나타났다.

Table 4. Microbial biomass and enzyme activities of soil as influenced by organic amendments for 3 years.

Treatment		PLFA ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	Enzyme activities (mg p-nitrophenol kg^{-1} soil $^{-1}$ h $^{-1}$)			
			β -Glucosidase	Acid phosphatase	Alkaline phosphatase	Arylsulfatase
1 st year	Control	434 b	179 a	149 b	219 a	51 b
	OCF	629 a	187 a	231 a	305 a	98 a
	OCF+AAF	572 a	194 a	192 ab	306 a	68 ab
	NPK	642 a	188 a	176 ab	285 a	65 ab
2 nd year	Control	206 b	123 a	168 a	91 b	37 a
	OCF	277 a	152 a	182 a	92 b	19 a
	OCF+AAF	275 a	130 a	143 a	109 b	16 a
	NPK	330 a	122 a	145 a	212 a	38 a
3 rd year	Control	136 a	200 b	96 a	112 a	42 b
	OCF	150 a	246 b	111 a	121 a	68 a
	OCF+AAF	147 a	247 b	107 a	144 a	81 a
	NPK	165 a	392 a	121 a	111 a	72 a

Control – no fertilizer, OCF – oil-cake fertilizer, OCF+AAF – oil-cake with amino acid fertilizer, NPK – mineral fertilizer. Means with the same matching letter(s), in the same column and year are not significantly ($p > 0.05$) different according to Tukey's test.

Fig. 3. Principal component analysis (PCA) for the shift in the soil microbial community as influenced by organic amendments for 3 years.

Fig. 3. Principal component analysis (PCA) for the shift in the soil microbial community as influenced by organic amendments for 3 years. (Continued)

Conclusions

본 연구는 고추 재배 시 유기농업자재가 토양의 이화학적 및 생물학적 특성변화에 미치는 영향을 구명하기 위하여 실시하였다. 3년간의 유기농업자재 처리에 따른 고추의 수량은 NPK에서 가장 높았으며 OCF와 OCF+AAF 간의 차이는 발견되지 않았다. 또한 토양의 이화학적 특성변화를 분석한 결과 무기질 비료 사용에 의해 NPK의 유효인산 함량이 가장 높게 나타났으며, 유기농업자재 처리에 의해 유기물 함량이 증가하였다. 토양의 이화학적 특성을 대상으로 주성분 분석을 실시한 결과 3년차에서는 NPK와 OCF, OCF+AAF 그리고 Control 세 그룹으로 구분되었다. NPK는 유효인산 함량에 의해 다른 두 그룹과 구분되었으며, OCF, OCF+AAF와 Control은 유기물함량 차이에 의해 구분되었다. 1, 2, 3년차 미생물 생체량 분석결과 NPK에서 가장 높은 값을 나타냈으나, OCF, OCF+AAF와 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다. 생물학적 특성을 요인으로 주성분 분석을 실시한 결과 3년차에서 NPK와 Control 그리고 OCF, OCF+AAF 세 그룹으로 구분되어, 유기농업자재 처리가 토양의 미생물 군집구조 변화에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF-2015R1A6A1A03031413).

References

- Eivazi, F. and M.A. Tabatabai. 1988. Glucosidases and galactosidases in soils. *Soil Biol. Biochem.* 20:601-606.
- Ferreras, L., E. Gomez, S. Toresani, I. Firpo, and R. Rotondo. 2006. Effect of organic amendments on some physical, chemical and biological properties in a horticultural soil. *Bioresour. Technol.* 97:635-640.
- Frankenberger, W.T. and J.B. Johanson. 1982. Effect of pH on enzyme stability in soils. *Soil Biol. Biochem.* 14:433-437.
- Frostegård, A., A. Tunlid, and E. Baath. 1991. Microbial biomass measured as total lipid phosphate in soils of

- different organic content. *J. Microbiol. Methods*. 14:151-163.
- García-Ruiz, R., V. Ochoa, M.B. Hinojosa, and J.A. Carreira. 2008. Suitability of enzyme activities for the monitoring of soil quality improvement in organic agricultural systems. *Soil Bio. and Biochem.* 40(9):2137-2145.
- Gomiero, T., D. Pimentel and G.P. Maurizio. 2011. Environmental impact of different agricultural management practices: Conventional vs. Organic Agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 30:1-2, 95-124.
- Goyal, S., K. Chander, M.C. Mundra, and K.K. Kapoor. 1999. Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions. *Biol. Fertil. Soils*. 29:196-200.
- Hansen, Z.R. and A.P. Keinath. 2013. Increased pepper yields following incorporation of biofumigation cover crops and the effects on soilborne pathogen populations and pepper diseases. *Appl. Soil Ecol.* 63:67-77.
- Hao, X.H., S.L. Liu, J.S. Wu, R.G. Hu, C.L. Tong, and Y.Y. Su. 2008. Effect of long-term application of inorganic fertilizer and organic amendments on soil organic matter and microbial biomass in three subtropical paddy soils. *Nutr. Cycl. Agroecosystems*. 81:17-24.
- Im, J.U., S.Y. Kim, Y.E. Yoon, J.H. Kim, S.B. Lee, and Y.B. Lee. 2015. Nitrogen mineralization in soil amended with oil-cake and amino acid fertilizer under a upland condition. *Korean J. Org. Agric.* 23(4):867-873.
- Jia, X.H., Y.S. Li, B. Wu, Y.Y. Zhou, and X.R. Li. 2017. Effects of plant restoration on soil microbial biomass in an arid desert in northern China. *J. Arid Environ.* 144:192-200.
- Kim, C.G., H.G. Jung, J.K. Jang, and T.H. Kim. 2012. Local and global production status and market trend of environmentally friendly agricultural products. Korea Rural Economic Institute.
- Kim, G.S., K.D. Park, K.Y. Jung, S.H. Oh, M.T. Kim, S.J. Kim, J.S. Choi, J.H. Park, and M. Park. 2018a. Effects of long-term fertilization on light and heavy fractions of soil organic matter in single cropping paddy soils in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51(4):616-625.
- Kim, S.C., B.G. Ko, S.J. Park, M.S. Kim, S.H. Kim, and C.H. Lee. 2018b. Estimation of optimum organic fertilizer application under fertilizer recommendation system. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51(3):296-305.
- Kim, S.C., S.J. Park, M.S. Kim, S.H. Kim, and C.H. Lee. 2018c. Estimation of nutrient balance in field crops applied with different fertilization. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51(4):427-434.
- Lee, C.H., K.Y. Jung, S.S. Kang, M.S. Kim, Y.H. Kim, and P.J. Kim. 2013. Effect of long term fertilization on soil carbon and nitrogen pools in paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fertil.* 46:216-222.
- Lee, C.H., I.B. Lee, and P.J. Kim. 2004. Effects of long-term fertilization on organic phosphorus fraction in paddy soil. *Soil Sci. Plant Nutr.* 50:485-491.
- Lee, S.B., C.H. Lee, K.Y. Jung, K.D. Park, D.K. Lee, and P.J. Kim. 2009. Changes of soil organic carbon and its fractions in relation to soil physical properties in a long-term fertilized paddy. *Soil and Tillage Research*. 104(2):227-232.
- Lernoud, J. and H. Willer. 2017. The World of Organic Agriculture 2017: Summary, The World of organic agriculture. Statistics and Emerging Trends.
- Li, J., Y. Wen, X. Li, Y. Li, X. Yang, Z. Lin, Z. Song, J.M. Cooper, and B. Zhao. 2018. Soil labile organic carbon fractions and soil organic carbon stocks as affected by long-term organic and mineral fertilization regimes in the North China Plain. *Soil Tillage Res.* 175:281-290.
- Liu, E., C. Yan, X. Mei, Y. Zhang, and T. Fan. 2013. Long-term effect of manure and fertilizer on soil organic carbon pools in dryland farming in northwest China. *PLoS One* 8.
- Mäder, P., A. Fließbach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried, U. Niggli, N. Series, and N. May. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*. 296:1694-1697.
- Mitran, T., P.K. Mani, P.K. Bandyopadhyay, and N. Basak. 2017. Influence of organic amendments on soil physical attributes and aggregate associated phosphorus under long-term rice-wheat cropping. *Pedosphere* 160.

- NIAST. 2000. Method of soil and plant analysis, national institute of agriculture science and technology. RDA, Suwon, Korea.
- 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.
- Seufert, V., N. Ramankutty, and J.A. Foley. 2012. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*. 485:229-232.
- Tabatabai, M.A. and J.M. Bremmer. 1970. Arylsulfatase activity of soils. *Soil Sci. Soc. Am.* 34:225-229.