



# 용인과 안성 지역의 유기농 및 관행논에서 토양 화학 특성 및 중금속 함량 비교

## Comparison of Soil Chemical Properties and Heavy Metal Contents in Organic and Conventional Paddy of Yongin and Anseong

구본운\* · 이태구\* · 강 구\*\* · 홍성구\* · 홍승길\*\*\* · 장태일\*\*\*\* · 김진호\*\*\*\*\* · 박성직\*,\*\*,\dagger

Gu, Bon-Wun · Lee, Tae-Gu · Kang, Ku · Hong, Seong-Gu · Hong, Seung-Gil · Jang, Tae-Il · Kim, Jin-Ho · Park, Seong-Jik

### Abstract

The aim of this study is to investigate the chemical properties and heavy metal concentration of soils in conventional and organic paddy. We sampled and analyzed topsoil (0~15 cm) and subsoil (15~30 cm) of conventional and organic paddy fields in Yongin and Anseong, South Korea. The statistical significance between groups was determined by Duncan's multiple range test and correlation between soil properties was also analyzed. The results show that organic matter (OM) and T-N of conventional paddy soil were higher than those of organic paddy soil. However, higher T-P concentration was observed in organic paddy soil than conventional paddy soil. As, Pb, and Zn concentration in organic paddy soil were statistically lower than those in conventional paddy soil. The couple of water content (WC) & As, OM & T-N, T-P & P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, T-P & Zn, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> & Zn, and Cr & Ni had a good positive correlation but the couple of WC & T-P, WC & Zn, T-P & As, and As & Zn had a strong negative correlation. It can be concluded that organic farming is beneficial to soil environment by reducing the amounts of organic matter, T-N, As, Pb, and Zn concentration in paddy soil when compared to conventional farming.

**Keywords:** Organic farming; Conventional farming; Paddy soil; Phosphorus; Nitrogen; Organic matter; Heavy metal

## 1. 서 론

토양은 모든 지상생물의 생육의 터전으로서 생태환경 중 가장 중요한 위치를 차지하고 있다. 그러나 국내 토양환경은 급속한 산업화로 인하여 폐기물 매립, 오염된 하천수의 관개 수로의 활용, 과도한 비료 및 농자재의 사용 등으로 토양의 질이 악화되었다. 토양 내 유입된 양분 및 오염물질은 침출수의 용탈, 강우 및 관수시 표면 유거수의 세탈, 집중 강우시 토양 침식을 통해 유출되어 수질 오염을 유발시킨다. 반면에 토양 내 잔류된 오염물질은 식물의 생육피해와 먹이연쇄를 통하여

먹이사슬의 포식자인 가축이나 사람에게 피해를 줄 수 있다 (Shon, 2001). 중금속은 용해성이 높은 유기물 및 무기염류와 달리 토양 내에 축적되어 식물에 대한 위해성이 크다 (Lee et al., 2012).

과거 농업에서 토양 관리는 생산성과 효율성 위주로 관리되었지만 근래에는 토양의 생산성 뿐만 아니라 토양의 질과 생태계에 미치는 영향까지 고려하여 지속적으로 농업의 생산성을 유지할 수 있는 토양 관리 기술의 개발 및 보급에 초점을 맞추고 있다 (Cho et al., 2002; Kim and Choi, 2002). 환경 친화적으로 토양의 질을 관리하기 위해서는 토양의 물리화학성과 생물상에 대한 이해와 더불어 생산을 위해 투입되는 영농 자재의 토양 특성 및 생산 환경에 맞는 적절한 사용이 필요하다 (Ahn et al., 2012). 토양의 건강 회복 (health recovery)과 더불어 먹을거리의 건강, 생태계의 건강, 지역사회의 건강, 농민 삶의 건강을 위한 방안으로 친환경농업이 대두되었다 (Lee et al., 2010). 이러한 맥락에서 농업생태계의 다양성과 지속 가능한 농업 생산을 위해서 유기 농업에 대한 관심이 증대되었다 (Sohn, 2007).

토지의 효율적인 이용과 생산성 향상을 통한 지속가능한 농업을 위해서는 토양에 대한 과학적인 조사와 평가가 필요하다 (Ahn et al., 2012). 유기농업에 따른 토양 환경에 대한 질 평가가 일부 수행되었지만, 토양 환경에 대한 연구는 제한된

\* Department of Bioresources and Rural systems Engineering, Hankyong National University  
\*\* Institute of Agricultural Environmental Science, Hankyong National University  
\*\*\* National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration  
\*\*\*\* Department of Rural Construction Engineering, Chonbuk National University  
\*\*\*\*\* Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services  
† Corresponding author  
Tel.: +81-31-670-5131 Fax: +82-31-670-5139  
E-mail: parkseongjik@hknu.ac.kr

Received: September 26, 2016

Revised: February 9, 2017

Accepted: February 13, 2017

조건에서 수행할 수 없기 때문에 지속적인 연구가 필요하다. 유기농이 환경에 미치는 영향에 대해서 긍정적인 연구 결과와 부정적인 연구 결과가 서로 양립하고 있어 논란이 많다. Cho et al. (2009) 또한 유기농 재배 밭의 유효인산의 함량이 인근 농가에 비해 높게 나타났다고 보고하였으며, 이는 유기물을 과량 사용하였기 때문이라고 보고하였다. Kim et al. (2000) 역시 유기농업 실천 농가의 시설재배지, 논, 과수원 포장 내 토양에 인산이 과량 축적되어 있다고 보고하였다. Chung and Lee (2008)의 연구 결과에서도 유기농 토양에서 각종 양분 함량이 관행농 토양보다 높게 나타났다. 그러나 Joo et al. (2014)은 유기농산물 인증 지역과 무농약 농산물 인증 지역의 논토양에 대해서 중금속 함량, pH, 유기물, 유효인산, 유효규산의 농도와 농업용수의 수질을 비교한 결과 차이가 없는 것으로 보고하였다. Park et al. (2015)은 유기농에 비하여 관행농 토양에서 전기전도도와 유기물 함량이 높게 나타났다고 보고하였다. 이러한 환경 특성은 유기농 적용 기간, 적용되는 농법, 사용되는 유기질 비료의 차이 등에 의해서 실험 결과가 달라져, 유기농에 대한 장점 및 단점에 대한 뜨거운 논란이 일고 있다. 이러한 논란을 줄이고 지속가능한 농업을 위하여 유기농업이 환경에 미치는 영향에 대한 지속적인 모니터링과 생산 체계를 과학화하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 유기농 및 관행논의 토양 화학적 특성 및 중금속 함량 분석을 통해서 유기농업과 관행농업 수행에 따른 논에서의 토양 특성을 분석하고자 한다. 토양 화학 특성 인자로는 수소이온 농도 (pH), 전기전도도 (EC), 유기물함량 (OM), 총질소 (T-N), 암모늄태 질소 (NH<sub>3</sub>-N), 질산태 질소 (NO<sub>3</sub>-N), 총인 (T-P), 유효인산 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 등 화학적 특성을 분석하였다. 중금속으로 As, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn에 대하여 토양 내 전함량 분석을 수행하였다. 각 실험 결과치는 통계 분석을 통하여 그 차이의 유의성을 판단하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 조사 지역 및 시료 채취

토양조사 시기는 2016년 3월로 기비를 살포하기 전 실시하였고, 시기에 따른 토양 특성 변화를 최소화하기 위해서 시료 채취는 2일 이내에 이루어졌다. 대상지는 관행논과 유기농의 환경 특성을 비교하기 위해 같은 유역 내에 있는 논으로 선정하였다. 관행논은 용인시 원삼면 4개 필지, 안성시 보개면 7개 필지, 유기농은 용인시 원삼면 14개 필지, 안성시 고삼면 9개 필지, 안성시 대덕면 1개 필지를 조사하였다. 용인시 원삼면 14개 필지는 원삼 친환경유기쌀 작목회원의 농가에서, 안

성시 고삼면 9개 필지와 안성시 대덕면 1개 필지는 고삼친환경농업 작목회 농가에 의해서 경작되고 있다. 용인과 안성지역 유기농에서 기비와 추비로 시비되는 유기질 비료의 종류는 용인지역은 금강농산의 혼합 유기질 비료인 ‘토토그린(아주까리유박 80%, 팜박 11%, 미강유박 3%, 야자박 3%, 골분 3%)’을 사용하고 있었다. 안성지역은 유기질 비료인 ‘하나로유박골드(피마지박 40%, 채종박 20%, 케이폭박 25%, 미강유박 15%)’를 사용하고 있었다. ‘하나로유박골드’와 ‘토토그린’은 모두 질소 4%, 인산 2%, 칼리 1%의 성분함량을 갖는 유기질 비료이었다. 관행논에서는 복합 비료인 ‘슈퍼21’과 축산퇴비가 사용되고 있었다. 조사 대상지역인 용인과 안성의 유기농은 모두 15년 이상 유기농법이 지속적으로 수행되고 있었다. 토양 깊이에 따른 토양 특성을 살펴보기 위하여 시료 채취는 표층(0~15 cm) 및 심층(15~30 cm)을 각각 필지별로 3지점에서 채취하여 혼합하였다.

### 2. 토양 분석 방법

토양의 화학성 분석을 위해서 105°C로 24시간 건조 후 함수율을 측정하였다. 건조된 시료를 2 mm 체로 체거름 한 뒤 통과된 것을 화학분석에 사용하였다. 토양 화학 특성 분석은 농업과학원에서 발간한 토양화학분석법(National Academy of Agricultural Science, 2010)에 따라서 수행하였다.

pH와 EC는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 하고 pH는 1시간 교반 후 측정하였고, EC는 30분 교반 후에 No. 2여과지(Whatman, USA)에 여과시킨 시료를 pH/EC multi meter (Sevenmulti S40, Mettler Toledo, Switzerland)를 이용하여 측정하였다. 유기물 (organic matter, OM) 함량은 작열 손실량법으로 450 °C에서 2시간 가열 후 질량 변화를 측정하였다.

T-N는 Kjeldahl법에 따라서 분해촉진제로 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>와 CuSO<sub>4</sub> 비율 9:1로 첨가하여 400 °C에서 4시간 가열분해 후 비색법으로 측정하였다. NH<sub>3</sub>-N는 토양 5 g을 2M KCl 용액 25 mL에 넣고 30분간 교반하여 치환 추출한 용액을 No. 2 여과지에 여과 후에 비색법으로 측정하였고, NO<sub>3</sub>-N는 Brucine법에 따라서 2M KCl 용액으로 추출하여 농도를 측정하였다. T-P은 과염소산(HClO<sub>4</sub>) 분해법에 따라서 열분해 후 아스코르빈산 환원법으로 발색시킨 후 측정하였다. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 함량은 Lancaster법에 따라서 측정하였다.

중금속은 왕수용액(Aqua regia)을 이용하여 추출한 용액을 No. 2여과지에 여과시키고 ICP-OES (PerkinElmer, Optima 8300, USA)로 측정하였다.

### 3. 데이터 통계 분석

지역과 농법에 따른 토양 특성 분석결과는 평균±표준오차로

표시하여 나타내고, SAS 9.4를 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 집단 간의 차이는 유의수준 ( $\alpha$ ) 0.05에서 Duncan의 다중검정으로 사후 검정하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 토양 특성 분석

용인 및 안성 지역의 관행논과 유기논 표층(0~15 cm) 토양의 화학적 특성을 Table 1에 나타내었다. pH는 집단 간의 유의성 있는 차이가 발견되지 않았고, 대상지역의 pH는  $5.3 \pm 0.2$ 에서  $6.0 \pm 0.1$ 로 논토양의 적정기준치인 pH 5.5~6.5를 대부분 만족하는 것으로 나타났다. EC는 유기논 토양에서 높게 나타난다는 연구 결과(Shon et al., 1999)와는 달리 집단 간의 유의성 있는 차이가 발견되지 않았다.

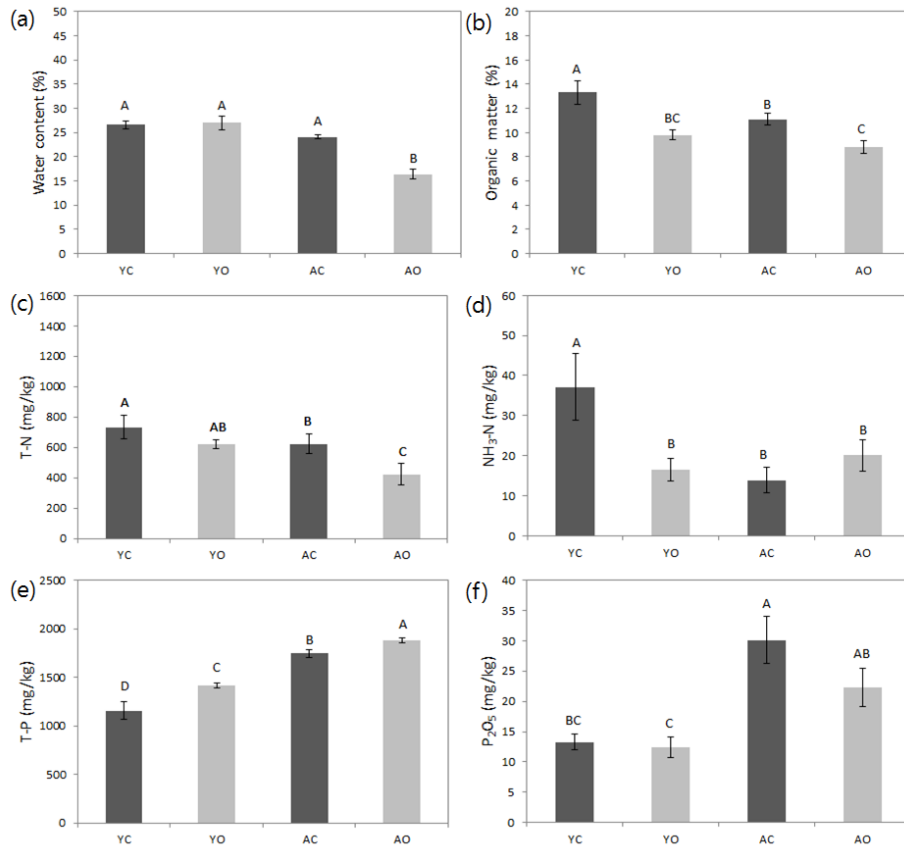
용인 및 안성 지역의 관행논과 유기논의 표층 토양에서 통계적으로 유의한 차이가 나타난 함수율, OM, T-N,  $\text{NH}_3\text{-N}$ , T-P,  $\text{P}_2\text{O}_5$ 의 함량을 Fig. 1에 나타내었다. 함수율은 안성지역 유기논이  $16.4 \pm 1.0\%$ 으로 가장 낮게 나타났으며, 이는 안성지역 유기논 토양의 silt-clay 함량이 적었기 때문으로 판단된

다(Lee et al., 2016). OM은 농법 간에 유의성 있는 차이가 발견되었다. OM은 용인지역 관행논( $13.3 \pm 1.0\%$ )과 안성지역 관행논( $11.1 \pm 0.5\%$ )이 용인지역 유기논( $9.8 \pm 0.4\%$ )과 안성지역 유기논( $8.8 \pm 0.5\%$ )보다 높은 것으로 나타나, 유기논보다 관행논에서 OM이 높은 것으로 나타났다. 토양 내 유기물은 토양 수분 보유, 토양의 입단화 형성, 생물의 서식처 제공 등의 역할을 하지만(Brady and Weil, 2010), 수계로 유입 시 BOD 및 COD 증가와 같은 수질 오염 오염의 악영향을 미친다. 기존의 연구 결과(Lyou et al., 2005)에 따르면 유기 비료 투입 시 강우 유출수의 BOD 및 COD 농도가 화학 비료 투입 시 보다 높게 나타났다. 본 연구에서는 관행논에서 OM 함량이 높게 나타났는데, 이는 인증 제도에 의해서 시비량이 엄격하게 관리되는 유기논 토양과는 달리 관행논의 경우 규제 및 기준 없이 축산퇴비가 과량 사용되었기 때문으로 판단된다(Park et al., 2015). T-N는 용인지역 관행논 및 유기논에서 각각  $973.5 \pm 146.7 \text{ mg/kg}$ ,  $827.0 \pm 45.7 \text{ mg/kg}$ 이었고, 안성지역 관행논과 유기논에서 각각  $735.4 \pm 84.8 \text{ mg/kg}$ 과  $512.8 \pm 39.5 \text{ mg/kg}$ 으로, 각 지역의 관행논에서 유기논보다 T-N 함량이 높게 나타났다. 특히, 안성지역 유기논에서 상대적으로 다른 논보다 T-N 함량이 낮게 나타났는데 이는 안성지역의 유기논

Table 1 Statistical results for chemical properties of topsoil (0~15 cm) in conventional and organic paddy

		Water content (%)	pH	EC ( $\mu\text{S/cm}$ )	OM (%)	T-N (mg/kg)	$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/kg)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/kg)	T-P (mg/kg)	$\text{P}_2\text{O}_5$ (mg/kg)
YC	n	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	MAX	25.9	5.9	432.0	16.3	1266.0	65.1	101.4	1466.3	16.7
	MIN	22.1	4.8	118.4	11.1	648.0	23.5	21.3	999.1	10.3
	AVE	24.6	5.3	234.0	13.3	973.5	37.1	53.9	1156.9	13.3
	SE	0.7	0.2	62.1	1.0	146.7	8.3	14.6	90.9	1.3
YO	n	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	MAX	41.4	6.5	263.0	13.5	1040.0	37.4	110.9	1583.5	33.3
	MIN	21.6	5.0	78.6	6.9	442.0	2.6	3.9	1280.4	5.2
	AVE	27.0	5.5	141.3	9.8	827.0	16.5	25.9	1413.4	12.4
	SE	1.4	0.1	16.2	0.4	45.7	2.8	6.6	26.5	1.7
AC	n	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	MAX	25.7	6.4	320.0	12.7	1080.0	30.0	83.1	1903.9	44.2
	MIN	22.5	5.5	96.3	8.8	420.0	5.1	15.5	1596.0	12.8
	AVE	24.1	6.0	171.0	11.1	735.4	13.9	42.2	1745.4	30.1
	SE	0.4	0.1	26.2	0.5	84.8	3.2	8.1	40.2	3.9
AO	n	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	MAX	21.8	6.7	227.0	11.8	704.0	40.9	87.3	2088.3	39.8
	MIN	12.2	4.9	71.8	6.0	230.0	3.6	2.6	1771.1	8.8
	AVE	16.4	5.8	129.9	8.8	512.8	20.1	41.5	1881.2	22.3
	SE	1.0	0.2	14.4	0.5	39.5	3.8	9.7	30.1	3.1

YC: Yongin conventional paddy, YO: Yongin organic paddy, AC: Anseong conventional paddy, AO: Anseong organic paddy, n: sample number, MAX: maximum value, MIN: minimum value, AVE: average, SE: standard error



**Fig. 1** Comparison of topsoil (0~15 cm) properties between conventional paddy and organic paddy in Yongin and Anseong. (a) Water content (%), (b) Organic matter (%), (c) T-N (mg/kg), (d) NH<sub>3</sub>-N (mg/kg), (e) T-P (mg/kg) and (f) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (mg/kg). The bar show the mean value and the error bars the standard error of the associated water quality data. Different letters appear above the bars is significant difference according to Duncan's multiple range test (p<0.05).

토양의 silt-clay 함량이 낮아 토양교질에 흡착능력이 작은 질소가 쉽게 유실되기 때문에 판단된다(Allison et al., 1966; Yun and Yoo, 1996; Lee et al., 2016). NH<sub>3</sub>-N의 경우 용인지역 관행논이 37.1±8.3 mg/kg으로 가장 높게 나타났으며, 다른 집단 간에는 유의성 있는 차이가 발견되지 않았다. T-P의 경우 지역과 농법 간의 유의성 있는 차이가 발견되었다. 용인지역의 관행논(1156.9±90.9 mg/kg)과 유기논(1413.4±26.5 mg/kg)이 안성지역의 관행논(1745.4±40.2 mg/kg)과 유기논(1881.2±30.1 mg/kg)보다 낮게 나타났으며, 각 지역에서 유기논의 T-P 함량이 관행논보다 더 높게 나타났다. 안성지역 유기논에서 T-P이 가장 높게 나타나는 것은 배수가 좋아 함수율이 낮은 토양에서는 Al-P 형태의 인산이 많아지며(Kim et al., 2011), 이로 인해 토양교질과의 고정력이 커지기 때문에 판단된다(Kang et al., 2011). P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 경우는 용인지역의 관행논과 유기논이 각각 13.3±1.3 mg/kg, 12.4±1.7 mg/kg으로 안성지역의 관행논(30.1±3.9 mg/kg), 유기논(22.3±3.1

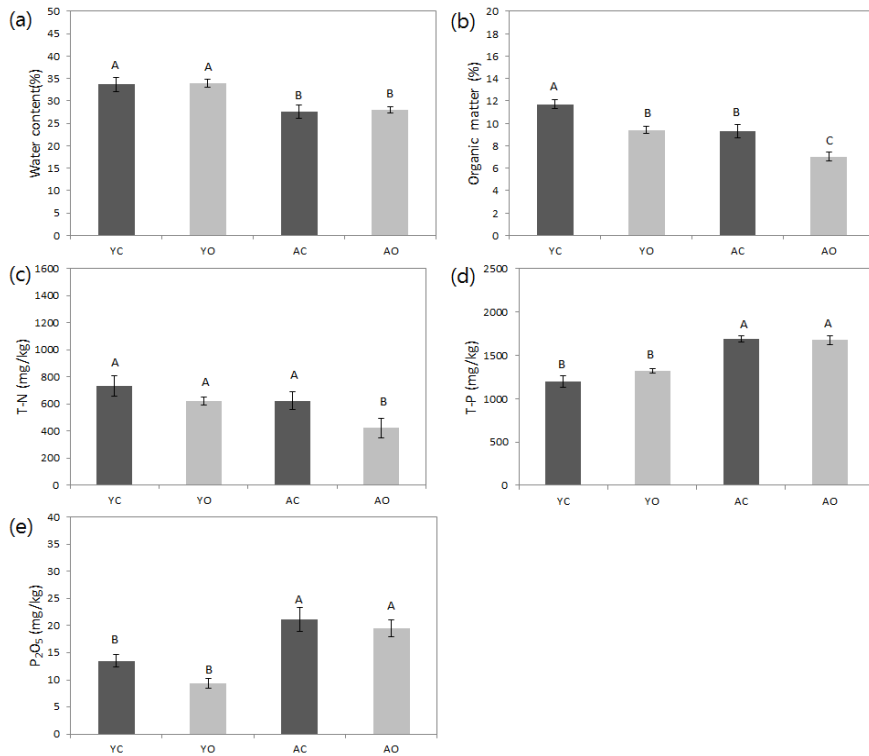
mg/kg)보다 낮게 나타나, 지역 간의 유의성 있는 차이는 나타났지만 농법 간의 차이는 없었다.

심층 토양(15~30 cm)의 화학적 특성의 통계적 결과 값을 Table 2에 나타내었다. pH, EC, NH<sub>3</sub>-N, 그리고 NO<sub>3</sub>-N은 지역과 농법 간에 유의성 있는 차이가 나타나지 않았고, 통계적으로 유의성 있는 차이가 나타난 함수율과 OM, T-N, T-P, 그리고 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>은 Fig. 2에 나타내었다. 함수율은 지역 간의 유의성 있는 차이가 나타났다. 용인지역 관행논과 유기논의 함수율은 각각 33.7±1.6 %, 33.9±0.9 %로 안성지역 관행논(27.6±1.5 %), 유기논(28.0±0.7 %)보다 높은 경향을 나타내었다. OM은 용인지역의 관행논과 유기논이 각각 11.7±0.4 %, 9.4±0.3 %이었고, 안성지역의 관행논과 유기논은 각각 9.3±0.6 %, 7.0±0.4 %으로 나타나 관행논에서 유기논보다 OM이 높게 나타났다. 이 결과는 표층 토양의 OM 결과와도 일치한다. T-N은 안성 지역 유기논에서만 유의성 있는 차이가 발견되었으며, 표층 토양과 같이 다른 집단에 비하여 T-N의 함량이 낮

**Table 2** Statistical results for chemical properties of subsoil (15~30 cm) in conventional and organic paddy

		Water content (%)	pH	EC (μS/cm)	OM (%)	T-N (mg/kg)	NH <sub>3</sub> -N (mg/kg)	NO <sub>3</sub> -N (mg/kg)	T-P (mg/kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)
YC	n	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	MAX	36.9	6.1	432.2	13	1225.0	22.5	81.5	1363.2	16.1
	MIN	29.4	4.8	118.9	10.8	445.0	0.2	23.8	1052.2	10.4
	AVE	33.7	5.6	234.2	11.7	734.5	9.2	44.7	1192.8	13.5
	SE	1.6	0.3	62.0	0.4	165.6	4.1	10.9	66.5	1.1
YO	n	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	MAX	39.1	6.9	263.4	11.6	796.0	24.4	85.2	1485.1	12.8
	MIN	28.0	5.4	78.6	7.9	442.0	4.5	1.0	1144.4	2.7
	AVE	33.9	6.0	141.8	9.4	623.0	10.9	42.6	1316.7	9.3
	SE	0.9	0.1	16.2	0.3	28.3	1.3	7.2	26.6	0.9
AC	n	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	MAX	32.3	6.9	320.6	11.1	892.0	14.5	78.5	1847.6	28.8
	MIN	22.6	6.0	96.9	6.0	364.0	3.0	16.3	1586.7	12.9
	AVE	27.6	6.5	171.5	9.3	624.0	9.9	35.4	1686.2	21.2
	SE	1.5	0.1	26.2	0.6	66.2	1.3	8.3	35.4	2.2
AO	n	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	MAX	31.2	7.5	227.5	9.2	876.0	22.5	275.2	1938.3	25.3
	MIN	24.9	4.9	72.0	5.1	104.0	0.5	5.1	1425.7	9.9
	AVE	28.0	6.2	133.3	7.0	422.0	10.1	57.3	1674.0	19.5
	SE	0.7	0.2	14.6	0.4	70.7	2.0	24.2	53.6	1.6

YC: Yongin conventional paddy, YO: Yongin organic paddy, AC: Anseong conventional paddy, AO: Anseong organic paddy, n: sample number, MAX: maximum value, MIN: minimum value, AVE: average, SE: standard error



**Fig. 2** Comparison of subsoil (15~30 cm) properties between organic paddy and conventional paddy in Yongin and Anseong. (a) Water content (%), (b) Organic matter (%), (c) T-N (mg/kg), (d) T-P (mg/kg) and (e) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (mg/kg). The bar show the mean value and the error bars the standard error of the associated water quality data. Different letters appear above the bars is significant difference according to Duncan's multiple range test (p<0.05).

게 나타났다. T-P은 표층과 달리 심층에서는 농법 간의 유의성 있는 차이가 발견되지 않았지만, 지역 간의 차이는 발견되었다. 용인지역 관행논(1192.8±66.5 mg/kg)과 유기논(1316.7±26.6 mg/kg)이 안성지역 관행논(1686.2±35.4 mg/kg)과 유기논(1674.0±53.6 mg/kg)보다 낮게 나타났다. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 경우도 지역 간의 차이가 발견되어 용인지역 관행논과 유기논이 각각 13.5±1.1 mg/kg, 9.3±0.9 mg/kg으로 안성지역 관행논(21.2±2.2 mg/kg)과 유기논(19.5±1.6 mg/kg)보다 낮은 것으로 나타났으나, 농법 간의 차이는 발견되지 않아, 유기농법을 행하는 시설재배지, 논, 과수원, 밭의 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 함량이 인근농가보다 높게 나타난다는 기존문헌 (Kim et al., 2000; Cho et al., 2009)과 다른 결과를 나타냈다.

## 2. 토양 중금속 특성

용인 및 안성 지역의 관행논 및 유기논 토양의 중금속함량을 표층과 심층을 나누어 Table 3에 나타내었으며, 유의성 있는 차이가 발견된 As, Pb, 그리고 Zn에 대하여 Fig. 3에 나타내었다. As는 표층과 심층에서 같은 경향이 나타났으며, 용인

및 안성 각 지역에서 관행논 토양의 As 농도가 유기논 토양의 As 농도보다 높게 나타났다. Pb의 경우는 용인지역의 심층 토양을 제외한 용인 및 안성 지역의 표층 토양과 안성 지역의 심층 토양에서 관행논의 Pb 농도가 유기논보다 높게 나타났다. 토양내 Zn 농도 역시 용인지역의 심층 토양의 경우 관행논과 유기논 사이에 Zn 농도 차이는 없었지만, 용인 및 안성 지역의 표층 토양과 안성 지역 심층 토양에서 관행논에서 Zn 농도가 유기논보다 높게 나타났다. 관행논 토양에서 유기논 토양보다 As, Pb, Zn의 농도가 높게 나타난 것은 관개수와 토양내 OM 함량의 차이에 따른 것으로 판단된다. 또한, 관행논과 달리 유기논에서는 유기농 인증 기준에 따라서 수질이 양호한 관개수를 이용하기 때문에 중금속의 토양 내 축적 정도가 작을 것으로 판단된다. 또한, 중금속 이온은 토양 유기물에 존재하는 카르복실 및 페놀 작용기와 화합물을 형성하는데 (Sparks, 2013), 관행논이 유기논에 비하여 OM 함량이 높아 토양내 As, Pb, Zn을 쉽게 흡착 및 축적될 수 있다. 모든 중금속항목이 기존문헌에 비하여 낮은 수치를 나타내었는데, Yoon et al. (2009)가 92개 지점의 산림 토양의 표토를 왕수시험방법으로

Table 3 Statistical results for heavy metal concentrations of topsoil and subsoil in conventional and organic paddy

Heavy metal	Topsoil						Subsoil						
	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	
Criteria level	25	4	5	100	200	300	25	4	5	100	200	300	
YC	n	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	MAX	1.9	0.0	13.7	3.5	3.4	16.9	2.0	0.0	11.9	3.6	2.6	13.2
	MIN	0.7	0.0	1.6	0.3	2.2	12.6	1.2	0.0	1.7	0.4	1.8	11.5
	AVE	1.3	0.0	6.4	1.6	2.6	14.1	1.5	0.0	4.8	1.4	2.2	12.0
	SE	0.2	0.0	2.3	0.6	0.2	0.8	0.1	0.0	2.1	0.6	0.2	0.4
YO	n	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	
	MAX	1.5	1.0	18.1	2.7	2.8	14.2	2.1	1.4	15.2	3.3	3.9	14.8
	MIN	0.7	0.0	0.9	0.0	1.1	6.2	0.5	0.0	0.5	0.0	1.8	9.3
	AVE	1.0	0.1	5.2	0.8	2.1	10.4	1.3	0.1	5.7	1.3	2.4	11.2
	SE	0.1	0.1	1.3	0.2	0.1	0.6	0.1	0.1	1.0	0.3	0.1	0.4
AC	n	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
	MAX	1.4	0.0	9.4	1.6	3.2	23.3	1.2	0.1	8.8	2.4	3.4	20.2
	MIN	0.5	0.0	0.8	0.4	2.2	12.9	0.5	0.0	1.3	0.4	2.5	13.1
	AVE	0.8	0.0	4.8	1.1	2.7	17.8	0.9	0.0	3.8	1.3	2.9	17.0
	SE	0.1	0.0	1.1	0.2	0.1	1.4	0.1	0.0	0.9	0.2	0.1	0.9
AO	n	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	MAX	1.4	0.0	11.5	4.1	2.9	23.9	1.9	0.0	10.5	5.3	2.9	20.3
	MIN	0.0	0.0	0.7	0.0	1.7	12.0	0.0	0.0	0.6	0.0	1.5	11.8
	AVE	0.5	0.0	5.9	2.1	2.3	16.8	0.5	0.0	5.4	2.3	2.2	14.7
	SE	0.1	0.0	1.0	0.4	0.1	1.1	0.2	0.0	0.9	0.5	0.1	0.9

YC: Yongin conventional paddy, YO: Yongin organic paddy, AC: Anseong conventional paddy, AO: Anseong organic paddy, n: sample number, MAX: maximum value, MIN: minimum value, AVE: average, SE: standard error

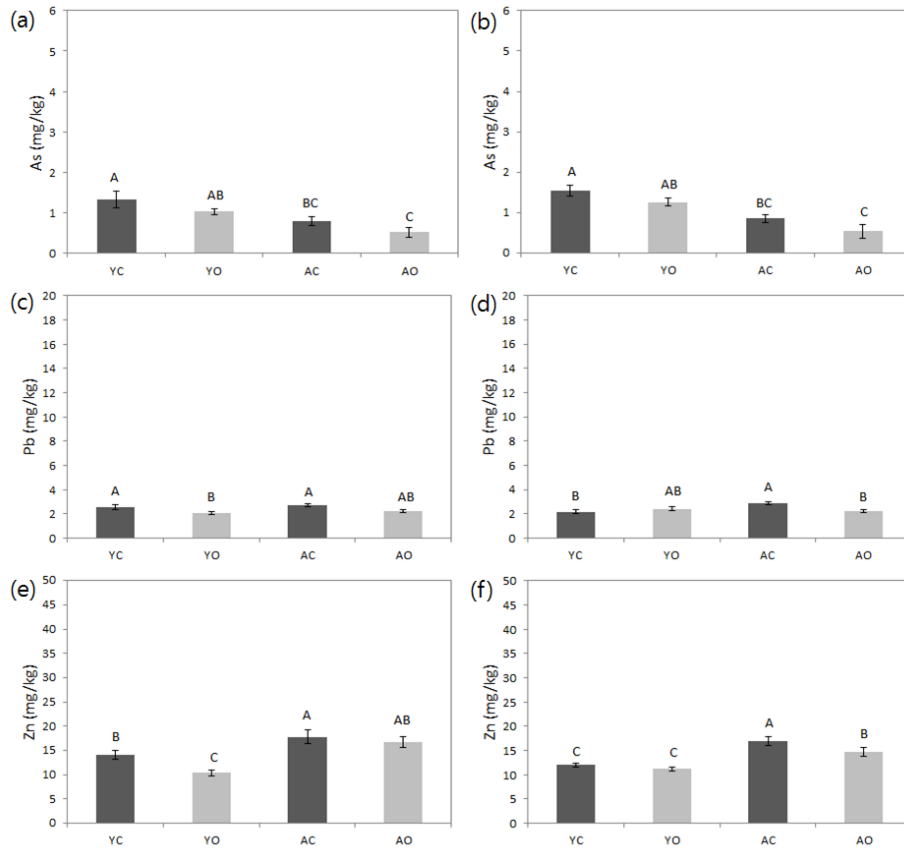


Fig. 3 Comparison of As (a & b), Pb (c & d), and Zn (e & f) concentration in topsoil (left column) and subsoil (right column). The bar show the mean value and the error bars the standard error of the associated water quality data. Different letters appear above the bars is significant difference according to Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ ).

분석한 중금속의 평균값 (mg/kg)은 As 6.83, Cd 0.287, Cr 25.36, Ni 17.68, Pb 18.43, Zn 54.27에 비하여 본 연구에 조사된 논토양의 중금속 농도가 4.5~32.8 % 수준으로 낮게 나타났다. 한편, 본 조사결과를 외국의 문헌과도 비교해보면, Kabata-Pendias (2001)가 조사한 전세계 토양의 평균 중금속 함유량 (mg/kg)인 As 7.70, Cd 0.53, Cr 54.0, Ni 22.0, Pb 25.0, Zn 64.0에 비교하면 3.6~27.8 % 수준으로 나타났다. 또한, Bradford (1996) 등이 조사한 미국 캘리포니아의 대표적인 농경지 토양의 중금속 자연함유량 평균값 (mg/kg)인 As 3.50, Cd 0.36, Cr 122.0, Ni 57.0, Pb 23.9, Zn 149.0에 비교하면 약 1.4~42.9 % 수준이었다.

### 3. 토양 화학성 및 중금속 상관분석

표층 토양과 심층 토양에서 토양의 화학적 특성 인자 및 중금속 간의 상관관계를 Table 4와 5에 각각 나타내었다. 표층의 함수율과 T-P, Ni, Zn은 각각 -0.528, -0.392, -0.453의 음의 상관관계를 나타냈고, As와는 0.497의 양의 상관관계를

나타냈다. pH는 T-P 및  $P_2O_5$ 과 각각 0.379, 0.573으로 양의 상관관계를 나타냈다. 토양 교질 내에 인산염의 흡착은 pH가 증가함에 따라서 감소하는데 (Sparks, 2013), 문헌과는 반대의 분석 결과가 나타났다. 또한 토양의 pH가 증가하면 중금속의 토양 내 흡착 특성이 감소하는데 (McBride, 1994), 본 연구에서는 pH와 중금속과의 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 이는 인산염 및 중금속의 흡착은 토양의 불균질성, 유기물함량, 비료의 시비 등 복합적인 요인에 의해서 영향을 받을 뿐만 아니라 본 연구에서 조사된 토양 pH의 범위도 4.8~6.7로 실험실 조건에서 인위적으로 조절된 pH의 범위보다 작기 때문인 것으로 사료된다. 또한 EC는 OM, T-N,  $NH_3-N$ 와의 상관계수가 0.419, 0.370, 0.356으로 양의 상관관계를 나타냈다. OM은 T-N 및 As와의 상관계수가 각각 0.505, 0.425로 양의 상관관계를 나타내었지만, T-P과의 상관계수는 -0.345로 음의 상관관계를 나타냈다. T-N는 T-P과의 상관계수가 -0.589로 강한 음의 상관관계를 나타냈다. T-P은  $P_2O_5$ 과의 상관계수가 0.505로 양의 상관관계를 나타냈다. T-P은 As와의 상관

**Table 4** Correlation matrix among the 9 physicochemical variables of topsoil (0~15 cm). Asterisks indicate significant difference. \*Values are statistically significant at  $P < 0.05$ , \*\* values are statistically significant at  $P < 0.01$ , \*\*\* values are statistically significant at  $P < 0.0001$

	pH	EC	OM	T-N	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	T-P	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	As	Cd	Cr	Ni	Pb	Zn
WC	-0.104	0.007	0.324	0.518**	0.007	-0.244	-0.528**	-0.243	0.497**	0.097	-0.108	-0.392*	-0.161	-0.453**
pH		0.137	-0.005	-0.120	0.187	0.174	0.379*	0.573***	-0.239	-0.027	-0.195	-0.088	0.021	0.200
EC			0.419*	0.370*	0.356*	0.075	-0.277	-0.007	-0.005	-0.171	-0.194	-0.203	0.071	0.123
OM				0.505**	0.258	0.203	-0.345*	0.093	0.425*	-0.102	-0.089	-0.234	0.172	-0.056
T-N					0.309	0.088	-0.589***	-0.142	0.407*	-0.011	-0.095	-0.325	-0.038	-0.132
NH <sub>3</sub> -N						0.297	-0.296	-0.117	0.115	0.233	-0.101	-0.100	-0.126	-0.064
NO <sub>3</sub> -N							0.014	0.074	0.171	-0.137	0.237	0.168	-0.030	0.075
T-P								0.505**	-0.572***	-0.156	0.092	0.359*	0.092	0.567***
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>									-0.380*	-0.094	-0.137	0.068	0.148	0.407*
As										-0.082	-0.133	-0.306	0.024	-0.435**
Cd											0.156	0.161	-0.113	-0.113
Cr												0.804***	-0.088	0.095
Ni													0.015	0.287
Pb														0.413*

**Table 5** Correlation matrix among the 9 physicochemical variables of subsoil (15~30 cm). Asterisks indicate significant difference. \*Values are statistically significant at  $P < 0.05$ , \*\* values are statistically significant at  $P < 0.01$ , \*\*\* values are statistically significant at  $P < 0.0001$

	pH	EC	OM	T-N	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	T-P	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	As	Cd	Cr	Ni	Pb	Zn
WC	-0.116	0.232	0.315	0.356*	0.308	-0.012	-0.601***	-0.513**	0.485**	0.198	0.159	-0.070	-0.167	-0.583***
pH		0.045	-0.156	-0.037	-0.012	0.102	0.356*	0.329	-0.147	-0.064	-0.263	-0.243	0.114	0.067
EC			0.381*	0.176	0.141	0.014	-0.205	0.121	0.288	-0.129	-0.061	0	0.169	0.008
OM				0.597***	0.084	-0.067	-0.385*	-0.180	0.460**	-0.088	-0.214	-0.423*	0.049	-0.110
T-N					-0.013	-0.268	-0.076	0.015	0.141	0.038	0.084	-0.033	-0.121	0.109
NH <sub>3</sub> -N						-0.098	0.004	-0.085	-0.069	0.137	0.216	0.121	-0.141	-0.160
NO <sub>3</sub> -N							-0.130	-0.123	-0.015	-0.166	0.045	0	0.011	-0.170
T-P								0.684***	-0.595***	-0.163	-0.027	0.241	0.068	0.758***
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>									-0.511**	-0.294	-0.144	0.206	0.213	0.678***
As										0.096	-0.288	-0.451**	0.130	-0.514**
Cd											-0.092	-0.115	-0.091	-0.204
Cr												0.775***	-0.253	0.008
Ni													-0.071	0.317
Pb														0.282

계수가 -0.572로 강한 음의 상관관계를 나타낸 반면에, Ni 및 Zn과의 상관계수는 각각 0.359, 0.567로 양의 상관관계를 나타내었다. 인 (P)은 수중에서 대부분 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 정인산염 형태로 존재하며 산화음이온으로 존재하는 As와 토양 흡착에 있어서 경쟁을 하기 때문에 T-P과 As는 음의 상관관계를 나타내는 것으로 판단된다(McBride, 1994). 반면에 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>은 양이온의 중금속과 결합하여 매우 안정한 불용성 화합물을 형성하

여 중금속을 토양 내에 고정화시키므로 중금속의 토양 내 흡착을 돕는다(McGowen et al., 2001). P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 역시 As와는 음의 상관관계를 나타내었지만, Zn과는 양의 상관관계를 나타내었다. As와 Zn의 상관계수는 -0.435로 음의 상관관계를 나타내었으며, Cr과 Ni의 상관계수는 0.804로 매우 강한 양의 상관관계를 나타내었다. Choo et al. (2005)의 연구 결과에서도 Cr과 Ni의 상관관계가 다른 중금속과의 상관관계보다 높게



나타났으며, 이는 Cr과 Ni의 배출원이 유사하기 때문으로 보고되었다.

심층 토양에서 표층 토양과 다르게 함수율과 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 함량의 상관계수는 -0.513, OM과 Ni의 상관계수는 -0.423, As과 Ni의 상관계수는 -0.451으로 유의성 있는 상관관계를 나타냈다. 반면에 함수율과 Ni, pH와 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, EC와 T-N, EC와 NH<sub>3</sub>-N, T-N와 T-P, T-N와 As, T-P과 Ni, Pb과 Zn은 표층 토양에서 유의성 있는 상관관계를 나타내었지만 심층 토양에서는 유의성 있는 상관관계가 나타나지 않았다. 그 외에 인자간의 상관관계는 표층 토양과 심층 토양에서 동일하게 나타났다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 유기농업 및 관행농업에 따른 토양 환경 특성을 분석하기 위해서, 기비전 용인 및 안성 지역의 관행논 11개 필지, 유기논 24개 필지에 대한 토양 화학 특성 및 중금속 함량 분석을 수행하였고, 각 토양 인자 간의 상관관계 분석을 수행하였다. 용인 및 안성지역의 관행논과 유기논의 표층 및 심층 토양에서 함수율, OM, T-N, T-P, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 함량이 통계적으로 유의미한 차이를 나타냈다. OM 및 T-N는 유기논보다 관행논에서 높게 나타났지만, T-P의 경우 관행논보다 유기논에서 높게 나타났다. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 경우에는 지역적인 차이가 있었으며, 안성 지역에서 용인 지역보다 높게 나타났다. 표층 및 심층 토양 내 중금속 농도 조사 결과 As, Pb, 그리고 Zn 항목에 한해서 지역 및 농법 간의 차이를 나타냈으며, 관행논 표층 토양의 As, Pb, Zn 농도가 유기논 표층 토양보다 높게 나타났다. 토양 화학 특성 및 중금속 인자 간의 상관관계 분석을 수행한 결과 함수율과 T-P, 함수율과 Zn, T-P과 As, As와 Zn은 강한 음의 상관관계를 나타냈으나, 함수율과 As, OM과 T-N, T-P과 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, T-P과 Zn, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>과 Zn, Cr과 Ni은 강한 양의 상관관계를 나타냈다. 본 연구는 유기논 및 관행논의 환경영향 평가 및 안전한 농산물 생산을 위한 기초 자료로 활용될 수 있다.

#### 사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ01086103, 과제명: 유기농과 관행논의 환경영향 비교 평가)의 지원에 의해 이루어진 것임.

#### REFERENCES

- Ahn, B. K., J. H. Lee, K. C. Kim, H. G. Kim, S. S. Jeong, H. W. Jeon, and Y. S. Zhang, 2012. Changes in chemical properties of paddy field soils as influenced by regional topography in Jeonbuk Province. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 45(3): 393-398 (in Korean).
- Allison, F. E., 1966. *The fate of nitrogen applied to soil*. *Advances in Agronomy* 18: 219-258.
- Bradford, G. R., A.C. Chang, A. L. Page, D. Bakhtar, J. A. Frampton, and H. Wright., 1996. Background Concentrations of Trace and Major Elements in California Soils, 24-28. Kearney Foundation of Soil Science Division of Agriculture and Natural Resources University of California, Kearney Foundation Special Report.
- Brady, N.C. and R. R. Weil, 2010. *Elements of the nature and properties of soils*. Prentice Hall, USA.
- Cho, H. J., S. W. Hwang, K. H. Han, H. R. Cho, J. H. Shin, and L. Y. Kim, 2009. Physicochemical properties of upland soils under organic farming. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 42(2): 98-102 (in Korean).
- Cho, J. Y., K. W. Han, J. K. Choi, Y. J. Kim, and K. S. Yoon, 2002. N and P losses from a paddy field plot in central Korea. *Soil science and plant nutrition* 48: 301-306 (in Korea).
- Choo, M. K., K. H. Kim, J. S. Lee, and H. T. Chon, 2005. Geochemical Dispersion and Contamination Characteristics of Heavy Metals in Soils and Leaves of Ginkgo biloba in Seoul Area. *Economic and Environmental Geology* 38(3): 221-236 (in Korean).
- Chung, J. B. and Y. J. Lee, 2008. Comparison of soil nutrient status in conventional and organic apple farm. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 41(1): 26-33 (in Korean).
- Joo, H. S., Y. S. Cho, and H. S. Chun, 2014. An investigation on the environmental factors of certified organic and non-pesticide paddy soils cultivating rice at goseong-gun. *Journal of Life Science* 24(4): 403-410 (in Korean).
- Kabata-Pendias, A., H. Pendias, 2001. *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press, Boca Raton, Fla.
- Kang, H. J., S. H. Yang, and S. C. Lee, 2011. Effects of liquid pig manure on growth of potato, soil chemical properties and infiltration water quality. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 44(6): 1130-1136 (in Korean).
- Kim, C. B. and J. Choi, 2002. Changes in rice yield, nutrients use efficiency and soil chemical properties as affected by annual application of slag silicate fertilizer. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 35(5): 280-289 (in Korean).
- Kim, M. S., Y. S. Jang, Y. H. Moon, and J. E. Yang, 2011. Fractionation of accumulated phosphorus in agricultural soils by land-use pattern. *Spring conference of Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 219-220 (in Korean).
- Kim, P. J., S. M. Lee, H. B. Yoon, Y. H. Park, J. Y. Lee, and S.

- C. Kim, 2000. Characteristics of phosphorus accumulation in organic farming fields. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 33(4): 234-241 (in Korean).
15. Lee, J. M., W. R. Go, A. Kunhikrishnan, J. H. Yoo, J. Y. Kim, D. H. Kim, and W. I. Kim, 2012. Model development for estimating total arsenic contents with chemical properties and extractable heavy metal contents in paddy soils. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 45(6): 920-924 (in Korean).
16. Lee, T. G., B. W. Gu, and S. J. Park, 2016, Assessment on Environmental Characteristics of Organic Paddy and Conventional Paddy by Comparing Their Soil Properties and Water Quality. *Journal of Kean Society of Environmental Engineers* 38(9): in Press (in Korean)
17. Lee, Y. H., S. T. Lee, J. Y. Heo, M. G. Kim, K. P. Hong, W. D. Song, and K. A. Roh, 2010. Monitoring of chemical properties from paddy soil in Gyeongnam Province. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 43(2): 140-146 (in Korean).
18. Lyou, C. W., Y. C. Shin, S. G. Heo, Y. H. Choi, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2005. Comparison of pollutant load discharge characteristics with chemical fertilizer and organic compost applications. *2005 Conference of Korean Society of Agricultural Engineers*. (in Korean)
19. McBride, M. B., 1994. *Environmental chemistry of soils*. Oxford university press.
20. McGowen, S. L., N. T. Basta, and G. O. Brown, 2001. Use of diammonium phosphate to reduce heavy metal solubility and transport in smelter-contaminated soil. *Journal of Environmental Quality* 30(2): 493-500.
21. National Academy of Agricultural Science, 2010. *Method of soil chemical analysis*. Rural Development Administration, Korea (in Korean).
22. Park, J. S., L. Wang, K. Kang, B. W. Gu, H. J. Kim, S. G. Hong, S. G. Hong, and S. J. Park, 2015. Comparison of Soil Chemistry and Environmental Characteristics of Organic Paddy and Conventional Paddy Before Basal Fertilizer Application. *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers* 57(6): 47-57 (in Korean).
23. Shon, B. K., 2001. Chemical Characteristics and Microbial Population of Paddy Soil in Gyeongnam Province. Master Thesis. Graduate School of Gyeongsang National University (in Korean).
24. Shon, S. M., Y. H. Kim, and Y. H. Park, 1999. Site-and crop-specific fertilization recommendation by soil nitrate testing for organic farming. *Dasan Journal* 7: 43-56 (in Korean).
25. Sohn, S. M., 2007. *Organic farming*. Hyangmoon Publishing Co., Seoul, Korea.
26. Sparks, D. L., 2003. *Environmental soil chemistry*. Academic Press.
27. Yoon, J. K., D. H. Kim, T. S. Kim, J. G. Park, I. R. Chung, J. H. Kim, and H. Kim, 2009. Evaluation on natural background of the soil heavy metals in Korea. *Journal of Soil and Groundwater Environment* 14(3): 32-39 (in Korean).
28. Yun, S. G. and S. H. Yoo, 1996. Behavior of NO<sub>3</sub>-N derived from pig manure in soil. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 29(4): 353-359 (in Korean).