



기비전 유기논과 관행논의 토양 화학 및 환경 특성 비교

Comparison of Soil Chemistry and Environmental Characteristics of Organic Paddy and Conventional Paddy Before Basal Fertilizer Application

박정수* · 왕용** · 강구*** · 구분은* · 김한중* · 홍성구* · 홍승길**** · 박성직*†

Park, Jeong-Soo · Wang, Long · Kang, Ku · Gu, Bon-Wun · Kim, Han-Joong · Hong, Seong-Gu · Hong, Seung-Gil · Park, Seong-Jik

Abstract

Organic farming system has been considered environmental friendly and sustainable agricultural practice. However, the influence of organic farming on soil quality and environment is not well informed and controversial. We sampled and analyzed 0~15 cm and 15~30 cm depth soils of organic and conventional paddy fields in Yongin and Anseong. The electric conductivity and organic matter content of organic paddy soil were significantly less ($p = 0.0097, 0.0067$, respectively) than those of conventional paddy soil. Available phosphate and total phosphorus in 0~15 cm depth of organic paddy soil were $211.1 \pm 135.3, 872.4 \pm 286.3$ mg/kg, respectively, less than those of conventional paddy soil. Available phosphate amount in conventional paddy was 358.8 ± 246.7 mg/kg, which is higher than 300 mg/kg that can cause secondary environmental contamination by runoff. The amount of total nitrogen in organic paddy soil was less than that in conventional paddy while their difference was not significant. The concentration of the heavy metals in organic paddy soil was also lower than that in conventional paddy soil but their difference was not statistically significant. Our findings demonstrate that electric conductivity, organic matter, nutrients, and heavy metals in organic paddy soil were less than those in conventional paddy soil. However, additional monitoring of soil properties for longer period is necessary to certify such a conclusion.

Keywords: organic farming; paddy; soil properties; nitrogen; phosphorus; heavy metals

1. 서 론

과거 토양 비옥도를 증진시켜 작물의 생산성을 높이는 데 중점을 두었던 생산 중심의 농업에서 벗어나 최근 경제 발전과 함께 소비자들의 환경문제에 대한 관심 증대와 고품질 안전한 농산물에 대한 수요가 증가되었다. 정부는 2013년까지 화학비료 및 농약 사용량 40%를 감축을 목표로 가축 분뇨 자원화 효율을 높이고 친환경 농산물을 확대하는 친환경 농업 육성 사업을 추진 중에 있다(Kim, 2012). 이러한 사회적 요구에 맞추어 농업생태계의 다양성과 지속 가능한 농업 생산을

위해서 유기 농업이 대한 농법으로 인식되었다(Sohn, 2007). 그러나 국내 유기 농업에서는 유기농법은 관행농법과 달리 유기질 비료만을 사용하므로 환경 친화적이며 화학 비료와 달리 다량을 사용하여도 해가 없다는 인식이 유기농가에만 연해 있다. 유럽국가(독일, 스위스 등) 및 북미(미국, 캐나다)에서 유기 농업을 수행하기 위해서 녹비작물, 두과작물 및 심근성 작물 재배 등을 하는 것과 달리, 국내에서는 토양의 지력 증진을 위하여 유기물을 시용에 의존하며, 과량의 유기물이 시용되고 있다(Lee et al., 2006). 이러한 그릇된 편견으로 인하여 유기질 비료의 과다 사용은 유기 농업 토양의 염류집적과 작물 생산성 저하를 불러일으켰다(Sohn et al., 1999). 유기 농업의 활성화 및 이로 인한 부정적 영향 감소를 위해서는 유기 농업이 주변 환경에 미치는 영향에 대한 객관적 평가가 요구된다.

유기 농업 및 관행 농업의 환경 영향에 대한 비교 연구는 소수의 연구자에 의해서 수행되었다. Lee et al. (1999)은 시설 재배지에서 화학 비료 처리 시험포와 유기 비료 처리 시험포의 지하수 수질 변화를 비교 분석하였고, 유기 비료 처리 시험포의 지하수에서 BOD와 COD 농도가 더 높은 것으로 나타났다. Kim et al. (2000)은 유기 농업 실천 농가의 시설재배지, 논, 과수원 포장 내 토양에 인산이 과량 축적되어 있다고 보고하였다. Lyou et al. (2005)의 연구 결과에 따르면 유기 비료를

* Department of Bioresources and Rural systems Engineering, Hankyong National University
** Research Institute of Agricultural & Environmental Science, Hankyong National University
*** Graduate School of Future Convergence Technology, Hankyong National University
**** National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration
† Corresponding author
Tel.: +81-31-670-5131 Fax: +82-31-670-5139
E-mail: parkseongjik@hknu.ac.kr

Received: August 19, 2015

Revised: October 18, 2015

Accepted: October 19, 2015

투입 시 강우 유출수의 BOD, COD, T-P의 농도가 화학비료 투입 시 보다 높게 나타났다. 다른 문헌에서도 유기농 토양에서 각종 양분 함량이 관행농 보다 높게 나타났다 (Chung and Lee, 2008). Joo et al. (2014)은 유기농산물인증 지역과 무농약 농산물 인증 지역의 논토양에 대해서 중금속 함량, pH, 유기물, 유효인산, 유효규산의 농도와 농업용수의 수질을 비교한 결과 차이가 없는 것으로 보고하였다. 관행농업 대비 유기농업에 따른 환경 영향에 대해서는 아직 많은 논란이 있으므로 더욱더 많은 연구가 필요한 실정이다. 그러나 Hong et al. (2014a, 2014b)이 수행한 유기농업 기술 연구 동향에서 한국은 다른 국가 대비 전반적인 기술에서 연구가 늦게 시작되었고, 유기 안전농산물 생산 및 경영기반 분야에 대한 연구가 상대적으로 많지만 환경영향 평가 기술에 대한 연구는 미미하다고 보고하였다.

국외에서도 유기농 토양질에 대한 효과에 대해서 의견이 분분하다. 유기농 비료는 토양의 화학적 특성을 향상시키고 미생물 활성을 촉진시킨다는 긍정적인 연구 (Mazzoncini et al., 2010; Sacco et al., 2015)가 발표된 반면에, 유기농 목초지에서 토양 생물 다양성에 대한 뚜렷한 증가가 없다는 반대의 연구 결과 (Parfitt et al., 2005)도 있다. Arnhold et al. (2014)의 연구 결과에 따르면 유기농 경작적용 시 산간 경지에서 토양 침식 방지에 대한 효과는 작물에 따라서 다르게 나타나는 등, 환경 변수에 따른 유기농의 효과가 다르게 나타난다고 보고하였다. 국외에서도 유기농이 관행농 대비 환경에 미치는 영향에 대한 긍정적 및 부정적 의견이 분분한 실정이다.

본 연구에서는 유기농업과 관행농업을 수행하는 논토양의 특성 분석을 통해서 유기농업과 관행농업 수행에 따른 논에서의 토양 환경 특성을 분석하고자 한다. 토양 특성 인자로는 건조밀도, 함수율, 입도, 토성과 같은 물리적 특성과 pH, 전기 전도도 (EC), 유기물함량 (OM) 등 화학적 특성을 분석하였다. 또한, 유기농업 및 관행농업을 수행하는 논토양의 총질소 (T-N), 암모늄태 질소 (NH₄-N), 질산태 질소 (NO₃-N), 총인 (T-P), 유효인산 (P₂O₅)과 같은 영양물질의 토양 내 농도와 As, Cd, Cr, Ni, Pb 및 Zn 중금속 함량을 비교 분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 토양 분석 대상지 선정

본 연구에서는 유기농업과 관행농업을 수행하는 논에서의 토양 특성 비교를 위해서 유기농 23개 필지와 관행농 10개 필지를 선정하였다. 유기농은 용인시 원삼면 14개 필지, 안성시 고삼면 8개 필지, 안성시 대덕면 1개 필지를 선정하였다.

용인시 원삼면 14개 필지는 원삼 친환경유기쌀 작목회원의 농가에서 경작되고 있으며, 안성시 고삼면 8개 필지와 안성시 대덕면 1개 필지는 고삼친환경농업 작목회 농가에 의해서 경작되고 있었다. 현재 조사 대상인 용인과 안성의 유기농 모두는 15년 이상 유기농법이 지속적으로 수행되고 있었다. 유기농의 토양 특성과의 비교를 위하여 유기농 인근에 위치한 관행논으로 용인시 원삼면 4개 필지, 안성시 보개면 6개 필지를 선정하였다. 토양 시료 채취는 표층 0~15 cm, 심층 15~30 cm 을 각각 필지별로 3지점에서 채취하였다.

2. 토양 분석

채취한 시료는 105 °C 건조기에 넣고 24시간 건조시킨 후 무게 변화를 측정하여 건조밀도와 함수비를 측정하였다. 토양의 입도 분석은 ASTM D422에 따라서 표준체 4번부터 200번까지 체분석을 실시하였고, 200번 체를 통과한 시료는 비중계 분석법을 적용하였다.

토양의 화학 분석을 위해서 필지별로 3지점에서 채취한 토양 시료는 혼합하고, 풍건 후 2 mm 체를 통과된 것을 화학분석에 사용하였다. 화학 분석은 농업과학원에서 발간한 토양 화학분석법 (National Academy of Agricultural Science, 2010)을 따라서 수행하였다. pH 토양과 증류수 비율 1:5로 하여 1시간 교반 후에, EC 역시 토양과 증류수 비율을 1:5로 하고 30분 교반 후 No. 2여과지 (Whatman, USA)로 여과 후 pH 및 EC meter (Sevenmulti S40, Mettler Toledo, Switzerland)를 이용하여 측정하였다. 유기물함량은 작열 손실량법으로 450 °C에서 2시간 가열 후 측정하였다.

총질소는 Kjeldahl법에 따라서 분해촉진제로 K₂SO₄와 CuSO₄ 비율 9:1로 첨가하여 400 °C에서 4시간 가열분해 후 비색법으로 측정하였다. 암모늄태 질소는 토양 5g을 2M KCl 용액 25 mL에 넣고 30분간 교반하여 치환 추출한 용액을 No. 2 여과지에 여과 후에 비색법으로 측정하였고, 질산태 질소는 Brucine법에 따라서 2M KCl 용액으로 추출하여 농도를 측정하였다. 총인은 과염소산 (HClO₄) 분해법에 따라서 열분해 후 아스코르빈산 환원법으로 발색시킨 후 측정하였다. 유효인산 함량은 Lancaster 법에 따라서 측정하였다.

중금속 총량은 풍건시료 1 g에 HNO₃ 0.5 mL, HF 5 mL, HCl 2 mL를 넣고 140 °C에서 2시간 동안 분해 후 As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn 농도를 ICP-OES (PerkinElmer, Optima 8300, USA)로 측정하였다.

3. 데이터 통계 분석

분석된 토양 특성 값은 Microsoft의 Excel 2013을 사용하여 통계 분석을 실시하였고, 평균간 차이에 대한 유의성 검증

은 t-검정을 수행하였다. 유의확률은 단측 검정 값을 제시하였으며, 유의확률이 유의수준 0.05 이하일 경우 유의성이 있다고 판단하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 토양 시료 채취 지역의 현황

논의 유기농법 적용에 따른 토양의 특성 평가를 위하여 2015년 2월 기비전에 토양 시료를 채취하였으며, 조사 대상지인 유기논 23개 필지(용인 14개, 안성 9개)와 관행논 10개 필지(용인 4개, 안성 6개)의 위치는 Fig. 1에 나타내었다. 안성시 고삼 친환경 농업 작목회에서 재배하는 유기논은 고삼저수지 주변에 위치하고 있으며, 대조군인 안성시 관행논은 고삼저수지 동쪽 보개면에 위치하고 있다. 용인시 원삼면에 유기논 및 관행논은 지도 상에 북쪽에 위치하고 있으며, 조사 대상지인 안성과 용인은 산을 경계로 유역을 달리하고 있다. 지력 유지를 위하여 용인시 원삼면 원삼 친환경 유기쌀 작목회에서는 모내기 직전에 금강농산의 혼합유기질비료 토토그린(아주까리유박 80%, 팥박 11%, 미강유박 3%, 야자박 3%, 골분 3%)을 기비하고 있다. 안성시 고삼면 고삼 친환경 농업 작목회에서는 유기질비료로 하나로유박골드(피마지박 40%, 채종박 20%, 케이폭박 25%, 미강유박 15%) 제품을 기비로 사용하며 한 농가는 같은 관내에 위치한 무항생제 인증을 받은 축산농가에서 축산퇴비를 기비로 사용하였다. 관행

논은 일반 축산퇴비를 기비로 시비하였다. 안성 및 용인의 유기논 모두 방제는 친환경 농자재를 사용하여 광역방제를 하고 있으며, 안성 유기논의 경우 고삼농협에서 용인의 경우는 용인시에서 연 2~4회에 걸쳐 방역을 각각 실시하고 있다. 조사 대상인 안성 지역의 유기논은 대부분 지하수를 관개수로 활용하고 있으며, 용인의 유기논은 두창리 인근에 위치한 두창저수지의 물을 콘크리트 수로를 통하여 논으로 관개하고 있다. 벼의 경작기간은 4~10월이며, 2015년 올해 유기논 농가의 생산계획량은 1.98±0.05 kg/평이다. 일반적으로 관행논에서 생산량은 2.04 kg/평으로 유기논 중 우렁이 농법에 의한 생산량 1.80 kg/평보다 높다(Korea Rural Economic Institute, 2005). 채취한 토양 시료의 입도 분석을 통하여 토성을 분석한 결과 사질식양토, 식양토, 사양토 순으로 많은 부분을 차지하고 있었다.

2. 토양의 물리화학적 특성 분석

유기논 및 관행논 표층(0~15 cm) 토양에서 건조밀도, pH, EC, 그리고 유기물 함량을 Table 1과 Fig. 2에 나타내었다. 용인 및 안성의 유기논에서 토양의 건조밀도는 각각 0.955±0.053, 1.022±0.100 g/cm³이며 평균은 0.981±0.080 g/cm³으로 나타났다. 관행논에서 토양의 건조 밀도는 용인 0.958±0.069 g/cm³, 안성 0.878±0.065 g/cm³, 평균 0.910±0.075 g/cm³으로 나타났다. 유기논 토양의 건조밀도는 관행논에 비하여 높게 나타났으며, 유의확률은 0.0001 미만으로 나타났다. 토양의 pH는 유기논의 경우 평균 5.30±0.31으로 관행논의 경우 5.40±0.49 보다 낮게 나타났지만, 통계적 차이는 없는 것으로 나타났다. 유기논과 관행논 토양의 pH 값은 토양의 적정 pH 5.5~6.5 (Joo et al., 2014) 보다 낮게 나타나, 일부 조사 지역의 토양 pH는 적정 pH 보다 낮은 산성을 나타낸다. 유기논과 관행논 표층 토양의 EC 값을 비교한 결과 유기논의 EC (95.0±22.5 dS/m) 보다 관행논 (118.1±23.9 dS/m)에서 더 높은 값을 나타내었으며, 유의확률은 0.0097이다. 본 연구 결과는 유기농업 토양에서 염류집적으로 인하여 높은 EC 값을 나타낸다는 연구 결과 (Sohn et al., 1999)와 상반된다. 토양 내 유기물 함량을 보면 용인 및 안성의 유기논에서 각각 6.4±1.3%, 5.2±1.4%이며, 평균값은 5.9±1.4%이었다. 관행논에서 유기논에 비하여 상대적으로 높은 평균값 7.8±1.9%를 나타냈으며, 용인 및 안성에서도 높은 7.1±2.4%, 8.3±1.5% 값을 각각 나타내었다. 유기농을 수행하는 경우 유기질 형태의 비료를 사용하므로 유기물량이 관행논보다 높을 것으로 판단되었으나, 본 연구에서는 관행논에서 높은 ($p = 0.0067$) 유기물 함량을 나타내었다. 유기논의 경우 기비는 혼합유박의 시비권장량 265 kg/10a 보다 적은 160~200 kg/10a

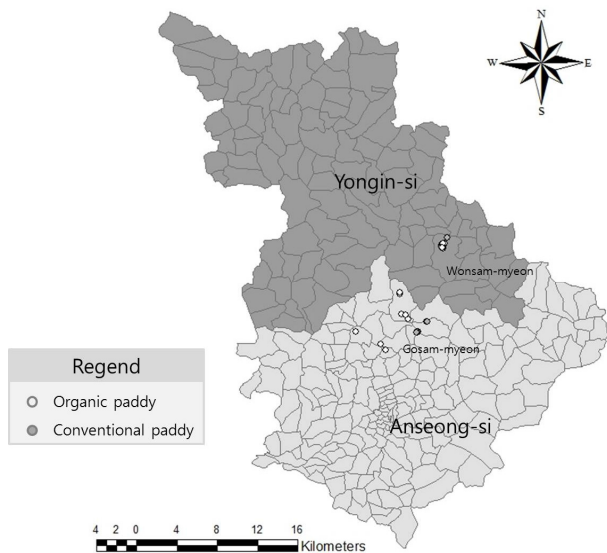


Fig. 1 The map for the distribution of soil samples from organic (white circle) and conventional (gray circle) paddy in Yongin and Anseong

Table 1 Soil properties and statistical analysis results of conventional and organic paddy soils

		Dry bulk density (g/cm ³)	pH	EC (dS/m)	Organic matter (%)	T-P (mg/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	T-N (mg/kg)	NH ₄ -N (mg/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)
0~15 cm	Organic paddy	0.981±0.080	5.30±0.31	95.0±22.5	5.9±1.4	872.4±286.3	211.1±135.3	1315.9±484.3	30.3±23.9	11.7±9.7
	Yongin	0.955±0.053	5.36±0.29	102.2±9.0	6.4±1.3	704.8±166.3	129.3±78.7	1270.7±528.1	18.4±10.0	8.7±4.9
	Anseong	1.022±0.100	5.22±0.35	83.8±32.1	5.2±1.4	1133.1±234.3	338.3±101.7	1386.1±427.4	48.7±28.0	16.4±13.4
	p-value ¹⁾	0.0453	0.1587	0.0638	0.0250	0.0002	0.0001	0.2858	0.0060	0.0654
	Conventional paddy	0.910±0.075	5.40±0.49	118.1±23.9	7.8±1.9	1075.3±318.6	358.8±246.7	1643.0±562.4	21.6±10.4	11.6±5.0
	Yongin	0.958±0.069	5.31±0.52	108.8±19.7	7.1±2.4	870.4±410.9	114.4±49.7	1445.0±620.5	22.6±11.6	13.6±5.6
	Anseong	0.878±0.065	5.47±0.50	124.3±26.1	8.3±1.5	1211.8±159.6	521.7±168.6	1775.0±534.9	21.0±10.5	10.3±4.5
	p-value ¹⁾	0.0567	0.3224	0.1587	0.2053	0.0979	0.0006	0.2093	0.4179	0.1863
	p-value ²⁾	0.0124	0.2749	0.0097	0.0067	0.0514	0.0508	0.0652	0.0785	0.4870
	15~30 cm	Organic paddy	1.101±0.094	5.68±0.52	61.0±24.6	5.1±1.6	559.9±267.2	114.9±135.2	739.6±435.1	71.1±62.5
Yongin		1.066±0.045	5.42±0.35	67.7±9.9	6.1±1.1	415.7±136.8	67.5±94.5	898.0±439.3	63.6±44.9	15.6±10.6
Anseong		1.155±0.124	6.10±0.49	50.6±36.1	3.5±0.9	784.2±270.1	188.6±160.4	493.1±307.9	82.7±84.9	20.9±8.8
p-value ¹⁾		0.0342	0.0014	0.0998	<0.0001	0.0016	0.0320	0.0085	0.2736	0.1030
Conventional paddy		1.027±0.063	5.88±0.65	80.5±25.3	5.9±1.0	864.9±280.7	242.9±198.4	888.5±439.2	63.8±76.9	13.6±9.4
Yongin		1.076±0.036	5.67±0.57	69.6±19.3	5.6±0.9	663.4±238.7	56.7±44.9	813.8±382.4	92.7±123.1	9.9±8.1
Anseong		0.994±0.055	6.02±0.71	87.8±27.8	6.1±1.1	999.2±231.4	366.9±153.1	938.3±502.0	44.5±21.1	16.1±10.0
p-value ¹⁾		0.0107	0.2105	0.1285	0.1986	0.0333	0.0016	0.3344	0.2465	0.1595
p-value ²⁾		0.0066	0.2078	0.0280	0.0427	0.0050	0.0430	0.1909	0.3980	0.1413

1) The significance of the difference between Yongin and Anseong

2) The significance of the difference between organic and conventional paddy

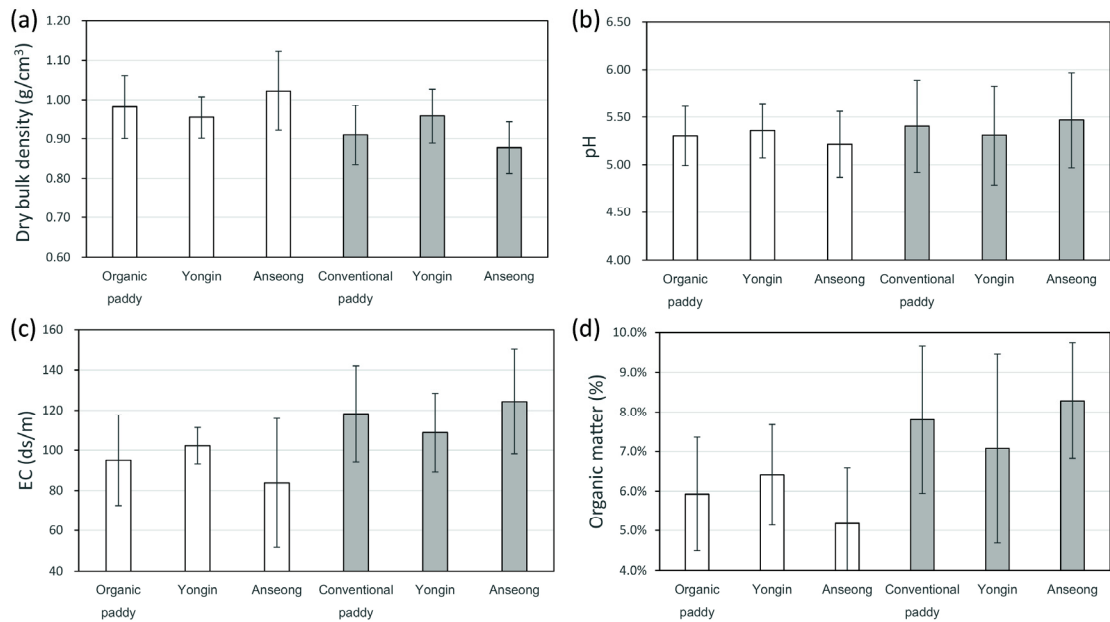


Fig. 2 Physical and chemical properties of 0–15 cm depth soil of organic paddy and conventional paddy in Yongin and Anseong. (a) dry bulk density, (b) pH, (c) EC, and (d) organic matter

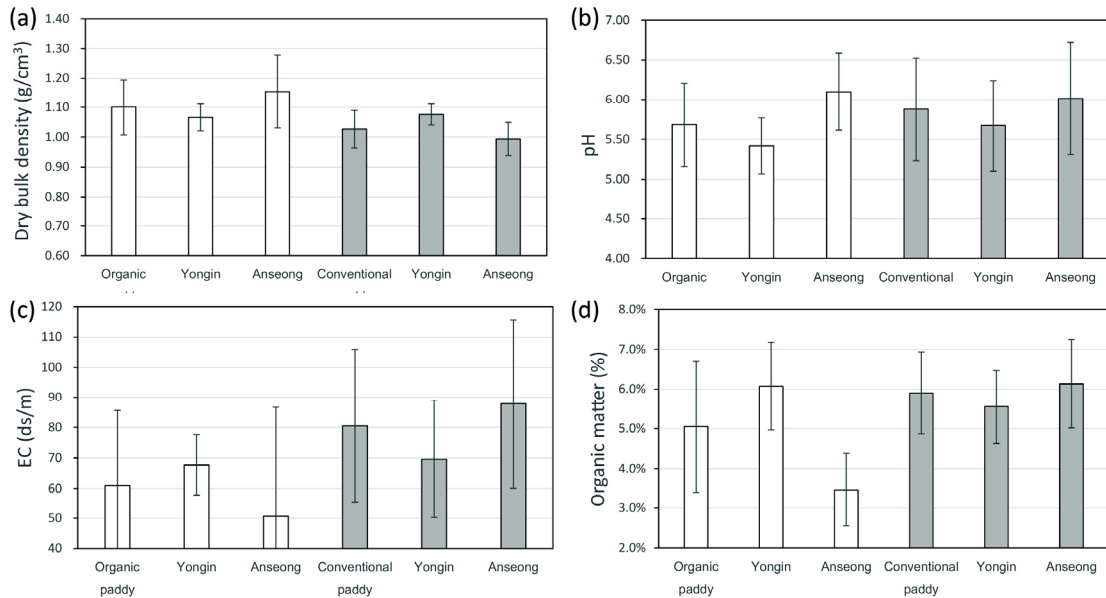


Fig. 3 Physical and chemical properties of 15–30 cm depth soil of organic paddy and conventional paddy in Yongin and Anseong. (a) dry bulk density, (b) pH, (c) EC, and (d) organic matter

를 시비하고 추비의 경우는 시비권장량 114 kg/10a 보다 적은 40~80 kg/10a를 유기농에서 시비하고 있다. 반면에 관행논에서는 무기질 형태의 화학비료를 추비로 시비하지만 기비로 축산퇴비가 시비되며, 인증제도에 의해서 엄격하게 관리되는 유기농과 달리, 기준에 의한 시비 보다는 농가 자체의 경험에 따라서 시비가 이루어지고 있다. 따라서 관행논에서의 유기물 함량이 유기농에서 보다 높은 이유는 규제 및 기준 없이 축산퇴비의 과량 시비로 인하여 다량의 유기물이 축적되었다고 판단된다. 유기비료의 사용 시 유기물 함량이 매우 높게 나타나며 국내에서도 이에 대한 문제가 제기되므로 (Lee et al., 2003), 이에 대한 관리가 필요하다. 관행논에서 유기물 함량에 대한 용인과 안성 지역 간의 차이는 유의확률 0.2053으로 차이가 없었지만, 유기농의 경우는 용인과 안성 지역 간의 차이는 유의확률 0.0250으로 뚜렷한 차이를 나타내었다.

유기농 및 관행논의 심층 (15-30 cm) 토양에서 건조밀도, pH, EC, 그리고 유기물 함량을 Table 1과 Fig. 3에 나타내었다. 유기농에서 건조밀도는 표층 토양과 같이 관행논보다 높게 나타났으며, 유의확률 0.0066으로 통계학적 차이가 있었다. pH의 경우 관행논과 유기농의 통계학적 차이를 나타내지는 않았지만, 유기농업이 적용되는 안성 (6.10±0.49)과 용인 (5.42±0.35)의 pH 차이는 유의확률 0.0014으로 큰 차이를 보였다. EC 및 유기물 함량은 유기농 및 관행논 모두에서 표층보다 심층에서 적게 나타났으며, 표층의 결과와 동일하게 관행논의 EC ($p = 0.0280$) 및 유기물 함량 ($p = 0.0427$)은 유기

농 보다 높게 나타났다.

유기농 및 관행논에서 표층 토양의 총인(T-P) 및 유효인산(P₂O₅) 함량을 Fig. 4a와 b에 나타내었다. 유기농의 경우 총인에 대한 안성과 용인과의 지역적 편차는 유의확률 0.0002로 뚜렷한 차이를 보이지만, 관행논의 경우 총인에 대한 안성과 용인과의 지역적 편차는 유의확률 0.0979으로 뚜렷한 차이가 없었다. 유기농과 관행논 토양에서 총인의 함량은 유기농의 경우 872.4±286.3 mg/kg으로 관행논의 경우 1075.3±318.6 mg/kg 보다 낮게 나타났으며, 유의확률은 0.0541으로 나타났다. 유효인산의 경우 유기농 (211.1±135.3 mg/kg) 보다 관행논 (358.8±246.7 mg/kg)에서 높게 나타났으며, 유의확률은 0.0508이다. 유기농 및 관행논 토양의 유효인산 함량은 논 토양 적정수준인 80-120 mg/kg을 초과하는 것으로 나타났다 (Kim et al., 2010; Lee et al., 2010). 기존 문헌 (Cho et al., 2002; Tang et al., 2008)에 따르면 토양 내 과량 축적된 인산은 유출에 의한 2차 오염 가능성이 높다고 보고되므로, 관행논 토양의 경우 토양 내 유효인산 축적에 대한 관리가 필요하다. 특히, 토양 중 유효인산 함량이 300 mg/kg 이상일 경우 수용성 인산의 용탈에 의한 수질 오염 가능성이 있다고 보고되고 있다 (Lee et al., 2006). 특히, 관행논 토양의 평균 유효인산의 함량은 358.8 mg/kg이고 이 중 안성 지역 관행논 토양의 유효인산의 함량은 521.7±168.8 mg/kg으로 유효인산 함량이 매우 높으므로, 이에 대한 관리가 필요하다.

본 연구의 결과는 타 문헌과 상반된 의견을 나타내었다. Kim et al. (2000)의 연구 결과에 따르면 유기농을 행하는 시

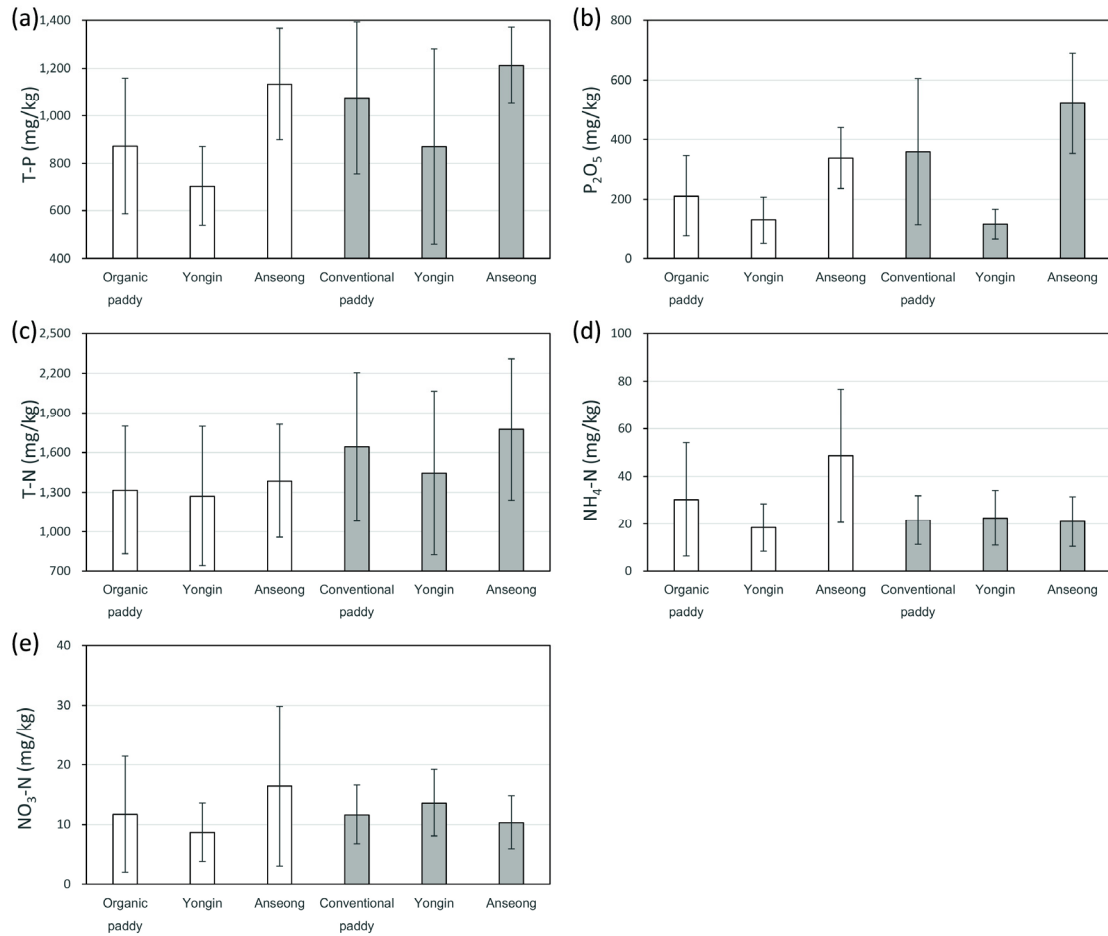


Fig. 4 The amount of (a) T-P, (b) P₂O₅, (c) T-N, (d) NH₄-N, and (e) NO₃-N in 0–15 cm depth soil of organic paddy and conventional paddy in Yongin and Anseong

설재배지, 논, 과수원 포장내 토양의 인산 농도가 높은 것으로 나타났다. Cho et al. (2009) 또한 유기농 재배 밭의 유효인산의 함량이 인근 농가에 비해 높게 나타났다고 보고하였으며, 이는 유기물을 과량 시용하였기 때문이라고 보고하였다. 본 연구 결과 및 기존 연구 결과를 바탕으로 추론하건데 관행논과 유기농 토양에서 인산염의 축적 정도는 농법에 의한 차이 뿐만 아니라 시비량, 작물의 생육, 관개수의 수질 등 다른 환경 변수에 의한 영향도 크다고 판단된다. Chung and Lee (2008)의 연구에 따르면 토양 내 유효인산 함량은 유기농 과수원의 경우 5월에는 관행논 과수원에 비하여 낮았으나, 작기가 진행됨에 따라서 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 시설채소 재배지와 달리 벼 재배의 경우 유기농재배지와 일반관행재배지 모두에서 유기물 함량, P₂O₅ 함량, pH 범위가 적정 기준치와 큰 차이를 보이지 않았다(Lee et al., 2006). 본 연구에서도 유기논과 관행논의 비교에서는 그 차이가 유의확률 0.0508으로 나타났지만, 유기논에서 용인과 안성의 유효

인산 차이에 대한 유의확률은 0.0001, 관행논에서는 0.0006으로 나타났다. 유기농과 관행논에 의한 토양 내 유효인산의 함량 차이보다는 지역 간 편차가 더 컸다. 위에서도 언급하였듯이 안성과 용인 지역은 관개 방식 및 기비 방법에 있어서 차이를 보이고 있으므로, 이러한 환경 변수에 따라서 지역 간 유효인산의 함량 차이가 발생했다고 판단된다.

토양 내 총질소의 함량은 Fig. 4c에 나타난 것과 같이 유기논(1315.9±484.3 mg/kg) 보다 관행논(1643.0±562.4 mg/kg)에서 보다 높게 나타났으며, 유의확률은 0.0652으로 유의수준 0.05보다 크다. 유기논과 관행논에서 암모늄태 질소의 함량은 각각 30.3±23.9 mg/kg, 28.0±21 mg/kg이었으며, 유의확률은 0.0785으로 유기논과 관행논에서 암모늄태 질소의 함량 차이는 통계학적으로 없었다. 유기논과 관행논에서 질산태 질소의 함량 차이도 유의확률 0.4870으로 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 질산태 질소 함량의 지역적 차이에 대한 유의확률도 0.05 이상으로 통계학적으로 유의미한 차이를 나타

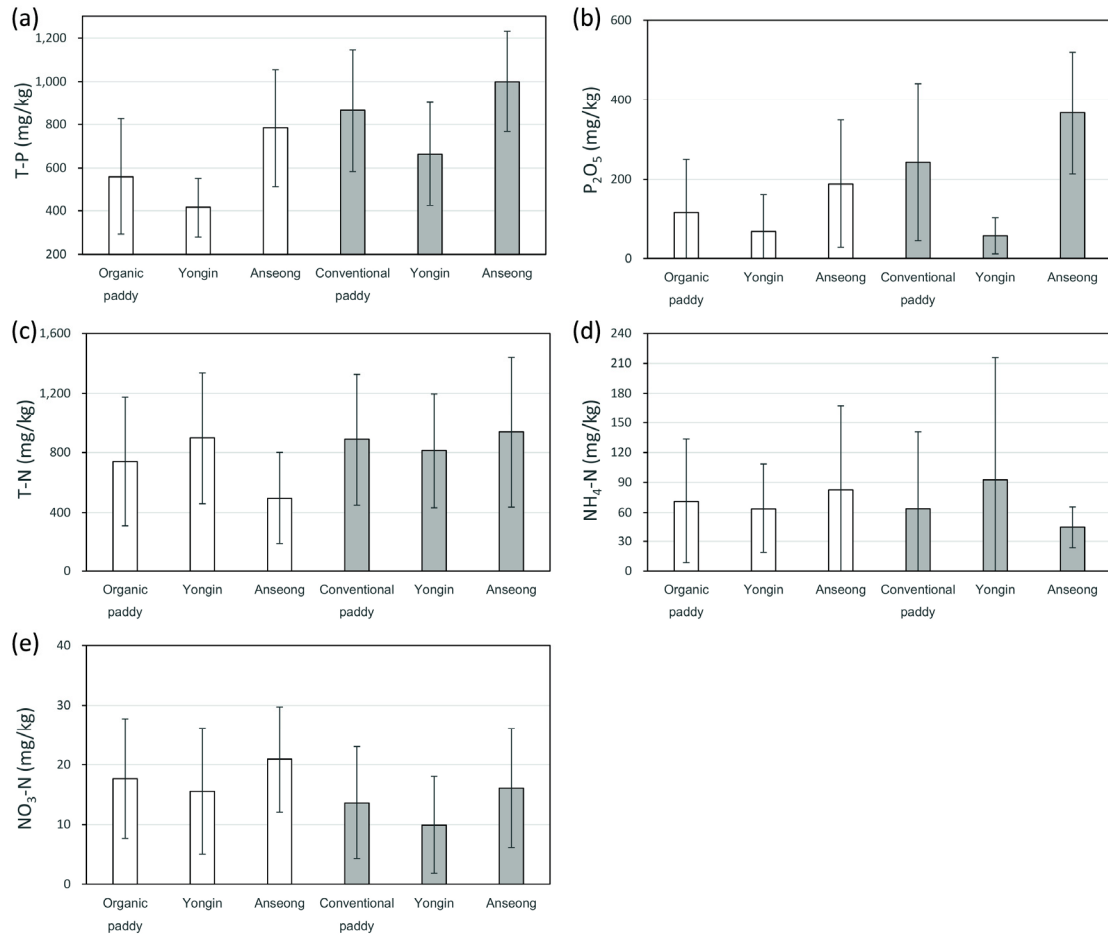


Fig. 5 The amount of (a) T-P, (b) P₂O₅, (c) T-N, (d) NH₄-N, and (e) NO₃-N in 15–30 cm depth soil of organic paddy and conventional paddy in Yongin and Anseong

내지 못하였다. 암모늄태 질소와 질산태 질소의 함량 차이를 보면 암모늄태 질소가 질산태 질소에 비하여 약 2배 높았으며, 이는 NH₄⁺ 이온은 토양에 흡착 보유되는 성질이 커서 토양에 단단하게 고정되기 때문에 토양에서 암모늄태 질소의 농도가 질산태 질소에 비하여 높은 농도를 나타내는 것으로 판단된다(Choi, 2003).

유기논 및 관행논의 심층 토양에서 총인, 유효인산, 총질소, 암모늄태 질소, 질산태 질소의 함량은 Fig. 5에 나타내었다. 표층과 같이 총질소, 암모늄태 질소, 질산태 질소의 유기논과 관행논 토양 내 함량의 차이에 대한 유의확률은 0.05 이상으로 나타나, 표층 및 심층 토양 모두에서 유기논과 관행논의 질소 함량에 대한 통계학적 차이가 없는 것으로 나타났다. 반면에 총인과 유효인산의 경우 표층과 같이 유기논과 관행논에서 통계학적 함량 차이가 존재하였다. 즉, 유기논의 심층 토양 총인의 함량은 559.9±267.2 mg/kg으로 관행논 864.9±280.7 mg/kg 보다 작았으며, 유의확률은 0.0050으로 유의수준 0.05

보다 작았다. 유기논과 관행논에서 심층 토양의 유효인산의 함량 차이도 유의확률 0.0430으로 유의수준 0.05 보다 작았다. 심층에서 총인과 유효인산의 함량은 표층 토양에서 보다 작게 나타났다. 총질소 및 질산태 질소의 함량에서 심층 보다 표층 토양에서 높게 나타났지만, 암모늄태 질소는 심층 토양에서 더 높게 나타났다.

3. 토양의 중금속

안성 및 용인 지역의 유기논 및 관행논 토양에서 중금속의 함량을 토양의 깊이별로 나누어 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다. 유기논에서 표층 토양의 As, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn의 함량은 각각 2.8±1.5, 0.08±0.06, 4.5±5.5, 2.5±1.7, 10.3±4.4, 26.0±10.5 mg/kg이고, 관행논에서는 각각 2.9±1.4, 0.09±0.05, 5.1±2.2, 2.8±1.2, 11.3±4.4, 33.4±11.3 mg/kg으로 나타났다. 관행논에서 각각의 중금속 함량은 유기논에서 보다 높게 나

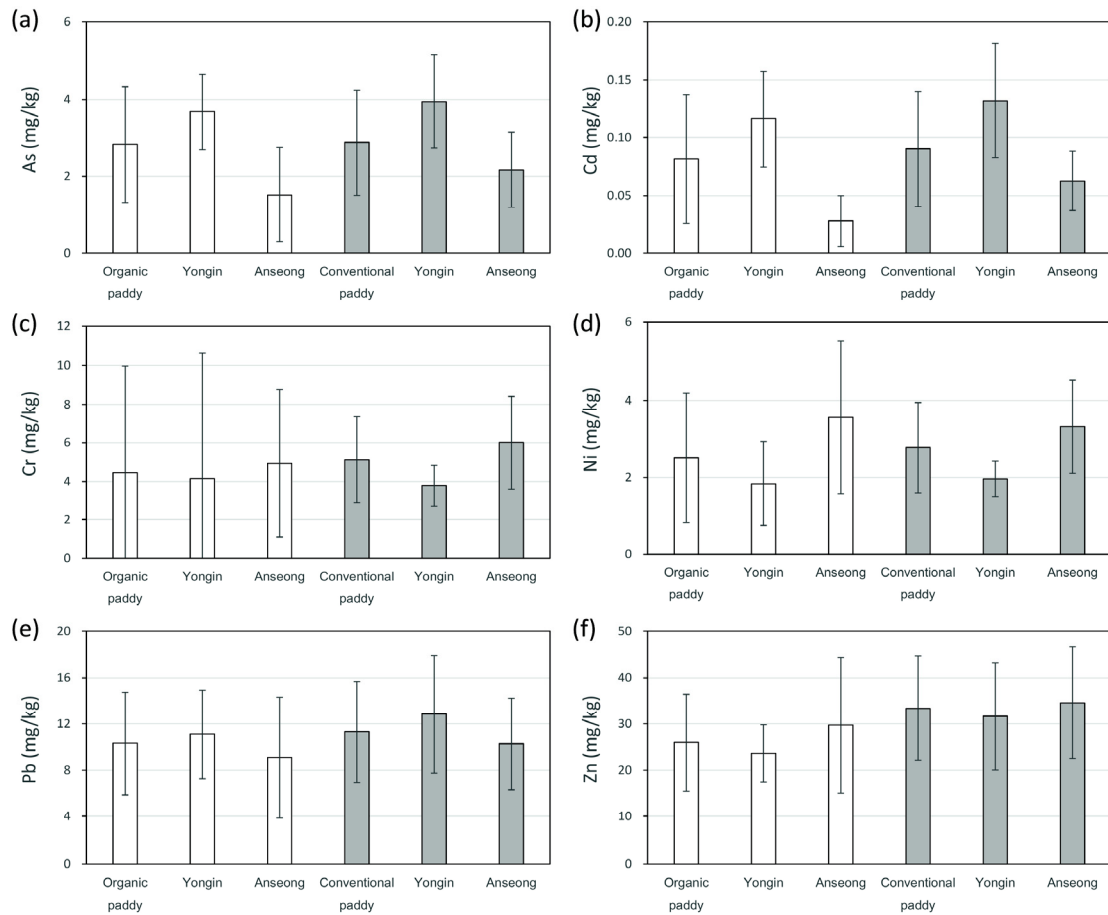


Fig. 6 Heavy metal concentrations in 0–15 cm depth soil of organic paddy and conventional paddy in Yongin and Anseong. (a) As, (b) Cd, (c) Cr, (d) Ni, (e) Pb, and (f) Zn

타났지만, Zn를 제외한 모든 중금속은 통계학적 유의확률이 모두 0.05 이상으로 유기논과 관행논에서 중금속 함량의 차이는 미미하였다. 유기논 심층 토양의 As, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn의 함량은 3.2 ± 1.8 , 0.09 ± 0.07 , 3.2 ± 2.4 , 2.4 ± 1.4 , 9.4 ± 3.4 , 20.9 ± 5.8 으로 관행논에서 심층 토양의 중금속 함량 3.0 ± 1.3 , 0.09 ± 0.04 , 4.2 ± 1.9 , 2.8 ± 1.2 , 9.4 ± 2.9 , 24.3 ± 6.1 보다 As를 제외하고 낮게 나타났다. 그러나 유기논과 관행논의 표층에서 중금속 함량 차이는 유의확률이 0.05 이상으로 차이가 미미하였다. 지역을 나누어서 유기논과 관행논의 농법에 따른 토양 내 중금속 함량의 차이를 비교 분석하였다. 그 결과 안성 지역의 유기논과 관행논에서 표층 토양 내 중금속 중 Cd 함량 차이에 대한 유의확률이 0.05 이하로 나타났고, 그 이외의 조건, 즉 용인 및 안성 지역에서 표층 및 심층 토양 내 As, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn에 대한 유기논과 관행논 간의 함량 차이는 유의확률이 0.05 이상으로 나타나 통계학적 차이가 없었다. 반면 지역 내 편차는 상대적으로 높게 나타났다. 용인과 안성의 유기논과 관행논의 특성을 비교한 결과 유기논의 표층 토양에서 용인

과 안성의 As, Cd, Ni의 함량 차이에 대한 유의확률은 각각 0.0003, 0.0001, 0.0177으로 0.05이하이었고, 유기논과 관행논의 As, Cd, Cr, Ni 함량 차이에 대한 유의확률은 각각 0.0266, 0.0294, 0.0423, 0.0214으로 0.05 이하이었다. 관행논 및 유기논의 심층 토양에서도 As, Cd, Ni의 지역간 차이에 대한 유의확률은 0.05이하로 나타났다.

유기논 및 관행논의 표층 및 심층 토양내 중금속 함량은 관행논의 표층 토양의 Cr을 제외하고 토양환경보전법 시행규칙 토양오염우려기준 이하로 존재하였다 (Table 2). 본 연구에서 조사된 유기논 및 관행논 토양에서 Cr을 제외한 As, Cd, Ni, Pb 및 Zn의 함량은 2013년 토양 측정망 운영 결과로부터 산출된 전국 답의 중금속 함량의 평균 보다 낮게 나타났다. 본 연구에서는 Cr은 ICP 분석을 통해서 Cr 전함량을 분석하였으나, 토양환경보전법 토양오염 기준 및 토양 측정망 운영 결과 값은 가장 독성이 높은 Cr^{6+} 를 제시하고 있다. 특히, Cr^{6+} 는 쉽게 환원되는 특성이 있으며, 토양 유기물 존재시 Cr^{6+} 는 Cr^{3+} 로 환원된다. 따라서 대부분의 토양에서는 상대적으로

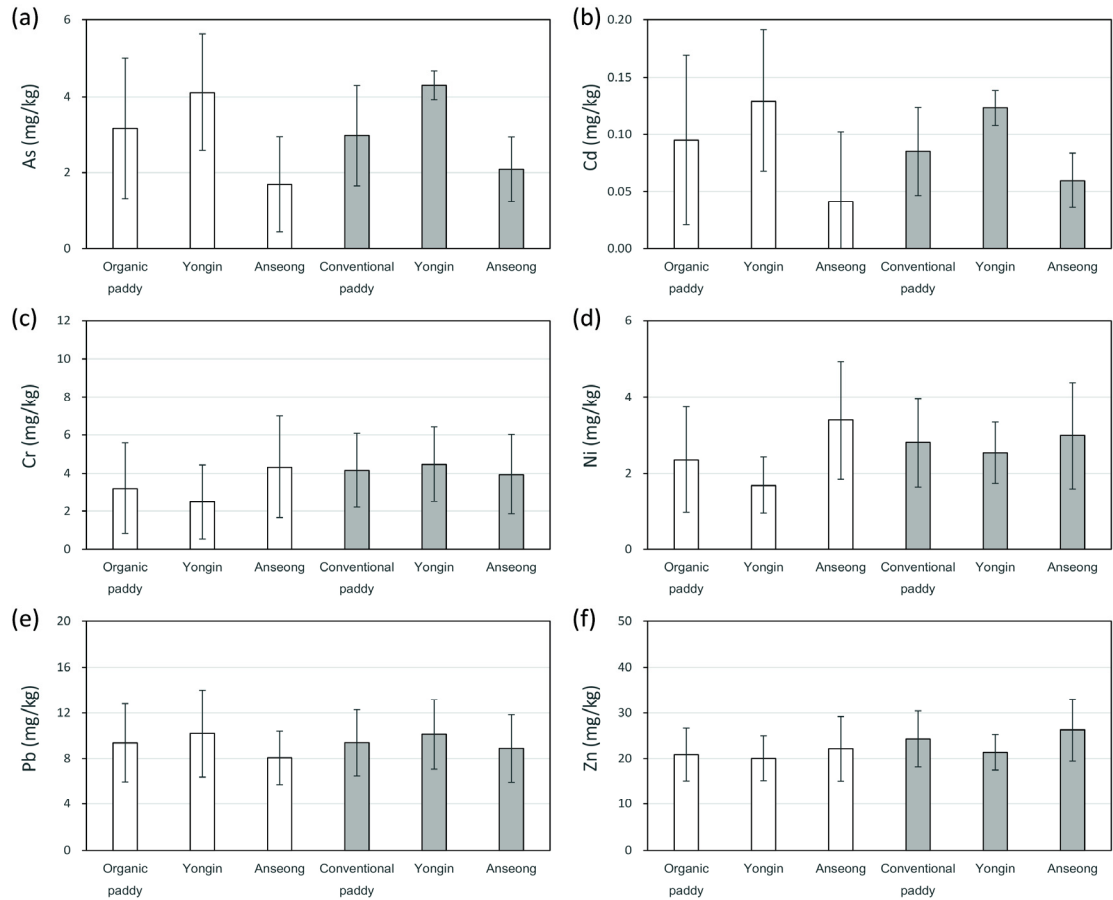


Fig. 7 Heavy metal concentrations in 15–30 cm depth soil of organic paddy and conventional paddy in Yongin and Anseong. (a) As, (b) Cd, (c) Cr, (d) Ni, (e) Pb, and (f) Zn

Table 2 Average contents of heavy metals in paddy soil collected from organic paddy and conventional paddy (unit: mg/kg)

		As	Cd	Cr	Ni	Pb	Zn
Criteria level ¹⁾		25	4	5 ²⁾	100	200	300
National average in paddy soil ³⁾		5,461	0,111	0,181 ²⁾	14,049	20,287	69,894
Organic paddy soil	0~15 cm	2,83±1,50	0,08±0,06	4,46±5,51	2,51±1,69	10,32±4,43	25,99±10,48
	15~30 cm	3,16±1,84	0,09±0,07	3,21±2,38	2,35±1,38	9,37±3,42	20,87±5,77
Conventional paddy soil	0~15 cm	2,75±1,36	0,08±0,05	5,18±2,11	2,82±1,12	11,11±4,19	33,12±10,77
	15~30 cm	2,81±1,37	0,08±0,04	4,15±1,84	2,77±1,10	9,31±2,76	24,26±5,79

1) Korean waning standards and element concentration of soil A (mg/kg) obtained from Enforcement regulations of the soil environment conservation act, article 1–5

2) Hexavalent chrome, Cr(VI) concentration

3) Results of Korean Soil Quality Monitoring Network (2013) obtained from Korea Statistical Information Service (<http://kosis.kr>)

불용성이고 이동성이 작은 Cr^{3+} 이 주를 이루며, 불용성 수산화물 및 산화물로 존재한다(McGrath, 1995). 본 연구에서 측정된 Cr은 전함량으로 토양오염우려기준과 직접 비교할 수 없지만, 기존 문헌 결과를 토대로 Cr^{6+} 는 미량 존재하며 토양오염우려기준 이하로 존재할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

유기농 및 관행논의 토양 환경 특성 비교를 위하여 기비전 안성 및 용인 지역의 유기농 23개 필지, 관행논 10개 필지에 대한 토양 시료 채취 및 분석을 수행하였다. 유기농 토양

($0.981 \pm 0.080 \text{ g/cm}^3$)의 건조밀도는 관행논 토양($0.910 \pm 0.075 \text{ g/cm}^3$)에 비하여 높았다. 유기논 (5.30 ± 0.31) 및 관행논 (5.40 ± 0.49) 토양의 pH는 논토양의 적정 pH 보다 낮게 나타났다. 농법에 따른 토양 pH의 통계적 차이는 없었다 ($p = 0.2749$). 유기논에 비하여 관행논 토양에서 높은 전기전도도와 유기물 함량을 나타내었다. 이는 본 연구에서 조사된 관행논에서 축산 분뇨를 퇴비로 과량 사용되었기 때문으로 판단된다. 유기논($872.4 \pm 286.3 \text{ mgT-P/kg}$; $211.1 \pm 135.3 \text{ mgP}_2\text{O}_5/\text{kg}$)에 비하여 관행논 ($1075.3 \pm 318.6 \text{ mgT-P/kg}$; $358.8 \pm 246.7 \text{ mgP}_2\text{O}_5/\text{kg}$)에서 총인 및 유효인산의 함량이 높게 나타났으나, 유기농과 관행농 농법에 의한 유효인산의 함량 차이보다는 지역적 차이에 의한 편차가 더 컸다. 토양 내 총질소 함량은 유기논 ($1315.9 \pm 484.3 \text{ mg/kg}$) 보다 관행논 ($1643.0 \pm 562.4 \text{ mg/kg}$)에서 높게 나타났지만 통계학적 차이는 없었다 ($p = 0.0652$). 조사된 유기논 및 관행논 토양의 As, Cd, Ni, Pb 및 Zn의 함량은 토양오염우려기준 이하로 존재하였고, 토양측정망 운영결과로부터 산출된 전국 답의 중금속 함량 평균 보다 낮았다. 유기논 토양의 중금속 함량은 관행논에 비하여 낮았지만, Zn를 제외하고 통계학적 차이는 없었다. 장기적인 추가 모니터링이 필요하지만, 본 연구 결과는 논에서 유기농법의 환경 영향 평가를 위한 기초 자료로 활용될 것으로 판단된다.

사 사

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

REFERENCES

1. Arnhold, S., S. Lindner, B. Lee, E. Martin, J. Kettering, T. T. Nguyen, T. Koellner, Y. S. Ok, and B. Huwe, 2014. Conventional and organic farming: Soil erosion and conservation potential for row crop cultivation. *Geoderma*, 219: 89-105.
2. 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.
3. 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).
4. Choi, T. B., 2003. A study on the transport of N and P in soils for the management of nonpoint source in agricultural areas. Master Thesis. Graduate School of Kwangwoon University (in Korean).
5. 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).
6. Hong, S. G., S. B. Lee, K. L. Park, M. H. Lee, H. S. Nam, J. H. Kim, J. C. Yun, and D. S. Park, 2014. Research trends in organic farming technology by journal article analysis. *Korean Journal of Organic Agriculture*, 22(4): 549-559 (in Korean).
7. Hong, S. G., J. H. Kim, Y. K. Kim, J. H. Shin, J. C. Yun, and D. S. Park, 2014. Trends in organic farming technology by patent analysis. *Korean Journal of Organic Agriculture*, 22(3): 369-379 (in Korean).
8. 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).
9. Kim, M. S., W. I. Kim, J. S. Lee, G. J. Lee, G. L. Jo, M. S. Ahn, S. C. Choi, H. J. Kim, Y. S. Kim, M. T. Choi, Y. H. Moon, B. K. Ahn, H. W. Kim, Y. J. Seo, Y. H. Lee, J. J. Hwang, Y. H. Kim, and S. K. Ha, 2010. Long-term monitoring study of soil chemical contents and quality in paddy fields. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 43(6): 930-936 (in Korean).
10. Kim, H. N., 2012. Evaluating soil quality in farmland of organic farming system. Kangwon National University. Master Thesis (in Korean).
11. 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).
12. Korea Rural Economic Institute, 2005. A study for analyzing environmentally-friendly rice's production, distribution, consumption and promoting its competitiveness. Korean Ministry of Agriculture and Forestry. Korea (in Korean).
13. Lee, K. B., D. B. Lee, J. G. Kang, and J. D. Kim, 1999. Seasonal variation in water quality of mankyeong river and groundwater at controlled horticulture region. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 32(3): 223-231 (in Korean).
14. Lee, K. S., K. S. Yoon, H. J. Kim and H. I. Kim, 2003. A program of water quality management for agricultural reservoirs by trophic state. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 22(2): 166-171 (in Korean).
15. Lee, Y. H., S. G. Lee, S. H. Kim, J. H. Shin, D. H. Choi, Y. J. Lee, and H. M. Kim, 2006. Investigation of the utilization of organic materials and the chemical properties of soil in the organic farms in Korea. *Korean Journal of Organic Agriculture*, 14(1): 55-67 (in Korean).

16. Lee, Y. H., S. T. Lee, J. Y. Heo, M. G. Kim, K. P. Hong, W. D. Song, C. W. Rho, J. H. Lee, W. T. Jeon, B. G. Ko, K. A. Roh, and S. K. Ha, 2010. Monitoring of chemical properties from paddy soil in gyeongnam province. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 43(2): 140-146 (in Korean).
17. 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. *2015 Conference of Korean Society of Agricultural Engineers*.
18. Mazzoncini, M., S. Canali, M. Giovannetti, M. Castagnoli, F. Tittarelli, D. Antichi, R. Nannelli, C. Cristani, and P. Bàrberi, 2010. Comparison of organic and conventional stockless arable systems: A multidisciplinary approach to soil quality evaluation. *Applied Soil Ecology*, 44(2): 124-132.
19. McGrath, 1995. *Chapter 7. Chromium and nickel*. In: *Heavy metals in soils, Second Edition*. B. J. Alloway (Eds.). Blackie Academic and Professional, UK.
20. National Academy of Agricultural Science, 2010. *Method of soil chemical analysis*. Rural Development Administration. Korea (in Korean).
21. Parfitt, R. L., G. W. Yeates, D. J. Ross, A. D. Mackay, and P. J. Budding, 2005. Relationships between soil biota, nitrogen and phosphorus availability, and pasture growth under organic and conventional management. *Applied Soil Ecology*, 28(1): 1-13.
22. Sacco, D., B. Moretti, S. Monaco, and C. Grignani, 2015. Six-year transition from conventional to organic farming: effects on crop production and soil quality. *European Journal of Agronomy*, 69: 10-20.
23. Sohn, S. M., Y. H. Kim, and Y. H. Park, 1999. Site- and crop-specific fertilization recommendation by soil nitrate testing for organic farming. *Daesan Journal* 7: 43-56 (in Korean).
24. Sohn, S. M., 2007. *Organic farming*. Hyangmoon Publishing Co., Seoul, Korea.
25. Tang, J. L., B. Zhang, C. Gao, and H. Zepp, 2008. Hydrological pathway and source area of nutrient losses identified by a multi-scale monitoring in an agricultural catchment. *Catena*, 72(3): 374-385.