

토양 및 수질 특성 비교를 통한 유기논과 관행논의 환경 특성 분석 Assessment on Environmental Characteristics of Organic Paddy and Conventional Paddy by Comparing Their Soil Properties and Water Quality

이태구 · 구본운 · 박성직[†]
Tae-Gu Lee · Bon-Wun Gu · Seong-Jik Park[†]

한경대학교 지역자원시스템공학과
Department of Bioresources & Rural Systems Engineering, Hankyong National University

(Received July 21, 2016; Revised August 29, 2016; Accepted September 2, 2016)

Abstract : In this study, we investigated the environmental impact of organic and conventional paddy by monitoring soil properties and water quality. We sampled and analyzed topsoil (0~15 cm), subsoil (15~30 cm), and water of organic and conventional paddy fields in Yongin and Anseong, South Korea. The statistical significance between groups was determined by Duncan's multiple range test. The results show that T-P concentrations in both topsoil and subsoil of Anseong paddy were higher than those of Yongin paddy. The significant difference of T-P between organic and conventional paddy was observed in Anseong but not in Yongin. T-N of organic paddy soil was lower than that of conventional paddy in both Anseong and Yongin region. Water content for subsoil of organic paddy in Anseong was significantly different from others, which is consistent with the results of silt-clay content. pH and EC of water in conventional paddy were higher than those in organic paddy. In Anseong, COD, T-P, and PO₄-P concentration of conventional paddy were higher than those of organic paddy. The regression analysis presented that there were no significant relationship between soil properties and water quality data except T-N.

Key Words : Organic Farming, Conventional Paddy, Organic Paddy, Soil Property, Water Quality, Statistical Analysis

요약 : 본 연구에서는 토양 및 수질 특성 모니터링을 통한 유기논과 관행논의 환경 영향을 조사하였다. 용인과 안성 지역의 유기논과 관행논에서 표층(0~15 cm) 및 심층(15~30 cm) 토양과 수질 시료를 채취 및 분석하였다. 집단 간의 유의성의 차이는 던컨의 다중검정으로 판별하였다. 실험 결과 T-P 농도는 표층 및 심층 토양 모두에서 안성 지역이 용인 지역보다 높게 나타났다. 안성 논토양에서 유기논과 관행논의 T-P 농도의 차이는 유의미한 차이를 보였지만, 용인에서는 나타나지 않았다. 용인과 안성 지역 모두에서 유기논 토양의 T-N 농도는 관행논 보다 낮게 나타났다. 안성 유기논의 심층 토양의 수분함량은 다른 논에 비하여 현저한 차이가 나타났으며, 이는 silt-clay 함량 결과와 일치한다. 관행논 물의 pH와 EC는 유기논에 비하여 높게 나타났다. 안성 지역에서 관행논의 COD, T-P, 그리고 PO₄-P가 유기논에 비하여 높게 나타났다. 회귀분석 결과 T-N을 제외하고 토양 특성과 수질 결과 간에 상관성이 없었다.

주제어 : 유기농업, 관행논, 유기논, 토양 특성, 수질, 통계 분석

1. 서론

우리나라는 화학비료와 농약을 사용하여 수확량을 극대화시키는 방향의 관행농법을 수행해왔다. 친환경농업은 1970년대 이후 화학비료와 농약으로 인해 직접 피해를 입은 생산자가 자발적으로 유기농업을 하게 되면서 시작되었지만 국가정책으로 친환경농업정책을 추진함에 따라 농민들의 친환경농업에 대한 관심이 증대되었다.¹⁾ ‘친환경농업육성법’ 제 1조에서는 농업의 환경보전 기능을 증대시키고 지속가능한 농업을 추구한다고 명시하고 유기농업은 토양의 물리화학성을 개선하고 환경 보전을 통한 지속적인 작물 재배가 가능한 방법이라고 정의하였다.²⁾ 삶의 질에 대한 관심이 높게 되면서 가족의 건강을 위해서 친환경농산물의 구입 비중이 증가되었다.³⁾ 이러한 국민들의 유기농산물에 대한 관심과 수요 증가에 따른 유기농산물 시장의 활성화는 국가의 유기농업 육성정책에도 영향을 주었다.⁴⁾

국외에서는 유기농이 토양, 수질, 생물학적 다양성 등 환경에 미치는 영향에 대해서 꾸준한 연구를 수행해 왔다.^{1,2)} Arnhold⁵⁾는 유기농의 경우 제초제를 사용하지 않기 때문에 잡초 성장에 의해서 관행논에 비하여 토양 유실량이 적다고 보고하였다. Anglade⁶⁾는 토양의 질소 수지를 분석한 결과 유기농 경작시 질소의 생산량 감소 없이 관행논에 비하여 12% 정도 질소가 적게 투입되므로 지하수 및 하천 수질에 긍정적이라고 보고하였다. 또한, 유기 비료가 토양의 화학적 특성을 향상시키고 미생물의 활성을 촉진시키는데 긍정적이라고 보고되고 있다.⁷⁻⁹⁾ 이러한 유기농법에 대한 긍정적인 측면에 대한 연구 결과가 있는 반면에, da Silva¹⁰⁾의 연구 결과에 따르면 브라질 남동부 지역의 유기농과 관행농업을 수행하는 지역의 토양과 수질을 비교한 결과 상호간의 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다는 연구 결과도 있다. 중국에서 논을 대상으로 연구를 수행한 결과 관행논에서 유기농 전환시 생산량 감소를 만회하기 위해서 질소를 과잉 시

[†] Corresponding author E-mail: parkseongjik@hknu.ac.kr Tel: 031-670-5131 Fax: 031-670-5139

비되고 이로 인한 환경에 악영향을 준다고 보고되었다.¹¹⁾ 그러나 시간이 지나면서 기술 및 경험이 축적됨에 따라 점차 환경 친화적이고 생산성이 증대되는 것으로 분석되었다.¹¹⁾

국내 유기농업에 대한 연구는 다른 국가 대비 전반적인 기술 개발 및 연구가 늦게 시작되었고, 유기 안전농산물 생산 및 경영기반 분야에 비하여 환경영향 평가 기술에 관한 연구가 거의 이루어지지 않고 있다고 간주되고 있다.^{4,12)} 국내 연구 결과에서도 유기농이 환경에 미치는 영향에 대해서 긍정적인 연구 결과와 부정적인 연구 결과가 서로 양립하고 있다. Lee¹³⁾은 시설재배지에서 화학 비료와 유기 비료 시용시 지하수 수질 변화를 비교 분석하였고, 유기 비료 처리 시험포의 지하수에서 BOD와 COD 농도가 더 높은 것으로 나타났다. You¹⁴⁾의 연구 결과에 따르면 유기 비료를 투입 시 강우 유출수의 BOD, COD, T-P의 농도가 화학비료 투입 시 보다 높게 나타났다. Joo¹⁵⁾은 유기농산물인증 지역과 무농약 농산물 인증 지역의 논토양에 대해서 중금속 함량, pH, 유기물, 유효인산, 유효규산의 농도와 농업용수의 수질을 비교한 결과 차이가 없는 것으로 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 유기 농업이 환경에 미치는 영향에 대한 지속적인 모니터링과 생산체계를 과학화하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 유기농 및 관행논의 수질 및 토양 특성 분석을 통해서 유기농업과 관행농업 수행에 따른 논에서의 토양 및 수질 환경 특성을 분석하고자 한다. 토양 특성 인자로는 건조밀도, 함수율, 입도, 토성과 같은 물리적 특성과 수소이온 농도(pH), 전기전도도(EC), 유기물함량(OM), 총질소(T-N), 암모늄태 질소(NH₃-N), 질산태 질소(NO₃-N), 총인(T-P), 유효인산(P₂O₅) 등 화학적 특성을 분석하였다. 수질 특성 인자로는 용존산소(DO), pH, EC, 부유물(SS), 생화학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD), T-N, NO₃-N, NH₃-N, NO₂-N, T-P, 인산염(PO₄-P) 농도를 분석하였다. 각 실험 결과치는 통계 분석을 통하여 그 차이의 유의성을 판단하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사 지역 및 시료 채취

본 연구에서는 용인과 안성지역에서 관행 농업과 유기 농업을 수행하는 논에서의 토양 및 수질 특성을 비교하기 위해서 관행논 11개 필지와 유기논 24개 필지를 조사하였다. 토양화학성과 수질 조사시기는 2016년 5월로 모내기 전 기비를 농지에 살포한 후이다. Fig. 1과 같이 관행논은 유기논의 환경 특성과 비교하기 위해 같은 유역 내에 있으며 유기논 인근에 위치한 관행논으로 용인 원삼면 4개 필지, 안성 보개면 7개 필지를 조사하였다. 유기논은 용인시 원삼면 14

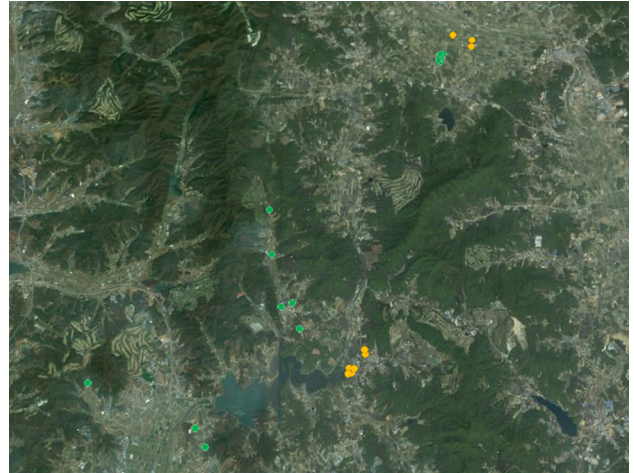


Fig. 1. The map of Google Earth for the distribution of soil samples from organic (green circle) and conventional (yellow circle) paddy in Yongin and Anseong.

개 필지, 안성시 고삼면 9개 필지, 안성시 대덕면 1개 필지를 조사하였고, 용인시 원삼면 14개 필지는 원삼 친환경유기쌀 작목회원의 농가에서 안성시 고삼면 9개 필지와 안성시 대덕면 1개 필지는 고삼친환경농업 작목회 농가에 의해서 경작되고 있다. 조사 대상지역인 용인과 안성의 유기논은 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 채취하였고, 수질시료 역시 관행논 11개 필지와 유기논 24개 필지에서 각각 필지별로 3지점에서 폴리에틸렌 용기에 채수하였다.

2.2. 토양 분석 방법

토양의 화학성 분석을 위해서 필지별로 3지점에서 채취한 토양 시료는 혼합하고, 풍건 후 2 mm 체를 통과된 것을 화학분석에 사용하였다. 토양 화학 특성 분석은 농업과학원에서 발간한 토양화학분석법¹⁶⁾을 따라서 수행하였다. 채취한 토양 시료는 105 °C 건조기에 넣고 24시간 건조시킨 후 무게 변화를 측정하여 함수율을 산정하였다. 토양의 입도 분석은 ASTM D422에 따라서 표준체 4번부터 200번까지 체분석을 실시하였고, 200번 체를 통과한 시료는 비중계 분석법을 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 측정하였다. 측정장비는 pH 및 EC meter (Sevenmulti S40, Mettler Toledo, Switzerland)를 이용하였다. 유기물함량은 작열 손실량법으로 450 °C에서 2시간 가열 후 측정하였다.

T-P은 과염소산(HClO₄) 분해법에 따라서 열분해 후 아스코르빈산 환원법으로 발색시킨 후 측정하였다. P₂O₅ 함량은 Lancaster 법에 따라서 측정하였다. T-N는 Kjeldahl법에 따라서 분해촉진제로 K₂SO₄와 CuSO₄ 비율 9 : 1로 첨가하

여 400°C에서 4시간 가열분해 후 비색법으로 측정하였다. NH₃-N는 토양 5 g을 2M KCl 용액 25 mL에 넣고 30분간 교반하여 치환 추출한 용액을 No. 2 여과지에 여과 후에 비색법으로 측정하였고, NO₃-N는 Brucine법에 따라서 2 M KCl 용액으로 추출하여 농도를 측정하였다.

2.3. 수질 분석 방법

수질의 화학성 분석은 농촌진흥청의 농업용수 수질분석 실무매뉴얼¹⁷⁾과 ‘수질환경 공정시험법’에 따라서 수행하였다. DO, pH와 EC는 각각 DO meter (HI 9146, Hanna, Romania)와 pH/EC meter를 이용하여 측정하였다. BOD는 시료채취 후 6시간 이내에 BOD병에 희석배수를 달리하며 희석하여 담고, 20°C 배양기에 넣은 후 15분 후 DO를 측정하고, 5일 후 같은 시각에 DO를 측정하여 DO 측정값의 차이로부터 산정하였다. COD는 중크롬산칼륨법으로 가열반응 후 측정하였다. SS는 채수한 시료를 GF/C 글라스 필터로 여과한 후 건조시킨 필터의 무게를 측정해서 여과 전과 여과 후의 무게차를 이용하여 시료 1 L에 포함되어지는 고형물의 양 (mg/L)을 측정하였다.

T-P는 과황산칼륨(K₂S₂O₈)으로 분해한 후 아스코르빈산 환원법으로 발색시킨 후 측정하였고, PO₄-P는 염화제일주석환원법으로 측정하였다. T-N는 알칼리성 과황산칼륨(NaOH 20 g + K₂S₂O₈ 15 g)을 넣고 열분해 후 자외선흡광광도법으로 측정하였고, NO₃-N 역시 자외선흡광광도법으로 측정하였다. NH₃-N는 페놀니트로프루시드나트륨 용액과 차아염소산 나트륨 용액으로 반응시킨 후 640 nm 파장에서 측정하였고, NO₂-N는 슬퍼닐아미드 용액과 α-나프틸에틸렌디아민이염산염 용액으로 반응시킨 후 540 nm에서 시료용액의 흡광도를 측정하였다.

2.4. 데이터 통계 분석

지역과 농법에 따른 토양 특성 및 수질 분석 결과는 평균 ± 표준오차로 표시하여 나타내고, SAS 9.4를 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 집단 간의 차이는 유의수준(α) 0.05에서 Duncan의 다중검정으로 사후 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 토양 특성 분석

용인과 안성지역의 관행논과 유기논의 silt-clay 함량을 Fig. 2에 나타내었다. 표층과 심층 토양에서 모두 용인지역에서는 농법 간에 유의성 있는 차이가 발견되지 않았으나, 안성지역에서는 농법 간의 유의성 있는 차이가 발견되었다. 표층에서 안성지역 유기논이 39.9 ± 2.0%으로, 안성지역 관행논(51 ± 2.3%)과 용인지역 관행논(58.4 ± 3.1%), 유기논(56.4 ± 1.8%) 보다 현저하게 낮게 나타났다.

용인, 안성지역의 유기논과 관행논의 표층(0~15 cm) 토양의 물리화학적 특성을 Table 1에 나타내었다. 함수율과 pH의 모

Table 1. Statistical results for physical and chemical properties of topsoil (0~15 cm)

	Water content (%)	pH	EC (μS/cm)	OM (%)	T-P (mg/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	T-N (mg/kg)	NH ₃ -N (mg/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	
YC	n: 4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	MIN	28.7	5.4	76.5	9.4	1470.6	12.4	716.0	0.8	2.6
	MAX	38.4	5.8	227.0	10.6	1768.4	20.1	1442.0	24.1	103.3
	AVE	34.3	5.6	149.3	10.2	1563.7	16.7	1179.0	8.9	42.4
	SE	2.00	0.1	31.4	0.2	60.0	1.7	147.7	4.5	19.5
YO	n: 14	14	14	14	14	14	14	14	14	
	MIN	23.9	5.1	85.0	7.8	1358.9	6.9	762.0	1.7	16.9
	MAX	46.6	6.4	176.8	15.3	2274.8	38.8	1368.0	22.5	186.9
	AVE	33.8	5.6	128.5	10.2	1699.8	19.4	986.4	7.9	94.3
	SE	1.5	0.1	6.9	0.6	69.6	2.5	38.7	1.9	14.5
AC	n: 7	7	7	7	7	7	7	7	7	
	MIN	25.3	5.6	68.0	7.4	1801.9	12.7	584.0	4.2	1.1
	MAX	42.0	7.2	1442.0	14.0	3678.3	57.2	1154.0	23.8	199.0
	AVE	34.7	6.3	320.2	9.7	2370.5	26.3	891.7	15.0	77.2
	SE	2.1	0.2	174.0	0.9	230.0	5.9	79.9	2.6	25.1
AO	n: 10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	MIN	23.1	3.5	93.9	5.9	2352.9	6.2	350.0	2.6	14.7
	MAX	42.4	6.9	233.0	14.6	3804.9	59.4	1006.0	101.1	220.4
	AVE	30.5	5.8	153.1	8.0	2872.3	31.6	673.4	19.8	104.0
	SE	1.9	0.3	15.6	0.8	144.4	5.5	49.8	9.0	25.1

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

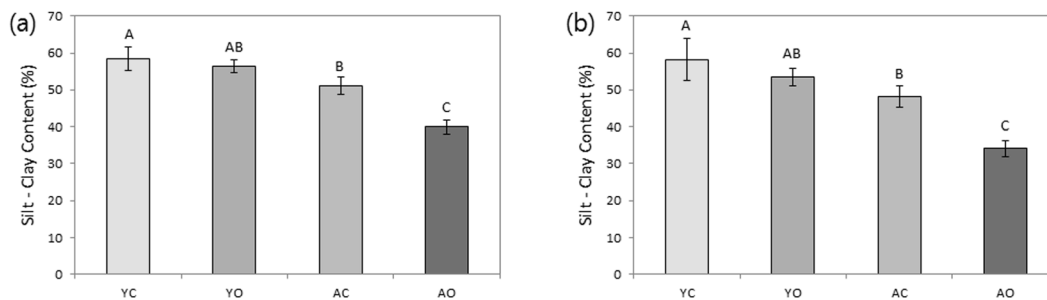


Fig. 2. Comparison of the silt-clay content (%) of (a) topsoil (0~15 cm) (b) subsoil (15~30 cm) in organic paddy and conventional paddy. YC: Yongin Conventional Paddy, YO: Yongin Organic Paddy, AC: Anseong Conventional Paddy, AO: Anseong Organic Paddy. The bar show the mean value and the error bars the 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).

두 집단 간의 유의성 있는 차이는 발견되지 않았다. 대상지역의 pH는 5.6 ± 0.1 에서 6.3 ± 0.2 으로 논토양의 적정기준치인 pH 5.5~6.5를 대부분 만족하는 것으로 나타났다. EC와 유기물함량은 유기논 토양에서 높게 나타난다¹⁸⁾는 연구 결과와는 달리 집단 간의 유의성 있는 차이는 발견되지 않았다.

용인, 안성지역의 관행논과 유기논의 표층 토양에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타난 T-P, P_2O_5 , T-N, NO_3-N 의 함량을 Fig. 3에 나타내었다. T-P은 용인지역에서 농법 간의 유의성 있는 차이가 발견되지 않았지만, 안성지역에서는 농법 간의 유의성 있는 차이가 발견되었다. 안성지역 유기논의 T-P 함량이 2872.3 ± 144.5 mg/kg으로 관행논(2370.5 ± 230.0 mg/kg) 보다 높게 나타났다. 용인지역의 T-P 함량은 관행논과 유기논이 각각 1563.7 ± 60.0 mg/kg, 1699.8 ± 69.6 mg/kg으로 안성지역 보다 낮게 나타났다. P_2O_5 의 경우 표층에서 지역 간의 유의성 있는 차이가 발견되었으며, 안성지역 유기논이 31.6 ± 5.5 mg/kg으로 용인지역 관행논(16.7 ± 1.7 mg/kg)과 유기논(19.4 ± 2.5 mg/kg) 보다 높게 나타났다. 하지만 안성과 용인 지역 모두 논토양의 유효인산 적정함량수준인 80~120 mg/kg에는 미치지 못해 해당시기의 유효인산에 대한 관리가 필요할 것으로 판단된다.^{19,20)} 안성지역 유기논에서 인함량이 높게 나타나는 것은 silt-clay함량이 낮아 배수가 좋은 토양에서 Al-P형태의 인산이 많아지며,²¹⁾ 이로 인해 토양교질과의 고정력이 커지기 때문으로 판단된다.²²⁾

T-N는 표층에서 지역과 농법 간에 유의성 있는 차이가 발견되었다. 안성지역은 관행논이 891.7 ± 79.9 mg/kg으로

유기논(673.4 ± 49.8 mg/kg)보다 높게 나타났다. 용인지역에서는 농법 간에 유의성이 있는 차이가 발견되지 않았지만, 관행논의 T-N 함량이 1179.0 ± 147.7 mg/kg으로 유기논의 T-N 함량 986.4 ± 38.7 mg/kg 보다 높게 나타났다. 안성지역의 유기논 및 관행논보다 높은 것으로 나타났다. 용인 지역 유기논 및 관행논과 안성 지역 관행논에 비하여 안성 유기논에서 T-N의 함량이 현저하게 낮게 나타났는데, 이는 silt-clay 함량의 경향과 유사하다. 질소는 토양교질에 흡착능력이 약하여 쉽게 유실되기 때문에 토성의 영향을 받는 것으로 판단된다.^{23,24)} NH_3-N 는 집단 간의 유의미한 차이가 발견되지 않았고, NO_3-N 의 경우 표층에서는 안성지역이 농법 간의 유의성이 발견되지 않았지만, 용인의 경우 유기논의 NO_3-N 의 함량이 94.3 ± 14.5 mg/kg으로 관행논(42.4 ± 19.5 mg/kg) 보다 2배가량 높게 나타났다.

심층 토양(15~30 cm)의 물리화학적 특성을 Table 2에 나타내었고, 통계적으로 유의미한 차이가 나타난 함수율과 유기물함량, T-P, T-N는 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에 나타낸 항목 이외의 다른 항목들은 유의성 있는 차이가 발견되지 않았다. 심층에서의 함수율은 용인지역 관행논, 유기논, 안성지역 관행논이 각각 $30.7 \pm 2.4\%$, $31.1 \pm 1.2\%$, $28.0 \pm 2.0\%$ 으로 집단 간의 유의성 있는 차이는 발견되지 않았다. 반면 안성지역 유기논은 다른 집단과 비교해 유의성 있는 차이가 있었으며, 함수율이 21.9 ± 1.9 %로 가장 낮은 것으로 나타났다. 이것은 안성 유기논의 silt-clay함량이 적기 때문에 토양의 수분 보유력이 다른 집단에 비해 낮은 것으로 판단된다. pH와 EC의 경우 유의성 있는 차이가 발견되지 않았지만, 유기물함량은 표층 토양과는 달리 집단 간의 유

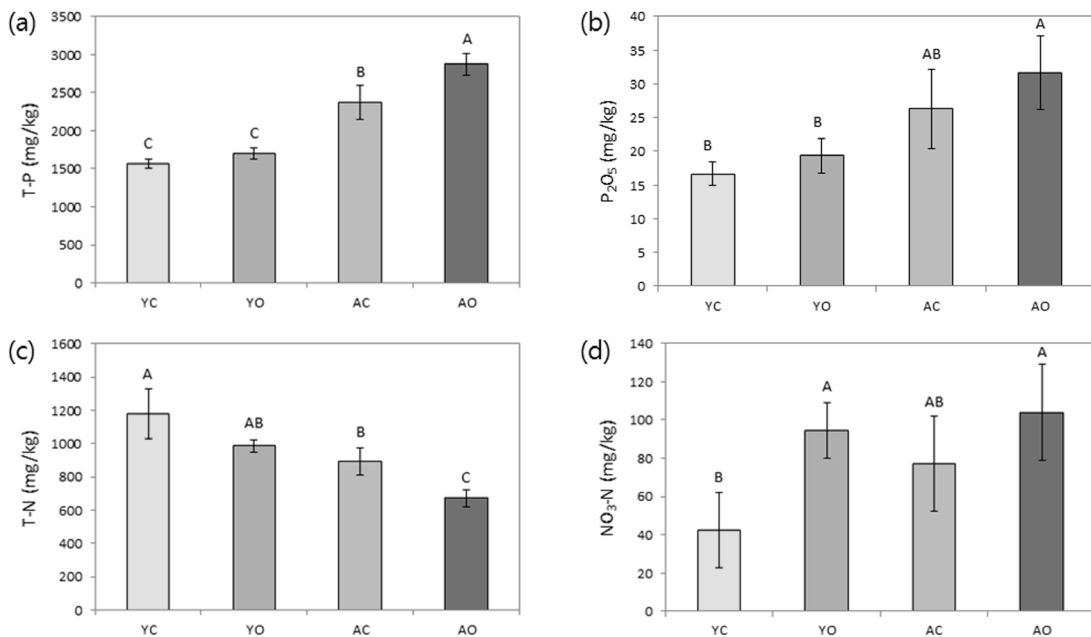


Fig. 3. Comparison of topsoil (0~15 cm) properties between organic paddy and conventional paddy in Yongin and Anseong. (a) T-P, (b) P_2O_5 , (c) T-N, and (d) NO_3-N . The bar show the mean value and the error bars the standard error of the associated water quality data. Different letters appear above the bars is significant difference according to Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

Table 2. Statistical results for physical and chemical properties of subsoil (15~30 cm)

	Water content (%)	pH	EC (μS/cm)	OM (%)	T-P (mg/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	T-N (mg/kg)	NH ₃ -N (mg/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)
n	4	4	4	4	4	4	4	4	4
MIN	24.7	5.3	129.2	8.2	1172.7	10.5	700.0	0.8	1.1
YC MAX	35.7	6.3	195.9	9.0	1608.3	21.0	978.0	5.4	101.9
AVE	30.7	5.8	158.5	8.6	1393.3	15.2	820.5	2.9	56.9
SE	2.4	0.2	12.0	0.1	77.7	1.9	53.5	0.9	22.2
n	14	14	14	14	14	14	14	14	14
MIN	19.5	5.3	65.5	6.4	1288.2	6.9	644.0	1.1	21.9
YO MAX	37.7	7.0	571.0	9.9	2155.6	112.7	1012.0	7.3	183.3
AVE	31.1	5.9	153.8	8.2	1500.1	28.4	797.0	3.4	91.7
SE	1.2	0.1	32.4	0.3	54.0	7.8	31.0	0.5	13.7
n	7	7	7	7	7	7	7	7	7
MIN	20.0	5.7	114.1	5.5	506.3	11.8	502.0	2.0	15.4
AC MAX	35.7	6.7	199.3	7.8	2710.3	34.0	1224.0	12.6	194.7
AVE	28.0	6.3	154.2	6.8	1807.8	25.0	835.1	5.7	94.2
SE	2.0	0.1	9.6	0.3	275.9	2.6	93.2	1.3	23.2
n	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MIN	12.6	5.7	57.5	3.8	1507.8	6.5	248.0	1.7	31.1
AO MAX	28.5	7.0	150.8	9.0	3406.6	79.3	1010.0	15.1	256.1
AVE	21.9	6.3	97.7	5.7	2436.3	35.1	523.2	6.2	106.4
SE	1.9	0.1	9.5	0.5	177.8	7.0	67.1	1.2	22.7

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

의성 있는 차이가 발견되었다. 용인지역 관행논과 유기논의 유기물함량은 각각 $8.6 \pm 0.1\%$, $8.2 \pm 0.3\%$ 로, 안성지역 관행논($6.8 \pm 0.3\%$), 유기논($5.7 \pm 0.5\%$)보다 높게 나타나 지역 간 차이를 보였다. 심층 토양의 T-P과 T-N는 표층 토양과 유사한 경향을 나타내었으며, T-P의 경우 안성지역이 용인지역 보다 뚜렷하게 높은 것으로 나타났다. T-N의 경우에는 안성지역 관행논이 $835.1 \pm 93.2 \text{ mg/kg}$ 으로 안성지역 유기논($523.2 \pm 67.1 \text{ mg/kg}$) 보다 높게 나타났다.

3.2. 수질 분석

용인과 안성지역의 유기논과 관행논의 기비후 수질 분석 결과를 Table 3에 나타내었고, 통계적으로 유의미한 차이가 나타나는 pH, EC, COD, T-N, T-P, PO₄-P 농도를 Fig. 5에 나타내었다. pH는 안성지역과 용인지역 모두 농법 간의 유의성 있는 차이가 발견되었다. 용인의 경우 관행논과 유기논의 pH는 각각 7.64 ± 0.17 , 6.90 ± 0.08 , 안성지역의 경우 관행논과 유기논의 pH는 각각 8.27 ± 0.15 , 7.06 ± 0.10 으로 두 지역 모두 관행논이 더 높게 나타났다. EC 역시 용인지역과 안성지역 모두 농법 간의 유의성 있는 차이가 발견되었다. 용인지역과 안성지역 모두 관행논이 각각 $237.45 \pm 40.64 \text{ μS/cm}$, $364.29 \pm 42.36 \text{ μS/cm}$ 으로, 용인($145.96 \pm 8.22 \text{ μS/cm}$), 안성($208.95 \pm 19.51 \text{ μS/cm}$) 각 지역의 유기논 보다 높게 나타났다. EC의 경우 용인과 안성지역 모두 농업 용수 수질기준치인 470 μS/cm 보다 낮게 나타났다.²⁵⁾ T-N 농도는 용인지역에서 농법에 의한 유의성 있는 차이가 나타났으며, 용인지역의 관행논이 $5.48 \pm 0.31 \text{ mg/L}$ 으로 용인

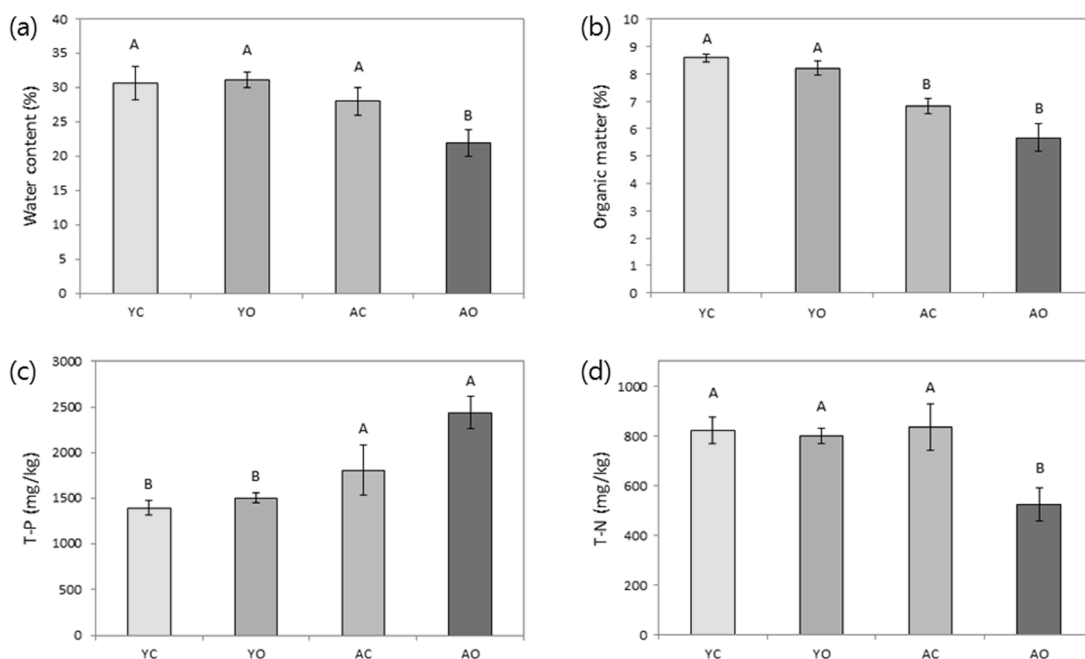


Fig. 4. Comparison of subsoil (15~30 cm) properties between organic paddy and conventional paddy in Yongin and Anseong. (a) water content (%), (b) organic matter, (c) T-P, and (d) T-N. The bar show the mean value and the error bars the standard error of the associated water quality data. Different letters appear above the bars is significant difference according to Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

Table 3. Mean values and standard deviation of water quality data of organic paddy and conventional paddy in Yongin and Anseong. For each attribute, data not followed by letter means that the difference is not significant, and different letters appear there is significant difference according to Duncan's multiple range test ($p < 0.05$)

	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)
YC	7.64 $\pm 0.17\text{B}$	237.45 $\pm 40.64\text{B}$	3.00 $\pm 1.30\text{A}$	5.84 $\pm 2.51\text{A}$	41.5 $\pm 11.56\text{AB}$	5.48 $\pm 0.31\text{A}$	0.46 $\pm 0.22\text{A}$	0.01 $\pm 0.0\text{A}$	1.08 $\pm 0.14\text{A}$	0.15 $\pm 0.01\text{B}$	0.14 $\pm 0.01\text{B}$
YO	6.90 $\pm 0.08\text{C}$	145.96 $\pm 8.22\text{C}$	14.72 $\pm 5.29\text{A}$	8.9 $\pm 0.79\text{A}$	52.14 $\pm 3.51\text{AB}$	3.94 $\pm 0.23\text{B}$	0.84 $\pm 0.17\text{A}$	0.02 $\pm 0.01\text{A}$	0.94 $\pm 0.38\text{A}$	0.24 $\pm 0.02\text{B}$	0.16 $\pm 0.01\text{B}$
AC	8.27 $\pm 0.15\text{A}$	364.29 $\pm 42.36\text{A}$	23.84 $\pm 10.11\text{A}$	9.7 $\pm 1.22\text{A}$	61.79 $\pm 7.0\text{A}$	1.84 $\pm 0.28\text{C}$	4.31 $\pm 2.61\text{A}$	0.01 $\pm 0.0\text{A}$	1.19 $\pm 0.16\text{A}$	0.68 $\pm 0.19\text{A}$	0.47 $\pm 0.16\text{A}$
AO	7.06 $\pm 0.10\text{C}$	208.95 $\pm 19.51\text{BC}$	15.45 $\pm 8.28\text{A}$	11.25 $\pm 1.09\text{A}$	30.09 $\pm 7.65\text{B}$	1.57 $\pm 0.21\text{C}$	0.21 $\pm 0.05\text{A}$	0.01 $\pm 0.0\text{A}$	0.88 $\pm 0.30\text{A}$	0.30 $\pm 0.04\text{B}$	0.21 $\pm 0.03\text{B}$
P-Value	<.0001	<.0001	0.5766	0.1021	0.012	<.0001	0.0653	0.7607	0.9318	0.0026	0.0121

YC: Yongin conventional paddy, YO: Yongin organic paddy, AC: Anseong conventional paddy, AO: Anseong organic paddy, the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

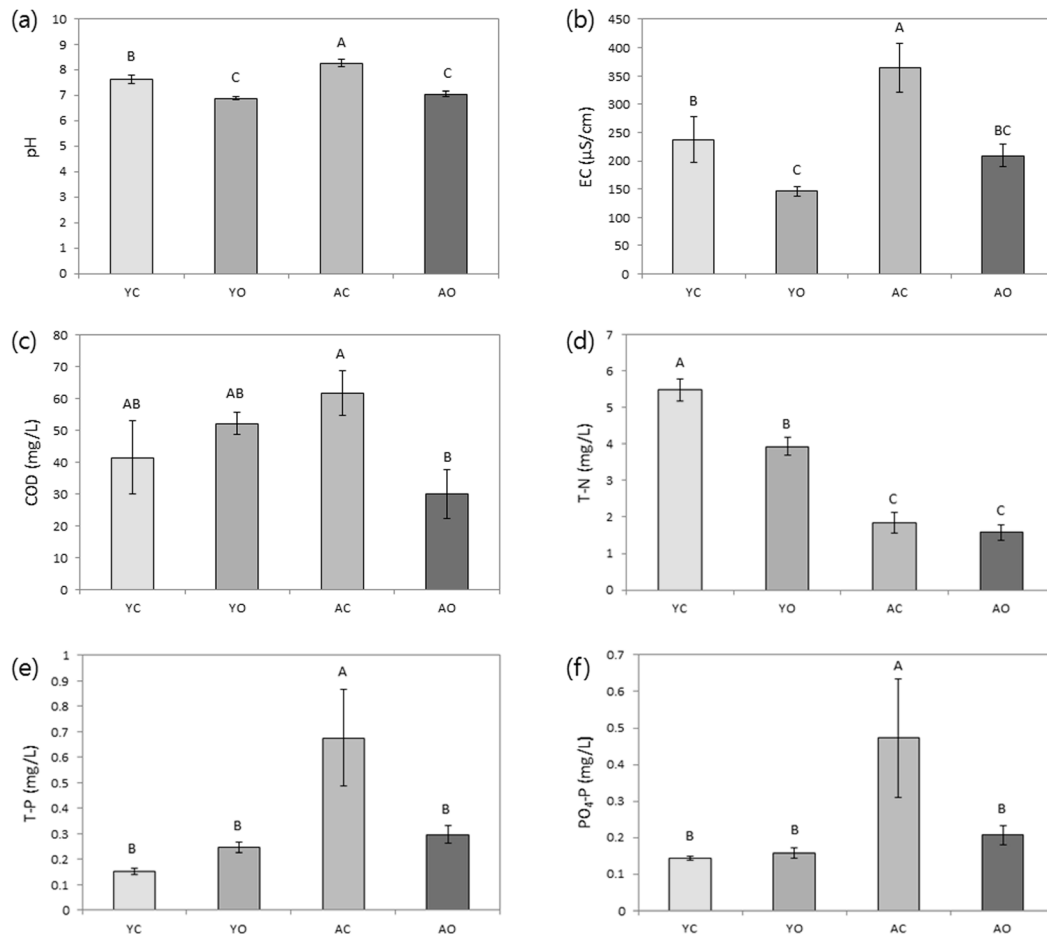


Fig. 5. Comparison of water quality data between organic paddy and conventional paddy in Yongin and Anseong. (a) pH, (b) EC, (c) COD, (d) T-N, (e) T-P and (f) PO₄-P. The bar show the mean value and the error bars the standard error of the associated water quality data. Different letters appear above the bars is significant difference according to Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

지역 유기논($3.94 \pm 0.23 \text{ mg/L}$) 보다 높게 나타났다. COD, T-P, 그리고 PO₄-P는 용인지역에서 유의성 있는 차이가 발견되지 않았지만, 안성지역은 농법 간의 유의성 있는 차이가 발견되었다. 안성지역 관행논의 COD 농도가 $61.79 \pm$

7.0 mg/L 으로 유기논($30.09 \pm 7.65 \text{ mg/L}$) 보다 약 2배 높게 나타났다. 이는 유기 비료 처리 시험포의 지하수에서 COD의 농도가 더 높은 것으로 나타났다고 한 연구 결과와는 상반된 결과이다.²⁶⁾ T-P은 안성지역의 관행논이 0.68 ± 0.19

mg/L로 안성 유기농(0.30 ± 0.04 mg/L)에 비해 약 2배 이상 높게 나타났다. 안성지역 관행논의 T-P 농도는 하천수 수질환경기준 6등급(0.5 mg/L 초과)보다 높아, 장마철 많은 양의 유출이 발생할 경우 주변 하천으로 유입되어 부영양화 원인이 될 우려가 있다. PO₄-P의 경우도 안성지역 관행논이 0.47 ± 0.16 mg/L으로 안성 유기농(0.21 ± 0.03 mg/L)에 비해 높게 나타났는데 이는 유기 농가의 논토양에서 인산이 과량 축적되어 있다는 선행연구결과와는 상반된다.²⁷⁾

3.3. 토양 및 수질 상관분석

기비후 표층토양 분석 결과값을 상관분석하여 Table 4에 나타내었다. pH와 유기물함량 간에는 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났고, T-P은 유기물함량과 T-N 사이에 각각 강한 음의상관관계가 있는 것으로 나타났다. T-P과 P₂O₅ 사이에는 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 다른 항목들 간에는 통계적으로 유의미한 상관성이 나타나지 않았다.

심층토양을 상관분석하여 Table 5에 나타내었다. 함수율과 pH 사이에는 음의 상관관계가 나타났다, 함수율과 유기물함량 및 T-N 사이에는 양의 상관관계가 나타났다. pH와 유

Table 4. Correlation matrix among the 9 physicochemical variables of topsoil (0~15 cm). Asterisks indicate significant difference

	pH	EC	OM	TN	NH ₃ -N	NO ₃ -N	T-P	P ₂ O ₅
WC	0,0889	-0,2482	0,2614	0,3167	0,3069	-0,0806	-0,3331	0,0246
pH		-0,0035	0,3995*	-0,0277	0,1774	0,0693	0,0053	0,0918
EC			-0,1321	0,2243	-0,0626	-0,0331	0,1722	0,2490
OM				0,1494	-0,2358	-0,0609	-0,4554**	0,0064
T-N					-0,0119	-0,1223	-0,5743**	-0,1781
NH ₃ -N						-0,1799	0,1920	0,2644
NO ₃ -N							0,0770	0,1278
T-P								0,3923*

* values are statistically significant at P<0,05
** values are statistically significant at P<0,01
*** values are statistically significant at P<0,0001

Table 5. Correlation matrix among the 9 physicochemical variables of subsoil (15~30 cm). Asterisks indicate significant difference

	pH	EC	OM	T-N	NH ₃ -N	NO ₃ -N	T-P	P ₂ O ₅
WC	-0,4999**	0,2373	0,7825***	0,4729**	-0,1465	0,0607	-0,2554	-0,0227
pH		-0,2302	-0,3931*	0,0088	0,1047	-0,1872	0,0656	0,3021
EC			0,1575	0,1367	-0,0978	-0,2712	-0,1883	-0,0836
OM				0,5296**	-0,212	0,04	-0,3135	-0,0094
T-N					-0,1677	0,0414	-0,1928	-0,1552
NH ₃ -N						0,3739*	0,4121*	-0,0281
NO ₃ -N							0,6314**	0,1682
T-P								0,2642

* values are statistically significant at P<0,05
** values are statistically significant at P<0,01
*** values are statistically significant at P<0,0001

기물함량 사이에는 표층과는 달리 음의 상관관계가 나타났다. 유기물함량과 T-N 사이에는 양의 상관관계가 나타났고, NH₃-N는 NO₃-N 및 T-P 사이에는 양의 상관관계가 나타났다. NO₃-N와 T-P 사이에도 양의 상관관계가 나타났다.

수질 분석항목 간의 상관분석한 결과를 Table 6에 나타내었다. pH와 EC는 다른 수질 인자에 비하여 다른 인자와의 상관성이 높은 것으로 나타났다. pH와 EC는 상관계수 0.6630으로 강한 양의 상관관계가 나타났으며, pH와 NH₃-N, T-P, PO₄-P 사이에도 각각 0.4527, 0.4421, 0.4358로 양의 상관관계가 나타났다. EC와 T-N 간에는 음의 상관관계가 나타났으나, EC와 NH₃-N 사이에는 양의 상관관계가 나타났다. EC와 T-P, EC와 PO₄-P은 각각 0.6774, 0.6249의 상관계수로 높은 상관성을 보였다. BOD와 NO₃-N는 음의 상관관계를 보였다. T-N와 PO₄-P 사이에는 음의 상관관계가 나타났고, NH₃-N와 T-P, NH₃-N와 PO₄-P은 각각 0.675, 0.7583으로 높은 상관계수를 보였다. NO₃-N와 NO₂-N, T-P과 PO₄-P은 상관계수가 각각 0.908과 0.9642으로 고도의 양의 상관관계를 보였다.

Vega²⁸⁾은 BOD와 COD 사이에 강한 상관관계가 있다고 보고하였으나, 본 연구에서는 상관관계가 약하고 통계적으

Table 6. Correlation matrix among the 11 water quality variables. Asterisks indicate significant difference

	EC	SS	BOD	COD	T-N	NH ₃ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	T-P	PO ₄ -P
pH	0,6630***	0,1108	0,0970	0,1807	-0,1947	0,4527**	0,0336	-0,0836	0,4421**	0,4358**
EC		-0,0766	0,1333	0,2168	-0,3587*	0,3018*	0,0580	-0,0883	0,6774***	0,6249***
SS			0,2430	0,0344	-0,1188	0,0374	-0,1132	-0,0414	0,1294	0,1280
BOD				0,0205	-0,2414	0,0060	-0,4865**	-0,4061	0,1847	0,1874
COD					0,1987	0,0869	0,0978	0,1275	0,2348	0,1990
T-N						-0,2226	-0,0371	0,0913	-0,3707	-0,3299*
NH ₃ -N							0,1537	0,0373	0,6750***	0,7583***
NO ₃ -N								0,9080***	0,0997	0,1569
NO ₂ -N									-0,0234	0,0113
T-P										0,9642***

*values are statistically significant at P<0,05, **values are statistically significant at P<0,01, ***values are statistically significant at P<0,0001

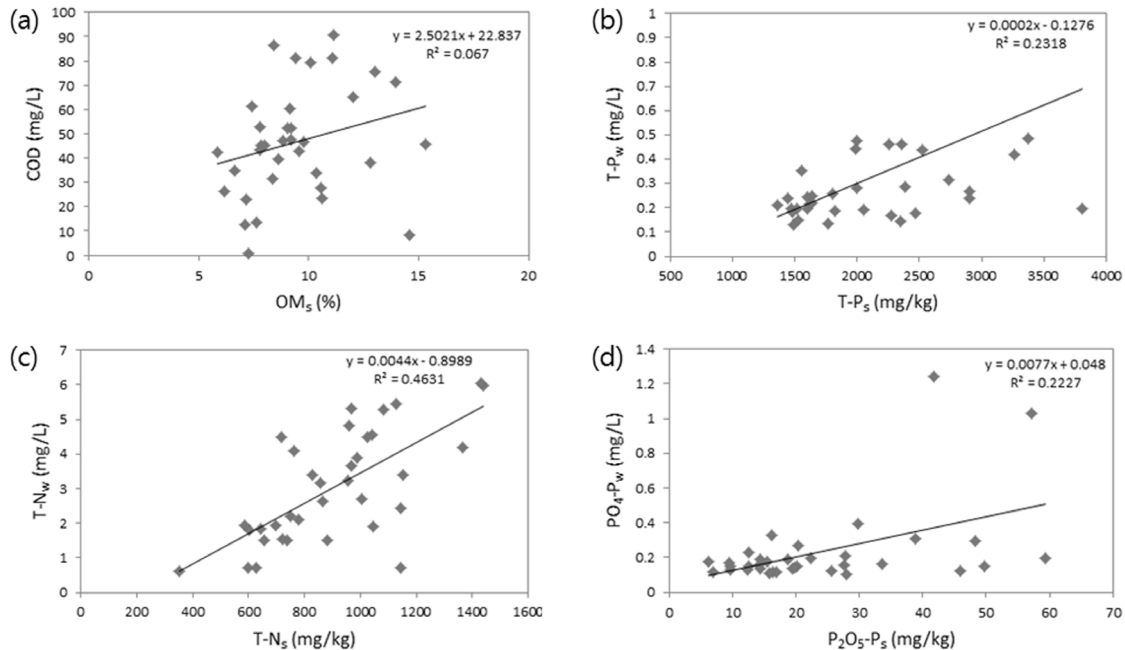


Fig. 6. Relationships between topsoil properties and water quality properties. (a) OM (%) and COD (mg/L), (b) T-P (mg/kg) and T-P (mg/L), (c) T-N (mg/kg) and T-N (mg/L), and (d) P₂O₅ (mg/kg) and PO₄-P (mg/L)

로도 유의성이 없는 것으로 나타났다.

표층 토양의 특성과 수질 사이의 관계를 알아보기 위하여 단순회귀분석하여 Fig. 6에 나타내었다. 토양 유기물 함량과 답수 COD는 결정계수가 0.06, 토양 T-P와 답수 T-P 간 결정계수는 0.2318, 토양 P₂O₅과 답수 PO₄-P은 결정계수 0.2227로 낮게 나타났다. T-N의 경우 표층 토양과 답수 사이의 결정계수(R²)가 0.4631로 비교적 높은 결정계수 값을 나타내었다.

4. 결론

유기농 및 관행논의 환경 특성 비교를 위하여 안성 및 용인 지역의 유기농 24개 필지, 관행논 11개 필지에 대한 토양 및 수질 시료를 채취 및 분석을 수행하였다. 토양의 입도 분석 결과 안성의 유기농 토양의 silt-clay 함량이 타 지역보다 낮게 나타났다. 토양 내 T-P 함량은 표층토양 및 심층토양 모두에서 안성지역이 용인지역보다 높게 나타났으며, 안성지역에서 유기농의 T-P 함량이 관행논 보다 유의미하게 높게 나타났다. T-N의 경우 용인지역에서 안성지역 보다 높게 나타났으며, 유기농 보다는 관행논에서 높게 나타났다. NO₃-N의 경우는 반대로 유기농 토양에서 관행논 보다 높게 나타났다. 토양 특성 분석 결과 유기농과 관행논의 농법 간의 차이보다는 지역 간의 차이가 더 큰 것으로 나타났다. 수질 분석 결과 pH 및 EC 값은 유기농 보다 관행논에서 높게 나타났다. 답수의 T-N 농도는 용인지역이 안성지역보다 높게 나타났으며, 용인지역의 관행논 물의 T-N 농도가 유기농 보다 높게 나타나 토양 분석 결과와 유사한 경향을

나타내었다. 안성 지역에서 관행논과 유기농 사이에 COD, T-P, 그리고 PO₄-P에 대한 유의미한 차이가 있었으며, 관행논이 유기농 보다 높게 나타났다. 보다 장기적이고 추가된 연구 결과가 필요하지만, 본 연구는 논에서 유기농법의 환경 영향 평가를 위한 기초 자료 및 친환경적 최적관리방안을 마련하는데 활용될 것으로 판단된다.

Acknowledgement

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

KSEE

References

1. Jeong, E. M., "The development and characteristics of the environment-friendly agricultural policy in Korea," *Korean J. Organic Agric.*, **14**(2), 117~137(2006).
2. Sohn, S. M., "Organic farming," Hyangmoon Publishing Co., Seoul, Korea(2007).
3. Kim, C. G., Jeong, H. K. and Moon, D. H., "Analysis of contribution of environment- friendly agricultural products to health promotion," *Korean J. Organic Agric.*, **20**(2), 125~142(2012).
4. Hong, S. G., Lee, S. B., Park, K. L., Lee, M. H., Nam, H. S., Kim, J. H., Yun, J. C. and Park, D. S., "Research trends in organic farming technology by journal article analysis,"

- Korean J. Organic Agric.*, **22**(4), 549~559(2014).
5. Arnhold, S., Lindner, S., Lee, B., Martin, E., Kettering, J., Nguyen, T. T., Koellner, T., Ok, Y. S. and Huwe, B., "Conventional and organic farming: Soil erosion and conservation potential for row crop cultivation," *Geoderma*, **219**, 89~105 (2014).
 6. Anglade, J., Billen, G., Garnier, J., Makridis, T., Puech, T. and Tittel, C., "Nitrogen soil surface balance of organic vs conventional cash crop farming in the Seine watershed," *Agric. Syst.*, **139**, 82~92(2015).
 7. Schjøning, P., Elmhot, S., Munkholm, L. J. and Deboz, K., "Soil quality aspects of humid sandy loams as influenced by organic and conventional long-term management," *Agric. Ecosyst. Environ.*, **88**, 195~214(2002).
 8. Marinari, S., Mancinelli, R., Campiglia, E. and Grego, S., "Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in central Italy," *Ecol. Indic.*, **6**(4), 701~711(2006).
 9. Fließbach, A., Oberholzer, H. R., Gunst, L. and Mäder, P., "Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming," *Agric. Ecosyst. Environ.*, **118**(1-4), 273~284(2007).
 10. Da Silva, A. M., Manfre, L. A., Urban, R. C., Silva, V. H. O., Manzatto, M. P. and Norton, L. D., "Organic farm does not improve neither soil, or water quality in rural water-sheds from southeastern Brazil," *Ecol. Indic.*, **48**, 132~146(2015).
 11. Marchand, S. and Huanxiu, G. U. O., "The environmental efficiency of non-certified organic farming in China: a case study of paddy rice production," *China Econ. Rev.*, **31**, 201~216(2014).
 12. Hong, S. G., Kim, J. H., Kim, Y. K., Shin, J. H., Yun, J. C. and Park, D. S., "Trends in organic farming technology by patent analysis," *Korean J. Organic Agric.*, **22**(3), 369~379 (2014).
 13. Lee, K. B., Lee, D. B., Kang, J. G. and Kim, J. D., "Seasonal variation in water quality of Mankyong river and groundwater at controlled horticulture region," *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **32**(3), 223~231(1999).
 14. Lyou, C. W., Shin, Y. C., Heo, S. G., Choi, Y. H., Lim, K. J. and Choi, J. D., "Comparison of pollutant load discharge characteristics with chemical fertilizer and organic compost applications," 2005 Conference of Korean Society Agricultural Engineers(2005).
 15. Joo, H. S., Cho, Y. S. and Chun, H. S., "An investigation on the environmental factors of certified organic and non-pesticide paddy soils cultivating rice at Goseong-gun," *J. Life Sci.*, **24**(4), 403~410(2014).
 16. National Academy of Agricultural Science, "Method of soil chemical analysis," Rural Development Administration, Korea (2010).
 17. National Academy of Agricultural Science, "Manual of water quality analysis for agricultural water," Rural Development Administration, Korea(2013).
 18. Sohn, S. M., Kim, Y. H. and Park, Y. H., "Site- and crop-specific fertilization recommendation by soil nitrate testing for organic farming," *Daesan J.*, **7**, 43~56(1999).
 19. Kim, M. S., Kim, W. I., Lee, J. S., Lee, G. J., Jo, G. L., Ahn, M. S., Choi, S. C., Kim, H. J., Kim, Y. S., Choi, M. T., Moon, Y. H., Ahn, B. K., Kim, H. W., Seo, Y. J., Lee, Y. H., Hwang, J. J., Kim, Y. H. and Ha, S. K., "Long-term monitoring study of soil chemical contents and quality in paddy fields," *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **43**(6), 930~936(2010).
 20. 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. and Ha, S. K., "Monitoring of chemical properties from paddy soil in gyeongnam province," *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **43**(2), 140~146(2010).
 21. Kim, M. S., Jang, Y. S., Moon, Y. H. and Yang, J. E., "Fractionation of accumulated phosphorus in agricultural soils by land-use pattern," 2011 Spring conference of Korean Society of Soil Science and Fertilizer, pp. 219~220(2011).
 22. Kang, H. J., Yang, S. H. and Lee, S. C., "Effects of liquid pig manure on growth of potato, soil chemical properties and infiltration water quality," *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **44**(6), 1130~1136(2011).
 23. Allison, F. E., "The fate of nitrogen applied to soil," *Adv. Agro.*, **18**, 219~258(1966).
 24. Yun, S. G. and Yoo, S. H., "Behavior of NO₃-N derived from pig manure in soil," *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **29**(4), 353~359(1996).
 25. Jeong, H. W., Kim, S. J., Kim, J. S., No, J. K., Park, G. W., Son, J. G., Yoon, G. S., Lee, K. H., Lee, N. H., Jeong, S. W., Choi, J. D. and Choi, J. Y., "Irrigation and drainage engineering. Paju: Dongmyongsa," Korea(2007).
 26. Lee, K. B., D. B. Lee, J. G. and Kim, J. D., "Seasonal variation in water quality of mankyong river and groundwater at controlled horticulture region," *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **32**(3), 223~231(1999).
 27. Kim, P. J., S. M. Lee, H. B., Yoon, Y. H. Park, J. Y. and Kim, S. C., "Characteristics of phosphorus accumulation in organic farming fields," *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **33**(4), 234~241(2000).
 28. Vega, M., Pardo R, Barrado, E. and Deba'n, L., "Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis," *Water Res.*, **32**(12), 3581~3592 (1998).