농법 및 시기 변화에 따른 논토양의 환경 특성 분석 Analysis of Environmental Properties of Paddy Soils with Regard to Seasonal Variation and Farming Methods

이태구* · 박성직*^{*,†} · 이용호***

Tae-Gu Lee* · Seong-Jik Park*^{*,†} · Yong Ho Lee***

*한경대학교 지역자원시스템공학과 · **한경대학교 농촌환경과학연구소

***고려대학교 오정에코리질리언스 연구소

*Department of Bioresources & Rural Systems Engineering, Hankyong National University

**Institute of Agricultural Environmental Science, Hankyong National University

***Ojeong Eco-Resilience Institute, Korea University

(Received February 25, 2017; Revised April 13, 2017; Accepted April 21, 2017)

Abstract : The aim of this study is to investigate the environmental properties of paddy soils depending on farming methods and seasonal variation. The paddy soils in 11 plots of conventional paddy and 24 plots of organic paddy were sampled and analyzed in four season of March, May, August, and October. The obtained data of soil properties were used for statistical analysis. Analysis of variance showed that only $\text{NH}_4\text{-N}$ and P_2O_5 were significantly different depending on farming methods. However, the differences of all soil properties depending on seasonal variation were strongly significant. Principal component analysis also presented that nitrogen and phosphorus concentration in soils were more significantly influenced by seasonal variation than farming method. Electric conductivity in soil was decreased from March to October. Amounts of soil organic matter in August and October were higher than that in March and May. T-N was decreased from March to October. $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ in the soil of both conventional and organic paddy were higher in May than other seasons. T-P concentration was found to be highest in August, but P_2O_5 concentration was lowest in August. It can be concluded that seasonal variation should be considered for analysis and comparison of soil environmental properties.

Key Words : Paddy Soil, Soil Chemical Properties, Farming Method, Seasonal Variation, Analysis of Variance, Principal Component Analysis

요약 : 본 연구에서는 농법 및 시기에 따른 논토양의 화학성을 비교 분석하였다. 이를 위하여 관행논 11개 필지와 유기논 24개 필지에 대하여 3월, 5월, 8월, 10월에 토양 시료 채취 및 분석을 수행하였고, 실험 분석 결과에 대해 통계 분석을 수행하였다. 분산분석 결과 농법에 의한 유의미한 차이가 나타난 항목은 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 P_2O_5 이었지만, 시기에 따른 차이는 모든 항목에서 높은 유의성 있는 차이를 보였다. 주성분 분석 결과 또한 토양내 질소 및 인의 농도는 농법에 의한 영향보다는 시료 채취시기에 따른 영향이 더 크게 나타났다. 토양의 전기전도도는 3월에서 10월로 감에 따라서 값이 증가하였다. 토양 유기물은 3월 및 5월에 비하여 8월과 10월에 높게 나타났다. T-N은 3월에서 10월로 지남에 따라서 감소하는 경향을 나타냈다. $\text{NH}_4\text{-N}$ 및 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 관행논 및 유기논 모두 5월에 가장 높게 나타났다. T-P 농도는 8월에 가장 높은 값을 나타낸 반면에, P_2O_5 의 경우에는 8월에 가장 낮은 값을 나타내었다. 본 연구 결과 논토양의 화학적 특성은 농법에 의한 차이보다는 시기에 의한 차이가 더 크게 나타났다. 따라서 토양 환경 특성에 대한 분석 및 비교시 시기에 대한 고려가 반드시 필요한 것으로 판단된다.

주제어 : 논토양, 토양 화학 특성, 농법, 시기, 분산 분석, 주성분 분석

1. 서론

논은 지하수 보전, 홍수조절, 침식방지 등 환경에 긍정적인 영향을 미쳐서 사회 공익적 기능을 제공하고 있다.^{1,2)} 그러나 화학비료의 과다 사용은 토양 뿐 아니라 주변 수역까지 오염시키고, 농약과 비료가 강우 시 빗물과 함께 유출되어 비점오염원으로 인식되고 있다.³⁾ 따라서 국내에서는 논 생산성뿐만 아니라 논 환경 조화와 고품질의 쌀을 생산하기 위한 보다 정밀한 관리가 요구되고 있다.⁴⁾

국내 토양에 대한 조사의 시작은 1964~1968년 실시한 토양 비옥도 사업이며, 이후 1970년대에 시행된 토양비옥도 조

기완료 5개년 사업과 1980년대 농토배양 10주년 사업을 통한 전국 논토양에 대한 비옥도 조사가 이루어졌다.⁵⁾ Jung 등⁶⁾은 우리나라 논토양 비옥도 변동을 파악하기 위하여 1990~1995년에 동일한 지점에서 표토(0~15 cm)를 3월부터 5월 사이에 채취하고 분석하여 보고하였다. Yoon 등⁷⁾은 전국 수준에서 논과 밭 토양의 질 평가를 시도하였다. Yang 등⁸⁾은 논토양에 투입되는 영농자재는 토양이 감내할 수 있고 벼의 생육에도 이상이 없도록 조절 및 제한이 필요하다고 하였다. Kim 등⁹⁾은 전국 논토양에 대한 pH, 유기물, 유효인산, 유효규산, 치환성 칼륨 등의 화학성분 함량에 대한 변화 특성을 파악하였다. Joo and Lee¹⁰⁾는 규산 처리 수준에 따른

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

토양환경 변화를 고찰하였다. Lopes 등⁽¹¹⁾은 유기농과 관행 농이 수행되는 논토양에서 미생물의 다양성을 비교하였다. Hong 등⁽¹²⁾은 논토양에서 축산 퇴비시용 및 경운의 유무가 토양 유기탄소 함량 변화 및 안정화에 미치는 영향을 관찰하였다. 국외에서 논토양에 대한 연구는 제한적으로 수행되었는데, 중국에서 논을 대상으로 연구를 수행한 결과 관행농에서 유기농 전환 시 생산량 감소를 만회하기 위해서 과잉 시비된 질소는 환경에 악영향을 주었지만, 점차 시간이 지남에 따라서 축적된 기술이 환경 친화적이고 생산의 효율성이 증가되는 것으로 분석되었다.⁽¹³⁾

논토양에 대한 연구는 생산을 위한 양분 중심의 관리를 넘어서 2000년대에는 중금속, 농약 등 환경 위해성 물질에 대한 연구가 시작되었다. Park 등⁽¹⁴⁾은 논토양에서 제초제의 잔류성과 분해 특성에 대한 실험을 수행하였다. Kim 등⁽¹⁵⁾은 2010개 논토양의 비소, 카드뮴, 구리, 니켈, 납 및 아연 중금속 함량 변화에 대한 모니터링을 수행하였다. Joo 등⁽¹⁶⁾은 유기논과 무농약 논의 중금속, 영양물질, 관개수질 등의 환경 특성을 비교하였다. Koh 등⁽¹⁷⁾은 중금속으로 오염된 논토양에서 석회석 안정화 처리 시 식물체로의 중금속 위해성 저감 효과를 검토하였다. Kim 등⁽¹⁸⁾은 폐금속광산 주변 논토양에 대한 중금속 오염 특성을 평가하기 위해서 중금속 오염지수, 부화계수 및 지화학적 농축계수를 조사하였다.

유기농업이 토양 환경에 미치는 영향에 대한 상반된 결과로 논란이 계속되고 있음에도 불구하고 관행농 및 유기농과 같은 농법에 따른 논토양 특성에 대한 연구는 제한적이다. 시기별 논토양 화학적 특성 변화에 대한 연구 역시 수행되지 않았으며, 대부분의 연구는 토양 시료 채취 시기에 대한 구분 없이 특정 인자에 대해서 비교 분석하였다. 이에 본 연구에서는 관행농법과 유기농법을 수행하는 논토양에서 시기에 따른 토양의 화학성을 분석하고 농법과 시기에 따른 환경적 영향 차이를 규명하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시료 채취 지역 및 시기

본 연구에서는 용인과 안성지역에서 관행 농업과 유기 농업을 수행하는 논에서의 시기별 토양 환경 특성을 비교하기 위해서 관행은 11개 필지와 유기는 24개 필지를 1년간 (2015년) 3월, 5월, 8월, 10월로 크게 네 시기로 나누어 조사하였다. Fig. 1과 같이 관행논은 유기논의 환경 특성과 비

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

교하기 위해 같은 유역 내에 있으며 유기논 인근에 위치한 관행논으로 용인 원삼면 4개 필지, 안성 보개면 7개 필지를 조사하였다. 유기논은 용인시 원삼면 14개 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 시료 채취는 표층(0~15 cm)을 대상으로 필지별로 3지점에서 채취하였다.

대상지역의 벼의 생육, 시비, 경운, 제초 시기는 Fig. 2와 같다. 3월 시료 채취는 기비 전, 5월 시료 채취는 기비 후, 8월 시료 채취는 추비 후, 10월은 벼 수확 후에 해당된다. 용인과 안성지역 유기논에서 기비와 추비로 시비되는 유기질 비료로 용인지역은 금강농산의 ‘토토그린’과 안성지역은 ‘하나로유박골드’를 각각 사용하고 있었다. ‘토토그린’과 ‘하나로유박골드’는 모두 질소 4%, 인산 2%, 칼리 1%의 성분함량을 갖는 유기질 비료였다. 관행논에서는 복합비료인 ‘슈

Fig. 2. Rice cropping system including rice growth, fertilization, tillage, and weedkilling. Con.: Conventional paddy, Org.: Organic paddy.

폐21'과 축산퇴비가 사용되고 있었다. 각 비료별 시비량은 '토토그린'의 경우 기비로 211.75 kg/10a, 추비로 30.25 kg/10a였고, '하나로유박골드'는 기비로 221.93 kg/10a, 추비로 88.77 kg/10a였다. 관행논에서 복합비료인 '슈퍼21'은 기비와 추비로 각각 26.0 kg/10a가 시비되고 있었다. 유기논 및 관행논에서 4월 초순에 경운을 실행하고 있었다.

2.2. 토양 분석 방법

토양의 화학성 분석을 위해서 필지별로 3지점에서 채취한 토양 시료를 혼합하고, 건조 후 2 mm 체를 통과된 것을 화학분석에 사용하였다. 토양 화학 분석은 국립농업과학원에서 발간한 토양화학분석법¹⁹⁾을 따라 수행하였다.

pH와 전기전도도(EC)는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 하고 pH는 교반 후 1시간 동안 정치한 후 측정하였고, EC는 30분 진탕 후에 No. 2여과지(Whatman, USA)에 여과시킨 시료를 pH 및 EC meter Sevenmulti S40, Mettler Toledo, Switzerland)를 이용하여 측정하였다. 유기물함량(OM)은 처리 전 무게와 450℃에서 1.5시간 동안 가열하고 데시케이터에서 30분간 식힌 후의 무게 차이를 이용하는 작열 손실량법으로 측정하였다.

총질소(T-N)는 Kjeldahl법에 따라서 전처리한 후, '탈분해 증류장치(BUCHI B-324)'를 사용하여 측정하였다. 암모늄태 질소(NH₄-N)는 토양 5g을 2M KCl 용액 25 mL에 넣고 30분간 교반하여 치환 추출한 용액을 No. 2 여과지로 여과한 후에 비색법으로 측정하였고, 질산성 질소(NO₃-N)는 Brucine법에 따라서 2M KCl 용액으로 추출하여 농도를 측정하였다. 총인(T-P)은 과염소산(HClO₄) 분해법에 따라서 열분해 후 아스코르빈산 환원법으로 발색시킨 후 파장 880 nm에서 측정하였다. 유효인산(P₂O₅) 함량은 Lancaster 법에 따라서 Lancaster 침출액으로 침출 후 No. 2 여과지로 여과한 시료 3 mL를 발색시킨 후 파장 720 nm에서 측정하였다.

2.3. 데이터 통계 분석

관행농법과 유기농법 간의 시기에 따른 토양 화학성의 변화를 분석하기 위하여 35개 지점에서 4시기에 걸쳐 획득된 총 118개 데이터에 대해 분산분석과 Duncan의 다중 범위 검정, 주성분분석을 수행하였다. 통계는 SAS 9.4의 Proc glm, Proc princomp를 사용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 분산분석

유기논 및 관행논에서 시기별 채취된 시료의 토양 분석 결과에 대해 분산분석을 수행한 결과를 Table 1에 나타내었다. pH, OM, NH₄-N, T-P, P₂O₅ 항목은 지역 간의 통계적 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 특히 T-P 및 P₂O₅는 지역 간의 차이가 매우 뚜렷하게 나타났다. 두 농법 간에 유의미한 차이가 나타난 항목은 NH₄-N과 P₂O₅로 나타났다. 반면에 시기에 따른 통계적 유의미한 차이는 모든 항목에 대해서 나타났으며, 또한 pH를 제외하고 모든 항목에 대해서 유의확률이 0.0001 미만으로 매우 높은 차이를 나타냈다. NH₄-N과 P₂O₅의 경우에는 농법과 시기 사이에 상호작용이 있는 것으로 나타났다(Table 1). 분산분석 결과 논토양의 환경 특성은 농법에 의한 차이보다는 시기에 따른 차이가 더 큰 것으로 나타났다.

3.2. 주성분 분석

용인과 안성지역의 관행논 11개 필지와 유기논 24개에 대해 시기별 분석 데이터 118개를 주성분 분석하여 고유값과 고유벡터를 Table 2에 나타내었다. 주성분 분석을 수행하는 목적은 토양 화학성의 여러 변수를 서로 상관성이 없는 적은 수의 변수로 나타내어 원래 변수가 가지는 대부분의 변동을 설명함에 있다.⁷⁾ 주성분 분석 결과 농법에 따른

Table 2. Eigenvalues and eigenvectors of soil properties obtained from the principal component analysis

	PC1	PC2	PC3
Eigenvalues	2.039	1.361	1.198
% Variance	25.49	17.02	14.98
pH	0.199	0.395	0.731
EC	0.547	0.118	-0.497
OM	0.541	0.081	0.132
T-N	-0.689	-0.048	0.366
NH ₄ -N	-0.122	0.731	-0.008
NO ₃ -N	-0.101	0.803	-0.254
T-P	0.651	-0.032	0.448
P ₂ O ₅	-0.697	0.041	0.016

Table 1. ANOVA for chemical properties with regard to farming methods and seasonal variation

Source	DF	Mean Square							
		pH (1:5)	EC (μS/cm)	OM (%)	T-N (mg/kg)	NH ₄ -N (mg/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	T-P (mg/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)
Block (Region)	1	1.01 ^{***}	3,457.44 ^{ns}	118.35 [*]	56,955.77 ^{ns}	4,035.62 [*]	1,321.21 ^{ns}	4,609,094.32 ^{***}	348,317.20 ^{***}
Farming (F)	1	0.47 ^{ns}	8,964.20 ^{ns}	71.62 ^{ns}	277,408.04 ^{ns}	13,980.43 ^{**}	225.98 ^{ns}	43,906.16 ^{ns}	71,343.43 [*]
Season (S)	3	0.80 ^{**}	148,244.20 ^{***}	156.12 ^{***}	5,696,525.25 ^{***}	11,366.24 ^{***}	3,2376.54 ^{***}	6,215,587.71 ^{***}	496,055.70 ^{***}
F × S	3	0.02 ^{ns}	1,865.87 ^{ns}	13.39 ^{ns}	237,588.12 ^{ns}	8,017.09 ^{***}	436.97 ^{ns}	66,115.19 ^{ns}	39,234.53 [*]
Error	110	0.15	13,317.29	18.78	158,282.52	990.95	525.80	70,280.52	10,990.27

^{*} ns values are statistically not significant

^{*} 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. 3. Principal component analysis of soil chemical properties. The variance explained by the each principal component (PC) axis is shown in parentheses. Color refers to the time of soil sampling (Red: March, Orange: May, Yellow: August, Green: October) YC: Yongin conventional paddy, YO: Yongin organic paddy, AC: Anseong conventional paddy, AO: Anseong organic paddy.

영양분은 시기에 따른 영향이 더 뚜렷함을 알 수 있다. 주성분 분석을 통하여 고유값이 1 이상이고 전체 자료의 57.5%를 설명할 수 있는 주성분 3개를 구하였다. 제 1주성분(PC1)은 EC (0.547), OM (0.541), T-N (-0.689), T-P (0.651), P_2O_5 (-0.697)과 관련이 있었고, 제 2주성분(PC2)은 NH_4 -N (0.731), NO_3 -N (0.803)와 관련이 있었다. 제 3주성분(PC3)은 pH (0.731)와 높은 관련이 있었다. PC1은 전체 자료의 25.5%, PC2는 17.0%, PC3은 15.0%를 나타내어 총 57.5%로 조사지역의 토양화학적 특성을 설명할 수 있었다.

영양염류(N, P)가 포함된 PC1과 PC2를 이용하여 나타낸 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 3월에는 T-N과 P_2O_5 함량은 많고 T-P와 NH_4 -N, NO_3 -N의 함량은 적었다. 5월에는 T-N과 P_2O_5 , NH_4 -N과 NO_3 -N의 함량이 많은 것으로 나타났다. 8월에는 T-N과 P_2O_5 , NH_4 -N과 NO_3 -N 함량이 적고 T-P 함량이 많은 것으로 나타났다. 10월에는 T-N과 P_2O_5 함량이 적고, T-P, NH_4 -N, NO_3 -N 함량은 많았다. 이와 같이 농토양의 화학적 특성은 시기에 따라 변화되는 것이 확인되었고, 이러한 변화는 비료의 투입, 식물 생장, 기온, 강우 등 여러 요인들에 기인한 것으로 판단된다. 시기에 따른 토양화학적 특성에 영향을 주는 여러 요인들에 대해서는 추후 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한 농토양의 화학적 특성 비교 분석 연구를 수행할 때에는 시기에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

3.3. 농법 및 시기에 따른 결과 분석

관행농과 유기농에서의 시기에 따른 토양의 화학적 특성별 평균과 표준오차를 Fig. 4에 나타내었으며, 각 집단간의 통계적 차이는 Duncan의 다중 범위 검정을 수행하여 막대 위에 문자로 나타내었다. pH의 경우 Lopes 등¹¹⁾은 4월에 조

사한 결과 관행농과 유기농 토양 간에 통계적으로 유의미한 차이가 있다고 보고하였으나, 본 연구에서는 각 시기별 관행농과 유기농 사이에 통계적으로 유의미한 차이가 발견되지 않았다. 조사지역내 관행농과 유기농 모두 모내기 이후인 5월과 8월에는 농토양 적정기준치를 만족하였으나, 모내기 전인 3월과 수확 후인 10월의 평균값이 농토양 적정기준치(pH 5.5~6.5) 미만을 나타내어 pH의 적정기준치를 만족하지 못하는 일부 농에 대한 관리가 필요할 것으로 보인다. EC는 10월이 가장 높은 수치를 보였으며, 농법에 따른 차이는 없는 것으로 나타났다. OM은 3월과 5월에 비해 8월과 10월에 관행농과 유기농 모두에서 더 높게 나타났다.

T-N는 관행농의 경우 3월에 가장 많은 함량을 보이고 이후 줄어드는 경향이 나타났으며, 유기농의 경우에는 관행농과 달리 5월에 가장 많은 함량이 나타났고 이후 관행농과 마찬가지로 줄어드는 경향을 보였다. Kim 등²⁰⁾은 T-N의 평균값이 관행농법의 농토양보다 유기농법의 농토양에서 높다고 보고하였으나, 본 연구에서는 5월을 제외한 다른 모든 시점에서 관행농법을 수행하는 농토양에서의 T-N 농도가 유기농보다 더 높은 것으로 나타났다. 한편 Lopes 등¹¹⁾은 각 시기별 관행농과 유기농 토양 간에 차이가 없다고 보고하였는데, 이는 본 연구 결과와 일치한다. NH_4 -N의 경우 Kim and Park²¹⁾은 계절적으로 겨울이 될수록 암모니아의 함량이 축적된다고 보고 하였으나 본 연구에서 유기농의 경우 시기별 함량 차이가 크게 나지는 않았고, 관행농에서 5월에만 높은 함량을 보였을 뿐 축적되는 경향을 보이지 않았다. NO_3 -N는 시기에 따른 함량 변화는 3월에 비해 5월에 증가하였다가 8월에 줄어들고 이후 10월에 다시 증가한 경향을 보였다. 이는 NO_3 -N의 함량이 3월보다 10월에서 더 높게 나타나 유기질 비료를 사용하는 토양에서 봄과 가을

Fig. 4. Comparison of chemical properties according to farming methods and seasonal variation. Different letters appear above the bars is significant difference according to Duncan's multiple range test ($p < 0.05$). (a) pH, (b) electric conductivity, (c) organic matter, (d) T-N, (e) $\text{NH}_4\text{-N}$, (f) $\text{NO}_3\text{-N}$, (g) T-P, (h) P_2O_5 .

중 가을에서 더 높은 수치를 보인다는 선행 연구 결과²²⁾와 일치한다.

T-P는 관행논 및 유기논 토양 모두에서 8월에 가장 높은 수치를 보였다. 7월~8월은 장마시기로 이때 강우로 인한 토양유실로 영양물질이 수계로 유입될 가능성이 높기 때문에²³⁾ 토양 내 T-P 농도가 높은 8월에 인 유출 방지에 대한 관리

가 필요하다. 인은 토양에 고정성이 잘 되지만 강우 유출에 의한 수계로 유출시 P_2O_5 기준으로 0.02~0.07 mg/L 이상의 인 농도는 수질오염을 일으킬 가능성이 높으므로,²⁴⁾ 토양 내 인산 축적 시 강우 유출에 의한 수계로의 유입 방지 노력이 필요하다. Kim and Park²¹⁾은 $\text{NH}_4\text{-N}$ 와 더불어 T-P 또한 가을인 10월에 높게 나타난다고 보고하였으나 본 연구에서

는 8월에 가장 높고 이후 10월에는 감소한 것으로 나타났다. 반면, P_2O_5 은 3월에 가장 높은 수치를 보였다. 8월을 제외하고 전 시기에서 관행논 토양의 P_2O_5 농도가 유기논 토양보다 높은 것으로 나타났다. 유기논의 P_2O_5 함량이 관행논에 비해 낮게 나타났는데, 이는 유기논이 관행논보다 유효인산 함량이 적정범위에 미달하는 비율이 높다고 보고한 선행 연구 결과²⁵⁾와도 일치한다. 하지만 3월과 5월의 관행논과 유기논의 P_2O_5 함량은 논토양 P_2O_5 적정범위인 80~120 mg/kg을 크게 상회하였고, 8월과 10월에는 대부분의 논이 적정범위에 미치지 못하는 것으로 나타났다. 토양 내 P_2O_5 농도 역시 농법 보다는 시기에 따른 차이가 더 크게 나타났다.

관행논과 유기논에서 pH, EC, OM 및 영양염류(N, P)의 연중 변화 양상은 유사하지만 토양 화학 특성은 시기별 차이가 뚜렷한 것을 확인할 수 있었다. 따라서 논토양의 화학성을 분석할 때에는 시기에 대한 고려가 반드시 필요하다.

4. 결론

본 연구는 관행농법과 유기농법을 수행하는 논에서 시기에 따른 표층토양(0~15 cm)의 물리화학적 변화를 비교하기 위해 용인 및 안성 지역의 관행논 11개 필지, 유기논 24개 필지에서 시료를 채취하였다. 시료 채취 시기는 시비시기를 기준으로 2015년 3월(기비 전), 5월(기비 후), 8월(추비 후), 10월(수확 후)로 나누어 수행하였으며, 도출된 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1) 분산분석을 수행한 결과 농법 간의 차이가 나타난 항목은 NH_4-N 와 P_2O_5 였고, 시기에 따른 차이는 모든 항목에서 발견되었다. 또한 농법과 시기 사이의 상호작용이 나타난 항목은 NH_4-N 와 P_2O_5 이었다. 농법 간의 차이가 나타난 항목이 시기와의 상호작용도 나타났다.

2) 주성분 분석 결과에서도 농법 간의 차이보다는 시기에 따른 차이가 더 크게 나타났다.

3) 농법 및 시기에 따른 통계 분석 결과 EC는 관행논과 유기논 모두 10월에 가장 높은 것으로 나타났다. OM은 추비가 시비된 후인 8월과 10월에 높게 나타났다. T-N의 경우 관행논은 3월에 가장 많고 10월로 갈수록 평균값이 줄어드는 경향을 보였으나, 유기논의 경우에는 5월에 가장 높은 수치를 기록하고 이후 관행논과 마찬가지로 줄어드는 경향을 보였다. NO_3-N 는 관행논과 유기논 모두 5월과 10월에서 3월과 8월에 비해 높은 함량을 보였다. T-P는 8월에 가장 높은 값을 나타낸 반면에, P_2O_5 의 경우에는 8월에 가장 낮은 농도를 나타내었다.

4) 유기논 및 관행논에서 토양의 화학적 특성을 분석한 결과 농법에 의한 차이보다는 시기에 따른 차이가 더 크게 나타났다. 따라서 향후 토양의 환경 특성에 대한 연구시 시기에 대한 고려가 반드시 필요하다.

Acknowledgement

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

KSEE

References

1. Pretty, J., "Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence," *Philos. Trans. Royal Soc. London B: Biol. Sci.*, **363**(1491), 447~465(2008).
2. Zhao, J., Luo, Q., Deng, H. and Yan, Y., "Opportunities and challenges of sustainable agricultural development in China," *Philos. Trans. R. Soc. B.*, **363**(1492), 893~904(2008).
3. Seo, D. C., Jang, B. I., Jo, I. S., Lim, S. C., Lee, H. J., Cho, J. S., Kim, H. C. and Cho, J. S., "Selection of optimum water plant in constructed wetland by natural purification method for municipal sewage treatment," *Korean J. Environ. Agric.*, **25**(1), 25~33(2006).
4. Kim, C. B., Lee, D. H. and Choi, J., "Effects of soil improvement on the dependence of rice nutrient contents and grain quality," *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **35**, 296~305(2002).
5. Rural Development Administration, "Soil improvement project for 10 years," Research Report, Rural Development Administration, Suwon, Korea, pp. 83~104(1989).
6. Jung, B. G., Jo, G. H., Yun, E. S., Yoon, J. H. and Kim, Y. H., "Monitoring on chemical properties of bench marked paddy soils in Korea," *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **31**(3), 246~252(1998).
7. Yoon, J. H., Gwak, H. G., Jeong, B. G. and Jeon, H. J., "Soil quality assessment method of paddy and upland," *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **37**(6), 357~364(2004).
8. Yang, C. H., Jeong, J. H., Kim, T. K., Kim, S., Baek, N. H., Choi, W. Y., Kim, Y. D., Jung, W. K. and Kim, S. J., "Effect of Long-Term Annual Dressing of Organic Matter on Physico-Chemical Properties and Nitrogen Uptake in the Paddy Soil of Fluvio-Marine Deposit," *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **43**(6), 981~986(2010).
9. 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).
10. Joo, J. H. and Lee, S. B., "Assessment of silicate fertilizers application affecting soil properties in paddy field," *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **44**(6), 1016~1022(2011).
11. Lopes, A. R., Faria, C., Prieto-Fernández, Á., Trasar-Cepeda, C., Manaia, C. M. and Nunes, O. C., "Comparative study of the microbial diversity of bulk paddy soil of two rice fields subjected to organic and conventional farming," *Soil Biol.*

- and Biochem.*, **43**(1), 115~125(2011).
12. Hong, C. O., Kang, J. S., Shin, H. M., Cho, J. H. and Suh, J. M., "Effect of Compost and Tillage on Soil Carbon Sequestration and Stability in Paddy Soil," *J. Environ. Sci. Int.*, **22**(11), 1509~1517(2013).
13. 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 Economic Rev.*, **31**, 201~216(2014).
14. Park, B. J., Park, H. J., Lee, B. M., Ihm, Y. B., Choi, J. H. and Ryu, G. H., "Persistence and degradation of herbicide molinate in paddy-soil environment," *The Korean J. Pesticide Sci.*, **9**(1), 60~69(2005).
15. Kim, W. I., Kim, M. S., Roh, K. A., Lee, J. S., Yun, S. G., Park, B. J. and Choi, S. C., "Long-term monitoring of heavy metal contents in paddy soils," *Korean J. Soil Sci. and Fertilizer*, **41**(3), 190~198(2008).
16. 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).
17. Koh, I. H., Kim, E. Y., Kwon, Y. S., Ji, W. H., Joo, W., Kim, J. and Chang, Y. Y., "Partitioning of Heavy Metals between Rice Plant and Limestone-stabilized Paddy Soil Contaminated with Heavy Metals," *J. Soil and Groundwater Environ.*, **20**(4), 90~103(2015).
18. Kim, M. K., Hong, S. C., Kim, M. H., Choi, S. K., Lee, J. S., So, K. H. and Jung, G. B., "Assessment of the Heavy Metal Contamination in Paddy Soils Below Part of the Closed Metalliferous Mine," *Korean J. Environ. Agric.*, **34**(1), 6~13(2015).
19. National Academy of Agricultural Science, "Method of soil chemical analysis," Rural Development Administration, Korea (2010).
20. Kim, M. S., Kim, J. H. and Park, K. R., "A Comparison of the Methane Production and the Community Structure for Methanogens in Rice Paddy and Dry Field Farming Soils," *The Korean J. Microbiol.*, **46**(4), 319~325(2010).
21. Kim, M. J. and Park, K. R., "Sulfate Reduction of Rice Paddy, Foreshore, and Reservoir Soil," *J. Life Sci.*, **20**(10), 1468~1475(2010).
22. Vaněk, V., Šilha, J. and Němeček, R., "The level of soil nitrate content at different management of organic fertilizers application," *Plant Soil Environ.*, **49**, 197~202(2003).
23. Park, K. H., Yun, H. J., Ryu, K. Y., Yun, J. C., Lee, J. J., Hwang, H. A., Kim, K. D. and Jin, Y. I., "The Monitoring of Agricultural Environment in Daegwallyeong Area," *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **44**(6), 1027~1034(2011).
24. Chung, D. Y. and Lee, K. S., "Role of chemical fertilizer and change of agriculture in Korea," *J. Agri. Sci.*, **35**(1), 69~83(2008).
25. Park, C. B., Hong, S. G., Park, K. L., Lee, S. B., Lee, C. R., Kim, J. H. and Kim, S. C., "Microbial Properties of Paddy Rice Soil in Organic Farming," Korean Society of Soil Science and Fertilizer, 2015 Conference Proceeding, pp. 192~192(2015).