

경남지역 논 토양 화학성분 변동조사

이영한 · 이성태 · 허재영 · 김민근 · 홍광표 · 송원두 · 노치웅 ·
이진호¹ · 전원태² · 고병구³ · 노기안³ · 하상건^{3*}

경상남도농업기술원, ¹전북대학교, ²국립식량과학원, ³국립농업과학원

Monitoring of Chemical Properties from Paddy Soil in Gyeongnam Province

Young-Han Lee, Seong-Tae Lee, Jae-Young Heo, Min-Geun Kim, Kang-Pyo Hong, Won-Doo Song,
Chi-Woong Rho, Jin-Ho Lee¹, Weon-Tai Jeon², Byong-Gu Ko³, Kee-An Roh³, and Sang-Keun Ha^{3*}

Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-370, Korea.

¹Department of Bioenvironmental Chemistry, College of Agricultural and Life Sciences, Chonbuk National University,
Jeonju 561-756, Korea.

²National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea.

³National Academy of Agricultural Science, RDA, Suin-ro 150, Gwonseon-gu, Suwon 441-707, Korea.

Monitoring of the dynamic changes at paddy rice agriculture is very important for agricultural sustainability. Field monitoring was performed to evaluate the soil chemical properties of 260 paddy soil samples every four years from 1999 to 2007 in Gyeongnam Province. Soil chemical properties such as pH, organic matter, available phosphate, silicate, exchangeable potassium, calcium, and magnesium contents were analyzed. The contents of exchangeable cations, and available silicate were significantly increased in 2007 compared to 1999. The chemical contents of organic matter, exchangeable potassium, and magnesium were significantly increased in acid sulfate soil, and silty clay loam compared to those of other soil types, and textures. Especially, content of organic matter was significantly increased in hill area compared to other soil topographies, while exchangeable potassium was significantly decreased. Principle component analysis (PCA) of chemical properties in paddy soils was obtained with eigenvalues > 1 summing 39.1% of variance for PC1, 20.4% of variance for PC2, and 59.5% of the total variance in the all of soil chemical properties. Therefore, principal component analysis is more effective for monitoring from chemical properties of paddy soil.

Key words: Paddy soil, Chemical property, Monitoring, Soil texture, Soil type, Topography

서 언

농업은 자연의 물질순환에서 탄산가스를 고정하고 먹
을 거리를 포함한 유기물을 생산함으로써 환경과 가장
조화된 산업이다 (Pollock et al., 2008). 뿐만 아니라
녹색 경관이나 쾌적한 환경을 조성하여 삶의 질을 향상
시키고 동시에 홍수조절, 지하수 보전과 침식방지 등 국
토와 환경을 보전하는 사회 공익적 기능을 가지고 있다
(Pretty, 2008; Zhao et al., 2008). 이러한 공익적
기능을 Eom et al. (1993)은 우리나라 논에 적용하여
천연적인 홍수조절, 지하수 보전, 대기 냉방효과, 환경
정화 기능, 농업적 부가가치 기능 등을 수치화하여 논의

중요성을 강조하였다. 우리나라의 일반농경지 비옥도 조
사는 1910년에 토양산도를 측정 한 것을 시작으로 1958
년부터 1963년에 식물환경연구소에서 일부 토양 화학성
분을 분석하였으나 (Kim et al., 1963) 체계적인 토양
검정은 1964년부터 1968년까지 실시한 토양 비옥도사
업이라 할 수 있다. 그 이후 1975년부터 1979년 사이에
실시된 토양비옥도 조기완료 5개년 사업으로 농경지 토
양 화학성분 분석결과를 집계하여 비옥도를 판단하였으
며 1980년부터 1989년까지 실시된 농토배양 10주년 사
업에 의하여 전국적으로 논 토양 616,687점의 토양시료
를 분석하였다 (RDA, 1989). 그리고 1990년과 1995년
도에 각각 1,168점의 논 토양 시료를 분석하였고 (NIAS,
2008) Hur et al. (1997)은 논 토양 유형과 지형으로
구분하여 이화학적 특성을 보고하였다. 최근에는 농경
지 토양관리 대책을 위한 전국적인 규모의 토양 검정사
업에 대한 필요성이 대두되어 1999년 이후 전국적인

접수 : 2010. 3. 15 수리 : 2010. 4. 6

*연락처 : Phone: +82312900337

E-mail: ha0sk@korea.kr

일반농경지 토양 모니터링 사업이 실시 되었다. 과거 90년대는 토양 비옥도를 증진시켜 작물의 생산성을 높 이는데 중점을 두었지만 (Peters, 2000) 환경에 대한 중요성이 대두되면서 농경지 내 인산 등 집적된 양분 이 환경으로 유출될 수 있는 가능성을 평가하고 2차 오염을 방지하는 것이 중요하게 되었다 (Cho et al., 2002; Tang et al., 2008). 이와 같이 토양의 건강 회복 (Health Recovery), 즉 친환경농업을 통해 먹을 거 리의 건강, 생태계의 건강, 지역사회의 건강, 농민 삶의 건강이 모두 회복되기 위해서는 인프라구축과 실효성 있 는 프로그램 추진이 필수적이다. 그 첫 걸음이 토양검정 을 통한 시비관리이며 이러한 정보를 지속적으로 구축할 수 있도록 일반농경지 모니터링 사업이 확대되어야 한다.

그러나 경남지역의 논 토양에 대한 주기적인 모니터 링 사업은 전무하며 이에 따른 농민들의 요구가 많은 실정이다. 따라서 본 연구는 경남지역 논 토양 260개소 를 대상으로 1999년부터 2007년까지 4년 주기로 토양 화학성분 변동조사를 수행하였으며 주성분 분석법에 의 한 연도, 유형, 토성 및 지형으로 구분하여 화학성분의 특성과 주요 변동요인을 해석하여 효율적인 토양 양분 관리를 위한 기초 자료를 제공하는데 목적이 있다.

재료 및 방법

논 토양 지점 선정 및 시료채취 방법 경남지역 논 토양의 화학성분 변동을 주기적으로 파악하기 위하여 1999년에 토양 유형, 지형 및 토성 (RDA, 1983)과 분 포면적 비율을 기준으로 260개 지점을 선정하였고 2007 년까지 4년 주기로 동일한 지점을 조사하였다. 토양은 비료를 사용하기 전인 3월부터 4월 사이에 표토를 0-15 cm 깊이에서 500 g 정도를 3반복으로 채취하였다.

토양 시료조제 및 화학성분 분석방법 채취한 토 양은 실험실에서 7일간 풍건하여 2 mm 체를 통과된 것 을 화학성분 분석에 사용하였다. 화학성분 분석은 농촌진 흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)을 적용하여 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 추출하여 초자전극법 (Orion 520A pH meter, Orion Research Inc., Boston, USA)으로 측정하였고, 유기물 은 Tyurin법으로 적정하였으며, 유효인산은 Lancaster법 과 유효규산은 1M NaOAc (pH 4.0)의 가용규산으로 비 색계 (UV-1650PC, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 사용하였다. 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등의 양이온은 1M NH₄OAc로 추출하여 원자흡광분광광도계 (AAnalyst 300, Perkin-Elmer, Norwalk, USA)로 분석하였다.

다변량 주성분 분석 및 통계분석 분석된 토양 화 학성은 SAS 프로그램 9.1.3 버전 (2006)을 사용하였 다. 연도별 토양 화학성분은 5% 수준에서 LSD 검정을 하였고 유형, 지형 및 토성별 토양 화학성분은 5% 수 준에서 Tukey's studentized range test를 하였다. 또한 토양 화학성분의 주성분 분석을 통하여 연도, 유형, 지 형 및 토성에 따른 차이를 비교 검토하였다.

결과 및 고찰

연도별 논 토양 화학성분 변동 경남지역 논 토양 의 조사연도에 따른 화학성분 평균 함량 변동은 Table 1과 같다. 토양의 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘 함량은 1999년에 0.23 (0.04-1.80), 4.8 (0.4-33.1) 및 0.9 (0.2-3.1) cmol_c kg⁻¹에서 2003년 0.30 (0.07-1.11), 5.1 (1.1-20.2) 및 1.2 (0.3-4.0) cmol_c kg⁻¹, 2007년 0.41 (0.07-1.09), 6.4 (2.0-13.6) 및 1.5 (0.3-6.0) cmol_c kg⁻¹으로 유의적인 증가추세를 나타냈다. 논 토 양의 pH는 1999년과 2003년의 5.7 (4.8-7.5 및 4.7-7.6) 보다 2007년에 5.6 (4.3-7.4)으로 유의적인 감소를 보였으며 토양의 유기물 함량은 2007년 30 (8-55) g kg⁻¹으로 2003년 27 (2-86) g kg⁻¹에 비해 유의적인 증가를 보였다. 그러나 논 토양 유효인산 평균 함량은 조사연도별 통계적 유의성이 없었으며 논 토양 의 적정수준인 80-120 mg kg⁻¹에 비해 62-80% 과잉 상태를 나타냈다. 유효규산 함량은 1999년 73 (21-556) mg kg⁻¹에 비해 2003년 124 (24-444) mg kg⁻¹ 그리고 2007년 113 (21-742) mg kg⁻¹으로 유의적인 증가 를 보였으나 논 토양 적정수준인 157-180 mg kg⁻¹ 보 다 21-28% 부족하였다. 이러한 조사연도별 토양 화학 성분 변동은 농업과학기술원 (NIAST, 2008)에서 전국 논 토양 2,070지점을 분석한 결과와 일치하였다. 논 토 양의 pH, 유기물 함량, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘 평균 함량은 적정수준을 보였으나 최소값 및 최대값의 변이가 크게 나타나 실제적인 적정수준은 1999년 pH 56.5%, 유기물 함량 18.1%, 치환성 칼륨 8.5%, 칼슘 12.3% 및 마그네슘 9.2%였고 2003년 pH 48.1%, 유기 물 함량 10.8%, 치환성 칼륨 14.6%, 칼슘 16.5% 및 마 그네슘 13.1%였으며 2007년에는 pH 43.5%, 유기물 함 량 20.4%, 치환성 칼륨 8.5%, 칼슘 16.9% 및 마그네슘 21.9%였다 (Fig. 1). 유기물 함량의 초과비율은 1999년 40.0%, 2003년 30.4%로 감소하였다가 2007년 48.5% 로 급격히 증가하였다. 이러한 결과는 친환경농업이 대 두되면서 퇴비를 많이 줄수록 76.0%의 농민들이 작물이 잘 자라고 86.6%의 농민들이 토양도 좋아진다는 잘못된

Table 1. Chemical properties of lowland paddy soils.

Parameter	pH	OM	Av. P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Av. SiO ₂	Number of sample
	1:5	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- Ex. cations (cmol _c kg ⁻¹) -----			mg kg ⁻¹	
Year								
1999	5.7	29	196	0.23	4.8	0.9	73	260
(Range)	(4.8-7.5)	(1-75)	(2-1,218)	(0.04-1.80)	(0.4-33.1)	(0.2-3.1)	(21-556)	
2003	5.7	27	216	0.30	5.1	1.2	124	260
	(4.7-7.6)	(2-86)	(10-935)	(0.07-1.11)	(1.1-20.2)	(0.3-4.0)	(24-444)	
2007	5.6	30	194	0.41	6.4	1.5	113	260
	(4.3-7.4)	(8-55)	(14-1,193)	(0.07-1.09)	(2.0-13.6)	(0.3-6.0)	(21-742)	
Mean	5.7	29	202	0.32	5.4	1.2	103	780
LSD [†] (<i>p</i> <0.05)	0.09	2.3	NS [‡]	0.034	0.49	0.12	12.3	
Paddy types								
Unmatured	5.6ab [§]	31ab	222ab	0.32b	5.4a	1.2bc	110a	345
High yield	5.8ab	27ab	165ab	0.31b	5.8a	1.3bc	108a	267
Sandy	5.7ab	25b	238ab	0.31b	5.0a	1.1bc	86a	117
Wet	5.4b	24b	164ab	0.29b	3.9a	1.0c	65a	36
Saline	5.5b	22b	113b	0.33b	5.0a	1.6b	92a	6
Acid sulfate	6.0a	36a	290a	0.49a	5.5a	2.1a	116a	9
Soil textures								
Silty clay loam	5.9a	39a	288a	0.43a	5.7a	1.9a	109a	15
Silt loam	5.7ab	28b	187b	0.33b	5.7a	1.4b	111a	363
Sandy loam	5.6b	27b	253ab	0.31b	4.8a	1.0c	82a	93
Loam	5.6b	30b	199b	0.30b	5.2a	1.1bc	101a	303
Soil topographies								
Fan & valley	5.6ab	30bc	190abc	0.30a	5.4a	1.2ab	107b	417
Hill areas	5.6ab	52a	270a	0.17b	4.2a	1.0b	80b	6
Inclined piedmont	5.9a	28bc	110bc	0.37a	5.5a	1.6a	180a	21
River sider plain	5.7ab	26bc	247a	0.33a	5.5a	1.2ab	88b	249
River & coastal plain	5.9a	22c	120bc	0.31a	4.8a	1.4ab	96b	18
Coastal plain	6.0a	33b	227ab	0.38a	5.5a	1.5ab	124b	30
Diluvial soil	5.5b	27bc	99c	0.32a	5.6a	1.5ab	116b	39
Optimum range	5.5-6.5	25-30	80-120	0.25-0.30	5.0-6.0	1.5-2.0	157-180	

[†] LSD: Least significant difference; [‡] NS: Not significant; [§] Values within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Tukey's studentized range test.

인식이 영향을 미친 것으로 판단되었다 (NIAST, 2006). 또한, Jo and Koh (2004)는 우리나라의 칼륨 사용량은 60년대 94 kg ha⁻¹, 70년대 76 kg ha⁻¹, 80년대 92 kg ha⁻¹ 및 90년대 44 kg ha⁻¹로 점차 감소하였다고 하였으나 Lee et al. (1999)이 보고한 바와 같이 퇴비의 과다사용 등으로 논 토양의 칼륨 함량 초과비율은 1999년 20.4%, 2003년 40.0% 및 2007년 63.5%로 급격히 증가하는 추세였다 (Fig. 1). 반면에 유효규산 함량은 적정수준보다 부족한 비율이 1999년 96.1%, 2003년 69.6% 및 2007년 83.8%로 매우 높아 벼 수량을 증

대시키기 위해서는 규산질비료 공급 확대가 시급한 것으로 나타났다 (Kim and Choi, 2002; Park and Kim, 1971; Song et al., 2007).

논 토양 유형, 토성 및 지형에 따른 화학성분 비교

논 토양 유형은 토지생산력, 지형, 토양배수, 토성, 토색, 유효토심, 경도, 지하수위, 석력함량, 염농도 등의 요인을 고려하여 보통답, 미숙답, 사질답, 습답, 특이 산성답 및 염해답 등의 6개로 분류되고 있다 (RDA, 1983). 경남지역 논 토양 유형, 토성 및 지형에 따른 토

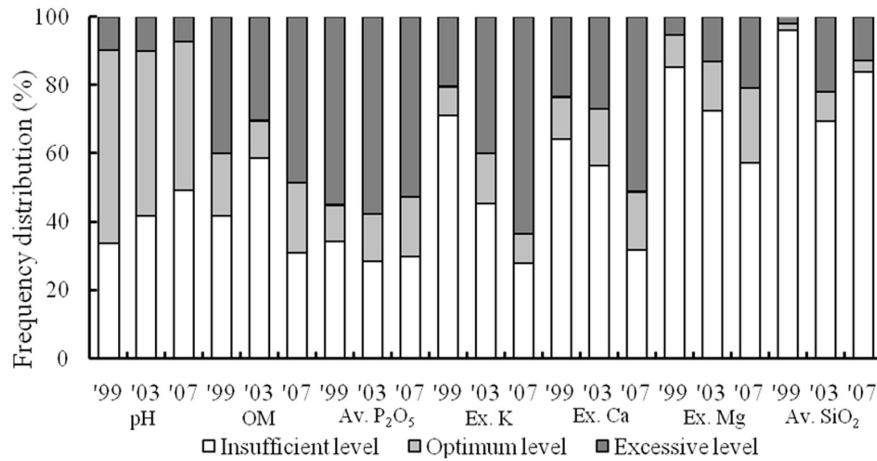


Fig. 1. Frequency distribution of chemical properties from sampling time in paddy soils (n=260).

양 화학성은 Table 1과 같다. 논 토양 유형에 따라 화학성분 평균 함량은 특이 산성답에서 pH 6.0, 유기물 36%, 인산 290 mg kg⁻¹, 치환성 칼륨 0.49 cmol_c kg⁻¹, 치환성 마그네슘 2.1 cmol_c kg⁻¹ 및 유효규산 116 mg kg⁻¹으로 다른 토양 유형에 비해 높았으며 특히 치환성 칼륨과 치환성 마그네슘은 유의적으로 증가하였다. Hur et al. (1997)은 논 토양 152개의 화학성분을 분석한 결과 특이 산성답의 평균 함량은 pH 4.3, 유기물 38 g kg⁻¹, 유효인산 29 mg kg⁻¹, 치환성 칼륨 0.8 cmol_c kg⁻¹, 치환성 칼슘 2.0 cmol_c kg⁻¹ 및 치환성 마그네슘 4.8 cmol_c kg⁻¹이라고 보고하였는데, 본 연구결과는 유기물 함량, 치환성 칼륨 및 치환성 마그네슘 함량은 비슷한 경향을 보였으나 pH 및 치환성 칼슘 함량은 크게 증가하였으며 유효규산 함량도 116 mg kg⁻¹으로 다른 유형에 비해 높았다. 이러한 결과는 특이 산성답의 문제점을 보완하기 위해 규산질 비료를 지속적으로 사용한 결과인 것으로 해석되었다. 습답은 pH 5.4, 유기물 함량 24 g kg⁻¹, 유효인산 164 mg kg⁻¹, 치환성 칼륨 0.29 cmol_c kg⁻¹, 치환성 칼슘 3.9 cmol_c kg⁻¹, 치환성 마그네슘 1.0 cmol_c kg⁻¹ 및 유효규산 65 mg kg⁻¹으로 다른 토양 유형에 비해 낮았으며 특히 치환성 마그네슘은 유의적으로 감소하였다. 따라서 논 토양의 전반적인 관리방법이지만 특히 습답의 경우 규산질비료 공급확대가 매우 시급한 것으로 판단되었다. 미사질식양토의 논 토양 화학성은 pH 5.9, 유기물 39 g kg⁻¹, 유효인산 288 mg kg⁻¹, 치환성 칼륨 0.43 cmol_c kg⁻¹, 치환성 칼슘 2.7 cmol_c kg⁻¹ 및 치환성 마그네슘 1.9 cmol_c kg⁻¹으로 다른 토성에 비해 높았다. 특히 미사질식양토의 유기물 함량과 치환성 칼륨 및 치환성 마그네슘 함량은 유의적인 증가를 나타냈으며 유효인산 함량은 적정수준 보다 2.4배 높아 담수상태에서 조류에 대한 피해와 유출수로 유효인산이 하천으로 유

입될 경우 하천의 부영양화 등 2차 오염이 우려되었다 (Cho et al., 2002; Tang et al., 2008). 산록 경사지는 논 토양 유효규산 함량이 180 mg kg⁻¹으로 다른 지형에 비해 유의적으로 높았으며 적정수준을 유지하였다. 토양 pH는 바닷물의 영향을 받는 해안 평탄지가 6.0으로 가장 높아 Hur et al. (1997)이 보고한 바와 일치하였고 하해혼성 평탄지 및 산록 경사지가 5.9로 높은 수치를 나타냈다. 유기물 함량과 유효인산 함량은 구릉지에서 각각 52 g kg⁻¹ 및 270 mg kg⁻¹으로 가장 높아 적정수준과 비교할 때 유기물 함량은 1.7배, 유효인산 함량은 2.3배인 것으로 나타났으며 치환성 칼륨과 치환성 칼슘 함량은 지형에 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 유효인산 함량은 산록 경사지와 하해혼성 평탄지 및 홍적대지에서 적정수준을 보였으나 나머지 곡간 및 선상지, 구릉지, 하성 평탄지 및 해안 평탄지에서 높은 수치를 보여 인산질 함량을 줄일 수 있는 시비관리 방법이 필요한 것으로 판단되었다.

논 토양 화학성 주성분 분석 토양의 질을 표현하는 방법으로 Rust et al. (1972)은 작물생산에 있어 질소의 지속적 사용과 환경에 대한 영향을 비교하여 토양의 질 지표 개발이 가능하다고 하였고 Warkentin and Fletcher (1977)는 현대적 의미로서 토양의 질에 대한 개념을 체계적으로 언급하여 여러 가지 측면에서 고려해야 하며 한가지 요인으로 평가할 수 없다고 하였다. 최근에는 여러 가지 요인을 몇 가지의 성분으로 추출하여 설명하고 예측할 수 있는 주성분 분석방법을 사용하고 있으나 (Cho et al., 2005; Koo et al., 2005) 토양 화학성분의 모니터링에 이용된 사례는 미흡한 실정이다 (Yoon et al., 2004). 주성분 분석결과는 고유값이 1.0 이상인 주성분은 2개였고 제 1주성분 (PC 1)에 속하는 토양 화학성은 치환성 칼슘 (0.511), 치환성 마

그네슘 (0.478), pH (0.402), 유효규산 (0.395) 및 치환성 칼륨 (0.392) 등 5개였으며 제 2주성분 (PC 2)에 속하는 토양 화학성은 유효인산 (0.664) 및 유기물 함량 (0.551) 등 2개였다. 토양 화학성분의 특성은 제 1주성분이 39.1%, 제 2주성분이 20.4%로서 전체 59.5%의 자료를 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 조사연도별 토양 화학성분은 Fig. 2와 같이 논 토양의 치환성 칼슘, 치환성 마그네슘, pH, 유효규산 및 치환성 칼륨 함량은 1999년도 이후 점차로 증가되는 경향을 보였으며 향후 지속적인 증가로 인한 과잉의 문제가 발생할 수 있을 것으로 예측되었다. 또한, 토양 유형에 따른 토양 화학성분은 Fig. 3과 같이 염해답과 특이 산성답에서 PC 1이 높은 것으로 나타났다. 이러한 경향은 토양 pH의 교정을 위해 석회질의 토양개량제를 시용한 결과로 해석되었다 (Hwang et al., 1983; Yoo et al., 1993). 토성에 따른 토양 화학성분은 Fig. 4와 같이 미사질식양토에서 PC 1과 PC 2가 높은 것으로 나타났으며 지형에 따른 주성분 분석결과는 Fig. 5와 같이 PC 1은 산록

경사지와 해안 평탄지에서 높았으며 PC 2는 구릉지에서 높았다. 이와 같이 주성분 분석을 이용하여 논 토양 화학성분의 특성을 간편하게 비교할 수 있었다. 향후 이와 유사한 토양 모니터링 자료는 주성분 분석을 통하여 간편하게 정보를 요약할 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 논 토양의 일반적인 화학성분 뿐만 아니라 미량성분 모니터링과 논 토양의 지리적 특성을 구분할 수 있는 화학성분들의 분석이 필요할 것으로 판단되었다 (Prakongkep et al., 2008).

요 약

효율적인 논 토양의 양분관리를 위한 기초 자료를 제공하고자 경남지역 논 토양 260 지점의 화학성분 변동을 1999년부터 2007년까지 4년 주기로 분석하였다. 논 토양의 화학성분 평균 함량은 pH 5.7 (범위 4.4-7.6),

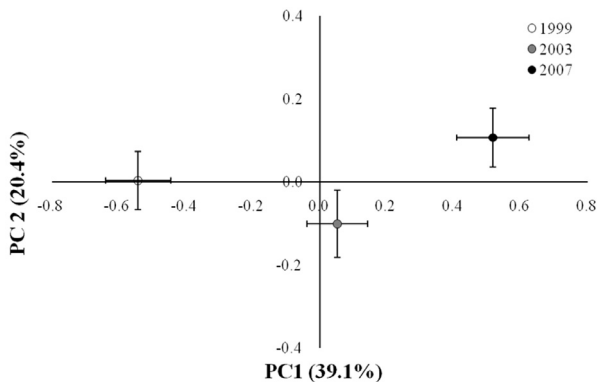


Fig. 2. Principal components analyses of chemical properties from sampling times in paddy soils. The variance explained by the each principal component (PC) axis is shown in parentheses. Bars present standard error ($n=780$).

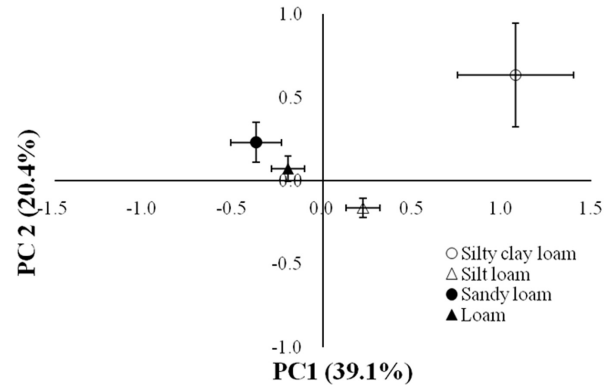


Fig. 4. Principal components analyses of chemical properties from soil textures in paddy soils. The variance explained by the each principal component (PC) axis is shown in parentheses. Bars present standard error ($n=780$).

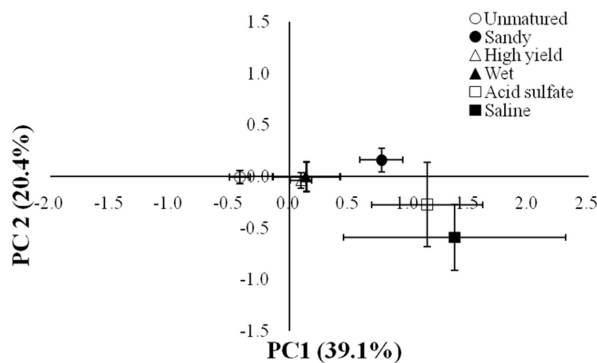


Fig. 3. Principal components analyses of chemical properties from soil types in paddy soils. The variance explained by the each principal component (PC) axis is shown in parentheses. Bars present standard error ($n=780$).

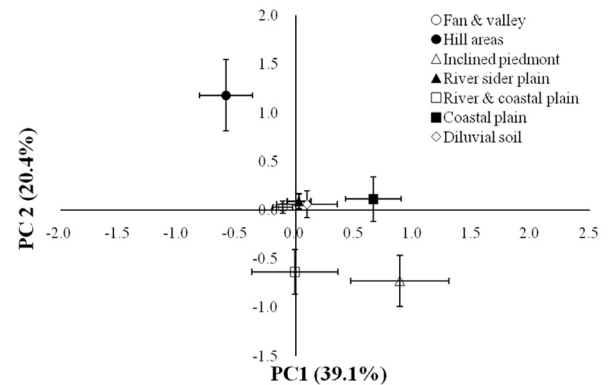


Fig. 5. Principal components analyses of chemical properties from soil topographies in paddy soils. The variance explained by the each principal component (PC) axis is shown in parentheses. Bars present standard error ($n=780$).

유기물 29 g kg^{-1} (1-86), 유효인산 202 mg kg^{-1} (2-1,218), 치환성 칼륨 $0.32 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (0.04-1.80), 치환성 칼슘 $5.4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (0.4-33.1), 치환성 마그네슘 $1.2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (0.2-6.0) 및 유효규산 103 mg kg^{-1} (21-742) 였다. 연도별 토양 화학성분 변동 특성을 요약하면 유효인산 함량은 1999년부터 이미 적정범위 보다 높았고 유효규산 함량은 아직까지도 많이 부족한 상태였으며 치환성 양이온은 칼슘과 마그네슘에 비해 칼륨이 상대적으로 높은 편이었다. 연도별 주성분 분석결과 Eigenvalue가 1.0 이상인 주성분은 2개였고 제 1주성분 (PC 1)에 속하는 토양 화학성은 치환성 칼슘 (0.511), 치환성 마그네슘 (0.478), pH (0.402), 유효규산 (0.395) 및 치환성 칼륨 (0.392) 등 5개였으며 제 2주성분 (PC 2)에 속하는 토양 화학성분은 유효인산 (0.664) 및 유기물 함량 (0.551) 등 2개였다. 토양 특성은 제 1주성분이 39.1%, 제 2주성분이 20.4%로서 전체 59.5%의 자료를 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 논 토양의 화학성분을 주기적으로 모니터링 한 결과는 다양한 농업환경 변동을 이해하고 대응함으로써 지속적인 농업을 발전시키는 데 기여할 것으로 판단되며 이러한 관점에서 주성분 분석은 아주 유용하게 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ0-06906200920)의 지원에 의해 이루어진 것 임.

인 용 문 헌

- Cho, I.H., Y.S. Kim, and K.D. Zoh. 2005. A case study on the comparison and assessment between environmental impact assessment and post-environmental investigation using principal component analysis. *Kor. J. Env. Hlth.* 31:134-146.
- 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 Sci. Plant Nutr.* 48:301-206.
- Eom, K.C., S.H. Yun, S.W. Hwang, S.G. Yun, and D.S. Kim. 1993. Public benefit from paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 26:314-333.
- Hur, B.K., S.K. Rim, Y.H. Kim, and K.Y. Lee. 1997. Physico-chemical properties on the management groups of paddy soils in Korea. 30:62-66.
- Hwang, N.Y., K.H. Park, and J.K. Kim. 1983. Effect of lime and phosphorus to rice plant on acid sulfate soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 16:64-71.
- Jo, I.S., and M.H. Koh. 2004. Chemical changes in agricultural soils of Korea: data review and suggested countermeasures. *Environ. Geochem. Hlth.* 26:105-117.
- 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 J. Soil Sci. Fert.* 35:280-289.
- Kim, Y.S., S.C. Seo, and K.H. Han. 1963. Study on soil analysis. Annual research report of Institute of Plant Environment. RDA, Suwon, Korea.
- Koo, J.Y., M.J. Yu, S.G. Kim, M.H. Shim, and A. Koizumi. 2005. Estimation of long-term water demand by principal component and cluster analysis and practical application. *J. KSEE* 27:870-876.
- Lee, S.M., I.S. Ryu, C.S. Lee, Y.H. Park, and M.H. Um. 1999. Determination of application rate of composted pig manure for wetland rice. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 32:182-191.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Analytical methods of soil and plant. NIAST, Suwon, Korea.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2006. Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality in 2005. NIAST, RDA, Suwon, Korea.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2006. Fertilizer recommendation for crops. NIAST, RDA, Suwon, Korea.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2008. Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality in 2007. NIAST, RDA, Suwon, Korea.
- Park, Y.D., and Y.S. Kim. 1971. Increased yielding effect of silica on rice grown on Akiochi soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 4:1-11.
- Peters, J.B. 2000. Gambian soil fertility trends, 1991-1998. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31:2201-2210.
- Pollock, C., J. Pretty, I. Crute, C. Leaver, and H. Dalton. 2008. Introduction sustainable agriculture. *Philos Trans R. Soc. B.* 363:445-446.
- Prakongkep, N., A. Suddhiprakarn, I. Kheoruenromne, M. Smirk, and R.J. Gilkes. 2008. The geochemistry of Thai paddy soils. *Geoderma* 144:310-324.
- Pretty, J. 2008. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philos Trans R. Soc. B.* 363:447-465.
- RDA (Rural development administration). 1983. Soil in Korea. RDA, Suwon, Korea.
- RDA. 1989. Report of the improvement of soil for ten years. RDA, Suwon, Korea.
- Rust, R.H., R.S. Adams, and W.P. Martin. 1972. Developing a soil quality index. *Indic. J. Environ. Qual.* 1:243-247.

- SAS Institute. 2006. SAS Version 9.1.3. SAS Inst., Cary, NC.
- Song, Y.S., H.J. Jun, B.G. Jung, W.K. Park, K.S. Lee, H.K. Kwak, J.H. Yoon, C.S. Lee, B.Y. Yeon, P.J. Kim, and Y.S. Yoon. 2007. Determination of optimum rate and interval of silicate fertilizer application for rice cultivation in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40:354-363.
- Tang, J., 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* 72:374-385.
- Warkentin, B.P., and H.F. Fletcher. 1977. Soil quality for intensive agriculture. p. 594-598. In *Proceedings of international seminar on soil environment and fertilizer management in intensive agriculture*. Soc. Sci. Soil and Manure and Natl. Inst. Of Agric. Sci., Tokyo, Japan.
- Yoo, C.H., J.G. Kim, S.Y. Choi, G.H. Cho, S.J. Yoo, J.D. So, and G.S. Rhee. 1993. Studies on amelioration of soil physic-chemical properties and rice yield in sandy tidal saline paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 26:241-248.
- Yoon, J.H., B.G. Jung, H.J. Jun, and H.K. Kwak. 2004. Soil quality assessment method of paddy and upland. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37:357-364.
- Zhao, J., Q. Luo, H. Deng, and Y. Yan. 2008. Opportunities and challenges of sustainable agricultural development in China. *Philos Trans R. Soc. B.* 363:893-904.