

지형특성에 따른 전북지역 논토양 화학성 변화

안병구* · 이진호^{1†} · 김갑철 · 김형국 · 정성수 · 전해원 · 장용선²

전라북도농업기술원, ¹전북대학교 생물환경화학과, ²국립농업과학원

Changes in Chemical Properties of Paddy Field Soils as Influenced by Regional Topography in Jeonbuk Province

Byung-Koo Ahn*, Jin-Ho Lee¹, Kab-Cheol Kim, Hyung-Gook Kim, Seong-Soo Jeong, Hye-Won Jeon, and Yong-Sun Zhang²

Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 570-704, Korea

¹Department of Bioenvironmental Chemistry, Chonbuk National University, Korea

²National Academy of Agricultural Science, RDA, 441-707, Korea

We investigated the changes in chemical properties of paddy field soils at 300 different sampling sites containing 4 topography in Jeonbuk province, Korea. The soil samples were collected 43.0% from local valley and fans, 39.3% from fluvio-marine deposits, 15.0% from alluvial plains, and 2.7% from diluvium sites. The optimal values of soil properties in the total soil samples were as follows: 65.3% of total samples in soil pH value, 48.3% of total samples in cation exchange capacity (CEC) value, and 22.3% of total samples in available phosphorus content, whereas the deficient values of soil properties were 63.3% of total samples in soil organic matter (SOM) content, 75.7% of total samples in available silicate content, and 61.3%, 51.0%, and 59.3% of total samples in exchangeable K⁺, Ca²⁺, and Mg²⁺ concentrations, respectively. There were different soil types in the paddy fields: that is, 34.4% immature paddy and 33.6% sandy paddy in the local valley and fans, 57.8% sandy paddy in the alluvial plains, 47.4% normal paddy in the fluvio-marine deposits, and 75.7% immature paddy in the diluvium. Soil textures were also different: 53.5% loam in the local valley and fans, 37.8% sandy loam in the alluvial plains, and 55.1% silty loam in the fluvio-marine deposits. Soil pH and SOM contents were not different among the different topographical sampling sites. However, the mean value of available phosphorus content, 224 mg kg⁻¹, was exceeded optimal values in the diluvium. The contents of exchangeable cations were optimal in all the sites, except exchangeable Ca²⁺ contents in the local valley and fans. The contents of available silicate ranged between 112 and 127 mg kg⁻¹ in all the sites, which were lower than optimal value. In addition, soil pH values were proportionally correlated to the order of available silicate, exchangeable Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, CEC, and exchangeable K⁺. The contents of SOM were proportionally correlated to the order of CEC, available P₂O₅, exchangeable Ca²⁺, and available silicate. The contents of heavy metals, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn, were only 10% of the threshold levels of the metals, and As content was about 20 to 30% of the threshold level.

Key words: Topography, Paddy soil, Chemical property, Jeonbuk

서 언

농업은 인류에게 먹을거리를 제공할 뿐만 아니라 홍수조절, 수자원보전, 기후순화, 대기 및 수질 정화, 토양보전 등 다원적 기능을 가지고 있다. 지속가능한 농업을 실천하고 농

경지의 효율적인 이용과 생산성을 향상시키기 위해서는 경작지 토양에 대한 과학적인 조사와 평가가 뒷받침 되어야 한다. 현장정밀조사 및 일반농경지 모니터링 등으로 얻어진 토양특성은 토양비옥도 평가기준이 되고 농업정책 수립과 연구 및 교육 등에 이용된다. 그동안 농경지 양분관리는 생산성 향상을 위한 비옥도관리에 초점이 맞추어져 있었지만, 양분불균형 해소와 집적된 양분관리 및 2차 오염을 예방하는 것이 중요하게 되었다 (Cho et al., 2002; Lee et al., 20012). 또한 중금속은 용해 및 이동성이 적어 토양 내에 유입되면 장기간

접수 : 2012. 5. 15 수리 : 2012. 5. 20

*연락처 : Phone: +820632906193

E-mail: ahnbk61@korea.kr

†공동제1저자

축적되고 식물의 생육피해와 먹이사슬을 통하여 직·간접적으로 인축에 피해를 줄 수 있다. 하지만 오염된 토양을 복원하는 일은 매우 어렵고 비용이 많이 소요되며 오랜 시간이 필요하기 때문에 오염된 토양을 복원하는 것보다 토양오염을 방지하는 노력이 필요하다 (Ahn et al., 2011).

토양의 지형적 특성과 생성분류에서 토양생성이 지형에 따라 상이하게 발달했고 (Jung and Kim, 1988), 또한 좁은 지역에서 농경지 지형은 토양특성의 차이를 나타내는 가장 큰 요인이므로 농경지 토양특성을 지형별로 구분하여 파악하는 것이 토지이용을 위해 합리적이다. 우리나라 농경지가 분포하고 있는 지형은 하해혼성평탄지, 하성평탄지, 홍적대지, 곡간 및 선상지, 산록경사지, 구릉지, 산악지 및 용암류대지로 구분하며, 농경지 토양을 구성하는 모재와 생성형태가 다를 지라도 논은 구릉지와 산악지를 제외한 나머지 지형에 분포하고 있다 (Hyeon et al., 1989).

전라북도 농경지는 209,800 ha로 전국농경지의 12.0%를 차지하고 있으며, 전북의 산업구조에서 농업 중심적인 특성을 가지고 있다. 전라북도의 논 면적은 142,600 ha로 전라북도 농경지의 68.0%를 차지하고 있다 (Jeollabuk-Do, 2007). 전북지역 논토양에 대해 그동안 쌀 증산을 위한 비옥도 관련 연구가 주류를 차지하고 있었고 논토양의 지형적인 특성에 관한 연구는 미흡한 실정이었다.

따라서 본 연구는 전북지역 논을 대상으로 토양의 물리·화학적 특성과 중금속 함량을 조사하여 논토양을 보다 효율적으로 관리할 수 있는 방안을 마련하고자 수행하였다.

재료 및 방법

전북지역 논토양의 특성을 조사하기 위하여 지형 및 유형별 논 면적을 고려하여 300개 지점에서 토양을 채취하여 물리·화학적 특성을 조사하였다. 토양물리화학성 조사용 시료는 auger를 사용하여 필지별로 3반복으로 작토 층에서 채취하여 풍건세토로 만들어 사용하였고, 지역별 채취내역은 전주 10, 군산 25, 익산 34, 정읍 30, 남원 25, 김제 41, 완주 12, 진안 12, 무주 11, 장수 14, 임실 16, 순창 15, 고창 27, 부안 28점 등이었고, 채취지역을 지형별로 분류하면 곡간 및 선상지

43.0% (129지점), 하성평탄지 15% (45지점), 하해혼성평탄지 39.3% (118지점), 홍적대지 2.7% (8지점)으로 나타났다.

토양 분석방법은 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2010)에 준하여 실시하였다. 즉 토성은 micro pipette 법 (Chung et al., 1999; Park et al., 2006)으로 분석하고, 미국 농무성법 분류기준을 따랐다 (Gee and Bauder, 1986). 토양 pH와 EC는 풍건토양과 증류수를 1:5 (w/v)비율로 희석하여 pH Meter (Thermo, Orion 3 star)와 EC Meter (EUTECH, COND 600)로 각각 측정하였고, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 치환성양이온은 1 N CH₃COONH₄ (pH 7.0)으로 치환 추출하여 원자흡광분광광도계 (GBC, Avanta)를 이용하여 분석하였으며, CEC는 1 N CH₃COONH₄ (pH 7.0)으로 추출 후 Kjeldahl 분해장치 (FOSS, Kjeltac Auto Distillation)를 사용하여 분석하였다. 토양중금속 조사는 Ni, Zn, Cu, Pb, Cd, As의 경우 토양오염공정시험법에 따라 총량으로 측정하였다. 토양 3 g에 증류수 1 mL, HNO₃ 7 mL, HCl 21 mL를 넣고 환류냉각장치에 연결한 후 장치의 유리관에 0.5 N HNO₃ 10 mL를 넣고 30°C에서 2시간, 80°C에서 2시간 환류냉각하고 No. 6 여과지로 여과 한 후 0.5 M HNO₃으로 100 mL 정용하여 유도결합플라즈마분광광도계 (GBC, Integra dual)로 측정하였다. Cr은 총량법으로 할 경우 유기물의 간섭 때문에 토양 5 g에 0.1 N HCl 50 mL를 혼합하여 30°C에서 1시간 항온 진탕 후 No. 6 여과지로 여과하고 유도결합플라즈마분광광도계 (GBC, Integra dual)로 측정하였다.

분석한 토양특성의 통계적인 분석은 SPSS (19.0K)를 사용하여 Duncan 검정과 상관관계를 실시하였다.

결과 및 고찰

논토양 화학성분 지형적인 분포를 고려하여 300개 지점에서 조사한 전북지역 논 토양의 평균 화학성분 함량은 Table 1에서 보는 바와 같다. 토양 pH, 유기물함량, 치환성 Ca²⁺, Mg²⁺ 및 CEC는 벼 재배에 적합한 수준 (NIAST, 2006)을 보였다. 유효인산은 122 mg kg⁻¹ 수준으로 적정기준보다 약간 높았고, 치환성 K⁺는 0.24 cmol_c kg⁻¹로 적정수준보다 약간 낮았고, 유효규산은 119 mg kg⁻¹으로 적정수준에 크게

Table 1. Mean values of selected soil chemical properties in paddy field studied.

Statistics	pH	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cations				Avail. SiO ₂	CEC
				K	Ca	Mg	Na		
	(1:5)	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹				mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹
Mean	5.7	22	122	0.24	5.2	1.5	0.21	119	10.3
(range)	(4.7-7.1)	(6-52)	(14-944)	(0.05-0.93)	(1.4-14.3)	(0.3-3.5)	(0.04-1.28)	(22-548)	(3.4-18.9)
Optimal range	5.5-6.5	25-30	80-120	0.25-0.30	5.0-6.0	1.5-2.0	-	157-180	10-15

미치지 못하였다. 특히 유효규산의 분포범위는 22~548 mg kg⁻¹ 수준으로 조사지점간에 편차가 크게 나타났다. 이는 친환경농업을 실천하는 농가들이 정부에서 공급하는 규산질비료의 생산과정에 대한 오해로 인해 사용을 기피하는 경향이 있고, 사용자들에게 운반 및 시비 측면에서 많은 부담감을 갖고 있어서 시료채취 현장 주변에 야적·방치되고 있는 모습을 목격할 수 있었다. 따라서 규산질비료에 대한 오해를 해소하기 위해 규산 효과와 토양환경에 미치는 영향 등에 관한 새로운 영농지도가 필요하다고 본다.

작물별 시비처방기준 (NIST, 2006)에서 제시하는 논토양의 기준 (pH 5.5~6.5, OM 25~30 g kg⁻¹, 유효인산 80~120 mg kg⁻¹, 치환성 K⁺ 0.25~0.30 cmol_c kg⁻¹, 치환성 Ca²⁺ 5.0~6.0 cmol_c kg⁻¹, 치환성 Mg²⁺ 1.5~2.0 cmol_c kg⁻¹, 유효규산 157~180 mg kg⁻¹, CEC 10~15 cmol_c kg⁻¹)에 대한 화학적 수준의 과부족율은 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 토양 pH의 경우 적정비율은 65.3%이고, 부족비율은 30.7%로 경남지역

의 부족비율 13.1% (Lee et al., 2012) 보다 높았다. 토양유기물은 부족비율이 63.3%로 적정비율 21.0%의 3배 정도 많은 수준으로 유기물 부족으로 미질에 미치는 영향을 최소화하기 위해 적극적인 유기물 공급대책이 필요하다고 판단된다. 유효인산의 적정비율 (22.3%)이 초과비율 (36.0%)이나 부족비율 (41.7%)보다 낮았고, 치환성 K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺의 부족비율이 각각 61.3%, 51.0%, 59.3%이고, 유효규산은 75.7%가 부족비율로 나타나 염기 결핍과 병해충에 노출될 수 있는 토양조건을 보여주고 있어 벼 수량을 증대시키기 위해서 규산질비료 공급 확대가 시급하고 (Kim and Choi, 2002; Song et al., 2007), 보다 정확한 토양검정에 의한 시비처방이 이루어지도록 지도할 필요가 있다고 보여 진다. 한편 CEC의 적정비율과 부족비율은 각각 48.3% 수준을 보였다.

지형에 따른 화학성 변화 논토양의 지형분포는 곡간 및 선상지 43.0%, 하성평탄지 15.0%, 하해혼성평탄지 39.3%, 및 홍적대지 2.7%로 곡간 및 선상지가 가장 많았다. 따라서 논토양은 발토양에 비하여 곡간지에 많이 분포하고 있다고 할 수 있다 (Kim, 2008). 지형에 따라 논토양 유형 분포 비율을 보면 곡간 및 선상지의 경우 사질답이 34.9%를 차지하고 있고, 미숙답과 보통답이 각각 29.5%와 24.8%이었다 (Table 2). 하성평탄지의 경우 사질답 57.8%, 하해혼성평탄지의 경우 보통답이 46.6%를 차지하였고, 홍적대지는 대부분이 미숙답이었다. 염해답은 하해혼성평탄지에서 13.6% 분포하고 있었다.

전북지역 논토양의 지형별 토성분포율은 Table 3과 같다. 곡간 및 선상지의 토성은 미사질식양토, 미사질양토, 사양토,

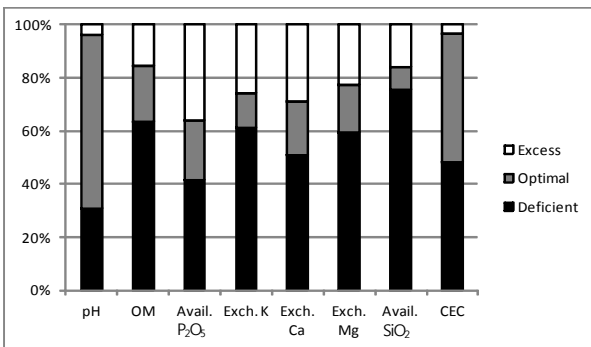


Fig. 1. Excess or deficient values of soil chemical properties.

Table 2. Soil types and conditions of the paddy fields in different topographical areas.

Topography	Immature paddy field	Normal paddy field	Sandy paddy field	Poorly-drained paddy field	Salt injured paddy field
	----- % -----				
Local valley and fans (129) [†]	29.5	24.8	34.9	10.9	-
Alluvial plains (45)	2.2	8.9	57.8	31.1	-
Fluvio-marine plains (118)	-	46.6	37.3	2.5	13.6
Diluvium (8)	75.0	25.0	-	-	-

[†]() : sample number.

Table 3. Soil texture of the paddy soils in different topographical areas.

Topography	Silty clay loam	Silt loam	Sandy loam	Clay loam	Loam
	----- % -----				
Local valley and fans (129) [†]	6.2	9.3	27.9	3.1	53.5
Alluvial plains (45)	6.7	17.8	37.8	6.7	31.1
Fluvio-marine plains (118)	8.5	55.1	11.9	6.8	17.8
Diluvium (8)	62.5	25.0	-	-	12.5

[†]() : sample number.

식양토, 양토로 분포되어 있고, 특히 양토가 53.5%를 차지하고 있어 전반적으로 모래함량이 많은 것으로 나타났다. 우리나라 밭토양의 경우 도 곡간 및 선상지에 가장 많이 분포하고 있고 사질토와 보통밭이 많다고 하였다 (Kim, 2008). 하성평탄지와 하해혼성평탄지에서도 곡간 및 선상지와 같은 토성들로 분포하고 있었고, 사양토 (37.8%)와 미사질양토 (55.1%)가 가장 많이 분포하고 있는 것으로 나타났다. 하성평탄지는 하천이나 강물에 의해 운반된 자갈, 모래, 점토 등이 연안의 낮은 땅에 퇴적되어 이루어진 평탄지로 토양생성연대가 짧아 토양 생성발달이 미진한 편이지만 다양한 미세지형이 존재하여 다양한 토양이 분포하고 있다 (Song et al., 2011). 우리나라의 하성평탄지 분포면적은 47.7만 ha 정도이다 (NIAST, 2000).

한편 홍적대지에서는 미사질식양토, 미사질양토, 양토만이 분포하고 있었고, 미사질식양토가 62.5%로 가장 많았다. 홍적대지는 거의 침식이 없고 층적물이 별로 퇴적되지 않았기 때문에 오랫동안 풍화작용을 받아 식양질토양으로 발달되었다 (Song et al., 2011).

전북지역 논토양의 지형에 따른 토양화학성은 Table 4에서 보는 바와 같다. 토양 pH는 지형별로 5.7~5.8이었고, 통계적으로 같은 수준을 보여 Sohn et al. (1999)이 조사한 전북지역의 pH 5.7과 같았다. 유기물함량은 지형에 따라 통계적인 차이가 없었지만, 22~25 g kg⁻¹ 수준으로 적정수준

(25~30 g kg⁻¹)보다 낮은 수준을 보여 토양개량 대책이 필요하다. 경남지역의 하해혼성평탄지와 해안평탄지도 22~23 g kg⁻¹수준 (Lee et al., 2012)으로 비슷하였다.

유효인산은 홍적대지에서 224 mg kg⁻¹로 적정수준 (80~120 mg kg⁻¹)보다 훨씬 높았고, 나머지는 같은 수준을 보였다. 따라서 토양검정에 의한 시비처방을 할 때 홍적대지의 경우 인산 사용량이 달라져야 될 것으로 보인다. 그러나 경남지역 논토양의 경우 유효인산 함량이 적정수준 보다 높다고 하였지만 (Lee et al., 2012), 전북지역은 홍적대지를 제외하고는 대체로 적정수준을 보였다. 치환성 K⁺과 Ca²⁺은 통계적인 유의차가 없었지만, 적정기준에 미달이거나 적정기준이라 하더라도 언제든지 부족할 수 있는 수준이어서 항상 주의를 해야 할 필요가 있다. 치환성 Mg²⁺과 Na⁺은 하해혼성평탄지에서 1.8과 0.28 cmol_c kg⁻¹로 가장 높았고, 나머지는 같은 수준이었다. 이는 바닷물의 영향을 받은 해안주변 논토양의 염류가 상승한 것으로 판단된다. 한편 유효규산이나 CEC는 지형간에 유의차가 없어 지형적인 영향을 받지 않는 것으로 보여진다.

논 토양 화학성분간의 상관관계는 Table 5와 같다. 토양 pH는 유효규산, 치환성 Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, CEC, 치환성 K⁺ 순으로 정의 상관관계를 보였고, 유효인산은 부의 관계를 보였다. 토양 pH와 유효인산이 정의 상관관계를 보인 Lee et al. (2012)의 보고와는 반대의 결과를 보였다. 토양유기물 함량

Table 4. Selected soil chemical properties of the paddy fields located in different topographical areas.

Topography	pH	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cations				Avail. SiO ₂	CEC
				K	Ca	Mg	Na		
	(1:5)	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	
Local valley & fans	5.7a ⁺	22a	112b	0.23a	4.8a	1.3b	0.16b	123a	10.1a
Alluvial plains	5.8a	24a	139b	0.24a	5.3a	1.2b	0.14b	120a	9.8a
Fluvio-marine plains	5.7a	22a	119b	0.26a	5.4a	1.8a	0.28a	112a	10.7a
Diluvium	5.7a	25a	224a	0.29a	5.8a	1.4ab	0.17b	127a	10.9a

⁺Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan test, *p*<0.05).

Table 5. Correlation coefficients among the soil chemical properties of paddy fields (n=300).

Chemical properties	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. K	Exch. Ca	Exch. Mg	Exch. Na	Avail. SiO ₂	CEC
pH	0.084	-0.035	0.159**	0.449**	0.365**	0.202**	0.479**	0.190**
OM		0.283** ⁺	0.028	0.227**	0.063	-0.032	0.149**	0.346**
Avail. P ₂ O ₅			0.038	-0.023	-0.103	-0.065	-0.086	0.056
Exch. K				0.137*	0.238**	0.237**	0.176**	0.258**
Exch. Ca					0.630**	0.223**	0.300**	0.489**
Exch. Mg						0.565**	0.162**	0.581**
Exch. Na							0.015	0.216**
Avail. SiO ₂								0.192**

⁺* and **, significant at *a* = 0.05 and 0.01, respectively.

Table 6. Heavy metal contents of paddy field soils in different topographical areas.

Topography		Cd	Cr	Pb	Cu	Ni	Zn	As
		mg kg ⁻¹						
Local valley & fans	Min	0.04	0.02	0.8	1.1	0.7	15.5	0.43
	Max	1.02	0.72	69.4	39.7	50.1	93.3	16.73
	Mean	0.32a [†]	0.20a	24.9a	9.1a	8.2a	38.8a	7.16ab
Alluvial plains	Min	0.07	0.02	7.6	1.7	3.4	24.4	1.58
	Max	0.90	0.85	41.6	21.6	16.4	107.8	16.37
	Mean	0.40a	0.23a	27.7a	9.8a	9.1a	44.0a	7.64a
Fluvio-marine plains	Min	0.02	0.01	3.2	0.1	0.5	10.7	0.30
	Max	0.95	0.80	75.6	32.2	22.0	71.2	12.65
	Mean	0.31a	0.27a	26.2a	10.2a	9.2a	36.9b	5.38b
Diluvium	Min	0.13	0.03	10.1	6.5	7.1	30.9	1.84
	Max	0.56	0.54	42.9	15.4	18.6	55.7	16.82
	Mean	0.40a	0.20a	28.8a	10.6a	10.6a	42.7a	7.16ab

[†]Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan test, $p < 0.05$).

은 CEC, 유효인산, 치환성 Ca²⁺, 유효규산과 정의 상관관계를 보였고, 치환성 양이온들은 다른 치환성 양이온과 유효규산, 및 CEC 등과 정의 상관관계를 보였다.

중금속 함량 지형별로 조사한 토양 중금속 함량은 Table 6에서 보는 바와 같다. 카드뮴 (Cd), Cr, Pb, Cu, 및 Ni은 지형 간에 차이가 없이 통계적으로 같은 수준을 보였고, Zn은 곡간 및 선상지, 하성평탄지, 홍적대지에서, As는 하성평탄지에서 가장 높은 값을 나타내어 대체로 하성평탄지가 다른 지형에 비해 중금속 함량이 높은 결과를 보였다. 그러나 토양환경보전법 (ME, 2002)의 토양오염우려기준 가 지역 기준 (농지, Cr 4 mg kg⁻¹, Cd 1.5 mg kg⁻¹, Pb 100 mg kg⁻¹, Cu 50 mg kg⁻¹, Ni 40 mg kg⁻¹, Zn 300 mg kg⁻¹, As 6 mg kg⁻¹, Hg 4 mg kg⁻¹)보다 훨씬 낮은 수준이어서 전북지역 논 토양은 중금속에 대해서 매우 안전하다고 할 수 있다.

요 약

지형 특성에 따른 논토양 화학성변화를 조사하기 위해 전북지역 논 300개 지점에서 토양 물리화학성 및 중금속함량을 조사하였다. 논토양 분포 지형은 곡간 및 선상지 43.0%, 하해혼성평탄지 39.3%, 하성평탄지 15.0%, 홍적대지 2.7% 순이었다. 토양성분별 적정비율은 pH 65.3%, CEC 48.3%, 유효인산 22.3%이었고, 부족비율은 유기물 63.3%, 치환성 K⁺ 61.3%, Ca²⁺ 51.0%, Mg²⁺ 59.3%, 유효규산 75.7%이었다. 곡간 및 선상지의 논토양 유형은 미숙답과 사질답이 각각 34.4과 33.6%이었고, 하성평탄지는 사질답 57.8%, 하해혼성평탄지는 보통답 47.4%, 홍적대지는 미숙답이 75.7%이었다. 곡간 및 선상지형의 토성은 양토가 53.5%를 차지하고, 하성평탄지는 사양토 37.8%, 하해혼성평탄지에서는 미사질양토가

55.1%를 차지하고 있었다. 지형에 따라 pH와 유기물함량은 차이가 없었고, 유효인산은 홍적대지에서 224 mg kg⁻¹로 적정범위를 초과하였고, 치환성양이온은 곡간 및 선상지에서 Ca²⁺을 제외하고 모두 적정범위에 분포하였다. 유효규산은 112~127 mg kg⁻¹ 수준으로 모든 지형에서 적정수준에 미치지 못하였다. 토양 pH는 유효규산, 치환성 Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, CEC, 치환성 K⁺ 순으로 정의 상관관계, 토양유기물 함량은 CEC, 유효인산, 치환성 Ca²⁺, 유효규산과 정의 상관관계를 보였다. 논토양의 Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn은 토양오염우려기준의 약 10%, As는 약 20~30%수준으로 분포하고 있어 전북지역 논토양은 안전한 것으로 조사되었다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호 PJ00690-6162011)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

인용 문헌

- Ahn, B.K., J.H. Lee, and S.K. Ha. 2011. Relationships between soil physico-chemical properties and topography in Jeonbuk orchard fields. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(5):859-865.
- 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.* 48:301-306.
- Chung, J.B., M.K. Kim, B.J. Kim, and K.H. Kim. 1999. Comparison of micro-pipette method and hydrometer method in soil particle size analysis. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 32:274-278.

- Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis. pp. 383-411. In A. Klute(ed) Methods of soil analysis part I (2nd ed.). American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Hyeon, K.S., C.S. Park, S.J. Jung, and J. Moon. 1989. Physico-chemical properties of soils developed on the different topographies in Korea. *Korean J. Soc. Soil Sci.* 22:271-279.
- Jeollabuk-Do. 2007. Statistics system for status of Jeonbuk provincial government. Jeonbuk, (in Korea)
- Jung, S.J. and T.S. Kim. 1988. Topographic characteristics, formation and classification of soils developed in limestone. Konkuk University Master's Thesis.
- 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(5):280-289.
- Kim, S.K. 2008. Soil science. Greentomato, Seoul.
- Lee, Y.H., Y.K. Sonn, S.T. Lee, J.Y. Heo, M.K. Kim, E.S. Kim, W.D. Song, Y.S. Zhang, W.T. Jeon, and Y.S. Oh. 2012. Topographical chemical properties of paddy soils in Gyeongnam province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(2):143-148.
- ME (Ministry of Environment). 2002. Enforcement decree of the soil environment conservation act. Ministry of Environment, Korea.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2010. Method of soil and plant analysis. NIAST, Rural Development Administration, Korea.
- NIAST. 2000. Taxonomical classification of Korean soils. Suwon, Korea.
- NIAST. 2006. Fertilization standard of crop plants. NIAST, Rural Development Administration, Korea.
- Park, S.N., K.H. Kim, and J.Y. Kang. 2006. Accuracy and precision of spectrophotometric measurement of clay content in soils. *Korean J. Soc. Soil Sci.* 49:153-157.
- Sohn, B.K., J.S. Cho, J.G. Kang, J.Y. Cho, K.Y. Kim, H.W. Kim, and H.L. Kim. 1999. Physico-chemical properties of soils at red pepper, garlic and onion cultivation areas in Korea. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fert.* 32:123-131.
- Song, K.C., B.G. Hyun, Y.K. Sonn, C.W. Park, H.C. Chun, and Y.H. Moon. 2011. Taxonomical classification of Cheongweon series distributed on broad continental alluvial plains. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:1272-1278.
- 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(5):354-363.