

Long-term Investigation of Soil Chemical Properties in Paddy Fields Located in Different Topographic Areas of Jeonbuk Province

Byung-Koo Ahn*, Do-Young Ko, Chang-Kyu Lee, Jin-Ho Kim, Young-Ju Song, and Jin-Ho Lee¹

Jeollabuk-Do Agricultural Research and Extension Services, Iksan, 54491, Korea

¹*Department of Bioenvironmental Chemistry, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea*

(Received: May 9 2016, Revised: June 21 2016, Accepted: June 23 2016)

The aim of this study was to examine the selected soil chemical properties of paddy fields in different topographic areas to efficiently manage nutrient valances of the paddy fields in Jeonbuk Province. Three-hundred soil sampling sites in paddy fields were selected from the different topographic areas in Jeonbuk Province. The soil samples were collected every four years from 1999 to 2015. Soil pH and exchangeable K and Mg concentrations declined during the experimental periods. However, almost all the chemical properties were within the proper levels for paddy soil, except exchangeable Mg concentration. Distributed areas of the paddy fields with soil pH below 5.5 continuously increased, but the paddy fields with lower concentrations of soil organic matter and available P₂O₅ than the proper levels declined after 2007. In addition, the paddy fields with available SiO₂ below the proper concentration decreased from 83.3% of the total paddy fields studied in 1999 to 61.0% of the total fields investigated in 2015. The paddy fields with lower exchangeable K and Mg than the proper levels increased after 2003 whereas the fields with lower exchangeable Ca concentration decreased. Dominant landform of coastal and plain areas was fluvio-marine plains that was distributed in 53.7% and 40.9%, respectively. Local valley and fans was a dominant landform of mountainous and middle-mountainous areas, which was 51.8% and 67.6%, respectively. Dominant soil textures distributed in coastal and plain areas were silty loam and loam. Those in mountainous and middle-mountainous areas were sandy loam and loam, respectively. Soil pH was relatively higher in coastal area and the comparatively higher content of soil organic matter was found in coastal area than other areas. The concentrations of available P₂O₅, exchangeable Ca, and exchangeable Mg were generally higher in mountainous, coastal, plain areas, respectively, but available SiO₂ and exchangeable K concentrations were not significantly different among the different topographic areas.

Key words: Soil chemical property, Paddy field, Topographic area, Dominant landform

Mean values of selected soil chemical properties in paddy fields of Jeonbuk Province[†].

Year	pH	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. cations			Avail. SiO ₂
				K	Ca	Mg	
	(1:5)	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----	mg kg ⁻¹
1999	5.7c [‡]	23ab	131ab	0.41a	4.7c	1.5a	113c
2003	5.8ab	25a	135a	0.37ab	4.5c	1.4a	128bc
2007	5.8a	19c	108b	0.34b	4.8bc	1.4a	142b
2011	5.7bc	22b	122ab	0.24c	5.2ab	1.5a	119c
2015	5.5d	24a	125ab	0.24c	5.4a	1.1b	164a
Optimum range	5.5 ~ 6.5	20 ~ 30	80 ~ 120	0.20 ~ 0.30	5.0 ~ 6.0	1.5 ~ 2.0	157 <

[†]The data were brought from Ahn et al. (2012b), except 2015 data.

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

*Corresponding author: Phone: +82632906191, Fax: +82632906199, E-mail: ahnbk61@korea.kr

[§]Acknowledgement: This research was supported by Rural Development Administration (PJ0091982016), Korea.

Introduction

논은 우리에게 식량뿐만 아니라 홍수조절, 수자원 확보, 기후순화, 대기 및 수질 정화, 토양보전 등 다원적인 가치를 제공하고 있다. 친환경적이고 지속가능한 농업을 실천하고 농경지의 효율적인 이용과 생산성을 향상시키기 위해서 농경지 토양에 대한 과학적인 조사와 평가가 이루어져야 한다. 일반 농경지에 대해 주기적인 모니터링으로 얻어지는 토양특성은 토양비옥도 평가기준이 되고, 농업정책 수립과 연구 및 영농지도 등에 이용된다. 지금까지 농경지 양분관리는 생산성을 위한 비옥도관리에 초점이 맞추어져 있었지만, 양분불균형 해소와 집적된 양분관리 및 용탈 등에 의한 농업비점오염 감축을 위해 중요하게 되었다 (Ahn et al., 2012a; Cho et al., 2002; Lee et al., 2012).

토양 특성은 지형에 따라 다르게 발달했지만 (Jung and Kim, 1988), 좁은 지역에서 지형은 토양특성을 나타내는 가장 큰 요인이므로 농경지 토양특성을 지형별로 구분하여 조사하기도 한다. 우리나라 농경지가 분포되어 있는 지형은 하해혼성평탄지, 하성평탄지, 홍적대지, 곡간 및 선상지, 산록경사지, 구릉지, 산악지 및 용암류대지로 구분하며, 농경지 토양을 구성하는 모재와 생성형태가 다를지라도 논은 구릉지와 산악지를 제외한 나머지 지형에 분포하고 있다 (Hyeon et al., 1989). 하지만 전라북도의 논이 분포하고 있는 지형은 곡간 및 선상지 43.0%, 하성평탄지 15.0%, 하해혼성평탄지 39.3%, 홍적대지 2.7%로 구성되어있다 (Ahn et al., 2012a).

전라북도 농경지는 204,612 ha로 전국농경지의 12.0%를 차지하고 있으며, 전라북도 논 면적은 2014년 137,883 ha로 2013년에 비해 3,990 ha 감소하였다 (Jellabuk-Do, 2014). 지금까지 전북지역 논토양에 대한 연구는 쌀 증산을 위한 비옥도 관리에 관한 연구를 수행하여 왔고, 최근 지형에 따른 토양화학성과 증속흡수량을 조사하기도 하였다 (Lee et al., 2011, Ahn et al., 2012a; 2012b).

토양환경은 토양자체와 상관없이 주변 환경권으로부터 물질과 에너지가 왕래할 수밖에 없기 때문에 끊임없이 변화하는 매우 복잡한 공간이다. 토양은 빗물에 의해 하천과 강 등의 수로를 만들어 주고, 모암에서 바다까지 무기원소들의 이동통로가 되기도 한다. 또한 많은 양의 대기성분을 제거·공급하여 대기권 균형을 유지하고, 육지식물과 동물 잔재물을 처리·저장하며, 미생물의 다양한 서식지를 제공한다. 이러한 모든 과정은 기상과 주변환경에 의해 많은 영향을 받을 수 있다. 한편 전북의 기후는 동고서저형의 지형적 특성과 서해 영향으로 남북보다는 동서의 차가 크게 나타나며, 지형은 해안지대, 평야지대, 산간지대, 중산간지대로 나눌 수 있는 지리적 특성을 가지고 있다. 산간지대와 중산간지대는 대부분 갈색산림토가 분포하고, 평야지대와 해안지대는 적황색토가 분포하고 있다 (Kim et al., 2010). 나누어진 지대에 따라 기상

과 농업환경이 달라 주변 환경권에 의해 지대별로 분포하고 있는 논토양에도 영향을 미칠 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 전라북도 지대별로 분포하고 있는 논토양의 화학성 변화를 주기적으로 정점 조사하여, 논토양을 보다 효율적으로 관리할 수 있는 기초자료로 활용하기 위해 수행하였다.

Materials and Methods

시료채취 전북지역을 해안지대 (군산, 부안, 고창), 평야지대 (전주, 익산, 정읍, 완주, 김제), 산간지대 (무주, 진안, 장수), 중산간지대 (남원, 임실, 순창)로 분류하고, 각 지대에 분포하는 논토양 특성 변화를 조사하기 위해 지대별 면적과 토양환경을 고려하여 300개소 (해안지대 80개소, 평야지대 127개소, 산간지대 37개소, 중산간지대 56개소)를 선정하여 1999년부터 2015년까지 4년 주기로 동일한 지점을 조사하였다. 토양시료는 비료를 사용하지 전인 3~4월 사이에 토양표면의 이물질을 제거하고 soil auger를 사용하여 0~15 cm 깊이로 채취하였다.

토양분석 채취한 토양시료는 음지에서 건조하고 2 mm 체를 통과된 것을 분석용 시료로 사용하였다. 토양분석방법은 국립농업과학원의 토양화학분석법 (NIAS, 2010b)에 따라 실시하였다. 토성은 micro pipette법으로 분석하였으며, 판정은 미국농무부 분류기준을 따랐다 (Gee and Bauder, 1986). pH와 EC는 풍건토양과 증류수를 1:5 (w/v)로 혼합하고 30분 진탕 후 pH meter (Orion3 star, Thermo Scientific, Singapore)와 EC meter (ORION STAR A212, Thermo Scientific, Singapore)로 각각 측정하였다. 유기물은 Tyurin 법, 유효인산은 Lancaster법, 치환성양이온은 1 N CH₃COONH₄ (pH 7.0)으로 치환 추출하여 원자흡광분광도계 (GBC, Avanta)를 이용하여 분석하였으며, 유효규산은 1 M NaOAc (pH 4.0)의 가용성 규산으로 비색계 (Agilent 8453)를 사용하여 분석하였다.

통계분석 조사한 자료의 통계분석은 SPSS 18.0K (Statistical Package for the Social Science, SPSSKorea, Seoul, Korea)를 사용하여 5% 수준에서 Duncan's multiple range test를 하였다.

Results and Discussion

논토양 화학성 변화 전북지역 논토양을 1999년부터 2015년까지 4년 주기로 조사한 화학성분은 Table 1과 같다. 토양 pH는 2003과 2007년에 5.8을 유지하다가 점점 감소하여 2015년도에는 5.5 수준을 보였다. 벼 재배에 적합한 수준

(pH 5.5~6.5)을 보이고 있지만, 점점 감소하는 추세를 보여 농토양관리에 세심한 주의가 필요하다. 토양유기물함량은 2003년에 가장 높은 25 g kg^{-1} 수준을 보였다가, 2007년 조사에서는 19 g kg^{-1} 까지 감소한 후 2011년 조사 때부터 증가하는 경향을 보였다. 이러한 변화는 벼짚을 사료화 하면서 나타난 문제점을 보완하기 위해 지속적인 토양관리 교육과 홍보를 통해 나타난 결과로 보인다. 특히 일부 지자체에서 벼짚을 토양에 환원하는 경우 보조금을 지원하고 있기 때문에 향후에는 농토양의 유기물이 개선될 수 있을 것으로 기대된다 (Ahn et al., 2012b).

유효인산의 평균은 $108\sim 135 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 조사 시기 별로 큰 차이가 없었고, 벼 재배 적정범위에 근접한 수준을 보였다. 치환성 K은 $0.41 \text{ cmolc kg}^{-1}$ 에서 $0.24 \text{ cmolc kg}^{-1}$ 까지 점점 감소하여 적정범위에 이르렀고, 치환성 Ca은 치환성 K과 반대로 유의적으로 증가하여 적정 수준을 보였고, 치환성 Mg은 2011년까지 유의적인 변화가 없다가 2015년 조사에서는 감소하는 것으로 나타났다. 치환성 K과 Mg 감소 현상은 질소중심으로 시비가 이루어진 결과라고 판단된다. 특히 Mg 감소는 현재 흙토람에서 이루어지고 있는 시비처방이 질소, 인산, 칼리 중심으로 이루어지고 있어 나타나는 문제라고 판단되어 향후 고토를 보충할 수 있는 시비지도가 이루어져야 한다고 본다. 치환성 Ca 증가는 규산질비료 사용에 따른 영향으로 여겨진다.

유효규산 함량은 2007년까지 유의적인 증가를 하다가 2011년에는 119 mg kg^{-1} 수준으로 감소하였고, 2015년 조사에서는 164 mg kg^{-1} 으로 다시 증가하였다. Ahn et al. (2012b)의 보고에서 정점조사 지점간의 유효규산 함량의 최

소값과 최대값은 1999년 $35\sim 445 \text{ mg kg}^{-1}$, 2003년 $42\sim 413 \text{ mg kg}^{-1}$, 2007년 $5\sim 1,359 \text{ mg kg}^{-1}$, 2011년 $22\sim 548 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 크게 나타났다고 하였고, 2015년 조사에서도 $35\sim 633 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 편차가 크게 나타났다. 일부 친환경 농가들이 정부에서 공급하는 규산질비료 사용을 기피하는 경향이 있고, 조사지점 주변에 야작방치되고 있는 모습을 목격할 수 있었다. 따라서 규산질비료에 대한 오해를 해소하고, 벼에 대한 규산 효과와 토양환경에 미치는 영향 등에 관한 영농지도가 필요하다고 본다.

농촌진흥청에서 정한 우리나라 농토양의 화학성 적정범위 기준 (NIAS, 2010a)에 따라 전북 농토양의 조사결과를 적용한 결과 부족, 적정, 과다 비율은 Fig. 1과 같다. 농토양 pH의 부족범위 (pH 5.5 이하)는 1999년 39.7%에서 2007년 13.7%까지 감소하다가 이후 계속 증가하여 적정범위와 반대 경향으로 나타났다. 이는 유효규산함량 (Table 1) 결과에서 알 수 있듯이 규산질비료 사용과 관련이 있는 것으로 판단된다. 규산질비료는 가용성규산 25%, 알카리분 40%를 함유하고 있어 토양 pH를 올리는 효과가 있다 (Lee et al., 2005). 유기물의 부족비율은 2007년 66.3%로 가장 높았으나, 이후 점차 감소하는 경향을 보였다. 유효인산의 부족비율도 토양유기물의 경우와 같은 경향을 보였고, 유기물의 과다비율도 유효인산의 경우와 비슷한 변화를 보였는데, 이는 주재료를 가축분뇨로 사용한 퇴비 사용량과 관련이 있는 것으로 판단된다. 유효규산의 부족 비율은 1999년 86.3%로 가장 낮았으나 시간이 경과하면서 점차 개선되는 경향을 보였고, 2015년 조사에서는 61.0%로 감소하였다. 규산은 벼의 광합성, 병 저항성 및 질소 이용률을 증가시켜 수량과 미질을 개선하는 효과

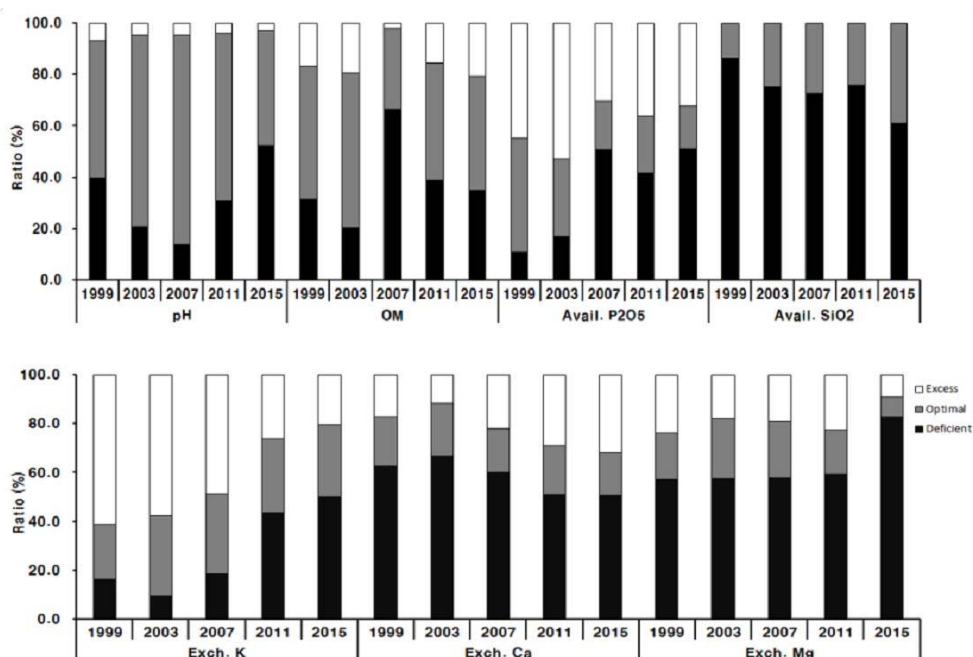


Fig. 1. Frequency distribution of selected soil chemical properties in paddy fields of Jeonbuk Province ($n=300$).

Table 1. Mean values of selected soil chemical properties in paddy fields of Jeonbuk Province [†].

Year	pH	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. cations			Avail. SiO ₂
				K	Ca	Mg	
	(1:5)	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _e kg ⁻¹	-----	mg kg ⁻¹
1999	5.7c [†]	23ab	131ab	0.41a	4.7c	1.5a	113c
2003	5.8ab	25a	135a	0.37ab	4.5c	1.4a	128bc
2007	5.8a	19c	108b	0.34b	4.8bc	1.4a	142b
2011	5.7bc	22b	122ab	0.24c	5.2ab	1.5a	119c
2015	5.5d	24a	125ab	0.24c	5.4a	1.1b	164a
Optimum range	5.5 ~ 6.5	20 ~ 30	80 ~ 120	0.20 ~ 0.30	5.0 ~ 6.0	1.5 ~ 2.0	157 <

[†]The data were brought from Ahn et al. (2012b), except 2015 data.

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

Table 2. Dominant landforms of paddy fields in different topographic areas of Jeonbuk Province.

Topographic Areas	Landform				
	Local valley and fans	Piedmont slope	Alluvial plains	Fluvio-marine plains	Diluvial terrace
	----- % -----				
Coastal (80) [†]	30.0	3.8	11.2	53.7	1.3
Plain (127)	33.1	0.8	19.7	40.9	5.5
Mountainous (37)	51.8	10.7	33.9	-	3.6
Middle-mountainous (56)	67.6	5.4	21.6	-	5.4

[†]() : sample number.

(Cho et al., 2006)가 있어 정부에서 1957~1997년에는 9년 1주기, 1998~1999년에는 6년 1주기, 2000년도에는 5년 1주기, 2001~2007년에는 4년 1주기, 2008년 이후 3년 1주기로 규산질비료를 공급하여 왔다.

치환성 K의 부족비율은 2003년 9.3%까지 감소하다 이후에는 증가하였는데, 조사기간 동안 적정비율은 변화가 없고, 대신 초과비율이 감소하여 부족비율이 증가한 것으로 나타났다. 이는 전체적으로 치환성 K이 감소하고 있음을 의미하며, 비료사용처방에 있어서 칼리질비료 시비관리에 주의를 기울일 필요가 있다. 치환성 Ca²⁺의 부족비율은 2003년 66.7%에서 2015년 50.7%로 점차 감소하였고, 과잉비율은 점점 증가하였으며, 치환성 Mg²⁺의 부족비율은 점점 증가하였다. Table 1에서 언급한 바와 같이 조사지점간에 유효규산 함량의 차이가 큰 것과 관련이 있는데, 이는 논에서 Ca과 Mg의 주요 공급원인 규산질비료 사용량 차이가 큰 영향일 것이다. 특히 Mg은 밀질과 밀접한 관련이 있고, 비료사용처방서에서 고토 비료 공급 방안이 미비하여 개선할 필요가 있다.

지대별 논토양 특성 전라북도 논토양이 분포하고 있는 지형을 살펴보면 Table 2에서 보는 바와 같이 곡간 및 선상지, 산록경사지, 하성평탄지, 하해혼성평탄지, 홍적대지로 구성되어 있어 Ahn et al. (2012a)이 보고한 내용과 다른 것은

산록경사지가 추가되었다. 이는 국립농업과학원에서 토양조사자료를 토대로 작성된 토양환경정보시스템을 적용하면서 달라진 것이다. 지대별로 지형분포를 살펴보면 해안지대와 평야지대는 하해혼성평탄지가 각각 53.7과 40.9%로 가장 많이 분포하고, 해안지대의 경우 홍적대지가 1.3%, 평야지대의 경우 산록경사지가 0.8%로 가장 낮은 분포를 보였다. 산간지대는 곡간 및 선상지가 51.8%, 하성평탄지 33.9%, 산록경사지 10.7%, 홍적대지 3.6% 순으로 분포하고 있었으며, 중산간지대는 곡간 및 선상지 67.6%로 가장 많고, 하성평탄지 21.6%, 산록경사지와 홍적대지가 각각 5.4% 분포하였다. 모든 지대에 곡간 및 선상지 30.0~67.6%, 하성평탄지 11.2~33.9% 수준으로 분포하고 있었다. Ahn et al. (2012a)에 따르면 전북 지역 논토양의 지형은 곡간 및 선상지 43.0%로 가장 많이 분포한다고 하였고, 우리나라 밭의 지형도 곡간 및 선상지에 가장 많이 분포한다고 하였다 (Kim, 2008). 하천이나 강물에 의해 운반된 토양입자가 퇴적되어 이루어진 하성평탄지는 토양발달이 미진하지만 다양한 토양이 분포한다. 한편 홍적대지는 해안지대와 평야지대에서만 분포하고 있었고, 거의 침식이 없고, 충적물이 별로 퇴적되지 않아 식양질토양으로 발달된다고 한다 (Song et al., 2011). Table 3에서도 해안지대나 평야지대에서 식양질토양이 많은 부분을 차지하는 것으로 나타났다.

Table 3. Soil texture of the paddy fields in different zone of Jeonbuk Province.

Topographic Areas	Soil texture				
	Silty clay loam	Silt loam	Sandy loam	Clay loam	Loam
	----- % -----				
Coastal (80) [†]	6.3	48.7	2.5	7.5	35.0
Plain (127)	11.8	39.4	7.1	1.6	40.1
Mountainous (37)	2.7	18.9	40.6	-	37.8
Middle-mountainous (56)	-	21.4	14.3	-	64.3

[†]() : sample number.

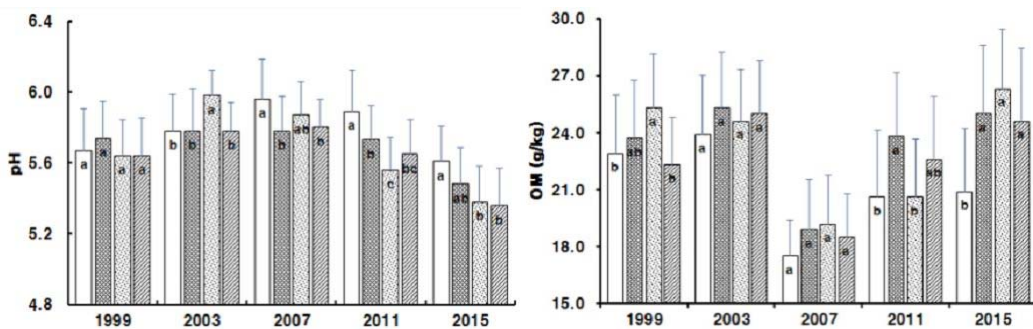


Fig. 2. Soil pH and soil organic matter (OM) contents in the paddy fields located in different topographic areas in Jeonbuk Province. Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan test, $p < 0.05$). Bars represent one standard deviation of the mean. □, Coastal zone; ▨, Plain zone; ■, Mountainous zone; ▩, Middle-mountainous zone.

전라북도 논토양의 토성은 미사질식양토, 미사질양토, 사양토, 식양토, 양토 등으로 나타났다. 지대별 토성분포 비율은 Table 3에서 보는 바와 같이 해안지대는 미사질양토와 양토가 각각 48.7과 35.0%로 대부분을 차지하였고, 사양토는 2.5%로 가장 적었다. 평야지대는 미사질양토와 양토가 각각 39.4와 40.1%를 차지하고 있으며, 미사질식양토와 사양토가 각각 11.8과 7.1%였고, 식양토는 1.6% 분포하고 있었다. 앞에서 언급한 바와 같이 해안지대와 평야지대는 식양토양이 대부분을 차지하고 있었다. 산간지대는 사양토가 40.6%로 가장 많았고, 미사질식양토가 2.7%로 가장 적었지만, 중산간지대는 양토가 64.3%로 가장 많았고, 미사질양토와 사양토가 각각 21.4와 14.3%로 나타났다.

지대별 화학성 변화 지대별 토양 pH 변화를 살펴보면 1999년 조사에서는 차이가 없었지만, 2003년도에는 산간지대, 2007년 이후에는 해안지대에서 가장 높았지만, 전체적인 평균은 점차 감소하였다 (Fig. 2). 따라서 모든 지대에서 토양 pH의 적정범위를 유지할 수 있는 석회질비료 사용 처방이 이루어질 것으로 본다. 토양유기물 함량 변화는 1999년의 경우 산간지대에서 25 g kg^{-1} 으로 가장 높았고, 2003년과 2007년에는 지대간에 유의적인 차이가 없었지만, 유기물함량이 전체적으로 크게 감소한 시기였다. 2011년에는 평야지대가 24 g kg^{-1} 로 가장 높았지만, 2015년도에는 해안지대를 제외하고

$25 \sim 26 \text{ g kg}^{-1}$ 으로 차이가 없었다. 따라서 해안지대인 고창, 부안, 군산지역 논의 유기물 증량을 위해 녹비작물 재배나 비료사용처방에 의한 토양관리 지도가 이루어져야 하겠다.

Fig. 3은 유효인산과 유효규산함량 변화를 지대별로 조사한 결과이다. 1999년과 2003년도에 조사한 유효인산은 지대간에 차이가 크지 않았지만, 2007년부터 지대별로 편차가 크게 나타났다. 1999년도에는 지대간에 유의적인 차이가 없었지만, 2003년도에는 가장 낮은 해안지대를 제외하고 같은 수준을 보였고, 2007년에는 해안지대와 중산간지대가 $77 \sim 99 \text{ mg kg}^{-1}$ 로 낮았고, 산간지대는 142 mg kg^{-1} 으로 가장 높았다. 그러나 2015년 조사에서는 해안지대 86 mg kg^{-1} , 산간지대 187 mg kg^{-1} 으로 차이가 더 벌어졌다. 이는 친환경인증 농가에서 화학비료 대신 유박종류의 유기질비료 사용에 따른 결과로 판단된다. 국립농산물품질관리원 (2015) 통계자료에 따르면 전라북도 해안지대의 친환경인증 면적은 3,626 ha, 산간지대 2,131 ha로써, 지대별 화학비료 사용량은 산간지대보다 해안지대가 적었을 것으로 판단할 수 있다.

지대에 따라 유효규산함량은 2011년 조사를 제외하고 대체로 증가하는 경향을 보였고, 조사 시기마다 통계적인 유의차는 없었다.

지대별로 논토양의 치환성 양이온 (K, Ca, Mg) 변화를 Fig. 4에 표시하였다. 지대에 따라 치환성 K, Mg은 감소하였고, Ca은 증가하는 경향을 보였다. 치환성 K의 경우 2011년

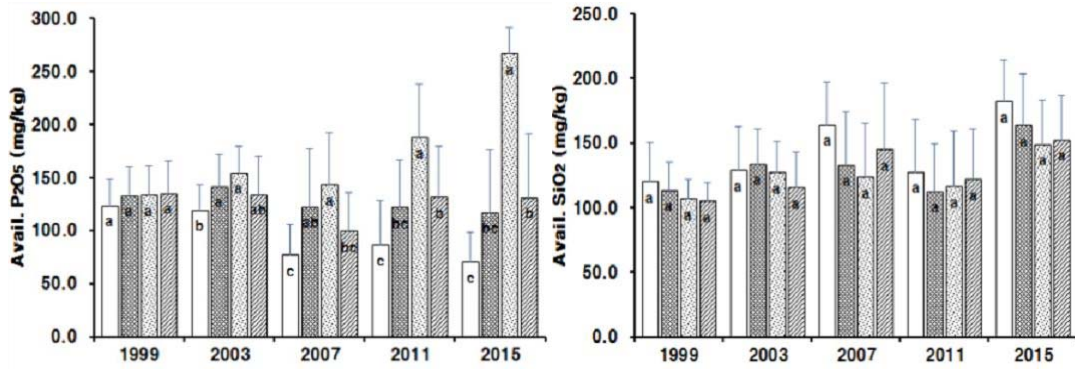


Fig. 3. The concentrations of available P₂O₅ and SiO₂ in the paddy fields located in different topographic areas in Jeonbuk Province. Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan test, $p < 0.05$). Bars represent one standard deviation of the mean. □, Coastal zone; ■, Plain zone; ■, Mountainous zone; ▨, Middle-mountainous zone.

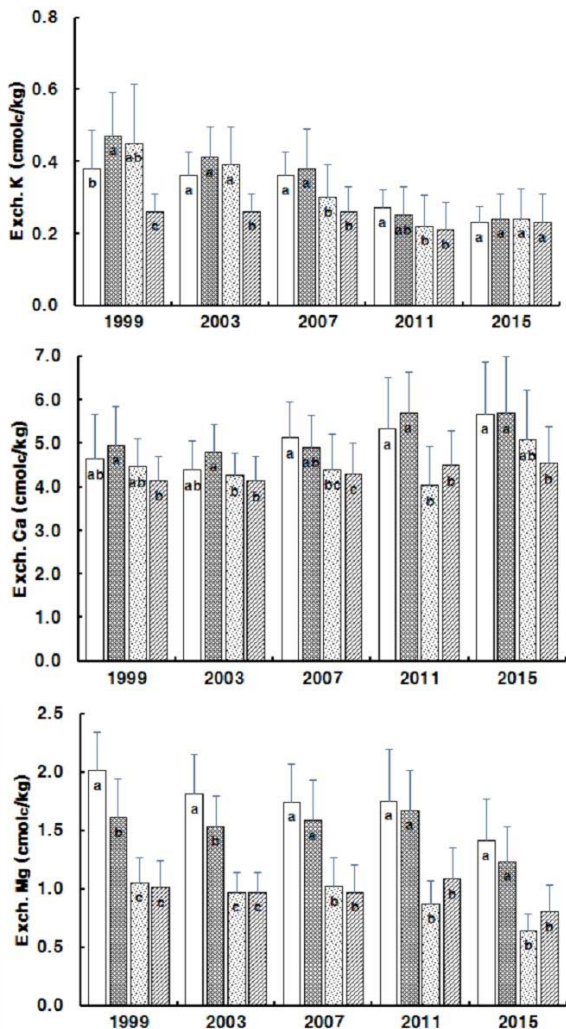


Fig. 4. The concentrations of exchangeable cations (K, Ca, and Mg) in the paddy fields located in different topographic areas in Jeonbuk Province. Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan test, $p < 0.05$). Bars represent one standard deviation of the mean. □, Coastal zone; ■, Plain zone; ■, Mountainous zone; ▨, Middle-mountainous zone.

까지는 평야지대가 가장 높았고, 중산간지대가 낮은 수준을 보였지만, 2015년 조사에서는 지대간에 유의적인 차이는 없었다. 그러나 지대별 평균값은 전체적으로 감소하는 경향이었지만, 농토양 적정범위 ($0.2 \sim 0.3 \text{ cmole kg}^{-1}$)에 분포하고 있었다. 이는 정부의 화학비료 감축정책에 따라 적절한 비료사용을 위해서 토양검정에 의한 비료사용처방에 따라 영농이 이루어지고 있는 결과로 판단된다. 치환성 Ca은 조사시기마다 평야지대와 해안지대에서 높았고, 중산간지대와 산간지대에서 낮았다. 조사하는 동안 지대별로 증가하는 경향을 보였고, 중산간지대 ($4.5 \text{ cmole kg}^{-1}$)를 제외하고 모두 적정범위 ($5.0 \sim 6.0 \text{ cmole kg}^{-1}$)에 분포하고 있었다. 이와 같이 치환성 Ca의 증가는 규산질비료 사용에 따른 결과로 판단된다. 치환성 Mg은 조사 시기에 따라 해안지대 또는 해안지대와 평야지대가 높았고, 산간지대와 중산간지대가 낮았다. 해안지대의 경우 치환성 Mg은 농토양 적정범위 ($1.5 \sim 2.0 \text{ cmole kg}^{-1}$) 수준이었지만, 나머지 지대는 적정범위보다 낮았다. 이는 과거 바다의 영향 때문에 치환성 Mg 함량이 높게 나타나고, 하해 혼성 층적층을 조사한 Yang et al. (2009)의 결과에서도 $2.0 \sim 3.8 \text{ cmole kg}^{-1}$ 을 보여 일반 농경지보다 높게 나타났다. 전북지역의 농토양은 대부분 만경-동진수계에 분포하고 있어 경운작업이나 장마기 또는 홍수시 토양침식에 의해 여러 물질이 수계에 쉽게 유입되고, 이로 인해 과다한 토양입자나 비료성분 등이 비점오염원이 되므로 적절한 비료 사용관리가 필요하다. 따라서 동절기에 녹비작물을 재배하여 지력을 증진하거나 주기적인 토양검정에 의한 시비처방에 따라 토양관리가 이루어져야 한다.

Conclusion

전북지역 농토양 양분관리를 위해 지대별 분포면적을 고려하여 300 지점을 1999년부터 2015년까지 4년 주기로 토양화학성을 조사하였다. 토양 pH, 치환성 K, Mg은 점점 감소하였고, 조사한 화학성 가운데 치환성 Mg을 제외하고 농토양

적정범위를 보였다. pH의 부족범위 (pH 5.5 이하)는 2007년 이후 계속 증가하고, 유기물함량과 유효인산의 부족비율은 2007년 이후 감소하였고, 유효규산의 부족비율은 1999년 86.3%에서 2015년 61.0%로 감소하였다.

치환성 K과 Mg의 부족비율은 점점 증가하였고, 치환성 Ca의 부족비율은 2003년 이후 감소하였다. 해안지대와 평야지대는 하해혼성평탄지가 각각 53.7과 40.9% 분포하고 있고, 산간지대와 중산간지대는 곡간 및 선상지가 51.8%와 67.6% 분포하고 있었다. 해안지대는 미사질양토와 양토가 각각 48.7과 35.0%, 평야지대는 미사질양토와 양토가 각각 39.4와 40.1%, 산간지대는 사양토가 40.6%, 중산간지대는 양토가 64.3%로 나타났다. 지대별 논토양의 화학성분 변동에서 pH는 해안지대에서 높았고, 유기물함량은 해안지대에서 가장 낮았다. 유효인산은 산간지대에서 높았고, 유효규산은 지대간에 통계적 유의성이 없었다. 치환성 K은 점점 감소하여 지대간에 차이가 없었고, 치환성 Ca과 Mg는 해안지대와 평야지대에서 높았다. 전북지역의 논은 대부분 만경-동진수계에 분포하고 있어 경운작업이나 장마기에 토양침식으로 토양입자나 과도한 비료성분 등이 비점오염원이 되므로 적절한 비료 사용관리가 필요하다. 녹비작물 재배나 주기적인 토양검정에 의한 시비처방에 따라 토양관리가 이루어져야 한다.

References

- Ahn, B.K., J.H. Lee, K.C. Kim, H.G. Kim, S.S. Jeong, H.W. Jeon, and Y.S. Zhang. 2012a. Changes in chemical properties of paddy soils as influenced by regional topography in Jeonbuk province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(3):393-398.
- Ahn, B.K., S.S. Kang, J.Y. Shin, and J.H. Lee. 2012b. Long-term investigation of regional topographic effects on soil chemical properties and heavy metal concentrations in paddy fields. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(5):738-743.
- 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.
- Cho, Y., W. Jeon, C. Park, K. Park, and U. Kang. 2006. Study of nutrient uptake and physiological characteristics of rice by 15N and purified Si fertilization level in a transplanted pot experiment. *Korean J. Crop Sci.* 51(5): 408-419.
- Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis. In *Methods of soil analysis, Part In A. Klute(2nd Ed.)*, American Society of Agronomy, Madison, USA. pp.383-411
- 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. Fert.* 22: 271-279.
- Jeollabuk-Do. 2014. 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.G., H.K. Jeong, J.K. Jang, and T.H. Kim. 2010. Strategies for developing future agricultural technology to cope with climate change in Jeonbuk Province. Korea Rural Economic Institute.
- Kim, S.K. 2008. Soil science. Greentomato, Seoul.
- Lee, C.H., M.S. Yang, K.W. Chang, Y.B. Lee, K.Y. Chung, and P.J. Kim. 2005. Reducing nitrogen fertilization level of rice (*Oryza sativa* L.) by silicate application in Korean paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38(4):194-201.
- Lee, S.B., K.M. Cho, C.H. Yang, Y.J. Oh, T.I. Park, and K.J. Kim. 2011. Effects of split application of SCB liquid fertilizer on rice yield and soil chemical property in Honam plain field. *Korean J. Crop Sci.* 56(2):140-145.
- 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.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science). 2010a. Fertilization standard of crop plants. NIAS, Rural Development Administration, Korea.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science). 2010b. Method of soil and plant analysis. NIAS, Rural Development Administration, Korea.
- Song, K.C., B.G. Hyun, Y.K. Sonn, C.W. Park, H.C. Chun, and Y.H. Moon. 2011. Taxonomical classification of Cheongwon series distributed on broad continental alluvial plains. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:1272-1278.