ISSN 0367-6315 (Print) / ISSN 2288-2162 (Online)
Korean J. Soil Sci. Fert. 48(5), 436-441 (2015)
http://dx.doi.org/10.7745/KJSSF.2015.48.5.436

Article

Status and Changes in Chemical Properties of Paddy Soil in Gyeonggi Province

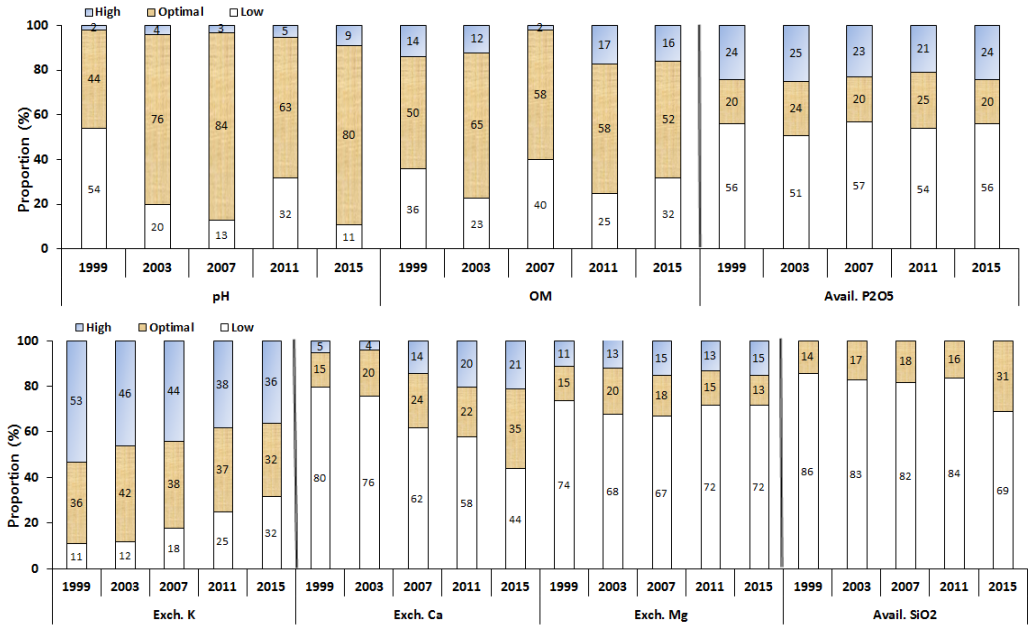
Ahn-Sung Roh, Jung-Su Park, Yoo-Hak Kim[1], and Seong-Soo Kang[1]*

Gyeonggido Agricultural Research & Extension Services, Hwaseong, 18388, Korea
[1]Division of Soil and Fertilizer, RDA-NAAS, Wanju, 55365, Korea

(Received: August 20 2015, Revised: October 11 2015, Accepted: October 12 2015)

The chemical properties of paddy fields in Gyeonggi province were monitored every 4 years from 1999 to 2015 in order to provide basic information for soil fertility management of paddy fields. In 2015, the soil chemical properties of paddy fields were 5.9 in pH, 23 g kg^{-1} in organic matter (OM), and 84 mg kg^{-1} in available phosphate (Avail. P_2O_5). Exchangeable (Exch.) potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg) were 0.30, 5.1 and 1.3 $cmol_c$ kg^{-1}, respectively, and available silicate (Avail. SiO_2) was 129 mg kg^{-1}. In the long-term analysis, the contents of Avail. SiO_2, Exch. Ca and pH of paddy soils showed increasing tendency. However, Avail. P_2O_5 and Exch. K tended to decrease, and there were no significant changes in the contents of OM and Exch. Mg. Paddy soil within appropriate pH range increased from 44% in 1999 to 76% in 2003, 84% in 2007, 63% in 2011, and 80% in 2015. But soil within appropriate range of Exch. Ca tended to decrease, showing 36% in 1999, 42% in 2003, 38% in 2007, 37% in 2011 and 32% in 2015. In case of Avail. SiO_2, soil within appropriate range increased from 14% in 1999 to 17% in 2003, 18% in 2007, 16% in 2011, and 31% in 2015. As a result, paddy fields with less in nutrient level need to be more fertilized based on soil analysis. And the application of silicate fertilizer is strongly recommended to those of paddy fields in need. Also soil management such as the cultivation of green manure crop or application of rice straw will be necessary to increase the organic matter content of paddy soil.

Key words: Available silicate, Optimal range, Paddy soil, Soil chemical property



The Frequency distribution of excess, optimal and deficient ranges of chemical properties of paddy soils in Gyeonggi province (n=240).

*Corresponding author : Phone: +82632382403, Fax: +82632383822, E-mail: sskang33@korea.kr
§Acknowledgement : This study was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ009198082015)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

최근에는 농경지의 농업환경을 보전하면서 소비자에게 안전한 먹거리를 제공하고 생산자에게는 소득을 보장하기 위한 친환경농업의 중요성이 강조되고 있다. 따라서 친환경농업을 위하여 농경지에 대한 생산성 변동을 파악하고 농업환경을 균형있게 유지하기 위해서는 농경지에 대한 화학성 변동 조사사업이 요구된다. 우리나라 농경지에 대한 토양비옥도 조사의 시작은 1958년부터 1963년에 전국 토양개량조합과 시군농촌지도소가 토양을 채취하고 식물환경연구소에서 분석을 한 것을 시작으로 볼 수 있다 (Kim et al., 1963). 이후 1964년부터 1968년까지 토양비옥도사업이 실시되었고 1980년부터 1989년까지 농토배양 10개년 사업에 따라 토양조사사업이 추진되었다 (RDA, 1989). 논토양 비옥도에 대한 조사는 1990년과 1995년에 1,168개 동일한 지점의 토양화학성을 조사 분석하여 Jung et al. (1998)이 보고하였다. 1998년도에는 친환경농업 육성법이 시행되고 토양자원 및 농업환경 실태조사가 추진되어 1999년부터 농촌진흥청과 각 도의 농업기술원이 참여하는 전국적인 규모의 농업환경변동조사가 시작되어 수행되어 오고 있다. Kim et al. (2010)은 2007년까지의 농업환경변동조사에 따른 논토양 화학성과 토양 질 지표의 변동을 보고하였다. Kang et al. (2012)은 2011년 우리나라 논토양 2,070 지점의 평균 화학성을 분석하여 pH 5.9, 유기물 26 g kg^{-1}, 유효인산 131 mg kg^{-1}, 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 각각 0.30, 5.1, 1.25 $cmol_c$ kg^{-1}, 유효규산 146 mg kg^{-1}으로 보고하였다. 경기지역은 유효인산 함량 84 mg kg^{-1}, 유효규산 함량 118 mg kg^{-1}으로 전국평균보다 다소 낮았으며 유효인산은 적정범위에 포함되었으나 유효규산은 적정기준보다 낮았다 (RDA, 2012). 이와 같이 전국규모 또는 지역단위의 주기적인 논토양 화학성 조사 및 평가는 논토양 특성의 변화를 조기에 감지하여 비옥도 증진을 위한 정책 또는 기술개발에 활용될 수 있다. 따라서, 본 연구의 목적은 1999년부터 2011년까지 4년 1주기로 조사해 온 경기지역 논토양 240 지점을 대상으로 2015년에 화학성을 조사·분석하여 논토양의 비옥도 현황과 변동을 평가하고자 하였다.

Materials and Methods

논토양 지점 선정 및 시료채취 방법 경기지역 논토양의 화학성 변동을 주기적으로 조사하기 위하여 1999년에 시군별로 토양 유형, 지형 및 토성 분포면적 비율을 고려하여 Table 1과 같이 경기도 내 17개 시군에서 총 240지점을 선정하여 2015년까지 4년 주기로 동일한 지점을 조사하였다 (Choi and Yun, 1989). 채취한 지점의 토양유형, 지형, 토성, 배수등급별 점수는 Table 3과 같다. 토양시료 채취는 3월부터 4월 사이에 지점 당 5곳에서 표토 0～15 cm 깊이에서 토양시료채취기를 이용하여 채취하였다.

화학성 분석방법 채취한 토양은 그늘에서 5～7일간 풍건하여 고무망치로 입자를 분리시킨 후 2 mm 체를 통과시켜 조제하였다. 토양의 화학성 분석은 농촌진흥청 토양화학분석법 (NAAS, 2010a)에 따라 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5 (w/w)로 희석하여 진탕한 후 pH meter (Orion 3 Star, Thermo Scientific)로 측정하였고, 유기물 함량은 Tyurin법으로, 유효인산은 Lancaster법으로, 치환성양이온은 1.0 M NH_4OAc (pH 7.0)법으로 분석하였다. 유효규산은 1.0 M NaOAc (pH 4.0)로 침출하여 비색계 (Lambda-650, Perkin elmer)를 이용하여 정량하였다. 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등의 양이온은 1.0 M NH_4OAc로 추출하여 원자흡광 분광광도계 (Integra XL, GBC)로 분석하였다. 조사된 논토양 화학성 평균의 연차간 변화를 분석하였고, 2013년 제2차 농업환경자원 변동평가 워크숍 (RDA, 2013)에서 제안한 토지이용별 토양화학성 적정범위 변경안에 따라 논토양 화학성 적정범위를 기준으로 부족, 적정, 과다비율을 구하여 연차별 변화를 비교하였다. 변경된 논 토양화학성 적정범위는 기존의 작물별시비처방기준 (NAAS, 2010b)의 유기물 25～30 g kg^{-1}, 치환성 칼륨 0.25～0.30 $cmol_c$ kg^{-1}, 유효규산 157～180 g kg^{-1}에서 유기물 20～30 g kg^{-1}, 치환성 칼륨 0.20～0.30 $cmol_c$ kg^{-1}, 유효규산 157 g kg^{-1} 이상이었다.

통계분석 연도 간 화학성 차이 등의 통계분석은 Sigmaplot V11.0을 사용하였다. 분산분석과 연도 간 화학성의 차이에 대한 검정은 모든 화학성 변수들이 정규성과 등분산성을 만족하지 못하여 비모수통계기법인 *Kruskal-Wallis* ANOVA on Rank를 하였고, 연도 간 차이검정은 시료 수가 같아 Tukey 검정을 이용하였고 토양특성별 차이검정은 시료 수가 달라서 Dunn's test로 검정하였다 (Sigmaplot, 2008).

Table 1. The number of paddy soil samples in Gyeonggi province.

Region	Hwa seong	Pyeong taek	An seong	Yang pyeong	I cheon	Pa ju	Yong in	Gim po	Yeon cheon	Ga pyeong	Yeo ju	Go yang	Yang ju	Si heung	Po cheon	Gwang ju	An san
No. of Sample	32	29	22	21	19	18	15	15	15	10	9	8	8	6	6	5	2

Results and Discussion

연도별 논토양 화학성 1999년부터 2015년까지 4년 주기로 조사한 논토양 화학성의 평균, 중앙값 및 최대값과 최소값의 범위는 Table 2와 같다. 2015년의 논토양 pH 평균은 5.9 (5.0～7.5), 유기물 함량은 23.4 (5.1～55.0) g kg^{-1}, 치환성칼륨, 칼슘, 마그네슘은 각각 0.3, 5.1, 1.31 $cmol_c$ kg^{-1} 이었으며, 유효규산 함량은 129 mg kg^{-1}이었다. 논토양의 화학성 적정범위 (RDA, 2013)와 비교하여 pH, 유기물, 치환성 K, Ca는 평균과 중앙값 모두 적정범위에 속하였다. 치환성 Mg와 유효규산은 적정범위 미만이었고, 유효규산은 평균으로 평가시 적정범위에 속하였으나 중앙값은 적정범위보다 낮았다. pH는 1999년 5.4에서 2003년과 2007년 5.8, 2011년 5.7, 2015년 5.9로 증가하여 왔다. 유기물 함량은 1999년 22.5에서 2011년 24.0으로 증가하였고 2015년 23.4 g kg^{-1}으로 다소 감소하였으나 적정범위 수준이었다. 그러나 유효인산 (Avail. P_2O_5)은 1999년 94에서 2015년 84 mg kg^{-1}으로 감소하였고, 치환성 칼륨은 1999년 0.34에서 2007년 0.31 수준으로 감소하였고 2011년과 2015년에는 변화없이 0.30 $cmol_c$ kg^{-1}이었다. 치환성 칼슘은 1999년 4.0에서 2015년 5.1 $cmol_c$ kg^{-1}으로 증가하였고, 치환성 마그네슘은 1999년 1.2에서 2003년 1.3으로 증가하여 2015년까지 유지되었다. 유효규산 (Avail. SiO_2)은 1999년 102에서 2015년 129 mg kg^{-1}까지 지속적으로 증가하였으나 적정범위 이하였다. 논토양 화학성 평균 중에서 pH, 유기물, 유효인산은 적정범위 이내에서 변동하였으며, 치환성 칼륨은 2011년, 2015년 치환성 칼슘은 2015년에 적정범위 이내였다. 치환성 마그네슘과 유효규산 평균은 적정범위에 미달되는 수준을 나타냈다. 조사연도별 차이의 유의성 비교를 위한 분산분석을 실시하였다. 화학성 변수들이 정규분포를 따르는지를 판단하기 위하여 Shapiro-Wilk Normality test를 한 결과 정규성을 만족하지 못하였으며 또한 등분산성도 충족하지 못하였다. 따라서 비모수통계기법인 *Kruskal-Wallis* ANOVA on Rank을 하였고, 연도 간 차이검정은 Tukey test on ranks로 중앙값을 비교하였다 (Sigmaplot, 2008). 유효인산과 치환성 Mg은 모든 연도 간 중앙값의 차이가 유의성을 보이지 않았다. 2011년도에 비하여 pH, 치환성 Ca, 유효규산이 증가하였으나 pH만 유의성을 보였다.

토양특성별 화학성 비교 2015년 논토양의 화학성을 토양 유형, 지형, 토성, 배수등급과 같은 토양특성의 항목별로 구분하여 중앙값을 Table 3에 나타냈다. 토양특성별 변수들 중 치환성 칼슘만이 정규분포와 등분산 조건을 만족시켰으나 그 외 화학성들은 모두 그렇지 못하여 비모수통계기법인 *Kruskal-Wallis* 분산분석 후, 토양특성 등급 별 시료수가 달라 Dunn's test를 이용하여 등급별 차이의 유의성을

Table 2. Chemical properties of paddy soils in Gyeonggi province.

Year	Statistics	pH	OM	Avail. P_2O_5	Exch. Cation			Avail. SiO_2	Number of sample
					K	Ca	Mg		
		(1:5)	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	---------- $cmol_c$ kg^{-1} ----------			mg kg^{-1}	
1999	Average	5.4	22.5	94	0.34	4.0	1.2	102	240
	Median	5.4d	22.0bc	71a	0.32a	4.0c	1.0a	79c	
	Min.-Max.	4.5-6.8	8.0-39.0	17-381	0.10-1.21	1.3-7.4	0.2-4.8	27-518	
2003	Average	5.8	23.0	92	0.33	4.1	1.3	106	240
	Median	5.7bc	23.0abc	77a	0.29ab	4.0c	1.1a	95bc	
	Min.-Max.	4.8-8.4	4.0-47.0	10-320	0.10-2.11	1.9-7.6	0.2-4.6	23-368	
2007	Average	5.8	20.7	86	0.31	4.5	1.3	108	240
	Median	5.8ab	21.0d	69a	0.29bc	4.2b	1.1a	102b	
	Min.-Max.	5.0-7.0	8.0-36.0	11-262	0.09-1.23	1.5-9.3	0.4-5.2	28-266	
2011	Average	5.7	24.0	84	0.30	4.7	1.3	118	240
	Median	5.7c	23.8a	74a	0.27bc	4.7ab	1.1a	112a	
	Min.-Max.	4.8-7.5	5.7-39.8	10-282	0.07-0.86	1.3-7.4	0.2-3.8	31-249	
2015	Average	5.9	23.4	84	0.30	5.1	1.3	129	240
	Median	5.9a	23.0ab	71a	0.27c	5.2a	1.1a	124a	
	Min.-Max.	5.0-7.5	5.1-55.0	8-296	0.06-1.11	0.6-8.6	0.2-3.8	36-341	
Optimum range		5.5-6.5	20-30	80-120	0.20-0.30	5.0-6.0	1.5-2.0	157<	-

†Medians by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Tukey test using ranks.

Table 3. Chemical properties of paddy soils according to soil characteristics in Gyeonggi province.

Soil characteristics		pH	EC	OM	Avail. P_2O_5	Exch. Cation			Avail. SiO_2	Number of sample
						K	Ca	Mg		
		(1:5)	dS m^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	----------	$cmol_c$ kg^{-1}	----------	mg kg^{-1}	
Paddy field type	Immature	5.7 b†	0.41 bc	23.3 a	55 a	0.30 ab	5.2 ab	1.35 ab	132 a	25
	Sandy	5.8 b	0.37 c	23.0 a	88 a	0.26 b	5.0 b	0.95 c	115 a	116
	Wetted	6.0 ab	0.35 c	22.7 a	64 a	0.22 b	4.4 b	0.95 bc	113 a	26
	Salty	7.0 a	1.44 a	12.3 a	56 a	0.66 a	7.0 a	2.89 a	189 a	7
	Normal	6.0 ab	0.56 b	23.7 a	55 a	0.27 b	5.5 ab	1.32 abc	124 a	58
Topography	Valleys	5.9 a	0.37 b	23.0 a	61 b	0.24 b	5.2 a	1.14 b	144 a	53
	River plains	5.8 a	0.34 b	23.4 a	99 a	0.24 b	4.4 b	0.83 c	116 a	87
	Fluvio-marine	6.0 a	0.62 a	22.2 a	54 b	0.29 a	5.6 a	1.59 a	109 a	81
Soil texture	Sandy loam	5.9 a	0.33 c	21.7 a	104 a	0.24 b	4.6 c	0.73 b	145 a	57
	Loam	5.8 a	0.38 bc	23.4 a	69 ab	0.22 b	4.9 abc	1.10 b	126 a	63
	Silt loam	6.0 a	0.54 ab	22.6 a	65 b	0.28 b	5.3 ab	1.25 a	109 a	103
	Silt clay loam	5.6 a	0.54 a	25.1 a	48 b	0.41 a	5.6 a	2.00 a	131 a	17
Drainage class	Very poorly drained	6.0 a	0.35 b	23.4 a	61 a	0.23 b	4.4 a	0.96 b	114 a	27
	Poorly drained	6.1 a	1.36 a	19.9 a	52 a	0.51 a	5.4 a	2.98 a	166 a	12
	Somewhat poorly drained	5.9 a	0.47 b	23.7 a	72 a	0.26 b	5.3 a	1.14 b	109 a	134
	Moderately well drained	5.8 a	0.33 b	21.2 a	72 a	0.28 b	4.7 a	1.08 b	134 a	63
	Well drained	6.2 a	0.44 ab	19.3 a	40 a	0.31 ab	6.2 a	1.02 b	185 a	4
Total		5.9	0.41	23.0	71	0.27	5.2	1.14	124	240
Optimum range		5.5-6.5	2이하	20-30	80-120	0.20-0.30	5.0-6.0	1.5-2.0	157<	

†Medians by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Dunn's method using ranks.

검정하였다. pH는 염해답에서 7.0으로 가장 높았고 사질답과 미숙답에서 낮았다. 그 외 특성에서는 유의성 있는 차이가 없었다. EC, 치환성 K, Mg는 염해답, 하해혼성평탄지, 미사질식양토, 배수불량지에서 높게 나타났다. 유기물은 모든 조건에서 유의성 있는 차이를 보이지 않았다. 유효인산은 지형별로는 하성평탄지에서, 토성별로는 사양토에서 높았고, 토양유형과 배수등급에서는 유의성 있는 차이를 보이지 않았다. 유효규산도 유기물과 마찬가지로 토양특성별로 유의성 있는 차이를 보이지 않았다.

논토양 화학성 과부족율 논토양의 화학성 적정범위를 기준으로 (RDA, 2013) 1999년부터 2015년까지의 경기지역 화학성 적정범위의 부족/낮음, 적정, 과다/높음 비율은 Fig. 1과 같다. pH의 적정범위 (5.5~6.5) 비율은 1999년 44%에서 2015년 80%로 증가하였으며 적정범위보다 높음의 비율도 점진적으로 증가하였다. 이러한 결과는 1996년부터 정부가 공급한 규산질 비료에 따라 부성분인 칼슘성분과 알카리분이 투입되어 pH가 증가한 것으로 판단된다 (Kim and Choi, 2002; Lee et al., 2005; Song et al., 2007). 토양유기물의 적정범위 비율은 1999년에 50%에서 2015년 52%로, 적정범위보다 높음의 비율은 14%에서 16%로 증가되었고, 적정범위보다 낮음의 비율은 1999년 36%에서 2015년 32%로 감소하였지만 여전히 적정범위 미만 비율을 크게 차지하고 있어 논토양의 유기물 증가를 위한 토양관리와 공급대책이 필요하다고 판단된다. Jeong et al. (2001)은 논토양에서 유기물을 장기연용하면 벼의 질소흡수량을 증가시켜 수량이 증대되고 토양물리성이 개선된다고 보고하였다. 수확 후 볏짚을 환원시키거나 퇴비를 시용하지 않은 현행 시비방법은 생산성과 품질이 낮아지는 원인으로 인식되고 있다. 따라서 녹비작물 종자 지원사업이나 호밀과 청보리 같은 동절기 녹비작물 재배면적 확대가 논토양의 유기물 함량 증가에 크게 기여할 것으로 판단된다. 유효인산 함량의 적정범위 비율은 2003년 24%, 2011년 25%로 다소 증가되었으나 1999년과 2015년에 20%로 변화 없이 같은 수준이었다. 또한 1999년과 2015년의 적정범위 이하와 적정범위 이상도 같은 비율이었다. 이는 경기지역 논토양에 대한 인산비료의 소요량 대비 시비량이 증가하지 않았음을 나타냈으며 Kang et al. (2012)이 보고한 1999년부터 2011년까지 전국 논토양 유효인산 분포율과 비교하여 경기지역 논토양의 유효인산 적정범위 이상 비율은 낮고 적정범위 이하는 높은 수준이었

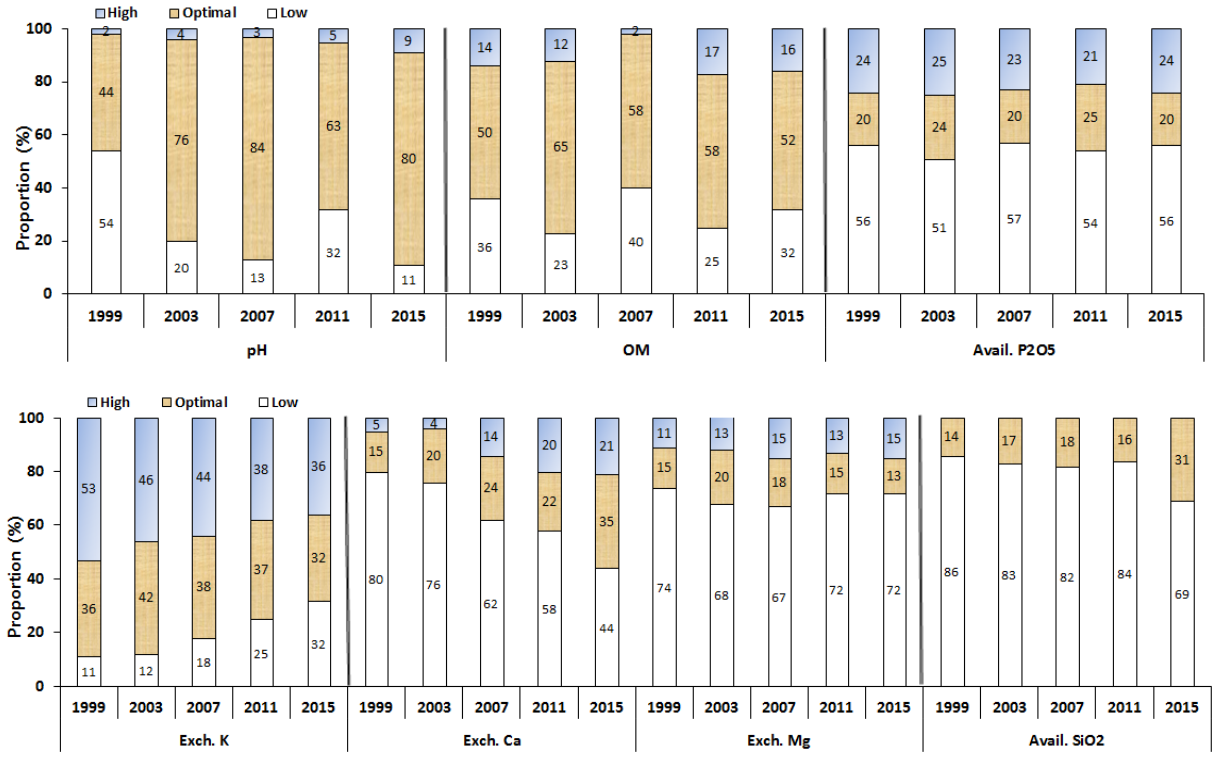


Fig. 1. The Frequency distribution of excess, optimal and deficient ranges of chemical properties of paddy soils in Gyeonggi province (*n*=240).

다. 치환성 칼륨 함량의 적정범위 비율은 1999년에 36%에서 2003년 42%로 증가하였고 2007년 38%에서 2015년 32%로 감소하였다. 적정범위 이상은 1999년에 53%에서 2015년 36%로 감소 경향을 나타냈으며, 적정범위 이하는 1999년에 11%에서 2015년 32%로 높아지는 경향을 보였다. 이러한 결과는 Kang et al. (2012)이 보고한 1999년부터 2011년까지 전국 논토양 치환성 칼륨 분포율과 유사한 경향이었으며 논토양에 투입되는 칼륨비료원인 퇴비나 볏짚의 시용이 감소하고 화학비료 시비에 따른 칼륨의 유출이 증가하여 치환성 칼륨 함량이 감소된 것으로 판단된다. 치환성 마그네슘 함량의 적정비율은 1999년에 35%에서 2015년 13%로, 적정범위 이상은 1999년 21%에서 2015년 15%로, 부족 비율은 1999년에 44%에서 2015년 72%로 변화하였다. 유효규산의 경우에도 과거의 기준인 157~180 mg kg^{-1}이 아닌 변경된 기준 157 mg kg^{-1} 이상으로 적용하여 비율을 구하여 비교하였다 (RDA, 2013). 적정범위의 비율은 1999년 14%에서 지속적으로 증가하여 2015년 31%를 나타냈으며, 유효규산 평균 함량도 129 mg kg^{-1}으로 증가하는 추세였다. 정부에서는 벼에 대하여 광합성 및 병해 저항성, 질소이용율을 증가시키고, 벼 수량 증대와 미질개선 효과를 위하여 1957년부터 규산질 비료 공급사업을 추진해오고 있다 (Kim et al., 2011). 그동안 규산질 비료의 공급주기는 1997년 9년 1주기, 1998~1999년 6년 1주기, 2001년 4년 1주기, 2008년부터 3년 1주기로 계속해서 단축하여 공급하였으며 벼 수량반응과 규산질비료의 토양 잔효를 평가 검토하여 유효규산의 적정함량과 규산질비료의 시용량을 증가하였다 (Song et al., 2007). 이러한 결과로 논의 유효규산, 치환성 칼슘, pH의 적정과 과다의 비율이 계속 증가하였고, 낮음의 비율은 감소한 것으로 판단된다. 따라서 논의 유효규산, 치환성 칼슘, pH의 변화는 서로 비슷한 경향으로 적정과 과다의 비율이 계속 증가하였고, 낮음의 비율은 감소한 것으로 판단된다. 그러나 낮음의 비율이 감소하였음에도 불구하고 2015년 치환성 칼슘과 마그네슘, 유효규산의 낮음 비율은 각각 44%, 72%, 69%로 여전히 높은 수준을 보였다.

경기지역 논토양의 화학성은 유효규산, 치환성 칼슘 함량, pH 등은 증가하는 경향을 나타냈으며, 유효인산과 치환성 칼륨 함량은 감소하는 경향을 나타냈고 유기물과 치환성 마그네슘 함량은 큰 변화가 없었다.

Conclusion

경기지역 논토양의 양분관리를 위한 기초자료를 제공하기 위하여 240 지점의 토양화학성을 1999년부터 2015년까지 4년 주기로 조사 분석하였다. 2015년 논토양의 평균 화학성은 토양 pH 5.9, 유기물 함량 23 g kg^{-1}, 유효인산 함량 84 mg kg^{-1}을 나타냈다. 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 함량은 각각 0.30, 5.1, 1.3 $cmol_c$ kg^{-1}이었고, 유효규산 함량은 129 mg kg^{-1}이었다. 장기적인 변화에서는 pH, 유효규산, 치

환성 칼슘 함량 등은 증가하는 경향을 나타냈으며, 유효인산과 치환성 칼륨 함량은 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 유기물과 치환성 마그네슘 함량은 큰 경향이 없이 변화하였다. pH의 적정범위 비율은 1999년 44%, 2003년 76%, 2007년 84%, 2011년 63%, 2015년 80%로 증가하였으며 치환성 칼륨의 적정범위 비율은 1999년 36%, 2003년 42%, 2007년 38%, 2011년 37%, 2015년 32%로 감소하는 경향을 보였다. 유효규산의 적정범위 비율은 1999년 14%, 2003년 17%, 2007년 18%, 2011년 16%, 2015년 31%로 증가하였다. 따라서 양분 부족 논토양에 대해서는 비옥도 향상을 위한 증비가 필요하며, 규산질비료는 유효규산 과잉토양보다는 부족한 토양에 공급되도록 정책적 조정이 필요하다. 그리고 토양 유기물 증대를 위해서는 녹비작물 재배와 볏짚 시용 등 토양관리가 필요할 것으로 판단된다.

References

Choi, D.H. and S.H. Yun. 1989. Agroclimatic zone and characters of the area subject to climatic disaster in Korea. Korean J. Crop Sci. 34:13-33.

Jung, B.G., G.H. Jo, E.S. Yun, J.H. Yoon, and Y.H. Kim. 1998. Monitoring on chemical properties of bench marked paddy soils in Korea. Korean J. Soil Sci. Fert. 31(3): 246-252.

Jeong, J.H., B.W. Sin, and C.H. Yoo. 2001. Effects of the succesive application of organic matters on soil properties and rice yield. Korean J. Soil Sci. Fert. 34(2):129-133.

Kim, M.S., W.I. Kim, J.S. Lee, G.J. Lee, G.L. Jo, M.S. Ahn, S.C. Choi, H.J. Kim, Y.S. Kim, M.T. Choi, Y.H. Moon, B K. Ahn, H.W. Kim, Y.J. Seo, Y.H. Lee, J.J. Hwang, Y.H. Kim, and S.K. Ha. 2010. Long-term monitoring study of soil chemical contents and quality in paddy fields. Korean J. Soil Sci. Fert. 43(6):930-936.

Kim, M.S., Y.H. Kim, B.K. Hyun, J.E. Yang, Y.S. Zhang, H.B. Yun, Y.K. Sonn, Y.J. Lee, and S.K. Ha. 2011. Rice yield and changes of available silicate in paddy soils from long-term application of chemical fertilizers and soil amendments. Korean J. Soil Sci. Fert. 44(6):1118-1123.

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.

Kim, C.B. and J. Choi. 2002. Changes in rice yield, nutrients use efficiency and soil chemical properties as affected by annul application of slag silicate fertilizer. Korean J. Soil Sci. Fert, 35(5):280-289.

Kang, S.S., A.S. Roh, S.C. Choi, Y.S. Kim, H.J. Kim, M. T. Choi, B.K. Ahn, H.W. Kim., H.K. Kim, J.H. Park, Y.H. Lee, S.H. Yang, J.S. Ryu, Y S. Jang, M S. Kim, Y.K. Sonn, C.H. Lee, S.G. Ha, D.B. Lee, and Y.H. Kim. 2012. Status and changes in chemical properties of paddy soil in Korea. Korean J. Soil Sci. Fert. 45(6):968-972.

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.

NAAS (National Academy of Agricultural Science). 2010a. Method of soil chemical analysis. Rural Development Administration. Korea.

NAAS (National Academy of Agricultural Science). 2010b. Fertilization standard of crop. Rural Development Administration. Korea.

RDA (Rural development administration). 1989. Report of the improvement of soil for ten years. RDA. Suwon, Korea.

RDA (Rural development administration). 2013. Monitoring project on agro-environment quality; the 2nd workshop. Rural development administration. Suwon, Korea.

RDA (Rural development administration). 2012. 2011 Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality. Rural development administration, Suwon, Korea.

SigmaPlot. 2008. SigmaPlot 11 User's Guide Part 2-Statistics. Systat software, inc. CA, USA.

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.