

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2018.51.4.435>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

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

Ahn-Sung Roh, Jung-Su Park, Young-Su Park, Ok-Jung Ju, Min-woo Shin, and Seong-Soo Kang^{1*}

Gyeonggido Agricultural Research & Extension Services, Hwaseong 18388, Korea

¹R&D Coordination Division, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea

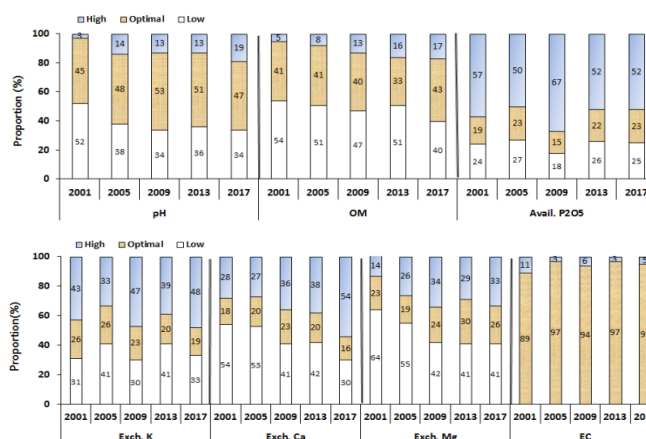
*Corresponding author: sskang33@korea.kr

ABSTRACT

Received: September 3, 2018**Revised:** December 2, 2018**Accepted:** December 3, 2018

The chemical properties of upland fields in Gyeonggi province were monitored every 4 years from 2001 to 2017 in order to provide basic information for soil fertility management of upland fields. In 2017, the soil chemical properties of upland fields were 6.3 in pH, 22 g kg⁻¹ in organic matter (OM), and 651 mg kg⁻¹ in available phosphate (Avail. P₂O₅). Exchangeable (Exch.) potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg) were 0.83, 6.2 and 1.7 cmol_c kg⁻¹, respectively, and electrical conductivity (EC) was 0.86 dS m⁻¹. In the long-term analysis, the contents of OM, Exch. Ca and pH of upland soils showed increasing tendency. However, the contents of Avail. P₂O₅ tended to decrease, and there were no significant changes in the contents of Exch. K and EC. The optimal range of pH of upland fields changed to 45% in 2001, 48% in 2005, 53% in 2009, 51% in 2013 and 47% in 2017. The optimal range of OM was 41% in 2001 and 2005, 40% in 2009, 33% in 2013, and 43% in 2017, respectively. The optimal range of Avail. P₂O₅ content increased from 19% in 2001 to 23% in 2005, but decreased to 15% in 2009 and increased to 22-23% in 2013 and 2017. The optimal range of Exch. K tended to decrease, showing 26% in 2001, 26% in 2005, 23% in 2009, 20% in 2013 and 19% in 2017. Therefore, in order to maintain the soil chemical properties of the upland soil in an appropriate range, it is necessary to fertilize the lime and fertilizer by the soil test. Also soil management such as the cultivation of green manure crop or application of rice straw and compost will be necessary to increase the organic matter content of upland soil.

Keywords: Gyeonggi province, Optimal range, Soil chemical property, Upland soil



The Frequency distribution of excess, optimal and deficient ranges of chemical properties of upland soils in Gyeonggi province ($n=190$).



Introduction

농경지의 비료관리 등 농업환경을 보전하면서 소비자에게 안전한 먹거리를 제공하고 생산자에게는 소득을 보장하기 위한 친환경농업의 중요성이 강조되고 있다. 따라서 친환경농업을 위해서는 작물 생산성과 밀접한 관계가 있는 토양양분과 농산물 안전성을 위한 토양 유해성분 등 농업환경을 파악하고 균형있게 유지하기 위한 농경지 화학성 변동 조사사업이 요구된다.

우리나라 농경지에 대한 토양 비옥도 조사는 1958년부터 1963년 전국 토양개량 조합과 시군농촌지도소에서 토양을 채취하고 식물환경연구소에서 화학성을 분석하면서 시작되었다 (Kim et al., 1963). 이후 1964년부터 1968년 간 이토양검정에 의한 토양 비옥도 조사가 시작되었으며, 1980년부터 1989년까지 현재와 같은 토양검정 항목을 도입하여 실시한 농토배양 10개년 사업 (RDA, 1989)으로 확대하였다. 1990년대에는 4-5년을 주기로 농경지 토양비옥도 변동 현황을 파악하기 위하여 동일지점에서 토양화학성을 조사하는 사업으로 발전되었다. 논은 1990년부터 1,168개, 밭은 1992년부터 854개 동일한 지점의 토양화학성을 조사 분석하여 보고하였다 (Jung et al., 1998; Jung et al., 2001). 1998년 친환경농업육성법이 시행되고 토양자원 및 농업환경실태조사가 추진됨에 따라 1999년부터 농촌진흥청과 각도의 농업기술원이 참여하는 전국적인 규모의 농업환경변동조사가 4년1주기로 현재까지 수행되어 오고 있다 (RDA, 2009). Kong et al. (2015)은 2013년 휴토람에 업로드된 전국 밭토양 1,006,227 지점의 화학성을 분석하여 pH 6.2, 유기물 23 g kg⁻¹, 유효인산 399 mg kg⁻¹, 치환성칼륨, 칼슘, 마그네슘은 각각 0.72, 6.2, 1.9 cmol_c kg⁻¹으로 보고하였다. 또한 작물생육에 알맞은 적정 토양화학성 비율은 pH 48%, 유기물 22%, 유효인산 26%, 치환성칼륨, 칼슘, 마그네슘은 각각 23, 16, 22%였으며 연차별 pH 적정비율이 높아졌고, 유기물, 유효인산, 치환성칼륨은 적정범위보다 낮은 분포비율이 증가하였다고 비교 분석하였다. Park et al. (2016)은 경북지역의 시설재배지, 밭, 과수원 토양의 비옥도를 4년 주기로 12년간 조사하여 밭토양의 평균 pH와 치환성 칼륨은 유의하게 증가하는 경향을 나타냈고 유기물과 유효인산 함량 등은 큰 변동없이 유지되었다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서는 2001년부터 2017년까지 경기지역의 밭 작물 재배지를 대상으로 4년마다 5회에 걸쳐 토양 화학성을 조사, 분석하여 토양 비옥도의 현황과 변동을 평가하고자 하였다.

Materials and Methods

토양시료 채취 및 준비 경기지역 밭토양의 화학성 변동을 주기적으로 조사하기 위하여 2001년에 시군별로 토양 유형, 지형 및 토성 분포면적 비율을 고려하여 Table 1과 같이 도내 22개 시군에서 총 190지점을 선정하여 2017년

Table 1. Number of sampling sites of upland soils from 2001 to 2017 in Gyeonggi province.

Region	Hwa seong	I cheon	An seong	Yeo ju	Po cheon	Yeon cheon	Yang pyeong	Pyeong tack	Nam yang ju	Pa ju	Yong in	Total
No. of Sample	19	16	15	14	14	12	12	10	9	9	8	
Region	Go yang	Yang ju	Ga pyeong	Gwang ju	Gim po	Si heung	Ha nam	Sung nam	An san	O san	Su won	190
No. of Sample	7	7	7	6	6	5	4	3	3	2	2	

까지 4년 주기로 조사하였다. 토양시료 채취는 3월부터 4월 사이 작물재배를 위한 비료사용 전에 조사 필지별 5곳에서 표토(0-15 cm)를 토양시료 채취기로 채취하였다. 조사대상 밭토양의 주요 재배작물은 고추 48, 배추 43, 콩 25, 들깨 15, 옥수수 15, 고구마 14, 가지 13, 감자 5지점이었다.

토양 화학성 분석방법 채취한 토양은 그늘에서 5-7일간 풍건하여 고무망치로 입자를 분리시킨 후 2 mm 체를 통과시켜 조제하였다. 토양 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 NH₄OAc (pH 7.0)법으로 분석하였다. 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등의 양이온은 1M NH₄OAc로 추출하여 원자흡광 분광광도계 (Integra XL, GBC)로 분석하였다. 조사된 밭토양 화학성 평균의 연차간 변화를 분석하였고, 2013년 제2차 농업환경자원 변동평가 워크숍 (RDA, 2013)에서 제안한 토지이용별 토양화학성 적정범위 변경안에 따라 밭토양 화학성 적정범위를 기준으로 부족, 적정, 과다비율을 구하여 연차별 변화를 비교하였다. 변경된 밭토양 화학성 적정범위는 기존의 작물별시비처방기준 (NAAS, 2010b)의 토양 pH 6.0-6.5, 유효인산 300-500 mg kg⁻¹, 치환성 칼륨 0.5-0.6 cmol_c kg⁻¹에서 토양 pH 6.0-7.0, 유효인산 300-550 mg kg⁻¹, 치환성 칼륨 0.5-0.8 cmol_c kg⁻¹이었다.

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 차이의 유의성 검정은 지점 수가 같아 Tukey 검정을 이용하였으며, 작물별 및 토양특성별 차이의 유의성 검정은 그룹 간의 지점 수가 달라서 Dunn's test로 검정하였다 (Sigmaplot, 2008).

Results and Discussion

연도별 밭토양 화학성 2001년부터 2017년까지 4년 주기로 조사한 밭토양 화학성의 평균, 중앙값 및 최대값과 최소값의 범위는 Table 2와 같다. 2017년의 밭토양 pH 평균은 6.3 (4.3-8.0), 유기물 함량은 22.3 (4.6-69.2) g kg⁻¹, 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 각각 0.83, 6.2, 1.7 cmol_c kg⁻¹이었으며, 토양 전기전도도는 0.86 (0.03-3.89) dS m⁻¹이었다. 밭토양의 화학성 적정범위 (RDA, 2013)와 비교하여 pH, 전기전도도, 유기물, 치환성 Mg의 평균과 중앙값은 적정범위에 속하였다. 유효인산과 치환성칼슘은 모두 적정범위를 초과하였고, 치환성 칼륨의 경우 중앙값은 적정범위에 포함되었으나 평균은 적정범위 상한선을 초과하였다.

토양화학성의 연도별 변화를 중간값으로 비교해보면 pH는 2001년 5.9에서 2017년 6.3으로 상승해 왔으며 두 해 간 차이의 유의성이 인정되었다. 이러한 경향은 토양의 염기 성분인 치환성 칼슘과 마그네슘도 같은 경향이었다. 전기전도도의 경우 증감을 반복하다가 2017년 0.73 dS m⁻¹로 크게 증가하였고 차이의 유의성도 인정되었다. 유기물의 중간값은 적정범위 하한선인 20 g kg⁻¹ 수준에서 변동하였고 연차간 차이의 유의성은 인정되지 않았다. 유효인산은 2009년 가장 높은 값을 보였다가 적정범위 상한선을 30 mg kg⁻¹ 정도 초과한 580 mg kg⁻¹ 수준이 유지되었다. 치환성 칼륨의 중간값은 증감을 반복하다가 2017년에 적정범위 상한선에 가까운 0.78 cmol_c kg⁻¹으로 조사 기간 중 가장 높은 값을 나타냈다. Kong et al. (2015)은 2013년 전국 밭 토양검정 결과 평균값은 pH 6.2, 유기물 23 g kg⁻¹ 유효인산 399 mg kg⁻¹, 치환성 K, Ca, Mg는 각각 0.72, 6.2, 1.9 cmol_c kg⁻¹로 보고하였는데 유기물, 치환성 Ca, Mg는 본 연구결

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

Year	Statistics	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cation			Number of sample
						K	Ca	Mg	
		(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
2001	Average	6.0	0.97	19.4	671	0.80 ab	4.9	1.3	190
	Median	5.9 b	0.68 ab	19.0 a	618 ab	0.71 ab	4.7 c	1.1 d	
	Min-Max	4.6-7.7	0.16-5.63	5.0-47.0	21-1,532	0.12-3.55	0.8-14.2	0.1-6.5	
2005	Average	6.2	0.58	20.0	669	0.75 b	5.0	1.5	190
	Median	6.2 ab	0.44 d	19.0 a	563 ab	0.57	4.7 c	1.3 c	
	Min-Max	4.3-7.0	0.10-4.57	6.0-50.0	23-1,959	0.10-3.74	0.4-22.1	0.2-5.7	
2009	Average	6.3	0.76	21.2	812 a	0.92 a	5.7	1.8	190
	Median	6.3 a	0.56 bc	20.0 a	719 a	0.75 ab	5.3 ab	1.7 a	
	Min-Max	4.7-7.9	0.12-4.37	5.0-46.0	26-227	0.12-3.21	0.7-14.5	0.3-4.9	
2013	Average	6.2	0.63	20.4	659	0.80	5.5	1.7	190
	Median	6.2 ab	0.45 cd	18.8 a	578 b	0.61 ab	5.2 b	1.6 abc	
	Min-Max	4.5-8.3	0.13-4.44	2.3-53.0	31-1,846	0.08-4.02	1.3-11.4	0.2-5.0	
2017	Average	6.3	0.86	22.3	651	0.83	6.2	1.7	190
	Median	6.3 a	0.73 a	20.6 a	586 b	0.78 ab	6.3 a	1.6 ab	
	Min-Max	4.3-8.0	0.03-3.89	4.6-69.2	17-1,853	0.07-2.47	0.9-13.5	0.2-5.2	
	Optimum range	6.0-7.0	2.0<	20-30	300-550	0.50-0.80	5.0-6.0	1.5-2.0	-

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

과보다 더 높았다. Park et al. (2018)은 1994년부터 2014년까지 21년간에 걸쳐 고추 재배 시 동일한 비료를 장기간 연용하였을 때 퇴비의 사용으로 인한 토양유기물의 평균 증가율은 0.69-0.73 g kg⁻¹ yr⁻¹이었고, 유효인산의 경우 퇴비 사용으로 인한 증가량은 7.0 mg kg⁻¹ yr⁻¹, 비료 사용에 의한 증가량은 14.2 mg kg⁻¹ yr⁻¹이라고 보고하였다.

작물별 토양화학성 비교 2017년 밭토양의 화학성을 작물별로 구분하여 중앙값을 Table 3에 나타냈다. pH는 감자가 7.0으로 가장 높았고, 대파와 고구마가 5.7, 5.8로 가장 낮았다. 전기전도도는 가지, 옥수수, 대파에서 각각 1.34, 1.05, 1.00 dS m⁻¹로 가장 높았고, 고구마와 콩이 0.55, 0.52 dS m⁻¹로 낮았다. 유기물, 유효인산, 치환성 칼륨은 옥수수에서 가장 높았고 유기물은 대파, 고구마에서 11.2, 15.0 g kg⁻¹으로 낮았으며, 유효인산은 고구마가, 치환성 칼륨은 콩에서 가장 낮았다. 치환성칼륨은 감자에서 7.7 cmol_c kg⁻¹로 가장 높았고 고추와 배추가 6.7로 적정기준을 초과하였으며 콩에서 0.57 cmol_c kg⁻¹로 가장 낮았다. 작물 간 토양화학성 중간값 차이의 유의성 검정 결과 모든 성분에서 유의성은 없는 것으로 나타났다. 작물별 시비처방기준-3차 개정본의 작물별 적당한 토양화학성의 범위와 비교했을 때 pH는 감자가 적정범위보다 높았다. 유기물은 대파, 배추, 고추, 고구마가 적정범위보다 낮아서 퇴구비 사용 등을 통한 지력 증진이 필요할 것으로 판단되었다. 유효인산은 고추는 적정범위에 있었으나 나머지 작물들은 모두 적정범위를 초과하였다. 치환성 칼륨은 옥수수, 대파, 고구마, 감자에서 적정범위를 크게 초과하였고, 고추는 적정범위보다 낮았으며 치환성 칼슘과 마그네슘은 대파와 고구마에서 낮았고, 감자에서 높았다.

Table 3. The median values of soil chemical properties according to the upland crops.

Crops	Statistics	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cation			Number of sample
						K	Ca	Mg	
		(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
Soybean	Median	6.3	0.52	20.6	531	0.57	6.5	1.49	25
	Optimum range	6.5-7.0	-	20-30	150-250	0.45-0.55	5.0-7.0	2.0-2.5	-
Corn	Median	6.6	1.05	29.9	822	0.91	6.1	1.37	18
	Optimum range	6.0-6.5	-	20-30	150-250	0.45-0.55	5.0-6.0	1.5-2.0	-
Chinese Cabbage	Median	6.3	0.78	20.9	653	0.81	6.7	1.60	44
	Optimum range	6.0-6.5	-	25-35	350-450	0.65-0.80	5.0-6.0	1.5-2.0	-
Green onion	Median	5.7	1.00	11.2	491	0.96	3.1	1.12	5
	Optimum range	6.0-6.5	-	20-30	300-400	0.40-0.60	5.0-6.0	1.5-2.0	-
Red pepper	Median	6.5	0.64	20.5	471	0.56	6.7	1.87	47
	Optimum range	6.0-6.5	-	25-35	450-550	0.70-0.80	5.0-6.0	1.5-2.0	-
Sweet potato	Median	5.8	0.55	15.0	427	0.82	4.7	1.17	24
	Optimum range	6.0-6.5	-	20-30	250-350	0.55-0.65	5.0-6.0	1.5-2.0	-
Potato	Median	7.0	0.66	21.4	468	0.80	7.7	2.22	6
	Optimum range	5.5-6.2	-	20-30	250-350	0.50-0.60	4.5-5.5	1.5-2.0	-
Eggplant	Median	6.5	1.34	20.5	618	0.87	5.9	1.54	13
	Optimum range	6.0-6.5	-	20-30	400-500	0.70-0.80	5.0-6.0	1.5-2.0	-

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

토양특성별 화학성 비교 2017년 밭토양의 화학성을 지형, 토성, 조사 당시 토지이용과 같은 토양특성의 항목별로 구분하여 중앙값을 Table 4-6에 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 검정하였다. 밭토양 화학성의 중간값을 지형별로 구분하였을 때 유의성 있는 차이는 없었다 (Table 4). 유효인산의 경우 용암류대지와 홍적대지에서 크게 낮아 분산분석 결과 $P=0.007$ 로 유의성을 나타냈고, 치환성 Ca의 경우에도 분산분석 결과 $P=0.042$ 로 유의성을 나타냈으나, 처리 간 차이의 유의성 검정 결과 유의차가 인정되지 않았다. 표토 토성별로 화학성 중간값의 차이는 Table 5와 같다. 조사한 밭토양은 모두 사양토, 미사질양토, 양토, 미사질식양토 4개에 속하였고 4개 토성이 차지하는 비율은 각각 50.8, 6.9, 38.6, 3.7%로 사양토, 양토가 89.4%를 차지하였다. 분산분석 결과 화학성 간의 차이의 유의성은 유효인산 ($P=0.007$)에서만 나타났다. 미사질식양토의 유효인산 중간값이 77 mg kg^{-1} 로 낮았고 차이의 유의성이 인정되었다. 표토 토성 유효인산에서 차이의 유의성이 인정된 것은 지형별 분류에서 유효인산 함량이 낮았던 용암류대지 토양 6점 (파주통 5점, 장파통 1점)과 홍적대지 토양 2점이 토성별 분류의 미사질식양토 7점 중에서 용암류대지 5점 (파주통)과 홍적대지 토양 2점이었기 때문이었다. 현재 밭토양으로 이용되고 있지만 토양 조사·분류 상의 논, 밭, 임지로 구분하였을 때 유의성 있는 차이를 보인 화학성은 치환성 K와 Ca였다 (Table 6). 치환성 K는 산토양에서 $1.07 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 높았고, 논토양에서 $0.80 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 낮았으며, Ca는 논, 밭토양에서 각각 $6.5, 6.6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 높았고 산토양에서 $4.9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 낮았다. 유기물과 치환성 Mg도 산토양에서 낮았으나 차이의 유의성은 없었다. 일반적으로 산으로 이용되던 토양을 밭으로 개간 경작 시 인산의 효과가 매우 큰 것으로 알려져 있는데 (RDA, 2017; Yoo and Lee, 1976) 임지토양의 유

효인산 함량 수준은 599 mg kg^{-1} 로 높았다. 그러나 유기물과 치환성 Ca와 Mg는 낮아서 퇴비 및 석회질 비료 사용량을 늘려 주어야 할 것으로 판단되었다. 토양특성 중 배수등급과 토색등급별 중간값의 차이에는 특징이 없어 자료를 제시하지 않았다.

Table 4. Chemical properties of upland soils according to soil topography in Gyeonggi province.

Topography	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cation			Number of sample
					K	Ca	Mg	
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
Valleys	6.4 a	0.66 a	20.3 a	487 a	0.64 a	6.3 a	1.56 a	78
River plains	6.3 a	0.95 a	21.2 a	766 a	0.88 a	6.7 a	1.71 a	39
Fluvio-marine	6.4 a	1.00 a	11.9 a	220 a	0.62 a	5.4 a	1.60 a	4
Mt. foot-slope	6.2 a	0.78 a	23.7 a	676 a	0.77 a	7.5 a	2.00 a	9
Alluvial fan	6.3 a	0.56 a	22.1 a	701 a	0.78 a	6.1 a	1.39 a	19
Hill land	6.4 a	0.83 a	17.5 a	593 a	1.07 a	4.9 a	1.36 a	30
Lava terrace	6.0 a	0.62 a	19.2 a	94 a	0.67 a	7.0 a	1.82 a	6
Diluvial terrace	7.8 a	1.14 a	15.9 a	298 a	0.65 a	9.2 a	1.44 a	2
Mountain land	7.4 a	0.58 a	28.0 a	909 a	0.81 a	6.1 a	1.48 a	2
Optimum range	6.0-7.0	2.0<	20-30	300-550	0.50-0.80	5.0-6.0	1.5-2.0	-

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

Table 5. Chemical properties of upland soils according to soil texture in Gyeonggi province.

Soil texture	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cation			Number of sample
					K	Ca	Mg	
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
Sandy loam	6.3 a	0.66 a	20.9 a	599 a	0.65 a	6.0 a	1.38 a	96
Silt loam	6.5 a	1.16 a	23.2 a	468 ab	0.84 a	7.1 a	0.80 a	13
Loam	6.5 a	0.80 a	19.5 a	632 a	0.84 a	6.1 a	1.84 a	73
Silt clay loam	6.2 a	0.75 a	13.9 a	77 b	0.55 a	7.3 a	1.77 a	7
Optimum range	6.0-7.0	2.0<	20-30	300-550	0.50-0.80	5.0-6.0	1.5-2.0	-

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

Table 6. Chemical properties of upland soils according to land use at soil survey in Gyeonggi province.

Land use at soil survey	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cation			Number of sample
					K	Ca	Mg	
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
Paddy	6.3 a	0.80 a	20.8 a	522 a	0.80 b	6.5 a	1.15 a	70
Upland	6.4 a	0.66 a	20.5 a	630 a	0.66 ab	6.6 a	1.18 a	87
Forest	6.4 a	0.81 a	18.6 a	599 a	1.07 a	4.9 b	0.78 a	32
Optimum range	6.0-7.0	2.0<	20-30	300-550	0.50-0.80	5.0-6.0	1.5-2.0	-

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

밭토양 화학성 과부족을 밭토양의 화학성 적정범위를 기준으로 (RDA, 2013) 2001년부터 2017년까지의 경기 지역 화학성 적정범위의 부족/낮음, 적정, 과다/높음 비율은 Fig. 1과 같다. pH의 적정범위 (6.0-7.0) 비율은 2001년 45%에서 2009년 53%까지 증가하였으나 2013년 51%, 2017년 47%로 감소하였고 적정범위보다 높음의 비율은 점진적으로 증가하는 경향이였다. 토양의 pH가 낮아지면 Al과 Fe의 용해도가 증가하고 Al 성분의 식물체 과잉 흡수로 인하여 생육장해 (Kim et al., 2012) 및 아질산 가스발생에 의한 작물의 피해가 발생하기 때문에 토양관리가 필요하다 (Kim et al., 2010). 따라서 밭토양의 산도 개선과 토양개량을 위한 석회질비료를 사용하기 위해서는 토양검정에 의한 석회요구량을 산출하여 적정 시비가 이루어져야 할 것이다. 유기물의 적정범위보다 높음의 비율은 2001년에 5%에서 2017년 17%로 꾸준히 증가되었고, 적정범위보다 낮음의 비율은 2001년 54%에서 2017년 40%로 감소하였지만 여전히 적정범위 미만 비율이 크게 차지하고 있어 밭토양의 유기물 증가를 위한 토양관리와 공급대책이 필요하다고 판단된다. Park et al. (2017)은 경북지역 논토양유기물 함량 평균이 2003년부터 적정범위에 속하였으나 조사 대상의 24-31%는 적정범위 이하로 유기물의 추가공급이 필요하다고 하였다. 밭토양의 유기물 사용은 입단형성, 보수력 증가, 통기성 향상, 지온상승과 같은 토양 물리성 개선과 토양 완충능 증대, 양분가용성 증가, 화학성 개선, 질소고정과 같은 토양의 종합개량효과가 있다 (Recel, 1994). 하지만 유기물 사용을 위하여 인산과 질소 함량이 많은 가축분 퇴비 위주의 시비방법은 토양의 질산염, 유효인산 함량이 높은 염류집적 토양의 원인으로 대두되고 있다 (Sohn and Han, 2000). 따라서 토양의 염류집적을 억제하고 유기물 사용효과를 나타내기 위해서는 볏짚, 퇴구비 사용, 녹비재배가 밭토양의 유기물 함량 증가에 크게 기여할 것으로 판단된다. Kang et al. (2017)은 녹비작물의 적정 혼입량은 풋겨름보리의 경우 $2,000 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 이었고, 헤어리베치의 경우 $1,000 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 이라고 평가하였다. Im et al. (2017)은 퇴비와 풋겨름보리 처리구에서 보리의 높은 탄질을 때문에 상추 생육 초기 질소기아 현상이 발생하여 이를 방지하기 위해 유박과 같은 속효성 유기자재 사용이 필요하다고 하였다. 유기물 사용 시에는 유기물의 탄질율과 질소무기화 속도와 반감기, 사용시기, 사용량 등을 고려해야 한다. 유효인산 함량의 적정범위 비율은 2001년 19%, 2005년 23%로 다소 증가되었으나 2009년 15%로 감소하고 2013년과 2017년에 22-23%로 증가하였다. 2013년과 2017년의 부족, 적정, 과다 비율은 비슷하였으나 과다의 비율이 52%로 높은 상태였다. 이는 경기지역 밭토양에 대한 인산비료의 소요량 대비 시비량이 많음을 나타냈으며 Kong et al. (2015)이 보고한 2003년부터 2013년까지 전국 밭토양 유효인산 분포율과 비교하여 경기지역 밭토양의 유효인산 적정범위 이상 비율은 높고 적정범위 이하는 낮은 수준이었다. 인산은 토양수에 대한 용해도는 낮고 토양에 강하게 흡착되어 쉽게 용탈되지 않고 토양 입자와 함께 유실되는 것으로 알려져 있으나 토양 중 유효인산의 함량이 일정수준 이상으로 증가하면 토양의 인산 흡착능은 제한적이어서 가용태 인산으로 용탈되어 하천수의 부영양화 원인으로 보고되고 있어 토양검정에 의한 시비방법이 필요하다 (Lyons et al., 1998). 치환성 칼륨 함량의 적정범위 비율은 2001년에 26%, 2009년 23%, 2017년 19%로 감소하는 경향이였다. 적정범위 이상은 2001년에 43%에서 2017년 48%로 증가 경향을 나타냈으며, 적정범위 이하는 2001년에 31%에서 2017년 33%로 높아지는 경향을 보였다. 치환성 칼슘 함량의 적정범위 비율은 2001년 18%에서 2013년 20%로 증가하였으나 2017년 도에는 적정범위가 16%로 감소하고, 적정범위 이상은 54%로 증가하였다. 이러한 결과는 Kong et al. (2015)이 보고한 전국 밭토양 치환성 칼슘과 칼슘 분포율과 비교하여 적정범위 이상 비율은 높고 적정범위는 낮은 수준이었다. 치환성 마그네슘 함량의 적정비율은 2001년에 23%에서 2017년 26%로, 적정범위 이상은 2001년 14%에서 2017년 33%로, 부족 비율은 2001년에 64%에서 2017년 41%로 변화하였다. 토양전기전도도의 적정기준인 2 dS m^{-1} 이하의 비율은 89-97%를 차지하고 있었으며 초과하는 비율은 2001년 11%에서 2017년 5%로 감소하였다. 시설재배지 등 농경지

토양의 문제점 중 가장 심각한 것은 표토의 염류집적이며 전기전도도는 주로 $\text{NO}_3\text{-N}$ 와 Cl 함량과 고도의 정의상관이 인정된다. 특히 토양 내 초과되는 질산태질소는 지하 침투수와 유출수를 오염시키며 쉽게 수계내로 이동하여 하천수의 부영양화 요인으로 작용한다(Lee et al., 1987). 경기지역 밭토양의 pH, 유기물, 치환성 칼슘 함량은 증가하는 경향을 나타냈으며, 유효인산 함량은 감소하는 경향을 나타냈고 치환성 마그네슘과 칼륨 함량은 큰 경향성 없이 변화하였다. 따라서 양분 과부족 밭토양에 대해서는 토양검정에 의한 적정시비량을 시비하고, 석회질비료는 석회질요구량 산출에 따라 부족한 토양에 공급하며 토양 유기물 증대를 위해서는 볏짚, 퇴구비 시용과 녹비작물 재배 등 토양관리가 필요할 것으로 판단된다.

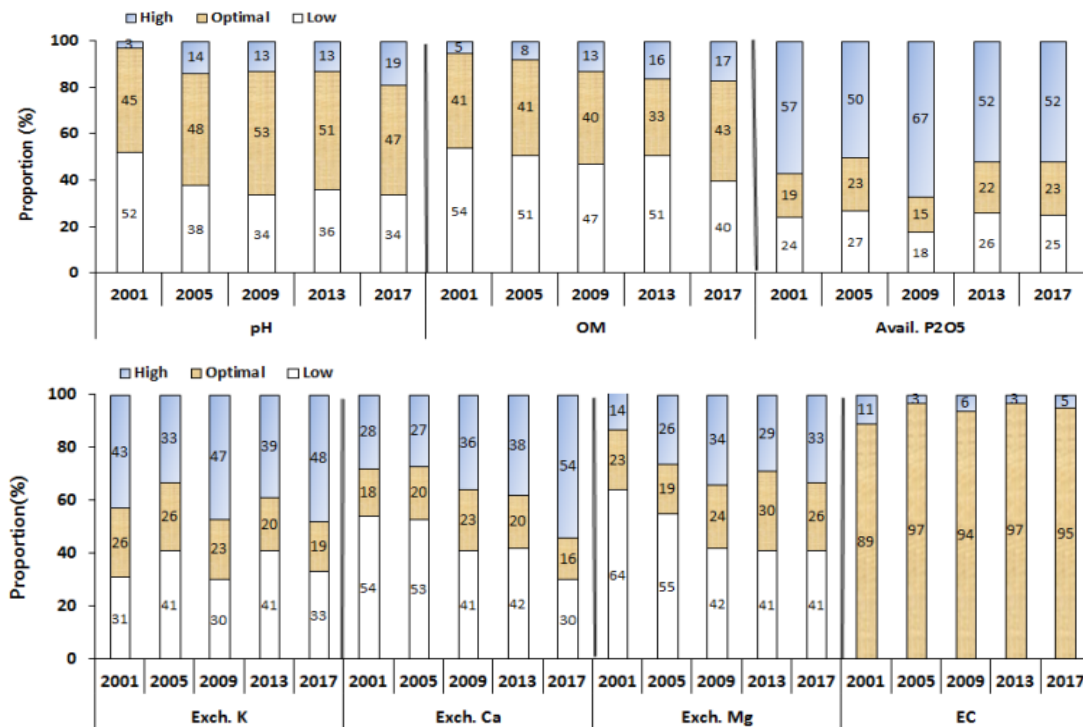


Fig. 1. The Frequency distribution of excess, optimal and deficient ranges of chemical properties of upland soils in Gyeonggi province ($n=190$).

Conclusions

경기지역 밭토양의 양분관리를 위한 기초자료를 제공하기 위하여 190 지점의 토양화학성을 2001년부터 2017년까지 4년 주기로 조사 분석하였다. 2017년 밭토양의 평균 화학성은 토양 pH 6.3, 유기물 함량 22 g kg^{-1} , 유효인산 함량 651 mg kg^{-1} 을 나타냈다. 치환성 칼슘, 칼슘, 마그네슘 함량은 각각 0.83, 6.2, $1.7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 이었고, 토양전기전도도는 0.86 dS m^{-1} 이었다. 장기적인 변화에서는 pH, 유기물, 치환성 칼슘 함량 등은 증가하는 경향을 나타냈으며, 유효인산 함량은 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 토양전기전도도와 치환성 칼슘 함량은 큰 경향성 없이 변화하였다. pH의 적정범위 비율은 2001년 45%, 2005년 48%, 2009년 53%, 2013년 51%, 2017년 47%, 유기물의 적정범위 비율은 2001년 41%, 2005년 41%, 2009년 40%, 2013년 33%, 2017년 43%로 변화하였다. 유효인산 함량의 적정범위 비율

은 2001년 19%, 2005년 23%로 다소 증가되었으나 2009년 15%로 감소하고 2013년과 2017년에 22-23%로 증가하였다. 치환성 칼륨의 적정범위 비율은 2001년 26%, 2005년 26%, 2009년 23%, 2013년 20%, 2017년 19%로 감소하는 경향을 보였다. 따라서 밭토양의 토양화학성을 적정범위로 유지하기 위해서는 토양검정에 의한 적정시비량과 석회질비료를 시비하고, 토양 유기물 증대를 위해서는 볏짚, 퇴구비 시용과 녹비작물 재배 등 토양관리가 필요할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This study was conducted with the support of the “Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ012505)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Im, J.U., S.Y. Kim, J.H. Kim, Y.E. Yoon, S.J. Kim, and Y.B. Lee. 2017. Potential nitrogen mineralization and availability in upland soil amended with various organic materials. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 50(1):40-48.
- 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.
- Jung, B.G., J.W. Choi, E.S. Yun, J.H. Yoon, and Y.H. Kim. 2001. Monitoring on chemical properties of bench marked upland soils in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34(5):326-332.
- Kang, S.W., D.C. Seo, and J.S. Cho. 2017. Effect on incorporation levels of green manure crops on rice yield and soil chemical properties. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 50(3):187-194.
- Kim, Y.H., B.R. Choi, and M.S. Kim. 2010. The toxicity of nitrogen dioxide gas on fig plant. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fert.* 43(6):978-980.
- Kim, Y.H., M.S. Kim, S.S. Kang, and H.Y. Lee. 2012. Growth inhibition of cucumber by absorbing excess Al at low soil pH. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fert.* 45(6):925-927.
- 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.
- Kong, M.S., S.S. Kang, M.J. Che, H.i. Jung, Y.G. Sonn, D.B. Lee, and Y.H. Kim. 2015. Changes of chemical properties in upland soils in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 48(6):588-592.
- Lee, S.E., J.K. Park, J.H. Yoon, and M.S. Kim. 1987. Studies on the chemical properties of soils under the vinyl-house cultivation. *Rural Development Administration J. Agri. Sci.(P · M & U)*, 29(1):166-171.
- Lyons, J.B., J.H. Gores, and J.A. Amador. 1998. Spatial and temporal variability of phosphorus retention in a riparian forest soil. *Environ. Qual.* 27:895-903.
- 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.
- Park, S.J., J.H. Park, C.Y. Kim, Y.J. Seo, O.H. Kwon, J.G. Won, and S.H. Lee. 2016. Comparison of surface chemical properties of plastic film house, upland, and orchard soils in Gyeongbuk province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49(2):115-124.
- Park, S.J., J.H. Park, C.Y. Kim, Y.J. Seo, O.H. Kwon, J.G. Won, and S.H. Lee. 2017. Assessing changes in selected

- soil chemical properties of rice paddy fields in Gyeongbuk province. Korean J. Soil Sci. Fert. 50(3):150-161.
- Park, Y.E., T.J. Lim, J.M. Park, and S.E. Lee. 2018. Long-term effects of chemical fertilizer and compost applications on yield of red pepper and soil chemical properties. Korean J. Soil Sci. Fert. 51(2):111-118.
- RDA (Rural development administration). 2013. Monitoring project on agro-environment quality; the second round of the workshop. Rural development administration. Suwon, Korea.
- RDA. 1989. Soil improvement project for 10 years. Res. Rept. pp.83-104. RDA, Suwon, Korea.
- RDA. 2009. Monitoring project on agri-environment quality in Korea, RDA, Suwon, Korea.
- RDA. 2017. Crop soil management technology. pp.246. RDA. Jeonju, Korea.
- Recel, M.R. 1994. International seminar on the use of microbio and organic fertilizers in agricultural production. RDA & FFTC.
- SigmaPlot. 2008. SigmaPlot 11 User's Guide Part 2-Statistics. Systat software, inc. CA, USA.
- Sohn, S.M. and D.H. Han. 2000. Assessment of environmentally sound function on the increasing of soil fertility by Korean organic farming. Korean J Soil. Fert 33(3):193-204.
- Yoo, S.H. and W.C. Lee. 1976. Improvement of the phosphate fertility in a newly reclaimed hilly land. I . Sorption technique for the estimation of P requirement as related to the application method. Korean J. Soil Sci. Fert. 9(4):251-256.