

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2020.53.4.549>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Status and Changes in Chemical Properties of Upland Soil in Gangwon Province between 2001 and 2017

Byeong Sung Yoon^{1*}, Seung Chul Choi¹, Soo Jeoung Lim², Su Jeong Heo¹, and Youngho Seo¹¹Researcher, Gangwondo Agricultural Research & Extension Services, Chuncheon 24226, Korea²Senior Researcher, Gangwondo Agricultural Research & Extension Services, Chuncheon 24226, Korea

*Corresponding author: 65yoon@korea.kr

ABSTRACT

Received: October 27, 2020

Revised: November 16, 2020

Accepted: November 17, 2020

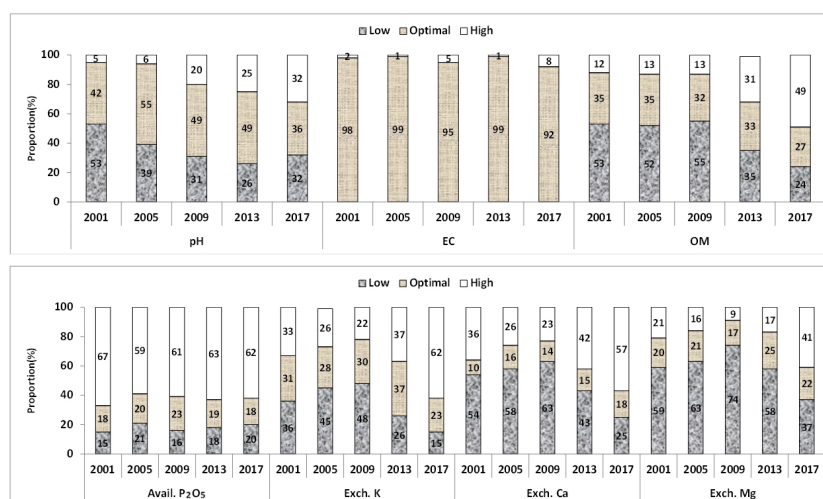
ORCID

Byeong Sung Yoon

<http://orcid.org/0000-0002-4301-511X>

In order to obtain useful information for environment-friendly management of upland soils, the chemical characteristics of 170 upland fields in Gangwon province have been monitored every 4 years since 2001. In 2017, the pH, electrical conductivity (EC), organic matter (OM), and available phosphate (Avail. P₂O₅) of the soil samples were 6.4, 0.89 dS m⁻¹, 32 g kg⁻¹, and 742 mg kg⁻¹, respectively. The values of exchangeable (Exch.) potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg) were 1.18, 7.6, and 2.0 cmol_c kg⁻¹, respectively. In terms of the long-term change, the contents of EC, OM, and Exch. cations in upland soils showed increasing tendency. However, significant changes in the contents of pH and Avail. P₂O₅ were not observed since 2013. The ratio of optimal range of pH and OM in upland fields reduced from 55% to 36% in 2001 to 2017 and from 33% to 27%, respectively. The ratio of excessive range of Exch. cations have increased. Therefore, it is necessary to apply the lime and fertilizers based on the soil test in order to properly manage the soil fertility of the upland soils. Meanwhile, average contents of Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, and As were 0.23, 21.0, 13.5, 11.0, 82.6, and 4.8 mg kg⁻¹, respectively. The results from the study imply that environment-friendly soil managements including the cultivation of green manure crop and application of organic composts are necessary to improve the soil chemical properties of upland fields.

Keywords: Upland soil, Soil chemical property, Heavy metal



Excess, deficient and optimal range of chemical properties of upland soils in Gangwon Province ($n=170$).



Introduction

우리나라 소비자들에게 안전한 먹거리를 제공하고 생산자들에게는 소득을 보장하면서 농경지의 농업환경을 보전하는 친환경농업의 중요성이 강조되고 있다. 따라서 이를 위해서는 농경지 화학성 변동 조사사업을 통해 토양 양분과 안전한 농산물 생산을 위한 토양 유해성분 등 농업환경을 파악하여 균형 있게 유지하는 것이 필요하다. 우리나라 농경지에 대한 토양 비옥도 조사는 1958년부터 1963년 전국 토양개량 조합과 시군농촌지도소에서 토양을 채취하고 식물환경연구소에서 화학성을 분석하면서 시작되었다 (Kim et al., 1963). 이후 1998년도에는 친환경농업 육성법이 시행되어 동법 제11조 토양자원 및 농업환경 실태조사가 추진됨에 따라 1999년부터 농촌진흥청과 각 도의 농업기술원이 참여하는 전국적인 규모의 농업환경변동조사가 수행되어 오고 있으며 (RDA, 2009), 논은 1990년부터 1,168개, 밭은 1992년부터 854개 동일한 지점의 토양화학성을 조사 분석한 보고가 있다 (Jung et al., 1998; Jung et al., 2001). 2013년 홀토람에 업로드 된 전국 밭토양 1,006,227 지점의 화학성을 분석하여 보고한 결과 (Kong et al., 2015)가 있고, Park et al. (2016)의 경북지역 시설재배지, 밭, 과수원 토양의 비옥도를 4년 주기로 12년간 조사한 결과 밭토양의 평균 pH와 교환성 칼륨은 유의하게 증가하는 경향을 나타냈고 유기물과 유효인산 함량 등은 큰 변동없이 유지되었다는 보고가 있다. 시설재배지와 감귤원 토양에 대한 연구로는 Heo (2019)가 강화군내 시설재배지 22농가를 대상으로 토양 화학성을 조사한 결과 염류가 많이 집적되어 있는 것으로 나타났다는 보고와 Kang (2020)의 제주지역 모든 토양에 석회고도 비료를 지속적으로 사용해야 한다는 보고가 있다. Roh et al. (2018)은 경기도 밭토양 190 지점을 대상으로 조사한 결과 장기적인 변화에서는 pH, 유기물, 교환성 칼슘 함량 등은 증가하는 경향을 나타냈으며, 유효인산 함량은 감소하는 경향을 나타냈다고 하였다. 한편, 강원도 토양화학성 분석 결과로는 2015년 논토양의 평균 화학성은 토양 pH 5.9, 유기물 함량 22 g kg⁻¹, 유효인산 함량 123 mg kg⁻¹을 나타냈고, 교환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 함량은 각각 0.39, 4.8, 0.9 cmol_c kg⁻¹이었고, 유효규산 함량은 170 mg kg⁻¹이라는 결과가 있다 (Yoon et al., 2016).

본 연구의 목적은 강원지역 밭토양 170 지점을 대상으로 지형 및 토성을 고려하여 토양 화학성의 변동을 주기적으로 파악하고, 과학적이고 합리적인 토양 개량과 시비체계 개선 및 농업환경 보전을 위하여 2001년부터 2017년까지 4년 주기로 5회에 걸쳐 토양 화학성을 조사, 분석하여 토양 비옥도의 현황과 변동을 평가하고자 하였다.

Materials and Methods

토양시료 채취 및 준비 강원지역 밭토양의 화학성 변동을 주기적으로 조사하기 위하여 2001년에 시군별로 토양 유형, 지형 및 토성 분포면적 비율을 고려하여 170 지점을 선정하여 2017년까지 4년 주기로 조사하였다. 채취 지역을 지형별로는 곡간지 63지점, 산록경사지 36지점, 하성평탄지 29지점, 선상지 27지점, 구릉지와 산악지 8지점, 기타 7지점 이었고, 토성별로는 사양토 89지점, 양토 70지점, 미사질양토 3지점, 미사질식양토 3지점, 기타 5지점이었다. 조사대상 밭토양의 주요 재배작물은 옥수수 71, 콩 23, 고추 23, 감자 14, 들깨 12, 배추 12, 대파 9, 무 4, 기타 33으로 170지점에서 196 종이 재배 되고 있었고, 6지점은 일시적 휴경 상태이었다.

토양 화학성 분석방법 토양시료 채취는 3월부터 4월 사이 작물재배를 위한 비료사용 전에 조사 필지별 5곳에서 표토(0 - 15 cm)를 토양시료 채취기로 채취하였다. 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, 교환성양이온은 1.0 N NH₄OAc (pH 7.0)로 침출하여 ICP (Integra Dual, 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, 교환성 칼륨 0.5 - 0.6 cmol_c kg⁻¹에서 토양 pH 6.0 - 7.0, 유효인산 300 - 550 mg kg⁻¹, 교환성 칼륨 0.5 - 0.8 cmol_c kg⁻¹이었다. 중금속 분석은 토양오염공정시험기준 (ME, 2010)에 의거 중금속 6종 As, Cd, Ni, Pb, Zn, Cu는 ICP (Integra Dual, GBC), Cr은 총함량으로 분광광도계 (Uvikon X5, Secoman), Hg는 수은분석기 (DMA-80, Milestone)로 측정하였다. 토양특성의 통계적인 분석은 SAS (9.4)를 사용하여 Duncan 검정을 실시하였다.

Results and Discussion

밭토양 화학성 평균 2001년부터 2017년까지 4년 1주기로 조사한 강원도 밭토양 화학성의 평균과 범위, 분포 비율은 Table 1, Table 2와 같다. 2017년의 밭토양 pH는 6.4 (4.6 - 8.4), EC는 0.89 ds m⁻¹, 유기물 함량은 32 (2 - 109) g kg⁻¹, 유효인산 함량은 742 (10 - 1,847) mg kg⁻¹, 교환성칼륨, 칼슘, 마그네슘은 각각 1.18 (0.07 - 3.93), 7.6 (1.6 - 24.3), 2.0 (0.4 - 7.6) cmol_c kg⁻¹이었다. pH는 2001년 5.9에서 2005년 6.0, 2009년 6.3, 2013년 6.5, 2017년에는 6.4로 변동하였고, 유기물 함량은 2001년 20 g kg⁻¹에서 2017년 32 g kg⁻¹으로 대폭 증가하였다. 유효인산 (Avail. P₂O₅)은 2001년 687에서 2017년 742mg kg⁻¹으로 증가하였고 적정범위를 초과하였다, 교환성 칼륨은 2001년 0.77에서 2017년 1.18 cmol_c kg⁻¹으로, 교환성 칼슘은 2001년 5.3에서 2017년 7.6 cmol_c kg⁻¹으로, 교환성 마그네슘은 2001년 1.6에서 2017년 2.0 cmol_c kg⁻¹으로 증가하였다. 2017년 토양화학성 현황을 보면 평균 pH와 교환성 마그네슘은 적정범위

Table 1. Chemical properties of upland soils in Gangwon Province.

Year	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. cations			
					K	Ca	Mg	Na
					----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
2001	5.9	0.48	20	687	0.77	5.3	1.6	0.10
(range)	(3.8 - 7.8)	(0.07 - 5.44)	(3 - 46)	(39 - 1,422)	(0.07 - 3.32)	(0.4 - 22.1)	(0.0 - 11.7)	(0.00 - 0.67)
2005	6.0	0.40	20	726	0.64	4.6	1.3	0.40
	(4.1 - 7.3)	(0.05 - 2.17)	(2 - 52)	(3 - 2,232)	(0.07 - 2.65)	(0.5 - 11.2)	(0.0 - 4.8)	(0.20 - 1.04)
2009	6.3	0.59	20	699	0.63	4.4	1.1	0.61
	(4.0 - 8.3)	(0.01 - 5.33)	(4 - 57)	(31 - 1,917)	(0.05 - 5.17)	(0.6 - 11.2)	(0.1 - 5.0)	(0.28 - 1.45)
2013	6.5	0.45	26	675	0.82	5.7	1.4	0.23
	(4.5 - 7.8)	0.07 - 2.74	(5 - 71)	(41 - 1,711)	(0.10 - 3.42)	(0.3 - 15.8)	(0.1 - 5.2)	(0.03 - 1.11)
2017	6.4	0.89	32	742	1.18	7.6	2.0	0.17
	(4.6 - 8.4)	(0.09 - 4.12)	(2 - 109)	(10 - 1,847)	(0.07 - 3.93)	(1.6 - 24.3)	(0.4 - 7.6)	(0.04 - 1.37)
2017(Korea) [†]	6.4	1.03	27	657	0.96	7.6	2.1	
	(4.0 - 8.6)	(0.03 - 12.73)	(2 - 111)	(4 - 2,464)	(0.07 - 7.66)	(0.7 - 30.4)	(0.1 - 9.0)	
Optimum range	6.0 - 7.0	2 ≤	20 - 30	300 - 550	0.5 - 0.8	5.0 - 6.0	1.5 - 2.0	-

[†]Except Jeju province

에 있었으나, 교환성 칼륨과 칼슘은 적정범위를 초과하였다. Table 1과 2에서 보논바와 같이 모든 화학성분량이 지점 간 편차가 컸다. 2013년 흙토람에 업로드 된 전국 밭토양 1,006,227 지점의 화학성을 분석하여 pH 6.2, 유기물 23 g kg⁻¹, 유효인산 399 mg kg⁻¹, 교환성칼륨, 칼슘, 마그네슘은 각각 0.72, 6.2, 1.9 cmolc kg⁻¹이라는 보고가 있고 (Kong et al., 2015), 제주도를 제외하고 2017년 조사한 전국 밭토양 1,630 지점의 화학성분 함량을 비교한 결과 유기물함량, 유효인산과 교환성 칼륨은 강원도 평균이 전국 평균값 (Chae et al., 2018) 보다 높았다 (Table 1). Park et al. (2016)은 경북지역의 시설재배지, 밭, 과수원 토양의 비옥도를 4년 주기로 12년간 조사한 결과 밭토양의 평균 pH와 교환성 칼륨

Table 2. Distribution percentage of chemical properties for upland soils in Gangwon Province in 2017.

Chemical properties	Distribution percentage							Optimum range
	≤5.0	5.1 - 5.5	5.6 - 5.9	6.0 - 6.5	6.6 - 7.0	7.1 - 7.5	7.6 <	
pH (1:5)	6.5	9.4	16.5	23.6	12.4	21.6	10.0	6.0 - 7.0
EC (ds m ⁻¹)	≤0.50	0.51 - 1.00	1.01 - 1.50	1.51 - 2.00	2.01 - 2.50	2.51 - 4.00	4.01 <	2 ≤
	42.4	21.8	19.4	7.6	4.7	3.5	0.6	
OM (g kg ⁻¹)	≤10	11 - 19	20 - 30	36 - 40	41 - 50	51 - 60	61 <	20 - 30
	4.8	18.8	27.6	23.6	12.3	10.0	2.9	
Avail. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	≤299	300 - 550	551 - 800	801 - 999	1,000 - 1,499	1,500 - 1,850	1,850 <	300 - 550
	20.0	18.2	13.6	16.5	26.4	5.3	0.0	
Exch. K (cmol _c kg ⁻¹)	≤0.4	0.5 - 0.8	0.9 - 1.5	1.6 - 2.0	2.1 - 2.5	2.6 - 3.0	3.1 <	0.5 - 0.8
	15.3	22.3	34.7	14.7	8.2	2.4	2.4	
Exch. Ca (cmol _c kg ⁻¹)	≤4.9	5.0 - 6.0	6.1 - 9.0	9.1 - 12.0	12.1 - 15.0	15.1 - 18.0	18.1 <	5.0 - 6.0
	24.7	17.6	27.6	18.2	7.7	2.4	1.8	
Exch. Mg (cmol _c kg ⁻¹)	≤1.4	1.5 - 2.0	2.1 - 3.0	3.1 - 4.0	4.1 - 5.0	5.1 - 6.0	6.1 <	1.5 - 2.0
	37.6	21.8	28.3	5.9	2.9	2.9	0.6	

Table 3. Selected soil chemical properties of upland fields cultivated with different crops.

Crop	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. cation			
					K	Ca	Mg	Na
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹			
Corn (71)	6.4 [†] ab	0.79bcd	33ab	732bc	1.20ab	7.2ab	2.0a	0.16a
Soybean (23)	6.2b	0.55d	31ab	727bc	1.09ab	6.0b	1.7a	0.20a
Red pepper (23)	6.2b	1.00bcd	35a	837ab	1.09ab	7.1ab	1.7a	0.16a
Potato (14)	6.3ab	1.29abc	32ab	905ab	1.28ab	7.8ab	2.2a	0.19a
perilla (12)	6.4ab	0.67cd	28ab	570bc	0.98ab	7.0ab	2.0a	0.18a
Chines cabbage (12)	6.7ab	1.69a	35a	775bc	1.51a	9.8a	2.2a	0.16a
Green onion (9)	6.4ab	1.34ab	30ab	1,154a	1.31ab	6.3ab	1.8a	0.18a
White radish (4)	7.1a	0.74bcd	19b	442c	0.73b	8.8ab	2.1a	0.15a
etcetera [‡] (33)	6.6ab	0.73bcd	30ab	611bc	1.11ab	8.8ab	2.0a	0.16a

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

[‡]buckwheat, sorghum, rape, codonopsis, rye, green pumpkin, cabbage, lettuce, sesame, sweet potato, zucchini, wheat, broccoli, celeri, cucumber, non-cultivation

Table 4. Selected soil chemical properties of upland fields in different topographical areas.

Topography	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. cation			
					K	Ca	Mg	Na
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹			
Local valley (63)	6.6 [†] a	0.86a	34abc	752ab	1.13b	8.6a	2.2ab	0.17a
Mountain foot slopes (36)	6.2a	1.02a	29bc	582c	1.27ab	7.6a	2.0ab	0.20a
Alluvial plains (29)	6.4a	0.76a	24c	729ab	0.91b	5.9a	1.5b	0.15a
Alluvial fan (27)	6.3a	1.00a	39ab	943ab	1.40ab	6.7a	1.7ab	0.18a
Hill & Mountain (8)	6.1a	0.64a	33abc	484c	0.90b	7.3a	2.5a	0.16a
etcetera [‡] (7)	6.7a	0.95a	44a	1,261a	1.75a	8.6a	2.1ab	0.17a

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

[‡]Fluvio-marine plains (1), Diluvial terrace (3), No information (3)

Table 5. Selected soil chemical properties of upland fields in different soil texture.

Soil texture	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. cation			
					K	Ca	Mg	Na
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹			
Silty clay loam (3)	6.5 [†] a	0.81a	48a	1,332a	2.43a	8.3b	2.4ab	0.12a
Silt loam (3)	7.0a	1.30a	29ab	335b	1.19b	12.9a	3.0a	0.10a
Sandy loam (75)	6.5a	0.81a	33ab	778b	1.09b	7.3b	1.9ab	0.17a
Loam (70)	6.4a	0.98a	32ab	680b	1.29b	7.9b	2.1ab	0.18a
Fine sandy loam (14)	6.1a	0.84a	26b	839b	0.89b	5.3b	1.3b	0.15a
etcetera [‡] (5)	6.8a	0.88a	36ab	702b	1.09b	9.0ab	2.6ab	0.19a

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

[‡]Clay loam (1), Loamy coarse sand (1), No information (3)

은 유의하게 증가하는 경향을 나타냈고 유기물과 유효인산 함량 등은 큰 변동 없이 유지되었다고 보고하였다. 강원지역 밭토양의 작물 종류에 따른 토양화학성은 Table 3에서 보는 바와 같다. 토양 pH의 작물별 재배지 평균은 6.2 - 7.1 이었는데, 콩고추 재배지와 무 재배지 사이에는 유의차가 있었다. 유기물 함량의 작물별 재배지 평균은 19 - 35 g kg⁻¹ 이었는데 고추배추 재배지와 무 재배지 사이에는 유의차가 있었고, 유효인산은 대파와 무 재배지 사이에 유의차가 있었다. 교환성 칼륨은 배추와 무 재배지 사이에 유의차가 있었고, 교환성 칼슘은 콩과 배추 재배지 사이에 유의차가 있었으나 교환성 마그네슘과 나트륨 재배지 사이에는 유의차가 없었다. 강원지역 밭토양의 지형에 따른 토양화학성은 Table 4에서 보는 바와 같다. 토양 pH의 EC는 지형에 따른 유의차가 없었으나, 유기물 함량은 하성평탄지와 선상지 사이에 유의차가 있었다. 교환성 칼슘은 지형 사이에 유의차가 없었고, 교환성 마그네슘은 하성평탄지와 구릉지산악지 사이에 유의차가 있었다. 강원지역 밭토양의 토성에 따른 토양화학성은 Table 5와 같다. 토양 pH와 EC는 토성에 따른 유의차가 없었으나, 유효인산과 교환성 칼륨은 미사질양토에서 유의차가 있었다.

밭토양 화학성 분포율 밭토양의 화학성 적정범위를 기준으로 (RDA, 2013) 2001년부터 2017년까지의 강원지역 화학성 적정범위의 부족/낮음, 적정, 과다/높음 비율은 Fig. 1과 같다. pH의 적정범위 (6.0 - 7.0) 비율은 2001년 42%에서 2017년 36%로 감소하였으며 적정범위보다 높음의 비율도 점진적으로 증가하였다. 이러한 결과는 경기지

역에서 조사 (Roh et al., 2018)와 비슷한 경향을 보였는데, 토양의 pH가 높아지면 세포액의 농도에 부정적인 영향을 미치게 되어 식물생육에 지장을 초래하고, 염기성물질인 칼슘과 마그네슘 결핍을 야기한다. 또한 인산의 역할을 저해하므로 발토양의 산도 개선과 토양개량을 위한 석회질 비료를 사용하기 위해서는 토양 검정에 의한 석회 요구량을 산출하여 적정시비가 이루어져야 할 것이다. 토양유기물의 적정범위 비율은 2001년에 35%에서 2017년 27%로 감소되었으나, 적정범위보다 낮은 비율은 2001년 53%에서 2017년 24%로 감소되고, 적정범위보다 높은 비율은 12%에서 49%로 증가되어, 경기도의 유기물 적정범위보다 낮은 비율이 2001년 54%에서 2017년도 40%로 감소, 높은 비율이 2001년 5%에서 2017년도 17%로 증가된 것 (Roh et al., 2018)에 비해 유기물이 풍부해졌으나, 적정범위 미만 의 농가도 20% 이상 있으므로 이곳에 대해서는 유기물 증가를 위한 토양관리와 공급대책이 필요하다. 발토양에 유기물을 사용하면 입단형성, 보수력증가, 통기성 향상, 지온상승과 같은 토양물리성을 개선 할수 있고, 토양의 완충능 증대, 양분가용성 증가, 화학성 개선, 질소 고정과 같은 토양의 종합개량에 효과가 있지만 (Recel, 1994), 유기물 사용을 위해 인산과 질소 함량이 많은 가축분 퇴비 위주로 시비하면 토양의 질산염, 유효인산 함량이 높은 염류집적 토양의 원인이 되므로 (Sohn and Han, 2000), 토양의 염류집적을 억제하고 유기물 사용 효과를 나타내기 위해서는 볏짚, 퇴구비사용, 녹비작물재배가 발토양의 유기물 함량 증가에 크게 기여할 것으로 판단된다. 유효인산 함량의 적정범위 비율은 2001년 18%, 2005년 20%, 2009년 23%, 2013년 19%, 2017년도 18%으로 과다한 농가와 부족한 농가의 비율도 거의 변화가 없었다 (Fig. 1). 이는 적정범위 비율은 20%대인 경기도 조사와 비슷하였으나, 과다 비율이 52%인 경기도 보다는 높은 62%이었다. 이는 강원지역 발토양에 대한 인산비료의 소요량 대비 시비량이 많음을 나타냈으며, Kong et al. (2015)이 보고한 2003년부터 2013년 까지 전국 발토양 유효인산 분포율과 비교하여 강원지역 발토양의 유효인산 적정범위 비율 및 적정범위 이하 비율도 낮은 수준이었다. 2017년 강원도 발토양의 적정비율은 pH 36%, 유기물 함량 27%, 유효인산 18%, 교환성칼륨 23%, 칼슘 18%, 마그네슘 22% 이었으나, 제주도를 제외한 전국 1,630 지

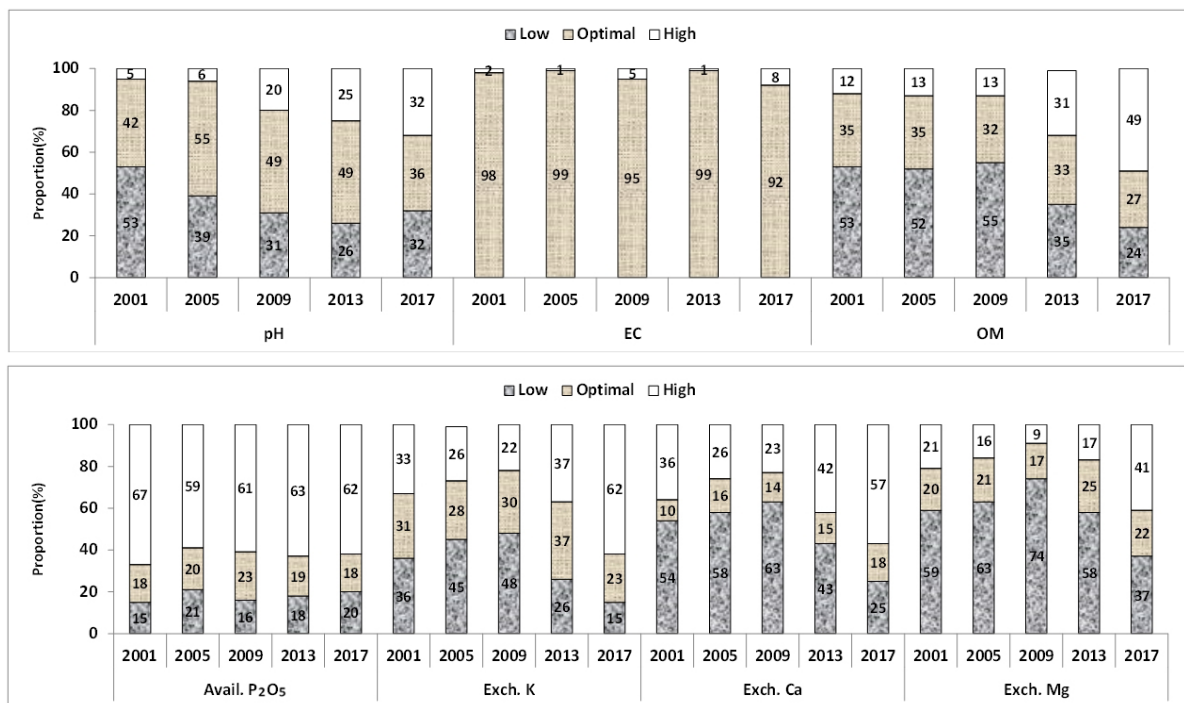


Fig. 1. Excess, deficient and optimal range of chemical properties of upland soils in Gangwon Province (n = 170).

점의 적정비율은 pH 21%, 유기물 함량 31%, 유효인산 18%, 교환성 칼륨 9%, 칼슘 13%, 마그네슘 21%로 pH 적정비율은 강원도 평균이 전국 평균보다 높았다 (Chae et al., 2018). 인산은 토양수에 대한 용해도는 낮고 토양에 강하게 흡착되어 쉽게 용탈되지 않고, 토양입자와 함께 유실되는 것으로 알려져 있으나, 토양중 유효인산의 함량이 일정수준 이상으로 증가하면 토양의 인산 흡착능은 제한적이어서 가용태 인산으로 용탈되어 하천수의 부영양화 원인으로 보고 되고 있어 토양검정에 의한 시비방법이 필요하다 (Lyons et al., 1998). 교환성 칼륨 함량의 적정범위 비율은 2001년에 31%에서 2017년 23%로 감소하였고, 적정범위 이상은 2001년에 33%에서 2017년 62%로 증가 경향을 나타냈으며, 적정범위 이하는 2001년에 36%에서 2017년 15%로 감소하였다. 이러한 결과는 Roh et al. (2018)이 보고한 2017년 경기지역 조사와 비슷한 경향을 보였다. 교환성 칼슘 함량의 적정비율은 2001년도 10%에서 2017년도 18%로, 적정범위 이상은 36%에서 57%로 증가 하였다. 이러한 결과는 Roh et al. (2018)이 보고한 경기도 결과와 비슷한 경향을 보였다. 교환성 마그네슘 함량의 적정비율은 2001년에 20%에서 2017년 22%로, 적정범위 이상은 2001년 21%에서 2017년 41%로, 부족 비율은 2001년에 59%에서 2017년 37%로 변화하였다. 이러한 결과도 Roh et al. (2018)이 보고한 경기도의 결과와 비슷한 경향을 보였다. 토양전기전도도의 적정기준인 2 dSm⁻¹ 이하의 비율은 92 - 99%를 차지하고 있었으며 초과 비율은 2001년 2%에서 2017년도 8%로 증가 하였다. 적정비율은 경기도와 비슷한 결과를 보였으나 초과비율 변동은 경기도와 상반된 결과를 보였다. 노지에서는 교환성 Ca, Mg이 증가하여 EC에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 강원지역 밭토양의 화학성의 평균은 유기물 함량과 교환성 양이온이 증가하고 있으며, 과한 농가의 비율이 증가하는 경향을 보였다. 그러나 부족한 농가도 존재하는 등 편차가 크므로 양분 과부족 밭토양에 대해서는 토양검정에 의해 적정하게 시비하고, 석회는 부족한 토양에 공급하고, 토양 유기물 증대를 위해서는 녹비작물 재배와 볏짚 사용 등 토양관리가 필요할 것으로 판단된다.

Table 6. Heavy metal contents of upland field soils cultivated with different crops.

Crops	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Cr [†]	Hg
	----- mg kg ⁻¹ -----							
Corn (71)	0.18b	20.8ab	13.2ab	10.2b	81.3ab	4.5ab	25.4ab	0.01a
Soybean (23)	0.21b	20.4ab	15.0a	15.1ab	79.5ab	6.0ab	29.2ab	0.01a
Red pepper (23)	0.13b	19.2ab	13.5ab	7.5b	79.7ab	4.5ab	29.2ab	0.01a
Potato (15)	0.11b	15.1ab	8.2ab	5.6b	79.8ab	3.2b	18.4ab	0.01a
perilla (12)	0.34b	16.4ab	11.9ab	4.5b	75.1ab	2.8b	23.9ab	0.01a
Chines cabbage (12)	0.72a	25.2a	15.1a	25.2a	92.4a	6.5ab	22.0ab	0.01a
Green onion (9)	0.06b	16.1ab	6.3b	4.0b	88.8ab	1.9b	16.7ab	0.01a
White radish (4)	0.15b	10.9b	8.2ab	10.2b	71.6b	8.3a	14.1b	0.01a
etcetera [‡] (33)	0.23b	24.0ab	16.5a	11.7b	83.9	4.4ab	32.3a	0.01a
Mean	0.23	21.0	13.5	11.0	82.6	4.8	26.0	
Min	ND	2.0	ND	ND	38.0	ND	2.3	
Max	3.07	80.8	44.7	150.4	180.1	24.2	169.4	
Mean/Critical level (%)	5.8	14.0	13.5	5.5	27.5	21.0	27.5	
Critical level [§]	4	150	100	200	300	25		4

[†]Total chromium.

[‡]buckwheat, sorghum, rape, codonopsis, rye, green pumpkin, cabbage, lettuce, sesame, sweet potato, zucchini, wheat, broccoli, celeri, cucumber, non-cultivation

[§]Based on soil pollution concerns of Soil Environment Conservation Act (Ministry of Environment, 2010).

중금속 함량 강원지역 밭토양 중금속 함량 평균은 우려기준 보다 현저히 낮았으며, 조사된 170지점에 대해서는 우려기준을 초과하는 지역은 없었다. 작물별로 조사한 강원지역 밭토양의 중금속 함량은 Table 6에서 보는 바와 같다. 배추 재배지가 다른 작물 재배지에 비해 중금속이 높게 나타났으나, 토양환경보전법상 (ME, 2010)의 토양오염우려기준에 대한 비율 (평균값/우려기준 \times 100)은 아연 (27.5%) > 비소 (21.0%) > 구리 14.0%) > 니켈 (13.5%) > 카드뮴 (5.8%) > 납 (5.5%)으로 기준보다 훨씬 낮은 수준이었다. 강원도 논토양의 카드뮴과, 납은 토양오염기준의 5%, 구리는 10%, 비소는 15%, 아연은 20% 이하이었으므로 (Yoon et al., 2016) 밭토양이 조금 높은 비율은 보였다. Chae et al. (2018)이 보고한 2017년도 전국 밭토양 1,630 지점의 카드뮴 및 납 성분 비율은 비슷했으나, 구리와 니켈 성분은 낮았다. 이상의 결과로부터 광산 인근이 아닌 강원지역의 일반적인 밭토양은 중금속에 대하여 매우 안전하다고 할 수 있다.

Conclusions

강원지역 밭토양의 양분관리를 위한 기초자료를 제공하기 위하여 170 지점의 토양화학성을 2001년부터 2017년까지 4년 주기로 조사 분석하였다. 2017년 밭토양의 평균 화학성은 pH 6.4, 유기물 함량 32 g kg^{-1} , 유효인산 함량 742 mg kg^{-1} 을 나타냈다. 교환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 함량은 각각 1.18, 7.6, $2.0 \text{ cmolc kg}^{-1}$ 이었다. 토양전기전도도는 0.89 ds m^{-1} 이었다. 토양 pH는 2013년 이래 변화가 적었고, 장기적인 변화에서는 유기물과 교환성 양이온은 증가하는 경향을 보였다. pH의 적정범위 비율은 2001년 42%, 2005년 55%, 2009년 49%, 2013년 49%, 2017년 36%이었으며, 유기물의 적정범위 비율은 2001년 35%, 2005년 35%, 2009년 32%, 2013년 33%, 2017년 27%이었으나, 많은 비율은 12%에서 49%로 증가하였다. 유효인산의 적정 비율은 2001년 18%에서 2017년에도 18%로 변화가 없었으며, 과도한 농가의 비율은 62%를 차지했다. 교환성 칼륨의 적정범위 비율은 2001년 31%, 2005년 28%, 2009년 30%, 2013년 37%, 2017년 23%이었으나, 2017년에는 과도한 비율이 62%를 차지했다. 교환성 칼슘과 마그네슘도 2017년에는 과도한 농가의 비율이 각각 57%와 41%이었다. 2017년 밭토양의 부족비율 성분별 순서는 교환성 Mg (37%) > pH (32%) > 교환성 Ca (25%) > 유기물 (24%) > 유효인산 (20%) > 교환성 K (15%)이었다. 한편 과도비율은 교환성 K (62%) = 유효인산 (62%) > 교환성 Ca (57%) > 유기물 (49%) > 교환성 Mg (41%) > pH (32%)이었다. 따라서 양분 과부족 밭토양에 대해서는 토양검정에 의한 적정시비량을 시비하고, 석회는 부족한 토양에 공급하고 토양 유기물 증대를 위해서는 녹비작물 재배와 볏짚 사용 등 토양관리가 필요할 것으로 판단된다. 한편, 밭토양의 카드뮴과 납은 토양오염기준의 5.8%와 5.5%, 니켈은 13.5%, 구리는 14%, 비소는 21%, 아연은 27.5% 이하 수준으로 분포하고 있어 강원지역의 일반적인 밭토양은 중금속에 대하여 매우 안전하다고 할 수 있다.

Acknowledgement

This study was conducted with the support of the “cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ01250508)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Chae, M.J., A.S. Roh, B.S. Yoon, S.K. Kim, Y.U. Yun, B.K. Ahn, S.K. Kim, S.J. Park, H.J. Cho, H.J. Kang, S.G. Yun, Y.H. Kim, M.S. Kong, E.J. Lee, H.I. Jung, S.Y. Hong, and G.B. Jung. 2018. Evaluation of chemical properties and heavy metals in upland soils in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert. Extra*(1):74-75.
- Heo, S. 2019. Changes in chemical properties of greenhouse soils collected from Ganghwa. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 52(3):226-234.
- 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., G.H. Jo, 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, H.J. 2020. Soil chemical properties of citrus orchards in Jeju. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 53(1):95-100.
- 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.
- 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.
- ME (Ministry of Environment). 2010. Standard test method for soil pollution. Ministry of Environment, Korea.
- NAAS (National Academy of Agricultural Science). 2010a. Method of soil chemical analysis. Rural Development Administration. Suwon Korea.
- NAAS (National Academy of Agricultural Science). 2010b. Fertilization standard of crop. Rural Development Administration. Suwon 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.
- RDA (Rural Development Administration). 2013. Monitoring project on agro-environment quality; the second round of the workshop. Rural development administration. Suwon, Korea.
- RDA (Rural Development Administration). 2009. Monitoring project on agri-environment quality in Korea, RDA, Suwon, Korea.
- Recel, M.R. 1994. International seminar on the use of microbio and organic fertilizers in agricultural production. RDA & FFTC.
- Roh, A.S., J.S. Park, Y.S. Park, O.J. Ju, M.W. Shin, and S.S. Kang. 2018. Status and changes in chemical properties of upland soil in Gyeonggi Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51(4):435-444.
- 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.
- Yoon, B.S., S.C. Choi, S.J. Lim, S.J. Heo, I.J. Kim, and S.S. Kang. 2016. Status and changes in chemical properties of paddy soil in Gangwon Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49(4):293-299.