Changes in Chemical Properties of Orchard Soils in Jeonnam Province between 2002 and 2018

Hyeon Ji Kim^{1*}, Sun Kook Kim², Sung Woo Kim¹, Kyung Jin Kwak¹, and Oh Do Kwon²

¹Research Scientist, Jeollanam-do Agricultural Research & Extension Services, Naju 58213, Korea

²Senior Researcher, Jeollanam-do Agricultural Research & Extension Services, Naju 58213, Korea

*Corresponding author: hjkim99@korea.kr

ABSTRACT

Received: December 7, 2020

Revised: December 21, 2020

Accepted: December 21, 2020

ORCID

Hyeon Ji Kim

<https://orcid.org/0000-0002-4109-9903>

Soil chemistry is closely related to the productivity of crops and is known as an important factor in determining the nutritional status of the rhizosphere environment suitable for the growth of fruits trees. In this study, chemical properties in 150 sites of orchard soils in Jeonnam province were investigated at four-year interval from 2002 to 2018. Soil pH value had tended to increase gradually within the optimum range, and available phosphate content was always higher than the optimum range, and it increased continuously. The soil organic matter content increased from 33 g kg⁻¹ in 2002 to 38 g kg⁻¹ in 2014, and decreased to 32 g kg⁻¹ in 2018. In the 2018 survey, exchangeable potassium and calcium content were 1.5 times and 1.8 times, respectively, higher than the upper limit of the optimum range. As a result of the correlation analysis between soil chemical components, soil organic matter showed a high correlation with available phosphate content and exchangeable calcium content, which is thought to be related to the use of livestock manure. The orchard soils heavy metal content in 2018 was lower than the levels of Soil Contamination Warning Standard. As a result of comparing the correlation between soil organic matter and heavy metal (Cd, Cu, Zn, Pb, Ni, Cr, Ag, Hg) content, all of the heavy metals, except Pb, showed positive correlation. In particular, Cd, Cu, Zn showed high positive correlation. In fruit tree nutrient management, the dependence of compost and organic fertilizers is higher than that of other crops. As these organic inputs have different characteristics of nutrient supply and accumulation from chemical fertilizers, soil testing is necessary for better fertilization management.

Keywords: Chemical properties, Heavy metal content, Orchard soils

Chemical properties of orchard soils in Jeonnam province.

Year	Statistics	pH	EC	OM	Avail P ₂ O ₅	Exch. Cation		
						K	Ca	Mg
		(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹		
2002	Average	6.2 b [†]	0.93 a	33 b	602 b	1.56 a	6.27 c	2.29 b
	Min.-Max.	4.5 - 8.3	0.1 - 7.5	2 - 95	17 - 2,240	0.16 - 5.39	0.36 - 16.0	0.21 - 7.63
2006	Average	5.9 c	0.60 cd	32 b	599 b	1.45 a	6.29 c	2.22 b
	Min.-Max.	4.0 - 7.5	0.1 - 5.0	8 - 98	25 - 1,838	0.06 - 6.10	0.12 - 19.2	0.58 - 6.90
2010	Average	6.2 b	0.54 ac	37 a	573 b	1.10 b	7.65 b	2.04 b
	Min.-Max.	4.1 - 7.9	0.1 - 4.1	14 - 116	25 - 2,324	0.16 - 5.54	1.92 - 24.7	0.42 - 8.86
2014	Average	6.1 b	0.79 ab	38 a	747 a	1.07 b	7.66 b	2.22 b
	Min.-Max.	3.7 - 8.0	0.1 - 7.3	12 - 87	123 - 1,911	0.22 - 5.10	1.72 - 21.0	0.64 - 6.21
2018	Average	6.5 a	0.74 bc	32 b	832 a	1.43 a	8.69 a	2.62 a
	Min.-Max.	4.2 - 8.1	0.1 - 4.6	5 - 96	3 - 2,734	0.11 - 5.98	0.87 - 20.13	0.67 - 7.11
Optimum range		6.0 - 7.0	≤ 2.0	20 - 30	300 - 550	0.5 - 0.8	5.0 - 6.0	1.5 - 2.0

[†]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p = 0.05$.

[‡]Optimum range of chemical properties on orchard (NAAS, 2019).

Introduction

국내 노지과수 재배면적은 147,198 ha이고, 전남은 16,487 ha로 경북과 제주 다음으로 재배면적이 많다 (KOSIS, 2020). 과수는 영년생 작물로서 한번 재식하면 계속해서 같은 장소에서 자라게 되고 심근성이며, 화아분화는 전년도에 일어나 긴 휴면을 해야하고 발아, 개화, 성장, 결실, 성숙 등의 생육과정도 다른 작물에 비해 매우 복잡해 토양 및 모든 환경조건에 많은 영향을 받으므로 토양환경이 무엇보다 중요한 작물이다. 특히 토양화학성은 작물의 생산성과 밀접한 관계가 있어 과수의 생육에 적합한 근권 환경의 영양상태를 결정하는 중요한 요인으로 알려져 있다 (Ahn et al., 2011). 작물별 토양 특성에 맞춰 시비처방이 이루어 져야 화학비료의 과다시비를 예방하고 작물에 맞는 시비량을 조절할 수 있어 토양검정에 의한 시비처방이 필수적이다. 그러나 과수에 대한 시비량의 과부족 증상은 당년에 판단하기가 어려운 경우가 많아 시비량 결정이 매우 어려운 실정이다. 따라서 본 연구는 전남지역 과수원 토양 150개소를 정점으로 선정하여 2002년부터 2018년까지 4년 주기로 과수원 토양화학성 연차간 변동량 조사를 통해 과수토양의 효율적인 관리를 위한 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

Materials and Methods

과수토양 시료채취 2002년에 전남지역 과수원의 시군별 재배면적, 토양유형, 지형 및 토성 분포면적 등을 고려하여 150개 지점을 선정하여 2018년까지 4년 주기로 동일지점을 5회 조사하였다. 150지점 (단감 44, 배 38, 매실 12, 포도 12, 복숭아 11, 사과 10, 유자 9, 키위 9, 무화과 2, 석류 1, 기타 2)의 토양시료채취는 3월부터 5월 사이에 20 cm 이내의 표토를 토양시료채취기로 5반복 이상 채취하였다.

토양 분석방법 채취한 토양은 그늘에서 5일 이상 풍건하여 채토 한 후 2 mm체를 통과시켜 분석 시료로 사용하였다. 토양 화학성 분석은 농촌진흥청 국립농업과학원 토양화학분석법 (NAAS, 2010)에 따라 pH와 EC는 토양과 증류수를 1:5 (w/w)로 희석하여 진탕 후 pH meter (Orion 3 star, Thermo Scientific, USA)와 EC meter (Orion star A212, Thermo Scientific, USA)로 측정하였다. 토양 유기물 함량은 Tyurin법으로 유효인산은 Lancaster법으로 비색계 (Agilent 8453, Agilent Technologies, USA)를 사용하여 분석하였다. 치환성양이온 (칼륨, 칼슘, 마그네슘, 나트륨)은 1.0N NH₄OAc (pH7.0)로 침출하여 ICP-OES (Optima 7300DV, Perkin Elmer, USA)로 분석하였다. 토양 중금속 분석은 토양오염공정시험기준에 따라 납, 카드뮴, 구리, 니켈, 아연, 비소, 크롬은 전함량으로 ICP-OES (AU/5110, Agilent technologies, USA)로 분석하였고, 수은은 수은분석기 (NIC MA-3000, JAPAN)로 분석하였다. 토양 화학성 분석 후 농촌진흥청 작물별 시비처방기준 (NAAS, 2019)의 과수 화학성 적정범위를 기준으로 부족, 적정, 과다비율을 구하여 연차별 과부족비율을 검토하였으며, 토양화학성 분석결과에 대한 연차간 차이의 통계적 유의성을 분석하기 위하여 R Project (v. 4.0.1)과 R package ‘agricolae’를 이용하여 ANOVA 분석과 Duncan’s Multiple Range Test를 실시하였고 상관계수 분석은 PASW 프로그램 18버전을 사용하였다.

Results and Discussion

연차별 과수토양 화학성 변화 2002년부터 2018년까지 4년 1주기로 조사한 전남지역 과수토양의 연도별 화

학적 변화는 Table 1과 같다. 과수토양 pH는 2002년 6.2에서 2006년 5.9, 2014년 6.1로 연차별 큰 변동을 보이지 않으나 2018년에는 6.5로 증가하였고, 토양전기전도도는 2002년 0.93 ds m^{-1} 에서 차츰 낮아져 2010년에는 0.54 ds m^{-1} 이다 2014년 0.79 ds m^{-1} 로 증가하여 2018년에는 0.74 ds m^{-1} 로 과수토양의 적정범위 이내에 적합한 수준을 보였다. 유기물 함량은 최초 조사 시 33 g kg^{-1} 에서 연차별 지속적으로 증가하여 2014년에는 38 g kg^{-1} 까지 증가하다 2018년 32 g kg^{-1} 로 감소되었다. 유효인산은 최초 조사시기부터 권장기준보다 높은 특성을 보였으며, 2002년 602 mg kg^{-1} , 2014년 747 mg kg^{-1} , 2018년에는 832 mg kg^{-1} 로 유의적인 증가를 나타냈으며, 이는 과수토양 유효인산 적정수준 보다 1.5배 높았다. 치환성칼륨 함량은 2002년 $1.56 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 에서 2006년 $1.45 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, 2010년 $1.10 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, 2014년에는 $1.07 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 유의적으로 낮아지다 2018년에 $1.43 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 으로 다시 증가하였다. 치환성칼슘은 2002년 $6.27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 에서 연차별로 유의적이게 증가하여 2018년에는 $8.69 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 과수토양 치환성칼슘의 적정수준 보다 1.5배 높았다. 치환성마그네슘은 연차간 큰 차이를 보이지 않으나 2018년에 $2.62 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 증가되었다. 치환성 양이온인 칼륨, 칼슘, 마그네슘 함량이 2018년 조사에서 모두 유의적으로 증가하였는데 이로 인해 2018년 토양산도가 높아졌을 것으로 판단된다.

과수토양 화학성분 간의 상관관계 2018년 전남지역 과수토양 화학성분 간의 상관관계는 Table 2와 같다. 토양 pH는 치환성칼륨과 칼슘, 마그네슘과 유의적인 정적상관을 나타낸 반면 석회소요량과는 부의 상관을 나타냈다. 일반적으로 토양 pH는 양이온과 정적 상관을 보인다는 연구결과와 일치하였다 (Zhang et al., 2016). 토양 pH와 유기물은 상관관계를 나타내지 않았는데, 이는 경남지역 시설재배 토양의 화학성 상관관계 연구결과 (Cho et al., 2018b)와 같이 토양 pH는 유기물 영향보다 치환성 양이온 함량이 적정수준보다 매우 높아 더 많은 영향을 미친것으로 판단된다. 토양 전기전도도는 치환성나트륨과 치환성칼륨과의 상관계수가 높게 나타났으며, 토양 유기물은 유효인산과 치환성칼슘과 높은 상관관계를 보였다. 이는 토양 유기물 주요 공급원이 가축분퇴비에 의한 것으로 퇴비에 다량 함유되어있는 유효인산과 칼슘이 영향을 주었을 것으로 보인다.

Table 1. Chemical properties of orchard soils in Jeonnam province.

Year	Statistics	pH	EC	OM	Avail P ₂ O ₅	Exch. Cation		
						K	Ca	Mg
		(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----
2002	Average	6.2 b [†]	0.93 a	33 b	602 b	1.56 a	6.27 c	2.29 b
	Min.-Max.	4.5 - 8.3	0.1 - 7.5	2 - 95	17 - 2,240	0.16 - 5.39	0.36 - 16.0	0.21 - 7.63
2006	Average	5.9 c	0.60 cd	32 b	599 b	1.45 a	6.29 c	2.22 b
	Min.-Max.	4.0 - 7.5	0.1 - 5.0	8 - 98	25 - 1,838	0.06 - 6.10	0.12 - 19.2	0.58 - 6.90
2010	Average	6.2 b	0.54 ac	37 a	573 b	1.10 b	7.65 b	2.04 b
	Min.-Max.	4.1 - 7.9	0.1 - 4.1	14 - 116	25 - 2,324	0.16 - 5.54	1.92 - 24.7	0.42 - 8.86
2014	Average	6.1 b	0.79 ab	38 a	747 a	1.07 b	7.66 b	2.22 b
	Min.-Max.	3.7 - 8.0	0.1 - 7.3	12 - 87	123 - 1,911	0.22 - 5.10	1.72 - 21.0	0.64 - 6.21
2018	Average	6.5 a	0.74 bc	32 b	832 a	1.43 a	8.69 a	2.62 a
	Min.-Max.	4.2 - 8.1	0.1 - 4.6	5 - 96	3 - 2,734	0.11 - 5.98	0.87 - 20.13	0.67 - 7.11
Optimum range		6.0 - 7.0	≤ 2.0	20 - 30	300 - 550	0.5 - 0.8	5.0 - 6.0	1.5 - 2.0

[†] Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p = 0.05$.

Table 2. A correlation coefficient among chemical contents of orchard soils in 2018 in Jeonnam province ($n = 150$).

	EC	OM	Av.P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na	LR [†]
pH	0.058	0.068	0.038	0.261**	0.669**	0.355**	0.060	-0.721**
EC		0.254** [†]	0.261**	0.541**	0.240**	0.297**	0.695**	-0.064
OM			0.733**	0.510**	0.600**	0.454**	0.072	-0.065
Av.P ₂ O ₅				0.522**	0.456**	0.396**	0.089	-0.047
K					0.430**	0.611**	0.141**	-0.222**
Ca						0.608**	0.226**	-0.528**
Mg							0.398**	-0.354**
Na								-0.079

[†]*, **significant at $p \leq 0.05, 0.01$ respectively.

[†]LR : Lime Requirement

연차별 과수토양 화학성 과부족 비율 분포 우리나라 토양 화학성의 권장 관리기준으로 제시되고 있는 NAAS (2019)의 과수토양 적정범위를 기본으로 연차별로 주요 토양성분의 과부족과 적정 함량의 비율을 비교한 결과는 Fig. 1, 2와 같다. 토양 pH의 경우 2002년과 2006년에 적정범위 이하의 과수토양이 42.7%와 54.7%로 상대적으로 높은 비율을 차지하였으나, 2010년 이후 적정 범위 이하가 뚜렷한 감소 추세를 보여 2018년에는 24.7%로 낮아졌으며, 적정범위에 준하는 비율이 2010년 이후 증가하여 2018년에는 46.7%였다. 유기물의 경우 적정범위 이하의 비율은 2002년 24.0%, 2006년 18.0%, 2010년 10.0%, 2014년 7.3%로 지속적으로 감소하다 2018년 20.7%로 증가하였고, 적정범위 이상비율은 2002년 48.7%, 2006년 42.0%, 2010년 58.0%, 2014년 67.3%로 지속적으로 증가하는 추세를 보이다 2018년에는 46.7%로 감소하였다. 토양 유기물은 작물의 생장을 촉진하고 염류피해를 감소시키는 (Chang et al., 2007) 등 작물 생산성에 중요한 역할을 하여 토양질 평가에 중요한 지표로 활용되며 지속적인 화학비료의 사용은 유기물 감소와 더불어 작물의 생산성을 감소시키는 것으로 알려져 있다. 전남지역 논토양의 유기물함량은 1999년 최초 조사에서는 18.9 g kg^{-1} 으로 권장기준에 미치지 못하였으나 지속적으로 증가하여 2015년에는 33.0 g kg^{-1} 으로 뚜렷한 증가 추세를 보였는데 (Kim et al., 2015), 이는 부산물비료의 사용 증가와 논토양 녹비재배 확대에 따른 유기물 공급의 효과 (Jeon et al., 2009) 때문이라고 하였다. 그러나 2019년 전남지역 논토양 조사에서는 30.0 g kg^{-1} 로 지속적으로 증가하던 논토양 유기물 함량이 감소되는 것으로 나타났는데, 이는 과수토양 유기물함량 변동 추세와 비슷한 경향이였다. 이는 논과 과수원에 주로 공급되었던 녹비작물의 재배면적이 줄어든 것도 영향을 주었을 것으로 판단된다. 실제 전남지역 녹비작물 종자지원 보조율이 1998 - 2015년까지는 100%에서 2016년 이후 50%로 감소되었고, 재배면적도 2009년 66천 ha에서 2016년 2.4 ha로 급감하였다. 전남 과수토양의 유효인산 함량은 전반적으로 권장범위보다 높은 특성을 보였으며, 분포 특성을 보면 권장범위 이상의 분포가 이하의 분포보다 넓게 분포되어 있어 상대적으로 과다 투입된 곳이 많은 것으로 판단된다. 치환성칼륨은 적정 범위 이내 비율이 2002년 15.3%, 2006년 16.7%, 2010년 30.0%, 2014년 30.7%로 증가추세를 보이다 2018년 19.3%로 낮아지고 초과비율이 72.0%로 높아져 치환성칼륨 평균이 높아진 것으로 분석되었다. 치환성칼슘은 권장범위 이상 비율이 2002년 48.0%였는데 지속적인 증가추세를 나타내어 2018년에는 75.3%에서 권장기준을 초과하는 것으로 조사되었다. 2018년 치환성칼슘과 마그네슘의 적정범위 비율은 각각 8.7%, 18.0%으로 과부족 비율이 높은 특성을 보이는 것으로 조사되었다. 전남 과수토양 조사 지점 치환성양이온의 연차별 과부족비율은 적정기준보다 부족한 경지비율은 감소하고 과다 비율은 증가추세로 과수토양 시비 전 토양검정을 통해 비료의 사용량을 결정하는 시비관리가 필요할 것으로 판단된다.

Fig. 1. Distribution of orchard soils by excess, deficient and optimal range of pH, organic matter and available phosphate by year in Jeonnam province.

Fig. 2. Distribution of orchard soils by excess, deficient and optimal range of exchangeable cations by year in Jeonnam province.

과종별 표토의 화학성분 2018년 전남지역 과수원의 과종별 표토의 화학성분 함량은 Table 3과 같다. 토양산도는 사과 재배지에서 7.0으로 가장 높았고, 유자 재배지는 5.5로 가장 낮았다. 전남지역 사과 재배지의 지형은 주로 곡간 및 구릉지인 반면 유자 재배지는 산록경사지에 많이 분포되어 있었다. 경사지에 분포하는 과수원은 여름 강우시 염기 용탈이 심하여 토양이 산성화되기 쉽다 (Jung et al., 2007)는 연구결과와 같이 산록경사지에 분포되어있는 유자 재배지에서 토양산도가 낮게 조사되었다. 토양 전기전도도는 0.52 - 1.56 dS m⁻¹의 범위 내에 분포하였고, 포도 재배지에서 1.56 dS m⁻¹로 가장 높았고 그 다음은 키위 재배지로 0.96 dS m⁻¹이었다. 이러한 결과는 포도와 키위 재배지가 다른 과종과 같은 노지형태가 아닌 비가림시설 등의 형태로 되어있어 더 높게 나타난 것으로 판단되었다. 유기물함량은 23 - 49 g kg⁻¹로 과종 간 차이가 컸으며, 포도와 단감, 사과재배지는 상대적으로 낮은 반면 유자와 키위 재배지에서는 유의적으로 높았다. 유효인산 함량은 유자 재배지에서 1,497 mg kg⁻¹로 가장 높았으며, 배 재배지가 1,056 mg kg⁻¹, 키위는 985 mg kg⁻¹였다. 유효인산 함량은 토양 유기물 함량이 높을수록 더 높게 조사되었는데, 이는 시설재배지에서 유기물함량이 유효인산, 질산태질소, 치환성양이온과 고도의 정의 상관관계를 보였다는 연구결과와 유사한 경향이 있었다 (Cho et al., 2018b). 치환성칼륨 함량은 과종별 유의적인 차이는 없었으나, 치환성칼슘은 키위 재배지가 11.5 cmol_c kg⁻¹로 가장 높았고, 매실 재배지가 5.9 cmol_c kg⁻¹로 가장 낮았다. 과수재배 농가에서는 유기물 공급원으로 가축분퇴비를 많이 사용하고 있지만 가축분퇴비의 양분함량을 고려하지 않고 사용하고 있는 실정이다. 조사지점 중 가축분퇴비의 이용이 많은 과종에서 유효인산과 치환성칼슘이 높게 나타났는데 이는 퇴비 이용에 따른 영향으로 판단된다. 치환성마그네슘은 포도 재배지에서 3.09 cmol_c kg⁻¹로 가장 높았고, 칼슘과 마찬가지로 매실 재배에서 1.97 cmol_c kg⁻¹로 가장 낮았다.

중금속 함량 2018년 전남 과수토양의 중금속 평균함량은 카드뮴 0.31 mg kg⁻¹, 구리 21.1 mg kg⁻¹, 납 13.5 mg kg⁻¹, 아연 86.8 mg kg⁻¹, 니켈 13.8 mg kg⁻¹, 크롬 29.3 mg kg⁻¹, 비소 6.65 mg kg⁻¹로 토양환경보전법상의 토양오염우려기준보다 낮은 것으로 조사되었다 (Table 4). 전남지역 과수토양 과종별 토양 중 카드뮴 함량은 유자 재배지와 키위

Table 3. Chemical properties of orchard soils affected by different fruits in Jeonnam province in 2018 (*n* = 145).

Crop (Site)	pH	EC	OM	Avail P ₂ O ₅	Exch. Cation		
					K	Ca	Mg
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----
Sweet persimmon (44)	6.4 ab [†]	0.52 b	26 cd	540 d	1.09 a	7.2 bc	2.38 ab
Pear (38)	6.7 a	0.68 b	39 abc	1,056 b	1.66 a	10.7 a	2.89 ab
Japanese apricot (12)	5.9 bc	0.65 b	34 bcd	839 bcd	1.31 a	5.9 c	1.97 c
Grape (12)	6.6 a	1.56 a	23 d	645 cd	1.20 a	9.2 ab	3.09 a
Peach (11)	6.6 a	0.68 b	32 bcd	860 bcd	1.69 a	9.3 ab	2.68 ab
Apple (10)	7.0 a	0.73 b	25 d	592 cd	1.72 a	8.4 abc	2.88 ab
Citron (9)	5.5 c	0.93 b	43 ab	1,497 a	1.79 a	6.6 bc	2.26 ab
Kiwi (9)	6.7 a	0.96 b	49 a	985 bc	1.73 a	11.5 a	2.56 ab
Average	6.5	0.74	33	823	1.44	8.7	2.60
Min.	4.2	0.12	5	3	0.11	0.9	0.67
Max.	8.0	4.64	96	2,734	5.98	20.1	7.11

[†] Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at *p* = 0.05

재배지에서 0.44 mg kg^{-1} 와 0.41 mg kg^{-1} 로 가장 높게 조사되었다. Cu와 Pb, Zn 함량도 키위 재배지에서 30.7 mg kg^{-1} , 20.9 mg kg^{-1} , 142.4 mg kg^{-1} 로 가장 높았다. 밭토양 유기물이 Cu, Zn, Pb, Hg와 유의적인 정의 상관관계를 보인다는 연구결과와 (Cho et al., 2018a) 유사하게 유기물함량이 가장 높았던 키위 재배지에서 Cu와 Pb, Zn 함량이 유의적으로 높은 값을 나타내어 가축분이 함유된 유기물을 공급하게 되면 토양에 Cu와 Zn 등의 중금속의 축적이 발생할 수 있다 (Ingelmo et al., 2012; Jakubus et al., 2013)는 연구결과처럼 가축분퇴비에 의해 유기물이 증가 되었고, 더불어 토양 중금속 함량도 증가 되었을 것으로 판단된다.

전남지역 과수원 토양 pH 및 유기물과 중금속 함량의 상관관계는 Table 5와 같다. 과수토양 pH는 Zn과 유의적인 정의상관을 나타낸 반면 Ni, Pb, Cr, Hg과는 부의 상관관계를 나타내었다. 토양유기물은 Pb를 제외한 중금속들과는 모두 유의적인 상관관계를 보였으며, 특히 Cd, Cu, Zn에서 높은 상관관계를 나타냈다. 과수토양 Cd 함량은 다른 중금속들과 유의적인 정의 상관을 보였으며, Zn도 같은 경향이었다.

Table 4. Heavy metal contents of orchard soils by different fruits in Jeonnam province in 2018.

Crop (Site)	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni	Cr	As
	mg kg ⁻¹						
Sweet persimmon (44)	0.29 b [†]	16.3 b	13.9 b	68.2 c	13.7 ab	26.5 ab	6.79 abc
Pear (38)	0.31 b	26.7 ab	13.5 b	102.5 b	13.2 ab	27.4 ab	6.47 abc
Japanese apricot (12)	0.29 b	19.4 ab	12.7 b	77.7 bc	15.4 a	32.1 ab	6.71 abc
Grape (12)	0.28 b	15.4 b	11.6 b	71.5 bc	13.8 ab	40.0 a	7.70 ab
Peach (11)	0.31 b	21.4 ab	11.5 b	90.3 bc	8.45 b	17.3 b	4.48 c
Apple (10)	0.30 b	20.4 ab	13.4 b	89.0 bc	16.2 a	32.1 ab	8.30 a
Citron (9)	0.44 a	21.6 ab	10.9 b	81.0 bc	13.1 ab	35.5 a	5.14 bc
Kiwi (9)	0.41 a	30.7 a	20.9 a	142.4 a	18.6 a	38.2 a	7.55 ab
Average	0.31	21.1	13.5	86.8	13.8	29.3	6.65
Min.	0.06	2.8	5.0	17.8	1.3	2.6	2.04
Max.	0.69	106.2	95.1	274.8	43.2	138.6	21.1
Concern level	4	150	200	300	100	-	25

[†] Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p = 0.05$.

Table 5. Correlation coefficient between heavy metals and soil organic matter of orchard soils in Jeonnam province ($n = 150$).

	OM	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Cr	Hg
pH	0.068	0.002	0.092	-0.006	-0.020	0.220**	0.052	-0.39	-0.004
OM		0.542**	0.732**	0.279**	0.129	0.785**	0.209*	0.248**	0.407**
Cd			0.570**	0.452**	0.193*	0.565**	0.269**	0.400**	0.413**
Cu				0.398**	0.262**	0.787**	0.352**	0.345**	0.399**
Ni					0.074	0.255**	0.565**	0.828**	0.170*
Pb						0.238**	0.261**	0.016	0.084
Zn							0.206*	0.221**	0.339**
As								0.437**	0.171*
Cr									0.153

[†] *, **significant at $p \leq 0.05$, 0.01 respectively.

Conclusion

전남지역 과수재배지 토양의 합리적인 양분관리를 위해 2002년부터 2018년까지 4년주기로 150지점을 정점으로 하여 토양화학적 특성을 조사하였다. 2018년 전남 과수토양 표토의 pH는 6.5로 적정범위에 분포하였으나 2014년보다 증가하였고, 적정범위를 초과하는 비율이 28.7%로 2014년 12.0%보다 증가하였다. 토양유기물은 과수토양 적정범위보다는 다소 높게 유지되었고, 연차별 변동은 2002년 이후 지속적으로 증가해 2014년에는 38 g kg^{-1} 까지 증가하다 2018년에는 32 g kg^{-1} 로 감소되었다. 유효인산은 적정범위 상한선의 1.5배, 치환성칼리는 1.8배, 치환성칼슘은 1.4배 높았으며, 유효인산과 치환성칼슘은 연차간 지속적으로 증가하는 추세를 나타냈다. 과종별로는 유자와 키위 재배지에서 유기물 함량이 가장 높았고, 유효인산은 배와 유자, 키위 재배지에서 매우 높게 조사되었다. 토양화학성 성분간의 상관관계 분석결과 토양유기물은 유효인산, 치환성칼슘과 높은 상관관계를 보였으며, 이는 가축분퇴비의 사용과도 관련이 있을 것으로 사료된다. 토양 중금속함량은 토양환경보전법상의 토양오염우려기준보다 낮아 건전한 특성을 나타냈으며, 과종별로는 키위와 유자 재배지의 Cd, Cu, Zn 등의 함량이 유의적으로 높은 경향이였다. 토양유기물과 중금속함량의 상관관계를 비교한 결과 Pb를 제외한 중금속들과는 모두 정의상관을 나타냈으며, 특히 Cd, Cu, Zn에서 높은 정의상관을 보였다. 과수토양은 양분관리시 퇴비나 유기질비료의 의존도가 다른 작물보다 높은 편으로 이들 유기자원들은 화학비료와는 다른 양분의 용출과 집적의 특성을 보이므로 토양검정에 의한 시비관리가 필수적으로 이루어 져야 할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of ‘Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ012505182020)’ Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- 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.
- Chang, E.H., R.S. Chung, and Y.H. Tsai. 2007. Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. *Soil Sci. Plant Nutr.* 53(2):132-140.
- Cho, H.J., D. Son, S.L. Choi, Y.H. Lee, J.Y. Lee, and J.Y. Heo. 2018a. Assessment of heavy metal concentrations in the upland soils of gyeongnam province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51(3):289-295.
- Cho, H.J., D. Son, S.L. Choi, Y.H. Lee, J.Y. Lee, and J.Y. Heo. 2018b. Changes in chemical Properties of greenhouse soils collected from gyeongnam province between 2000 and 2016. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51(3):265-273.
- Ingelmo, F., M.J. Molina, M. Desamparados Soriano, A. Gallardo, and L. Lapena. 2012. Influence of organic matter transformations on the bioavailability of heavy metals in a sludge based compost. *J. Environ. Manage.* 95:104-109.
- Jakubus, M., J. Dach, and D. Starmans. 2013. Bioavailability of copper and zinc in pig and cattle slurries. *Fresen. Environ. Bull.* 22:995-1002.
- Jeon, W.T., K.Y. Seong, J.K. Lee, M. Kim, and H.S. Cho. 2009. Effects of seeding rate on hairy vetch (*Vicia villosa*) rye (*Secale cereal*) mixtures for green manure production in upland soil. *Korean J Crop Sci.* 54(3):327-331.

- Jung, K.H., S.O. Hur, S.G. Ha, C.W. Park, and H.H. Lee. 2007. Runoff patten in upland soils with various soil texture and slope at torrential rainfall events. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40:208-213.
- Kim, S.K., H.J. Kim, B.H. Kim, H.K. Kim, H.W. Kim, and S.S. Kang. 2015. Chemical properties of paddy soils and factors affecting their change in jeonnam province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 48(5):492-498.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2020. https://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?menuId=M_01_01&vwcd=MT_ZTITLE&parmTabId=M_01_01#SelectStatsBoxDiv
- NAAS. 2010. Method of soil chemical analysis. National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- NAAS. 2019. Fertilization standard of crops. National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Zhang, Y., S. Zhang, R. Wang, J. Cai, Y. Zhang, H. Li, S. Huang, and Y. Jiang. 2016. Impacts of fertilization practices on pH and the pH buffering capacity of calcareous soil. *Soil Sci. Plant Nutr.* 62:432-439.