

Comparison of the Surface Chemical Properties of Plastic Film House, Upland, and Orchard Soils in Gyeongbuk Province

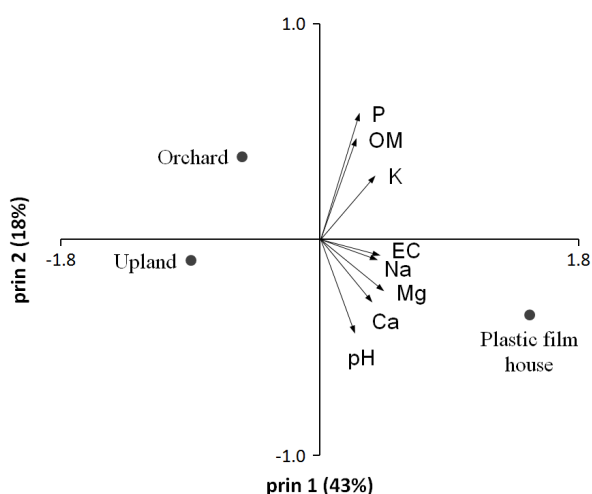
Sang-Jo Park*, Jun-Hong Park, Chan-Yong Kim, Young-Jin Seo, Oh-Heun Kwon,
Jong-Gun Won, and Suk-Hee Lee

Gyeongbuk Agricultural Research & Extension Services, Daegu 41404, Korea

(Received: February 24 2016, Revised: April 19 2016, Accepted: April 25 2016)

The objectives of this study were to evaluate the soil fertility about plastic film house, upland, and orchard in Gyeongbuk Province, Korea. The surface chemical properties of soil samples were investigated every 4 year from 2000 year at upland, 2001 year at orchard, and 2002 year at plastic film house. During 12 year's monitoring, mean soil pH was increased by 0.7 and 0.8 pH unit from pH 5.7 in upland and orchard, respectively, 0.5 pH unit from pH 6.5 in plastic film house. About 50% of all the field samples occupied within the recommended pH range (pH 6-7). Although soil organic matter (SOM) was gradually increased by about 10 g kg⁻¹ for 12 years, 40% of orchard, 49% of plastic film house, and 77% of upland soil samples were still below the 3% SOM. The mean concentration of available phosphate for 12 years in upland, orchard, and plastic film house were 530, 600, and 760 mg kg⁻¹, respectively. The relative frequencies exceeding the recommended available phosphate range (300-550 mg kg⁻¹) were 43%, 53%, and 66% at upland, orchard, and plastic film house soils, respectively. NH₄OAc exchangeable K⁺ of upland, orchard, and plastic film house in the last soil test were 0.8, 0.9, and 1.6 cmol_c kg⁻¹, respectively. The relative frequencies above the recommended K level were 56% and 70% of orchard and plastic film house soil samples, respectively. The levels of crop nutrients except exchangeable Ca and Mg in upland soil were tended to increase gradually in the three fields. Exchangeable Mg, EC, available phosphate, organic matter and soil pH could be used as principle components to differentiate the chemical properties of three land fields. This analysis revealed that the soil fertility was affected by cropping method and field management, although additional research is needed to assess the importance of management on soil chemical properties and many fields indicate an opportunity for improvement in fertilizer management.

Key words: Soil chemicals, Plastic film house, Upland, Orchard



Scatter plot showing positive and negative correlations of 8 soil variables to the first and second principle variates derived from a principal component analysis procedure to differentiate field by land use in Gyeongbuk.

*Corresponding author: Phone: +82533200269, Fax: +82533200295, E-mail: szo@korea.kr

§Acknowledgement: Acknowledgement: This work was part of collaborative project supported by the Rural Development Administration, Republic of Korea, award no.: PJ00919823 (2013, 2014, 2015), Monitoring Project on Agri-Environmental Quality in Korea.

Introduction

토양의 작물 생산성과 밀접한 관계가 있는 양분의 수준을 평가하기 위하여 토양 화학성을 검정한다. 우리나라에서는 토양유기물 (SOM, Soil organic matter), P, K, Ca 그리고 Mg과 이들을 포함한 식물영양소의 화학반응 및 유효도에 중요한 역할을 하는 토양 pH 그리고 염류 농도를 나타내는 전기전도도 (EC, Electrical conductivity)가 토양 화학성을 평가하는 인자로 사용되고 있으며, 이들의 수준을 기초로 하여 작물재배에 적합한 적정범위의 양분수준을 추천하고 있다 (NAAS, 2010a). 토양 화학성은 경지의 이용형태, 비료사용, 토양관리, 재배작물 그리고 토양피복 등의 영향을 받기 때문에 (Jagadamma et al., 2008; Verma and Sharma, 2008; Virto et al., 2012; Ye and Wright, 2010; Zhou et al., 2013) 재배하고자 하는 작물에 적합한 양분상태로 토양을 관리하기 위해서는 토양 화학성에 대한 정기적인 검정이 필요하다. 농경지의 생산성을 지속하고 환경에 나쁜 영향을 주는 농업적인 행위를 줄이는 환경을 보전하는 농업이 강조되고 있는데, 토양 화학성 검정이 필요한 또 다른 이유는 과잉으로 투입되어 재배작물의 생육에 이용되고 남은 성분이 다음 작물의 생육과 주변의 환경에 미치는 부작용을 미리 막을 수 있기 때문이다.

토양검정에 의한 우리나라 농경지 토양 화학성 평가는 1964년의 간이 토양검정에 의한 토양 비옥도 조사가 실시된 이후, 현재와 같은 토양검정 항목을 도입한 1980년의 농토 배양사업으로 확대되어 왔으며, 1990년의 비료사용처방프로그램의 보급과 함께 농경지 토양관리의 전국적인 확대와 1999년의 친환경농업을 지원하기 위한 농업환경자원의 모니터링으로 활발히 진행되고 있다 (Kang et al., 2012; Kim et al., 2010; Kong et al., 2015). 전국의 논 (Kang et al., 2012), 시설 (Kang et al., 2013), 밭 (Kang et al., 2014) 그리고 과수원 (Kang et al., 2015) 토양에 대하여 12년간 화학성의 변화를 추천기준에 기초하여 평가한 보고에 의하면, 화학성별로 적정범위에 분포하는 농경지보다 적정범위보다 부족하거나 과다한 농경지 분포비율이 크게 높았고, 유효인산과 치환성 양이온 (K, Ca, Mg)의 함량이 과다한 농경지 분포비율이 상당히 높아 토양검정에 의한 효과적인 양분관리의 필요성이 강조된 바 있다. 경북 지역의 농경지 화학성에 대하여 시간적인 변동을 해석하거나 경지의 이용형태에 따른 영향을 분석한 연구가 확인되지 않고 있다. 따라서 이 연구에서는 2000년부터 2014년까지 경북지역의 하우스시설, 과수 그리고 밭 작물 재배지를 대상으로 각각 4년마다 4회에 걸쳐 조사한 토양의 화학적 특성을 이용하여 양분수준의 시기적인 변동과 경지의 이용형태에 따른 토양화학성의 차이를 비교 분석하였다.

Materials and Methods

토양시료 채취 및 준비 하우스시설재배지는 2000년부터, 밭은 2001년부터, 과수원은 2002년부터 4년을 1주기로 하여 토양 화학성을 조사하였으며, 분석에 사용한 조사 시기별 시료의 수는 Table 1, 2, 그리고 3의 하단에 표시하였다. 작물의 생육후기부터 작물재배를 위한 비료사용 전에 조사 필지별로 4지점에서 표토 (0-20 cm)를 시료채취용 삽으로 채취하여 통풍이 잘 되는 실내에서 건조시킨 다음 2 mm 체로 쳐서 화학성 분석에 사용하였다. 하우스시설은 참외 (25%), 딸기 (16%)와 수박 (14%), 밭은 콩 (25%)과 고추 (25%), 과수는 사과 (44%), 복숭아 (17%)와 포도 (13%)가 조사대상 토양의 주요 작물이었다.

토양 화학성 분석 토양 pH와 EC는 토양에 증류수를 1:5로 넣고 30분간 진탕한 후에 pH 전극과 EC 전극 (Orion Versa Star, Thermo Scientific, USA)으로 측정하였고, 유효인산은 Lancaster법으로 하여 760 nm (Optizen 3220UV, Mecasys Co., Korea)에서 흡광도를 측정하여 구하였다. 치환성 양이온 (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+)은 1 M NH_4OAc (pH 7.0)로 침출한 여과액을 원자흡광광도계 (Analyst 400, PerkinElmer, USA) 또는 ICP (PerkinElmer, USA)로, 유기물은 2000년부터 2012년까지의 시료는 Tyurin법으로, 2013년 이후 시료는 원소분석기 (Vario MAX, Elementar Analysensysteme GmbH, Germany)로 탄소를 측정한 다음 환산하여 구하였다 (NAAS, 2010b).

통계분석 측정값은 SAS 9.1을 이용하여 통계분석하였다 (SAS, 2010). 기술통계는 MEAN으로, 조사시기 및 경지 이용형태 사이의 토양 화학성의 차이는 GLM으로 분산분석하여 5% 유의수준에서 Tukey로 비교하였고, 토양 화학성의 변수간의 상관은 CORR (Pearson correlation, $p < 0.05$)로, 경지 이용형태에 따라 유의한 차이를 보이는 화학성 변수는 PRINCOM으로 주성분분석을 적용하여 분석하였다.

Results and Discussion

하우스시설 재배지 토양화학성의 변동 및 분포 경북 지역의 하우스시설재배지 토양화학성은 Table 1과 같다. 유의성 검정에서 토양 pH, 유기물, 치환성 K과 Ca 그리고 EC는 조사시기에 따라 유의하게 차이가 있었으나 (각각, $p < 0.0001$, < 0.0001 , < 0.0007 , < 0.0001 , 그리고 < 0.0154), 유효인산과 치환성 Mg은 차이가 인정되지 않았다 (Table 1). 시료 토양 pH의 평균과 중간값은 2012년 조사에서 pH 7.0이었다. 토양유기물은 2008년 조사부터 이전의 조사보다 1% 이상 증가한 것으로 나타났다. 유효인산은 평균 695-784

Table 1. Descriptive statistics of soil parameters for the top 20 cm of soil across plastic film house fields in Gyeongbuk Province*.

Variable [†]	Survey year	Mean ^{††}	SD	10th percentile	Median	90th percentile	CV (%)
pH _{H2O} (1:5)	2000	6.5 b	0.8	5.5	6.6	7.5	12
	2004	6.6 b	0.7	5.5	6.7	7.5	11
	2008	6.6 b	0.6	5.8	6.7	7.3	9
	2012	7.0 a	0.7	6.2	7.0	7.8	10
SOM (g kg ⁻¹)	2000	23 b	13	9	21	38	54
	2004	22 b	9	12	21	34	39
	2008	34 a	18	14	32	60	51
	2012	34 a	16	17	30	57	48
Avail. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	2000	745	447	240	663	1359	60
	2004	784	419	270	726	1294	54
	2008	695	396	221	638	1227	57
	2012	766	423	275	718	1300	55
Exch. K (cmol _c kg ⁻¹)	2000	1.17 b	1.09	0.22	0.82	2.53	93
	2004	1.38 ab	1.40	0.29	0.89	2.68	102
	2008	1.21 b	1.17	0.21	0.79	2.71	97
	2012	1.58 a	1.34	0.25	1.18	3.64	85
Exch. Ca (cmol _c kg ⁻¹)	2000	6.4 d	2.5	3.5	6.2	9.9	40
	2004	8.3 c	3.0	5.0	8.0	12.4	37
	2008	13.0 a	5.5	7.4	12.1	21.2	43
	2012	11.8 b	5.4	5.6	10.7	19.5	46
Exch. Mg (cmol _c kg ⁻¹)	2000	3.3	1.8	1.6	2.9	5.6	54
	2004	3.5	1.8	1.9	3.0	6.0	53
	2008	3.6	2.0	1.6	3.1	6.6	56
	2012	3.3	1.5	1.8	3.0	5.1	45
Exch. Na (cmol _c kg ⁻¹)	2000	0.50 b	0.48	0.18	0.38	0.93	96
	2004	0.58 ab	0.49	0.24	0.43	1.16	84
	2008	0.58 ab	0.62	0.15	0.35	1.41	107
	2012	0.66 a	0.57	0.19	0.50	1.24	85
EC (dS m ⁻¹)	2000	3.3 ab	2.8	0.7	2.4	7.2	85
	2004	3.7 ab	3.1	1.0	2.8	7.4	84
	2008	4.0 a	3.9	0.8	2.4	9.6	97
	2012	3.1 b	3.1	0.6	2.1	6.5	100

*Soil samples used for 2000 and 2004 to 2012 were 426 and 204, respectively.

[†]SOM, soil organic matter; EC, Electrical conductivity.

^{††}Means within each variable followed by different letters are significantly different at $p < 0.05$ (Tukey).

mg kg⁻¹에서 변동하여 NAAS (2010a)의 추천수준 300–550 mg kg⁻¹의 상위수준보다 1.3배 이상에서 유지되고 있었으며 조사시기에 따른 차이는 없었다 ($F 1.67$, $p < 0.173$). 치환성 K은 재배시간이 지남에 따라 증가하는 경향을 보였는데 2012년 결과는 2000년 조사보다 0.41 cmol_c kg⁻¹ 증가한 평균 1.58 cmol_c kg⁻¹로 조사되었다. 치환성 Ca도 K처럼 증가하는 경향을 보였으며 2000년 조사보다 약 2배 증가한 평균 11.8 cmol_c kg⁻¹이 2012년 조사에서 나타났다. 치환성 Mg은 평균 3.3–3.6 cmol_c kg⁻¹에서 분석되었는데, 조사시기에 따른 차이는 없었다 ($F 1.83$, $p < 0.139$). NAAS (2010a)는 치환성 K, Ca 그리고 Mg의 수준을 각각 0.5–0.8, 5–6 그리

고 1.5–2.0 cmol_c kg⁻¹로 추천하고 있는데, K은 추천수준보다 1.5배 이상, Ca은 2004년 조사시기부터 1.4배 이상, Mg은 1.6배 이상에서 평균이 유지되고 있었다. 염류 농도를 보여주는 EC는 식물 영양분과 수분의 흡수에 영향을 주는 수준 (2.0 dS m⁻¹)보다 높은 평균을 보여주고 있으며 2008년 조사에서 가장 높은 평균 4.0 dS m⁻¹을 보여 주었고, 중간 값은 평균보다 낮은 2.1–2.8 dS m⁻¹이었다.

토양화학성의 구간별 시설재배지의 분포비율을 보면 (Fig. 1A), pH 6.0 이하의 토양시료는 감소하고 pH 7.1 이상은 2000년 조사의 27%에서 2012년 44%로 증가하였다. 유기물의 함량이 3% 이하인 하우스시설 토양은 감소하여 50% 정

Table 2. Descriptive statistics of soil parameters for the top 20 cm of soil across upland fields in Gyeongbuk Province*.

Variable [†]	Survey year	Mean ^{††}	SD	10th percentile	Median	90th percentile	CV (%)
pH _{H2O} (1:5)	2001	5.7 c	0.9	4.5	5.7	6.9	15
	2005	5.5 c	0.8	4.4	5.5	6.5	14
	2009	5.9 b	0.8	4.8	6.0	6.9	13
	2013	6.4 a	0.8	5.3	6.6	7.4	13
SOM (g kg ⁻¹)	2001	17 b	9	7	15	28	53
	2005	18 b	9	10	17	31	48
	2009	23 a	11	11	21	37	48
	2013	24 a	12	12	21	39	49
Avail. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	2001	513 ab	308	83	530	912	60
	2005	455 b	268	98	439	793	59
	2009	546 a	321	169	516	1016	59
	2013	517 ab	306	139	498	951	59
Exch. K (cmol _c kg ⁻¹)	2001	0.60 b	0.47	0.18	0.50	1.16	79
	2005	0.60 b	0.42	0.20	0.52	1.17	70
	2009	0.90 a	0.71	0.30	0.76	1.47	79
	2013	0.79 a	0.66	0.23	0.63	1.56	83
Exch. Ca (cmol _c kg ⁻¹)	2001	5.9 ab	3.2	2.2	5.3	10.4	54
	2005	6.5 a	3.0	3.3	6.1	10.0	46
	2009	5.4 bc	2.4	2.5	5.2	8.4	44
	2013	5.0 c	2.3	2.3	4.7	7.9	47
Exch. Mg (cmol _c kg ⁻¹)	2001	1.5 c	0.9	0.6	1.4	2.6	56
	2005	1.8 ab	0.9	0.9	1.7	2.9	48
	2009	1.9 a	1.0	0.8	1.8	3.2	52
	2013	1.7 bc	0.8	0.9	1.6	2.8	46
Exch. Na (cmol _c kg ⁻¹)	2001	0.21 bc	0.10	0.11	0.19	0.29	50
	2005	0.33 a	0.37	0.06	0.27	0.60	115
	2009	0.24 b	0.26	0.09	0.17	0.40	110
	2013	0.15 c	0.15	0.04	0.11	0.26	102
EC (dS m ⁻¹)	2001	0.9 b	0.7	0.3	0.7	1.7	79
	2005	0.7 c	0.7	0.2	0.5	1.3	110
	2009	1.2 a	1.1	0.3	0.9	2.7	90
	2013	0.5 c	0.5	0.2	0.4	1.0	89

*Soil samples used for 2001, 2005, 2009, and 2013 were 250, 244, 230, and 246, respectively.

[†]SOM, soil organic matter; EC, Electrical conductivity.

^{††}Means within each variable followed by different letters are significantly different at $p < 0.05$ (Tukey).

도로 분포하였고, 3.1% 이상인 토양의 분포비율은 2008년부터 크게 증가하였다. 유효인산의 수준별 분포는 조사시기에 따른 차이는 없었고, 550 mg kg⁻¹ 이상을 함유한 토양의 분포비율은 2000년 조사 이후 평균 63%에서 유지되고 있었다. 치환성 양이온의 함량은 추천수준보다 높은 경작지의 분포비율이 높게 유지되고 있었는데, 2012년 조사에서 1.7 cmol_c kg⁻¹ 이상의 K를 함유한 토양은 36%, 10 cmol_c kg⁻¹ 이상의 Ca를 함유한 토양은 55%, 그리고 3.0 cmol_c kg⁻¹ 이상의 Mg를 함유한 토양은 50%로 나타났다. EC 3.0 dS m⁻¹ 이상인 토양의 분포비율은 54% 이상에서 유지되고 있었다 (data not shown).

경북 지역의 하우스시설재배지의 양분수준을 전국의 것

과 비교하면 유효인산은 265 mg kg⁻¹ 정도 낮은 수준이고, 그 밖의 화학성은 전국의 평균수준과 비슷하거나 낮게 나타났다 (Kang et al., 2013). 유효인산, 치환성 K, Ca, Mg이 추천수준보다 낮은 토양은 감소하는 경향이나, 적정수준 이상의 높은 농도를 보이는 경지의 분포비율이 높아 시설재배지에는 퇴비나 비료가 불필요하게 투입되지 않도록 하고, 토양에 있는 양분의 이용도를 높이는 재배관리가 필요한 것으로 판단된다.

밭 토양화학성의 변동 및 분포 2001년부터 4년마다 4회 조사한 경북 지역의 밭 작물 재배지 토양화학성은 Table 2에 나타내었으며, 각 화학성은 조사시기에 따라 통계적으

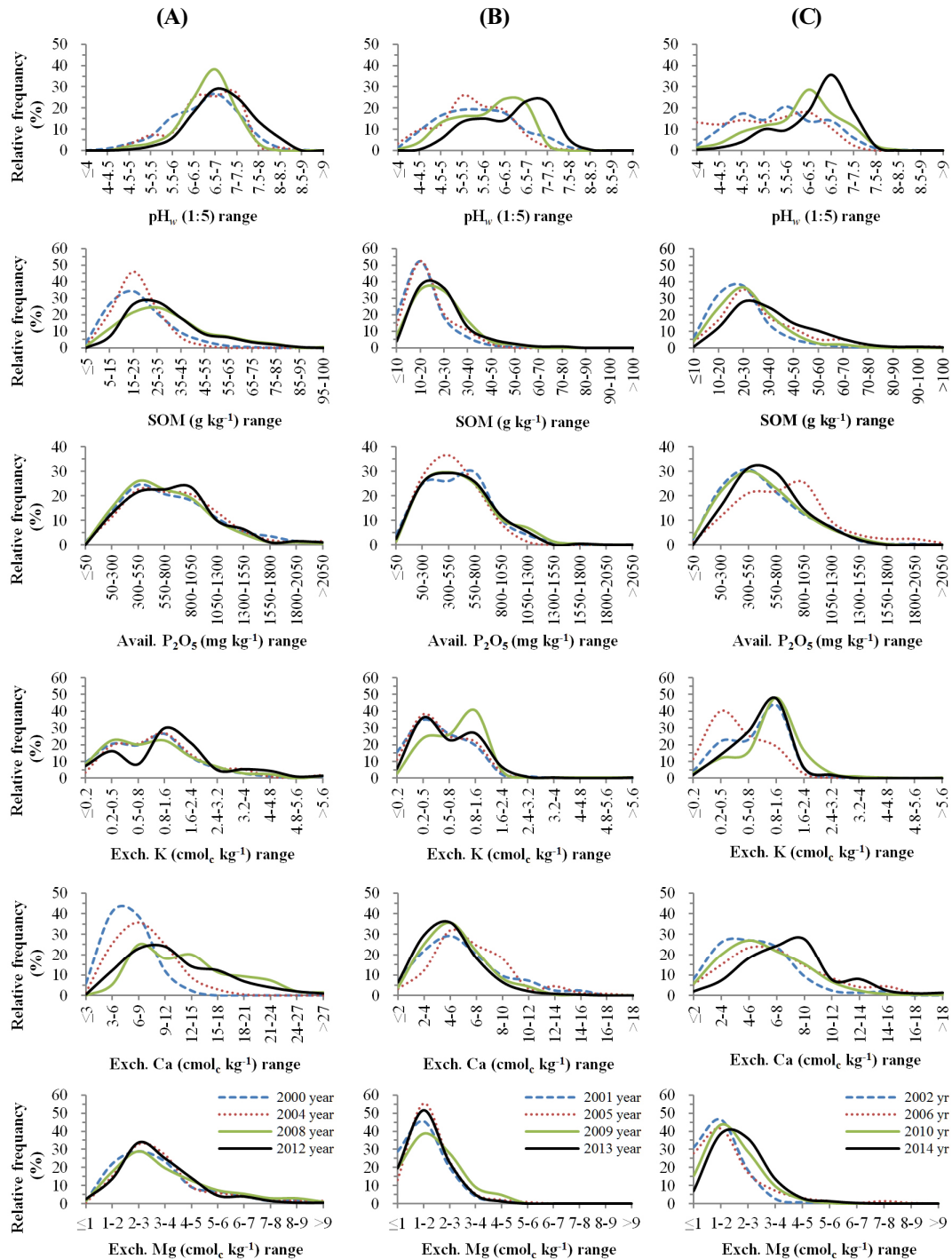


Fig. 1. Relative frequency distribution of soil chemicals levels of surface (0-20 cm) soil from plastic film house (A), upland (B), and orchard (C) fields in Gyeongbuk Province.

로 유의한 차이를 보였다. 밭 토양의 평균 pH는 2009년 조사에서 유의하게 증가하는 경향을 보였다 (F_{55} , $p < 0.0001$). pH 6.0 이하의 산성토양의 분포비율은 2013년에 34%까지 점차 감소하였고, pH 7.1 이상에서는 증가하여 28%를 차지하였다 (Fig. 1B). 밭 토양의 유기물함량은 2009년 조사부터 NAAS (2010a)의 추천수준인 23-24 g kg^{-1} 의 평균을 보여 이전 시기의 조사결과와 큰 차이가 있었다 ($F_{27.3}$, $p < 0.0001$). 유기물 함량의 구간별 분포비율을 비교하여 보면,

20 g kg^{-1} 이하의 토양은 점차 감소하였고, 21 g kg^{-1} 이상은 점차 증가하여 2013년 조사에서 58%의 분포비율을 보였다 (Fig. 1B). 유효인산의 평균 함량은 2005년 조사에서 유의하게 낮은 것을 제외하면 큰 변동없이 ($F_{3.8}$, $p < 0.01$) NAAS (2010a)의 추천수준 (300-550 mg kg^{-1})에서 유지되었고, 추천 상위수준을 넘어서 함유하는 토양은 43% 이상으로 분포하였다 (Fig. 1B). 치환성 K의 평균 함량은 2009년 조사 이후 유의하게 증가하여 ($F_{15.05}$, $p < 0.0001$) 추

천수준 ($0.5\text{--}0.8\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$)을 초과하였다. 2013년 조사에서 추천수준 이하인 토양의 분포비율은 41%이었고, 36%는 K의 추가 사용이 필요하지 않는 추천 상위수준 이상을 보였다 (Fig. 1B). 치환성 Ca 농도는 2005년 이후부터 감소하여 2013년에 가장 낮은 $5.0\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ 로 나타났다 ($F_{14,06}$, $p < 0.0001$). 치환성 Ca를 추천수준 ($5\text{--}6\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$) 이하로 함유하는 시료토양의 분포비율이 2001년 46%에서 12년 후 54%로 증가한 반면, 추천수준 이상으로 함유하고 있는 토양은 42%에서 28%로 감소하여서 (Fig. 1B), 하우스시설과 과수원 토양의 Ca과는 반대의 현상을 나타내었다 (Fig. 1A and 1C). 치환성 Mg의 평균 함량은 추천수준인 $1.5\text{--}2.0\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ 에서 유지되고 있었으나 2013년 조사에서 30%의 밭 토양은 추천 상위수준을 초과하였고, 47%의 토양은 추천 수준에 미치지 못하는 것으로 분석되었다 (Fig. 1B).

경북 밭 토양 화학성의 평균 수준과 적정범위보다 과다한 경지의 분포비율은 전국과 비슷한 수준과 경향을 보였다 (Kang et al., 2014). Kong et al. (2015)의 전국 밭 토양 분석에서도 나타난 것처럼, 경북 지역의 밭은 유기물, K, Ca 그리고 Mg이 추천수준보다 부족한 토양의 비율이 과다한 토양 비율보다 높으므로 이들이 부족하지 않도록 관리하는 노력이 필요하다.

과수원 토양화학성의 변동 및 분포 경북 지역 과수 작물 재배지의 토양 화학성에 대한 모니터링은 2002년부터 시작하여 4년 간격으로 2014년까지 수행하였으며 화학성별 기술통계는 Table 3에 표시하였다. 과수원 토양의 평균 pH는 2006년 조사에서 다소 낮아졌으나 밭 토양과 비슷하게 점차 증가하는 경향을 나타내었고, 조사연도 간에 유의한 차이를 보였다 ($F_{86,7}$, $p < 0.0001$). 이러한 평균 pH의 변동은 시료토양의 분포비율이 pH 6.0보다 낮은 구간에서는 감소하고 pH 6.1 이상에서는 점차 증가하는 경향을 보인 것과 관련이 있었다 (Fig. 1C). 과수원 토양유기물의 평균 함량은 $25\text{--}36\text{ g kg}^{-1}$ 범위에서 변동하였으며, 조사연도 간에 유의한 차이가 있었다 ($F_{38,1}$, $p < 0.0001$). 유기물을 30 g kg^{-1} 이상으로 함유하고 있는 과수원의 분포비율이 점차 증가하고 있는 것을 Fig. 1C에서 볼 수 있는데, 이는 과수원 토양의 비옥도 증진과 물리성 개선에 긍정적으로 작용할 것으로 보여진다. 유효인산은 $800\text{--}1050\text{ mg kg}^{-1}$ 구간의 분포 비율이 가장 높았던 2006년의 조사에서 가장 높은 평균 761 mg kg^{-1} 을 나타내었으며 (Table 3), NASS (2010a)의 추천 상위수준 550 mg kg^{-1} 을 조금 넘긴 다른 조사시기와 차이가 있는 것으로 분산분석에서 나타났다 ($F_{21,3}$, $p < 0.001$). 2006년 조사시기를 제외하면 추천수준 $300\text{--}550\text{ mg kg}^{-1}$ 에서 분포하는 과수원이 30% 정도였는데, 2014년 조사에서는 추천 상위수준의 이상에 분포하는 비율이 올라가는 경향을 보였고, 추천상위수준의 1.45배 이상의 구간 ($> 800\text{ mg kg}^{-1}$)

에 분포하는 비율이 22%나 되었다 (Fig. 1C). 치환성 K의 평균 함량은 2006년 조사 외에는 NAAS (2010a)의 추천수준 ($0.5\text{--}0.8\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$)을 크게 넘어서 유지하고 있었으며 ($F_{50,5}$, $p < 0.001$), 추천 상위수준을 초과하는 과수원이 52% 이상 분포하고 있는 것으로 조사되었다 (Fig. 1C). 과수원 토양의 치환성 Ca 농도는 다른 화학성과 같이 조사시기에 따른 유의한 차이가 있었고 ($F_{33,1}$, $p < 0.001$), 추천 ($5\text{--}6\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$) 하위수준 이상에서 평균과 중간값이 유지되고 있었다 (Table 3). Ca이 추천 상위수준 이상의 구간에 분포하는 시료토양은 점차 증가하여 2014년 조사에서는 72%나 되었다 (Fig. 1C). 치환성 Mg은 점차 증가하는 경향을 보이고 있었으며, 2014년 조사에서는 12년 전보다 $0.7\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ 증가한 $2.2\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ 로 추천수준을 조금 넘어선 것으로 분석되었고, 조사시기에 따라 유의한 차이가 있었다 ($F_{25,9}$, $p < 0.001$). Mg을 $1.5\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ 이하로 함유한 시료 토양은 크게 감소한 반면, $2.0\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ 이상의 토양은 크게 증가하였다 (Fig. 1C). Kang et al. (2015)이 보고한 전국 과수원 토양의 화학성과 비슷한 수준을 보였으며, 재배시간이 지남에 따라 양분의 함량이 부족한 토양시료는 조금씩 감소하는 반면에 과다한 토양의 분포비율이 증가하는 경향은 유사하나, Ca과 K이 과다한 토양의 증가는 전국보다 높게 나타났다. 과수원은 인산, Ca과 Mg이 과다하게 축적된 토양이 많이 분포하므로 이들 비료의 사용에 주의하여야 할 것이다.

토양 화학성간의 상관 하우스시설, 밭 그리고 과수원에서 4회의 조사시기에 걸쳐 분석한 8개의 토양 화학성간의 상관성은 일부를 제외하고 고도로 유의하게 상관관계가 인정되었으나, 상관 정도는 $r=0.65$ 이하로 분석되었다 (Table 4). 하우스시설 토양에서는 pH와 EC, SOM, 유효인산 그리고 K 사이를 제외한 변수들 사이에 고도로 유의한 상관성이 있었으며, EC는 Mg 그리고 Na과 각각 $r=0.65$ 와 $r=0.63$, 유효인산은 SOM 그리고 K과 각각 $r=0.54$ 와 $r=0.55$ 의 상관관계를 보였다. 밭 토양에서는 토양 pH와 유효인산 사이를 제외하고 화학성 변수들 사이에서 고도로 유의한 상관성을 보였는데, Ca과 Mg 사이에 $r=0.65$ 의 비교적 높은 상관 정도가 있었다. 과수원 토양에서는 인산과 Ca, Mg 그리고 Na 간을 제외하고 다른 화학성 변수들 사이에 고도로 유의한 상관성을 나타내었고, pH와 Ca, SOM과 인산 그리고 Ca과 Mg 사이에서 비교적 높은 $r=0.60$, $r=0.53$ 그리고 $r=0.54$ 의 상관 정도를 각각 보였다 (Table 4). 시설과 과수원 토양에서 유기물과 유효인산 사이의 상관성이 $r=0.54$ 와 $r=0.53$ 로 각각 조사되었으나, 밭 토양에서는 $r=0.41$ 에 불과 하였다. 과수원 토양 화학성간의 상관성은 전국의 것과 대부분 비슷한 경향이나, 경북에서는 SOM과 유효인산 간의 상관성이 가장 높은 반면, 2002년 전국 과수원 토양화학성 분석에서

Table 3. Descriptive statistics of soil parameters for the top 20 cm of soil across orchard fields in Gyeongbuk Province*.

Variable [†]	Survey year	Mean ^{††}	SD	10th percentile	Median	90th percentile	CV (%)
pH _{H2O} (1:5)	2002	5.7 c	0.9	4.4	5.7	6.9	17
	2006	5.4 d	1.0	4.0	5.4	6.6	19
	2010	6.1 b	0.9	4.8	6.3	7.2	14
	2014	6.5 a	0.8	5.3	6.6	7.2	12
SOM (g kg ⁻¹)	2002	25 c	12	12	24	39	47
	2006	32 b	17	13	29	56	53
	2010	28 c	12	13	26	43	45
	2014	36 a	10	19	33	59	44
Avail. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	2002	557 b	342	129	512	1035	61
	2006	761 a	441	238	743	1281	58
	2010	562 b	331	169	527	1030	59
	2014	603 b	302	237	572	1019	50
Exch. K (cmol _c kg ⁻¹)	2002	0.87 b	0.48	0.32	0.81	1.55	55
	2006	0.63 c	0.50	0.19	0.49	1.20	79
	2010	1.19 a	0.74	0.40	1.07	2.05	62
	2014	0.94 b	0.50	0.38	0.88	1.51	53
Exch. Ca (cmol _c kg ⁻¹)	2002	5.4 d	2.9	2.1	5.2	9.2	53
	2006	7.1 b	3.7	2.6	6.7	12.1	52
	2010	6.3 c	3.0	2.6	5.9	10.2	49
	2014	7.9 a	3.3	4.1	7.7	12.5	42
Exch. Mg (cmol _c kg ⁻¹)	2002	1.5 c	0.8	0.6	1.5	2.5	51
	2006	1.8 b	1.3	0.6	1.4	3.4	74
	2010	2.0 b	0.9	0.9	1.9	3.2	46
	2014	2.2 a	0.9	1.2	2.1	3.4	42
Exch. Na (cmol _c kg ⁻¹)	2002	0.12 bc	0.07	0.07	0.11	0.19	53
	2006	0.15 b	0.16	0.08	0.12	0.22	108
	2010	0.19 a	0.16	0.08	0.14	0.32	86
	2014	0.11 c	0.10	0.05	0.08	0.19	89
EC (dS m ⁻¹)	2002	0.7 b	0.6	0.3	0.6	1.4	79
	2006	0.9 a	0.7	0.3	0.7	1.8	76
	2010	0.5 c	0.5	0.2	0.4	0.9	83
	2014	0.7 b	0.6	0.3	0.6	1.3	81

*Soil samples used for 2002, 2006, 2010, and 2014 were 299, 294, 300, and 300, respectively.

[†]SOM, soil organic matter; EC, Electrical conductivity.

^{††}Means within each variable followed by different letters are significantly different at $p < 0.05$ (Tukey).

는 SOM과 K 간의 상관성이 가장 크게 나타났다 (Kang et al., 2015). N:P의 비율이 작물보다 낮은 퇴비를 N의 함량을 기준으로 사용을 추천하기 때문에 토양의 P 농도가 증가한다는 Whalen and Chang (2001) 그리고 Sharpley et al. (2004)의 언급처럼 하우스시설과 과수원에는 가축분이나 퇴비의 잦은 또는 다량 사용으로 유기물의 축적량이 늘어나고 퇴비에서 용출되어 나오는 유효인산이 높아진 것으로 판단된다 (Lee et al., 2004). Abreu et al (2003)의 토양화학성 분석에서 토양 pH와 치환성 양이온 (Ca, Mg, K) 사이에 유의한 상관성이 있었는데, 이 연구에서는 pH와 치환성 Ca 그리고 Mg 사이에서만 유의한 상관성이 있었으며 농경지의 세가지

이용유형에서 공통적으로 나타났다 (Table 4).

경지의 이용형태간 토양화학성의 비교 하우스시설, 밭 그리고 과수 작물재배지 토양의 pH는 시간이 지남에 따라 올라가는 경향을 보였고 (Table 1), pH 구간별 경작지의 분포비율도 pH 6.6 이상의 구간으로 이동하는 것으로 분석되었다 (Fig. 1). 하우스시설재배지 토양이 다른 두 토양보다 높은 pH를 유지하고 있으나, 12년간의 증가 정도는 밭과 과수원이 각각 0.7과 0.8 pH 단위로서 0.5 pH 단위인 시설보다 큰 것으로 조사되었다 (Table 1). 토양 유기물은 하우스시설과 과수원 토양에서 34 g kg⁻¹ 이상으로 증가하여 24

Table 4. Pearson's correlation among the tested soil chemical properties in surface soil (0-20 cm).

Variable	pH	EC	SOM	P2O5	K	Ca	Mg
<i>Plastic film house</i>							
pH	1						
EC	-0.036	1					
SOM	0.005	0.149**	1				
P ₂ O ₅	-0.01	0.231**	0.539**	1			
K	0.021	0.493**	0.421**	0.55**	1		
Ca	0.381**	0.345**	0.378**	0.07*	0.203**	1	
Mg	0.206**	0.651**	0.224**	0.251**	0.448**	0.459**	1
Na	0.115**	0.635**	0.220**	0.254**	0.497**	0.313**	0.611**
<i>Upland</i>							
pH	1						
EC	-0.108**	1					
SOM	0.087*	0.156**	1				
P ₂ O ₅	-0.063	0.335**	0.409**	1			
K	0.088*	0.314**	0.474**	0.392**	1		
Ca	0.358**	0.105*	0.173**	-0.143**	0.099*	1	
Mg	0.312**	0.246**	0.122**	-0.09*	0.159**	0.654**	1
Na	-0.038	0.198**	0.118**	0.134**	0.338**	0.140**	0.111**
<i>Orchard</i>							
pH	1						
EC	-0.120**	1					
SOM	0.122**	0.219**	1				
P ₂ O ₅	-0.164**	0.304**	0.526**	1			
K	0.181**	0.283**	0.291**	0.346**	1		
Ca	0.603**	0.117**	0.383**	0.041	0.151**	1	
Mg	0.450**	0.141**	0.252**	0.033	0.257**	0.544**	1
Na	-0.0004	0.275**	0.046	0.014	0.244**	0.064*	0.151***

* and ** indicate significance at the 0.05 and <0.01 levels, respectively.

g kg⁻¹인 밭 토양보다 증가 폭이 높았으며 (Table 1), 유기물이 30 g kg⁻¹ 이하인 토양이 78%인 밭보다 과수원과 시설 토양이 각각 41%와 50%로 분포비율이 크게 낮았다 (Fig. 1). 유효인산은 하우스시설이 전조사기간 평균 747 mg kg⁻¹으로 과수원과 밭보다 각각 127, 240 mg kg⁻¹ 높은 수준을 보였다 (Table 1, 2 and 3). 치환성 K, Ca 및 Mg도 인산과 같이 하우스시설토양에서 다른 두 토양보다 높은 함량 수준으로 조사되었고, 조사기간 중 평균 함량의 증가는 K과 Ca은 시설토양에서, Mg은 과수원토양에서 다른 토양보다 더 크게 나타났다 (Table 1, 2 and 3). NASS (2010a)의 추천수준에 비교하여 보면, 시설토양에는 추천 상위수준보다 K은 1.6배, Ca은 2008년 조사 이후 2배 그리고 Mg은 1.7배 초과한 것으로 분석되었다. 작물 재배지의 EC는 2.0 dS m⁻¹ 이하에서 유지하도록 추천하고 있는데 (NASS, 2010a), 밭과 과수원은 각각 93%와 96% 이상이 기준에 충족하였으나, 하우스시설 토양은 조사기간 평균 3.5 dS m⁻¹ 수준으로 작물

의 영양생리작용에 영향을 주는 수준이었으며, 분석한 토양의 40% 이상이 추천기준을 초과한 상태로 관리되고 있는 것으로 분석되었다 (Fig. 1, Table 1).

농경지 이용형태에 따른 토양 화학성의 차이를 비교하기 위하여 토양시료 분석에서 얻어진 8개의 화학성을 기초로 한 주성분 분석으로 고유값이 1 이상이고 전체 변이의 75.4%를 설명하는 주성분 3개를 구하였다 (Table 5). 각 주성분을 대표하는 화학성 변수는 치환성 Mg, P₂O₅ 그리고 유기물이었다. 변이의 43%를 설명하는 주성분 1의 변량에는 치환성 Mg을 비롯한 치환성 양이온 그리고 EC와 양의 상관성이 비교적 높았다. 변이의 18%를 설명하는 주성분 2의 변량에는 유효인산과 유기물이 비교적 높은 양의 상관성이 있었고, pH와 음의 상관성을 보였다. 주성분 3의 변량에는 유기물, pH 그리고 Ca이 양의 상관성을, EC와 Na은 음의 상관성을 보였으며, 변이의 14%를 설명하는 것으로 분석되었다. 주성분 분석으로 구한 첫 번째와 두 번째 주성분 변량과 세 농경지의

Table 5. Results of principal component analyses (PCA).

Variable	prin 1	prin 2	prin 3
Eigenvalues	3.47	1.44	1.13
% Variance	43.37	17.96	14.09
<i>Eigenvectors</i>			
pH	0.2451	-0.4359	0.4589
EC	0.4183	-0.0772	-0.4082
SOM	0.2511	0.4667	0.5005
P ₂ O ₅	0.2699	0.5868	0.0745
K	0.3821	0.2975	-0.1293
Ca	0.3600	-0.2926	0.4157
Mg	0.4413	-0.2423	-0.0477
Na	0.3985	-0.0950	-0.4183
<i>Scores</i>			
Plastic film house	1.4582 a [†]	-0.3501 c	-0.1858 b
Upland	-0.8970 c	-0.0985 b	-0.2129 b
Orchard	-0.5394 b	0.3847 a	0.3347 a

[†]Means within a column followed by different letters are significantly different at $p < 0.05$ (Tukey).

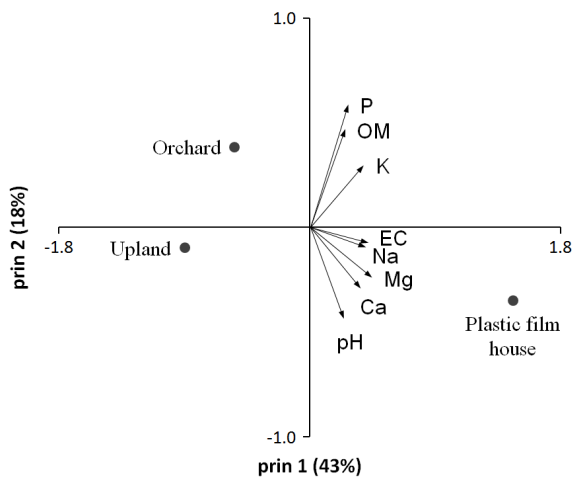


Fig. 2. Scatter plot showing positive and negative correlations of 8 soil variables to the first and second principle variates derived from a principal component analysis procedure to differentiate field by land use in Gyeongbuk.

평균 벡터값을 scatter plot으로 표시한 결과 (Fig. 2), 주성분 1의 변량에 의해 하우스시설 토양의 화학적 특성은 과수원 그리고 밭 토양과 구별되었는데, 유기물을 제외한 토양 화학성의 농도가 하우스시설에서 상대적으로 높았고 그 중에서 Mg을 비롯한 치환성 양이온의 농도와 EC가 높았다. 주성분 2의 변량에 의해서 유기물, 유효인산 그리고 치환성 K의 함량이 더 높은 과수원 토양이 밭 토양과 구분되었다 (Fig. 2). 이러한 경지의 이용형태별 토양 화학적 특성의 차이는 4회에 걸쳐 조사한 각 화학성에 대한 분산분석에서도 고도로 유의하였다 (Table 6). 즉, 유기물은 과수원 토양에서, 그 외의 작물의 영양성분과 토양 pH는 시설재배 토양에서 가장 높은 수준을 보였고, 밭 토양은 가장 낮은 수준을 보였다.

세 가지 이용형태의 토양에서 토양 pH, 유기물 및 토양 양분의 평균 수준과 화학성의 적정수준보다 과다한 토양의 비율이 증가하고 있으나, 밭 토양의 Ca과 Mg은 반대의 현상을 보이고 있었다. 토양 양분의 수준은 토양조건, 재배조건, 비료사용량, 지면피복 등의 영향을 받는다는 연구 결과처럼 (Jung et al., 2009; Novara et al., 2013), 이 연구에서 비교한 세 농경지의 토양화학성 차이는 하우스시설의 비가림, 과수원의 생초피복, 비료사용량 등의 원인으로 차이가 발생한 것으로 판단되며, 세 가지 유형의 농경지 이용형태에 따른 토양 화학성의 차이를 일으키는 요인에 대해서는 추가적인 분석이 필요하다고 사료된다.

Conclusion

경북 지역의 비닐하우스시설 재배지, 밭 그리고 과수원의 토양 비옥도를 평가하기 위하여 표토의 화학적 특성을 12년간 4년 주기로 평가하였다. 토양 pH는 과수원과 밭에서는 첫 조사시기의 pH 5.7에서 각각 0.8과 0.7, 시설재배지는 pH 6.5에서 0.5 pH 단위 증가하였고, 조사 토양의 약 50%는 pH 6-7 수준을 보였다. 토양 유기물은 12년간 약 10 g kg⁻¹ 증가하였지만 과수원의 40%, 하우스시설의 49% 그

Table 6. Comparison of mean (\pm SD) surface (0-20 cm) soil properties between 3 land-use types and ANOVA P values.

Soil property [†]	Plastic film house	Upland	Orchard	ANOVA P
pH _{H2O} (1:5)	6.65 \pm 0.72 a*	5.89 \pm 0.89 b	5.90 \pm 0.98 b	<0.0001
SOM (g kg ⁻¹)	27.2 \pm 14.9 b	20.4 \pm 10.6 c	30.3 \pm 15.2 a	<0.0001
Avail. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	747 \pm 428 a	507 \pm 303 c	620 \pm 366 b	<0.0001
Exch. K (cmol _c kg ⁻¹)	1.30 \pm 1.23 a	0.72 \pm 0.59 c	0.91 \pm 0.6 b	<0.0001
Exch. Ca (cmol _c kg ⁻¹)	9.12 \pm 4.86 a	5.72 \pm 2.8 c	6.68 \pm 3.38 b	<0.0001
Exch. Mg (cmol _c kg ⁻¹)	3.38 \pm 1.79 a	1.74 \pm 0.89 c	1.88 \pm 1.04 b	<0.0001
Exch. Na (cmol _c kg ⁻¹)	0.57 \pm 0.53 a	0.23 \pm 0.25 b	0.14 \pm 0.13 c	<0.0001
EC (dS m ⁻¹)	3.48 \pm 3.17 a	0.83 \pm 0.83 b	0.74 \pm 0.6 b	<0.0001

[†]SOM, soil organic matter; EC, electrical conductivity.

*Within each row, means followed by different letters are significantly different at $p < 0.05$ (Tukey).

리고 밭의 77%는 30 g kg^{-1} 이하 수준에 머물렀다. 유효인산은 밭, 과수원 그리고 하우스시설에서 각각 평균 530, 600 그리고 760 mg kg^{-1} 수준에서 유지되고 있었고, 분석한 시료 토양 중에서 각각 43%, 53% 그리고 66%는 적정수준 ($300\text{--}500 \text{ mg kg}^{-1}$)을 초과하였다. 치환성 K의 평균 함량은 최근 조사연도에 밭 0.8, 과수원 0.9 그리고 하우스시설 1.6 $\text{cmol}_e \text{ kg}^{-1}$ 이었고, 과수원의 56%와 하우스시설 토양의 70%는 추천수준 ($0.5\text{--}0.6 \text{ cmol}_e \text{ kg}^{-1}$)을 초과하였다. 밭 토양의 치환성 Ca과 Mg를 제외한 양분의 수준은 세 가지 농경지 유형에서 점차 증가하는 경향을 보였다. 분석에 사용한 8개의 토양화학성 사이의 상관성은 경지의 이용유형에 따라 약간의 차이가 있었으며, 치환성 Mg, EC, 유효인산, 유기물 그리고 토양 pH가 시설재배지, 밭 그리고 과수원 토양의 화학적 특성을 구분하는 주성분으로 분석되었다.

References

- Abreu Jr., C.H., T. Muraoka, and A.F. Lavorante. 2003. Relationship between acidity and chemical properties of Brazilian soils. *Sci. Agric.* 60:337-343.
- Jagadamma, S., R. Lal, R.G. Hoefl, E.D. Nafziger, and E.A. Adee. 2008. Nitrogen fertilization and cropping system impacts on soil properties and their relationship to crop yield in the central corn belt, USA. *Soil Till. Res.* 98:120-129.
- Jung, P.K., K.C. Eom, S.K. Ha, Y.S. Zhang, and S.O. Hur. 2009. Assessments of the nutrient losses in the sloped farm land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42:47-50.
- 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 change in chemical properties of paddy soil in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45:968-972.
- Kang, S.S., A.S. Roh., S.C. Choi, Y.S. Kim, H.J. Kim, M.T. Choi, B.G. Ahn, H.K. Kim, S.J. Park, Y.H. Lee, S.H. Yang, J.S. Ryu, Y.G. Sohn, M.S. Kim, M.S. Kong, C.H. Lee, D.B. Lee, and Y.H. Kim. 2013. Status and change in chemical properties of polytunnel soil in Korea from 2000 to 2012. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 46:641-646.
- Kang, S.S., A.S. Roh., B.S. Yoon, H.J. Kim, M.T. Choi, B.G. Ahn, H.K. Kim, S.J. Park, Y.H. Lee, S.H. Yang, J.S. Ryu, Y.G. Sohn, M.S. Kim, M.S. Kong, C.H. Lee, T.K. Oh, D.B. Lee, and Y.H. Kim. 2014. Status and change in chemical properties of upland in Korea from 2001 to 2013. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 2014. 6, 616-616. (Abstr.). In: *Proceedings of the 20th World Congress of Soil Science*. p. 616.
- Kang, S.S., A.S. Roh., B.S. Yoon, H.J. Kim, M.T. Choi, B.G. Ahn, S.K. Kim, S.J. Park, Y.H. Lee, S.H. Yang, J.S. Ryu, M.S. Kong, M.J. Chae, H.I. Jung, Y.K. Sonn, D.B. Lee, and Y.H. Kim. 2015. Status and change in chemical properties of orchard soil in Korea. In: *Proceedings of 12th International Conference of ESAFS*. p. 32-33. (Abstr.)
- 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.* 43:930-936.
- Kong, M.S., S.S. Kang, M.J. Chae, H. 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.* 48:588-592.
- Lee, Y.J., D.H. Choi, S.H. Kim, S.M. Lee, Y.H. Lee, B.M. Lee, and T.W. Kim. 2004. Long-term changes in soil chemical properties in organic arable farming systems in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37:228-234.
- NAAS (National Academy of Agricultural Science). 2010a. Fertilization standard of crop. Rural Development Administration. Korea.
- NAAS (National Academy of Agricultural Science). 2010b. Method of soil chemical analysis. Rural Development Administration. Korea.
- Novara, A., L. Gristina, F. Guaitoli, A. Santoro, and A. Cerda. 2013. Managing soil nitrate with cover crops and buffer strips in Sicilian vineyards. *Solid Earth* 4:255-262.
- Sharpley, A.N., R.W. McDowell, and P.J.A. Kleinman. 2004. Amounts, forms, and solubility of phosphorus in soils receiving manure. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:2048-2057.
- Verma, S. and P.K. Sharma. 2008. Long-term effects of organics, fertilizers and cropping systems on soil physical productivity evaluated using a single value index (NLWR). *Soil Till. Res.* 98:1-10.
- Virto, I., M.J. Imaz, O.I. Fernandez-Ugalde, I. Urrutia, A. Enrique, and P. Bescansa. 2012. Soil quality evaluation following the implementation of permanent cover crops in semi-arid vineyards. Organic matter, physical and biological soil properties. *Span. J. Agric. Res.* 10:1121-1132.
- Whalen, J.K. and C. Chang. 2001. Phosphorus accumulation in cultivated soils from long-term annual applications of cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual.* 30:229-237.
- Ye, R. and A.L. Wright. 2010. Multivariate analysis of chemical and microbial properties in histosols as influenced by land-use types. *Soil Till. Res.* 110:94-100.
- Zhou, Z.Z. Gan, Z. Shangguan, and F. Zhang. 2013. Effects of long-term repeated mineral and organic fertilizer applications on soil organic and total nitrogen in a semi-arid cropland. *Europ. J. Agronomy* 45:20-26.