Korean Journal of Soil Science and Fertilizer

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2018.51.4.576>

pISSN : 0367-6315

eISSN : 2288-2162

Agricultural Soil Management Practices by Assessing the Soil Chemical Properties of Plastic Film Houses in Korea

Myung-Suk Kong, Yoo-Hak Kim, Dong-Jin Kim, Seong-Soo Kang¹, Eun-Jin Lee, Goo-Bok Jung, and Ha-il Jung*

Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

¹R&D Coordination Division, RDA, Jeonju 54875, Korea*Corresponding author: hj255@korea.kr

ABSTRACT

Received: October 15, 2018

Revised: October 31, 2018

Accepted: November 2, 2018

This study was designed to assess the changes of soil chemical properties in the intensive plastic film houses and develop sustainable agricultural practices on soil management. Soil testing data (158,227), uploaded on Korean soil information system (<http://soil.rda.go.kr>) from 2006 to 2015, were analyzed. The study showed that soil pH and organic matter (OM) have kept within the standard ranges and electrical conductivity (EC), available phosphate (Avail. P_2O_5) and exchangeable (Exch.) cations (K, Ca, and Mg) were increased from 2006 to 2015. Relative frequency distribution were 57% for pH 6.5<, 32% for OM 15-25 g kg⁻¹ in 2015, and the contents of Exch. K, Ca, and Mg in 2015 was the highest in 0.2-0.5, 6.0-9.0, 2.0-4.0 cmol_c kg⁻¹, respectively. Soil pH, Exch. Ca and Mg were high levels in oriental melon growing region and OM, Avail. P_2O_5 and Exch. K were sufficient in tomato and pepper field. More than half of the farmlands below the standard range of OM contents and the ratio of high range in Exch. Ca and Mg were increased. Soil testing results including pH, OM and Exch. cations are essential parameters for crop growth. According to the results of the soil testing, adequate amount of fertilizer, compost and soil amendment should be supplied to ensure stable crop productivity.

Keywords: Soil testing, Soil chemical properties, Plastic film house

Changes in soil chemical properties in the plastic film house from 2006 to 2015 in Korea.

Year	pH	EC [†]	OM	Avail. P_2O_5	Exch. cation			No. of sample
					K	Ca	Mg	
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
2006	6.36f [‡]	2.52de	22.9h	523f	0.99d	9.8b	3.0e	14,107
2007	6.43e	2.52de	23.6g	533ef	0.99d	9.1d	3.0e	13,578
2008	6.45e	2.52de	25.9c	612d	1.02c	8.8e	3.1d	12,883
2009	6.56c	2.64b	24.6f	539e	0.95e	9.3c	3.2c	17,373
2010	6.52d	2.49ef	24.8f	621cd	1.02c	8.5f	2.9f	11,467
2011	6.64a	2.55cd	25.5d	622cd	1.06b	9.3c	3.4b	12,657
2012	6.59b	2.60bc	25.2e	634b	1.04b	8.6f	3.0e	17,510
2013	6.55c	2.44f	26.4b	624bc	1.06b	9.4c	3.2c	17,276
2014	6.52d	2.65b	27.5a	630bc	1.11a	9.1d	3.1d	17,795
2015	6.62a	2.99a	25.9c	682a	1.11a	10.2a	3.4a	23,581

[†]EC, electrical conductivity; OM, organic matter.

[‡]Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level according to Duncan's multiple range tests.

Introduction

우리나라는 토양검정 자료를 바탕으로 비료 및 토양개량제 사용량을 결정하여 농경지 양분 관리가 이루어진다 (NAAS, 2010). 비료사용처방 프로그램이 1990년에 개발되어 시·군 농업기술센터에 보급되면서 토양검정 결과에 근거한 필지별 비료사용처방서 발급 체계가 갖추어졌다 (Hong et al., 2009). 토양검정은 건전한 작물 생육을 위한 필수원소 함량 정보를 제공하며, 필수원소 중 한 원소라도 부족하면 작물생육의 제한인자로 작용한다. 따라서 토양검정은 토양 화학성 분석 결과를 토대로 작물생육 제한 요소를 파악할 수 있으며, 과다 또는 부족 성분에 대한 비료사용량을 추천하여 작물의 안정 생산을 기할 수 있다. 최근 들어 작물의 안정 생산을 위한 건전한 토양관리가 요구되면서, 농경지 토양 화학성 조사와 변동 평가에 대한 중요성이 강조되고 있다. Harris and Bezdicsek (1994)에 따르면 토양비옥도 평가는 토양특성 정보로부터 토양의 작물 생산력, 인간과 동물에 대한 영향, 물 공급 특성 등을 예측하는 것에 목적이 있음을 보고하였다. 우리나라는 농토배양 10개년 사업 (RDA, 1989)을 통해 토양 화학성 조사가 실시되었으며, 2000년부터 2015년까지 4차에 걸쳐 농촌진흥청, 도농업기술원 및 시·군 농업기술센터가 참여한 주요작물 재배지 토양검정 사업이 진행되면서 전국 농경지에 대한 토양 화학성 조사가 이루어졌다 (Kong et al., 2015).

시설재배지는 노지재배지보다 과다한 양분투입으로 양분집적이 발생하였고 (Park et al., 1994; Park, 2000), 이러한 문제 해결을 위하여 토양검정에 의한 시설재배지 토양의 화학성 평가와 적정 양분관리가 필요하다. Hu et al. (2012)는 시설재배지 토양 화학성을 조사하고 평가함으로써 적정 양분관리 방안을 설정할 수 있고, 과다한 농자재 투입과 양분 유출 방지가 가능하여 환경오염을 예방하므로 지속가능한 농업을 실현한다고 보고하였다. 우리나라 시설재배지 토양의 화학적 특성 조사는 지역별로 조사하여 보고하였으며 (Choi et al., 2010a; Park et al., 2016; Yoon et al., 2015; Yuk et al., 1993), 농업환경자원 변동조사 사업을 통해 1,374지점에 대한 분석 결과가 보고되었다 (Kang et al., 2013). 따라서 본 연구에서는 토양검정사업을 통해 전국에서 조사되어 흙토람 (<http://soil.rda.go.kr>)에 업로드 된 토양검정 빅데이터 결과를 활용하여 우리나라 시설재배지 토양 화학성 현황과 변동을 평가하고자 하였다. 도출된 결과는 시설재배지에 대한 적정 토양관리 방안을 제공하고자 한다.

Materials and Methods

토양검정 자료 농촌진흥청은 각도 농업기술원, 시·군 농업기술센터와 매년 토양검정 사업을 실시하고, 토양분석 결과를 흙토람에 DB로 구축하고 있다. 본 연구는 2006년부터 2015년까지 제주도를 제외하고 흙토람에 구축된 시설재배지 토양의 검정결과 중 재배면적이 가장 많은 수박, 토마토, 딸기, 고추, 참외 등 5가지 작물 (KOSIS, 2018)에 대한 검정결과 158,227점을 분석에 이용하였다 (Table 1).

토양분석 방법 토양시료는 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 1988)에 따라 채취하였다. 각도 농업기술원, 시·군 농업기술센터 토양검정실은 2003년부터 토양표준물질을 사용하여 정도관리를 실시하면서, 검정 항목별로 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준 (RDA, 2012)에 준하여 분석하였다.

통계처리 본 연구에서 분석된 데이터는 R Software (ver. 3.4.2) 프로그램을 이용하여 통계 분석하였다. 연도별 토양화학성은 5% 수준에서 Duncan's multiple range test를 실시하였고, 각 성분의 주성분 분석을 통하여 화학성분간 상관관계를 검토하였다.

Table 1. Number of soil sampling sites in the plastic film house from 2006 to 2015 in Korea.

Crops	Year										Total
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Orientalmelon	5,960	4,867	3,235	5,121	2,318	2,712	3,178	3,187	2,315	6,396	39,289
Pepper	938	1,012	1,445	2,431	1,375	1,376	2,298	3,215	2,667	5,187	21,944
Strawberry	4,042	2,810	4,330	4,191	3,952	3,894	5,769	4,215	4,778	4,972	42,953
Tomato	1,253	1,885	1,821	1,699	1,410	1,625	2,448	2,798	4,222	3,817	22,978
Watermelon	1,914	3,004	2,052	3,931	2,412	3,050	3,817	3,861	3,813	3,209	31,063
Total	14,107	13,578	12,883	17,373	11,467	12,657	17,510	17,276	17,795	23,581	158,227

Results and Discussion

시설재배지 토양화학적 특성 우리나라 연도별 시설재배지 토양 화학성분의 평균 함량 변화는 Table 2와 같다. 토양 pH는 2006년 6.36에서 2015년 6.62으로, 토양유기물 함량은 2006년 22.9 g kg⁻¹에서 2015년 25.9 g kg⁻¹로 증가하였으며, 시설재배지 토양 pH, 유기물 기준 범위내에서 현재 수준을 유지하는 경향을 보였다. 전기전도도는 2006년 2.52 dS m⁻¹에서 2015년 2.99 dS m⁻¹로 증가하였으며, 시설재배지 전기전도도 기준 범위인 2.0 dS m⁻¹ 보다 평균 함량이 높았다. 유효인산 함량도 꾸준히 증가하여 기준 범위를 초과하였으며, 교환성칼륨, 칼슘 및 마그네슘 함량도 각각 2006년 0.99, 9.8, 3.0 cmol_c kg⁻¹에서 2015년 1.11, 10.2, 3.4 cmol_c kg⁻¹로 꾸준히 증가하고 있었다.

농촌진흥청 농업환경자원 변동조사 사업을 통해 조사된 논토양의 화학성분별 평균 함량은 pH 5.9, 유기물 26 g kg⁻¹, 유효인산 140 mg kg⁻¹, 교환성칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 0.3, 5.5, 1.2 cmol_c kg⁻¹로 보고되었으며 (RDA, 2016), 밭 토양은 pH 6.3, 유기물 25 g kg⁻¹, 유효인산 627 mg kg⁻¹, 교환성칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 0.75, 6.4, 1.7 cmol_c kg⁻¹로 보고되었다 (NAAS, 2014). 시설재배지와 논, 밭 노지재배지의 토양화학적 특성을 비교하였을 때, pH와 교환

Table 2. Changes in soil chemical properties in the plastic film house from 2006 to 2015 in Korea.

Year	pH	EC [†]	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. cation			No. of sample
					K	Ca	Mg	
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
2006	6.36f [‡]	2.52de	22.9h	523f	0.99d	9.8b	3.0e	14,107
2007	6.43e	2.52de	23.6g	533ef	0.99d	9.1d	3.0e	13,578
2008	6.45e	2.52de	25.9c	612d	1.02c	8.8e	3.1d	12,883
2009	6.56c	2.64b	24.6f	539e	0.95e	9.3c	3.2c	17,373
2010	6.52d	2.49ef	24.8f	621cd	1.02c	8.5f	2.9f	11,467
2011	6.64a	2.55cd	25.5d	622cd	1.06b	9.3c	3.4b	12,657
2012	6.59b	2.60bc	25.2e	634b	1.04b	8.6f	3.0e	17,510
2013	6.55c	2.44f	26.4b	624bc	1.06b	9.4c	3.2c	17,276
2014	6.52d	2.65b	27.5a	630bc	1.11a	9.1d	3.1d	17,795
2015	6.62a	2.99a	25.9c	682a	1.11a	10.2a	3.4a	23,581

[†]EC, electrical conductivity; OM, organic matter.

[‡]Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level according to Duncan's multiple range tests.

성칼륨, 칼슘, 마그네슘 등 양이온 함량은 Choi et al. (2010a)와 Lee et al. (2013)의 보고와 같이 시설재배지 토양에서 높은 수준이었고, 유기물은 Kang et al. (1997)의 보고와 같이 비슷한 수준이었다.

시설재배지 토양화학성 분포 시설재배지 토양 화학성분별 함량의 연도별 분포는 Fig. 1과 같았다. pH 5.5 이하의 토양은 2006년 14%에서 2015년 10%로 감소하였으며, pH 5.5-6.5 범위는 2006년 44%에서 2015년 33%로 감소하였다. 반면에 pH 6.5-7.5 범위는 2006년 39%에서 2015년 48%로 증가하였으며, pH 7.5를 초과하는 비율은 2006년 3%에서 2015년 9%로 증가하여, 토양 pH가 높은 시설재배지 비율이 증가하고 있었다. 전기전도도는 기준인 2.0 dS m⁻¹를 초과하는 비율이 2015년 49%였으며, 5.0 dS m⁻¹를 초과하는 비율도 2015년 20%로 연도별로 꾸준히 증가하였다. 토양유기물 함량은 15-25 g kg⁻¹ 범위 비율이 가장 높았으며, 2006년 31%에서 2015년 32%로 비슷한 비율을 나타내었다. 유효인산 함량은 50-550 mg kg⁻¹이하는 2006년 61%에서 2015년 45%로 감소하였으며, 550 mg kg⁻¹ 초

[†]EC, electrical conductivity; OM, organic matter.

Fig. 1. Relative frequency distribution of soil chemical properties in the plastic film house from 2006 to 2015.

과 비율은 2006년 37%에서 2015년 52%로 증가하였다. 특히 $1,050 \text{ mg kg}^{-1}$ 초과인 비율이 9%에서 20%로 증가하여 인산이 집적된 토양 비율이 지속적으로 증가하는 추세를 나타냈다. 토양 양이온 중 교환성칼륨은 $0.2\text{--}0.5$, $0.5\text{--}0.8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 비율이 연도별 각각 23-26%, 17-21%로 가장 높은 비율을 나타내었다. 교환성칼슘은 $6.0\text{--}9.0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 분포가 연차별로 가장 많았으며, 2006년 30%에서 2015년 27%로 나타났다. 교환성칼슘 함량 $9.0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 초과 비율은 2006년 46%에서 2015년 55%로 증가하였다. 교환성마그네슘 함량은 기준 범위인 $1.5\text{--}2.0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 를 초과하는 $2.0\text{--}4.0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 범위에서 비율이 높게 나타났으며, 2006년 45%에서 2015년 48%로 증가하는 경향을 나타내었다.

작물별 토양화학적 특성 주요 시설재배 작물별 토양화학적 연도별 변화는 Fig. 2와 같다. 토양 pH는 2015년 참외 재배지에서 7.02으로 가장 높았으며, 수박 재배지에서 6.27으로 가장 낮았다. 전기전도도는 딸기 재배지에서 2006년 1.97 dS m^{-1} 에서 2015년 2.23 dS m^{-1} 로 증가하였지만 다른 작물들에 비해 전기전도도가 가장 낮았다. 참외 재배지의 전기전도도는 2006년 2.95 dS m^{-1} 에서 2015년 2.40 dS m^{-1} 로 감소하였으며, 고추 재배지의 경우 2006년 2.73 dS m^{-1} 에서 2015년 4.02 dS m^{-1} 로 꾸준히 증가하였다. 토양 유기물 함량은 2015년 고추와 토마토 재배지에서 각각

[†]EC, electrical conductivity; OM, organic matter.

Fig. 2. Changes in soil chemical properties for five major crops in the plastic film house from 2006 to 2015.

31.2, 29.1 g kg⁻¹로 가장 높았으며, 참외 재배지에서 가장 낮았다. 참외 재배지의 유기물 함량은 2006년 15.9 g kg⁻¹에서 2015년 19.1 g kg⁻¹로 증가하였지만 시설재배지 유기물함량 기준 범위 하한 수준인 25 g kg⁻¹보다 낮았다. 유효인산과 교환성칼륨의 함량도 고추와 토마토 재배지에서 2015년 각각 948, 829 mg kg⁻¹, 1.60, 1.39 cmol_c kg⁻¹로 가장 높았으며, 참외 재배지에서 442 mg kg⁻¹, 0.65 cmol_c kg⁻¹로 가장 낮게 나타나 유기물함량과 비슷한 경향으로 나타났다. 작물별 교환성칼슘과 마그네슘 함량은 참외 재배지에서 높게 나타났으며, 토양 pH와 비슷한 변동양상을 보였다.

토양화학성 상관관계 시설재배지 토양의 화학성분간 상관성은 Fig. 3과 같았다. 토양 pH는 교환성칼슘, 마그네슘과 각각 0.396^{**}, 0.240^{**}의 가장 높은 상관관계를 보였으며, 전기전도도는 교환성마그네슘과 0.515^{**}, 교환성칼륨 0.425^{**}, 교환성칼슘 0.421^{**}의 높은 상관관계를 보였다. 시설재배지에서 토양 pH는 교환성칼슘, 마그네슘과 전기전도도는 토양 pH를 제외한 모든 성분들과 정의 상관관계를 나타내고, 토양 pH와 전기전도도는 칼슘에 의한 염들의 침전으로 부의 상관을 보인다고 보고하였다 (Choi et al., 2010a; Lee et al., 2013). 유기물 함량은 유효인산, 교환성칼륨과 각각 0.449^{**}, 0.442^{**}로 가장 높은 상관관계를 나타내었으며, 시설재배지에서 가축분퇴비 시용에 따른 유효인산과 교환성칼륨 함량 증가와 같은 결과를 보였다. 교환성칼륨은 유효인산, 교환성마그네슘, 교환성칼슘과 각각 0.496^{**}, 0.469^{**}, 0.302^{**}의 높은 상관관계를 보였으며, 토양개량제를 지속적으로 공급함에 따라 교환성칼슘은 교환성마그네슘과 0.655^{**}로 가장 높은 상관관계를 보였다.

시설재배지 토양화학성 관리 시설재배지 토양화학성은 토양 pH, 전기전도도, 유효인산, 교환성양이온은 함량이 높은 농경지 비율이 증가하고 있었으며, 유기물도 평균 함량은 증가하였지만, 기준보다 낮은 비율의 농경지가 절반 이상으로 많아 양분 관리가 필요할 것으로 판단된다. 토양 pH의 경우 시설재배지 기준인 6.0-7.0 범위는 2006년 55%에서 2016년 51%로 낮아졌으며, pH 7.0보다 높은 비율은 19%에서 30%로 증가하였다. 시설재배지 토양의 교환성칼슘 기준은 5.0-6.0 cmol_c kg⁻¹이며, 초과 비율이 2006년 75%에서 2015년 82%로 2006년 이후 꾸준히 증가하고 있고, 교환성마그네슘 기준은 1.5-2.0 cmol_c kg⁻¹이며, 초과 비율이 2006년 70%에서 2015년 76%로 교환성칼슘과 비

[†]EC, electrical conductivity; OM, organic matter.

[‡]Correlation coefficient (r) was determined by Pearson's correlation analysis. *, significant at p<0.05; **, significant at p<0.01.

Fig. 3. The correlation coefficient (r) among the soil chemical properties in the plastic film house from 2006 to 2015.

슷한 변동 양상을 보였다. 이는 토양개량제 지원사업을 통해 시설재배지에는 석회와 마그네슘이 공급된 결과이며, 농촌진흥청 농업환경자원 변동조사 사업을 통해 조사된 논, 밭토양의 화학성분별 함량보다 토양 pH, 교환성칼슘, 교환성마그네슘 함량이 높게 나타난 이유는 노지재배지에 비해 시설재배지에서 지속적인 토양개량제 투입에 따른 결과로 판단되었다. 토양 pH 7.5 이상에서는 암모니아가스 발생에 의한 작물 피해가 발생하고 (Kim et. al., 2010; Lindsay, 1979), 토양 중 칼슘과 마그네슘이 많아지면 인산과 결합하여 용해되기 어려운 형태로 바뀌어 인산 공급이 차단되므로 (Ammari et al., 2015; Lide, 2003; Lim, 2006) 토양검정을 통한 적정량의 토양개량제가 살포되어 칼슘과 마그네슘의 과다 투입을 예방하고 적정 토양 pH를 유지하여야 할 것이다.

전기전도도 기준은 2.0 dS m^{-1} 이상과 이하로 판단하고 있는데, 시설재배지 토양의 절반 정도가 기준보다 높게 나타났다. 전기전도도가 높으면 토양용액의 삼투압을 높이고, 작물의 수분흡수를 저하시켜 생육장애를 유발한다 (Ayers and Westcot, 1985; Chang and Dregne, 1955; Park, 2000). 토양용액의 삼투압 계산은 Eq. 1과 같다 (Wisner, 1991).

$$\pi = icRT \quad (\text{Eq. 1})$$

단, π 는 삼투압 (atm), i 는 이온종수, c 는 용액의 몰농도 (mol L^{-1}), R 은 기체상수 ($0.08206 \text{ L atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$), T 는 절대온도 (K)

이 식에서 용액의 농도 (c)는 $\frac{1}{2} \sum c_i Z_i^2$ 으로 계산하는데, 전기전도도 값에 0.013을 곱하여 추정할 수도 있다 (Griffin and Jurinak, 1973). 이온종수 (i)는 양이온과 음이온 수인데 $\text{KCl} \rightleftharpoons \text{K}^+ + \text{Cl}^-$ 은 2이고, $\text{K}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons 2\text{K}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ 은 3이고, 유기물과 결합한 양분은 안정화상수가 높으므로 1에 가깝다 (Wisner, 1991). 현재는 전기전도도 값으로 삼투압 (π)을 추정하고 있으나, 이온종수 값에 따라 같은 전기전도도에서도 삼투압에 차이가 나므로, 토양용액의 이온종수를 고려할 수 있는 삼투압 기준으로 바뀌어야 할 시점이다. 무기질비료를 사용한 토양은 퇴비를 사용한 토양보다 토양용액의 삼투압을 더 높이므로 낮은 농도에서도 작물의 수분흡수를 저하시켜 작물의 생육장애를 일으킬 수 있다 (RDA, 2014). 작물별로는 딸기 재배지에서 가장 낮은 전기전도도 특성을 나타내었는데, 딸기는 염류에 민감한 작물로 염류 집적에 따른 수량 감소가 크게 나타나므로, 다른 작물 보다 낮게 관리되어야 할 것으로 판단되었다 (Ayers and Westcot, 1985; NAAS, 2010). Table 2의 연도별 시설재배지 전기전도도 증가는 자연강우에 의한 영향이 적고, 집약적 재배에 따른 퇴비와 비료의 과잉 사용 및 고온의 시설 환경에서 증발산량이 많아 표토 염류 농도가 증가하여 (Ammari et al., 2015; Park, 2000) 높게 나타난 것으로 판단되었다.

토양 유기물은 토양질 평가의 중요한 지표로 (Cannell and Hawes, 1994; Larson and Pierce, 1991; Reeves, 1997) 유기물 CEC는 부식의 $200\text{--}250 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Kim et al., 2006)에 2015년 시설재배지 평균 유기물 함량 26 g kg^{-1} 을 곱하면 $5\text{--}6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 을 지니고 있어 양분 보유에 큰 영향을 준다. 토양 유기물은 미량원소와의 안정화 상수가 다량원소보다 높으므로 (Lindsay, 1979), 토양에 퇴비 공급은 작물에게 미량원소를 공급하는 방법이다. 시설재배지 토양의 유기물 함량은 기준 범위인 $25\text{--}35 \text{ g kg}^{-1}$ 보다 낮은 비율이 2015년 53%로 여전히 높으며, 토양검정 결과에 따라 유기물이 부족한 농경지는 지속적으로 유기물을 공급해 주어야 할 것이다. 유효인산은 기준 범위인 $300\text{--}550 \text{ mg kg}^{-1}$ 과 낮은 비율이 2015년 각각 22%, 26%로 감소하는 경향을 나타내며, 기준 범위 초과 비율은 52%로 꾸준히 증가하였다. 인산함량이 높은 가축분 퇴비의 지속적인 투입은 시설재배지에서 인산 집적을 유발하며 (Chen et al., 2004; Yang et al.,

2010), 농경지에 집적된 과잉의 인산은 표면유거, 토양 유실, 배수 등으로 손실될 위험도 높아진다 (Stanley et al., 1995). 토양 중 인산 유효화는 토양 pH 조건과 칼슘, 마그네슘에 영향이 크므로 (Ammari et al., 2015; Lide, 2003; Lim, 2006), 화학성을 잘 고려하여야 할 것이다. 시설재배지 토양의 교환성칼륨 기준은 $0.5\text{--}0.8\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ 이며, $0.5\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ 미만은 2006년 32%에서 2015년 33%, $0.8\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ 초과비율은 2006년 46%에서 2015년 48%로 높게 나타났다으며, 연도별로 비슷한 경향을 나타냈다. Choi et al. (2010b)는 시설재배지에서 유효인산 함량과 교환성칼륨 함량 증가는 축분 퇴비 등을 사용한 결과라고 보고하였다. 토양검정은 토양 양분 함량과 토양조건에 근거하여 필요한 비료, 퇴비 및 토양개량제의 사용량을 결정하는 방법이며, 토양검정을 통해 농경지에 적정량이 공급되어야 안정적인 농산물 생산이 이루어질 것이다.

Conclusions

시설재배지 토양의 화학적 특성을 파악하기 위하여 2006년부터 2015년까지 흙토람 시스템에 업로드된 토양검정 DB를 평가한 결과는 다음과 같았다.

1. 시설재배지의 연도별 토양화학성은 pH, 유기물 함량의 경우 기준 범위를 유지하는 경향을 보였고, 전기전도도, 유효인산, 교환성칼륨과 칼슘, 마그네슘 함량은 증가하였다. 2015년에 pH는 6.62, 전기전도도 2.99 dS m^{-1} , 유기물 25.9 g kg^{-1} , 유효인산 682 mg kg^{-1} 이고, 교환성칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 1.11, 10.2, $3.4\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ 이었다.
2. 화학성분별 분포율은 2015년 토양 pH 6.5 초과 비율이 57%로 토양 pH가 높은 비율이 증가하고 있었으며, 유기물은 $15\text{--}25\text{ g kg}^{-1}$ 범위가 32%로 가장 많았다. 인산이 집적된 토양 비율이 증가함을 보였으며, 교환성칼륨, 칼슘, 마그네슘은 각각 0.2-0.5, 6.0-9.0, 2.0-4.0 $\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ 분포가 가장 많았다.
3. 주요 시설 작물별 토양화학성은 참외 재배지에서 토양 pH, 교환성칼슘과 마그네슘 함량이 높게 나타났다. 토양 유기물 함량이 높은 토마토, 고추 재배지에서 유효인산과 교환성칼륨 함량이 높게 나타났으며, 토양화학성의 상계관계 분석에서도 같은 결과를 보였다.
4. 시설재배지 토양 유기물은 절반 이상의 농경지가 기준 범위 미만이었으며, 교환성칼슘, 마그네슘 함량이 높은 필지 비율이 증가하고 있으므로, 토양검정 결과에 따라 적정량의 퇴비 및 토양개량제가 공급되어야 작물 생육장에 예방 및 안정 생산이 가능할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of “Soil testing for representative soil in local provinces (Project No. PJ012152)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Ammari, T.G., R. Tahhan, N. Al Sulebi, A. Tahboub, R.A. Ta'any, and S. Abubaker. 2015. Impact of intensive greenhouse production system on soil quality. *Pedosphere*. 25(2):282-293.
- Ayers, R.S. and D.W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29. Rev. 1, FAO, Rome.
- Cannell, R.Q. and J.D. Hawes. 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Soil Till.* 30:245-282.
- Chang, C.W. and H.E. Dregne. 1955. The effect of exchangeable sodium on soil properties on growth and cation content of alfalfa and cotton. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 19:29-35.
- Chen, Q., X.S. Zhang, H.Y. Zhang, P. Christie, X.L. Li, D. Horlacker, and H.P. Liebig. 2004. Evaluation of current fertilizer practice and soil fertility in vegetable production in the Beijing region. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 69:51-58.
- Choi, M.T., J.I. Lee, Y.U. Yun, J.E. Lee, B.C. Lee, E.S. Yang, and Y.H. Lee. 2010a. Characteristics of fertility on strawberry cultivated soil of plastic film house in Chungnam Province in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(2):160-165.
- Choi, M.T., J.I. Lee, Y.U. Yun, J.E. Lee, B.C. Lee, E.S. Yang, and Y.H. Lee. 2010b. Relationship between fertilizer application level and soil chemical properties for strawberry cultivation under greenhouse in Chungnam Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(2):153-159.
- Griffin, R.A. and J.J. Jurinak. 1973. Estimation of activity coefficients from the electrical conductivity of natural aquatic systems and soils extracts. *Soil Sci.* 116:26-30.
- Harris, R.F. and D.F. Bezdicsek. 1994. Descriptive aspects of soil quality/health. In J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicsek, and B.A. Stewart, (eds.) *Defining soil quality for a sustainable environment*. SSSA Special Publication No. 35. Madison, WI. pp. 23-35.
- Hong, S.Y., Y.S. Zhang, B.K. Hyun, Y.K. Sonn, Y.H. Kim, S.J. Jung, C.W. Park, K.C. Song, B.C. Jang, E.Y. Choe, Y.J. Lee, S.K. Ha, M.S. Kim, J.S. Lee, G.B. Jung, B.G. Ko, and G.Y. Kim. 2009. An introduction of Korean soil information system. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(1):21-28.
- Hu, Y.C., Z.W. Song, W.L. Lu, C. Poschenrieder, and U. Schmidhalter. 2012. Current soil nutrient status of intensively managed greenhouses. *Pedosphere*. 22:825-833.
- Kang, B.K., I.M. Jeong, J.J. Kim, S.D. Hong, and K.B. Min. 1997. Chemical characteristics of plastic film house soils in Chungbuk Area. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 30(3):265-271.
- Kang, S.S., A.S. Roh, S.C. Choi, Y.S. Kim, H.J. Kim, M.T. Choi, B.K. 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(6):641-646.
- Kim G.H., K.Y. Kim, J.G. Kim, D.M. Sa, J.S. Seo, B.G. Son, J.E. Yang, K.C. Eom, S.E. Lee, G.Y. Jeong, D.Y. Jeong, Y.T. Jeong, J.B. Jeong, and H.N. Hyun. 2006. *Soil science*. Hyangmunsa, Seoul, Korea.
- Kim, Y.H., H.Y. Lee, M.S. Kim, and S.S. Kang. 2010. Injury symptom of egg plant grown in a high pH rockwool amended with ammonium phosphate. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(6):975-977.
- Kong, M.S., S.S. Kang, M.J. Chae, 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.
- KOSIS. 2018. Korean Statistical Information. <http://kosis.kr>.
- Larson, W.E. and F.J. Pierce. 1991. Conservation and enhancement of soil quality. evaluation for sustainable land management in the developing world. Vol. 2. IBSRAM Proc. 12, 2 Technical Papers, pp. 175-203. International Board for Soil Research and Management, Bangkok, Thailand.

- Lee, Y.H., S.T. Lee, K.P. Hong, S.D. Lee, J.H. Kim, Y.S. Ok, M.K. Kim, and H.R. Kim. 2013. Long-term variations of chemical properties in controlled horticultural soils of Gyeongnam Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 46(5):308-312.
- Lide, D.R., 2003. CRC Handbook of chemistry and physics, 84th ed., CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Lim, S.U. 2006. Soil fertility. Ilshin, Seoul, Korea
- Lindsay, W.L. 1979. Chemical equilibria in soils. John Wiley & Sons, New York, USA.
- NAAS. 2010. Fertilizer application recommendations for crop plants, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
- NAAS. 2014. Annual report 2013 the monitoring project on agro-environmental quality, RDA, Wanju, Korea.
- NIAST. 1988. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Park, B.G., T.H. Jeon, Y.H. Kim, and Q.S. Ho. 1994. Status of farmers' application rates of chemical fertilizer and farm manure for major crops. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 27(3):238-246.
- Park, J.C., 2000. Environment-friendly and labor-saving management of greenhouse soil. *Kor. Res. Soc. Protected Hort.* 13(1):1-37.
- 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 the surface chemical properties of plastic film house, upland, and orchard soils in Gyeongbuk Province. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fert.* 49(2):115-124.
- RDA. 1989. Soil improvement project for 10 years. RDA, Suwon, Korea.
- RDA. 2012. Analysis standard for research in agricultural science and technology, RDA, Suwon, Korea.
- RDA. 2014. Don' Worry! Soil sickness by continuous cropping, RDA, Wanju, Korea.
- RDA. 2016. Annual report 2015 the monitoring project on agro-environmental quality, RDA, Wanju, Korea.
- Reeves, D.W., 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Till. Res.* 43:131-167.
- Stanley, C.D., B.L. McNeal, P.R. Gilreath, J.F. Creighton, W.D. Graham, and G. Alverio. 1995. Nutrient-loss trends for vegetable and citrus fields in West-central Florida: II. Phosphate. *J. Environ. Qual.* 24:101-106.
- Wisner, R.K. 1991. Qualitative analysis with ionic equilibrium. Macmillan Publishing, New York, USA.
- Yang, L.J., T.L. Li, F.S. Li, and J.H. Lemcoff. 2010. Long-term fertilization effect on fraction and distribution of soil phosphorus in a plastic-film house in China. *Commun. Soil Sci. Plan.* 42:1-12.
- Yoon, Y.E., J.H. Kim, S.Y. Kim, J.U. Im, M.S. Kong, Y.H. Lee, and Y.B. Lee. 2015. Determination of main indicator for the changes of chemical properties in greenhouse soils. *Korean J. Environ Agric.* 34(4):355-358.
- Yuk, C.S., J.J. Kim, S.D. Hong, and B.G. Kang. 1993. Salt accumulation in horticultural soils of PE film house in Chungbuk area. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 26(3):172-180.