Changes in Chemical Properties of Greenhouse Soils Collected from Gyeongnam Province between 2000 and 2016

Hyeon-Ji Cho, Daniel Son, Si-Lim Choi, Young Han Lee, Jeongyeo Lee^{1**}, and Jae-Young Heo*

Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 52733, Korea

¹Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology, 125 Gwahak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34141, Korea

*Corresponding author: bopo@korea.kr

**Co-corresponding author: leejy@kribb.re.kr

ABSTRACT

Received: July 6, 2018

Revised: July 25, 2018

Accepted: August 30, 2018

Long-term monitoring of soil chemical properties is the main agricultural practices to improve crop yield and soil fertility. Field monitoring was performed to evaluate the chemical properties of 200 greenhouse soil samples every 4 years from 2000 to 2016 in Gyeongnam province, South Korea. Soil properties such as pH, electrical conductivity (EC), amount of organic matter (OM), available phosphate (P_2O_5), nitrate nitrogen (NO_3-N), exchangeable potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), and sodium (Na) were analyzed. In 2016, the average concentration of soils under greenhouse condition showed 6.8 for pH, 3.52 dS m^{-1} for EC, 40 g kg^{-1} for OM, 1,065 mg kg^{-1} for P_2O_5 , 154 mg kg^{-1} for NO_3-N , 2.35 cmol $_c$ kg^{-1} for K, 12.8 cmol $_c$ kg^{-1} for Ca, 4.0 cmol $_c$ kg^{-1} for Mg, and 0.91 cmol $_c$ kg^{-1} for Na. In addition, the average concentrations of OM, K, Ca, and Na have tended to increase with year. In 2016, the frequency distribution of excessive level of soils under greenhouse condition was 43% for pH, 61% for OM, 94% for P_2O_5 , 89% for K, 96% for Ca, and 83% for Mg. Soil EC values of green pepper, tomato, and lettuce were significantly higher than those of carrot, strawberry, and squash ($p < 0.05$), whereas soil pH was significantly lower in the carrot and lettuce than that in the strawberry ($p < 0.05$). Soil pH was significantly correlated with the EC, NO_3-N , K, Ca, Mg, and Na. The value of EC was also positively correlated with the OM, P_2O_5 , NO_3-N , K, Ca, Mg, and Na. In conclusion, the long-term information on soil chemical properties will be helpful to improve sustainable soil and nutrient management for greenhouse farming.

Keywords: Chemical property, Greenhouse soil, Soil fertility, Long-term monitoring

Frequency distribution of chemical properties in greenhouse soils of Gyeongnam Province ($n=200$).

Introduction

국내 시설재배 면적은 2000년에 105,758 ha에서 2016년 83,629 ha로 21% 감소하였고 경남지역은 2000년에 21,043 ha에서 2016년에 13,093 ha로 38% 감소하였다 (KOSIS, 2017). 경지면적도 2016년에 1,644천 ha에서 2017년 1,617천 ha로 감소되었으며 향후 2027년에는 1,506천 ha까지 감소될 것으로 예상된다 (KREI, 2018). 그러나 농업 생산액은 2016년에 47조 5,960억 원에서 2017년에는 48조 5,880억 원으로 예상되며 2027년에는 52조 5,560억 원으로 증가할 것으로 추정된다 (KREI, 2018). 국내 농업생산액 증가에 대한 기대는 4차 산업혁명과 농업 생산, 유통, 소비의 결합으로 미래 성장산업화 실현 및 경쟁력 확보 뿐만 아니라 토양 화학성에 대한 빅데이터를 구축하고 활용함으로써 합리적인 양분관리를 통해서 실현할 수 있다.

토양 화학성은 작물 생산성과 밀접한 관계가 있는 양분의 수준을 나타내며 토양 생태계를 비롯한 환경과 오염도에 대한 정보를 제공한다. 농촌진흥청에서 토양관리를 위해 분석하는 토양 화학성분은 pH와 EC를 비롯한 유기물, 유효 인산, 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 질산태 질소 등이 있으며 논에서는 유효규산, 밭과 과수원에서는 석회소량을 분석하여 비료사용처방서를 발급하고 있다 (NAS, 2017).

토양 화학성은 재배작물에 따라 비료사용량과 양분관리 방법이 다르기 때문에 가장 크게 영향을 받으며 그 외에도 피복작물 재배, 유기물 사용, 비료의 종류, 멀칭방법, 토성, 지형 등에 따라 차이가 있다 (Jagadamma et al., 2008; Verma and Sharma, 2008; Ye and Wright, 2010; Moon et al., 2016). 따라서 작물생산성을 높이고 지속가능한 토양 양분관리를 위해서는 주기적으로 토양 화학성을 분석하여 경작지 맞춤형 비료 사용이 필요하다.

이러한 측면에서 본 연구는 경남지역 시설재배지 200개소를 선정하여 2000년부터 2016년까지 4년 주기로 토양 화학성 변동요인을 평가하였다.

Materials and Methods

시설토양 시료채취 경남지역 시설재배지의 토양 화학성분 변동을 주기적으로 파악하기 위하여 2000년에 작물 재배면적을 고려하여 200개 지점을 선정하였고 2016년까지 4년 주기로 동일한 지점을 조사하였다. 토양 시료채취 시기는 수확기인 4월부터 5월 사이에 표토는 0-15 cm, 심토는 15-30 cm 깊이에서 토양시료채취기를 이용하여 1 kg 정도를 3반복으로 채취하였다.

시설토양 분석방법 채취한 토양은 음지에서 36 cm × 29 cm 규격의 평탄한 플라스틱 용기위에 담아 7일간 풍건하여 고무망치로 입자를 분쇄한 후 2 mm 체를 통과된 것을 일반 화학성 분석에 사용하였고 질산태 질소는 습토를 분석에 이용하였다. 토양 화학성은 농촌진흥청 국립농업과학기술휘 토양화학분석법 (NAS, 2010)을 적용하여 분석하였다. 시설토양의 pH와 EC는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 하여 pH meter (Orion 520A pH meter, Orion Research Inc., Boston, USA)와, EC meter (Orion 3STAR EC meter, Orion Research Inc., Boston, USA)로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법으로 정량하였으며, 유효인산은 Lancaster법으로 비색계 (Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 사용하여 분석하였다. 치환성 양이온인 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 나트륨은 1M NH₄OAc로 추출하여 ICP (Optima 5300 DV, PerkinElmer Co., Shelton, USA)로 분석하였고 질산태 질소는 길달법으로 정량하였다.

주성분 및 통계 분석 토양 화학성분의 주성분 및 통계 분석은 SAS 프로그램 9.2 버전 (2008)을 사용하였다. 연도별 토양 화학성분은 5% 수준에서 Duncan's multiple range test (DMRT)를 이용하였고 작물별 토양 화학성분은 5% 수준에서 Tukey's studentized range test를 하였다. 토양 화학성분의 상관관계는 Pearson 상관계수로 분석하였고 토양 화학성분의 주성분 분석을 통하여 연도별 차이를 비교 검토하였다.

Results and Discussion

시설재배 연도별 토양 화학성분 경남지역 시설재배 토양의 연도별 화학성 변화는 Table 1과 같다. 표토 화학성의 2016년도 전체 평균은 적정 수준보다 EC 1.8배, 유기물 1.2배, 유효인산 1.9배, 치환성 칼륨 2.9배, 치환성 칼슘 2.1배, 치환성 마그네슘 2.0배 높게 나타났다. 이러한 결과는 Lee et al. (2013)이 보고한 2012년도 전체 평균보다 EC, 유기물, 유효인산, 치환성 칼륨, 치환성 마그네슘 함량이 약간 높은 경향이였다. pH는 2012년에 7.0으로 가장 높았으며 2000년과 2008년에 6.3으로 가장 낮았다 ($p < 0.05$). EC 값은 2016년에 3.52 dS m^{-1} 로서 2012년 2.88 dS m^{-1} 에 비해 유의적으로 증가하였다 ($p < 0.05$). 이러한 결과는 질산태 질소의 함량 증가와 밀접한 관련이 있는 것으로 판단되었다 (Miyamoto et al., 2015). 유기물 함량은 40 g kg^{-1} 으로 2004년 36 g kg^{-1} 에서 유의적으로 증가하는 추세였다 ($p < 0.05$). 유효인산 함량은 2000년에 862 mg kg^{-1} 에서 2008년까지 증가하였다가 2012년에 895 mg kg^{-1} 으로 낮아졌으며 2016년에 $1,065 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 높아졌다. 농경지 토양의 유효인산 함량은 Table 3과 같이 토양 유기물 함량에 큰 영향을 받기 때문에 (Choi et al., 2010b) 연도별로 편차가 큰 것으로 판단된다. 치환성 칼륨 함량은 2000년 $1.69 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 에서 2004년 $1.56 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 으로 낮아졌다가 2008년 $1.93 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, 2012년 $2.13 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, 2016년 $2.35 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 으로 유의적인 증가를 보였다 ($p < 0.05$). 그리고 치환성 칼슘 함량은 2000년에 $6.4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, 2004년 $10.1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, 2008년 $10.5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, 2012년 $12.5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, 2016년 $12.8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 으로 유의적인 증가를 보였다 ($p < 0.05$). 질산태 질소 함량은 2000년에 177 mg kg^{-1} 으로 가장 높았고 2004년 이후 유의적인 감소를 보였다가 2016년에

Table 1. Chemical properties of greenhouse soils in Gyeongnam Province ($n = 200$).

Soil depth	Year	pH	EC	OM	Avail. P_2O_5	K	Ca	Mg	Na	$\text{NO}_3\text{-N}$
		(1:5)	dS m^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	-----	Exch. $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	-----		mg kg^{-1}
Topsoil	2000	6.3d [†]	3.61a	39a	862c	1.69c	6.4c	3.3c	0.86ab	177a
	2004	6.6c	2.62b	36b	990b	1.56c	10.1b	3.5bc	0.66c	136bc
	2008	6.3d	2.95b	36b	1,265a	1.93b	10.5b	3.9a	0.71bc	135bc
	2012	7.0a	2.88b	39a	895c	2.13b	12.5a	3.7ab	0.86ab	107c
	2016	6.8b	3.52a	40a	1,065b	2.35a	12.8a	4.0a	0.91a	154ab
	Optimum level [‡]	6.0~6.5	<2.0	25~35	450~550	0.70~0.80	5.0~6.0	1.5~2.0	-	-
Subsoil	2000	6.4d	2.39a	34a	745c	1.37c	6.1d	2.8b	0.66bc	111ab
	2004	6.7c	1.76b	28c	795c	1.33c	9.0c	3.1b	0.55c	84b
	2008	6.4d	2.26a	30c	1,100a	1.62b	9.8b	3.5a	0.61bc	96b
	2012	7.0a	2.44a	34a	801c	1.96a	11.6a	3.4a	0.78a	91b
	2016	6.9b	2.46a	33b	896b	1.94a	11.4a	3.5a	0.72ab	117a

[†]Values within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

[‡]NAS (2017): Fertilizer recommendation for crops.

154 mg kg⁻¹으로 다시 높아졌다. 치환성 나트륨 함량은 2000년에 0.86 cmol_c kg⁻¹으로 높은 수준에서 2004년에 0.66 cmol_c kg⁻¹으로 낮아졌다가 이후 지속적인 증가를 나타냈다 ($p < 0.05$). 심토의 화학성은 표토와 유사한 경향을 나타냈으나 pH는 0.1 정도 높아진 반면 EC, 유기물, 유효인산, 치환성 양이온 및 질산태 질소 함량은 낮아지는 경향이였다.

시설재배 작물별 표토의 화학성분 경남지역 2016년의 작물별 시설재배 표토의 화학성 변화는 Table 2와 같다. pH는 딸기재배 토양이 7.0으로 가장 높은 반면 상추재배 토양은 6.4로 가장 낮았다. EC 값은 고추재배지가 5.03 dS m⁻¹, 토마토 5.00 dS m⁻¹, 상추 4.93 dS m⁻¹으로 가장 높았고 딸기재배지가 1.12 dS m⁻¹, 당근 재배토양 2.35 dS m⁻¹, 호박 재배토양 2.60 dS m⁻¹ 보다 유의적으로 높았다 ($p < 0.05$). 이러한 결과는 국립농업과학원 작물별 비료사용처방 기준(NAS, 2017)과 같이 질소-인산-칼리 표준시비량이 많거나 토양의 질산태 질소함량이 높은 것으로 볼 때 농민들이 웃거름을 과다시비하는 것으로 판단되었다. 유기물 함량은 대부분 작물에서 35에서 47 g kg⁻¹의 수준을 나타냈으나 당근재배지는 21 g kg⁻¹으로 다른 작물재배지 보다 유의적으로 낮았다 ($p < 0.05$). 시설토양 유효인산 함량은 토마토 재배토양이 1,215 mg kg⁻¹으로 가장 높았으며 고추 1,200 mg kg⁻¹, 수박 1,154 mg kg⁻¹, 상추 1,069 mg kg⁻¹, 호박 1,064 mg kg⁻¹ 순이었으며 당근 재배토양이 517 mg kg⁻¹, 멜론 재배토양이 645 mg kg⁻¹으로 유의적인 차이를 나타냈다 ($p < 0.05$). 이러한 결과는 유기물 함량과 비교해 볼 때 Choi et al. (2010b)이 보고한 바와 같이 가축분 퇴비 등의 시용량에 따른 유효인산 함량이 영향을 받은 것으로 판단되었다. 치환성 칼륨 함량은 수박재배지가 3.36 cmol_c kg⁻¹로 가장 높은 반면 당근재배지가 1.22 cmol_c kg⁻¹, 딸기 및 상추 재배지가 1.58 cmol_c kg⁻¹로 유의적으로 낮았다 ($p < 0.05$). 치환성 칼슘, 마그네슘 및 나트륨 함량은 당근재배지가 9.5 cmol_c kg⁻¹, 2.7 cmol_c kg⁻¹ 및 0.55 cmol_c kg⁻¹, 딸기 재배지가 10.1 cmol_c kg⁻¹, 2.8 cmol_c kg⁻¹ 및 0.45 cmol_c kg⁻¹로 다른 작물에 비해 낮았다 ($p < 0.05$). 질산태 질소 함량은 상추재배지가 296 mg kg⁻¹으로 가장 높았으며 딸기재배지가 51 mg kg⁻¹으로 가장 낮았다. 이러한 결과는 Jung et al. (1998)이 보고한 바와 같이 상추재배지의 질산태 질소 함량이 과채류재배지 보다 2배 높은 결과와 일치하였다.

Table 2. Chemical properties of greenhouse topsoils affected by different crops in 2016 ($n = 200$).

Crop (Site)	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na	NO ₃ -N
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	Exch. cmol _c kg ⁻¹	-----		mg kg ⁻¹
Green pepper (28)	6.8ab [†]	5.03a	40a	1,200a	2.68ab	14.5a	4.6a	1.28a	165b
Carrot (10)	6.5bc	2.35bc	21b	517c	1.22d	9.5b	2.7b	0.55b	98bc
Strawberry (43)	7.0a	1.12c	37a	946ab	1.58cd	10.1b	2.8b	0.45b	51c
Melon (7)	6.8ab	3.59ab	35a	645bc	1.98bcd	13.7a	4.1a	1.10ab	151bc
Lettuce (10)	6.4c	4.93a	40a	1,069a	1.58cd	12.1ab	4.4a	1.03ab	296a
Watermelon (34)	6.9ab	4.39ab	43a	1,154a	3.36a	14.0a	4.8a	1.12ab	205ab
Tomato (22)	6.7abc	5.00a	46a	1,215a	2.53abc	14.2a	4.9a	1.36a	156b
Squash (15)	6.7abc	2.60bc	47a	1,064a	2.23bcd	13.1a	3.7ab	0.70ab	147bc
Other (31)	6.7abc	3.85ab	44a	1,172a	2.63abc	13.9a	3.9ab	0.80ab	204ab

[†]Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Tukey's studentized range test.

시설재배 표토 양분 과부족율 경남지역 시설재배 표토의 연도별 양분 분포비율은 Fig. 1과 같다. pH는 적정수준인 6.0에서 6.5의 범위보다 부족한 비율은 2000년 27.0%, 2004년 15.5%, 2008년 28.0%, 2012년 8.5%, 2016년 9.0%로 대체적으로 낮아지는 경향이였다. 그리고 적정수준을 초과하는 pH 비율은 2000년 16.5%, 2004년 29.5%, 2008년 40.0%, 2012년 55.5%, 2016년 43.0%로 2008년 이후 높은 수준이였다. 그리고 pH와 밀접한 관련이 있는 치환성 칼슘 함량의 과잉비율이 2000년 44.0%, 2004년 79.5%, 2008년 98.5%, 2012년 96.5%, 2016년 96%로 2004년부터 급격히 높아져서 심각한 불균형 현상을 보였다.

치환성 칼륨 함량은 적정수준 보다 초과된 비율이 2000년 73.5%, 2004년 81.0%, 2008년 84.0%, 2012년 87.5%, 2016년 88.5%로 지속적으로 높아지는 경향이였다. 그리고 치환성 마그네슘 함량도 2000년 63.5%, 2004년 75.0%, 2008년 82.5%, 2012년 82.0%, 2016년 82.5%로 매우 높은 수준을 나타냈다. 따라서 경남지역 시설토양의 치환성 양이온 함량은 적정수준 보다 높은 과잉현상이 심각한 것으로 나타났다. 토양에서 칼슘 함량은 방해석이나 사장석의 석회모암에 기인하거나 외부적인 요인으로 화산퇴적물, 사막의 먼지, 인위적인 투입 등의 영향을 받는다 (Messmer et al., 2014). 토양에 칼슘을 비롯한 칼륨 및 마그네슘의 양이온이 부족하면 토양이 산성화되어 Fe, Mn, Cu, Zn 및 Co 등의 미량성분 함량이 높아지지만 치환성 양이온이 과잉되면 토양 pH가 높아져 미량성분의 결핍현상이 일어날 수 있다 (Fageria and Baligar, 2008; Behera and Shukla, 2014). 일반적으로 토양의 산성화는 강우에 의하여 치환성 양이온의 용탈에 따라 발생하는 경우가 많은데 시설하우스는 강우를 차단하므로 양이온이 축적되기 쉽다 (Behera and Shukla, 2015). 따라서 치환성 양이온의 토양 양분 불균형을 해소하기 위해서는 토양검정을 통한 필요량으로 사용할 필요가 있다 (Choi et al., 2010a). 토양 유기물 함량의 과잉비율은 2000년 73.0%, 2004년 62.0%, 2008년 65.5%, 2012년 57.0%, 2016년 60.5%로 적정수준 보다 2에서 3배 높았다. 시설토양에서 유기물의 적정 사용은 작물 생육 및 수량 증대와 토양 미생물의 유의적인 증가를 기대할 수 있지만 가축분퇴비 등을 과잉사용하면 인산 집적 등의 문제가 발생되므로 적정관리가 필요하다 (Arancon et al., 2006). 토양 유효인산 함량의 과잉된 비율은 2000년 83.5%, 2004년 89.5%, 2008년 90.5%, 2012년 82.5%, 2016년 93.5%로 심각한 양분 불균형 현상을 나타냈다. 이러한 결과는 토양에서 양이온과의 결합으로 인산 시비효율이 낮고 가축분퇴비 등의 인산이 많은 비료를 과량시비하기 때문인 것으로 판단되었다 (Tagliavini et al., 2005; Choi et al., 2010a). 따라서 시설토양은 인산성분이 적은 신선 유기물 사용과 토양 검정에 의한 인산시비가 필요할 것이다. 시설토양의 2016년 부족비율이 높은 성분은 유기물 17.5%, pH 9.0%, 치환

Fig. 1. Frequency distribution of chemical properties of greenhouse soils in Gyeongnam Province ($n=200$).

성 칼륨 8.0%, 유효인산 3.5%, 치환성 마그네슘 1.5%, 치환성 칼슘 0.5% 순이었으며 과다비율은 치환성 칼슘 96.0%, 유효인산 93.5%, 치환성 칼륨 88.5%, 치환성 마그네슘 82.5%, 유기물 60.5%, pH 73.0% 순이었다.

시설재배지 화학성분 간의 상관관계 경남지역 시설재배지 표토의 화학성분 간의 상관관계는 Table 3과 같다. 토양 pH는 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 나트륨과 고도의 유의성 있는 정의 상관을 나타낸 반면, EC와 질산태 질소 함량과는 부의 상관을 나타냈다 ($p < 0.001$). 일반적으로 토양 pH는 양이온과 정의 상관을 보이고 음이온과 부의 상관을 나타낸다 (Zhang et al., 2016). 또한, 토양 pH는 유기물의 수소이온 반응 (Rukshana et al. 2012), 생물학적인 탈카르복실 작용 (Rukshana et al. 2011), 질산화 작용 (De Vries and Breeuwsma 1987; Barak et al. 1997) 등의 영향을 받는다. 실제 Guo et al. (2010)은 옥수수과 밀의 윤작에서 바이오매스를 제거하면 대략 50%의 수소이온을 생산하여 토양을 산성화 시킨다고 하였다. 그러나 본 연구에서는 토양 pH와 토양 유기물의 상관관계는 나타나지 않았다. 이러한 결과는 Table 1과 같이 시설재배 토양의 경우 토양 pH는 유기물 영향보다 치환성 칼슘, 치환성 마그네슘, 치환성 나트륨 및 치환성 칼륨 함량이 적정수준보다 매우 높기 때문에 영향이 더 큰 것으로 판단되었다. 그리고 시설재배지 pH와 EC 값이 부의 상관을 보인 이유는 Ca 염들의 침전 때문인 것으로 생각되었다 (Choi et al., 2010a). 표토의 EC 값은 질산태 질소, 치환성 나트륨, 마그네슘, 칼륨, 칼슘, 유효인산, 유기물 함량 순으로 정의 상관을 나타냈다 (Miyamoto et al., 2015). 유기물 함량은 유효인산, 질산태 질소, 치환성 양이온들 (칼륨, 칼슘, 마그네슘)과 고도의 정의 상관을 보였다. 이러한 결과는 유기물 공급원으로 양분을 다량 함유한 가축분퇴비 등을 농가에서 많이 사용한 때문인 것으로 판단되었다 (Choi et al., 2010b).

Table 3. A correlation coefficient between chemical properties of greenhouse topsoils in Gyeongnam Province ($n=1,000$).

	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	NO ₃ -N	Exch. K	Exch. Ca	Exch. Mg	Exch. Na
pH	-0.076*	-0.036	-0.022	-0.262***	0.176***	0.450***	0.245***	0.186***
EC		0.157***	0.220***	0.704***	0.451***	0.227***	0.553***	0.608***
OM			0.440***	0.191***	0.523***	0.313***	0.376***	-0.016
Avail. P ₂ O ₅				0.257***	0.468***	0.216***	0.313***	0.045
NO ₃ -N					0.320***	0.084**	0.312***	0.245***
Exch. K						0.408***	0.599***	0.284***
Exch. Ca							0.474***	0.176***
Exch. Mg								0.421***

시설재배지의 연도별 표토 화학성분 주성분 분석결과는 Fig. 2와 같다. 주성분 분석으로 PC 1은 40.5%, PC 2는 20.2%를 나타냈으며 전체 60.7%를 나타냈다. 토양 화학성분의 PC 1 주성분은 치환성 칼륨 (1.48), EC (1.26), 유기물 (1.12), 유효인산 (1.07), 치환성 칼슘 (1.06), 질산태 질소 (1.03)의 순으로 정의기여를 하였으며, PC2는 pH (1.04)가 정의 기여를 하는 것으로 나타났다. 특히 주성분 분석결과 연도별 pH 및 치환성 칼슘 함량 변화가 뚜렷하게 나타나 주성분은 $Y = 0.6386X$ ($r=0.674$)의 방향으로 진행될 것으로 예측되어 토양검정을 통한 토양개량제 사용이 매우 중요한 것으로 생각된다.

Fig. 2. Principal components analyses of chemical properties of greenhouse soils in Gyeongnam Province ($n = 1,000$). The variance explained by the each principal component (PC) axis is shown in parentheses. Bars present standard deviation.

Conclusions

경남지역 시설재배 토양의 합리적인 양분관리를 위해 2000년에 200개소를 선정하여 4년 주기로 화학성 변동을 분석하였다. 시설 토양의 표토 화학성분 평균은 적정수준보다 EC는 1.3-1.8배, 유기물은 1.0-1.2배, 유효인산은 1.6-2.3배, 치환성 칼륨은 2.0-2.9배, 치환성 칼슘은 1.1-2.1배, 치환성 마그네슘은 1.7-2.0배 높았으며 2000년도에 비해 2016년에 유기물, 유효인산, 치환성 양이온 함량이 높아지는 경향이였다. 특히 2016년 표토의 화학성분 과잉비율은 pH 43%, 유기물 61%, 유효인산 94%, 치환성 칼륨 89%, 치환성 칼슘 96%, 치환성 마그네슘 83%로 양분불균형이 심각한 것으로 나타났다. 또한, 주성분 분석결과 pH와 치환성 칼슘 함량이 지속적으로 증가될 것으로 예측되어 토양검정을 통한 적정 토양개량제 사용과 칼슘 함량이 적은 부산물비료 사용이 필요할 것이다.

Acknowledgement

This study was conducted with the support of the Research Cooperating Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ012505212018), RDA, Republic of Korea.

References

- Arancon, N.Q., C.A. Edwards, and P. Bierman. 2006. Influences of vermicomposts on field strawberries: Part 2. Effects on soil microbiological and chemical properties. *Bioresour. Technol.* 97:831-840.

- Barak, P., B.O. Jobe, A.R. Krueger, L.A. Peterson, and D.A. Laird. 1997. Effects of long-term soil acidification due to nitrogen fertilizer inputs in Wisconsin. *Plant Soil*. 197:61-69.
- Behera, S.K. and A.K. Shukla. 2014. Total and extractable manganese and iron in some cultivated acid soils of India - status, distribution and relationship with some soil properties. *Pedosphere*. 24:196-208.
- Behera, S.K. and A.K. Shukla. 2015. Spatial distribution of surface soil acidity, electrical conductivity soil organic carbon content and exchangeable potassium, calcium and magnesium in some cropped acid soils of India. *Land Degrad. Develop.* 26:71-79.
- 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.
- De Vries, W. and A. Breeuwsma. 1987. The relation between soil acidification and element cycling. *Water Air Soil Poll.* 35:293-310.
- Fageria, N.K. and V.C. Baligar. 2008. Ameliorating soil acidity of tropical Oxisols by liming for sustainable crop production. *Adv. Agron.* 99:345-399.
- Guo, J.H., X.J. Liu, Y. Zhang, J.L. Shen, W.X. Han, W.F. Zhang, P. Christie, K.W.T. Goulding, P.M. Vitousek, and F.S. Zhang. 2010. Significant acidification in major Chinese croplands. *Science*. 327:1008-1010.
- 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 Tillage Res.* 98:120-129.
- Jung, B.G., J.W. Choi, E.S. Yun, J.H. Yoon, Y.H. Kim, and G.B. Jung. 1998. Chemical properties of the horticultural soils in the plastic film houses in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31(1):9-15.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2017. http://kosis.kr/statisticsList/statisticsList_01List.jsp?vwcd=MT_ZTITLE&parentId=F#SubCont
- KREI (Korea Rural Economic Institute). 2018. *Agricultural outlook*. p.38-50.
- 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.* 46:308-312.
- Messmer, T., H. Elsenbeer, and W. Wilcke. 2014. High exchangeable calcium concentrations in soils on Barro Colorado Island, Panama. *Geoderma*. 217-218:212-224.
- Miyamoto, T., K. Kameyama, and Y. Iwata. 2015. Monitoring electrical conductivity and nitrate concentrations in an Andisol field using time domain reflectometry. *JARQ-Jpn. Agr. Res. Q.* 49(3):261-267.
- Moon, J.Y., J.K. Song, J.H. Shin, Y.C. Cho, J.W. Bae, J.Y. Heo, H.W. Kang, and Y.H. Lee. 2016. Effect of biodegradable mulch film on soil microbial community. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49:125-131.
- NAS (National Institute of Agricultural Science). 2010. *Analytical methods of soil and plant*. NAS, Suwon, Korea.
- NAS (National Institute of Agricultural Science). 2017. *Fertilizer recommendation for crops*. RDA, Wanju, Korea.
- Rukshana, F., C.R. Butterly, J.A. Baldock, and C. Tang. 2011. Model organic compounds differ in their effects on pH changes of two soils differing in initial pH. *Biol. Fert. Soils*. 47:51-62.
- Rukshana, F., C.R. Butterly, J.A. Baldock, and C. Tang. 2012. Model organic compounds differ in priming effects on alkalinity release in soils through carbon and nitrogen mineralisation. *Soil Biol. Biochem.* 51:35-43.
- SAS. 2008. SAS 9.2 Version. SAS Inst., Cary, NC.

- Tagliavini, M., E. Baldi, P. Lucchi, M. Antonelli, G. Sorrenti, G. Baruzzi, and W. Faedi. 2005. Dynamics of nutrients uptake by strawberry plants (*Fragaria* × *Ananassa* Dutch.) grown in soil and soilless culture. *Eur. J. Agron.* 23:15-25.
- 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 Tillage Res.* 98:1-10.
- Ye, R. and A.L. Wright. 2010. Multivariate analysis of chemical and microbial properties in Histosols as influenced by land-use types. *Soil Tillage Res.* 110:94-100.
- 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.