

Status and Change in Chemical Properties of Poly-tunnel Soil in Korea from 2000 to 2012

Seong Soo Kang*, Ahn Sung Roh¹, Seung Chul Choi², Young Sang Kim³, Hyun Ju Kim³, Moon Tae Choi⁴, Byoung Gu Ahn⁵, Hee Kwon Kim⁶, Sang Jo Park⁷, Young Han Lee⁸, Sang Ho Yang⁹, Jong Soo Ryu¹⁰, Yeon Gyu Sohn, Myeong Sook Kim, Myung Suk Kong, Chang Hoon Lee, Deog Bae Lee, and Yoo Hak Kim

Division of Soil and Fertilizer, RDA-NAAS, Suwon 441-707, Korea

¹Gyeonggi-do Agricultural Research & Extension Services, Hwaseong, 445-784, Korea

²Gangwon-do Agricultural Research & Extension Services, Chunchen, 200-150, Korea

³Chungbuk Agricultural Research & Extension Services, Cheongwon, 363-883, Korea

⁴Chungnam Agricultural Research & Extension Services, Yesan, 340-861, Korea

⁵Jeollabuk-do Agricultural Research & Extension Services, Iksan, 570-704, Korea

⁶Jeollanam-do Agricultural Research & Extension Services, Naju, 520-715, Korea

⁷Gyeongsangbuk-do Agricultural Research & Extension Services, Daegu, 702-708, Korea

⁸Gyeongsangnam-do Agricultural Research & Extension Services, Jinju, 660-985, Korea

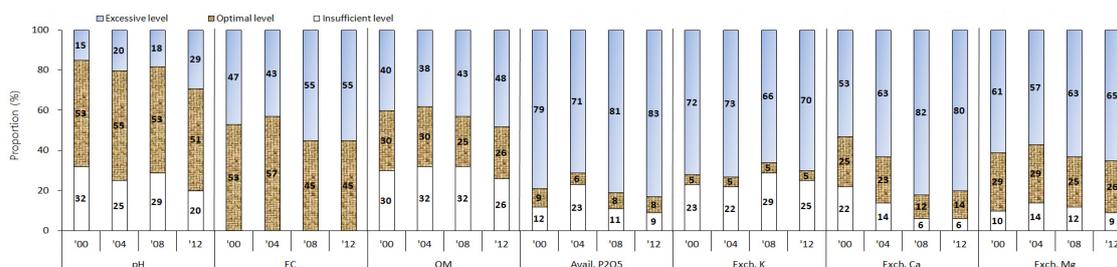
⁹Jeju Agricultural Research & Extension Services, Seogui-po, 697-828, Korea

¹⁰Highland Agriculture Research Center, Pyeongchang, RDA-NICC, 441-857, Korea

(Received: November 14 2013, Accepted: December 6 2013)

Chemical properties of agricultural soils in Korea have been investigated at four-year interval in order of paddy, poly-tunnel, upland, and orchard soils since 1999; poly-tunnel soils were investigated over the whole country in 2000, 2004, 2008, and 2012. Poly-tunnel soils were taken from the surface (0-15 cm) and subsurface (15-30 cm) at 2,651, 1,274, 1,374 and 1,374 sites in all provinces of South Korea. One hundred sampling sites located in more than 400 m altitude were additionally investigated in 2008 and 2012. Average of soil chemical properties in 2012 except Jeju province were 6.6 for pH, 3.2 dS m⁻¹ for EC, 37 g kg⁻¹ for organic matter (OM), 1,049 mg kg⁻¹ for available (Avail.) phosphate, 1.58 cmol_c kg⁻¹ for exchangeable (Exch.) K, 10.6 cmol_c kg⁻¹ for Exch. Ca, and 3.3 cmol_c kg⁻¹ for Exch. Mg. Except pH, averages of all chemical properties exceeded the upper limit of optimal range. The median values except pH showed a lower value than the averages. The pH, OM and Exch. Ca had slightly increased from 6.3 to 6.6, from 34 to 37 g kg⁻¹, and from 7.7 in 2000 to 10.6 cmol_c kg⁻¹ in 2012, respectively. The order of sample ratios exceeding the optimal range were Avail. P₂O₅ (83%) > Exch. Ca (80%) > Exch. K (70%) > Exch. Mg (65%) > EC (55%) > OM (48%) > pH (29%) in 2012. The order of sample ratios below the optimal range was OM (25%) > Exch. K (25%) > pH (20%), Exch. Mg and Avail. P₂O₅ (9%) > Exch. Ca (6%) in 2012. The excessive proportion of pH, Exch. Ca, Exch. Mg and OM slightly increased, while the insufficient proportion of those decreased. Approximately 55% of poly-tunnel soils exceeding EC 2 dS m⁻¹ was evaluated with salt accumulated soils having the risk of growth disorder of crops. Nutrient contents in poly-tunnel soils in Korea showed high level especially Avail. P₂O₅ and Exch. cations. Therefore, recommended fertilization based on soil testing or plant testing is needed for soil nutrient management.

Key words: Plastic film house soil, Poly-tunnel soil, Salt accumulation, Soil chemical property



Changes in proportion of insufficient, optimal and excessive ranges of soil chemical properties.

*Corresponding author : Phone: +82312900333, Fax: +82312900208, E-mail: sskang33@korea.kr

§Acknowledgement: This study was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ009198012013)", Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

시설재배지는 자연조건의 노지와 달리 비닐에 의해 강우가 차단되어 비료물질이 토양에 집적되기 쉬운 조건이다. 이에 더해 1년에 2회~5회까지 작물을 집약적으로 재배하면서 매 작기마다 과다 시비되는 퇴비와 비료로 인하여 염류가 토양에 집적되어 생산성이 저하되는 것이 문제시되어 왔다. Yuk et al. (1993)은 충북지역 시설원예재배지 토양의 염류집적 실태를 조사한 결과 시설재배지 토양의 화학성은 인근 노지토양에 비하여 훨씬 높은 함량을 보였고, 전기전도도 4 dS m⁻¹ 이상, 유효인산 1,000 mg kg⁻¹ 이상인 포장지 절반 이상이었다고 보고하였다. Suh et al. (1995)은 남부지역 시설재배지 토양 중 인산염 형태별 함량을 조사하여 63%가 1,000 mg kg⁻¹을 초과하였고, 토양 중 무기인산염의 주 형태는 Ca-P와 Fe-P였다고 하였다. Ha et al. (1997)은 남부지방 시설재배지 토양의 화학성과 작물의 양분함량에 대하여 조사하였고, 화학성 평균은 pH, 유기물, 붕소, 망간 아연 등이 적정수준을 보였고, 유효인산과 치환성양이온은 과다집적된 경향이었다고 보고하였다. Kim et al. (2006)은 충북지역 시설재배지 토성별 토양화학성의 상호관계에 대하여 보고하였고, Choi et al. (2010)은 충남지역의 시설 딸기재배지 시비수준과 토양 화학성과의 관계에 대하여 보고하였다.

양분이 과다집적된 우리나라 시설재배지에 대한 토양 및 시비관리 대책수립을 위해서는 전국적인 규모의 토양화학성 조사가 필요하다. Jung et al. (1998)은 1996년에 우리나라 시설원예 재배지 토양 513점에 대한 화학적 특성을 조사하였고, 평균이 pH 6.0, 유기물 35 g kg⁻¹, 유효인산 1,092 mg kg⁻¹, 전기전도도 2.94 dS m⁻¹, 치환성 K, Ca, Mg는 각각 1.27, 6.0, 2.5 cmol_c kg⁻¹, 질산태질소는 155 mg kg⁻¹이었다고 보고하였다. 또한 우리나라의 1976년부터 1996년까지의 시설재배지에 대한 토양분석결과를 정리하여 연대별 토양화학성 변화를 평가하였다. 1998년도에는 친환경농업 육성법이 시행됨에 따라 동법 제11조 토양자원 및 농업환경 실태조사에 따라 1999년부터 전국적인 규모의 농업환경변동조사가 시작되어 현재까지 수행되어오고 있다 (RDA, 2009b). 이 조사사업 내에서 시설재배지 토양 화학성에 대한 주기적이고 장기적인 변동조사는 농촌진흥청과 각 도 농업기술원

이 공동으로 2000년부터 4년 1주기로 2012년까지 조사해 오고 있다. 이에 본 연구는 2000년부터 2012년 사이에 4년 1주기로 4회에 걸쳐 전국적인 규모로 조사한 시설재배지 토양화학성 모니터링 결과로부터 우리나라 시설재배지 토양의 화학성 현황과 변동을 평가하여 토양관리를 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

Materials and Methods

우리나라 시설재배지 토양의 화학성을 주기적으로 조사하기 위하여 2000년에 각 도별 시설재배지 작물의 식부면적 비율을 기준으로 2,651지점을 선정하였다. 각 도별로 경기도는 300점, 강원 88점, 충북 108점, 충남 406점, 전북 275점, 전남 413점, 경북 430점, 경남 551점, 제주 80점의 토양시료를 각 도농업기술원에서 각각 채취하고 분석하였다. 2004년에는 2000년의 조사지점 중에서 경기 140점, 강원 100점, 충북 108점, 충남 180점, 전북 120점, 전남 180점, 경북 206점, 경남 200점, 제주 40점으로 총 1,274지점을 선택하여 채취하였다. 2008년에는 해발 400 m 이상 지점의 고령권 100지점을 추가하여 1,374지점의 토양시료를 채취하였다 (Table 1). 2012년에는 2008년 조사지점과 동일한 지점에서 토양시료를 채취하였으며 도별 토양시료의 비율은 경기 10.2%, 강원 7.3%, 충북 7.9%, 충남 13.1%, 전북 8.7%, 전남 13.1%, 경북 15.0%, 경남 14.5%, 제주, 2.9%, 고령권 7.3%이었다. 토양시료는 작물 수확기에 표토 (0~15 cm), 심토 (15~30 cm)로 구분하여 채취하였다.

토양 일반화학성 분석방법은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 1988)에 준하여 분석하였다. pH와 전기전도도는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 추출하여 전극과 메트로 측정하였다. 유기물은 Tyurin법으로 분석하였고 유효인산은 Lancaster법으로 분석하였다. 치환성 양이온은 pH 7.0으로 조절한 1 M NH₄OAc로 추출하여 AAS 및 ICP로 분석하였다. 질산태질소는 2 M KCl로 추출하여 켈달질소증류장치 또는 자동비색분석기 (Auto analyzer)를 이용하여 분석하였다.

조사연도별 토양화학성 각 항목별 표본집단이 정규분포를 따르는지를 평가하기 위하여 정규분포의 적합도 검정 (Shapiro-Wilk test)을 하였고 이를 바탕으로 전국 시설

Table 1. Number of sampling sites located in 9 provinces in Korea from 2000 to 2012.

Year	High Land	Gyeonggi	Gangwon	Chungbuk	Chungnam	Jeonbuk	Jeonnam	Gyeongbuk	Gyeongnam	Juju	Total
2000	-	300	88	108	406	275	413	430	551	80	2,651
2004	-	140	100	108	180	120	180	206	200	40	1,274
2008	100	140	100	108	180	120	180	206	200	40	1,374
2012	100	140	100	108	180	120	180	206	200	40	1,374

재배지 토양 분석결과 중에서 화산회토양이 혼재하는 제주 지역은 제외하여 기초통계량을 구하였고 연차간 화학성 변화를 비교하였다 (SigmaPlot 11, 2008). 그리고, 작물별시비 처방기준 (NAAS, 2010)의 시설재배지 작물 종류별 화학성 적정범위를 종합하여 시설재배지 토양화학성 적정범위를 설정하였고, 이를 기준으로 연차별 화학성의 부족, 적정, 과다지점의 비율을 구하여 변동을 평가하였다.

Results and Discussion

정규분포 적합도 검정 연도별 조사항목별 분석결과를 각각의 표본집단으로 하여 정규분포의 적합도 검정을 하였다. 그 결과 토양화학성 각 항목은 정규분포를 따르지 않는 것으로 평가되었다. 또한 분포의 치우침 정도를 왜도 (Skewness)로 평가한 결과 pH는 모두 음수값을 보여 우측으로 치우친 분포임을 나타냈고, 그 이외 항목은 양수값을 보여 왼쪽으

로 치우친 분포임을 나타냈다. 이와 같이 정규분포를 따르지 않을 경우 토양화학성의 평균값보다는 중앙값을 사용해야 하며 미국과 캐나다의 경우 토양비옥도 평가를 위하여 중앙값을 사용하고 있다 (IPNI, 2010). 그러나 우리나라는 전통적으로 평균값을 주로 사용해 왔다. 시설재배지 토양화학성은 Table 2와 같으며 토양 pH를 제외한 모든 항목은 중앙값이 평균보다 낮았다. Table 2의 토양화학성 적정범위를 기준으로 조사지점을 낮음 적정 높음으로 구분한 조사점수 비율은 Fig. 1과 같다.

토양 pH 표토와 심토의 토양 pH 평균과 중앙값은 2000년 6.3에서 2012년 6.6으로 0.3 증가하였다. pH의 경우 평균과 중앙값은 같았다. 토양 pH의 과부족 비율 (Fig. 1)에서 높음의 비율은 15%에서 29%까지 높아졌고 부족비율은 32%에서 20%로 낮아졌다. 적정비율은 51%에서 55% 사이에서 변화하였다. 북아메리카의 경우 pH 중앙값은 2005년

Table 2. Chemical properties of polytunnel soils in Korea except Jeju province.

Year	Soil depth	Statistics	pH	E.C.	O.M.	NO ₃ -N	Avail. P ₂ O ₅	Exch. cation			No. of sample	
								K	Ca	Mg		Na
	cm		(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmolc kg ⁻¹				
2000	0-15	Mean	6.3	2.8	34	163	975	1.67	7.7	3.4	0.66	2,651
		Median	6.3	1.8	32	103	890	1.33	7.3	3.0	0.43	
		Min.-Max. [†]	(3.6-8.7)	(0.1-31.0)	(0-173)	(0-2,318)	(7-4,420)	(0.07-10.70)	(0.6-29.7)	(0.2-21.2)	(0-7.46)	
15-30	Mean	6.3	2.0	29	112	792	1.30	6.7	2.8	0.52	2,651	
		Median	6.3	1.3	26	75	720	1.02	6.3	2.5	0.36	
		Min.-Max.	(3.6-9.0)	(0-18.0)	(0-168)	(0-2,629)	(3-3,988)	(0.03-10.85)	(0-32.4)	(0.1-13.0)	(0-9.59)	
2004	0-15	Mean	6.4	3.2	35	236	953	1.70	9.6	3.6	0.71	1,231
		Median	6.5	2.4	31	104	887	1.34	9.1	3.2	0.49	
		Min.-Max.	(4.1-9.0)	(0.01-20.3)	(1-181)	(1-2,469)	(3-3,877)	(0.02-12.40)	(0.9-26.8)	(0.3-20.1)	(0.03-12.41)	
15-30	Mean	6.4	2.2	30	79	904	1.45	8.5	3.1	0.56	1,231	
		Median	6.5	1.7	26	54	800	1.08	8.2	2.8	0.40	
		Min.-Max.	(3.9-8.8)	(0.01-12.8)	(1-146)	(0-989)	(8-3,893)	(0.01-9.78)	(0.3-23.9)	(0.1-19.3)	(0.03-5.37)	
2008	0-15	Mean	6.4	3.7	35	108	1072	1.52	10.4	3.4	0.56	1,334
		Median	6.4	2.3	32	55	942	1.15	9.8	3.1	0.11	
		Min.-Max.	(4.2-8.5)	(0.02-24.7)	(4-268)	(0.4-1643)	(12-4,909)	(0.08-13.37)	(0.1-32.5)	(0.2-13.2)	(0-5.39)	
15-30	Mean	6.4	2.5	28	75	880	1.21	8.9	2.8	0.48	1,334	
		Median	6.5	1.7	26	41	753	0.93	8.6	2.6	0.39	
		Min.-Max.	(3.8-8.3)	(0.04-16.8)	(0.5-320)	(0.4-903)	(10-3,593)	(0.06-8.61)	(0.8-30.7)	(0-9.9)	(0-4.3)	
2012	0-15	Mean	6.6	3.1	37	146	1,049	1.58	10.6	3.3	0.71	1,334
		Median	6.6	2.3	34	87	953	1.21	9.9	3.0	0.53	
		Min.-Max.	(3.8-9.1)	(0.1-20.7)	(2-246)	(0.2-2,560)	(4-4,238)	(0.08-10.69)	(0.6-33.4)	(0.2-17.6)	(0-6.16)	
15-30	Mean	6.6	2.2	30	85	852	1.20	9.1	2.8	0.57	1,334	
		Median	6.6	1.7	27	45	775	0.89	8.5	2.5	0.44	
		Min.-Max.	(4.0-8.8)	(0-15.2)	(0-176)	(0-1,066)	(18-3,377)	(0.05-10.05)	(0.1-24.5)	(0.1-9.7)	(0.02-4.41)	
Optimum range			6.0-7.0	≤2	25-35	50-150	350-500	0.70-0.80	5.0-7.0	1.50-2.50	-	-

[†]Minimum-Maximum value.

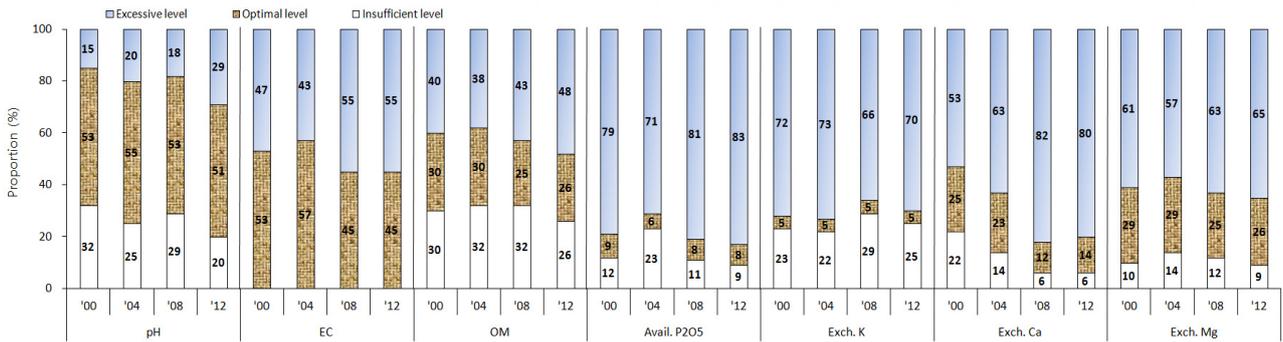


Fig. 1. Changes in proportion of insufficient, optimal and excessive ranges of soil chemical properties in polyntunnel soils.

에 6.3, 2010년에 6.4였고, 2010년에 pH 6.0 미만의 시료수는 27%로 보고되었다 (IPNI, 2010).

토양유기물 토양유기물 함량도 2000년 34 g kg⁻¹에서 2012년 37 g kg⁻¹로 증가하여 적정범위 상한 수준인 35 g kg⁻¹을 초과하였다. 우리나라 논토양의 경우 유기물 함량이 1999년 22.0 g kg⁻¹에서 2011년 26.0 g kg⁻¹까지 증가해 왔으며 (Kang et al., 2012), 논토양에 비하여 약 1.4배 높은 수준이었다. 유기물의 높음 비율도 2004년 38%에서 2012년 48%까지 증가하였고 낮음 비율은 2004년과 2008년 32%에서 2012년 26%로 감소하였다. 유기물 함량은 경운, 작부체계 및 시비에 의한 영향을 받으며 (Yadav et al., 1998; Dawe et al., 2000; Ladha et al., 2003), 토양 유기물 함량 증가는 토양의 보수력, 통기성, 완충력, 양분보유력, 토양 음전하량 증가에 기여하는 정도가 크기 때문에 양분과잉 상태의 시설재배지 토양에서의 유기물 증가는 바람직한 것으로 생각된다.

전기전도도 토양 염류집적 정도의 지표인 전기전도도는 2000년 2.8 dS m⁻¹에서 2008년 3.7로 증가하였다가 2012년 3.2로 감소하였다. 일반적으로 전기전도도 2 dS m⁻¹ 이상이면 염류장해를 입을 우려가 있는 것으로 판단하는데 모든 조사연도에서 전기전도도 평균은 임계수준을 1.4~1.9 배 초과한 수준을 보였다. 중앙값으로도 2000년을 제외하고 모두 임계수준을 초과하였다. 과부족비율을 살펴보면 2008년과 2012년의 전기전도도 높음 비율은 2000년과 2004년에 비하여 증가한 55%에 달하여 우리나라 절반 이상의 시설재배지가 염류과잉에 의한 작물 피해가능성이 있는 것으로 판단되었다.

질산태질소 질산태질소의 함량은 2004년에 236 mg kg⁻¹ (중앙값 104)로 가장 높았고, 2012년 146 mg kg⁻¹ (중앙값 87)을 나타냈다. 심토에서도 2012년 평균 85 mg kg⁻¹ (중앙값 45)를 나타냈다. 2012년 평균값과 중앙값을 우리나라

라 시설재배지 평균 용적밀도 1.09 Mg m⁻³ (RDA, 2009a)와 토양깊이 15 cm를 적용시 10a당 이용가능한 질산태질소의 양은 각각 23.9 kg과 14.3 kg으로 매우 높은 수준으로 평가되었다. 토마토 수량 10,465 kg 10a⁻¹ 생산에 필요한 질소흡수량은 9.6 kg 10a⁻¹ (NAAS, 2010)이므로, 우리나라 시설재배지 질산태질소의 수준은 매우 높은 것으로 평가할 수 있다. 이러한 시설재배지에 대한 질산태질소의 적정기준은 양분요구도가 높은 과채류 (고추, 토마토, 오이, 호박, 가지)에서 70~200 mg kg⁻¹의 수준으로 설정되어 있고, 양분요구도가 낮은 과채류 (딸기, 참외, 멜론, 수박)와 엽채류에서 50~150 mg kg⁻¹의 수준으로 설정되어 있다 (NAAS, 2010). Figure 1에 나타내지 않았지만 적정범위로 50~150 mg kg⁻¹을 적용시 부족비율은 36%, 적정비율은 32%, 과잉비율은 32%를 차지하는 것으로 평가되었다. Kang and Hong (2004)은 방울토마토 시설재배지 질소 무시비 추천기준은 토양질산태질소 280 mg kg⁻¹로 평가하였는데 이를 초과하는 시설재배지 비율은 13%를 차지하였다.

유효인산 유효인산 함량 평균은 2012년 표토 (0~15 cm) 1,049 mg kg⁻¹로, 심토 (0~15 cm) 852 mg kg⁻¹로 표토는 적정범위 상한의 2.1배, 하한의 3.0배로 높은 수준이었다. 중앙값의 평균에 대한 비율은 약 88%~91%를 차지하였고, 심토의 유효인산 평균함량은 표토에 대하여 2004년에 95%, 그 외의 연도에서는 81~82% 수준을 보여 심토의 유효인산 함량도 매우 높았다. 유효인산 함량의 높음 비율도 2004년 이후 계속 증가하여 83%나 차지하였고 부족 비율은 계속 감소하여 9%를 차지하였다. 적정비율은 2008년 2012년 모두 8%로 낮은 비율을 나타냈다.

치환성양이온 치환성칼륨도 2000년 1.67 cmol_c kg⁻¹에서 2012년 1.58로 적정범위 상한의 약 2배 수준으로 매우 높은 수준에서 약간 변화하였다. 중앙값의 평균에 대한 비율은 전체적으로 74~80% 수준을 나타냈다. 심토의 표토에 대한 평균 비율은 2004년에 90%를 보였고 그 외 연도에서

는 80% 수준을 보였다. 높음 비율은 2000, 2004년에 비해 3% 감소하였고, 2008년에 비해 4% 증가한 70%로 매우 높은 수준이었다. 적정범위는 모든 조사연도에서 5%를 나타내 매우 적었다. 이것은 적정범위가 0.7~0.8 cmol_c kg⁻¹로 매우 좁았기 때문으로 생각된다. 북아메리카의 경우 치환성 K의 중앙값은 2005년에 비해 4 mg kg⁻¹ 감소한 150 mg kg⁻¹ (0.384 cmol_c kg⁻¹)이었고, 미시시피강 동쪽 주들과 캐나다 동부지역 대부분은 임계 (critical) 수준 또는 그 이하였으며 50% 이상의 조사지점에서 수량감소를 예방하기 위하여 K 시비가 필요하다고 하였다. 그리고 서부지역에서 더 높은 이유는 토양이 덜 풍화되었기 때문이라고 하였다 (IPNI, 2010). 치환성칼슘은 2000년 7.7 cmol_c kg⁻¹에서 2012년 10.6까지 증가한 반면 치환성 마그네슘은 약 3.3~3.6 cmol_c kg⁻¹의 수준에서 약간 증감하였다. 치환성칼슘과 치환성마그네슘의 평균과 중앙값은 모두 적정범위 이상이었다. 치환성칼슘의 높음 비율은 53%에서 80%까지 증가하였고, 낮음 비율은 22%에서 6%로 낮아져 칼슘의 과잉상태가 매우 높음을 알 수 있었다. 적정범위 비율도 25%에서 14%까지 낮아졌다. 치환성마그네슘의 경우 2004년 이후 높음의 비율은 다소 증가하고, 낮음의 비율은 다소 감소하는 경향을 보였다. 치환성칼슘의 중앙값은 평균에 대하여 93~97% 수준을 보였고, 심토 평균은 표토에 대하여 2004년에 89%, 그 외 조사연도에는 86~87% 수준을 보였다. 치환성마그네슘 중앙값은 평균에 대하여 88~91% 수준을 보였고, 심토 평균은 표토에 대하여 82~86% 수준을 보였다. 치환성나트륨은 표토에서 0.56~0.71 cmol_c kg⁻¹의 수준을 보였고, 심토에서 0.48~0.57 cmol_c kg⁻¹의 수준을 보였다.

화학성간 상관 2012년 표토의 토양 화학성간 상관계수는 Table 3과 같다. 토양 pH는 치환성칼슘과 0.400** 치환성마그네슘과 0.198**의 상관계수를 나타냈다. Ha et al. (1997)은 남부지방 시설재배지 토양화학성간 상관분석에서 토양 pH는 치환성 칼슘, 마그네슘과 각각 상관계수 0.306**, 0.312**의 관계를 보인다고 하였다. 이와같이 pH와 관련이

높은 치환성칼슘은 2000년 7.7 cmol_c kg⁻¹에서 2012년 10.6까지 증가한 반면 치환성 마그네슘은 약 3.3~3.6 cmol_c kg⁻¹의 수준에서 약간 증감하였다. 전기전도도는 질산태질소와 0.693**로 가장 밀접한 정의 상관을 보였고, 치환성마그네슘과 0.534**, 치환성나트륨과 0.527**, 치환성 칼륨과 0.473**, 치환성칼슘과 0.395**의 정의 상관을 보였다. 유기물함량은 치환성칼륨과 0.452**로 가장 높은 상관을 보였고, 치환성칼슘은 치환성마그네슘과 0.585**로 가장 높은 상관을 보였다. 치환성칼슘은 치환성마그네슘과 0.627**로 가장 높은 상관을 보였다. 치환성나트륨은 치환성마그네슘과 0.570**으로 가장 높은 상관을 보였다.

Conclusions

Fig. 2에서 2012년 시설재배지 토양화학성 적정범위 대비 부족 비율은 유기물 (26%) > 치환성 K (25%) > pH (20%) > 치환성 Mg, 유효인산 (9%) > 치환성 Ca (6%)의 순이었다. 과다 비율의 크기는 유효인산 (83%) > 치환성 Ca (80%) > 치환성 K (70%) > 치환성 Mg (65%) > EC (55%) > 유기물 (48%) > pH (29%)를 보여 전반적으로 pH를 제외하고는 과다 비율이 상당히 높았다. 특히, 염류농도의 지표인 전기전도도가 2 dS m⁻¹ 이상인 비율이 55%나 되어 시설재배지 토양의 절반 이상이 염류장해 발생 가능성이 있는 것으로 평가되었다. 2012년의 표토의 화학성 전국 평균은 pH를 제외한 모든 성분이 적정범위 상한 이상의 값을 보였다. 이와 같이 우리나라 시설재배지의 양분상태는 매우 높은 것으로 판단되었다. 이것은 시설재배지가 강우에 의한 용탈이 거의 없어 양분이용율이 높은 조건인데 반해 농가에서 생산량을 높이기 위하여 관행적으로 퇴비와 비료를 과다 시비하기 때문으로 판단된다. 따라서 양분과다 필지에 대하여는 토양검정에 의한 검정시비량을 준수하고, 특히 복합비료보다는 단비 위주의 사용으로 양분균형을 맞추어야 할 것으로 판단된다.

Table 3. Correlation coefficients (r) for chemical properties of polytunnel top soils (n=1,434).

Property	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. K	Exch. Ca	Exch. Mg	Exch. Na
EC	-0.110**							
OM	-0.015	0.130**						
Avail. P ₂ O ₅	-0.074*	0.244**	0.376**					
Exch. K	0.120**	0.473**	0.452**	0.474**				
Exch. Ca	0.400**	0.395**	0.344**	0.255**	0.428**			
Exch. Mg	0.198**	0.534**	0.347**	0.391**	0.585**	0.627**		
Exch. Na	0.143**	0.527*	0.156**	0.185**	0.475**	0.406**	0.570**	
NO ₃ -N	-0.192**	0.693**	0.148**	0.237**	0.372**	0.317**	0.453**	0.326**

*, ** significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

References

- Choi, M.T., J.I. Lee, Y.U. Yun, J.E. Lee, B.C. Lee, E.S. Yang, and Y.H. Lee. 2010. Relationship between fertilizer application level and soil chemical properties for strawberry cultivation under greenhouse in Chungnam province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(2):163-169.
- Dawe, D., A. Dobermann, P. Moya, S. Abdulrachman, B. Singh, P. Lal, S.Y. Li, B. Lin, G. Panullah, O. Sariam, Y. Singh, A. Swarup, P.S. Tan, and Q. X. Zhen. 2000. How widespread are yield declines in long-term rice experiments in Asia. *Field Crops Res.* 66:175-193.
- Ha, H.S., M.S. Yang, H. Lee, Y.B. Lee, B.K. Sohn and U.G. Kang. 1997. Soil chemical properties and plant mineral contents in plastic film house in southern part of Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 30(3):272-279.
- 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.
- 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. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(6):968-972.
- Kang, S.S. and S. D. Hong. 2004. Estimation of optimum application rate of nitrogen fertilizer based on soil nitrate concentration for Tomato cultivation in plastic film house. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37(2):74-82.
- Kim, J.J., S.S. Kang, K.I. Kim, and S.D. Hong. 2006. Relationship among chemical properties of soils with different texture taken from plastic film house of Chungbuk area. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39(3):144-150.
- Ladha, J.K., D. Dawe, H. Pathak, A.T. Padre, R.L. Yadav, B. Singh, Y. Singh, Y. Singh, P. Singh, A.L. Kundu, R. Sakal, A.P. Regmi, S.K. Garni, A.L. Bhandari, R. Amin, C.R. Yadav, E.M. Bhattarai, S. Das, H.P. Aggarwal, R.K. Gupta, and P.R. Hobbs. 2003. How extensive are yield declines in long-term rice-wheat experiments in Asian Field. *Crops Res.* 81:159-180.
- NAAS. 2010. Fertilizer application recommendations for crop plants, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
- NIAS. 1988. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- RDA. 2009a. Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality. Kwangmundang, Suwon, Korea.
- RDA. 2009b. Monitoring project on agri-environment quality in Korea: Final report from 1999 to 2008. Kwangmundang, Suwon, Korea.
- SigmaPlot® 11. 2008. SigmaPlot 11 Version User's Guide Part 2-Statistics. Systat Software, Inc., CA, USA.
- IPNI. 2010. Soil test levels in North America. International Plant Nutrition Institute. Norcross, GA, USA.
- Suh, J.S., Y.S. Song and K.S. Kim. 1995. Distribution of phosphorus fractions in greenhouse soils located on southwest region in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 28(3):270-277.
- Yadav, R.L., D.S. Yadav, R.M. Singh, and A. Kumar. 1998. Long-term effects of inorganic fertilizer inputs on crop productivity in a rice-wheat cropping system. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 51:193-200.
- 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.