

# Changes in Soil Chemical Properties of Strawberry, Watermelon, and Tomato-Grown Plastic Film Houses from 2010 to 2019

Myung Sook Kim<sup>1\*</sup>, Mi-Jin Chae<sup>2</sup>, Eun-Jin Lee<sup>2</sup>, Tae-Gu Lee<sup>2</sup>, Sung-Hee Kwon<sup>3</sup>, and Ha-il Jung<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Senior Researcher, Soil & Fertilizer Management Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

<sup>2</sup>Researcher, Soil & Fertilizer Management Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

<sup>3</sup>Assistant Researcher, Soil & Fertilizer Management Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

<sup>4</sup>Post-doctoral Fellow, Soil & Fertilizer Management Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

\*Corresponding author: [msk74@korea.kr](mailto:msk74@korea.kr)

## ABSTRACT

**Received:** October 27, 2020

**Revised:** November 25, 2020

**Accepted:** November 26, 2020

### ORCID

Tae-Gu Lee

<http://orcid.org/0000-0002-3115-7516>

This study was performed to evaluate the chemical properties and soil quality of strawberry, watermelon, and tomato-grown soils in the intensive plastic film houses. Soil testing data (43,288), uploaded on Korean soil information system (<http://soil.rda.go.kr>) from 2010 to 2019, were analyzed. The study showed that the average values of pH and organic matter (OM) have been maintained under the optimum ranges, whereas electrical conductivity (EC), available phosphate (Avail. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) and exchangeable (Exch.) cations (K, Ca, and Mg) were increased by 1.2 times in strawberry, and 1.3 times in watermelon and tomato. In addition, the soil chemical quality was the lowest in tomato and followed by watermelon and strawberry. Especially, a chemical quality of tomato-grown soils revealed the most rapid decrease until 2019. In order to improve soil environment for strawberry, watermelon, and tomato cultivation under the plastic film houses, a comprehensive soil management technique such as application of rice straw, chelating agent and microbial material, deep tillage, cultivation of hyperaccumulator for salts should be used to reduce the accumulated nutrients, and considering 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, Nutrient, Soil chemical quality, Greenhouse crops

Degree of contribution of soil chemical indicators to strawberry, watermelon, and tomato-grown plastic film houses from 2010 to 2019.

Crop	Year	Soil chemical Indicator				
		pH	EC	SOM	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. K
		----- % -----				
Strawberry	2010	91a <sup>†</sup>	88a	86a	63a	79a
	2013	90ab	88a	87a	60b	78b
	2016	91a	83c	86a	60b	80a
	2019	91a	85b	86a	58c	80a
Watermelon	2010	86b	80b	82b	68ab	77c
	2013	87ab	83a	80c	67bc	75d
	2016	88a	75c	83a	66c	78bc
	2019	88a	76c	83a	69a	80a
Tomato	2010	89a	75a	90a	60a	79a
	2013	89a	75a	87b	57b	76b
	2016	89a	70b	89a	52c	73c
	2019	87b	66c	90a	53c	74c

<sup>†</sup>DMRT  $p < 0.05$



## Introduction

딸기는 풍미가 좋고 비타민과 무기 영양분이 풍부하여 세계적으로 호평받고 있는 과실 중의 하나이고 (RDA, 2018a), 수박은 더위를 가시게 하는 과일로 여름철에 생식으로 많이 이용되며 (RDA, 2018b), 토마토는 건강식품으로 재배지가 확산되면서 국내의 대표적인 과채류 중 하나로 알려져 있다 (RDA, 2019b). 이러한 딸기, 수박, 토마토의 2019년 시설재배면적은 각각 9,325 ha, 5,706 ha, 6,421 ha (KOSIS, 2020)로 경작이 많이 되고 있다. 강우가 차단된 시설조건 때문에 잔류하는 비료성분들이 염류가 되어 토양내에 누적되고, 단위면적당 농산물을 많이 생산하기 위해 비료를 과다하게 투입하여 연중 재배하게 되면서 시설토양 환경은 염류 등이 과거보다 더 많이 집적되고 있다 (RDA, 2019a). 딸기, 수박, 토마토 재배에 대한 연구는 양분실태 및 개선 방안에 대한 연구가 주로 이루어졌다. 시설 딸기 재배지에서 양분함량 실태조사 (Cho et al., 2018; Choi et al., 2010a, 2010b; Kong et al., 2018)와 화학성 변동에 중요한 인자를 선별하였으며 (Yoon et al., 2015), 이들 재배지의 미생물의 영향 (Lee et al., 2011)을 조사한 바 있다. 시설수박재배지에서 벧짚과 같은 유기물 자원을 적절하게 이용하거나 (Ahn et al., 2010; Kang et al., 2011), 집적된 염류를 DTPA 처리로 시설수박 생육을 증진시키는 연구가 이루어졌고 (Lee et al., 2019), 염류 제거 기술로 농가 사용을 유도해야 한다고 발표된 바 있다 (Seong, 2019). 시설토마토 재배지에서도 양분함량을 조사하여 과다하게 집적되었다고 보고하였고 (Yuk et al., 1993), 녹비작물을 재배하여 연작장애 토양의 개량 효과를 평가하였으며 (Kang et al., 2011), 이들 재배지에서 웃거름을 줄임으로써 토양환경이 개선되고 (Lim et al., 2015), 미량원소 함량을 조사 (Chung et al., 2006)하여 평가한 연구도 이루어졌다. 그리고, 국가 농경지의 비옥도를 주기적으로 조사하고 관리하는 측면에서 토양화학성 (Kong et al., 2015)과 비료의 사용실태 (Kim et al., 2020)를 조사하고 있다. 이 중에서 토양 화학성 조사는 1987년부터 농토배양 10개년 사업 (RDA, 1989)을 실시하였고, 2000년부터 2015년까지 4차에 걸쳐 농촌진흥청, 도 농업기술원 및 시·군 농업기술센터가 참여한 주요작물 재배지 토양검정 사업이 진행되면서 전국 농경지를 대상으로 추진되었으며 (Kong et al., 2015), 현재도 진행중에 있다.

따라서 본 연구에서는 2010년부터 2019년까지 토양검정사업을 통해 전국에서 조사되어 흙토람 (<http://soil.rda.go.kr>)에 업로드 된 토양검정 빅데이터 결과를 활용하여 시설재배 면적이 많은 딸기, 수박, 토마토 재배지를 중심으로 토양 화학성 변동 현황과 토양의 질을 분석하여 평가하고자 연구를 수행하였다.

## Materials and Methods

**토양검정 자료** 농촌진흥청 국립농업과학원에서는 지자체의 도 농업기술원과 시·군 농업기술센터와 공동으로 2000년부터 매년 토양검정 사업을 실시하여 왔고, 그 토양화학성 분석 결과를 흙토람에 DB로 구축하고 있다. 본 연구는 2010년부터 2019년까지 흙토람 (제주도의 화산회토양은 제외함)에 구축된 토양검정자료 중에 딸기, 수박, 토마토가 경작되는 시설재배지를 대상으로 각각 16,084, 14,711, 12,493점을 본 연구에 분석자료로 이용하였다 (Table 1). 시설조건에서 딸기, 수박, 토마토재배지를 연구 대상으로 선정한 이유는 많이 재배되는 작물이고, FAO (2000)에서 딸기는 염류에 약한 작물, 수박과 토마토는 염류에 강한 작물로 구분하므로, 이러한 특성에 따른 토양화학성 함량과 화학성 질의 변동을 파악하고자 하였다.

**토양 화학성 분석** 토양은 농촌진흥청 국립농업과학원의 토양 화학 분석법 (NAAS, 2010)에 따라 채취하였고,

각 도 농업기술원, 시군 농업기술센터 토양검정실은 2003년부터 토양표준물질을 사용하여 정도관리를 실시하면서, 검정 항목별로 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준 (RDA, 2012)에 준하여 분석을 실시하였다.

**토양 질 분석** 시설작물인 딸기, 수박, 토마토 재배지의 토양화학성 질을 정량화하고자 Yoon et al. (2004)이 제안한 발토양 질 평가방법을 따랐다 (Table 2). 이것은 토양화학성 특성을 주성분 분석을 이용하여 세부지표 항목으로서 pH, EC, OM, Avail. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Exch. K을 선정하였고, 각 세부지표의 점수를 합산하여 세부지표 항목의 수로 나누어 계산하였으며, 식 (Eq. 1)은 아래와 같다.

$$\text{토양 화학성 질 지수} = \frac{\text{세부지표 (pH, EC, 유기물, 유효인산, 치환성칼륨)별 점수의 합}}{\text{선정한 세부지표의 수}} \quad (\text{Eq. 1})$$

화학성별 측정값에 따라 토양의 기능을 최대 100점 그리고 최소 0점으로 점수화하여 토양 질의 상대지수를 백분율로 표시할 수 있도록 하였다.

**통계 분석** 모든 데이터는 SAS 프로그램 (v. 9.2)으로 통계분석을 하였다. 시설토양에 딸기, 수박, 토마토 재배지에 따른 토양 화학성의 변동과 질 지수를 검정하고자 ANOVA 분석을 실시하고, 이들을 비교하고자 DMRT 검정으로 분석하였다.

**Table 1.** Number of soils testing data analyzed from plastic film houses from 2010 to 2019.

Year	Crop			Sum
	Strawberry	Watermelon	Tomato	
2010	4,737	2,747	2,151	9,643
2013	4,161	4,097	3,381	11,652
2016	4,219	4,034	4,223	12,510
2019	2,967	3,833	2,738	9,566
Total	16,084	14,711	12,493	43,288

**Table 2.** Rating of soil quality indicators for plastic film house soils.

Soil property	Soil quality indicator rating (Score)				
	Very low (25)	Low (50)	Medium (75)	High (90)	Very high (100)
pH (1:5H <sub>2</sub> O)	< 4.8	4.8 - 5.2	5.2 - 5.6	5.7 - 5.9	6.0 - 7.0
	> 7.8	7.7 - 7.8	7.6 - 7.7	7.1 - 7.5	
EC (dS m <sup>-1</sup> )	> 6.5	4.6 - 6.5	2.6 - 4.5	1.4 - 2.5	< 1.4
OM (g kg <sup>-1</sup> )	< 9	9 - 14	15 - 19	20 - 24	> 24
Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	< 75	75 - 125	126 - 165	166 - 199	200 - 450
	> 800	651 - 800	541 - 650	451 - 540	
Exch. K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	< 0.17	0.17 - 0.29	0.30 - 0.42	0.43 - 0.49	0.50 - 1.00
	> 2.96	2.34 - 2.96	1.76 - 2.34	1.01 - 1.75	

## Results and Discussion

**시설 딸기·수박·토마토 재배지의 토양화학적 특성** 염류에 약한 딸기 (FAO, 2000) 재배지의 토양 전기전도도는 2010년에  $1.98 \text{ dS m}^{-1}$ 였고, 2019년에  $2.39 \text{ dS m}^{-1}$ 로 1.2배 정도 증가하였으며, 염류에 강한 수박과 토마토의 경우에는 2010년에 각각  $2.88 \text{ dS m}^{-1}$ ,  $3.54 \text{ dS m}^{-1}$ 에서 2019년에  $3.46 \text{ dS m}^{-1}$ ,  $4.69 \text{ dS m}^{-1}$ 로 각각 1.4배, 1.8배 가량 증가하였다. 그리고, 2019년에 딸기, 수박, 토마토 재배지의 전기전도도의 평균값은 작물 생육의 적정한 범위 (NAS, 2019) 보다 1.7 - 2.3배 정도 높은 값을 나타냈다 (Table 3). 이로부터 염류에 강한 토마토와 수박 재배지의 전기전도도는 연도별 증가폭이 딸기보다 크므로, 토양 염류를 저감하기 위해 담수제염 (Oh et al, 2010), 심토반전 (Jun et al., 2002), 거친 유기물 투입 (Ahn et al., 2010), 미생물 (Lee et al., 1996) 및 킬레이트제 (Kim et al., 2013; Lee et al., 2019) 투입과 같은 토양관리 방안을 실행하는 것이 중요하겠고, 염류가 집적되지 않도록 토양분석하여 그 결과에 따라 비료사용량을 투입하도록 유도하는 것이 필요하겠다.

토양 pH의 평균값은 딸기와 수박 재배지에서 2010년에 각각 6.4, 6.2 이었고, 2019년에는 6.5, 6.4로 증가하는 추세에 있었다. 토마토 재배지의 경우에, 토양 pH의 평균값은 2010년부터 2019년까지 약간의 등락이 있었지만 6.5 - 6.6 범위에 있었고, 작물이 생육하기에 적정한 범위 (NAS, 2019) 근처에 분포하였다. 토양 pH 증가에 영향이 큰 성분인 교환성 칼슘과 마그네슘 함량도 2010년보다 2019년에 각각 1.2, 1.1 - 1.2배 정도 상승하였고, 특히 2019년 평균치는 적정범위 (NAS, 2019)보다 각각 1.1 - 1.4, 1.4 - 2.0배 높은 수치를 나타냈다. 토마토재배지에서 교환성 칼슘과 마그네슘 함량이 수박재배지보다 높게 나타났는데, Bennett (1993)에 따르면, 토마토의 생육에 필요한 식물체 내의 칼슘과 마그네슘의 농도는 각각 3.0 %, 0.42 % 이상이고, 수박은 1.0 - 2.0 %, 0.3 - 0.6% 라고 제시하였고, 토마토의 필요량이 수박보다 많기 때문에 석회와 고토가 포함된 비료를 과다하게 투입하여 나타난 현상이라고 추정할 수 있었다.

**Table 3.** Changes in soil chemical properties for three vegetable crops in the plastic film house from 2010 to 2019.

Crop	Year	pH (1:5H <sub>2</sub> O)	EC dS m <sup>-1</sup>	SOM g kg <sup>-1</sup>	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg kg <sup>-1</sup>	Exch. cation		
						K	Ca	Mg
						----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----		
Strawberry	2010	6.4b <sup>†</sup>	1.98b	27c	639c	0.99b	7.2c	2.4d
	2013	6.4b	2.02b	28b	640c	0.97b	8.3b	2.6bc
	2016	6.5a	2.48a	28b	691b	1.15a	8.3b	2.8a
	2019	6.5a	2.39a	29a	714a	1.16a	8.8a	2.7b
	Optimum range	6.0 - 6.5	≤1.20	20 - 30	350 - 450	0.70 - 0.80	5.0 - 8.0	1.5 - 2.0
Watermelon	2010	6.2d	2.88b	24cd	510c	0.88d	7.3d	3.0d
	2013	6.2c	2.54c	24d	529c	0.93c	7.8c	3.1c
	2016	6.3b	3.40a	25b	595ab	0.98b	8.6b	3.2b
	2019	6.4a	3.39a	25bc	575b	1.11a	8.8a	3.3a
	Optimum range	6.0 - 6.5	≤2.00	20 - 30	350 - 450	0.70 - 0.80	7.0 - 8.0	1.5 - 2.0
Tomato	2010	6.6ab	3.54c	32a	730d	1.26c	9.3d	3.6b
	2013	6.5b	3.43c	29c	770c	1.37b	9.9c	3.7b
	2016	6.5ab	4.02b	31b	879a	1.54a	10.5b	3.7b
	2019	6.6a	4.69a	30b	814b	1.58a	11.4a	3.9a
	Optimum range	6.0 - 6.5	≤2.00	20 - 30	350 - 450	0.70 - 0.80	7.0 - 8.0	1.5 - 2.0

<sup>†</sup>DMRT  $p < 0.05$

유기물 함량은 딸기 재배지에서 2017년 27 g kg<sup>-1</sup>에서 2019년 29 g kg<sup>-1</sup>이었고, 수박에서 2010년 24 g kg<sup>-1</sup>에서 2016년과 2019년에 25 g kg<sup>-1</sup>로 약간 증가하는 경향이였으며, 토마토에서 2010년에 32 g kg<sup>-1</sup>에서 2019년 30 g kg<sup>-1</sup>으로 변화하였다. 이처럼 유기물 함량이 증가하는 이유는 가축분퇴비의 투입량에 기인한다고 판단된다. 농촌진흥청의 농가경영소득조사 자료 (RDA, 2011, 2014, 2017, 2020)로부터 가축분퇴비의 투입량을 살펴보면, 토마토 재배지는 3,133 - 3,550 kg 10a<sup>-1</sup>, 딸기 재배지에서 1,898 kg 10a<sup>-1</sup>, 수박 재배지에서 1,991 - 2,907 kg 10a<sup>-1</sup>로 토마토재배지에서 가장 많았고, 시설수박 재배지에서 투입량이 토마토재배지보다 적은 것으로 나타났다.

유효인산은 딸기에서 2010년에 606 mg kg<sup>-1</sup>에서 2019년에 714 mg kg<sup>-1</sup>으로 증가하였고, 수박과 토마토 재배지에서 2010년에 각각 598 mg kg<sup>-1</sup>, 730 mg kg<sup>-1</sup>에서 2016년에 595 mg kg<sup>-1</sup>, 879 mg kg<sup>-1</sup>로 상승하였으며, 2019년에 577 mg kg<sup>-1</sup>, 814 mg kg<sup>-1</sup>로 약간 낮아지는 경향이였다. 이들은 농촌진흥청에서 추천하는 작물별 적정범위 (350 - 450 mg kg<sup>-1</sup>)보다 1.3 - 1.8배 높은 수치이며, 토마토 > 딸기 > 수박의 순서로 유효인산 함량이 높게 나타났다. 교환성칼륨 함량은 유기물함량과 유사한 경향으로 변화하였고, 2019년에 토마토재배지에서 1.58 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>로 가장 높았고, 수박재배지에서 1.12 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>으로 가장 낮았다. Kong et al. (2018)과 Choi et al. (2010b)에 따르면, 유기물 함량은 유효인산과 교환성 칼륨과 상관이 높게 나타났으며, 이것은 유기물, 인산, 칼륨 성분이 포함된 가축분퇴비가 시설토양으로 많이 공급되었기 때문이라고 발표한 내용과 동일한 원인이라고 추정된다.

**시설 딸기, 수박, 토마토 재배지의 토양 화학성 분포율** 토양의 전기전도도, 유기물, 유효인산의 적정 및 과부족율은 Fig. 1과 같다. 전기전도도는 딸기 재배지에서 적정기준(1.20 dS m<sup>-1</sup>이하)을 초과한 과다 비율은 2010년

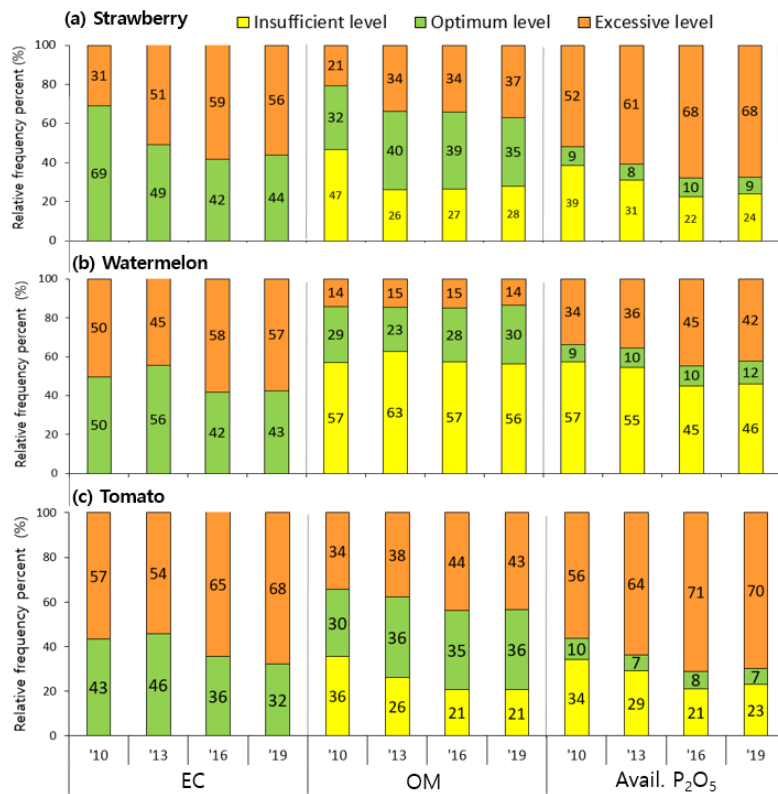


Fig. 1. Relative distribution of EC, OM, and Avail. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> concentration of plastic film house soils from 2010 to 2019. (a) strawberry, (b) watermelon, and (c) tomato.

31%, 2013년 51%, 2019년 56%로 증가하였고, 수박 재배지에서는 2010년 50%, 2019년 57%로 상승하였으며, 토마토 재배지에서는 2010년 57%, 2019년 68%로 염류가 집적된 토양 비율이 지속적으로 증가하는 추세에 있었다.

토양유기물 함량에 있어서, 딸기재배지 대상 적정기준 ( $20 - 30 \text{ g kg}^{-1}$ ) 미만인 비율은 2010년 47%, 2013년 26%, 2019년에 28%로 줄어들고 있었고, 과다 비율은 대조적으로 2010년 21%, 2013년 34%, 2019년 37%로 증가하고 있었다. 수박 재배지에서 적정기준 미만인 비율은 2010년 57%, 2013년 63%, 2019년에 56%로 나타났고, 과다 비율은 2010년 14%, 2013년 15%, 2019년 14%로 14 - 15%를 유지하였다. 토마토 재배지에서 적정기준 미만인 비율은 2010년 36%, 2016년 21%, 2019년 21%였고, 과다 비율은 2010년 65%, 2016년 67%, 2019년 72%로 증가하는 추세에 있었다.

유효인산 함량은 딸기 재배지에서 적정기준 ( $350 - 450 \text{ mg kg}^{-1}$ ) 미만인 비율은 2010년 39%에서 2016년 22%, 2019년 24%로 감소한 반면, 과다 비율은 2010년 52%에서 2016년에 68%로 증가한 이후에 2019년까지 일정하게 유지되었다. 수박 재배지에서 적정기준 미만인 비율은 2010년 57%에서 2016년 45%로 감소한 반면, 과다 비율은 2010년 34%에서 2016년 45%로 크게 증가하였다. 토마토 재배지에서 적정기준 미만인 비율은 2010년 34%에서 2013년 21%로 감소한 반면, 과다 비율은 2010년 56%에서 2016년 71%로 증가하였다. 딸기, 수박, 토마토 재배지에 공통적으로 인산집적이 심화되고 있는 상황이었다. 무기질의 인산질 비료 사용량은 감소하고 있는데, 딸기, 토마토 재배지의 인산질 비료는 지속적으로 증가하고 있다. 이것은 무기질 인산 비료는 2010년부터 2019년까지 딸기, 수박, 토마토 재배지에서  $1.7 - 2.3 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$  정도 감소하였는데, 토양중의 유효인산의 과다비율은 계속 증가하고 있으므로, 가축분 퇴비 투입에서 기인한다고 판단된다.

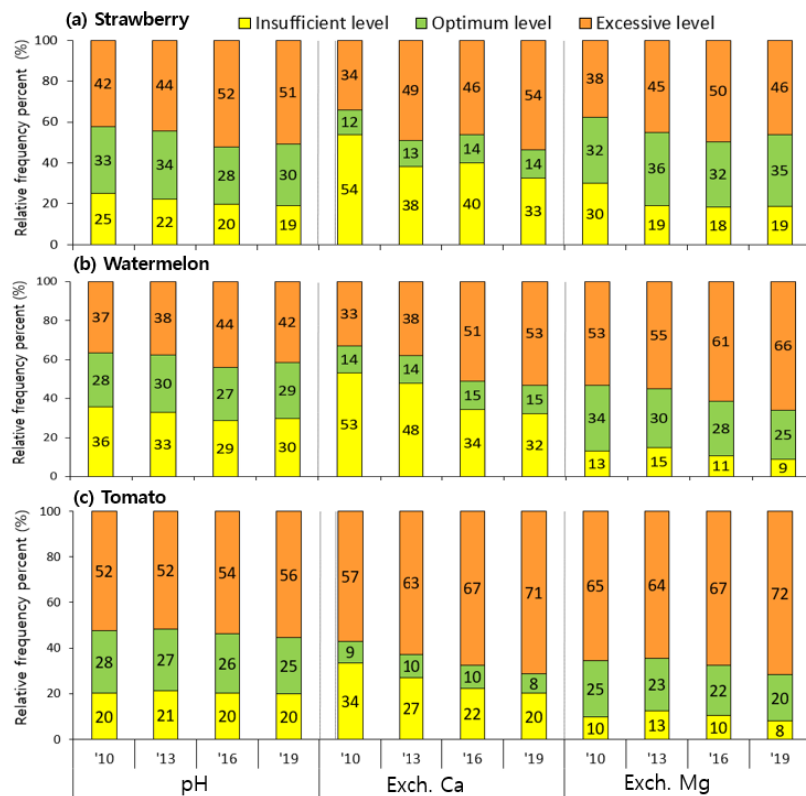


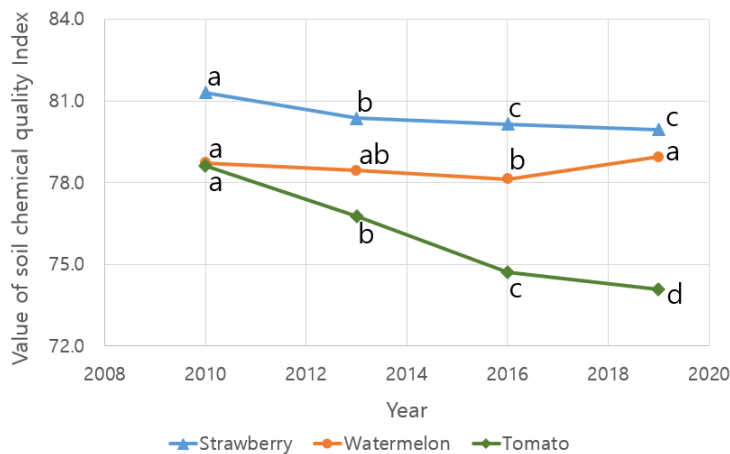
Fig. 2. Relative frequency distribution of pH, Exch. Ca, and Exch. Mg concentration of soils cultivated strawberry, watermelon, and tomato under plastic film house.

토양 pH의 경우, 딸기 재배지에서 적정기준 (6.0 - 6.5) 미만인 비율은 2010년에 25%에서 2019년에 19%로 감소한 반면, 적정기준을 초과한 비율은 2010년 42%에서 2019년 51% 크게 증가하였다. 수박재배지에서 적정기준을 초과한 비율은 2010년 37%에서 2019년 42%로 증가하였고, 토마토 재배지는 2010년 52%에서 2019년 56%로 약간 상승하였다. 교환성 칼슘 함량의 경우, 딸기와 수박 재배지에서 적정기준 (5.0 - 8.0) 미만인 비율은 2010년에 53 - 54%에서 2019년에 32 - 33%로 감소한 반면, 과다 비율은 2010년 33 - 34%에서 2019년 53 - 54%로 증가하였다 (Fig. 2). 토마토 재배지에서도 적정기준 (7.0 - 8.0) 미만인 비율은 2010년에 34%에서 2019년에 27%로 감소한 반면, 과다 비율은 2010년 57%에서 2019년 71%로 큰 폭으로 증가하였다. 이러한 딸기, 수박, 토마토 재배지의 pH는 절반 이상이 과다비율로 편중화되고, 교환성 양이온은 이들 이온간에 불균형 현상이 심해지는 경향을 나타내므로, 토양분석을 통해 pH가 적정기준을 초과하는 농경지에 석회질 비료의 투입을 조절하는 것이 더욱 중요하게 되었다.

교환성 마그네슘 함량의 경우, 딸기 재배지에서 적정기준 ( $1.5 - 2.0 \text{ cmolc kg}^{-1}$ )보다 과다한 비율은 2010년 38%에서 2013년 45%로 증가 후 2019년에 46%를 유지하였다. 수박재배지에서 과다 비율은 2010년 53%에서 2019년 66%로 크게 증가하였고, 토마토재배지도 2010년 65%에서 2019년 72%로 크게 증가하는 추세에 있었다. 특히 토마토 재배지에서 과다비율이 가장 높게 나타났으며, 토양을 건전하게 관리하기 위해 토양 분석에 근거하여 교환성 마그네슘 함량이 높은 토마토 재배지는 고도 비료를 투입하지 않도록 조절하는 것이 필요하겠다.

**시설 딸기, 수박, 토마토 재배지의 토양 질 평가** Fig. 3는 연도별로 시설작물의 토양 질 지수 (%)의 변화를 비교한 것이다. 토양 질 지수를 2010년부터 2019년까지 작물별로 비교했을 때, 딸기 재배지에서 가장 높은 값이었고, 그 다음은 수박 재배지였으며, 토마토 재배지에서 가장 낮게 나타났다. 연도별로 비교하였을 때, 딸기 재배지에서 2010년 81, 2019년 80으로 감소하였다. 수박 재배지에서 2010년 79, 2013 - 2016년 78로 약간 낮아지는 경향이었는데 2019년 다시 79로 약간 상승하였다. 토마토 재배지에서도 2010년에 수박과 유사하게 79였고, 2013년 77, 2016년 75, 2019년 74까지 감소하였으며, 3개 작물 중에서 토마토가 토양화학성 질 지수가 가장 크게 감소하는 것으로 나타났다.

2010년부터 2019년까지 토양화학성 질의 세부지표들의 변동은 Table 4와 같다. 시설딸기 재배지의 토양화학성 질 지수가 하락하는데 영향을 준 세부지표들은 유효인산이 가장 컸고, 다음은 전기전도도로 나타났다. 구체적으로 살펴



**Fig. 3.** Changes of soil quality indicators of plastic film house soils cultivated strawberry, watermelon, and tomato from 2010 to 2019.

**Table 4.** Degree of contribution of soil indicators to strawberry, watermelon, and tomato-grown plastic film houses from 2010 to 2019.

Crop	Year	Soil chemical Indicator				
		pH	EC	SOM	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. K
		----- % -----				
Strawberry	2010	91a <sup>†</sup>	88a	86a	63a	79a
	2013	90ab	88a	87a	60b	78b
	2016	91a	83c	86a	60b	80a
	2019	91a	85b	86a	58c	80a
Watermelon	2010	86b	80b	82b	68ab	77c
	2013	87ab	83a	80c	67bc	75d
	2016	88a	75c	83a	66c	78bc
	2019	88a	76c	83a	69a	80a
Tomato	2010	89a	75a	90a	60a	79a
	2013	89a	75a	87b	57b	76b
	2016	89a	70b	89a	52c	73c
	2019	87b	66c	90a	53c	74c

<sup>†</sup>DMRT  $p < 0.05$

보면, 유효인산의 질 지수는 2010년에 63에서 2019년에 58로, 전기전도도도 2010년에 88에서 2019년에 85로 감소하였다. 이에 비해 pH, 유기물, 교환성 칼륨의 질 지수는 크게 변하지 않았다. 시설수박 재배지의 토양화학성 질 지수도 2010년부터 2016년까지 감소하였지만, 그 이후부터 2019년에는 다시 상승하였다. 토양화학성 질 지수가 2010년부터 2016년까지 감소하는데 영향을 크게 준 세부지표들은 전기전도도와 유효인산이었고, 2019년에 다시 상승하는데 기여한 세부지표들은 유효인산과 교환성 칼륨으로 나타났다. 이처럼 수박재배지에서 토양화학성 질 지수가 등락을 나타내는 이유는 농업인들이 수박만을 재배하는 것보다 돌려짓기로 수박재배 후에 벼를 재배 (Yoon et al., 2015) 하거나 다른 작물로 재배하는 작기형태로 운영하기 때문이라고 추정한다. 농촌진흥청의 농가경영소득조사 자료 (RDA, 2020)로부터 계산할 결과, 수박 단작과 돌려짓기의 면적비율은 각각 70% (수박+벼 39%, 수박+타작물 31%), 30%로 돌려짓기의 면적비율이 높은데서 알 수 있다고 판단된다. 시설토마토 재배지의 토양화학성 질 지수는 급속하게 감소하였는데, 전기전도도 > 유효인산 > 교환성 칼륨 > pH의 순서로 영향을 주었고, 시설딸기와 수박보다 더 많은 세부지표들이 질 지수에 영향을 주었다.

## Conclusions

시설재배 면적이 많은 딸기, 수박, 토마토를 대상으로 토양의 화학적 특성과 토양질을 평가하고자 2010년부터 2019년까지 흙토람 시스템에 입력된 토양검정 자료를 이용하여 분석하였다. pH, 유기물 함량의 평균값은 딸기, 수박, 토마토 재배지의 적정기준을 유지하는 경향을 보였고, 전기전도도, 유효인산, 교환성양이온 (칼륨, 칼슘, 마그네슘) 함량은 딸기재배지에서 1.1 - 1.2배, 수박과 토마토재배지에서 1.1 - 1.3배로 증가하였다. 2019년 시설딸기와 토마토 재배지에서 토양 유기물은 50% 이상의 농경지가 적정 범위 이상이었으며, 교환성 칼슘 및 마그네슘 함량이 높은 농경지 비율이 증가하고 있었다. 그리고, 토양 질은 딸기 > 수박 > 토마토의 순서로 토마토재배지가 가장 낮았고, 2019년



까지 가장 급격하게 떨어졌다. 시설토양 환경을 개선하기 위해 집적된 양분을 감소시킬 수 있도록 벧짚투입, 흙비 및 녹비작물 재배, 킬레이트제 및 미생물제 투입, 심토반전 및 심경 등의 토양관리의 종합적인 기술을 사용하고, 토양검정 결과에 따라 적정량의 토양개량제가 공급되어야 시설 작물 수량의 안정적인 확보가 가능할 것으로 판단된다.

## Acknowledgement

This study was conducted by support of National Institute of Agricultural Sciences (NAS) research and development project (project number: PJ012152012020).

## References

- Ahn, B.K., Y.H. Lee, and J.H. Lee, 2010. Fertilizer management practices with rice straw application for improving soil quality in watermelon monoculture greenhouse plots. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(1):75-82.
- Bennett, W.F. 1993. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota:APS Press, USA. pp. 123-137.
- Cho, H.J., D. Son, S.L. Choi, Y.H. Lee, J.G. Lee, and J.Y. Heo. 2018. Changes in chemical properties of greenhouse soils collected from Gyeongnam province between 2000 and 2016. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51(3):265-273.
- 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 green house in Chungnam Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(2):153-159.
- Chung, J.B., B.J. Kim, K.S. Ryu, S.H. Lee, H.J. Shin, T.K. Hwang, H.Y. Choi, Y.W. Lee, Y.J. Lee, and J.J. Kim. 2006. Distribution of micronutrients in plastic film house soils of Yeongnam Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39(4):214-223.
- FAO (Food Association Organization). 2000. <http://www.fao.org/3/y4263e/y4263e0e.htm>.
- Jun, H.S., W.C. Park, and J.S. Jung. 2002. Effects of soil addition and subsoil plowing on the change of soil chemical properties and the reduction of root-knot nematode in continuous cropping field of oriental melon (*Cucumis melo* L.). *Korean J. Environ. Agric.* 21(1):1-6.
- Kang, B.G., S.Y. Lee, S.C. Lim, Y.S. Kim, S.D. Hong, K.Y. Chung, and D.Y. Chung. 2011. Establishment of application level for the proper use of organic materials as the carbonaceous amendments in the greenhouse soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(2):248-255.
- Kim, M.S. Y.H. Kim, S.S. Kang, M.S. Kong, B.K. Hyun, and C.H. Lee. 2013. Effects of a chelate (DTPA) on cucumber growth and soil chemical properties in nutrient-accumulated soil of polytunnel greenhouse. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 46(6):665-672.
- Kim, S.H., H.Y. Hwang, M.S. Kim, S.J. Park, J.H. Shim, and Y.H. Lee. 2020. Assessment of fertilizer usage by food crops at the national level. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 53(2), 231-236.
- 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.
- Kong, M.S., Y.H. Kim, D.J. Kim, S.S. Kang, E.J. Lee, G.B. Jung, and H.I. Jung. 2018. Agricultural soil management practices by assessing the soil chemical properties of plastic film houses in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.*

48(6):588-592.

KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2020. <http://kosis.kr/index>.

Lee, C.K., K.W. Seo, G.J. Lee, S.U. Choi, B.K. Ahn, M.S. Ahn, D.S. Seo, and S.I. Yoon. 2019. Nutrient uptake and growth of watermelons in DTPA-treated saline soil in a plastic film greenhouse. *Korean J. Hort. Sci. & Tech.* 37(1):32-41.

Lee, Y.H., B.K. Ahn, and Y.K. Sonn. 2011. Effects of electrical conductivity on the soil microbial community in a controlled horticultural land for strawberry cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(5):830-835.

Lee, Y.H., M.S. Yang, and H.D. Yun. 1996. Effect of plant-growth-promoting-bacteria inoculation on the growth and yield of red pepper (*Capsicum annuum* L.) with different soil electrical conductivity level. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 29:396-402.

Lim, J.E., S.K. Ha, Y.J. Lee, H.J. Yun, M.J. Cho, D.B. Lee, and J.K. Sung. 2015. Effects of reduced additional fertilizer on tomato yield and nutrient contents in salt accumulated soil. *CNU Journal of Agricultural Science.* 42(4):423-429.

NAAS (National Academy of Agricultural Science). 2010. Methods of soil chemical analysis. Rural Development Administration (RDA), Suwon, Korea.

NAS (National Academy of Agricultural Science). 2019. Fertilizer Recommendation for crops. NAS, RDA, Jeonju, Korea.

Oh, S.E., J.S. Son, Y.S. Ok, and J.H. Joo. 2010. A modified methodology of salt removal through flooding and drainage in a plastic film house soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(5):443-449.

RDA (Rural Development Administration). 1989. Soil improvement project for 10 years. RDA, Suwon, Korea.

RDA (Rural Development Administration). 2011. Income of agricultural and livestock. RDA, Suwon, Korea.

RDA (Rural Development Administration). 2012. Analysis standard for research in agricultural science and technology. RDA, Suwon, Korea.

RDA (Rural Development Administration). 2014. Income of agricultural and livestock. RDA, Jeonju, Korea.

RDA (Rural Development Administration). 2017. Income of agricultural and livestock. RDA, Jeonju, Korea.

RDA (Rural Development Administration). 2018a. Strawberry-an guide to agricultural technology 040, 7th ed., RDA, Jeonju, Korea.

RDA (Rural Development Administration). 2018b. Watermelon-an guide to agricultural technology 104, 3rd ed., RDA, Jeonju, Korea.

RDA (Rural Development Administration). 2019a. Soil management technology of agricultural land. RDA, Jeonju, Korea.

RDA (Rural Development Administration). 2019b. Tomato-an guide to agricultural technology 106, 8th ed., RDA, Jeonju, Korea.

RDA (Rural Development Administration). 2020. Income of agricultural and livestock. RDA, Jeonju, Korea.

Seong, H. 2019. Changes in chemical properties of greenhouse soils collected from Ganghwa. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 52(3):192-198.

Yoon, J.H. 2004. Review and discussion on development of soil quality indicators. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37(6): 192-198.

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.