

## 충남지역 시설 딸기재배 토양 비옥도 특성

최문태 · 이진일 · 윤여욱 · 이종은 · 이봉춘 · 양익석 · 이영한<sup>1\*</sup>

충청남도농업기술원, <sup>1</sup>경상남도농업기술원

### Characteristics of Fertility on Strawberry Cultivated Soil of Plastic Film House in Chungnam Province in Korea

Moon-Tae Choi, Jin-Il Lee, Yeo-Uk Yun, Jong-Eun Lee, Bong-Chun Lee, Euy-Seog Yang, and Young-Han Lee<sup>1\*</sup>

Chungcheongnam-do Agricultural Research and Extension Services, Yesan 340-861, Korea.

<sup>1</sup>Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-370, Korea.

To reduce the dose of fertilizers is very important to sustainable production of many horticultural crops, including strawberry. In order to practice the environment friendly agriculture of strawberry cultivation in plastic film house, soil chemical properties of 435 soil samples (232 for loam, 83 for sandy loam, and 120 for silt loam) in Chungnam Province from 2008 to 2009 were determined. The average of pH, EC, OM, Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Ex. K<sup>+</sup>, Ex. Ca<sup>2+</sup>, Ex. Mg<sup>2+</sup>, and Ex. Na<sup>+</sup> was 6.5, 2.28 dS m<sup>-1</sup>, 26 g kg<sup>-1</sup>, 910 mg kg<sup>-1</sup>, 1.09 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 8.3 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 2.5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, and 0.58 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, respectively. The content of Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in sandy loam soil was significantly higher than silt loam soil, whereas other properties showed no difference between soil texture. The kinds of strawberry cultivars showed no difference in soil chemical properties. The frequency distribution within optimum range of soil chemical properties was 30.6%, 35.4%, 37.0%, 5.3%, 8.5%, 8.5%, and 17.9% for pH, EC, OM, Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Ex. K<sup>+</sup>, Ex. Ca<sup>2+</sup>, and Ex. Mg<sup>2+</sup>, respectively. Especially, excessive portion of Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, and Ex. Ca<sup>2+</sup> were high 86.9%, and 86.0%, respectively. EC values of soil samples were significantly positive correlatoin with all chemical properties except soil pH. In principle component analysis of chemical properties in soil samples, the percentage of variance explained by PC 1 was 38.8%, while PC 2 explained 17.8% of the variance, for a cumulative total of 56.6%. These results were able to distinguish between soil textures and strawberry cultivars. Also, these results considered that understanding of soil chemical properties under using principal component analysis be able to improve amounts of fertilizers for sustainable agriculture in plastic film house.

**Key words:** Strawberry, Chemical property, Soil texture, Principal component

## 서 언

딸기는 장미과의 영년생 작물로서 18세기 네덜란드에서 육성되었으며 국내에 도입된 기록은 1917년 Docter Moral, Largest of All, Royal Sovereign이 처음이다 (Lee, 1994). 1940년대 '대학1호'라는 Victoria 변이품종을 최초로 선발한 이후 재배면적이 늘어나 충남지역 시설 딸기 재배면적은 1,705 ha로서 전국 생산면적의 27.9%로 경남에 이어 2위를 차지하고 있다 (RDA, 2009). 원예작물의 지속적인 생산을 위해서는 비료 사용량을 줄

이는 것이 매우 중요한 과제이다 (Tagliavini et al., 1996). 그러나 충남지역 시설재배지는 과다시비 및 연작에 의한 유효 인산 및 치환성 칼륨, 마그네슘 등 염류 집적이 작물 생육부진과 수량감소의 원인이 되고 있으며, 그 중 시설채소와 시설딸기 재배지 토양의 50% 이상이 염류집적이 심화된 것으로 조사되었다 (NIAST, 2005; NIAST, 2009). Park et al. (1994)은 시설 재배지 퇴비 사용량은 ha당 40-89 톤이라고 발표하였으며, Jo and Koh (2004)도 퇴비 등의 부산물 비료의 과다사용으로 토양의 유기물이 54.8%, 유효인산 79.9%, 교환성 칼륨 70.6%, 교환성 칼슘 52.4%, 교환성 마그네슘 53.2%가 적정수준을 초과하는 것으로 보고하였다. 딸기 표준시비량은 토양의 염류집적을 심화시킨다고 보고하였다 (Jung et al., 2005). 바닷물이 유입된 관개용수를

접수 : 2010. 3. 29 수리 : 2010. 4. 13

\*연락처 : Phone: +82557716413

E-mail: lyh2011@korea.kr

사용하는 특수지역의 경우에도 나트륨 축적에 의한 토양 염류의 증가로 작물 수량이 감소하였다고 보고되었다 (Lee et al., 2009). 이러한 염류를 경감하기 위하여 유기물 시용 (Cho et al., 2006), 관개방법 개선 (Cho et al., 2006; Chung et al., 2008), 미생물 이용 (Lee et al., 1996; Lee et al., 1997) 등이 있으나 가장 근본적인 해결책은 토양검정에 의한 시비 추천량을 준수하는 것이 중요하다.

본 연구는 지속농업을 위한 시설딸기 특화작목 재배지 토양 화학성을 조사하여 토양 비옥도 현황을 파악하고 토성과 딸기 품종이 토양 화학성에 미치는 영향을 평가함으로써 적정 시비처방을 위한 기초자료를 얻기 위하여 수행하였다.

### 재료 및 방법

**토양 시료채취 및 분석** 지역특화작목 재배지 토양 화학성 분석을 위하여 충남의 대표적 소득작목인 시설 딸기를 대상으로 2008년에서 2009년까지 2개년에 걸쳐 주산지인 논산, 공주, 부여, 홍성 지역의 435농가를 선정하였다. 토양시료는 수확 후기인 3월에서 4월까지 표토를 0-15 cm 깊이에서 600 g 정도를 3반복으로 채취하였다. 채취한 토양은 실험실에서 7일간 건조하여 2 mm 체를 통과된 것을 화학성 분석에 사용하였다. 화학성 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)을 적용하여 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. 교환성  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  등의 양이온은 1M  $NH_4OAc$ 로 추출하여 ICP (Varian 730-ES, Varian Inc., Palo AHO, USA)로 분석하였다.

**통계분석** 분석된 토양 화학성은 SAS 프로그램 9.1.3 버전 (2006)을 사용하여 통계처리 하였다. 토성 및 품종에 따른 토양 화학성분은 5% 수준에서 Tukey's Studentized Range Test를 하였으며 토양 화학성분의 주성분 분석을 통하여 토양 비옥도의 특성을 비교 검토하였다.

### 결과 및 고찰

**딸기 재배 토양 화학성** 토양 화학성의 전체 평균을 보면, pH 외의 모든 화학성들 (EC, Av.  $P_2O_5$  및 교환성 양이온들)이 적정 비옥도 수준을 상회하는 것으로 나타났다 (Table 1). 토성에 따른 토양토성별 토양 화학성 차이에 있어서, 통계적으로 유의성이 있는 차이를 보인 것은 pH와 Av.  $P_2O_5$  뿐이었다. 유효인산 함량은 사양토가  $1,057 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 미사질양토  $761 \text{ mg kg}^{-1}$ 보다 통계적으로 유의성이 있게 높았다. 이 결과는 토양의 도래 함량이 많은 경우 토양 물리성을 개량하기 위해 유기물이나 퇴비 시용량이 많아져 토양의 유효인산 함량도 높아진 것으로 판단되었으며 Jung et al. (1994)이 보고한 결과와 일치하였다. 딸기 품종에 따른 토양 화

**Table 1. Chemical properties of strawberry cultivated soil from different soil textures.**

Soil textures	Statistical values	pH	EC	OM	Av. $P_2O_5$	K	Ca	Mg	Na	Number of sample
		1:5	$dS \text{ m}^{-1}$	$g \text{ kg}^{-1}$	$mg \text{ kg}^{-1}$	-----	Ex. cations ( $cmol_c \text{ kg}^{-1}$ ) -----			
Loam	Mean	6.6a <sup>†</sup>	2.26a	26a	935ab	1.10a	8.3a	2.5ab	0.56a	232
	Min	4.0	0.21	6	154	0.19	2.6	0.8	0.10	
	Max	7.9	10.94	81	2,629	3.35	23.4	6.0	1.84	
Sandy loam	Mean	6.3b	2.03a	27a	1,057a	1.10a	8.2a	2.26b	0.56a	83
	Min	4.4	0.31	6	124	0.38	4.3	0.9	0.21	
	Max	7.6	5.72	62	2,696	3.49	15.4	4.7	1.95	
Silt loam	Mean	6.5ab	2.49a	24a	761c	1.06a	8.3a	2.76a	0.63a	120
	Min	5.1	0.38	7	68	0.22	3.1	0.8	0.15	
	Max	7.6	7.09	65	2,634	3.78	15.9	7.2	1.95	
Total	Mean	6.5	2.28	26	910	1.09	8.3	2.5	0.58	
Optimum level <sup>‡</sup>		6.0-6.5	<1.2	20-30	350-450	0.7-0.8	5.0-6.0	1.5-2.0	-	

<sup>†</sup> Values within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Tukey's studentized range test.

<sup>‡</sup> NIAST (2006): Fertilizer recommendation for crops.

학성은 매향 재배지의 EC외에는 모든 성분이 통계적으로 유의성이 있는 차이를 나타내지 않았다 (Table 2).

**토양 양분 과부족율** 딸기 재배에 필요한 토양 양분의 과부족율은 Fig. 1과 같다. 토양 pH는 적정수준 6.0에서 6.5까지 인데 딸기 재배 토양의 적정수준 비율은 30.6%인 반면 초과된 비율은 53.8%로 매우 높았다. 유기물 함량은 적정수준 20에서 30 g kg<sup>-1</sup>인 비율이 37.0%로 가장 많았으나 초과된 비율이 31.7%, 부족한 비율이 31.3%로 나타났다. Arancon et al. (2006)은 적정한 유기물 사용은 딸기의 엽면적 37%, 지상부 생체량 37%, 꽃의 수 40%, 런너의 수 36%, 과중은 35% 증대되는 효과와 토양의 미생물의 유의적인 증가를 기대할 수 있다고 하였다. 따라서 딸기 재배지의 불균형된 유기물 함량을 적정수준으로 관리하는 것이 무엇보다 시급

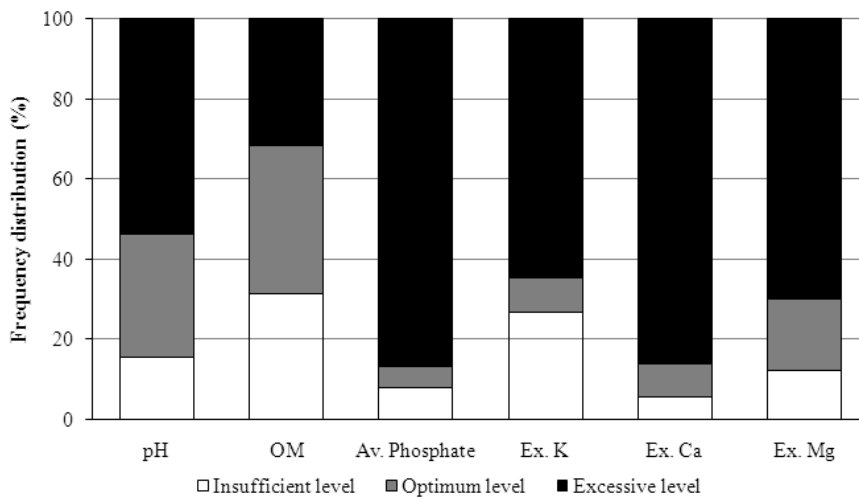
한 것으로 생각되었다. 유효인산 함량은 적정수준인 350에서 450 mg kg<sup>-1</sup> (NIAST, 2006b) 비율은 불과 5.3%이었으며 86.9%가 초과되어 심각한 양분 불균형 현상을 나타냈다. 이러한 결과는 Tagliavini et al. (2005)이 보고한 바와 같이 ha당 인산흡수량이 12-17 kg으로 시비효율이 낮고, Park et al. (1994)이 보고한 바와 같이 과량시비에 기인한 것으로 판단되었으며, 최근에는 친환경 농업과 유기농업에 대한 관심이 고조되면서 인산 함량이 높은 축분퇴비 등을 과량 사용한 결과로 생각되었다 (Kim and Yoo, 1999). 실제 NIAST (2009)의 보고서에 따르면 전국 시설재배지 1,334개소의 토양 유효인산 함량 초과비율이 80.8%로 매우 높았다. 토양에서 유효인산 함량이 증가되면 양분 불균형으로 품질이 떨어지게 된다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 인산 성분이 적은 유기물과 토양 검정에 의한 인산시비가 필

**Table 2. Chemical properties of soil from different three strawberry cultivars.**

Cultivars	Statistical values	pH	EC	OM	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K	Ca	Mg	Na	Number of sample
		1:5	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	-----	Ex. cations (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) -----			
Maehyang	Mean	6.5a <sup>†</sup>	3.73a	27a	1,191a	0.94a	6.2a	2.4a	0.46a	6
	Min	5.7	1.62	18	688	0.23	4.2	1.1	0.21	
	Max	7.2	5.80	34	2,012	1.52	8.5	3.4	0.75	
Seolhyang	Mean	6.6a	2.39b	25a	921a	1.12a	8.4a	2.6a	0.61a	230
	Min	4.0	0.31	6	68	0.19	3.1	0.8	0.10	
	Max	7.9	7.25	81	2,696	3.78	15.9	7.2	1.95	
Redpearl	Mean	6.5a	2.11b	27a	898a	1.06a	8.3a	2.5a	0.56a	179
	Min	4.4	0.31	6	68	0.19	3.1	0.8	0.10	
	Max	7.6	7.25	81	2,696	3.78	15.9	7.2	1.95	
Optimum level <sup>‡</sup>		6.0-6.5	<1.2	20-30	350-450	0.7-0.8	5.0-6.0	1.5-2.0	-	

<sup>†</sup> Values within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Tukey's studentized range test.

<sup>‡</sup> NIAST (2006): Fertilizer recommendation for crops.



**Fig. 1. Frequency distribution of chemical properties in strawberry cultivated soils (n=435).**

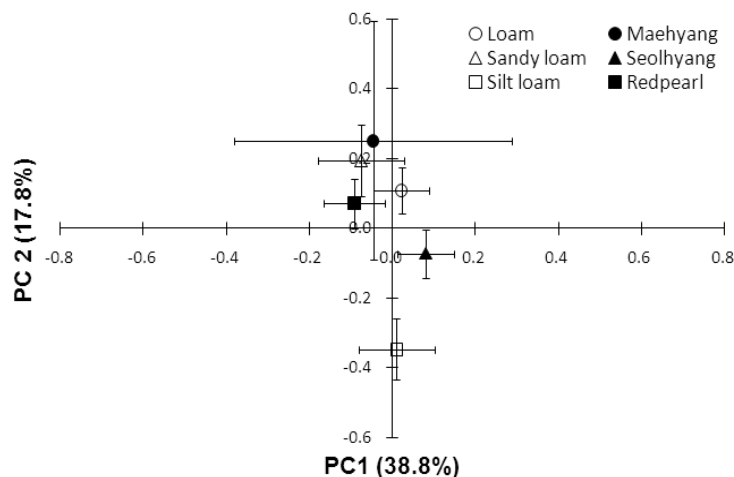
요하며 특히 토양 검정에 의한 최소시비량  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  을 고수하는 것 (NIAST, 2006b) 보다 무시용을 고려할 필요가 있다. 치환성 칼륨 함량의 적정수준인 0.7에서  $0.8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 인 비율은 8.5%인 반면 초과비율은 64.6%로 높게 나타났으며, 이러한 경향은 교환성 칼슘과 마그네슘에서도 비슷한 경향을 보였다. 특히 교환성 칼슘 함량의 초과비율은 86.0%로 매우 높게 나타났으며 NIAST (2009)가 시설재배지 토양의 교환성 칼슘 함량이 1996년 52.4%, 2000년 53.4%, 2004년 62.9%, 2008년 88.2%로 지속적으로 증가한다고 보고한 결과와 일치하였다. 이러한 결과는 강우에 차단된 시설재배지의 특성과 무상 석회비료는 의무 사용해야 하는 것은 아니라고 인식하고는 있으나 토양의 산도가 7이상이라도 석회를 사용해야 한다는 농가의식에 기인된 것으로 생각되었다 (NIAST, 2006a). 따라서 토양 교환성 칼슘 함량을 적정하게 관리하기 위해서는 석회소요량 분석을 통한 추천시비를 준수할 수 있도록 농민의식 교육이 시급한 것으로 나타났다. 따라서 토양 환경 보전과 수량증대라는 목적을 달성하기 위해서는 토양 검정을 통한 시비관리가 필수적이라고 생각된다.

**토양 화학성분간 상관관계 및 주성분 분석** 토양 화학성분간의 상관관계는 Table 3과 같다. 토양 pH는 유효인산, 교환성 양이온들 ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ )과 고도의 유의성있는 정의 상관을 나타낸 반면, EC와는 부의 상관을 나타냈다. 또한, EC는 pH를 제외한 모든 성분과 고도로 유의적인 정의 상관을 보였다. pH와 EC 간에 부의 상관을 보인 이유는 Ca 염들의 침전 때문인 것으로 생각되었다. 또한, Table 1에서 토양 pH의 평균값이 6.5이고 최대값이 7.9까지 나타난 점과 교환성  $\text{Ca}^{2+}$  함량이 양토에서 최대  $23 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 을 보인 점을 고려할 때, 음이온 분석은 하지 않았으나 용해도가 큰 Ca ( $\text{HCO}_3$ )<sub>2</sub>,  $\text{CaCO}_3$  및  $\text{CaSO}_4$  등의 침전으로 용액 속에 녹아 있는 이온성 물질들만의 전기전도도가 측정되어 표시되는 EC의 특성상 pH와 부의상관을 나타낸 것으로 판단되었다. 유기물 함량은 유효인산, 교환성 양이온들 ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ )과 고도의 정의 상관을 보였다. 이러한 결과는 유기물의 공급원이 양분을 다량 함유한 축분퇴비 등을 농가에서 많이 사용한 때문인 것으로 판단되었다. 토양 화학성분의 주성분 분석결과는 Fig. 2와 같다. 각 화학성분 8가지의 주성분 분석으로 PC 1은 38.8%,

**Table 3. A correlation coefficient between chemical properties of strawberry cultivated soils ( $n=435$ ).**

Parameter	EC	OM	Av. $\text{P}_2\text{O}_5$	Ex. K	Ex. Ca	Ex. Mg	Ex. Na
PH	-0.104 <sup>†</sup>	0.083	0.198 <sup>**</sup>	0.182 <sup>**</sup>	0.358 <sup>**</sup>	0.127 <sup>**</sup>	0.046
EC		0.282 <sup>**</sup>	0.153 <sup>**</sup>	0.348 <sup>**</sup>	0.249 <sup>**</sup>	0.474 <sup>**</sup>	0.290 <sup>**</sup>
OM			0.418 <sup>**</sup>	0.314 <sup>**</sup>	0.275 <sup>**</sup>	0.282 <sup>**</sup>	-0.202 <sup>**</sup>
Av. $\text{P}_2\text{O}_5$				0.482 <sup>**</sup>	0.315 <sup>**</sup>	0.294 <sup>**</sup>	-0.035
Ex. K					0.525 <sup>**</sup>	0.653 <sup>**</sup>	0.420 <sup>**</sup>
Ex. Ca						0.509 <sup>**</sup>	0.208 <sup>**</sup>
Ex. Mg							0.425 <sup>**</sup>

<sup>†</sup> A significant values reported as <sup>\*\*</sup> $p \leq 0.01$ , and <sup>\*</sup> $p \leq 0.05$ .



**Fig. 2. Principal components analyses of chemical properties in strawberry cultivated soils. The variance explained by the each principal component (PC) axis is shown in parentheses. Bars present standard error.**

PC 2는 17.8%, PC 3는 14.5%를 나타냈으며 화학성분의 특성을 고려할 때, 본 연구에서는 PC 1과 PC 2까지만 선택하였고 합계 56.6%의 누적비율을 보였다. 토양 화학성분의 PC 1 주성분은 교환성  $K^+$  (0.483),  $Mg^{2+}$  (0.466), 및  $Ca^{2+}$  (0.411) 등 주로 교환성 양이온이 관련되었으며 PC 2는 유기물 (0.486), 유효인산 (0.425),  $Na^+$  (-0.628)이 관련되었다. 토성과 품종에 따른 주성분 분석결과 미사질양토는 사양토 및 양토와 구별되었고 설향 품종도 레드필과 뚜렷하게 구별되었다. 본 연구결과 딸기의 지속 가능한 농업을 위해서는 양분 불균형이 심화된 시설재배지의 토양 화학성을 이해하고 토양검정을 통한 시비량 조절이 매우 중요한 것으로 생각된다.

## 요 약

시설 딸기의 지속적인 생산을 위해서는 적정시비가 매우 중요하다. 시설 딸기 특화작목 재배지 토양진단을 통한 친환경농업 실현을 위해 2008년부터 2009년 까지 충남지역 435개소 농가의 토양 화학성을 조사하였다. 시설 재배지의 평균 화학성은 pH 6.5, EC 2.28 dS  $m^{-1}$ , 유기물 함량 26 g  $kg^{-1}$ , 유효인산 함량 910 mg  $kg^{-1}$ , 교환성  $K^+$  1.09,  $Ca^{2+}$  8.3,  $Mg^{2+}$  2.5 및  $Na^+$  0.58 cmol.  $kg^{-1}$ 을 나타냈다. 유효인산 함량은 사양토가 양토와 미사질양토 보다 통계적으로 유의성이 있게 높은 반면, 그 외의 토양 화학성은 토성간 큰 차이를 보이지 않았다. 품종이 달라짐에 따른 토양 화학성 차이는 통계적으로 인정되지 않았다. 토양 화학성분의 적정 수준 비율은 pH 30.6%, EC 35.4%, 유기물 37.0%, 유효인산 5.3%, 교환성  $K^+$  8.5%,  $Ca^{2+}$  8.5% 및  $Mg^{2+}$  17.9%를 나타냈다. 유효인산과 교환성  $Ca^{2+}$  함량의 초과비율은 각각 86.9%와 86.0%로 양분 불균형이 심각한 것으로 나타났다. 토양 EC 값은 pH를 제외한 유기물, 유효인산, 교환성  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  및  $Na^+$ 과 고도의 정의상관을 보였다. 화학성분의 주성분 분석결과 PC 1은 38.8%, PC 2는 17.8%를 보여 합계 56.6%로서 토성과 품종별 차이를 간단하게 구별할 수 있었다.

## 인 용 문 헌

- 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. *Bioresource Technol.* 97:831-840.
- Arancon, N.Q., C.A. Edwards, P. Bierman, C. Welch, and J.D. Metzger. 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: Part 1. Effects on growth and yields. *Bioresource Technol.* 93:145-153.
- Cho, K.R., C.S. Kang, T.J. Won, and K.Y. Park. 2006. Effects of compressed expansion rice hull application and drip irrigation on the alleviation of salt accumulation in the plastic film house soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39:372-379.
- Chung, B.Y., K.S. Lee, M.K. Kim, Y.H. Choi, M.K. Kim, and J.Y. Cho. 2008. Salt accumulation and desalinization of rainfall interception culture soils of *Rubus* sp. in gochang-gun, Jeollabuk-do. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 41:310-317.
- Jo, I.S., and M.H. Koh. 2004. Chemical changes in agricultural soils of Korea: data review and suggested countermeasures. *Environ. Geochem. Hlth.* 26:105-117.
- Jung, G.B., I.S. Ryu, and B.Y. Kim. 1994. Soil texture, electrical conductivity and chemical components of soils under the plastic film house cultivation in northern central areas of Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 27:33-39.
- Jung, S.K., J.M. Choi, and Y.B. Lee. 2005. Growth and yield of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Dutchesne) 'Nyoho' and salt accumulation in PE film house soil as affected by fertilization program. *J. Bio-Env. Cont.* 14:38-45.
- Kim, S.A., and S.H. Yoo. 1999. Growth of plant and changes in phosphorus availability in phosphorus accumulated soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 32:261-267.
- Lee, S.B., C.H. Lee, C.O. Hong, S.Y. Kim, Y.B. Lee, and P.J. Kim. 2009. Effect of organic residue incorporation on salt activity in greenhouse soil. *Korean J. Environ. Agric.* 28:397-402.
- Lee, S.B., C.O. Hong, J.H. Oh, J. Gutierrez, and P.J. Kim. 2008. Effect of irrigation water salinization on salt accumulation of plastic film house soil around Sumjin river estuary. *Korean J. Environ. Agric.* 27:349-355.
- 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.
- Lee, Y.H., W.S. Cho, J.G. Kim, H.S. Lee, S.R.I Park, and H.D. Yun. 1997. Effect of plant-growth-promoting bacteria inoculation on the growth and yield of cucumber (*Cucumis sativa* L.). *Korean J. Soil Sci. Fert.* 30:196-199.
- Lee, W.S. 1994. Vegetable in Korea. Kyungbuk University, Daegu, Korea.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Analytical methods of soil and plant. NIAST, Suwon, Korea.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2005. Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality in 2004. RDA,

- Suwon, Korea.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2006a. Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality in 2004. RDA, Suwon, Korea.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2006b. Fertilizer recommendation for crops. RDA, Suwon, Korea.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2009. Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality in 2008. 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. 27:238-246.
- RDA (Rural development administration). 2009. Farming textbook of Strawberry. RDA, Suwon, Korea.
- SAS. 2006. SAS 9.1.3 Version. SAS Inst., Cary, NC.
- Tagliavini, M., D. Scudellari, B. Marangoni, and M. Toselli. 1996. Nitrogen fertilization in orchards to reconcile productivity and environmental aspects. Fertil. Res. 43:93-102.
- 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. Europ. J. Agronomy 23:15-25.