

# 시설딸기재배지 토양에서 염류농도가 미생물 생태에 미치는 영향

이영한<sup>†</sup> · 안병규<sup>1†</sup> · 손연규<sup>2\*</sup>

경상남도농업기술원, <sup>1</sup>전라북도농업기술원, <sup>2</sup>국립농업과학원

## Effects of Electrical Conductivity on the Soil Microbial Community in a Controlled Horticultural Land for Strawberry Cultivation

Young-Han Lee<sup>†</sup>, Byung-Koo Ahn<sup>1†</sup>, and Yeon Kyu Sonn<sup>2\*</sup>

Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-370, Korea

<sup>1</sup>Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 570-704, Korea

<sup>2</sup>National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707

Total soil microbial activities have great impact to soil management for organic farming. This study was evaluated in the soil microbial community by fatty acid methyl ester (FAME) in a controlled horticultural field for strawberry organic farm. Experimental plots were prepared with a high level of soil electrical conductivity (EC) and a optimum level of soil EC. Soil microbial biomasses and communities of total bacteria, Gram-negative bacteria, Gram-positive bacteria, actinomycetes, fungi, and arbuscular mycorrhizal fungi in the high level of soil EC were significantly larger than those in the optimum level of soil EC. Lower ratios of cy17:0 to 16:1 $\omega$ 7c and cy19:0 to 18:1 $\omega$ 7c were found in the optimum level of soil EC than those in the high level of soil EC, indicating that microbial stress decreased.

**Key words:** Fatty acid methyl ester (FAME), Microbial community, Electrical conductivity

### 서 언

시설재배 원예작물의 안정적인 생산을 위해서는 토양 양분관리가 매우 중요한 과제이다 (Tagliavini et al., 1996). 그러나 시설재배지는 과다시비와 연작으로 유효 인산 및 치환성 칼륨 등의 양분집적과 미생물 생태계의 교란으로 작물 생육부진과 수량감소의 원인이 되고 있다 (Choi et al., 2010a; Choi et al., 2010b; NIAST, 2005; NIAST, 2009). Park et al. (1994)은 시설 재배지 퇴비 사용량은 ha당 40-89 Mg이라고 조사하였으며 Jo and Koh (2004)도 퇴비 등의 부산물 비료의 과다사용으로 토양의 유기물이 54.8%, 유효인산 79.9%, 치환성 칼륨 70.6%, 치환성 칼슘 52.4%, 치환성 마그네슘 53.2%가 적정수준을 초과하는 것으로 보고하였다.

시설딸기의 생산액은 2008년 기준으로 7,746억 원이며 고추 12,152억 원, 수박 9,393억 원 다음으로 우리나라 전체 채소 생산액의 10.7%를 차지하는 중요한 원예 작물이다 (RDA, 2009). 시설딸기는 토양 염류에 매우 약한 작물

로서 반드시 토양 검정을 통한 양분관리가 필요하다. 그러나 시설딸기 재배지도 염류의 집적이 심화되고 있으며 토양의 미생물 생태계에도 부정적인 원인이 되고 있다. 친환경 농업을 위한 토양관리를 위해서는 농가의 실제적인 양분관리 뿐만 아니라 토양 미생물 생태계의 변화도 매우 중요하다. 그러나 시설재배지의 경우 양분관리 실태에 따른 토양 미생물 생태계의 변화에 관한 연구결과는 매우 부족한 실정이다. 최근에는 다량의 토양 시료를 비교적 간단하고 빠르게 분석하는 fatty acid methyl ester (FAME) 방법을 이용하여 미생물 군집을 분석하는 연구가 많이 진행되고 있다 (Lee and Kim, 2011; Lee et al., 2011; Min et al., 2011).

따라서 본 연구는 시설 딸기 재배지에서 염류농도가 생육초기 토양 미생물 생태계의 변화에 미치는 영향을 FAME 분석기술을 적용하여 미생물 군집을 평가하였으며 그 결과를 친환경 토양관리의 기초자료로 제공하고자 수행하였다.

### 재료 및 방법

**시험장소 및 시료채취** 시설재배지에서 유기농업으로 딸기를 재배할 경우 토양 양분에 따른 미생물 생태계를

접수 : 2011. 8. 27 수리 : 2011. 10. 3

<sup>†</sup>공동 제1저자

\*연락처 : Phone: +82312900337

E-mail: sonnyk@korea.kr

조사하기 위해 경남 진주시 수곡면 (35°13'01"N, 127°54'51"E)에서 수행하였다. 시험구는 미사질양토에서 염류농도가 높은 토양과 염류농도가 적절한 토양으로 구분하여 300 m<sup>2</sup> (30 m × 10 m) 면적으로 난괴법 3반복으로 수행하였다. 토양은 시험초기에 표토 (0-15 cm)와 심토 (15-30 cm)로 나누어 채취하여 7일간 풍건하여 2 mm 체를 통과된 것을 화학성분 분석에 사용하였다. 화학성분 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)을 적용하여 분석하였다. 염류농도가 높은 토양은 염류농도가 표토 2.81 dS m<sup>-1</sup>, 심토 3.42 dS m<sup>-1</sup>였고 염류농도가 적절한 토양은 표토 0.78 dS m<sup>-1</sup>, 심토 1.15 dS m<sup>-1</sup>였다 (Table 1).

**토양 미생물 군집 분석** 미생물 군집 분석을 위한 토양은 동결건조하여 냉동실에 보관하면서 일주일 이내에 분석하였다. 미생물 군집은 개별적으로 미생물이 가지고 있는 고유 세포벽 지방산을 분석하는 FAME 방법을 이용하였다 (Schutter and Dick, 2000). 미생물의 정량은 internal standard 19:0을 이용하여 분석하였다. 미생물 군집 분석은 GC Agilent 6890N (Agilent Technologies, USA)과 HP-ULTRA 2 capillary column (25 m × 0.2 mm × 0.33 μm film thickness, Agilent Technologies, USA)을 이용하였다. 분석된 미생물 세포벽 지방산은 MIDI software program package (MIDI, Inc., Newark, DE)를 이용하여 각각의 지방산에 대한 미생물 군집을 분석하였다 (Hamel et al., 2006). 총 세균은 i15:0, a15:0, 15:0, i16:0, 16:1ω9, 16:1ω7, i17:0, a17:0, 17:0, cy17:0, 18:1ω7c 및 cy19:0 함량을 합산하여 분석하였다 (Macalady et al., 1998; Schutter and Dick, 2000). 그람 음성 세균은 지방산 16:1ω7c, 18:1ω7c, cy17:0 및 cy19:0을 합산하였고 (Zelles, 1997) 그람 양성 세균은 지방산 i15:0, a15:0, i16:0, i17:0 및 a17:0을 합산하여 구하였다 (Zelles, 1997). 방선균은 지방산 10Me18:0을 사용하였고 (Schutter and Dick, 2000) 곰팡이는 지방산 18:1ω9c와 18:2ω6c를 사용하였다 (Bradley et al., 2006). 또한, 지방산 16:1ω5c는 arbuscular mycorrhizal fungi의 biomarker로 이용하였다 (Balser et al., 2005; Frosteg rd et al., 1993; Olsson et al., 1998). 그리고 곰팡이와 총 세균의 비율, cy17:0과 16:1ω7c

의 비율, cy19:0과 18:1ω7c의 비율을 조사하였고 불포화 지방산 (MUFA)과 포화 지방산 (SFA) 비율은 토양에서 미생물 영양분의 지표로 사용하였다 (Bossio and Scow, 1998).

**다변량 주성분 분석 및 통계분석** 분석된 미생물 특성은 SAS 프로그램 9.1.3 버전 (2006)을 사용하였다. 분석된 미생물 함량과 군집비율은 two-way ANOVA 분석을 실시하여 0.1%, 1.0% 그리고 5.0% 유의수준에서 *F* 검정을 실시하였다. 또한, 미생물 군집은 주성분 분석을 통하여 토양 염류농도와 깊이에 따른 차이를 검토하였다.

### 결과 및 고찰

**토양 미생물 함량** 시설 딸기의 토양 염류농도에 따른 토양 미생물 함량은 Table 2와 같다. 토양 총 FAME 함량은 염류농도가 높은 표토가 281 nmol g<sup>-1</sup>, 심토는 224 nmol g<sup>-1</sup>이었으며 염류농도가 적절한 표토는 164 nmol g<sup>-1</sup>, 심토는 189 nmol g<sup>-1</sup>로 토양 염류농도에 따른 유의적인 차이를 나타냈다 (*p*<0.01). 그러나 토양 깊이 그리고 토양 도와양분과 토양 깊이의 상호작용은 유의적인 차이가 없었다. 이러한 결과는 Min et al. (2011)이 시설 딸기 재배지에서 염류농도 2.24 dS m<sup>-1</sup>에서 186 nmol g<sup>-1</sup>으로 염류농도 1.25 dS m<sup>-1</sup>에서 160 186 nmol g<sup>-1</sup>으로 염류농도가 일정 수준이상 높을수록 총 FAME 함량이 높다고 보고한 결과와 일치하였다. 이러한 경향은 총 세균 함량, 그람 음성 세균 함량, 그람 양성 세균 함량, 방선균 함량, 곰팡이 함량, 내생근균군 함량도 유사하였다. 그람 음성 세균 함량은 염류농도가 높은 표토가 39 nmol g<sup>-1</sup>, 심토는 31 nmol g<sup>-1</sup>이었으며 염류농도가 적절한 표토는 21 nmol g<sup>-1</sup>, 심토는 26 nmol g<sup>-1</sup>로 토양 염류농도 (*p*<0.01) 그리고 토양 염류농도와 토양 깊이의 상호작용 (*p*<0.05)은 유의적인 차이를 나타낸 반면 토양 깊이는 유의적인 차이가 없었다. 특히 곰팡이 함량은 염류농도가 높은 표토에서 60 nmol g<sup>-1</sup>으로 염류농도가 적절한 표토 30 nmol g<sup>-1</sup>에 비해 2배 높았으며 토양 염류농도와 토양 깊이의 상호작용 (*p*<0.05)은 유의적인 차이를 보였다. 이러한 결과는 Lee et al. (2011)

**Table 1. Chemical properties of affected topsoil and subsoil at the different cultivation systems.**

Nutrient	Depth	pH	EC	OM	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. Cation			
						K	Ca	Mg	Na
		(1:5)	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----			
High level soil EC	Topsoil	5.9	2.81	21	366	0.97	6.5	3.0	0.49
	Subsoil	5.8	3.42	19	427	1.02	6.9	3.3	0.58
Low level soil EC	Topsoil	5.7	0.78	16	295	0.50	5.8	2.0	0.19
	Subsoil	5.6	1.15	15	270	0.53	5.9	2.1	0.24

**Table 2. Soil microbial community of topsoil and subsoil expressed as nmol at the different cultivation systems.**

Biomarker	High level soil EC		Low level soil EC		Significant <sup>†</sup>		
	Topsoil	Subsoil	Topsoil	Subsoil	Soil EC	Depth	EC×Depth
	----- nmol g <sup>-1</sup> -----						
Total FAMES	281	224	164	189	**	NS	NS
Total bacteria	91	73	51	60	**	NS	NS
Gram negative bacteria	39	31	21	26	**	NS	*
Gram positive bacteria	43	34	25	28	**	NS	NS
Actinomycetes	4.9	3.8	2.6	3.1	**	NS	NS
Fungi	60	44	30	38	**	NS	*
Arbuscular mycorrhizal fungi	5.5	4.2	3.2	3.8	**	NS	*
Fungi/bacteria	0.66	0.61	0.58	0.62	*	NS	**
cy17:0/16:1w7c	0.40	0.37	0.37	0.36	NS	NS	NS
cy19:0/18:1w7c	0.90	0.94	0.89	0.80	NS	NS	**
MUFA/SFA	0.81	0.76	0.75	0.84	NS	NS	**

<sup>†</sup> Significant effects were obtained from two-way analysis of variance: NS, not significant; \*, significant at  $p<0.05$ ; \*\*, and significant at  $p<0.01$ .

**Table 3. Soil microbial community of topsoil and subsoil expressed as % total FAME at the different cultivation systems.**

Biomarker	High level soil EC		Low level soil EC		Significant <sup>†</sup>		
	Topsoil	Subsoil	Topsoil	Subsoil	Soil EC	Depth	EC×Depth
	----- % -----						
Total bacteria	32.3	32.4	31.9	31.4	**	NS	NS
Gram negative bacteria	13.7	13.8	13.8	12.8	**	NS	*
Gram positive bacteria	15.2	15.3	14.8	15.3	**	NS	NS
Actinomycetes	1.7	1.7	1.6	1.6	**	NS	NS
Fungi	21.3	19.8	20.0	18.2	**	NS	*
Arbuscular mycorrhizal fungi	1.9	1.9	2.0	1.9	**	NS	*

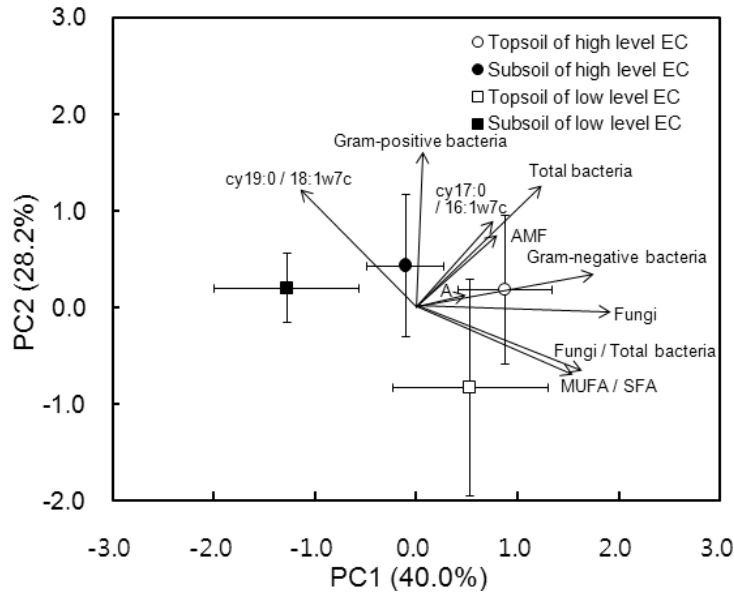
<sup>†</sup> Significant effects were obtained from two-way analysis of variance: NS, not significant; \*, significant at  $p<0.05$ ; \*\*, and significant at  $p<0.01$ .

이 일반적인 시설 고추재배지 표토의 미생물 함량이 총 세균 95 nmol g<sup>-1</sup>, 그람음성 세균 37.2 nmol g<sup>-1</sup>, 그람양성 세균 49.4 nmol g<sup>-1</sup>, 방선균 5.3 nmol g<sup>-1</sup>, 곰팡이 56.8 nmol g<sup>-1</sup>, 내생균근균 12.5 nmol g<sup>-1</sup>로 보고한 결과 보다 낮았다. 또한, 그람음성 세균 함량은 논토양 (Kim and Lee, 2011), 밭토양 (Lee and Ha, 2011) 및 과수원토양 (Lee and Lee, 2011)과 다르게 그람양성 세균 함량보다 낮은 결과를 보였다. 그람음성 세균은 토양의 탄소함량이 부족할 경우 매우 민감하게 반응하여 개체수가 감소한다 (Guckert et al., 1986; Kieft et al., 1997). 따라서 이러한 결과는 Table 1과 같이 토양의 유기물 함량이 낮는데 기인된 것으로 판단되었다 (Kim and Lee, 2011).

곰팡이와 총 세균의 비율은 염류농도가 높은 표토가 0.90, 심토는 0.91이었으며 염류농도가 적절한 표토는 0.84, 심토는 0.93으로 양분에 따른 차이는 없었으나 토양 깊이 ( $p<0.01$ ) 그리고 토양 염류농도와 토양 깊이의 상호작용

( $p<0.01$ )은 유의적인 차이가 있었다. 토양 환경 스트레스 지표로 사용되는 cy17:0과 16:1w7c 그리고 cy19:0과 18:1w7c 비율은 상대적으로 염류농도가 적절한 토양에서 낮은 경향을 보여 토양 환경 스트레스가 적은 것으로 판단되었으나 (Bossio and Scow, 1998; Grogan and Cronan, 1997; Guckert et al., 1986; Kieft et al., 1997; Min et al., 2011) 유의적인 차이는 없었다. 또한, 영양적인 스트레스 지표로 사용되는 불포화지방산과 포화지방산 함량의 비율은 염류농도에 따른 유의적인 차이가 없었다.

**미생물 군집 비교** 토양 미생물 군집을 비교하기 위하여 토양 미생물 함량을 전체 FAME 함량으로 나누어 % 단위로 환산한 결과는 Table 3과 같다. 토양의 총 세균 군집은 염류농도가 높은 표토가 32.3%, 심토가 32.4%로 염류농도가 적절한 표토 31.9%, 심토 31.4%에 비해 유의적으로 높았다 ( $p<0.01$ ). 이러한 결과는 표토에서 그람양성



**Fig. 1. Principal component analysis between soil microbial communities and soil physicochemical properties.** The variance explained by each principal component (PC) axis is shown in parentheses. PC analysis shows loading values for the individual microbial biomarkers. The bars represent one standard deviation of the mean. A, *Atinomyces*; AMF, Arbuscular mycorrhizal fungi; MUFA, monounsaturated fatty acids; SFA, saturated fatty acids. Significant effects of PC1 were obtained from two-way analysis of variance. The EC level was not significant, the soil depth was significant at  $p < 0.01$ , and EC level  $\times$  soil depth interaction was not significant.

세균 군집이 높고 심토에서는 그람음성 세균 군집이 높는데 기인된 것으로 판단되었다 (Table 3). 방선균, 곰팡이 및 내생균근균 군집도 염류농도가 높은 시험구가 염류농도가 적절한 시험구에 비해 유의적으로 높은 경향이 있었다 ( $p < 0.01$ ). 또한, 그람음성 세균, 곰팡이 및 내생균근균의 군집은 토양 염류농도와 토양 깊이의 상호작용도 유의적인 차이가 있었다 ( $p < 0.05$ ).

**미생물 군집 주성분 분석** 토양 미생물 군집의 차이를 비교하기 위하여 개별적인 미생물 분포비율을 주성분 분석에 사용하였다 (Drenovsky et al., 2004; Steenwerth et al., 2003). 주성분 PC1은 미생물 군집의 40.0%를 설명할 수 있었고 주성분 PC2는 미생물 군집의 28.2%를 설명하여 전체 68.2%를 설명할 수 있었다 (Fig. 1). PC 1에서 표토는 양의 값을 보인 반면 심토는 음의 값을 보였다. 주성분 분석에서 곰팡이, 그람음성 세균, 곰팡이와 총 세균 비율, 불포화지방산과 지방산의 비율, 총 세균의 군집 순으로 정의 기여를 보인 반면 cy19:0과 18:1w7c 비율은 부의 기여를 하였다. PC1에서 표토는 염류농도에 따른 차이가 없었으나 심토는 유의적인 차이가 있었다 ( $p < 0.05$ ). 또한, 주성분 분석결과 염류농도 그리고 염류농도와 토양 깊이의 상호작용은 유의적인 차이가 없었으나 토양 깊이는 유의적인 차이를 보였다 ( $p < 0.05$ ).

이상의 결과 FAME 분석방법을 적용하여 시설 딸기의 생육초기 염류농도에 따른 토양 미생물 생태계를 비교할

수 있었다. 그러나 이러한 결과는 시설 딸기 생육초기 토양에서 조사한 결과로서 앞으로 생육 전반에 걸쳐 미생물 생태계의 변화를 검토할 필요가 있다. 또한, 다양한 토양 염류농도 뿐만 아니라 토양 물리적인 특성을 접목하여 다양한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ006906222011)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## 요 약

시설딸기 재배지에서 염류농도가 생육초기 토양 미생물 생태계의 변화에 미치는 영향을 FAME 분석으로 검토하였다. 토양 총 세균 함량, 그람음성 세균 함량, 그람양성 세균 함량, 방선균 함량, 곰팡이 함량, 내생균근균 함량은 염류농도가 높은 토양이 적절한 토양 보다 유의적으로 높았다 ( $p < 0.01$ ). 토양 환경 스트레스 지표로 사용되는 cy17:0과 16:1w7c 그리고 cy19:0과 18:1w7c 비율은 상대적으로 염류농도가 적절한 토양에서 낮은 경향을 보여 토양 환경 스트레스가 적은 것으로 판단 되었으나 유의적인 차이는 없었다. 총 세균, 그람음성 세균, 그람양성 세균, 방선균, 곰팡이 및 내생균근균 군집은 염류농도가 높은 시험구가 염류농도가 적절한 시험구에 비해 유의적으로 높은 경향이 있었다.

## 인용문헌

- Balser, T., K.K. Treseder, and M. Ekenler. 2005. Using lipid analysis and hyphal length to quantify AM and saprotrophic fungal abundance along a soil chronosequence. *Soil Biol. Biochem.* 37:601-604.
- Bossio, D.A. and K.M. Scow. 1998. Impacts of carbon and flooding on soil microbial communities: phospholipid fatty acid profiles and substrate utilization patterns. *Microb. Ecol.* 35:265-278.
- Bradley, K., A. Rhae, R.A. Drijber, and J. Knopsc. 2006. Increased N availability in grassland soils modifies their microbial communities and decreases the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biol. Biochem.* 38:1583-1595.
- 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.
- Drenovsky, R.E. 2004. Soil water content and organic carbon availability are major determinants of soil microbial community composition. *Microb. Ecol.* 48:424-430.
- Frostegård, Å., A. Tunlid, and E. Bååth. 1993. Phospholipid fatty acid composition, biomass and activity of microbial communities from two soil types experimentally exposed to different heavy metals. *Appl. Environ. Microbiol.* 59:3605-3617.
- Grogan, D.W. and J.E. Cronan. 1997. Cyclopropane ring formation in membrane lipids of bacteria. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 61:429-441.
- Guckert, J.B., M.A. Hood, and D.C. White. 1986. Phospholipid ester-linked fatty acid profile changes during nutrient deprivation of *Vibrio cholerae*: increases in cis/trans ratio and proportions of cyclopropyl fatty acid. *Appl. Environ. Microbiol.* 52:794-801.
- Hamel, C., K. Hanson, F. Selles, A.F. Cruz, R. Lemke, B. McConkey, and R. Zentner. 2006. Seasonal and long-term resource-related variations in soil microbial communities in wheat-based rotations of the Canadian prairie. *Soil Biol. Biochem.* 38:2104-2116.
- 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.
- Kieft, T.L., E. Wilch, K. O'connor, D.B. Ringelberg, and D.C. White. 1997. Survival and phospholipid fatty acid profiles of surface and subsurface bacteria in natural sediment microcosms. *Appl. Environ. Microbiol.* 63:1531-1542.
- Kim, E.S. and Y.H. Lee. 2011. Response of soil microbial communities to applications of green manures in paddy at an early rice-growing stage. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(2):221-227.
- Lee, Y.H. and H. Kim. 2011. Response of soil microbial communities to different farming systems for upland soybean cultivation. *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.* 54(3):423-433.
- Lee, Y.H. and S.K. Ha. 2011. Impacts of topography on microbial community from upland soils in Gyeongnam Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(3):485-491.
- Lee, Y.H. and S.T. Lee. 2011. Comparison of microbial community of orchard soils in Gyeongnam Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(3):492-497.
- Lee, Y.S., J.H. Kang, K.J. Choi, S.T. Lee, E.S. Kim, W.D. Song, and Y.H. Lee. 2011. Response of soil microbial communities to different cultivation systems in controlled horticultural land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(1):118-126.
- Macalady, J.L., M.E. Fuller, and K.M. Scow. 1998. Effects of metam sodium fumigation on soil microbial activity and community structure. *J. Environ. Qual.* 27:5463.
- Min, S.G., S.S. Park, and Y.H. Lee. 2011. Comparison of soil microbial communities to different practice for strawberry cultivation in controlled horticultural land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(3):479-484.
- NIAST. 2000. Methods of analysis of soil and plant. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- NIAST. 2005. Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality in 2004. RDA, Suwon, Korea.
- NIAST. 2009. Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality in 2008. RDA, Suwon, Korea.
- Olsson, P.A., R. Francis, D.J. Read, and B. Sderstrm. 1998. Growth of arbuscular mycorrhizal mycelium in calcareous dune sand and its interaction with other soil micro-organisms as estimated by measurement of specific fatty acids. *Plant Soil* 201:916.
- 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.
- RDA (Rural development administration). 2009. Farming textbook of Strawberry. RDA, Suwon, Korea.
- SAS. 2006. SAS enterprise guide Version 4.1. SAS Inst., Cary, NC.
- Schutter, M.E. and R.P. Dick. 2000. Comparison of fatty acid methyl ester (FAME) methods for characterizing microbial communities. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1659-1668.
- Steenwerth, K.L., L.E. Jackson, F.J. Calderon, M.R. Stromberg, and K.M. Scow. 2003. Soil microbial community composition and land use history in cultivated and grassland ecosystems of coastal California. *Soil Biol. Biochem.* 35:489-500.

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.

Zelles, L. 1997. Phospholipid fatty acid profiles in selected members of soil microbial communities. *Chemosphere* 35:275-294.