

Variation of Microbi[al] Communities with Crop Species in Controlled Horticultural Soils of Gyeongnam Province

Young-Han Lee, Seong-Tae Lee, Eun-Seok Kim, Yong-Cho Cho, Yong Sik Ok¹,
Min-Keun Kim^{**}, and HyeRan Kim^{2*}

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

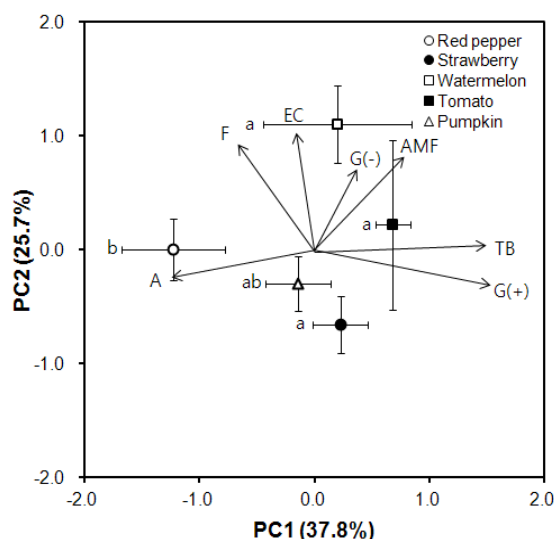
¹Biochar Research Center, Department of Biological Environment, Kangwon National University,
Chuncheon 200-701, Republic of Korea

²Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology, Daejeon 305-806, Republic of Korea

(Received: May 30 2013, Accepted: June 11 2013)

In this study, we examined the chemical properties and microbial community characteristics in 25 controlled horticultural soils (CHS) sampled from Gyeongnam Province by fatty acid methyl ester (FAME) method. The electrical conductivity of watermelon CHS was significantly ($p < 0.05$) higher than those of red pepper CHS, pumpkin CHS, and strawberry CHS. The amounts of total FAMES, total bacteria, gram-negative bacteria, gram-positive bacteria, and fungi were significantly ($p < 0.05$) higher in red pepper CHS than those in strawberry CHS and pumpkin CHS. In addition, higher ($p < 0.05$) ratios of cy19:0 to 18:1 ω 7c were detected in tomato CHS than those in watermelon CHS, pumpkin CHS, and red pepper CHS. This implied that microbial communities of tomato CHS were stressed more than other species of cultivation soils. Actinomycetes community in red pepper CHS was significantly ($p < 0.05$) higher than those in tomato CHS, strawberry CHS, and watermelon CHS. Differences in soil microbial community composition were highly associated with cultivated crop species which might result from the management inputs such as fertilizer, herbicide, and irrigation.

Key words: Microbial community, Controlled horticulture, Actinomycetes community, FAME



Principal component analysis between soil microbial communities and soil physicochemical properties. A, actinomycetes; AMF, arbuscular mycorrhizal fungi; EC, electrical conductivity; F, fungi; G(-), gram-negative bacteria; G(+), gram-positive bacteria; TB, total bacteria.

*Corresponding author : Phone: +821020777133, E-mail: kimhr@kribb.re.kr

**Co-corresponding author : Phone: +82175520854, E-mail: goguma99@korea.kr

§Acknowledgement: This study was conducted with the support of the Research Cooperating Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ009198242013), RDA, Republic of Korea. In addition, this research was supported by Cabbage Genomics assisted breeding supporting Center (CGsC) research programs (610008-05-1-SU000) funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Republic of Korea.

Introduction

시설재배지는 퇴비나 비료의 과다시비로 토양의 염류가 집적되는 문제점이 있다 (Choi et al., 2010). 토양의 양분과 다는 미생물의 군집을 교란시키기 때문에 친환경농업을 위해서는 미생물의 다양성을 검토하고 증대시키는 것이 중요하다 (Lee and Kim, 2011; Lee and Yun, 2011). 토양의 미생물 생체량과 군집은 Fatty acid methyl ester (FAME) 방법을 사용하여 미생물의 세포벽 지방산 조성으로 간편하게 분석할 수 있다 (Kim and Lee, 2011; Macalady et al., 1998; Schutter and Dick, 2000). 고추 시설재배지에서 Yang et al. (2012)은 무경운 처리가 경운처리에 비해 곰팡이, 그람 양성 세균, 방선균 및 내생균근균의 생체량이 많다고 하였고 Lee et al. (2011b)은 유기재배가 관행재배에 비해 미생물체량이 1.3배 높다고 하였다. 그리고 딸기 시설재배지에서 토양 총 세균 함량, 그람음성 세균 함량, 그람양성 세균 함량, 방선균 함량, 곰팡이 함량, 내생균근균 함량은 염류농도가 높은 토양이 적절한 토양 보다 유의적으로 높았고 총 세균, 그람음성 세균, 그람양성 세균, 방선균, 곰팡이 및 내생균근균 군집은 염류농도가 높은 시험구가 염류농도가 적절한 시험구에 비해 유의적으로 높은 경향이였다 (Lee et al., 2011a). 또한, 딸기 유기재배는 관행재배에 비해 총 FAME 함량은 1.2배, 총 세균 함량은 1.4배, 그람음성 세균은 1.5배, 그람양성 세균은 1.2배, 방선균 함량은 1.5배 높았으며 미생물 군집은 유기재배와 무농약재배가 관행재배에 비해 총 세균 및 그람음성 세균의 군집비율이 높은 반면, 곰팡이 군집비율은 낮았다 (Min et al., 2011). 미생물의 세포벽 지방산 조성에서 환경에 대한 스트레스 지표로 사용되는 (Bossio and Scow, 1998; Kieft et al., 1997) cy19:0과 18:1 ω 7c 비율은 고추 시설재배지에서 유기재배가 관행재배보다 낮았으며 (Lee et al., 2011a) 딸기 시설재배지에서는 염류농도가 높은 토양보다 염류농도가 적절한 토양에서 낮은 경향을 보여 토양 환경 스트레스가 적은 것으로 보고되었다 (Lee et al., 2011a; Min et al., 2011).

본 연구는 경남지역 시설재배지 25개소를 대상으로 작물에 따른 토양의 화학성과 FAME 분석을 통한 미생물 군집을 검토하여 친환경 토양관리를 위한 기초 자료를 제공하고자 수행하였다.

Materials and Methods

경남지역 시설 토양의 화학성분과 미생물 군집을 분석하기 위하여 2012년에 고추 4개소, 딸기 8개소, 수박 5개소, 토마토 4개소, 호박 4개소를 선정하였다. 토양은 수확기인 4월에서 5월 사이에 표토를 0–15 cm 깊이에서 500 g 정도를 3반복으로 채취하였다. 작물별로 채취한 토양은 실험실

에서 풍건하여 2 mm 체를 통과된 것을 pH, EC, 유기물, 유효인산, 치환성 칼륨, 치환성 칼슘, 치환성 마그네슘, 치환성 나트륨 및 질산태 질소 분석에 사용하였다. 화학성분 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양화학분석법 (NIAS, 2010a)을 적용하여 분석하였다. 습도 상태의 토양은 -20°C 에서 동결건조 한 후 미생물 군집 분석에 사용하였다. 미생물 함량과 군집은 미생물이 가지고 있는 고유 세포벽 지방산을 분석하는 FAME 방법으로 GC Agilent 6890N (Agilent Technologies, USA)과 HP-ULTRA 2 capillary column (25 m \times 0.2 mm \times 0.33 μm film thickness, Agilent Technologies, USA)을 이용하였고 internal standard 19:0을 사용하여 분석하였다 (Schutter and Dick, 2000). 칼럼 온도는 170°C 에서 270°C 가 될 때 까지 분당 5°C 씩 가온하여 마지막 270°C 에서 2분간 유지하였다. 분석된 미생물 세포벽 지방산은 MIDI software program package (MIDI, Inc., Newark, DE)을 이용하여 미생물 군집을 분석하였다 (Hamel et al., 2006). 총 세균은 i15:0, a15:0, 15:0, i16:0, 16:1 ω 9, 16:1 ω 7, i17:0, a17:0, 17:0, cy17:0, 18:1 ω 7c 및 cy19:0 함량을 합산하여 분석하였다 (Macalady et al., 1998; Schutter and Dick, 2000). 그람음성 세균은 지방산 16:1 ω 7c, 18:1 ω 7c, cy17:0 및 cy19:0을 합산하였고 (Zelles, 1997) 그람양성 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 18:1 ω 9c와 18:2 ω 6c를 사용하였다 (Bradley et al., 2006). 또한, 지방산 16:1 ω 5c는 arbuscular mycorrhizal fungi의 biomarker로 이용하였다 (Balsler et al., 2005; Frosteg rd et al., 1993; Olsson et al., 1998). 그리고 그람음성 세균과 그람양성 세균의 비율, 곰팡이와 총 세균의 비율을 구하였으며 cy19:0와 18:1 ω 7c 비율은 토양에서 미생물 스트레스 지표로 사용하였다 (Bossio and Scow, 1998). 분석된 미생물 특성은 SAS 프로그램 9.1.3 버전 (2006)을 사용하였다. 작물별 토양 미생물 특성과 화학성은 5% 수준에서 Tukey's studentized range test를 하였다. 또한, 토양 EC와 미생물 군집은 주성분 분석을 통하여 작물에 따른 차이를 비교 검토하였다.

Results and Discussion

작물별 시설 토양 화학성분 경남지역 시설재배지 토양의 화학성분은 Table 1과 같다. 토양 염류농도는 수박 재배지에서 6.26 dS m^{-1} 로 고추 재배지 3.11 dS m^{-1} , 호박 재배지 2.06 dS m^{-1} 및 딸기 재배지 1.87 dS m^{-1} 보다 유의적으로 높았다 ($p < 0.05$). 치환성 칼륨 함량도 수박 재배지가 $4.69\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ 으로 딸기 재배지 $1.99\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ 및 호박 재배지 $1.24\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ 보다 유의적으로 많았다 ($p < 0.05$). 특히 치환성 마그네슘 함량은 수박 재배지가 $6.8\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$

으로 토마토 3.9 cmol_c kg⁻¹, 고추 재배지 3.6 cmol_c kg⁻¹, 호박 재배지 3.4 cmol_c kg⁻¹ 및 딸기 재배지 3.2 cmol_c kg⁻¹ 보다 유의적으로 함량이 많았다 ($p < 0.05$). 경남지역 시설 재배지 작물의 화학성분 평균 함량은 NIAST (2010b)에서 제안하는 작물별 적정수준인 pH 6.0–6.5, EC 2.0 dS m⁻¹ 이하, 유기물 25–35 g kg⁻¹, 유효인산 450–550 mg kg⁻¹, 치환성 칼륨 0.7–0.8 cmol_c kg⁻¹, 치환성 칼슘 5.0–6.0 cmol_c kg⁻¹, 치환성 마그네슘 1.5–2.0 cmol_c kg⁻¹ 보다 높았다. 이러한 경향은 Choi et al. (2010)이 보고한 바와 같이 비료에 대한 농가인식의 부족으로 축분퇴비 등의 과다시비에 의한 결과로 해석되었다.

시설 토양 미생물 함량 비교 경남지역 시설 토양의 작물별 미생물 함량을 세포벽 지방산 함량 (FAME 방법)으로 분석한 결과는 Table 2와 같다. 경남지역 시설 토양 미생물 함량 평균값은 고추 재배지에서 총 FAME 함량이 655 nmol g⁻¹이었으며 총 세균 함량은 176 nmol g⁻¹, 그람음성 세균은 81 nmol g⁻¹, 그람양성 세균은 79 nmol g⁻¹, 방선균은 26 nmol g⁻¹, 곰팡이는 131 nmol g⁻¹, 내생균근균은 11 nmol g⁻¹이었다. 고추 재배지의 총 FAME 함량, 총 세균 함량, 그람음성 세균 함량, 그람양성 세균 함량, 곰팡이 함량은 딸기 재배지와 호박 재배지에 비해 유의적으로 많았다

($p < 0.05$). 이러한 결과는 Lee et al. (2011b)과 Min et al. (2011)이 고추 재배지와 딸기 재배지의 토양 미생물 함량과 유사하였다. 그리고 수박 재배지와 토마토 재배지에서는 Table 1과 같이 유기물 함량이 많아도 토양의 염류농도가 4.0 dS m⁻¹ 이상 높아져 미생물의 생육에 영향을 준 것으로 판단되었다. 내생균근균 함량은 수박 재배지에서 21 nmol g⁻¹으로 고추 재배지 11 nmol g⁻¹, 호박 재배지 8 nmol g⁻¹ 및 딸기 재배지 6 nmol g⁻¹ 보다 유의적으로 많았다 ($p < 0.05$). 고추 재배지와 호박 재배지는 그람음성 세균과 그람양성 세균 비율이 각각 1.03 및 1.00으로 딸기 재배지 0.85 및 토마토 재배지 0.82 보다 유의적으로 높았다 nmol g⁻¹. 이러한 결과는 그람음성 세균의 특성으로 토양에서 탄소 함량이 부족해지면 개체수가 감소하는데 (Kieft et al., 1997; Kim and Lee, 2011; Guckert et al., 1986) 기인된 것으로 판단되었다. 곰팡이와 총 세균의 비율은 고추 재배지에서 0.74로 호박 재배지 0.53 및 딸기 재배지 0.51 보다 유의적으로 높았다 ($p < 0.05$).

미생물 스트레스 지표 토양 환경에 따른 영양적인 스트레스 지표로 사용되는 cy19:0과 18:1ω7c 비율은 Fig. 1과 같이 토마토 재배지에서 0.91로 수박 재배지 0.62, 호박 재배지 0.61 및 고추 재배지 0.57 보다 유의적으로 높았다 (p

Table 1. Chemical properties in controlled horticultural soils affected by different crops.

Crop	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. cation				NO ₃ -N
					K	Ca	Mg	Na	
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹				mg kg ⁻¹
Red pepper	7.0a	3.11b	40a	948a	3.04ab	11.5a	3.6b	1.13ab	163a
Strawberry	7.1a	1.87b	39a	1,017a	1.99b	11.7a	3.2b	0.54b	78a
Watermelon	7.3a	6.26a	48a	1,445a	4.69a	13.7a	6.8a	1.61a	217a
Tomato	6.8a	4.21ab	50a	866a	3.00ab	12.2a	3.9b	1.06ab	164a
Pumpkin	7.0a	2.06b	33a	859a	1.24b	9.7a	3.4b	0.72ab	86a

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

Table 2. Microbial biomass in controlled horticultural soils as affected by different crops.

Crop	TF [†]	B	G(-)	G(+)	A	F	AMF	G(-)/G(+)	F/B
Red pepper	655a [‡]	176a	81a	79a	26a	131a	11bc	1.03a	0.74a
Strawberry	266c	74c	31c	36c	6b	38b	6c	0.85b	0.51b
Watermelon	578ab	162ab	72ab	75ab	13b	103a	21a	0.94ab	0.63ab
Tomato	592ab	175a	70ab	89a	10b	100a	16ab	0.82b	0.59ab
Pumpkin	369bc	102bc	46bc	47bc	13b	55b	8bc	1.00a	0.53b

†TF, total FAMES; B, total bacteria; G(-), gram-negative bacteria; G(+), gram-positive bacteria; A, actinomycetes; F, fungi; AMF, arbuscular mycorrhizal fungi.

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

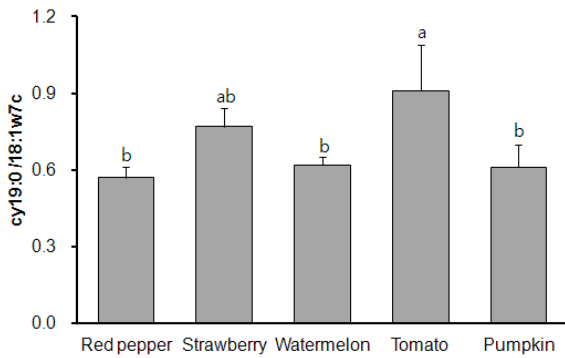


Fig. 1. Ratio of cy19:0 to 18:1w7c in controlled horticultural soils. Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Tukey's studentized range test. Bars represent one standard error of the mean.

<0.05). 토양에서 미생물이 필요로 하는 영양원의 부족, 산소 부족, 산성 토양, 수분 부족 등의 다양한 요인에 따라 cyclopropyl 지방산이 집적되면 세균의 스트레스가 증가된다 (Guckert et al., 1986; Grogan and Cronan, 1997). Min et al. (2011)은 시설 딸기 재배지에서 토양 염류농도가 높을수록 cy19:0과 18:1w7c 비율이 높아진다고 하였다. 따라서 시설 토양에서 미생물의 함량을 일정 수준으로 유지하고 스트레스를 경감할 수 있도록 토양 양분을 적정수준으로 관리해야 한다. 이러한 관점에서 시설재배 작물에 따른 토양 양분과 미생물 스트레스 지표와의 관계를 분석하여 적정시비 수준을 검토할 필요가 있을 것이다.

시설 토양 미생물 군집 분석 시설 토양 미생물의 함량을 총 FAME 함량으로 나누어 미생물의 군집을 분석하였다 (Table 3). 시설 토양의 미생물은 세균이 26.7%에서 29.4%, 그람음성 세균이 11.7%에서 12.7%를 나타냈으나 작물별 유의성은 없었다. 그람양성 세균 군집은 토마토 재배지에서 14.9%로 가장 높았으며 호박 재배지는 12.8%, 고추 재배지는 12.1%로 유의적으로 낮았다 ($p < 0.05$). 방선균 군집은

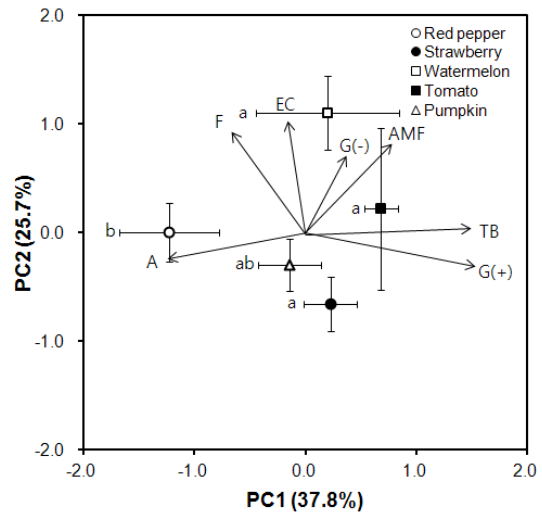


Fig. 2. Principal component analysis between soil microbial communities and soil physicochemical properties. The variance explained by each principal component (PC) axis is shown in parentheses. PC analysis shows loading values for the individual microbial biomarkers. The bars represent one standard error of the mean. Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Tukey's studentized range test. A, actinomycetes; AMF, arbuscular mycorrhizal fungi; EC, electricla conductivity; F, fungi; G(-), gram-negative bacteria; G(+), gram-positive bacteria; TB, total bacteria.

고추 재배지가 4.2%로서 딸기 재배지 2.1%, 수박 재배지 2.0%, 토마토 재배지 1.5% 보다 유의적으로 높았다 ($p < 0.05$). 곰팡이 군집은 고추 재배지가 19.6%였으며 호박 재배지 14.6%, 딸기 재배지 14.3% 보다 유의적으로 높았다 ($p < 0.05$). 내생균군군 군집은 수박 재배지가 3.7%로서 호박 재배지 2.2%, 고추 재배지 1.5% 보다 유의적으로 높았다 ($p < 0.05$). 토양의 염류농도가 높을수록 방선균, 곰팡이 및 내생균군군 군집이 유의적으로 높아진다고 하였으나 (Lee et al., 2011a) 본 연구에서는 곰팡이와 내생균군군의 군집이 비슷한 경향을 나타냈다.

Table 3. Microbial communities in controlled horticultural soils as affected by different crops.

Crop	B [†]	G(-)	G(+)	A	F	AMF
	----- % -----					
Red pepper	26.7a [‡]	12.3a	12.1b	4.2a	19.6a	1.5b
Strawberry	28.0a	11.7a	13.9ab	2.1b	14.3b	2.6ab
Watermelon	28.3a	12.3a	13.4ab	2.0b	17.6ab	3.7a
Tomato	29.4a	12.0a	14.9a	1.5b	17.4ab	2.7ab
Pumpkin	27.8a	12.7a	12.8b	2.6ab	14.6b	2.2b

[†]B, total bacteria; G(-), gram-negative bacteria; G(+), gram-positive bacteria; A, actinomycetes; F, fungi; AMF, arbuscular mycorrhizal fungi.

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

시설 토양의 염류농도와 작물별 미생물 군집을 몇 가지의 성분으로 추출하여 설명하고 예측한 주성분 분석결과는 Fig. 2와 같다 (Lee and Kim, 2011; Lee and Yun, 2011; Lee et al., 2011a). 주성분 분석결과 제1주성분이 37.8%, 제2주성분이 25.7%로서 전체 63.5%의 자료를 설명할 수 있었다. 주성분 분석결과 고추 재배지는 토마토 재배지, 딸기 재배지 및 수박 재배지와 PC1에서 유의적인 차이를 나타냈다 ($p < 0.05$). 제1주성분은 그람양성 세균 군집 (1.47)이 가장 크게 기여하였으며 총 세균 군집 (1.46), 내생균근균 군집 (0.75) 순으로 정의기여를 하였고 방선균 군집 (-1.24), 곰팡이 군집 (-0.67) 순으로 부의 기여를 하는 것으로 나타났다.

시설 토양의 작물별 미생물 군집은 토양 화학성, 토양 물리성 등과 관계가 있으므로 토양 생태계의 적정 관리가 매우 어렵다. 따라서 경남지역 시설 토양 미생물 군집의 다양성을 유지하기 위해서는 지속적인 모니터링이 필요할 것이다.

References

- 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. 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):153-159.
- 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.
- 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.* 44:221-227.
- Lee, Y.H., B.K. Ahn, and Y.K. Sonn. 2011a. 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. 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 H.D. Yun. 2011. Changes in microbial community of agricultural soils subjected to organic farming system in Korean paddy fields with no-till management. *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.* 54(3):434-441.
- Lee, Y.S., J.H. Kang, K.J. Choi, S.T. Lee, E.S. Kim, W.D. Song, and Y.H. Lee. 2011b. 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.* 27:54-63.
- 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.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2010a. Methods of soil chemical analysis. Suwon, Korea.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2010b. Fertilizer recommendation for crops. Suwon, Korea.
- Olsson, P.A., R. Francis, D.J. Read, and B. Söderström. 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* 201:9-16.
- SAS Institute. 2006. SAS Version 9.1.3. 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.
- Yang, S.K., M.K. Kim, Y.W. Seo, K.J. Choi, S.T. Lee, Y.S. Kwak, and Y.H. Lee. 2012. Soil microbial community analysis of between no-till and tillage in a controlled horticultural field. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 28:1797-1801.
- Zelles, L. 1997. Phospholipid fatty acid profiles in selected members of soil microbial communities. *Chemosphere* 35:275-294.