

## 경남지역 과수원 토양 화학성분이 미생물 생태에 미치는 영향

이영한 · 장용선<sup>1\*</sup>

경상남도농업기술원, <sup>1</sup>국립농업과학원

### Response of Microbe to Chemical Properties from Orchard Soil in Gyeongnam Province

Young-Han Lee and Yong-Sun Zhang<sup>1\*</sup>

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

<sup>1</sup>National Academy of Agricultural Science, RDA, Suin-ro 150, Suwon, 441-707, Korea

Soil microbial diversity was responsible for a strong effect on the chemical properties of orchard soils. This study evaluated a relationship between soil chemical properties and soil microbial diversities at 25 sites in orchard soils in Gyeongnam Province. The average nutrients in the orchard soils were 2.6 times for available phosphorous, 2.3 times for exchangeable potassium and 1.3 times for exchangeable calcium higher compared to recommend concentrations in the orchard soils. Contents of available phosphorous and organic matter in the inclined piedmont soils were higher than those in the other topographical soils ( $p<0.05$ ). Populations of fungi and fluorescence *Pseudomonas* sp. in the silt loam soils were significantly higher than those in the sandy loam soils ( $p<0.05$ ). In principal component analysis of chemical properties and microbial populations in the upland soils, our findings suggested that population of bacteria should be considered as potential factor responsible for the clear orchard soils differentiation. The soil organic matter was significantly negative correlation with population of bacteria whereas was positive correlation with population of fungi in orchard soils.

**Key words:** Orchard soil, Microbial population, Chemical property, Soil texture, Soil topography

## 서 언

남부지역 과수원 79%가 15% 이상의 경사지에 분포되어 있으며 75%는 구릉지 및 산악지 등에 분포되어 있어 (Jung et al., 1993) 토양 침식 뿐만 아니라 여름철 집중강우로 인한 양분 유실이 매우 심하여 토양 양분관리가 매우 어려운 실정이다 (Heo et al., 2010; Jung et al., 2007; Lee et al., 2006; Lee et al., 2010a). 세계적으로 1990년대는 토양 비옥도를 증진시켜 작물의 생산성 증대가 중요한 목표였으나 (Peters, 2000), 현재는 토양 미생물의 기능과 집적된 양분의 2차 오염을 방지하는 것이 중요하게 되었다 (Cho et al., 2002; Tang et al., 2008). 따라서 미생물에 의한 토양 건전성 유지는 환경 보전을 위해 매우 중요하다. 토양 건전성은 미생물의 수, 미생물 탄소량, 효소활성 등과 토양 비옥도를 함께 고려하여야한다 (Suh, 1998). 이러한 관점에서 미생물 밀도와 활성은 토양건전성 변화에 대한 우수

한 지표라고 할 수 있다. 토양 미생물의 활성에 영향을 미치는 요인은 토양의 탄질비율, 수분함량, 산소량, pH, 온도 등이 있으며 재배법과 토양의 유기물 함량에 따라 달라질 수 있다 (Lee et al., 2011; Manna and Singh, 2001). Lee et al. (2003)은 키틴 퇴비를 배 과원에 처리한 결과 근권 토양에서 세균과 키틴 분해 미생물의 밀도를 증가시켰으나 곰팡이의 밀도는 감소된다고 하였다. 이와 같이 토양 미생물은 환경변화에 민감하게 반응하며 환경에 적응한 균이 토양에서 우점하게 된다. 따라서 친환경농업을 통해 먹을거리의 건강, 생태계의 건강, 지역사회의 건강, 농민 삶의 건강이 모두 회복되기 위해서는 토양 비옥도 관리와 더불어 토양 미생물의 다양성을 함께 검토해야 한다.

그러나 경남지역의 과수원 토양에 대한 토양 미생물 다양성을 검토한 연구결과는 매우 미흡하며 이에 따른 농민들의 요구가 많은 실정이다. 따라서 본 연구는 경남지역 과수원을 대상으로 토양 화학성분과 미생물 다양성을 검토하였으며 주성분분석에 의한 토성, 지형 및 작물별 주요 변동요인을 해석하여 효율적인 토양 양분 및 미생물 관리를 위한 기초 자료를 제공하는데 목적이 있다.

접수 : 2011. 3. 17 수리 : 2011. 4. 13

\*연락처 : Phone: +82312900337

E-mail: zhang@korea.kr

## 재료 및 방법

**과수원 토양 지점 선정 및 시료채취 방법** 경남지역 과수원 토양의 화학성분과 미생물상의 관계를 분석하기 위하여 2010년에 토양 유형, 지형 및 토성 (RDA, 1983)과 분포면적 비율을 기준으로 25개 지점을 선정하였다. 토양은 비료를 사용하지 전인 3월부터 4월 사이에 표토를 0-15 cm 깊이에서 500 g 정도를 3반복으로 채취하였다.

**토양 시료조제 및 화학성분 분석방법** 채취한 토양은 실험실에서 7일간 풍건하여 2 mm 체를 통과한 것을 화학성분 분석에 사용하였다. 화학성분 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)을 적용하여 pH와 EC는 토양과 증류수의 비율을 1:5 (w/v)로 희석한 후 pH meter (Orion 520A pH meter, Orion Research Inc., Boston, USA)와, EC meter (Orion 3STAR EC meter, Orion Research Inc., Boston, USA)로 측정하였다. 유기물은 Tyurin법으로 적정하였으며 유효인산은 Lancaster법으로 비색계 (UV-1650PC, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 사용하였다. 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 나트륨 등의 양이온은 1M NH<sub>4</sub>OAc로 추출하여 ICP (AAAnalyst 300, Perkin-Elmer, Norwalk, USA)로 분석하였다.

**토양 미생물과 활성 분석** 채취한 토양은 -80°C에 2일간 보관하여 동결건조 한 후 미생물 분석에 사용하였다 (Schutter and Dick, 2000). 토양 호기성 세균은 cycloheximide

50 µg mL<sup>-1</sup> (Dindal, 1990)을 가한 yeast extract medium (James, 1958), 곰팡이는 streptomycin-rose bengal medium (Martin, 1950), 형광성 *Pseudomonas* sp.는 Kato and Itho method (1983)를 사용하였다. 또한 그람음성세균은 crystal violet 내성균 medium, *Bacillus* sp.는 중온성균, coliform group은 chromocult coliform medium을 이용한 Suh and Shin (1997)의 방법을 사용하였다. 그리고 soil microbial biomass C 함량은 chloroform fumigation-extraction method (Vance et al., 1987)를 사용하였고 dehydrogenase 활성은 비색정량법 (Sukul, 2006)을 사용하였다.

**다변량 주성분 분석 및 통계분석** 분석된 토양 화학성과 미생물 특성은 SAS 프로그램 9.1.3 버전 (2006)을 사용하였다. 토양의 지형, 토성 및 작물별 특성은 5% 수준에서 Duncan's multiple range test (DMRT)를 하였다. 또한 토양 화학성분과 미생물 다양성은 주성분 분석을 통하여 지형, 토성 및 작물에 따른 차이를 비교 검토하였다.

## 결과 및 고찰

**과수원 토양 화학성분 비교** 경남지역 과수원 토양의 화학성분을 지형, 토성과 작물별로 분석한 결과는 Table 1과 같다. 경남지역 과수원 토양 25개소의 평균값은 pH 6.2, 유기물 29 g kg<sup>-1</sup>, 유효인산 786 mg kg<sup>-1</sup>, 치환성 칼륨 1.36 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 치환성 칼슘 7.7 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 치환성 마그네슘 2.1 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 치환성 나트륨 0.05 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> 및

**Table 1. Chemical properties of orchard soils as affected by topography, texture and crop.**

Parameter	pH	EC	OM	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. Cation				LR	Sample
					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>				kg ha <sup>-1</sup>	
Minimum	4.8	0.19	10	249	0.54	2.1	0.7	0.01	0	
Maximum	7.1	2.54	47	1,437	2.40	14.9	4.9	0.23	3,000	
Mean	6.2	0.68	29	786	1.36	7.7	2.1	0.05	1,110	25
Soil topography										
Fan & valley	6.3a <sup>†</sup>	0.41a	22b	631b	1.16a	6.9a	2.0a	0.04a	975a	10
Hill areas	6.0a	0.90a	31ab	841ab	1.50a	7.7a	1.9a	0.07a	1,500a	9
Inclined piedmont	6.3a	0.80a	37a	963a	1.47a	9.1a	2.7a	0.06a	750a	6
Soil textures										
Silt loam	6.3a	0.49a	24a	670a	1.35a	7.9a	2.2a	0.04a	917a	9
Sandy loam	7.1a	0.48a	35a	582a	0.89a	5.4a	1.4a	0.07a	375a	2
Loam	6.1a	0.83a	32a	890a	1.43a	7.9a	2.2a	0.06a	1,339a	14
Crop										
Sweet persimmon	6.2a	0.67a	29a	805a	1.34a	7.4a	2.3a	0.05a	1,212a	13
Pear	6.2a	0.47a	30a	734a	1.39a	8.5a	2.1a	0.03a	1,125a	6
Peach	6.2a	0.77a	25a	813a	1.28a	9.0a	1.7a	0.08a	1,125a	4
Apple	6.2a	1.15a	38a	770a	1.56a	5.4a	1.7a	0.08a	375a	2
Optimum level	6.0-6.5	-	25-35	200-300	0.3-0.6	5.0-6.0	1.5-2.0	-	-	-

<sup>†</sup>Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

석회요구량은 1,110 kg ha<sup>-1</sup>로 적정수준 (NIAST, 2006) 보다 유효인산은 2.6배, 치환성 칼륨은 2.3배 그리고 치환성 칼슘은 1.3배 높았다. 국립농업과학기술원 (NIAST, 2007)에서 전국 과수원 토양 1,360점을 분석한 결과 표토의 pH 5.9, 전기전도도 0.70 dS m<sup>-1</sup>, 유효인산 696 mg kg<sup>-1</sup>, 치환성 칼륨 함량은 0.94 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 치환성 칼슘 함량은 6.7 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 치환성 마그네슘 함량은 1.8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 치환성 나트륨 함량은 0.21 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> 그리고 석회소요량은 1,640 kg ha<sup>-1</sup>이었다. 또한 적정수준은 pH 23.6%, 유기물 31.7%, 유효인산 7.1%, 치환성 칼륨 25.9%, 치환성 칼슘 13.7%, 치환성 마그네슘 22.3% 정도였고 과잉비율은 유효인산 84.4%, 치환성 칼륨 63.9%, 치환성 칼슘 50.8%라고 보고한 결과와 일치하였다. 본 연구결과에서 토양의 유효인산과 치환성 칼륨 함량의 증가는 국립농업과학기술원 (NIAST, 2007)의 보고와 같이 가축분의 사용량을 감안하지 않고 화학비료를 사용함으로 토양에 축적된 것으로 판단되었으며 가축분 사용 시 인산과 칼리질 비료의 시비를 대폭 감축하여야 할 것으로 생각된다. 따라서 경남 과수원 토양의 합리적인 관리를 위해서는 토양검정에 의한 시비처방이 시급한 것으로 생각되었다.

지형에 따라 토양 유기물 함량은 산록경사지에서 37 g kg<sup>-1</sup>으로 다른 지형에 비해 유의적으로 함량이 높았다 ( $p < 0.05$ ). 토양의 유기물 함량의 증가에 따라 토양의 유효인산 함량도 963 mg kg<sup>-1</sup>으로 유의적인 증가를 보였으나 ( $p < 0.05$ ) 다른 화학성분은 유의적인 차이가 없었다. 이러한 경향은 평탄작업을 해야하는 논과 시설 토양과는 다르게 경사지가 많이 분포하고 있는 경남의 과수원 토양에서는 용탈에 의

한 비료의 손실이 많을 것을 판단한 농가에서 퇴비사용량이나 화학비료를 과다하게 사용한 결과로 해석되었다 (Lee et al., 2010a; NIAST, 2007). 밭 토양의 토성별 유기물 함량은 사양토에서 35 g kg<sup>-1</sup>으로 미사질양토 24 g kg<sup>-1</sup>에 비해 높았으나 유의성은 없었다. 양토에서는 유효인산 함량과 치환성 칼륨 함량이 높아 토양의 염류농도가 0.83 dS m<sup>-1</sup>로 다른 토성에 비해 높은 경향이었으나 유의성은 없었다. 과종별 토양 화학성분은 사과 재배지가 유기물 함량 38 g kg<sup>-1</sup>, 치환성 칼륨 함량이 1.56 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>으로 높았고, 토양 염류농도 또한 1.15 dS m<sup>-1</sup>로 가장 높았으나 다른 작물과의 차이는 없었다.

**과수원 토양 미생물 다양성 비교** 경남지역 과수원 토양의 미생물 다양성을 지형, 토성과 작물별로 분석한 결과는 Table 2와 같다. 경남지역 과수원 토양 25개소의 평균값은 호기성 세균이 12.4×10<sup>6</sup> CFU g<sup>-1</sup>, 그람음성세균 4.9×10<sup>5</sup> CFU g<sup>-1</sup>, 바실러스균 8.0×10<sup>5</sup> CFU g<sup>-1</sup>, 곰팡이 9.0×10<sup>4</sup> CFU g<sup>-1</sup>, 형광성 슈도모나스균 12.1×10<sup>3</sup> CFU g<sup>-1</sup>, coliform 그룹이 7.6×10<sup>3</sup> CFU g<sup>-1</sup>, 토양 미생물 탄소량은 356 mg kg<sup>-1</sup>, 탈수소효소 활성은 34.1 μg TPF g<sup>-1</sup> 24h<sup>-1</sup>이었다. 국립농업과학기술원 (NIAST, 2007)의 보고에 따르면 과수원 토양의 미생물수는 세균 10.6×10<sup>6</sup> CFU g<sup>-1</sup>, 방선균 9.1×10<sup>5</sup> CFU g<sup>-1</sup>, 사상균 4.6×10<sup>4</sup> CFU g<sup>-1</sup>, 중온성 *Bacillus* 183.4×10<sup>4</sup> CFU g<sup>-1</sup>, 고온성 *Bacillus* 10.5×10<sup>4</sup> CFU g<sup>-1</sup>, 그람 음성균 77.2×10<sup>4</sup> CFU g<sup>-1</sup>, 형광성 *Pseudomonas* 8.6×10<sup>4</sup> CFU g<sup>-1</sup>, coliform은 41.2×10<sup>3</sup> CFU g<sup>-1</sup> 그리고 미생물체량 탄소량은 255.4 mg kg<sup>-1</sup>으로 본 연구의 분석결과와 유사

**Table 2. Microbial diversity (colony forming unit per g) of orchard soils as affected by topography, texture and crop.**

Parameter <sup>†</sup>	Bacteria	<i>B. sp.</i>	Fungi	FP	Gm(-)	CG	SMBC	DHA	Sample
	×10 <sup>6</sup>	×10 <sup>5</sup>	×10 <sup>4</sup>	×10 <sup>3</sup>	×10 <sup>5</sup>	×10 <sup>3</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	μgTPF g <sup>-1</sup> 24h <sup>-1</sup>	
Minimum	1.8	1.2	2.4	0.3	0.7	0.0	195	7.6	
Maximum	39.0	24.4	21.1	40.2	28.6	46.8	621	85.2	
Mean	12.4	8.0	9.0	12.1	4.9	7.6	356	34.1	25
Soil topography									
Fan & valley	17.2a <sup>‡</sup>	8.8a	10.4a	14.1a	6.2a	3.6a	316a	34.3a	10
Hill areas	8.8a	6.8a	8.2a	10.5a	3.6a	10.9a	386a	28.1a	9
Inclined piedmont	9.7a	8.6a	7.9a	11.3a	4.9a	9.5a	377a	42.6a	6
Soil textures									
Silt loam	17.3a	10.9a	11.1a	16.2a	5.3a	8.3a	359a	35.4a	9
Sandy loam	10.6a	13.6a	4.3b	5.9b	8.4a	2.3a	239a	32.0a	2
Loam	9.4a	5.3a	8.3ab	10.4ab	4.2a	8.0a	371a	33.5a	14
Crop									
Sweetpersimmon	14.1a	5.6a	7.7a	12.0a	6.2a	8.1a	310ab	27.9a	13
Pear	10.6a	11.7a	9.8a	12.3a	4.3a	10.4a	437a	39.4a	6
Peach	10.4a	8.7a	12.9a	14.4a	2.5a	3.3a	436a	47.8a	4
Apple	10.7a	11.0a	6.9a	7.5a	3.4a	4.9a	249b	30.4a	2

<sup>†</sup>Gm(-), Gram-negative bacteria; *B. sp.*, *Bacillus* sp.; FP, Fluorescence *Pseudomonas* sp.; CG, Coliform group; SMBC, soil microbial biomass C content; DHA, dehydrogenase.

<sup>‡</sup>Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

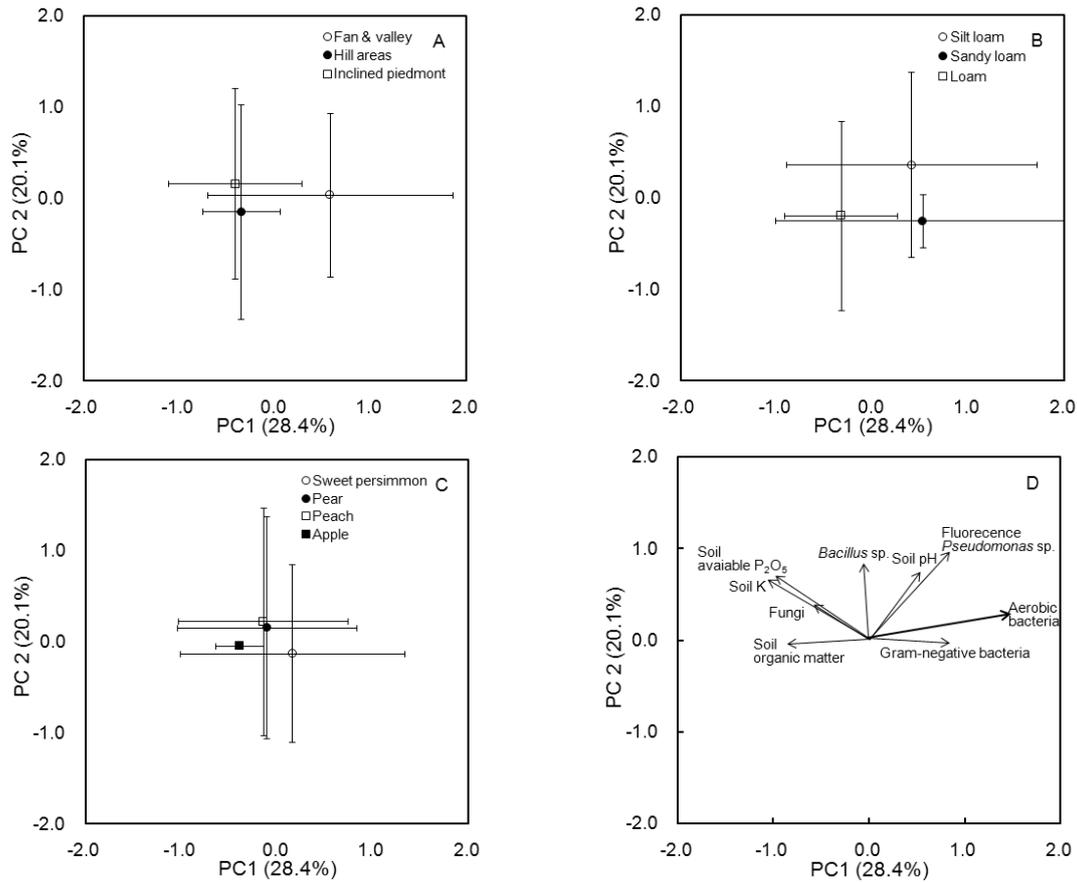


Fig. 1. Principal component analysis between chemical properties and microbial diversity of orchard soils as affected by topography (A), texture (B), crop (C) and loading values of the individual parameter (D). The variance explained by the each principal component (PC) axis is shown in parentheses. Bars represent one standard deviation of the mean.

하였다. 특히 과수원 토양의 coliform 미생물의 개체수는 시설 토양, 밭 토양 및 논 토양의 coliform 미생물 개체수보다 많은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 미부숙된 가축 분 퇴비의 과다사용에 의한 영향으로 판단되므로 향후 토양 양분관리 뿐만 아니라 토양 미생물의 환경관리를 위해 적정시비가 필요할 것으로 판단되었다. 그리고 미생물의 개체수도 최소값과 최대값의 차이가 크게 나타나 과수원 토양 화학성과 유사한 결과를 보였다. 따라서 미생물의 다양성을 유지하기 위해서는 토양 양분관리와 더불어 생태계의 다양성을 지속할 수 있는 체계를 구축해야 할 것으로 생각되었다.

경남지역 지형별 과수원 토양의 세균 개체수는 곡간 및 선상지가  $17.2 \times 10^6$  CFU  $g^{-1}$ 로서 산록경사지  $9.7 \times 10^6$  CFU  $g^{-1}$  및 구릉지  $8.8 \times 10^6$  CFU  $g^{-1}$  보다 많았으나 유의적인 차이는 없었다. 뿐만 아니라 토양 바실러스균, 곰팡이균, 형광성 슈도모나스균, 그람음성 세균, coliform 그룹, 토양 미생물 탄소량과 탈수소효소 활성은 지형에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

미사질양토에서는 토양 곰팡이균이  $11.1 \times 10^4$  CFU  $g^{-1}$ 로 사양토  $4.3 \times 10^4$  CFU  $g^{-1}$ 에 비해 유의적으로 많았으며

( $p < 0.05$ ) 양토  $8.3 \times 10^4$  CFU  $g^{-1}$  보다도 많은 수준을 보였다. 그리고 형광성 슈도모나스균 개체수도 곰팡이균과 유사한 결과를 나타냈으나 나머지 미생물 개체수는 토성에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 과종별 토양 미생물 탄소량은 배 재배지에서  $437 \text{ mg kg}^{-1}$  그리고 복숭아 재배지에서  $436 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 사과 재배지  $249 \text{ mg kg}^{-1}$ 에 비해 유의적으로 높았으나 다른 미생물 특성은 유의적인 차이가 없었다. 따라서 위의 결과로 볼 때 경남지역 과수원 토양의 미생물 다양성은 지형과 작물에 따른 영향보다 토성에 따른 영향이 보다 크게 나타나는 것으로 생각되었다.

**과수원 토양 화학성분과 미생물 주성분 분석** 토양의 건강성을 표현하는 방법으로 Warkentin and Fletcher (1977)는 여러 가지 측면에서 고려해야 하며 한가지 요인으로 평가할 수 없다고 하였다. 최근에는 여러 가지 요인을 몇 가지의 성분으로 추출하여 설명하고 예측할 수 있는 주성분 분석방법을 이용하고 있다 (Cho et al., 2005; Choi et al., 2010; Lee et al., 2010b; Lee et al., 2011). 경남지역 과수원 토양의 화학성분과 미생물 다양성의 주성분 분석 결과는 Fig. 1과 같다. 주성분 분석결과 제 1주성분이 28.4%,

제 2주성분이 20.1%로서 전체 48.5%의 자료를 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 제 1주성분은 토양의 세균 개체수가 가장 크게 기여하였으며 형광성 슈도모나스균, 그람 음성 세균, 토양 pH의 순으로 정의 기여를 하였으며 토양 치환성 칼륨 및 토양 유효인산 함량은 부의 기여를 하는 것으로 나타났다 (Fig. 1D). 또한 토양 유효인산 함량과 토양 치환성 칼륨 함량은 유의적인 정의 상관관계를 보였으며 토양 pH는 형광성 슈도모나스균과 정의 상관관계를 나타냈다. 그러나 주성분 분석결과 지형, 토성 및 작물별 차이점은 없었으며 다른 조건보다 토성에 따른 차이가 지형 및 작물 보다 크게 나타났다 (Fig. 1A, B, C). 주성분 분석결과와의 유의적인 차이가 나타나지 않는 것은 표본 개체수가 적은 것도 있지만 토양 화학성과 미생물 다양성이 지형, 토성 및 작물 등의 어떤 주어진 조건에 반응하는 것이 아니라 복잡한 관계를 형성하고 있어 토양 생태계 관리가 매우 어렵다는 것을 반증하는 것으로 판단되었다. 따라서 토양에 투입된 양분수지를 고려하여 주성분 분석을 지속적으로 모니터링 한다면 토양 화학성과 미생물 다양성을 유지할 수 있는 방안을 찾을 수 있을 것으로 기대되었다.

## 요 약

경남지역 과수원 토양 25개소를 대상으로 2010년에 토양 화학성분과 미생물 다양성을 검토하고 토성, 지형 및 작물별 주요 변동요인을 주성분분석으로 해석하였다. 토양 유효인산 및 치환성 칼륨 함량은 적정수준 보다 각각 2.6배 및 2.3배 높았으며 대부분 토양 화학성분의 최소값과 최대값 차이가 크게 나타났다. 지형적으로 산록경사지는 토양 유효인산 함량이 유의적으로 높았고 ( $p<0.05$ ) 미사질양토에서 곰팡이와 형광성 슈도모나스균 개체수가 사양토 보다 유의적으로 높았다 ( $p<0.05$ ). 주성분 분석결과 제 1주성분이 28.4%, 제 2주성분이 20.1%로서 전체 48.5%의 자료를 설명할 수 있었으며 제 1주성분은 토양의 세균 개체수가 가장 크게 기여하였다. 토양 유기물 함량은 곰팡이 개체수와 정의상관을 보인 반면 세균 개체수와 부의상관을 나타냈다.

## 사 사

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

## 인 용 문 헌

Cho, I.H., Y.S. Kim, and K.D. Zoh. 2005. A case study on the comparison and assessment between environmental

- impact assessment and post-environmental investigation using principal component analysis. *Kor. J. Env. Hlth.* 31(2):134-146.
- Cho, J.Y., K.W. Han, J.K. Choi, Y.J. Kim, and K.S. Yoon. 2002. N and P losses from a paddy field plot in central Korea. *Soil Sci. Plant Nutr.* 48:301-206.
- 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.* 43:153-159.
- Dindal, D.L. 1990. Soil sampling and method of analysis. *Soil Biology Guide.* Wiley Interscience.
- Heo, J.Y., S.T. Lee, M.G. Kim, K.P. Hong, W.D. Song, C.W. Rho, J.S. Cho, and Y.H. Lee. 2010. Relationship between the incidence of bitter pit and the application level of crushed oyster shell in apple orchard. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:637-643.
- James, N. 1958. Soil extract in soil microbiology. *Can. J. Microbiol.* 4:363-370.
- Jung, K.H., S.O. Hur, S.G. Ha, C.W. Park, and H.H. Lee. 2007. Runoff pattern in upland soils with various soil texture and slope at torrential rainfall events. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40:208-213.
- Jung, Y.T., E.S. Yun, J.K. Kim, I.S. Son, J.D. So, and Y.K. Jo. 1993. Establishment of soil suitability classification system for sweet persimmon in Yeongnam area. *RDA J. Agric Sci. Soil Fert.* 35:245-251.
- Kato, K. and K. Itho. 1983. New selective media for *Pseudomonas* strains producing fluorescent pigment. *Soil Sci. Plant Nutr.* 29(4):525-532.
- Martin, J.P. 1950. Use of acid, rose Bengal and streptomycin in the plate method for estimating soil fungi. *Soil Sci.* 69:215-232.
- Lee, H.H., S.K. Ha, S.O. Hur, K.H. Jung, W.T. Kim, and K.H. Kim. 2006. Characteristics of runoff and percolation on sloping land with different soil textures. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39:268-273.
- Lee, S.H., W.S. Kim, K.Y. Kim, T.H. Kim, H. Whangbo, W.J. Jung, and S.J. Chung. 2003. Effect of chitin compost incorporated with chitinolytic bacteria and rice bran on chemical properties and microbial community in pear orchard soil. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 44:201-206.
- Lee, Y.H., S.T. Choi, S.T. Lee, K.P. Hong, W.D. Song, J.H. Lee, and J.S. Cho. 2010a. Seasonal change in the soil chemical properties from sweet persimmon orchard in Gyeongnam Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43: 572-577.
- Lee, Y.H., S.T. Lee, J.Y. Heo, M.G. Kim, K.P. Hong, W.D. Song, C.W. Rho, J.H. Lee, W.T. Jeon, B.G. Ko, K.A. Roh, and S.K. Ha. 2010b. Monitoring of chemical properties from paddy soil in Gyeongnam Province.

- Korean J. Soil Sci. Fert. 43:140-146.
- 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.* 44:118-126.
- Manna, M.C. and M.V. Singh. 2001. Long-term effects of intercropping and bio-litter recycling on soil biological activity and fertility status of sub-tropical soils. *Biores. Technol.* 76:143-150.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Analytical methods of soil and plant. NIAST, Suwon, Korea.
- NIAST. 2006. Fertilizer recommendation for crops. NIAST, RDA, Suwon, Korea.
- NIAST. 2007. Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality in 2006. NIAST, RDA, Suwon, Korea.
- Peters, J.B. 2000. Gambian soil fertility trends, 1991-1998. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31:2201-2210.
- RDA (Rural development administration). 1983. Soil in Korea. RDA, Suwon, Korea.
- 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.
- Suh, J.S. and J.S. Shin. 1997. Soil microbial diversity of paddy field in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 30:200-207.
- Suh, J.S. 1998. Soil microbiology. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31(S):76-89.
- Sukul, P. 2006. Enzymatic activities and microbial biomass in soil as influenced by metalaxyl residues. *Soil Biol. Biochem.* 38:320-326.
- Tang, J., B. Zhang, C. Gao, and H. Zepp. 2008. Hydrological pathway and source area of nutrient losses identified by a multi-scale monitoring in an agricultural catchment. *Catena* 72:374-385.
- Vance, E. D., P. C. Brookes, and D. S. Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass carbon. *Soil Biol. Biochem.* 19:703-707.
- Warkentin, B.P., and H.F. Fletcher. 1977. Soil quality for intensive agriculture. p. 594-598. In *Proceedings of international seminar on soil environment and fertilizer management in intensive agriculture*. Soc. Sci. Soil and Manure and Natl. Inst. Of Agric. Sci., Tokyo, Japan.