

경남지역 밭 토양 화학성분이 미생물 생태에 미치는 영향

이영한 · 하상건^{1*}

경상남도농업기술원, ¹국립농업과학원

Impacts of Chemical Properties on Microbial Population from Upland Soils in Gyeongnam Province

Young-Han Lee and Sang-Keun Ha^{1*}

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

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

Soil management for environment-friendly agriculture depends on the effects of soil microbial activities and soil fertility. To improve soil health for the upland crops, this study evaluated a relationship between soil chemical properties and soil microbial diversities at 25 sites in upland soils in Gyeongnam Province. The average nutrients in the upland soils were 1.7 times for available phosphorous, 1.4 times for exchangeable potassium and 1.5 times for exchangeable calcium higher compared to recommend concentrations in the upland soils. We found a significant positive correlation between the soil organic matter and the soil microbial biomass C ($p<0.01$). Contents of organic matter and dehydrogenase in the inclined piedmont soils were significantly higher than those in the other topographical soils ($p<0.05$). In addition, concentrations of organic matter and microbial biomass C in the loam soils were significantly higher than in the silt loam soils ($p<0.05$). In principal component analyses of chemical properties and microbial populations in the upland soils, our findings suggested that available phosphorous should be considered as potential factor responsible for the clear upland soils differentiation. The soil organic matter was positive correlation with *Bacillus* sp. and fungi, whereas soil pH was also positive correlation with *Pseudomonas* sp. in upland soils.

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

서 언

농업은 녹색 경관이나 쾌적한 환경을 조성하여 삶의 질을 향상시키고 토양 미생물에 의한 생태계의 순환과 더불어 환경과 가장 조화된 산업이다 (Pollock et al., 2008, Pretty, 2008; Zhao et al., 2008). 과거 90년대는 토양 비옥도를 증진시켜 작물의 생산성을 높이는데 중점을 두었지만 (Peters, 2000) 환경에 대한 중요성이 대두되면서 토양 미생물의 기능과 집적된 양분이 환경으로 유출될 수 있는 가능성을 평가하고 2차 오염을 방지하는 것이 중요하게 되었다 (Cho et al., 2002; Tang et al., 2008). 이러한 관점에서 미생물에 의한 토양 건전성 유지는 환경 보전을 위해 매우 중요하다. 토양의 건전성은 미생물의 수, 미생물체량, 효소활성 등을 고려하여 토양 비옥도와 관련되어 있다 (Suh, 1998). 일반적으로 밭 토양의 pH는 형광

성 슈도모나스균, 고온성 바실러스균과 정의 상관성이 있으며 토양 EC는 호알카리성균, 고온성 바실러스균 및 세균 등과 정의 상관관계를 가지고 있다 (NIAST, 2006a). 형광성 슈도모나스균은 밭 토양의 EC와 유의한 부의상관이 있으며, 2.0 dS m⁻¹ 이상이 되면 균의 활성이 크게 감소된다고 하였다 (NIAST, 2006a). 또한 대장균류는 생육 불량지 및 염류집적지에서 밀도가 높고 유기물 함량과 고온성 바실러스균 간에도 고도의 정의 상관성이 있다 (Kwon et al., 1998). 또한 유기물을 장기연용할 경우 녹비시용구는 바실러스균과 그람음성 세균이 우점하였으나 미생물체량은 돈분퇴비를 사용한 구에서 높은 것으로 보고되었다 (Suh et al., 2010).

미생물의 다양성은 환경변화에 민감하게 반응하며 결국 환경에 적응한 균이 토양에서 우점하게 된다. 따라서 토양의 건강 회복 (Health Recovery), 즉 친환경농업을 통해 먹을거리의 건강, 생태계의 건강, 지역사회의 건강, 농민 삶의 건강이 모두 회복되기 위해서는 토양 비옥도 관리와 더불어 토양 미생물의 다양성을 함께 검토해야 한다. 따라

접수 : 2011. 3. 18 수리 : 2011. 4. 7

*연락처 : Phone: +82312900337

E-mail: ha0sk@korea.kr

서 본 연구는 경남지역 밭 토양 25개소를 대상으로 2009년에 토양 화학성분과 미생물 다양성을 검토하였으며 주 성분분석에 의한 토성, 지형 및 작물별 주요 변동요인을 해석하여 효율적인 토양 양분 및 미생물 관리를 위한 기초 자료를 제공하는데 목적이 있다.

재료 및 방법

밭 토양 지점 선정 및 시료채취 방법 경남지역 밭 토양의 화학성분과 미생물상의 관계를 분석하기 위하여 2009년에 토양 유형, 지형 및 토성 (RDA, 1983)과 분포면적 비율을 기준으로 25개 지점을 선정하였다. 토양은 비료를 사용하기 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 통과된 것을 화학성분 분석에 사용하였다. 화학성분 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)을 적용하여 pH와 EC는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 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 측정하였으며 유효인산은 Lancaster법으로 비색계 (UV-1650PC, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 사용하였다. 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 나트륨 등의 양이온은 1M NH₄OAc로 추출하여 ICP (AAAnalyst 300, Perkin-Elmer, Norwalk, USA)로 분석하였다.

토양 미생물과 활성 분석 채취한 토양은 -80°C에 2일간 보관하여 동결건조 한 후 미생물을 조사하였다 (Schutter and Dick, 2000). 토양 호기성 세균은 cycloheximide 50 µg mL⁻¹ (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 증온성균, 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

밭 토양 화학성분 비교 경남지역 밭 토양의 화학성분을 지형, 토성과 작물별로 분석하였다 (Table 1). 경남지역 밭 토양 25개소의 평균값은 pH 6.4, 유기물 28 g kg⁻¹, 유효인산 853 mg kg⁻¹, 치환성 칼륨 0.81 cmol_c kg⁻¹, 치환성 칼슘 8.7, 치환성 마그네슘 1.7, 치환성 나트륨 0.14 및 석회요구량은 929 kg ha⁻¹로 적정수준 (NIAST, 2006)보다 유효인산 및 치환성 칼륨과 칼슘 함량이 높았고 pH, 유기물, 치환성 마그네슘 함량은 적정수준을 유지하였다. 그러나 최소값과 최대값의 차이가 크게 나타나 합리적인 영농을 위해서는 토양검정에 의한 시비처방이 시급한 것으로 생각된다. 이는 국립농업과학기술원 (NIAST, 2010)에서 전국 밭 토양 1,753점을 분석한 결과 적정수준은 pH 22.7%, 유기물 20.9%, 유효인산 18.1%, 치환성 칼륨 9.0%, 치환성 칼슘 14.5%, 치환성 마그네슘 18.1% 정도였고 과잉비율은 유효인산 53.5%, 치환성 칼륨 54.8%, 치환성 칼슘 40.8%라고 보고한 결과와 일치하였다. 본 연구결과에서 토양의 유효인산과 치환성 칼륨 함량의 증가는 국립농업과학기술원 (NIAST, 2010)의 보고와 같이 가축분의 사용량을 감안하지 않고 화학비료를 사용함으로써 토양에 축적된 것으로 판단되었으며 가축분 사용 시 인산과 칼리질 비료의 시비를 대폭 감축하여야 할 것으로 생각된다.

지형에 따라 토양 유기물 함량은 산록경사지에서 50 g kg⁻¹으로 다른 지형에 비해 유의적으로 함량이 높았다 ($p < 0.05$). 토양의 유기물 함량의 증가에 따라 토양의 치환성 칼륨 함량도 1.32 cmol_c kg⁻¹으로 유의적인 증가를 보였으나 다른 화학성분은 유의적인 차이가 없었다. 이러한 경향은 평탄작업을 해야하는 논 토양과는 다르게 밭 토양에서는 산록경사지처럼 경사가 있는 곳에서는 용탈에 의한 비료의 손실이 많을 것을 판단한 농가에서 퇴비사용량이나 화학비료를 과다하게 사용한 결과로 해석되었다 (Lee et al., 2010; NIAST, 2010). 밭 토양의 토성별 유기물 함량은 양토에서 31 g kg⁻¹으로 미사질양토 15 g kg⁻¹에 비해 유의적으로 높았다 ($p < 0.05$). 사양토는 양분 보유력이 낮아지기 때문에 염류농도가 1.45 dS m⁻¹, 유효인산 함량이 1,207 mg kg⁻¹으로 다른 토성에 비해 높은 경향이었으나 유의성은 없었다. 작물별 밭 토양 화학성분은 고구마 재배지가 치환성 칼슘 함량이 12.9 cmol_c kg⁻¹으로 감자 재배지에 비해 유의적으로 높았으나 다른 작물과의 차이는 없었다.

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

Parameter	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cation				LR	Sample
					K	Ca	Mg	Na		
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----		kg ha ⁻¹	
Minimum	4.7	0.13	7	151	0.15	3.7	0.9	0.04	0	
Maximum	7.7	4.11	64	2,600	2.09	21.9	3.5	0.60	3,000	
Mean	6.4	1.02	28	853	0.81	8.7	1.7	0.14	929	25
Soil topography										
Fan & valley	6.5a [†]	1.18a	30b	966a	0.83ab	8.7a	1.7ab	0.13a	880a	13
Hill areas	6.4a	0.79a	20bc	547a	0.50b	10.1a	1.6ab	0.13a	880a	6
Inclined piedmont	5.8a	1.20a	50a	880a	1.32a	7.7a	2.4a	0.24a	1,880a	3
River sider plain	6.4a	0.33a	10c	679a	0.59ab	4.9a	1.1b	0.08a	580a	3
Soil textures										
Silt loam	6.0a	0.65a	15b	593a	0.34a	7.8a	1.9a	0.11a	132a	4
Sandy loam	6.5a	1.45a	28ab	1,207a	0.97a	7.4a	1.4a	0.14a	63a	7
Loam	6.4a	0.86a	31a	693a	0.81a	9.2a	1.8a	0.14a	103a	14
Crop										
Potato	6.1a	1.17a	22a	1,080a	0.99a	5.9b	1.5a	0.12a	105a	5
Sweetpotato	7.1a	0.76a	30a	832a	0.93a	12.9a	1.7a	0.12a	35a	5
Pepper	6.0a	1.31a	26a	916a	0.87a	7.4ab	1.7a	0.20a	148a	5
Sesame	6.3a	1.01a	35a	754a	0.54a	7.9ab	1.8a	0.11a	105a	5
Soybean	6.3a	0.70a	26a	521a	0.58a	8.3ab	1.7a	0.12a	88a	5
Optimum level	6.0-6.5	-	20-30	300-500	0.5-0.6	5.0-6.0	1.5-2.0	-	-	-

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

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

Parameter [‡]	Bacteria	Gm(-)	<i>B. sp.</i>	Fungi	FP	CG	SMBC	DHA	Sample
	×10 ⁶	×10 ⁵	×10 ⁵	×10 ⁴	×10 ³	×10 ²	mg kg ⁻¹	μgTPF g ⁻¹ 24h ⁻¹	
Minimum	6.7	1.5	2.9	4.0	0.6	0.9	48	18	
Maximum	44.0	79.1	80.9	22.1	79.1	71.9	598	317	
Mean	17.5	15.2	15.9	11.4	18.0	16.9	268	71	25
Soil topography									
Fan & valley	18.7a [‡]	17.7a	18.4a	12.8a	19.7a	9.2a	295ab	61b	13
Hill areas	13.4a	12.6a	11.4a	10.9ab	18.8a	24.0a	192b	61b	6
Inclined piedmont	19.5a	11.6a	13.6a	10.5ab	18.7a	18.1a	426a	149a	3
River sider plain	14.9a	10.2a	13.1a	6.9b	5.8a	32.6a	128b	46b	3
Soil textures									
Silt loam	9.4a	11.0a	8.7a	11.0a	14.7a	32.7a	135b	48a	4
Sandy loam	16.7a	8.9a	25.3a	12.0a	6.0a	17.1ab	235ab	57a	7
Loam	19.4a	18.9a	12.6a	11.2a	24.5a	11.9b	318a	83a	14
Crop									
Potato	17.5a	22.3a	15.7a	10.5a	19.5a	23.3a	233a	55a	5
Sweetpotato	15.3a	13.7a	16.9a	13.7a	26.0a	25.4a	200a	81a	5
Pepper	24.0a	19.0a	9.5a	10.7a	18.2a	12.3a	308a	63a	5
Sesame	15.9a	12.3a	26.0a	11.9a	12.3a	14.1a	310a	98a	5
Soybean	12.6a	6.9a	9.5a	10.1a	12.8a	8.2a	278a	51a	5

[‡]Gm(-), Gram-negative bacteria; *B. sp.*, *Bacillus sp.*; FP, Fluorescence *Pseudomonas sp.*; CG, Coliform group; SMBC, soil microbial biomass C content; DHA, dehydrogenase. [‡]Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

밭 토양 미생물 다양성 비교 경남지역 밭 토양의 미생물 다양성을 지형, 토성과 작물별로 분석한 결과는 Table 2와 같다. 경남지역 밭 토양 25개소의 평균값은 호기성 세균이 17.5×10⁶ CFU g⁻¹, 그람음성세균 15.2×10⁵

CFU g⁻¹, 바실러스균 15.9×10⁵ CFU g⁻¹, 곰팡이 11.4×10⁴ CFU g⁻¹, 형광성 슈도모나스균 18.0×10³ CFU g⁻¹, coliform 그룹이 16.9×10² CFU g⁻¹, 토양 미생물체량은 426 mg kg⁻¹, 탈수소효소 활성은 71 μg TPF g⁻¹ 24 h⁻¹이었다. Yoo et al.

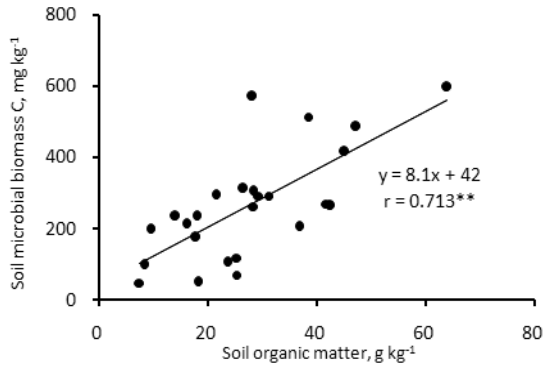


Fig. 1. Correlation between soil organic matter and soil microbial biomass C content ($n=25$).

(1984)은 우리나라 밭 토양의 평균 미생물 개체수는 건조 1 g당 세균 8.9×10^6 CFU, 방선균 30.1×10^5 CFU, 사상균 73.4×10^4 CFU 정도라고 하였고 Shu et al. (1997)은 호기성세균 6.8×10^6 CFU, 방선균 17.6×10^5 CFU, 사상균 17.4×10^4 CFU, 형광성 슈도모나스균 27.3×10^3 CFU, 대장균류가 57.3×10^2 CFU 라고 하였다. 경남지역 밭 토양은 이들의 연구결과 보다 호기성 세균 개체수는 높은 반면 곰팡이 개체수는 낮은 특성을 나타냈다. 그러나 미생물의 다양성도 최소값과 최대값의 차이가 크게 나타나 밭 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 밭 토양의 곰팡이 개체수는 곡간 및 선상지가 12.8×10^4 CFU g^{-1} 로서 하성평탄지 6.9×10^4 CFU g^{-1} 보다 유의적으로 높았다 ($p<0.05$). 그리고 토양 미생물체량과 탈수소효소 활성은 산록경사지에서 426 mg kg^{-1} 및 $149 \mu\text{g TPF g}^{-1} 24 \text{ h}^{-1}$ 으로 다른 지형에 비해 유의적으로 높았다 ($p<0.05$). 산록경사지에서 토양 미생물체량과 탈수소효소 활성이 높은 것은 Table 1과 같이 토양의 유기물 함량이 50 g kg^{-1} 으로 다른 지형에 비해 높은데 기인된 것으로 판단되었다. 그러나 다른 미생물 개체수는 지형조건에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 토성에 따른 토양의 coliform 그룹은 미사질양토에서 32.7×10^2 CFU g^{-1} 으로 사양토 17.1×10^2 CFU g^{-1} 과 양토 11.9×10^2 CFU g^{-1} 에 비해 유의적으로 많은 수준을 보였다. 그리고 토양 미생물체량은 양토에서 318 mg kg^{-1} 으로 미사질양토 135 mg kg^{-1} 보다 유의적으로 높았다. 나머지 미생물 개체수는 토성에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 국립농업과학원 (NIAS, 2006) 연구결과에서 중온성 바실러스균은 사토 2.3×10^6 CFU g^{-1} , 사양토 2.7×10^6 CFU g^{-1} , 양토 3.7×10^6 CFU g^{-1} , 식양토 3.8×10^6 CFU g^{-1} , 식토 7.7×10^6 CFU g^{-1} 순이었고 미생물체량은 양토에서 대체적으로 높았다고 보고한 결과와 일치하였다. 작물별 미생물상과 토양 미생물체량 및 탈수소효소 활성은 유의적인 차이가 없었다. 그러나 호기성 세균은

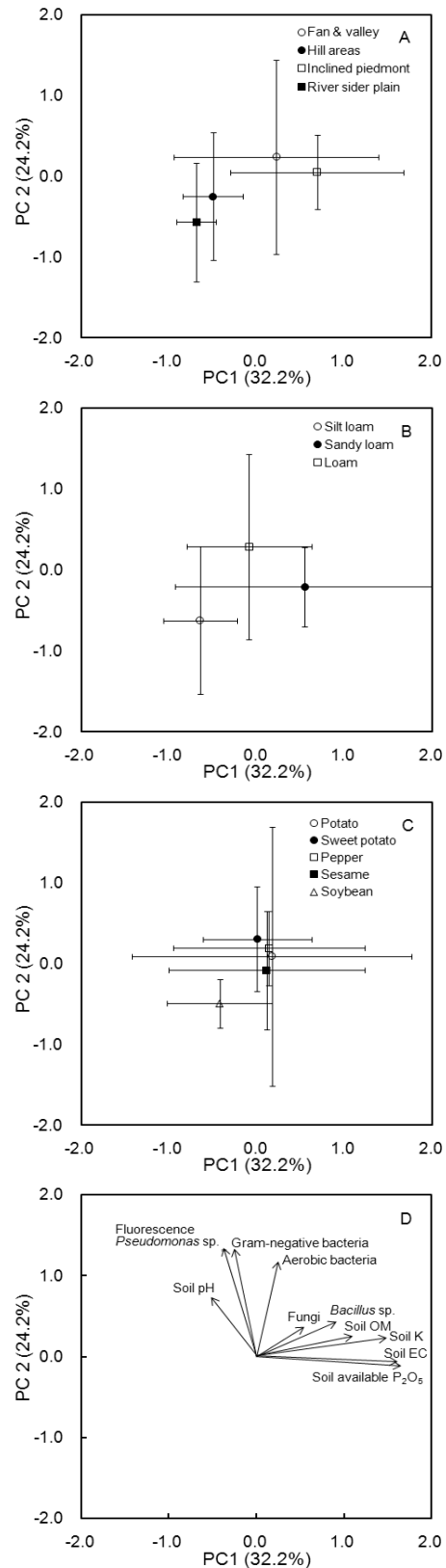


Fig. 2. Principal component analyses between chemical properties and microbial diversity of upland soils as affected by topography (A), texture (B), crop (C) and loading values of the individual parameter (D). The variance explained by the each principal component (PC) axis is shown in parentheses. Bars represent one standard deviation of the mean.

고추 재배지, 바실러스균과 미생물체량 및 탈수소효소 활성은 참깨 재배지, 곰팡이, 형광성 슈도모나스균과 coliform 그룹은 고구마 재배지에서 대체적으로 높은 특성을 나타냈다. 따라서 위의 결과로 볼 때 경남지역 밭 토양의 미생물 다양성은 작물에 따른 영향 보다 지형과 토성에 따른 영향이 보다 크게 나타나는 것으로 생각되었다. 토양 유기물 함량과 토양 미생물체량은 Fig. 1과 같이 유의적인 상관관계를 나타냈다 ($p < 0.01$). 일반적으로 밭 토양의 미생물체량을 평균적인 수준인 300 mg kg^{-1} 으로 지속적으로 관리한다면 토양의 유기물 함량은 30 g kg^{-1} 정도 인 것으로 나타났다. 따라서 농가현장에서 친환경농업을 위한 토양 미생물 관리를 위해서도 과다한 퇴비의 사용보다 토양 분석을 통하여 토양의 유기물 함량을 30 g kg^{-1} 수준으로 관리하는 것이 무엇보다 중요할 것으로 생각되었다.

밭 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., 2010; Lee et al., 2011). 경남지역 밭 토양의 화학성분과 미생물 다양성의 주성분 분석결과는 Fig. 2와 같다. 주성분 분석결과 제1주성분이 32.2%, 제2주성분이 24.2%로서 전체 56.4%의 자료를 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 제1주성분은 토양의 유효인산 함량이 가장 크게 기여하였으며 토양 염류농도, 토양 치환성 칼륨, 토양 유기물 함량, 바실러스균, 곰팡이균의 순으로 정의 기여를 하는 것으로 나타났다. 반면 제2주성분은 형광성 슈도모나스균, 그람음성 세균, 호기성 세균, 토양 pH의 순으로 정의 기여를 하였다 (Fig. 1D). 또한 토양 바실러스균과 곰팡이균은 토양의 유기물 함량과 정의 상관관계를 보였으며 토양 pH는 형광성 슈도모나스균과 정의 상관관계를 나타냈다. 지형별 주성분 분석결과 산록경사지와 곡간 및 선상지는 제1주성분 뿐만아니라 제2주성분과 정의 관계를 보였다 (Fig. 1A). 토성에 따른 주성분 분석결과는 사양토는 제1주성분과 정의 관계를 보인 반면 미사질양토는 부의 관계를 보였다 (Fig. 1B). 작물별 주성분 분석결과는 콩 재배지가 다른 작물 재배지에 비해 제1주성분 및 제2주성분과 부의 관계를 보였으나 처리간 유의적인 차이가 없었다. 주성분 분석결과의 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 지속적으

로 모니터링 한다면 토양 화학성과 미생물 다양성을 유지할 수 있는 방안을 찾을 수 있을 것으로 기대되었다.

요 약

경남지역 밭 토양 25개소를 대상으로 2009년에 토양 화학성분과 미생물 다양성을 검토하고 토성, 지형 및 작물별 주요 변동요인을 주성분분석으로 해석하였다. 토양 유효인산 및 치환성 칼륨과 칼슘 함량은 적정수준 보다 높았으며 대부분의 토양 화학성분이 최소값과 최대값의 차이가 크게 나타났다. 지형적으로 산록경사지는 토양 유기물 함량과 치환성 칼륨 함량이 유의적으로 높았고 ($p < 0.05$) 토성별 유기물 함량은 양토에서 높은 반면에 염류농도와 유효인산 함량은 사양토에서 높았으며 고구마 재배지의 치환성 칼슘 함량은 감자 재배지에 비해 유의적으로 높았다. 지형별 밭 토양의 곰팡이 개체수는 곡간 및 선상지가 하성평단지 보다 유의적으로 많았고 토양 미생물체량과 탈수소효소 활성은 산록경사지가 다른 지형에 비해 유의적으로 높았다 ($p < 0.05$). 토성에 따른 토양의 coliform 그룹은 미사질양토가 사양토와 양토에 비해 유의적으로 높았고 미생물체량은 양토가 미사질양토 보다 유의적으로 높았으나 ($p < 0.05$) 작물별 미생물상과 토양 미생물체량 및 탈수소효소 활성은 유의적인 차이가 없었다. 주성분 분석결과 제1주성분이 32.2%, 제2주성분이 24.2%로서 전체 56.4%의 자료를 설명할 수 있었으며 제1주성분은 토양의 유효인산 함량이 가장 크게 기여하였다. 토양 바실러스균과 곰팡이균은 토양의 유기물 함량과 정의 상관관계를 보였으며 토양 pH는 형광성 슈도모나스균과 정의 상관관계를 나타냈다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ00690 6222011)의 지원에 의해 이루어진 것이다.

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.* 31:134-146.
- 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.
- James, N. 1958. Soil extract in soil microbiology. *Can. J. Microbiol.* 4:363-370.
- Kato, K. and K. Itho. 1983. New selective media for *Pseudomonas* strains producing fluorescent pigment. *Soil Sci. Plant Nutr.* 29(4):525-532.
- Kwon, J.S., J.S. Suh, H.Y. Weon, J.S. Shin. 1998. Evaluation of soil microflora in salt accumulated soils of plastic film house. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31:204-210.
- Küster, E. and S.T. Williams. 1966. Selection of media for isolation of streptomycetes. *Nature (London)* 202:928-929.
- 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, 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. 2010. 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.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Analytical methods of soil and plant. NIAST, Suwon, Korea.
- NIAST. 2006a. Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality in 2005. NIAST, RDA, Suwon, Korea.
- NIAST. 2006b. Fertilizer recommendation for crops. NIAST, RDA, Suwon, Korea.
- NIAST. 2010. Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality in 2009. NIAST, RDA, Suwon, Korea.
- Peters, J.B. 2000. Gambian soil fertility trends, 1991-1998. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31:2201-2210.
- Pollock, C., J. Pretty, I. Crute, C. Leaver, and H. Dalton. 2008. Introduction sustainable agriculture. *Philos Trans R. Soc. B.* 363:445-446.
- Pretty, J. 2008. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philos Trans R. Soc. B.* 363:447-465.
- 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., J.S. Kwon, H.J. Noh. 2010. Effect of the long-term application of organic matters on microbial diversity in upland soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:987-994.
- 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.
- Yoo, I.D., S.Y. Yun, M.G. Lee, J.C. Ryu, and B.L. Huh. 1984. Studies on microflora of the paddy and upland soils of Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 17:406-414.
- Zhao, J., Q. Luo, H. Deng, and Y. Yan. 2008. Opportunities and challenges of sustainable agricultural development in China. *Philos Trans R. Soc. B.* 363:893-904.