

제주지역 농경지 이용유형별 토양 탈수소효소활성과 미생물체량

좌재호* · 문경환 · 최경산 · 김성철 · 고상욱

국립원예특작과학원

Soil Dehydrogenase Activity and Microbial Biomass C in Croplands of JeJu Province

Jae-Ho Joa*, Kyung-Hwan Moon, Kyung-San Choi, Seong-Cheol Kim, and Sang-wook Koh

National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA

1696, Odeung-dong JeJu, JeJu-Do 690-150. Korea

This study was carried out to evaluate the soil dehydrogenase activity and microbial biomass C with soil type and land use in cropland of JeJu region. Soil chemical properties, dehydrogenase activity, and microbial biomass C were analyzed after sampling from upland (50 sites), orchard (50 sites), paddy (30 sites), horticultural facility (30 sites) in March. Average pH values was at 6.3 in upland soil, however soil chemical properties showed a large spatial variations in both orchard and horticultural facility soil. The Zn and Cu contents increased by the continuous application of pig manure compost in some citrus orchard soil. Soil dehydrogenase activity and microbial biomass C were higher in non-volcanic ash than in volcanic ash soil regardless of land use type. Soil dehydrogenase activity was two to four times higher in upland than in the others. It was at $38.7 \text{ ug TPF } 24\text{h}^{-1} \text{ g}^{-1}$ in non-volcanic ash of upland soil. Microbial biomass C content was very high in horticultural facility soil and it showed at 216.8 mg kg^{-1} in non-volcanic ash. Soil dehydrogenase activity showed a positive correlation with organic matter ($r^2=0.59$), Zn ($r^2=0.65$), and Cu ($r^2=0.66$) in non-volcanic ash horticultural facility soil. There was a negative correlation ($r^2=0.57$) between soil organic matter and dehydrogenase activity in volcanic ash upland soil.

Key words: Microbial biomass C, Dehydrogenase, Crop land, Volcanic ash soil

서 언

제주지역 경제에서 농업이 차지하는 비중은 점차 낮아지고 있으나 감귤재배면적은 전체농경지의 약 30%를 차지하고 있다. 한라산을 중심으로 감귤원이 고르게 분포하고 있으나 마늘, 감자, 당근, 양파 등 원예작물은 토양특성을 반영하여 북부와 동부지역에서 대부분 생산되고 있다. 당근 등 일부작물은 전국 생산량의 70% 이상을 차지하고 있지만 장기간 농작물 연작에 의하여 토양의 화학성이 불균형 상태를 보이고 있다. 제주지역 농경지의 대부분이 화산회토양으로 인산비료의 이용률이 낮고 미생물활성이 낮다 (Deenik, 2006; Song, 1990). 1990년대 중반 화학비료 과다시비로 인한 토양산성화, 감귤나무 고사 등 토양관리의 중요성이 강조되면서 토양진단을 통한 적정량의 시비, 유기물 투입, 토양개량제 등의 사용으로 토양의 화학성과 생물상을 개선하기 위한 노력이 진행되어 왔다. 하지만 친환경적인 토양관

리를 위해 축분퇴비, 유기질비료 등 다양한 유기물이 사용되면서 토양에 중금속 집적을 초래 하고 있다 (NIAS, 2012). 토양에 유기물이 사용되면 토양미생물체량과 효소활성이 증가하고 (Crecchio et al., 2004), 미생물에 의해 물질순환이 일어난다. 미생물 활성을 평가하는 지표는 미생물상, 효소활성, 미생물체량, 군집구조 등 다양하다 (Bossio and Scow, 1998). 토양미생물체량 C는 토양 pH와 상관관계 높고 (Kemmitt et al., 2006), 토양비옥도의 상태를 반영하는 토양질의 생물지표로 사용될 수 있다 (Hu and Cao, 2007). 화학비료나 유기물사용은 토양화학성과 미생물활성 (Clegg, 2006; Deenik, 2006)에 영향을 주는데, 유기물이 분해되는 과정에서 수소이온이 분리되면서 탈수소효소활성은 증가한다 (Dinesh et al., 1998). 돈분퇴비 사용은 토양의 아연과 구리를 축적시키고 (Kwon et al., 2003), 아연과 구리함량에 따라 토양효소활성이 증가하거나 불활성화 된다 (Chaperon and Sauv, 2007; Tomoyoshi et al., 2005). 또한 농약살포는 미생물군집의 변화와 사상균의 밀도를 감소시키고 (Metting, 1992), 가축분뇨와 화학비료 장기연용은 미생물활성에 크게 영향을 준다 (Marschner et al., 2003)고

접수 : 2013. 3. 15 수리 : 2013. 4. 5

*연락처 : Phone: +82647412581

E-mail: choa0313@rda.go.kr

하였다. 토양 탈수소효소활성과 미생물체량은 토양온도, 유기물공급, 연작, 시비, 제초, 경운, 표토관리 등 다양한 요인에 영향을 받는데 (Kang et al., 2009; Nosalewicz and Nosalewicz, 2011; Sardans et al., 2008; Sebiomo et al., 2011; Timothy and Dick, 2004), 제주지역 농경지 이용유형별 토양 탈수소효소활성과 미생물체량에 대한 연구결과는 알려진 바가 많지 않다.

본 연구는 제주지역 농경지 이용유형과 토양특성별 탈수소효소활성과 미생물체량을 조사하여 농경지 미생물활성을 평가하고 친환경적인 토양관리를 위한 기초자료를 얻고자 수행하였다.

재료 및 방법

2009년부터 2012년까지 제주지역 농경지를 밭, 과수원, 논, 시설재배 토양으로 구분하여 매년 3월초 작물 시비전에 표토를 약 5 cm 정도 걷어내고 토심 15 cm 되는 지점 3-4곳에서 토양을 채취하였다. 밭 토양은 마늘, 양배추, 무 등 채소작물재배지 50 (화산회토 10, 비화산회토 40)지점, 과수원은 노지 감귤원 토양 50 (화산회토 19, 비화산회토 31)지점, 논토양 30 (비화산회토 30)지점, 시설재배지는 감귤과 참다래 등 과수작물재배지 30 (화산회토 12, 비화산회토 18)지점을 채취하였다. 토양통을 기준으로 화산회와 비화산회 토양으로 구분하여 토양을 채취 후 잘 혼합한 다음 2 mm 체를 통과시켜 일부는 풍건 후 토양 화학성과 탈수소효소활성을, 나머지는 습토상태로 교환된 토양시료를 안정화시키기 위하여 4°C 냉장고에 보관한 후 3주 이내에 미생물체량을 분석하였다.

토양 화학성 토양의 질소, 유효인산, 중금속 함량 등은 농촌진흥청 토양화학분석법에 준하여 분석하였다 (NIAST, 2000). 토양 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 하여 측정하였고, 유기물은 Walkley-Black법, 전 질소함량은 Kjeldahl법, 유효 인산은 Bray, No-1법, 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등의 양이온은 1N NH₄OAc (pH 7.0) 침출법, 토양 중금속은 토양 10 g에 0.1 N HCl 50 mL를 넣고 30°C에서 1시간 동안 200 rpm으로 진탕 후 여과하여 ICP (Integra XL, GBC)를 이용하여 분석하였다.

탈수소효소 (Dehydrogenase)활성 풍건토 5 g에 CaCO₃ 0.05 g와 1 mL의 3% 2,3,5,-Triphenyl tetrazolium chloride (TTC) 용액을 가하여 잘 혼합한 후 37°C 항온수조에서 24시간 배양하였다. 배양 후 생성된 2,3,5,-Tri phenyl formazan (TPF)에 Methanol을 10 mL씩 2회 추출하여 Ø 110 mm 여과지로 여과 후 485 nm에서 UV-Visible

Spectrophotometer (Cary 100, Varian)를 이용하여 흡광도를 측정하였다.

미생물체량 (Microbial biomass) C 토양을 상온에서 7일간 전처리 배양 후 비이커에 건조 20 g 상당량의 습윤토양을 클로로포름과 비등석이 들어있는 25 mL 비이커와 충분한 양의 물이 담긴 용기를 진공데시케이터에 넣고 밀폐하여 클로로포름 혼증 후 25°C에서 24시간동안 정지 배양하였다 (Vance et al., 1987). 혼증배양 된 토양에 3배량의 0.5 M K₂SO₄ 용액 60 mL를 첨가하여 30 분간 진탕 후 여과하였고 여과액 8 mL를 250 mL 둥근바다 플라스크에 취한 후 66.7 mM K₂Cr₂O₇ 용액 2 mL, 황산과 인산 혼합액 (2:1) 15 mL, 비등석을 넣고 잘 혼합하였다. 이 용액은 수냉식 환류냉각관이 연결된 속실텟장치에서 165°C에서 30분간 미생물 유래의 유기탄소를 분해한 다음 증류수 25 mL, 25 mM ferroin indicator를 2-3방울 떨어뜨린 후 40 mM ferrous ammonium sulfate 용액으로 적정하였다. 종말점은 녹색이 담갈색으로 바뀌는 순간으로 하였다. 대조는 혼증하기 전에 침출액으로 추출한 용액을 혼증처리 토양과 같은 방법으로 분석하였다. 미생물체량 탄소는 다음 식으로 계산하였다.

$$\text{Biomass C} = 2.64 \times E_c$$

$$E_c = (\text{혼증토양의 유기탄소함량}) - (\text{비혼증토양의 유기탄소함량})$$

결과 및 고찰

제주지역 농경지 토양 화학성 제주지역 농경지 토양의 화학성은 Table 1에 나타났다. 밭 토양의 평균 pH는 6.3, 유효인산은 461.0 mg kg⁻¹, 칼슘은 8.6 cmol_c kg⁻¹, 과수원 토양의 평균 pH는 5.3, 유효인산은 554.6 mg kg⁻¹, 칼슘은 4.9 cmol_c kg⁻¹, 구리는 16.7 mg kg⁻¹, 아연은 26.3 mg kg⁻¹를 나타냈다. 논 토양의 평균 pH는 5.8, 유효인산은 51.2 mg kg⁻¹, 칼슘은 13.2 cmol_c kg⁻¹, 시설재배지 토양의 평균 pH는 5.4, 유효인산은 804.1 mg kg⁻¹, 칼슘은 7.5 cmol_c kg⁻¹, 아연은 34.7 mg kg⁻¹였다. 토양 pH는 밭토양이 높았으며 시설재배지의 경우 pH가 최소 3.9도 있어 산성도가 높은 지점도 있었다. 유기물함량은 논토양이 101.5 mg kg⁻¹로 밭 토양보다 2배 이상 높았다. 유효인산함량은 시설재배지가 804.1 mg kg⁻¹로 논토양의 51.2 mg kg⁻¹보다 16배정도 많았다. 칼륨함량은 시설재배지가 1.9 cmol_c kg⁻¹로 높았으며 최대 8.91 cmol_c kg⁻¹를 나타내는 지점도 있었다. 칼슘은 논 토양이 13.2 cmol_c kg⁻¹로 높았으며, 조사지점간에 농경지 이용유형에 상관없이 차이가 컸다. 마그네슘도 비슷한 경향을 보였으며, 구리는 과수원 토양에서 16.7 mg kg⁻¹로

Table 1. Soil chemical properties in croplands of Jeju province.

Class	pH	O.M	Avail.P ₂ O ₅	Exch.cation			Cu	Zn	
				K	Ca	Mg			
	(1:5)	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----	-----	mg kg ⁻¹ -----	
Upland	Average	6.3	47.7	461.0	1.1	8.6	2.1	1.4	5.2
	Range	4.7-8.4	14.2-241.0	26.0-1,361.1	0.30-2.82	1.1-28.7	0.3-9.2	0-7.0	0.2-29.2
Orchard	Average	5.3	95.7	554.6	0.6	4.9	1.3	16.7	26.3
	Range	4.2-7.3	27.9-137.9	58.1-994.7	0.15-3.12	0.8-13.9	0.2-3.3	0.8-66.0	3.4-96.3
Paddy	Average	5.8	101.5	51.2	0.5	13.2	4.6	12.2	23.6
	Range	5.3-7.7	30.8-178.8	9.4-155.4	0.20-2.11	6.8-27.2	2.5-9.3	7.1-22.3	10.6-65.8
*H. F.	Average	5.4	80.4	804.1	1.9	7.5	3.2	9.3	34.7
	Range	3.9-7.2	20.2-135.4	179.5-1,598.4	0.42-8.91	1.2-21.7	0.5-8.3	1.1-42.8	3.4-166.5

*Horticultural facility.

Table 2. Soil dehydrogenase activity in croplands of Jeju province.

Class	Soil dehydrogenase activity			
	Volcanic ash		Non-volcanic ash	
	Average	Range	Average	Range
	----- ug TPF 24h ⁻¹ g ⁻¹ -----			
Upland	29.7	4.4-51.6	38.7	7.2-169.2
Orchard	7.3	2.5-15.2	10.7	1.7-58.4
Paddy	- ⁺	-	16.2	6.6-28.6
Horticultural facility	9.3	3.1-25.4	14.0	4.0-30.2

*No investigation.

가장 높았고 최대 66 mg kg⁻¹을 나타내는 곳도 있었다. 아연은 시설재배지 토양이 34.7 mg kg⁻¹로 높았으며 최대 166.5 mg kg⁻¹를 나타내는 지점도 있었다. 밭 토양은 고토 석회, 녹비작물재배, 경운, 윤작이 이루어지고 논토양은 수확 후 부산물의 토양환원, 시설재배토양은 무경운과 지속적인 유기물의 공급으로 표토에 양분의 집적을 초래하여 불균형이 심하게 나타났다 (NIASI, 2012). 토양에 재배되는 작물 (과수, 채소), 투입되는 농자재 (화학비료, 유기질, 부산물비료), 재배환경 (시설, 노지, 습토 (논)) 등이 토양화학성에 영향을 준 것으로 보인다. 감귤원은 친환경 병해방제를 목적으로 구리성분이 포함된 보르도액 살포와 돈분퇴비 위주의 유기물 공급이 많이 되고 있는데, 돈분퇴비 사용과 구리제 위주의 농약사용증가로 토양중에 구리가 집적이 된 것으로 보인다. Oh (1998)는 다년간 경작한 감귤원토양에서 구리와 아연의 함량이 증가하고 있는데 이는 농약의 살포와 축분퇴비에 기인한다고 보고한 바 있다. 과수원과 시설재배지 토양은 조사지점간에 차이가 있지만 농가의 병해충방제와 토양관리 방식 등에 영향을 받아 아연과 구리 함량이 높게 나타난 것으로 생각된다. 구리의 경우 친환경농산물인증 토양관리기준치를 초과하는 지점이 있는 것을 감안할 때 제주지역 농경지의 구리와 아연함량의 변화에 대하여 장기간 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 생각된다.

제주지역 농경지 토양 탈수소효소활 제주지역 농경지 토양의 탈수소효소활성을 조사한 결과는 Table 2에 나타났다. 밭은 화산회토양이 29.7, 비화산회토양은 38.7 ug TPF 24h⁻¹g⁻¹, 과수원은 화산회토양이 7.3, 비화산회토양은 10.7 ug TPF 24h⁻¹g⁻¹를 나타냈다. 논은 비화산회토양이 16.2 ug TPF 24h⁻¹g⁻¹, 시설재배지는 화산회토양이 9.3, 비화산회토양은 14.0 ug TPF 24h⁻¹g⁻¹를 보였다. 농경지 이용 유형에 상관없이 비화산회토양이 화산회토양보다 높았으며 밭 토양이 과수원 토양보다 탈수소효소활성이 높았다. 특히 밭 토양은 토양종류와 상관없이 과수원, 논, 시설재배지 토양보다 2-4배 이상 높게 나타났다. 토양의 모암, 화학성, 물리적 환경요인의 변화는 미생물의 활성에 영향을 주는데, Alliso(2006)가 화산회토양은 allophane 영향으로 효소활성이 높지 않다고 보고한 바와 같이 비화산회토양이 화산회토양 보다는 탈수소효소활성이 높게 나타났다. Joa et al.(2010)은 돈분퇴비 시용량과 시용횟수가 많을수록 아연과 구리함량이 증가하면서 토양 탈수소효소활성은 직선적으로 증가하였다고 하였다. 밭은 감자, 양파, 양배추, 마늘 등 채소작물 위주의 경작이 이루어지고 있어 연간 2-3회 시비와 경운작업, 화학농약이 살포되고 있어서 토양의 물리적인 환경 변화가 과수원, 시설재배지 토양보다 크다. 하지만 윤작과 녹비작물재배, 수확 후 작물의 잔재가 토양으로 환

Table 3. Soil microbial biomass C content in croplands of Jeju province.

Class	Microbial biomass C			
	Volcanic ash		Non-volcanic ash	
	Average	Range	Average	Range
	----- mg kg ⁻¹ -----			
Upland	98.4	19.8-226.6	144.1	25.3-632.7
Orchard	83.0	18.9-130.1	107.9	7.8-548.2
Paddy	- ⁺	-	264.4	76.5-734.1
Horticultural facility	202.2	74.2-301.3	216.8	121.8-385.6

⁺No investigation.

원되어 유기물이 분해되는 과정에서 수소이온이 증가에 따라 탈수소효소활성이 증가하는 것으로 생각된다. Parham et al.(2003)은 화학비료는 토양효소활성에 크게 영향을 주지 않는다고 보고한 바 있는데 제주지역 농경지의 경우 밭 토양은 년 2-3회 채소작물 경작이 이루어지고 작물 수확 후 잔재물의 토양환원과 휴경기 녹비작물 재배가 이루어지고 있어 화학비료보다 유기물공급에 의하여 토양 탈수소효소활성이 높게 나타나는 것으로 생각된다. Melero et al.(2009)은 식물잔재가 토양표면에 남아 있을 때 토양 탈수소효소활성이 높다고 하였다. 논, 과수원, 시설재배지 토양은 다년간 단일작물위주로 오래 동안 경작이 되어오면서 밭 토양에 비하여 상대적으로 미생물군집이 단순화되고 화산재의 영향으로 농경지 미생물의 활성이 영향을 받았기 때문으로 추정된다.

탈수소효소활성은 유해중금속의 미생물생장에 미치는 정도를 정량적으로 측정하여 토양 중금속 오염정도를 평가하는 지표로 사용된다(Wyszowska et al., 2005). 밭 토양의 경우 재배작물이 다양하고 축분퇴비 위주의 유기물공급이 이루어지고 있어 시용된 축분퇴비 중 돈분퇴비 유래의 아연과 구리 함량이 높기 때문에 탈수소효소활성이 높게 나타난 것으로 보인다. 돈분퇴비 시용은 토양에 아연과 구리를 축적시키고(Kwon et al., 2003), 아연과 구리함량 증가에 따라 토양효소활성이 증가하거나 불활성화 되는데(Tomoyoshi et al., 2005), Won et al.(2004)은 돈분퇴비 시용량이 증가할수록 탈수소효소활성이 증가하였다고 보고한 바 있다. 제주지역 농경지의 경우 토양 탈수소효소활성은 화산회토양의 특성과 시용된 돈분퇴비의 영향으로 토양시료 채취지점마다 차이를 보이고 있는 것으로 생각된다. 또한 수확 후 이분해성 잔재물의 토양환원, 유기질비료의 시용과 분해정도, 토양중 구리와 아연함량이 탈수소효소활성에 영향을 주는 것으로 생각된다. 이는 Quilchano and Maranon(2002)가 탈수소효소활성은 계절적, 장소 특이적인 요인에 영향을 받는다고 보고한 결과와 일치하는 경향을 나타냈다. 이상의 결과로 토양시료 채취시기, 채취토양의 특성, 작물재배 전후 투입 유기물의 종류와 분해정도 등에 따라 탈수소효소활성

이 차이가 나타나는 것으로 생각된다.

제주지역 농경지 토양 미생물체량 미생물체량 C는 토양비옥도 상태를 반영하는 토양질의 생물지표(Hu and Cao, 2007)로 사용될 수 있다. 제주지역 농경지 토양의 미생물체량을 조사한 결과는 Table 3에 나타났다. 밭은 화산회토양이 98.4, 비화산회토양은 144.1 mg kg⁻¹, 과수원은 화산회토양이 83.0, 비화산회토양은 107.9 mg kg⁻¹를 보였다. 논은 비화산회토양 264.4 mg kg⁻¹, 시설재배지는 화산회토양이 202.2, 비화산회토양은 216.8 mg kg⁻¹를 나타냈다. 비화산회토양이 화산회토양보다 미생물체량이 많았으며 밭과 과수원 토양보다 시설재배지 토양이 미생물체량이 많았다. 화산회토양은 저항성이 강한 allophane으로부터 용출되는 알루미늄의 독성으로 미생물활성이 낮고 유기물이 분해되기 어려운 반면(Deenik, 2006), 비화산회토양은 화산재의 영향을 덜 받기 때문에 미생물체량이 높은 것으로 생각된다. 특히 논토양은 264.6 mg kg⁻¹로 미생물체량이 가장 많았다. 논토양의 경우 수확 후 잔재물이 농경지에 유입되기 때문에 유기물의 함량이 높고 시설재배지의 경우 일부 조사지점은 친환경재배를 하고 있어 전정가지 파쇄 후 지표면 피복을 하거나 유기질비료의 투입량이 많아 이로 인하여 토양중 유기물 함량이 높기 때문에 토양 중 미생물체량이 많은 것으로 보인다. 사상균은 미생물체량에서 차지하는 비율이 높는데 살균제 등의 살포영향으로 밀도가 감소하여(Metting, 1992) 조사 시기에 낮게 나타난 것으로 보인다. 미생물체량은 유기재배토양이 관행재배보다 높았고(M der et al., 2002), Lothar는(1995) 토양 유기물이 많을수록 미생물체량이 증가하였으며, Joa et. al(2008)은 화산회토양에서 인위초생재배가 청경재배보다 2배 이상 높았다고 보고한 바 있다. 농약살포는 미생물군집의 변화와 사상균의 밀도를 감소시키며(Metting, 1992), Alice et al.(2006)은 제초제 사용에 따라 토양의 미생물 활성이 영향을 받는다고 하였는데 밭과 과수원 토양의 경우 미생물체량이 낮은 것은 약제 살포 후 미생물밀도 감소, 군집의 단순화되면서 나타난 것으로 생각된다. Marschner et al.(2003)은 화학비료

장기연용이 미생물활성에 크게 영향을 준다고 하였는데 밭 토양의 경우 화학비료요구량이 높은 채소작물위주의 작부 체계가 장기간 지속되면서 토양중 미생물의 다양성이 감소한 것으로 보인다. Yoon et al.(2003)은 비 농경지 토양이 30년 이상 매년 수시로 농약을 사용하여 온 감귤원 토양에 비하여 훨씬 다양한 미생물군집의 분포빈도를 보인다고 보고한바 있다. 이상의 결과로 부터 관행재배의 경우 농약의 살포로 미생물의 밀도가 감소하지만 초생재배를 이용한 토양관리방법은 초생재배의 장점을 살리면서 토양의 미생물체량을 높일 수가 있어 과수원토양의 경우 초생재배를 도입하고 밭 토양은 휴경기에 녹비작물을 이용함으로써 친환경적인 토양관리와 토양의 미생물활성을 개선할 수 있을 것으로 생각된다.

미생물상, 효소활성, 미생물체량, 토양 호흡률, 군집구조 등은 미생물 활성을 평가하는 지표로 사용할 수 있으며 (Bossio and Scow, 1998), 유기물공급, 단일작물 연작, 시비 방법, 제초, 경운작업과 횃수 등은 미생물활성에 영향을 준다(Sardans et al., 2008; Timothy and Dick, 2004). 제주 지역 토양의 건전성을 평가하기 위해서는 화산회와 비화산회 토양의 특성을 고려하여 미생물활성을 평가하는 방법을 개발하고 평가과정과 결과의 신뢰성을 높이는 게 필요할 것으로 생각된다.

토양 화학성과 미생물체량, 탈수소효소 활성간의 상관관계 토양화학성과 탈수소효소활성간의 상관관계를 분석한 결과는 Fig. 1, 2, 3에 나타났다. 제주지역 농경지 유형별 토양 화학성분과 토양 미생물체량, 탈수소효소활성간의 상관관계를 분석하는 것은 토양의 시비관리 이력을 추적할 수 있어 친환경적인 토양관리를 위하여 필요하다. 밭, 과수원, 논 토양의 경우 토양 화학성과 탈수소효소활성간에는 뚜렷한 상관관계를 나타내지 않았다. 하지만 시설재배지 토양의 비화산회토양은 토양유기물($R^2=0.59$), 아연($R^2=0.65$), 구리($R^2=0.66$)의 함량과 탈수소효소활성간에 높은 정의 상관관계를 보였다(Fig. 1, 2). 시설재배지는 감귤을 밀식재배하고 있고 나무의 수령이 오래되면서 시비관리와 농작업이 어려워 근권 주변에 축분퇴비 위주의 유기물을 공급하고 있어 돈분 유래 구리와 아연이 토양에 축적되고 있다. 이로 인해 사용된 유기물이 많아지면서 구리와 아연함량도 증가하고 토양 탈수소효소활성도 높아지는 것으로 생각된다. Oh(1998)는 화산회토 감귤원 토양에서 경작년수가 오래될수록 구리와 아연 함량이 증가한다고 하였는데 시설재배지의 경우 구리제위주의 약제살포와 축분퇴비의 장기간 연용으로 토양 표면에 구리와 아연함량이 증가한 것으로 생각된다. 또한 경작년수 뿐 만 아니라 사용되는 농자재의 양과 횃수가 증가할수록 구리와 아연이 토양에 축적 될 수 있다는 것을 의미하며, 감귤원 약제방제와 축분퇴비 사용에 대한

지속적인 모니터링과 토양오염경감을 위한 연구가 필요할 것으로 보인다. 밭은 토양유형에 상관없이 유기물함량과 미생물체량, pH와 토양 탈수소효소활성간에 상관관계를 보였으나 경향치는 낮았다. 특히 화산회토양에서 유기물함량과 탈수소효소활성간에 높은 부의상관관계($R^2=0.57$)를 나타냈다(Fig. 3). 화산회토양의 유기물은 화산재에 기인한 난용성

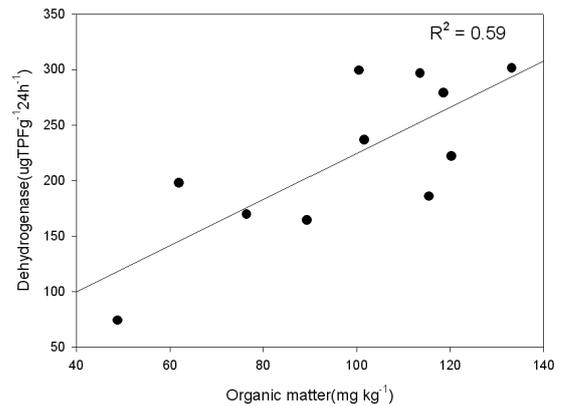


Fig. 1. Correlation between soil organic matter and microbial biomass C in non-volcanic ash horticultural facility soil.

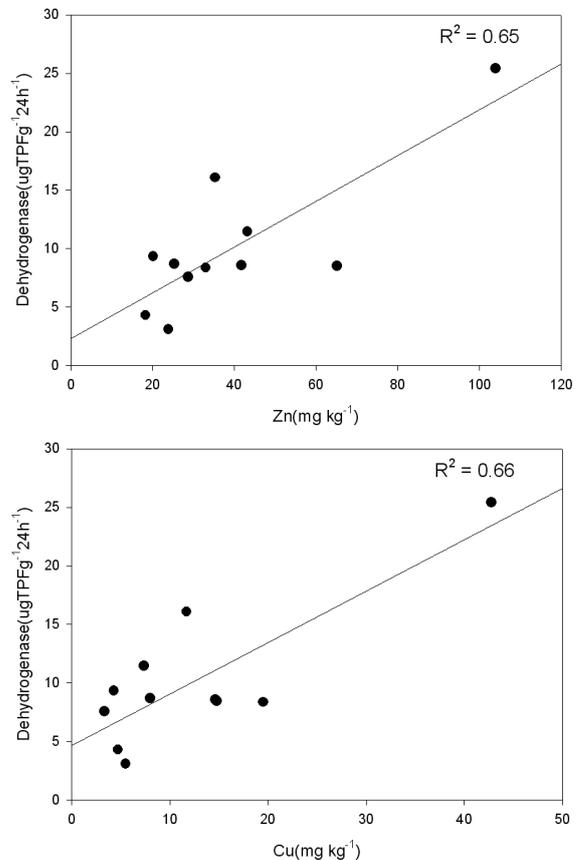


Fig. 2. Correlation between soil chemical properties(Zn, Cu) and dehydrogenase activity in non-volcanic ash horticultural facility soil.

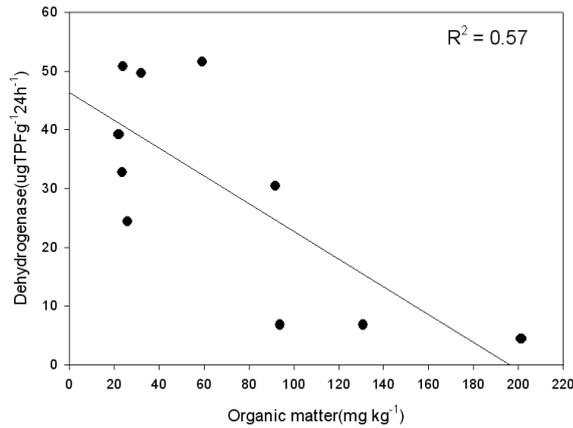


Fig. 3. Correlation between soil organic matter and dehydrogenase activity in volcanic ash upland soil.

유기물로 미생물이 분해하기가 어려운 특성을 가지고 있다. 이는 화산회토양은 미생물이 분해할 수 있는 이분해성 유기물이 적기 때문에 유기물함량이 많아도 토양 탈수소효소활성은 낮다는 것을 의미한다.

과수원 토양은 비화산회토양에서 유기물함량과 탈수소효소활성간에 부의 상관, 화산회토양은 pH와 탈수소효소활성간에 정의 상관, 유기물함량과 미생물체량은 부의 상관관계를 나타냈으나 경향치는 낮았다(데이터 미제시). 토양 유형별 시비관리, 경운작업, 재배작물, 투입 농자재의 종류와 횟수의 차이, 농가의 재배방법 등이 토양 화학성과 미생물활성에 영향을 주는 것으로 생각된다. 미생물체량은 토양 pH (Kemmitt et al., 2006), 유기탄소함량(Yao et al., 2000)과 상관관계가 높다고 하였는데 시설재배지 토양의 비화산회토양을 제외하고는 상관관계가 거의 없었다(데이터 미제시). pH의 변화(Aciego and Brookes, 2009), 토지이용과 경작방법(Rahman et al., 2008)은 미생물의 활성에 영향을 주는데 시료채취 지점간에 토양 pH의 차이가 크고 재배농가의 토양관리방법 차이를 고려할 때 상관관계는 낮게 나타나는 것으로 생각된다. 추후 시료채취 지점의 확대, 채취시 토양의 수분, 지온 등 환경요인, 약제의 살포전후, 작물수확 후 잔재물의 토양환원, 토양관리이력 등 다양한 요인을 고려하여 검토가 필요할 것으로 생각된다.

요 약

본 연구는 제주지역 농경지 이용유형과 토양특성별 미생물체량과 탈수소효소활성을 평가 하고자 수행하였다. 제주지역 밭(50), 과수원(50), 논(30), 시설재배(30) 토양을 3월에 채취 후 토양화학성과 탈수소효소활성, 미생물체량을 분석하였다. 밭 토양의 평균 pH는 6.3이었고 과수원, 시설재배지 토양은 조사지점간에 화학성분 함량의 차이가 크게 나타났다. 돈분퇴비를 사용하는 감귤재배농가의 토양 내 아연

과 구리함량은 증가하는 경향을 보였다. 토양 탈수소효소활성과 미생물체량은 농경지 이용유형에 상관없이 비화산회토양이 화산회토양보다 높았다. 탈수소효소활성은 밭 토양이 과수원, 논, 시설재배지 토양보다 2-4배 이상 높았고 비화산회토양의 발토양은 38.7 ug TPF 24h⁻¹g⁻¹를 나타냈다. 미생물체량은 시설재배지 토양이 가장 많았으며 시설재배지 비화산회토양은 216.8 mg kg⁻¹였다. 시설재배지의 비화산회토양은 탈수소효소활성과 토양유기물(R²=0.59), 아연(R²=0.65), 구리(R²=0.66)의 함량간에 높은 정의 상관관계를 보였다. 화산회토의 발토양은 유기물함량과 탈수소효소활성간에 높은 부의상관관계(R²=0.57)를 나타냈다.

감사의 글

이 논문은 농촌진흥청 시험연구사업비(과제번호 PJ009461)에 의해 수행되었음

인 용 문 헌

Aciego, P. J. C. and P. C. Brookes. 2009. Substrate inputs and pH as factors controlling microbial biomass, activity and community structure in an arable soil *Soil Biol. Biochem.* 41:1396-1405.

Alice, W. R., D. B. Matt, and J. S. Carol. 2006. Changes in microbial community structure following herbicide (glyphosate) additions to forest soils. *Appl. Soil Ecol.* 34:114-124.

Alliso, S. D. 2006. Soil minerals and humic acids alter enzyme stability: implications for ecosystem processes. *Biogeochem.* 81:361-373.

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. *Micro. Ecol.* 35:265-278.

Chaperon, S. and S. Sauvé. 2007. Toxicity interaction of metals (Ag, Cu, Hg, Zn) to urease and dehydrogenase activities in soils. *Soil Biol. Biochem.* 39:2329-2338.

Clegg, C. D. 2006. Impact of cattle grazing and inorganic fertiliser additions to managed grasslands on the microbial community composition of soils. *Appl. Soil Ecol.* 31:73-82.

Crecchio, C., M. Curci, M.D.R. Pizzigallo, P. Ricciuti, and P. Ruggiero. 2004. Effects of municipal solid waste compost amendments on soil enzyme activities and bacterial genetic diversity. *Soil Biol. Biochem.* 36:1595-1605.

Deenik, J. 2006. Nitrogen Mineralization potential in important agricultural soils of Hawai'i. *Soil Crop Manage.* 15:1-5.

Dinesh, R., R.P. Dubey, and G.S. Prasad. 1998. Soil microbial biomass and enzyme activities as influenced by

- organic manure incorporation into soils of a rice-rice system. *J. Agro. Crop Sci.* 181:173-178.
- Hu, C. and Z. Cao. 2007. Size and activity of the soil microbial biomass and soil enzyme activity in long-term field experiments. *World J. Agri. Sci.* 3:63-70.
- Joa, J.H., J.H. Lee, H.Y. Won, S.G. Han, H.C. Lim. 2008. Effect of different soil managements on physical properties and microbial activities in citrus orchard soil. *K. J. Soil Sci. Fert.* 41:279-284.
- Joa, J.H., D.G. Moon, H.Y. Won, S.W. Koh, H.N. Hyun, and C.E. Lee. 2010. Effect of consequent application of pig manure compost on soil chemical properties and dehydrogenase activity in volcanic ash soil. *K. J. Soil Sci. Fert.* 43:283-288.
- Kang, H.J., S.K. Kang, and D.W. Lee. 2009. Variations of soil enzyme activities in a temperate forest soil. *Ecol. Res.* 24:1137-1143.
- Kemmitt, S. J., D. Wright, K. W. T. Goulding, and D. L. Jones. 2006. pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two agricultural soils. *Soil Biol. Biochem.* 38:898-911.
- Kwon, S.I., D.K. Lim, S.B. Lee, and J.J. Nam. 2003. Plant uptake and distribution of toxic elements by consecutive organic wastes application in soil-plant system. In Research report of agro-environment research. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- Lothar Beyer. 1995. Soil microbial biomass and organic matter composition in soils under cultivation. *Biol. Fert. Soils.* 19:197-202.
- Mäder, P., A. Fliebach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried, and U. Niggli. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* v.296, n. 5573.
- Marschner, P., E. Kandeler, and B. Marschner. 2003. Structure and function of the soil microbial community in a long-term fertilizer experiment. *Soil Biol. Biochem.* 35:453-461.
- Melero, S., K. Vanderlinden, J. C. Ruiz, and E. Madejo. 2009. Soil biochemical response after 23 years of direct drilling under a dryland agriculture system in southwest Spain. *J. Agri. Sci.* 147: 9-15.
- Metting, F. B. Jr. 1992. *Soil microbial ecology : applications in agricultural and environmental management.* Marcel Dekker. New York.
- NIAST. 2000. *Methods of soil and plant analysis.* National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- NIAST. 2012. *Monitoring project on agro-environmental quality.* National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Nosalewicz A. and M. Nosalewicz. 2011. Effect of soil compaction on dehydrogenase activity in bulk soil and rhizosphere. *Int. Agrophys.* 25: 47-51.
- Oh, M.H. 1998. *Changes in Copper and Zinc Content in Volcanic Ash Soils with Years of Citrus Cultivation.* M.S. Dgree. Jeju National University. Jeju, Korea.
- Parham, J. A., S. P. Deng, and W. R. Raun. 2003. Long-term cattle manure application in soil. Part II: effect on soil microbial populations and community structure. *Biol. Fertil. Soils* 38:209-215.
- Quilchano, C. and T. Maranon. 2002. Dehydrogenase activity in Mediterranean forest soils. *Biol. Fertil. Soils* 35:102-107.
- Rahman, M. H., A. Okubo, S. Sugiyama, and H. F. Mayland. 2008. Physical, chemical and microbiological properties of an andisol as related to land use and tillage practice. *Soil Till. Res.* 101:10-19.
- Sardans, J., J. Penuelas, and M. Estiarte. 2008. Changes in soil enzymes related to C and N cycle and in soil C and N content under prolonged warming and drought in a Mediterranean shrubland. *Appl. soil Ecol.* 39:223-235.
- Sebiomo, A., V. W. Ogundero, and S. A. Bankole. 2011. Effect of four herbicides on microbial population, soil organic matter and dehydrogenase activity. *Afr. J. Biotechnol.* 10:770-778.
- Song, K.C. 1990. *Andic properties of major soils in Cheju island.* Ph. D. Thesis, Seoul National University. Suwon, Korea.
- Timothy, R. K. and R. P. Dick. 2004. Differentiating microbial and stabilized β -Glucosidase activity relative to soil quality. *Soil Biol. Biochem.* 36:2089-2096.
- Tomoyoshi M., K.K. Masami, and T. Takejiro. 2005. Effects of Pb, Cu, Sb, In and Ag contamination on the proliferation of soil bacterial colonies, soil dehydrogenase activity, and phospholipid fatty acid profiles of soil microbial communities. *Water Air soil poll.* 164:103-118.
- Vance, E. D., P. C. Brookes, and D.S. Jenkinson. 1987. Microbial biomass measurements in forest soils : the use of the chloroform fumigation incubation method in strongly acid soils. *Soil Biol. Biochem.* 19:697-702.
- Won, H.Y., J.S. Kwon, Y.G. Sin, S.H. Kim, J.S. Seo, and W.Y. Choi. 2004. Effects of composted pig manure application on enzyme activities and microbial biomass of soil under chinese cabbage cultivation. *K. J. Soil Sci. Fert.* 37:109-115.
- Wyszkowska, J., J. Kucharski, and W. Lajszner. 2005. Enzymatic activities in different soils contaminated with copper. *P. J. Environ. Stu.* 14:659-664.
- Yao, H., Z. He, M. J. Wilson, and C. D. Campbell. 2000. Microbial biomass and community structure in a sequence of soils with increasing fertility and changing land use. *Microb. Eco.* 40:223-237.
- Yoon, B. J., S. H. Kim, D. H. Lee, K. H. Oh, and H. Y. Kahng. 2003. Evaluating the impacts of long-term use of agricultural chemicals on a soil ecosystem by structural analysis of bacterial community. *Korean J. Micro.* 39:260-266.