

초생재배가 감귤원 토양의 물리성과 미생물 활성에 미치는 영향

좌재호* · 이종희¹ · 원항연² · 한승갑 · 임한철

난지농업연구소, ¹영남농업연구소, ²농업과학기술원

Effect of Different Soil Managements on Physical Properties and Microbial Activities in Citrus Orchard Soil

Joa Jae-Ho,* Lee Jong-Hee¹, Won Hung-Yon², Han Seung-Gap, and Lim Han-Cheol

National Institute of Subtropical Agriculture, RDA

¹Yeongnam Agricultural Research Institute, RDA

²National Institute of Agricultural Science & Technology, RDA

This study was performed to investigate effect of different soil managements on physical properties and microbial activities in volcanic ash citrus orchard soil. Experiment plots had managed to control weeds on soil for 4 years with clean cultivation (CCM) used with herbicide, natural sod cultivation (NSCM), kentucky blue grass sod cultivation (KBG). Soil samples were taken on October, in both 1998 and 2000 from 3 experimental plots. In NSCM, Soil hardness was lower at 11.8 mm than in CCM. And water stable aggregation coefficient(>0.5 mm) was high at 26.7% compared with CCM. Soil bulk density and porosity showed no significant among the treatments. Soil acid phosphatase was high in sod cultivation plots and the amount of microbial biomass C was about twice higher at 525.4 mg kg⁻¹ in KBG than in CCM. Conclusively, Sod cultivation improved soil physical properties such as aggregation, hardness and increased microbial activities compared with clean cultivation in citrus orchard soil.

Soil total PLFA, acid phosphatase, and microbial biomass C contents were investigated on May in non-volcanic ash citrus soil. Soil samples were collected at 5 sites each; convention cultivation grown with herbicide, natural sod cultivation grown with 1/2 chemicals, organic cultivation. That sites have been managed for 5 years over. PLFA contents were two times higher at 112.2 n mol g⁻¹ in organic cultivation than in convention cultivation. According to the PLFA indicator, Gram negative bacteria and actinomycetes in organic cultivation were high compared with convention cultivation, which were at 15.1%, 6.6%, respectively. Soil microbial biomass C contents was about twice higher in organic cultivation than in convention cultivation. Soil acid phosphatase was high at 17.6% in organic cultivation compared with convention cultivation.

Key words : Sod cultivation, Citrus, PLFA, Microbial biomass C, Acid phosphatase

서 언

제주도는 아열대 기후지역으로 연평균 강수량이 2,000 mm 정도로 많고 감귤원 토양은 화산회토양 특성으로 표토와 양분의 유실이 용이하며 인산의 고정력이 강하고 유기물과 allophane이 복합체를 형성하여 분해에 대한 저항성이 강한 allophane으로부터 용출되는 다량의 알루미늄에 의하여 토양미생물의 활성이 낮다고 하였다(Song, 1990). 지금까지 대부분 감귤농가에서는 감귤원 토양관리를 풀 또는 나무 파쇄물을

이용하는 부초재배와 양·수분경합을 방지하고 병해충 서식처를 없애기 위한 목적으로 제초제를 이용하는 청경재배가 이루어져 왔다. 그러나 장기간 청경재배로 관리가 된 감귤원은 밀식재배로 인한 유기물공급이 곤란하고 화학비료 과다시비로 인하여 토양이 산성화되고 토양양분이 불균형화 되어 토양 및 시비 관리가 어려운 실정이다. 유기물 공급부족과 과다시비에 기인하여 1996년에는 7.9 ha의 감귤원에 이상낙엽 증상이 발생하기도 하였다. 따라서 제초제의 사용을 줄이고 토양에 유기물을 공급하기 위하여 목초종자나 자연발생 초종을 키워 예초 후 토양에 유기물을 공급하고 강우에 의하여 양분 유실을 줄이는 토양 표면관리가 필요한 실정이다. 岩堀과 文屈(1999)은 초생재배

접수 : 2008. 8. 16 수리 : 2008. 10. 2
*연락처 : Phone: +82647412581,
E-mail: choa0313@rda.go.kr

는 경우에 의한 토양침식이나 유실을 방지하고 유기물을 공급해주며 초종뿌리에 의해 입단형성, 통기성 등 토양 물리성을 개선하며 토양의 유용미생물인 균근균의 증식을 돕고 지표면의 온도 변화를 방지하는 장점을 가지고 있다고 하였다. 초지 조성용으로 이용되는 목초를 이용한 초생재배는 잡초발생을 억제하고 초생재배에서 얻어지는 유기물을 토양에 공급하고 있으며 초생재배에 따른 토양보존, 토양미생물 등 토양 환경과 병해충 종류 및 밀도에 관한 연구가 수행되고 있다(Song, 2001). 일본에서는 감귤원에 적합한 초종을 선발하여 초생재배를 하고 있으며 초생재배가 토양환경, 수체, 과신품질 등에 미치는 영향에 대하여 많은 연구가 이루어 졌다. Ishii et al.(1998)은 초생재배가 토양에 균근균 밀도를 증가시키고 토양입단 형성을 돕는다고 하였다. Huttova et al.(2002)은 알루미늄에 의하여 보리뿌리에서 산성 토양인산효소 활성이 증가 하였으며, Lynne et al.(2003)은 초생재배에서 토양호흡율과 탈수소효소 활성이 높다고 하였다. Alice et al.(2006)은 제초제 사용에 따라 토양의 미생물 활성이 영향을 받는다고 하였고, 유기재배 감귤원에서 균근균의 밀도가 높다고 하였으며(Kim et al., 1998; Franzluebbers et al., 2000), Mäder et al.(2002)은 유기재배토양의 미생물체량이 관행재배보다 높다고 하였다. 본 시험은 초생재배에 의한 표토관리가 감귤원 토양물리성과 미생물활성에 미치는 영향을 구명하고자 수행하였다.

재료 및 방법

농암갈색 화산회토양에서 25년생 온주밀감을 재배하면서 1997년부터 2000년까지 4년간 제초제를 사용하는 청경재배, 감귤원에 자연 발생하는 초종을 이용하는 자연초생 재배, 켄터키 블루그라스를 이용하는 인위초생재배로 감귤원 일반관리 기준을 동일하게 적용하면서 토양관리를 하였다. 토양의 물리성은 4년째 되는 해인 2000년 10월에, 미생물 활성은 1998년과 2000년 10월에 시험구당 5개 지점에서 토양을 채취 후 잘 혼합하여 2 mm체를 통과시킨 다음 4°C 냉장고에 보관하면서 조사하였다. 시험전 토양의 pH는 5.5, 유기물함량은 217.6 mg kg⁻¹, 토양질소는 0.6%, 유효인산함량은 24.3 mg kg⁻¹, 치환성 칼륨은 2.16 cmol⁺ kg⁻¹, 치환성 칼슘은 6.93 cmol⁺ kg⁻¹, 치환성 마그네슘은 2.06 cmol⁺ kg⁻¹이었다. 또한 비 화산회토 감귤농가 중 5년 이상 제초제를 이용하는 관행재배, 자연 초생재배를 하는 저농약 및 유기농 인증 감귤원 5개를 선정하여 감귤나무의 개화기인 2005년 5월에 토양을 채취 후 잘 혼합하여 2 mm체를 통과시킨 후 -80°C 냉동고와 4°C 냉장고에 나누어 보관하면서 인지질 지방

산, 토양 미생물체량과 인산효소 활성을 분석하였다.

토양 물리성 토양공극율과 용적밀도 분석은 농촌진흥청 토양화학분석법에 준하였고, 토양경도는 山中式경도계를 이용하여 토양 표면을 5 cm정도 걷어내고 측정하였다. 내수성 입단은 토양 25 g을 비이커에 넣고 40 mL 물을 부어서 24시간 방치 후 5분간 흔든 다음 0.5 mm체에 흙을 옮기고 물속에서 4분 동안 체질하였다. 체위에 남아 있는 입단은 증발 접시에 옮겨 105°C에서 건조 후 무게를 측정 후 흙을 0.5 mm 체로 옮겨 놓고 물속에서 손가락으로 부순 다음에 흐르는 물로 여러 번 씻은 후 체위에 남아있는 입자를 105°C에서 건조 후 무게를 측정하였으며 별도로 토양의 수분 함량을 구해서 입단 계수를 구하였다(심, 1999).

인지질 지방산 분석 2 mm체로 선별한 토양을 동결건조 후 인지질 지방산함량(Phospholipid fatty acid, PLFA)은 Bligh/Dyer first-phase extraction(Bligh and Dyer, 1959)방법을 이용하여 미생물 세포막 지방산을 추출한 다음 Silicic acid column chromatography를 이용하여 중성지질과 당지질을 순차적으로 제거한 후 인지질을 분획하였다. 분획된 시료는 methylation시킨 후 MIDI Sherlock Microbial Identification System (MIDI Inc., Newark, DE)으로 지방산을 정량하였으며 Li et al.(2006)의 방법에 따라 분석된 인지질 지방산을 지방산 분석지표를 이용하여 세균, 곰팡이, 방선균으로 분류하여 토양관리방법에 따른 미생물의 분포비율을 분석하였다. 그램 양성균은 15:0 iso, 15:0 anteiso, 16:0 iso, 17:0 iso, 17:0 anteiso, 18:0 iso, 그램 음성균은 17:0 cyclo, 18:1 w7c, 방선균은 tbsa 10me18:0, 사상균은 18:2 w6,9c, 18:1 w9c를 지표 지방산으로 이용하였다.

토양인산효소(Acid phosphatase) 토양 1 g을 25 mL 시험관에 취한 후 0.2 mL의 toluene, 4 mL의 MUB 완충용액(pH 6.5), 1 mL의 0.025 M p-nitrophenyl phosphate용액을 가하고 밀봉을 하여 37°C에서 1시간 동안 배양 후 UV-Visible Spectrophotometer(Cary 100, Varian)를 이용 400 nm에서 측정하였다(RDA, 1988). 대조구로 1 mL의 0.5 M CaCl₂ 용액과 4 mL의 0.5 M NaOH용액을 가한 후 배양 현탁액을 여과하기 직전에 1 mL의 0.025 M p-nitrophenyl phosphate용액을 가한 것을 사용하여 여액 중의 p-nitrophenol 함량을 계산하였다.

미생물체량(Biomass C) Vance et al.(1987)의 방법을 이용하여 2 mm체를 통과한 토양시료를 클로로프

름으로 혼증배양한 후 Biomass C를 추출하여 추출 시료액 8 mL를 250 mL등근바닥 플라스크에 취한 후 2 mL의 66.7 mM K₂Cr₂O₇ 용액과 황산과 인산의 혼합액 (2:1) 15 mL를 첨가하여 혼합 후 환류냉각관으로 분해한 다음 적정하여 biomass C 함량을 구하였다.

결과 및 고찰

토양 물리성 변화 초생재배로 4년 동안 관리된 토양의 용적밀도, 공극율, 입단체수, 토양경도는 Table 1에 나타내었다. 용적밀도는 청경재배 0.77 g cm⁻³, 자연초생재배 0.72 g cm⁻³, 인위초생재배 0.75 g cm⁻³로 처리간에 차이가 없었다. 공극율은 자연초생재배가 66.3%로 청경재배 63.0%보다 높았다. 0.5 mm 이상의 입단체수는 자연초생재배 77.9%, 인위초생재배 62.6%, 청경재배 51.2% 순으로 자연초생재배가 청경재배보다 26.7% 높게 입단이 형성되었다. 다양한 조종이 토양 속에서 뿌리를 뺏어나가면서 공극의 증가와 여러 가지 분비물이 나오고 이러한 분비물에 의하여 토양의 입단형성이 촉진된 것으로 생각된다. Kim et al.(2004)은 녹비에 의한 물리성개선 효과가 논과 밭에서 뚜렷하였으며 토양입단 증가는 거친 유기물이 유리하였다고 하였다. 감귤원에 우점하는 자연초종이 화분과인 바랭이로 친환경농가의 경우 연간 2-3회 예초를 하여 토양피복을 하고 있어 예초 후 자연 피복시 토양물리성 개선효과가 기대된다. 토양경도는 청경재배 25.3 mm, 자연초생재배 13.5 mm, 켄터키블루그라스 인위초생재배 18.2 mm로 자연초생재배 관리

토양의 토양경도가 청경재배토양보다 11.8 mm 낮아 초생재배시 토양 경도를 낮출 수 있을 것으로 생각된다(Shin, 1990). 토양경도는 감귤나무뿌리 생육과 밀접한 관계가 있으며 일본의 경우 산증식 경도계로 20 mm이하를 토양개량 기준치로 하고 있다. 이상의 결과로 초생재배는 공극율, 입단형성, 토양 경도가 개선되는 효과가 있었다.

토양 미생물체량과 인산효소 활성 초생재배에 따른 토양의 인산효소 활성과 미생물체량은 Table 2에 나타내었다. 토양인산효소는 토양 중의 유기태 인산을 식물이 이용할 수 있도록 무기태 인산으로 전환되도록 도와주는 역할을 한다. 토양 인산효소 활성은 청경재배는 2년차에 73.1에서 4년차에 241.1 ug PNP g⁻¹ h⁻¹로 3배 이상 증가하였으며 자연초생재배는 45.5에서 293.5 ug PNP g⁻¹ h⁻¹로 6배 증가하였고, 인위초생재배는 2.5배 이상 증가하여 387.1 ug PNP g⁻¹ h⁻¹였다. 초기에 비하여 인산효소 활성이 증가하였으며 초생재배가 청경재배보다 인산효소 활성이 높았다. Huttova et al.(2002)은 알루미늄에 의하여 보리뿌리에서 토양의 산성 인산효소 활성이 증가하였다고 보고한 바 있는데 농암갈색 토양은 알루미늄의 영향으로 토양중 알루미늄 함량이 높아 산성 인산효소 활성이 높은 것으로 생각된다(Song, 1990). 또한 초생재배시 뿌리의 분비물로 근권에 형성된 미생물 군집에 의하여 토양인산효소 활성이 증가한 것으로 판단된다(Petra et al.,2005).

Table 1. Physical properties of soil experimented.

Treatment	Bulk density	Porosity	Aggregation coefficient [†]	Soil hardness
	g cm ⁻³	----- % -----		mm
CCM [†]	0.77±0.05 ^f	63.0±0.8	51.2±4.2	25.3±2.2
NSCM [‡]	0.72±0.02	66.3±1.2	77.9±6.5	13.5±1.3
KBG [§]	0.75±0.03	64.4±0.7	62.6±4.8	18.2±1.6

[†] CCM : Clean cultivation management
[‡] NSCM : Natural sod cultivation management
[§] KBG : Kentucky blue grass cultivation management
[†] Particle size >0.5 mm
^f Mean ± Standard Deviation

Table 2. Acid phosphatase activities and microbial biomass C contents of soil experimented.

Treatment	Acid phosphatase		Biomass C	
	'98	'00	'98	'00
	----- μg PNP g ⁻¹ h ⁻¹ -----		----- mg kg ⁻¹ -----	
CCM	73.1±7.6	241.1±5.7	241.6±9.3	261.2±14.1
NSCM	45.5±5.2	293.5±9.4	247.8±12.5	395.3±6.1
KBG	139.1±9.2	387.1±14.0	456.2±16.5	525.4±13.1

미생물체량은 토양미생물의 몸체를 구성하는 탄소의 함량으로 미생물의 활성을 나타내는 지표로 사용되고 있다. 토양 미생물체량은 청경재배 261.2 mg kg⁻¹, 자연 초생재배 395.3 mg kg⁻¹, 인위초생재배 525.4 mg kg⁻¹로 인위초생재배가 청경재배보다 2배 이상 높았다. 청경재배는 제초제를 사용하여 토양표면을 관리함으로써 미생물의 개체수에 영향을 주고 초생재배는 초종의 근권 분비물에 의하여 다양한 미생물상이 형성되었기 때문으로 생각된다. Alice et al.(2006)은 제초제 사용에 따라 토양의 미생물 활성이 영향을 받는다고 하였으며, Lynne et al.(2003)은 초생재배에서 토양 호흡율과 탈수소효소활성이 높다고 하였다. Kim et al.(1988)은 제초제는 균근균의 형성에 직, 간접적인 영향을 미친다고 보고한바 있어 청경재배보다 초생재배시 균근균을 포함하여 예측된 유기물이 토양에 공급됨에 따라 사상균의 개체수가 증가하여 미생물체량에 영향을 준 것으로 생각된다. 토양내에서 미생물의 물질분해 역할을 고려할 때 초생재배는 토양의 미생물활성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

감굴농가 토양의 인지질 지방산 함량과 미생물 활성 제초제를 이용하는 관행재배, 토양표면을 자연 초생재배를 하면서 농약사용량을 1/2로 줄여 관리하는 저농약재배, 비료와 농약을 사용하지 않는 유기재배 감굴원에 대하여 인지질 지방산 함량을 분석한 결과는 Fig. 1과 같다. 인지질 지방산은 살아있는 미생물의 세포막에서 추출되는 것으로 토양미생물의 활성을 측정하는 biomarker로 사용되고 있다. 관행재배 감굴원의 인지질 지방산함량은 51.1 n mol g⁻¹, 저농약 초생재배 감굴원은 61.9 n mol g⁻¹, 유기재배 감굴원은 112.2 n mol g⁻¹로 유기재배 감굴원이 관행재배보다 2배 이상 많아 화학합성농자재를 사용하지 않는 유기

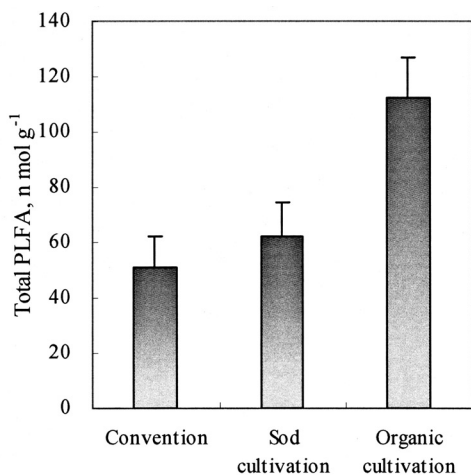


Fig. 1. The total contents of phospholipid fatty acid in three different farming management methods.

재배의 경우 유기물 공급과 자연초생재배를 병행함으로써 미생물의 밀도가 높은 것으로 생각된다(Fraser, 1988). Yoon et al.(2003)은 비농경지 토양이 30년 이상 매년 수시로 농약을 사용하여 온 감굴원 토양에 비하여 훨씬 다양한 미생물군집의 분포빈도를 나타냈다고 하였으며, 유기재배 감굴원에서 균근균의 밀도가 높다고 보고하였다(Kim et al., 1998; Franzluebbers et al., 2000).

Song(1990)은 화산회토양에서는 저항성이 강한 allophane으로부터 용출되는 다량의 알루미늄이 토양 미생물의 활성을 저해한다고 하였는데 제주지역의 경우 화산의 폭발에 의한 영향으로 비화산회토양도 화산재의 영향을 받았기 때문에 미생물의 밀도가 육지부 토양보다 낮은 것으로 생각된다(Lee et al., 1988).

인지질 지방산을 지방산 분석지표를 이용하여 그래프 양성세균, 그래프 음성세균, 방선균, 사상균으로 분류하여 토양관리방법에 따른 미생물 분포비율을 Fig. 2에 나타내었다. 그래프 양성세균은 관행재배 13.3%, 저농약 초생재배 10.6%, 유기재배 11.6%순으로 관행재배토양에서 높았다. 그래프 음성세균은 유기재배 15.1%, 저농약 초생재배 14.7%, 관행재배 11.5% 순으로 유기재배 토양이 관행재배보다 3.6% 높았다. 사상균은 관행재배 10.0%, 저농약 초생재배 7.3%, 유기재배 9.5%로 관행재배는 유기재배토양과 비슷하였다. 방선균은 유기재배 6.6%, 저농약 초생재배 5.4%, 관행재배 5.0%순으로 유기재배토양에서 높은 분포비율을 나타냈다. 감굴의 개화기인 5월은 감굴나무의 양·수분 흡수가 왕성한 시기로 토양표면에서는 감굴나무 뿌리와 잡초의 경합이 발생하여 관행재배 감굴원의 경우, 제초제가 살포되며 토양온도가 올라가면서 토양에 사용된 유기물의 무기화가 활발해지는데 토양에 사용된 유기물의 종류와 제초제의 살포는 미생물의 활성에 영향

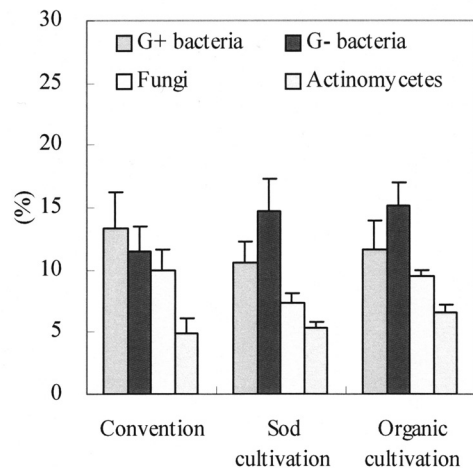


Fig. 2. Distribution ratio of soil microbial groups of total PLFA by three different farming management methods in citrus orchards soil.

을 미친다(Kim et al., 1988; Lynne et al., 2003; Alice et al., 2006). 토양유기물 함량의 지표가 되는 Fungi/Bacteria 비율은 관행재배 40.3%, 저농약 초생재배 28.8%, 유기재배 35.6%로 관행재배가 유기재배보다 다소 높았다. Allison et al.(2005)은 토양 유기물 함량과 비례하여 Fungi/Bacteria 비율이 증가한다고 보고한 바 있다. 감귤농가 토양의 경우 관행재배가 초생재배보다 높았는데, 이것은 관행재배의 경우 시용된 유기물이 지온상승과 함께 분해되면서 유기물 분해 초기에 관여하는 사상균의 밀도가 증가하였고 저농약 초생재배와 유기재배의 경우, 유기물의 종류, 시용량, 농가별 토양관리방법의 차이 때문인 것으로 판단된다. Clegg(2006)는 토양에 질소비료를 시비하면 세균과 방선균 군집구조에 영향을 준다고 하였는데 관행재배의 경우 그랩 음성세균과 방선균의 밀도가 낮은 것은 시비된 화학비료의 영향 때문으로 생각된다.

감귤농가의 토양관리방법에 따른 토양 미생물체량은 Fig. 3에 나타내었다. 관행재배 감귤원 619.1 mg kg⁻¹, 저농약 초생재배 감귤원 647.6 mg kg⁻¹, 유기재배 감귤원 1,192.6 mg kg⁻¹으로 유기재배 감귤원에서 1.5배 정도 높았다. Lothar는(1995) 토양 유기물이 많을수록 미생물체량이 증가한다고 하였으며, Mäder et al.(2002)은 유기재배토양의 경우 미생물체량이 관행재배보다 높다고 하였다. 관행재배는 제조제 살포로 초종 형성이 안 되고 유기재배는 유박, 짚겨 등 유기물의 공급과 제조제의 살포가 없어 다양한 초종에 의하여 토양 중에 균근균의 포자밀도가 증가하여 미생물체량이 높은 것으로 생각된다(Kim et al., 1998). Ishii et al.(1998)은 초생재배가 토양중의 균근균 밀도를 증가시킨다고 하였다.

감귤농가의 토양관리방법에 따른 토양인산효소 활성은 Fig. 4에 나타내었다. 관행재배 56.3 ug PNP g⁻¹ h⁻¹, 저농약 초생재배 60.1 ug PNP g⁻¹ h⁻¹, 유기재배

66.2 ug PNP g⁻¹ h⁻¹로 유기재배가 관행재배보다 17.6% 높았다. Mäder et al.(2002)이 유기재배토양의 인산효소활성이 관행재배보다 높다고 보고한 결과와 일치하였다. 인산효소 활성의 경우, 감귤농가 토양이 시험구보다 낮은 것은 토양종류와 감귤원의 입지조건이 다르고, 농가마다 시비관리가 다르기 때문이라고 생각된다. 유기재배 감귤원의 경우 석회보르도액, 부숙퇴비의 살포로 토양중 구리의 함량이 높는데 Xu et al.(2007)은 토양중 Cu함량이 많으면 산성 토양인산효소 활성이 증가한다고 하였다.

요 약

화산회토 감귤원에서 제조제를 사용하는 청경재배, 자연초종을 이용하는 자연초생재배, 켄터키블루그라스를 이용하는 인위초생재배를 4년간 동일한 방법으로 토양 및 시비관리를 하면서 토양의 물리성과 미생물체량, 토양인산효소 활성을 분석하였다. 자연초생재배가 청경재배보다 입단계수(>0.5 mm)는 26.7% 높았고 토양경도는 11.8 mm 낮았다. 토양의 용적밀도와 공극율은 차이가 없었다. 초생재배가 청경재배보다 인산효소 활성이 높았으며 토양 미생물체량은 인위초생재배가 525.4 mg kg⁻¹로 청경재배보다 2배 이상 높았다. 결론적으로 초생재배는 입단형성이 잘되고 토양 경도가 개선되는 효과가 있었으며 토양 미생물활성이 높았다. 비화산회토 감귤농가 중 5년 이상 제조제를 이용하는 관행재배, 자연 초생재배를 하는 저농약 및 유기농 인증 감귤원 5개를 선정하여 감귤나무의 개화기인 5월에 토양을 채취 후 인지질 지방산과 토양인산효소 활성, 미생물체량을 분석하였다. 인지질 지방산함량은 유기재배 감귤원이 112.2 n mol g⁻¹로 관행재배보다 2배 이상 많았다. 인지질 지방산의 미생물지표에 따른 유기재배토양의 그랩 음성세균은

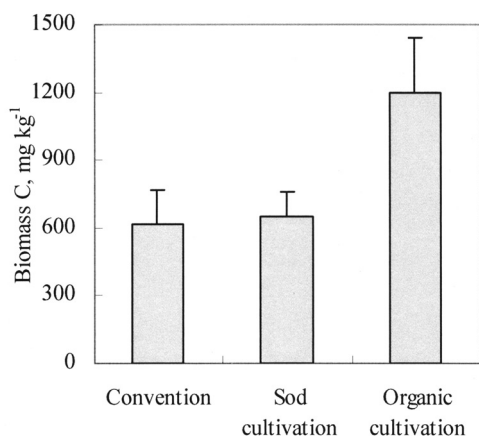


Fig. 3. Microbial biomass C content by three different farming management methods in citrus orchards soil.

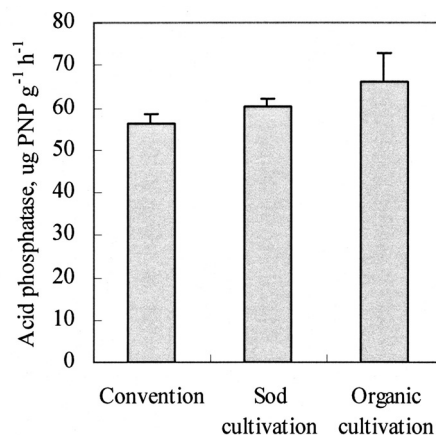


Fig. 4. Acid phosphatase activities by three different farming management methods in citrus orchards soil.

15.1%, 방선균은 6.6%로 관행재배토양 보다 높았다. 유기재배 감귤원이 관행재배보다 토양 미생물체량은 1.5배 정도 많았고 토양인산효소 활성은 17.6% 높았다.

인 용 문 헌

- 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.
- Allison, V. J., R. M. Miller, J. D. Jastrow, R. Matamala, and D. R. Zak. 2005. Changes in soil microbial community structure in a tallgrass prairie chronosequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:1412-1421.
- Bligh, E. G. and W. J. Dyer. 1959. A rapid method for total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.* 37:911-917.
- 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.
- Franzluebbers, A. J., S. F. Wright, and J. A. Stuedemann. 2000. Soil aggregation and glomalin under pastures in the southern piedmont USA. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1018-1026.
- Fraser, D. G., J. W. Doran, W. W. Sahs, and G. W. Lesoing. 1988. Soil microbial populations and activities under conventional and organic management. *J. Environ. Qual.* 17:585-590.
- Huttova, J., L. Tamas, and I. Mistrik. 2002. Aluminium induced acid phosphatase activity in roots of Al-sensitive and Al-tolerant barley varieties. *ROSTLINNÁ V ROBA.* 48:556-559.
- Ishii, T., I. Matsumoto, Y. H. Shrestha, L. H. Wamoch, and K. Kadoya. 1998. Observation of vesicular-arbuscular mycorrhizal formation in the roots of some seasonal weeds proliferated in citrus orchards. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 67:556-558.
- Kim, S. Y., H. W. Oh, D. K. Moon, H. R. Han, and J. B. Chung. 1998. Seasonal changes in colonization and spore density of arbuscular-mycorrhizae in citrus groves. *Korean J. Environ. Agri.* 17:174-181.
- Kim, L. Y., H. J. Cho, and K. H. Han. 2004. Changes of physical properties of soils by organic material application in farm land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37:304-314.
- Lee, S. K., J. S. Suh, J. H. Mun, and C. H. Song. 1988. Studies on identification and enumeration of soil microorganisms in mineral and volcanic ash soil of the Jeju island. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 21:135-140.
- Li, W. H., C. B. Zhang, H. B. Jiang, G. R. Xin, and Z. Y. Yang. 2006. Changes in soil microbial community associated with invasion of the exotic weed *Mikania micrantha* H.B.K. *Plant Soil.* 281:309-324.
- Lothar Beyer. 1995. Soil microbial biomass and organic matter composition in soils under cultivation. *Biol. Fert. Soils.* 19:197-202.
- Lynne, C. B., D. S. Peter, J. L. Mike, and E. S. Tom. 2003. Soil microbial properties under permanent grass, conventional tillage, and no-till management in south Dakota. *Soil Till. Res.* 71:15-23.
- 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., P. F. Grierson, and Z. Rengel. 2005. Microbial community composition and functioning in the rhizosphere of three *Banksia* species in native woodland in Western Australia. *Appl. Soil Ecol.* 28:191-201.
- 岩堀修一, 文屈一巨. 1999. カソキシ總説.
- RDA. 1988. Methods for chemical analysis of soil. Institute of Agricultural Technology.
- Shin, J. S., P. S. Lee, G. J. Park, and I. S. Yun. 1990. Trials of the utilization method in mixtures swards II. Effects of grazing and cutting management on forage quality and soil hardness. *J. Korean Soc. Grassland Sci.* 10:96-101.
- 심상철. 1999. 토양비료 개론. 선진문화사.
- Song, Gi Cheol. 2001. Theory and practice of cover crops growing in orchard. *Korean J. Org. Agri.* 9:96-112.
- Song, Kwan Cheol. 1990. Andic properties of major soils in Cheju island. Ph. D. Thesis, Seoul National University. Suwon, Korea.
- Vance, E. D., P. C. Brookes, and D. S. Jenkinson. 1987. Microbial biomass measurements in forest soils : the use of the chlroroform fumigation incubation method in strongly acid soils. *Soil Biol. Biochem.* 19:697-702.
- Xu, D. M., W. L. Liu, G. S. Liu, and W. P. Liu. 2007. Effects of Hg and Cu on the activities of soil acid phosphatase. *J. Zhejiang University - Science A.* 8:1157-1163.
- 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.