

온도가 유기물의 질소무기화와 미생물 군집구조에 미치는 영향

좌재호* · 문경환 · 김성철 · 문두경 · 고상욱

국립원예특작과학원

Effect of Temperature Condition on Nitrogen Mineralization of Organic Matter and Soil Microbial Community Structure in non-Volcanic Ash Soil

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

National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA

This study was carried out to evaluate effect of temperature condition on nitrogen mineralization of organic matter, distribution of microbial group by PLFA profiles, and soil microbial community in non-volcanic ash soil. Dried soil 30 g mixed well each 2 g of pellet (OFPE) organic fertilizers, pig manure compost (PMC), and food waste compost (FWC). And then had incubated at 10°C, 20°C, and 30°C, respectively. Nitrogen mineralization rate increased with increasing temperature and that was in the order of FWC > OFPE > PMC. Distribution ratio of microbial group by PLFA profiles showed that was different significantly according to incubation temperature and the type of organic matter. As incubating time passed, density of microbial group decreased gradually. The Gram-bacteria PLFA/Gram+ bacteria PLFA, Fungi PLFA/Bacteria PLFA, and Unsaturated PLFA/saturated PLFA ratios were decreased according to the increasing temperature gradually. Principal component analysis using PLFA profiles showed that microbial community structures were composed differently by temperature factor at both 75 days (10°C) and 270 days (30°C). In conclusion, Soil microbial community structure showed relative sensitivity and seasonal changes as affected by temperature and organic matter type.

Key words: Temperature, Nitrogen mineralization, PLFA, Microbial Community

서 언

토양온도는 유기물 분해과정에서 중요한 역할을 하는데 온도가 높아질수록 탄소무기화는 증가한다 (Wennman and Ktterer, 2006). 온도변화에 따른 유기물의 분해양상과 미생물의 활성을 파악하는 것은 유기물의 적정사용을 위하여 중요하다. 토양에 유기물사용 후 미생물에 의한 질소무기화와 이에 따른 미생물의 구성, 군집구조의 변화는 토양의 양분순환에 상당한 영향을 미친다.

유기물의 분해와 무기화과정은 토양특성, 온도, 수분함량, 유기물의 화학적 조성, 호기적인 조건 등 비 생물적 요인과 미생물 개체수, 미생물의 양분요구도 등 생물적 요인이 복합적으로 상호작용하여 진행된다 (Bapiri et al., 2010; Manzoni and Porpotato, 2007; Nobili et al., 2006). 점토 함량과 토양유형은 질소무기화반응에 영향을 주며 (Cobo et al., 2002; Deenik, 2006), 비경작지토양이 이분해성 무기화 질소함량이 높

고 (Sharifi et al., 2008), 건조된 토양으로 항온배양을 하였을 때 호기 조건에서는 총질소 무기화율이 높다 (Wang et al., 2001)고 하였다. 유기물이 분해되는 과정에서 토양 pH는 질소 회산, 미생물 개체수, 미생물군집 (Wu et al., 2010)에 영향을 준다고 하였다.

전통적으로 미생물 활성을 평가하는 방법은 선택배지를 이용하여 미생물의 종류와 개체수를 파악하였으나 시료 채취, 배양조건, 배지 종류, 양분요구도에 따라 배양되는 미생물의 개체수가 적고 변이가 커 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 인지질 지방산은 살아있는 미생물 세포막에 존재하기 때문에 배양이 어려운 미생물까지도 정량할 수 있어 미생물의 활성을 평가하는데 유용하다. 인지질 지방산 (PLFA)은 살아있는 미생물체량 지수, 특정분류군을 위한 미생물학적 스트레스 지표, 군집구조의 변화를 해석하는데 사용될 수 있다 (Webster et al., 2006). 미생물군집은 토양유형, 시간, 토양관리, 공간적 변이, 시비 등에 영향을 받는데 (Bossio et al., 1998; Bossio and Scow, 1998; Kaur et al., 2005; Marschner et al., 2003), Rahman and Sugiyama (2008)은 미생물군집 구성과 구조는 양분 공급량 차이나 샘플링 시기에 따라 변한다고 하였으며

접수 : 2012. 3. 15 수리 : 2012. 6. 14

*연락처 : Phone: +820647412581

E-mail: choa0313@rda.go.kr

유기질비료는 토양미생물의 생물량을 증가 시킨다 (Kaur et al., 2005)고 하였다. Joa et al. (2009)은 유기물의 공급없이 항온배양기간이 길어질수록 총인지질 지방산 함량은 감소한다고 하였다.

세균, 방선균, 사상균 등 미생물 그룹은 지표 지방산그룹에 의하여 분류할 수 있으며 미생물 구성 변화는 인지질 지방산조성 변화로 알 수 있다 (Li et al., 2006; Rahman and Sugiyama, 2008). PLFA는 양분이 부족하거나 고온의 스트레스를 받으면 사상균 (18:2w6)과 그람 음성균 유래 지방산이 감소한다. Feng and Simpson (2009)은 항온배양 시험을 통하여 기질이용성 (F/B, G-/G+), 환경스트레스 (cy19:0/18:1 ω7c), 호기적 조건과 고농도 양분지표 (Unsat/sat)에 대하여 보고한 바 있다.

제주지역 비화산회토양에서 유기물 시용이 질소무기화와 미생물 활성에 미치는 영향에 대한 연구는 많지 않으며, 더구나 온도조건별 유기물 분해양상에 따른 미생물의 군집구조와 생물학적 지표에 대한 연구는 거의 없다.

본 연구는 비화산회토양에 유기물을 항온 배양했을 때 토양과 온도 조건이 질소무기화율, 인지질 지방산함량에 의한 미생물 분포와 군집구조에 미치는 영향을 평가하고자 수행하였다.

재료 및 방법

제주도내 감귤재배농가에서 가장 많이 사용되고 있는 입상혼합유기질비료, 돈분퇴비, 음식물퇴비를 2 mm체를 통과한 풍건시킨 암갈색 비화산회토양 (미사질식토, 동홍통, 경작토) 30 g 당 2 g을 잘 혼합한 후 밀폐된 플라스틱용기에 넣은 후 포장용수량 상태의 토양수분 조건을 유지하면서, 10°C, 20°C, 30°C에서 항온배양을 수행하였다. 돈분퇴비 (PMC)는 돈분과 톱밥 (3:7)이, 음식물퇴비 (FWC)는 음식물쓰레기와

톱밥 (5:5)이, 입상유기질비료 (OFPE)는 유박, 쌀겨, 골분, 어분, 팜박 등이 혼합된 것을 이용하였다. 시험토양은 초기 45일 동안은 평량 스푼을 이용 7일 간격으로 혼합하였으며 이후 토양을 채취할 때 마다 잘 저어 주었다. 인지질 지방산 함량은 75, 270일에 2반복으로 분석하였다. 토양별 질소 무기화율은 15, 30, 45, 75, 150, 240, 270일에 토양을 채취하여 무기태 질소 (NH₄-N과 NO₃-N)함량을 분석 하였다.

토양과 유기물 화학성분 토양과 유기물을 풍건 후 농촌진흥청 표준분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 이화학성분을 분석하였다. NH₄-N과 NO₃-N은 토양 5 g에 2 M KCl용액 25 mL를 첨가하고 200 rpm에서 1시간 동안 진탕시킨 후 여과하였다. 여과액은 자동원소분석기 (Fiastar 5000 autoanalyzer, Foss Tecator, Sweden)로 분석되었고, 분석치는 건토함량으로 환산하였다.

시험에 이용한 비화산회토양은 pH가 5.8 이었고, 유기물, 질소와 유효인산함량은 낮았으며, 치환성 알루미늄함량은 150.5 mg kg⁻¹이었다 (Table 1).

유기물은 종류에 따라 화학성분 함량의 차이가 컸다 (Table 2). 유기질비료의 질소함량은 음식물퇴비의 약 2배 정도 많았고, 인산함량은 입상유기질비료와 돈분퇴비에서 높았다. 칼리함량은 돈분퇴비가 3.13%, 칼슘함량은 음식물퇴비가 5.65%로 가장 많았다. C/N비는 입상 유기질비료가 23.5로 음식물퇴비 41.1보다 약 1.7배나 낮았다.

인지질 지방산 (Phospholipid fatty acid, PLFA)분석 인지질 지방산추출은 Bligh and Dyer (1959)의 방법을 이용하였다. 동결건조 시킨 토양 5 g에 0.1 M Phosphate Buffer 혼합 침출액 33.25 mL를 첨가하여 교반 후 분액 깔대기에 옮겨 18 h 동안 정치한 다음 지방산을 추출하였다. 추출된 지방산은 silicic acid column chromatography를 이용하여 중성

Table 1. Chemical properties of soil used in this experiment.

pH	OM [†]	T-N	Av. P ₂ O ₅	Exch. cation			Exch. Al
				K	Ca	Mg	
1:5	g kg ⁻¹	%	mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----			mg kg ⁻¹
5.8	26.9	0.07	9.4	1.7	5.9	2.4	150.5

[†]OM, Organic matter.

Table 2. Chemical characteristics of organic matter used in this experiment.

Organic matter	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Zn	Cu	C/N
	----- % -----			----- mg kg ⁻¹ -----			
OFPE [†]	3.80	3.92	1.27	3.13	62.3	21.3	23.5
PMC	2.52	3.69	3.13	2.67	478.2	332.1	31.9
FWC	2.06	2.45	0.61	5.65	85.5	42.1	41.1

[†]OFPE, Organic fertilizer pellet type; FWC, Food waste compost; PMC, Pig manure compost.

지질과 당지질을 순서대로 제거한 후 인지질을 분획하였다. 분획된 시료는 methylation시킨 후 Internal standard로 50 nM Methyl nonadecanoate (C19:0) 0.2 mL를 첨가하여 MIDI 미생물동정시스템 (MIDI Inc., Newark, DE)을 이용하여 지방산을 정량하였다.

PLFA 지표 미생물 분포분석 지방산 지표를 이용하여 미생물그룹을 세균, 방선균, 사상균, 균근균으로 분류 후 백분율로 나타냈다 (Li et al., 2006; Rahman and Sugiyama, 2008). 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, 19:0cycw 8c, 17:1 w 8c, 방선균은 TBSA 10me18:0, 10Me16:0, 10Me17:0, 사상균은 18:2 w6,9c, 18:1 w9c, 균근균 16:1w 5c를 지표 지방산으로 이용하였다. 세균은 그램 음성균과 양성균 지방산함량을 더해 산출하였다.

PLFA 생물학적 지표 (Biological index)비율 분석 분석된 지방산을 이용하여 온도조건별 유기물 종류가 미생물 분포에 미치는 영향에 대하여 다음 4개의 생물지표를 분석하였다. 탄소영양원 이동 지표로 그램음성세균/그램양성세균 (G-/G+) (Yao et al., 2000), 유기물함량 지표로 사상균/세균 (F/B) (Bardgett et al., 1996), 양분결핍, pH 변화, 중금속함량, 고온 등 환경스트레스를 나타내는 지표로 cy19:0/18:1w 7c (Bossio and Scow, 1998; Kaur et al., 2005), 호기적조건과 양분농도 지표로 단불포화지방산/포화지방산 (Unsat/sat) (Bossio et al., 1998)를 이용하였다.

통계분석 ANOVA분석은 유의수준 5%로 SAS Enterprise guide 4.2 (SAS Inst., Cary, NC, USA)를 이용하였고, 미생물 군집분석은 시료별 1%이상 함유된 인지질 지방산에 대해 주 성분 분석을 수행 하였다.

결과 및 고찰

온도조건별 유기물의 질소 무기화 270일 동안 온도별로 토양과 혼합된 유기물을 항온배양 하였을 때 유기태질소가 무기태질소 (NH₄-N과 NO₃-N)로 전환된 비율은 Fig. 1에 나타났다. 입상유기질비료는 10°C 3.2%, 20°C 10.9%, 30°C 21.5%. 음식물퇴비는 10°C 0.6%, 20°C 38.5%, 30°C 61.2%. 돈분퇴비는 10°C 2.0%, 20°C 4.4%, 30°C 8.4%였으며 온도가 10°C 증가할수록 빠르게 진행되었다. 음식물퇴비는 온도가 증가할수록 급격하게 질소무기화가 되었으며, 입상유기질비료, 돈분퇴비 순으로 질소무기화가 빠르게 진행되었고 20°C기준 음식물퇴비는 입상유기질비료보다 약 4배나 빠르게 무기화가 된 반면 돈분퇴비는 9배나 느리게 나타났다.

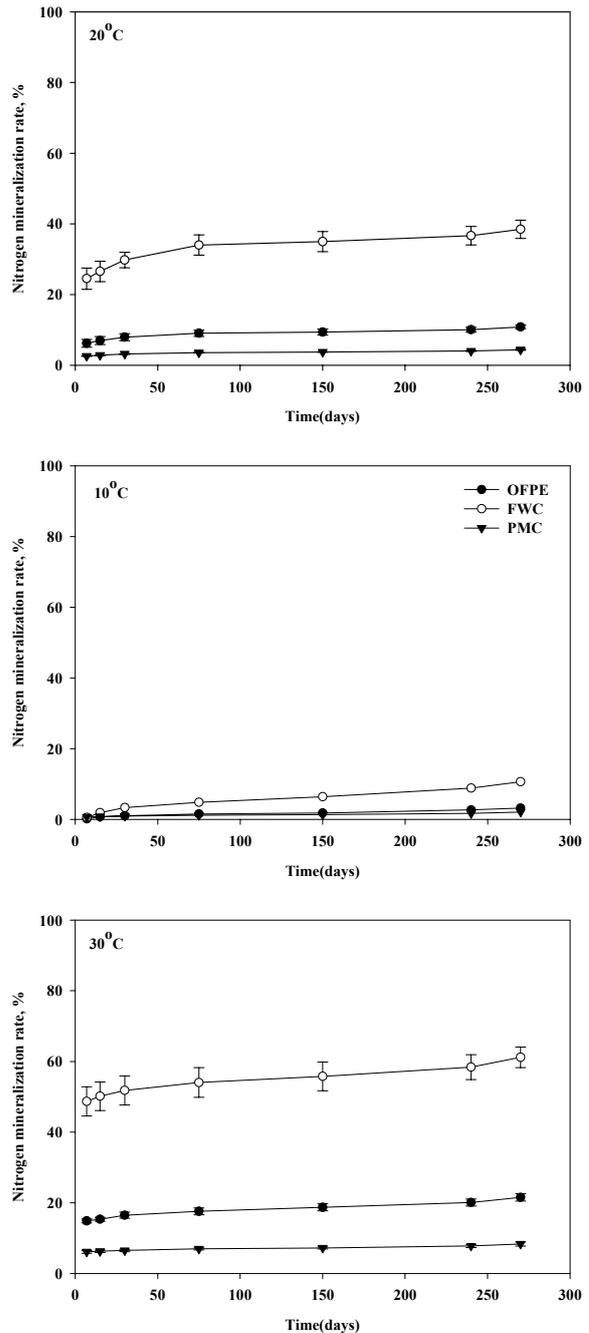


Fig. 1. Changes in non-volcanic ash soil nitrogen mineralization rate under different incubation temperature. See table 1. Vertical bars indicate mean±S.D.

질소무기화가 10°C의 경우 낮은 반면 30°C에서 항온배양 초기부터 높게 나타난 것은 풍건토를 이용하여 토양자체에 있는 미생물의 밀도가 낮은 것을 고려할 때 온도가 유기물의 분해에 상당한 영향을 주는 것으로 생각된다.

이러한 결과는 토양온도가 30-35°C일 때 질소무기화는 최대가 되며 (Deenik, 2006), 온도가 높을수록 무기화가 빠르게 나타나 온도가 유기태질소의 무기화에 영향을 준다 (Agehara and Warncke, 2004)는 결과와 일치하는 경향을 보였다. 음식

물퇴비가 돈분퇴비 보다 질소무기화가 빠르게 진행되었는데, 이는 음식물과 돈분퇴비의 퇴비구성 물질인 톱밥의 종류에 따른 질소무기화정도가 다르기 때문으로 사료된다 (Manzoni and Porpotato, 2007). Sharifi et al. (2008)은 비경작지토양에서 이분해성 무기화 질소함량이 관행경작지보다 높았다고 하였는데, 시험토양은 경작토로 풍건과 수분의 공급과정을 거치면서 미생물의 종류와 밀도가 변하여 질소무기화에 영향을 준 것으로 보인다 (Nobili et al., 2006). Bapiri et al. (2010)은 풍건시킨 토양에 수분을 공급하였을 때 사상균과 세균의 밀도가 변한다고 보고한 바가 있다. Wang et al. (2001)은 건조된 토양을 이용하여 배양하였을 때 호기적 조건은 총질소 무기화율에 영향을 주지만 혐기적 조건에서는 항상 높지 않다고 하였다. 질소무기화율이 음식물퇴비에서 가장 높게 나타난 것은 입상유기질비료보다 C/N비가 높고, 칼슘함량이 높아 유기물분해 잠재력이 높아 질소의 무기화경향이 높은 반면 입상유기질비료는 분해과정에서 점토 등 토양물리성의 영향으로 혐기적인 환경조건과 유기물중 C/N비가 가장 낮아 질소무기화 경향이 낮았기 때문으로 사료된다.

인지질 지방산 (PLFA)함량에 의한 시기별 미생물

분포 인지질 지표 지방산을 이용한 항온배양 75일 후 미생물 분포는 Fig. 2에 나타났다. 비화산회토양의 세균 유래 지방산은 10℃에서 대조구 (53.6%)가 음식물퇴비 (25.5%)보다 2배이상, 20℃는 돈분퇴비 (46.5%)가 가장 많았으나 처리간에 유의성 ($p < 0.05$)은 없었으며, 30℃에서 입상유기질비료 (59.9%)가 음식물퇴비 (32.4%)보다 약 2배정도 밀도가 높았다. 입상유기질비료는 온도가 10℃높을수록 증가 하였으며 30℃에서 59.9%로 세균의 밀도가 가장 높았다. 음식물퇴비는 20℃에서 44.8%로 높았으나 30℃에서는 감소하는 경향을 보였다. 돈분퇴비는 온도와 상관없이 비슷한 수준이었으나 대조구는 온도가 높을수록 감소하는 경향을 나타냈다. 세균 유래 지방산은 온도가 높을수록 증가하는 경향을 보였다. 방선균 유래 지방산은 10℃와 20℃에서 대조구가 각각 16.7%, 15.1%, 30℃에서 돈분퇴비가 12.0%로 가장 높았다. 입상유기질비료는 20℃에서 10.0%로 가장 높았고 음식물퇴비, 돈분퇴비, 대조구는 10℃에서 가장 높았으며 온도가 높을수록 점차 감소하는 경향을 보였다. 사상균 유래 지방산은 10℃에서 음식물퇴비 (25.5%), 20℃에서 돈분퇴비 (11.8%), 30℃에서 입상유기질비료 (21.1%) 가장 높았다. 입상유기질비료와 음식물퇴비는 10℃에서 가장 높고 온도가 높을수록 감소하는 경향을 나타냈으며 돈분퇴비는 온도수준별 차이가 없었다. 균근균 유래 지방산은 10℃와 20℃에서 대조구가 각각 1.7%, 2.2%, 30℃에서 입상유기질비료 2.0%로 높았다. 온도가 높을수록 입상유기질비료는 증가하는 경향을 보였고, 음식물퇴비는 비슷한 경향을 나타냈으며 돈분퇴비는 감소하였으므로 20℃에서 처리 간에 유의성 ($p < 0.05$)이 있었다.

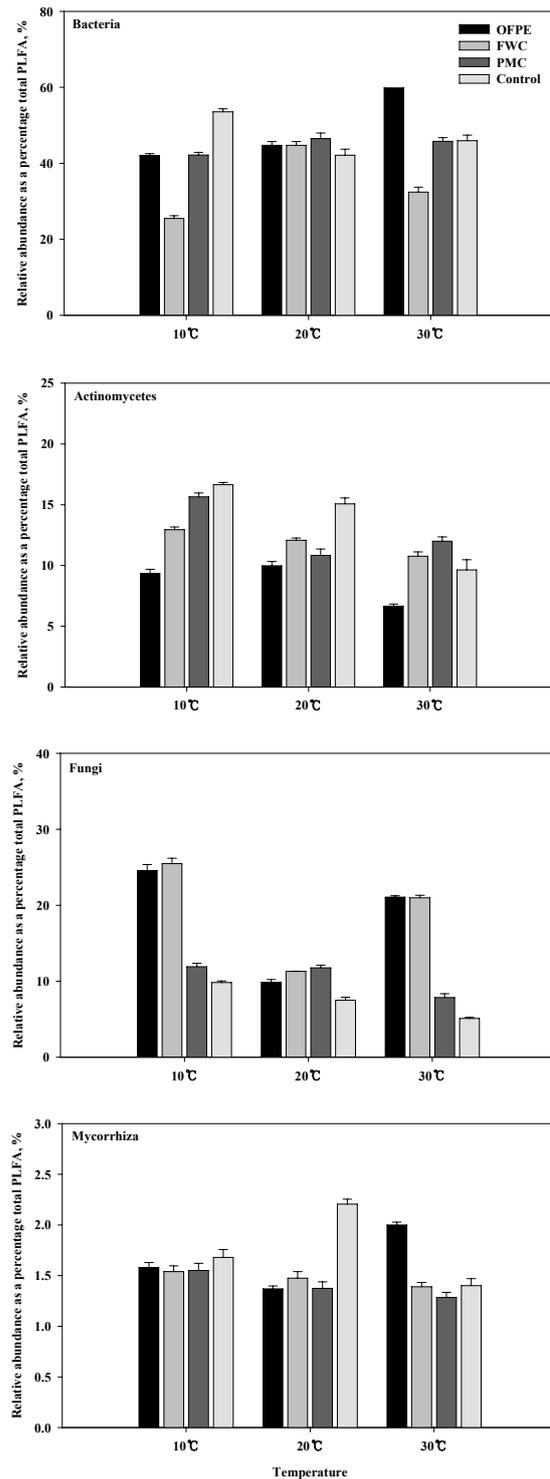


Fig. 2. Relative abundance of microbial group by PLFA profiles in non-volcanic ash soil treated with organic materials after incubation at 75 days. See fig. 1.

이상의 결과를 요약하면 세균은 입상유기질비료 (30℃)가 높았으며, 방선균은 무처리에서 높았다. 사상균은 음식물퇴비와 입상유기질비료에서 높았으며, 균근균은 비슷한 수준을 보였다. Wu et al. (2010)은 토양을 채취한 지역의 온도 등 환경조건이 미생물분포나 군집에 영향을 준다고 하였는데,

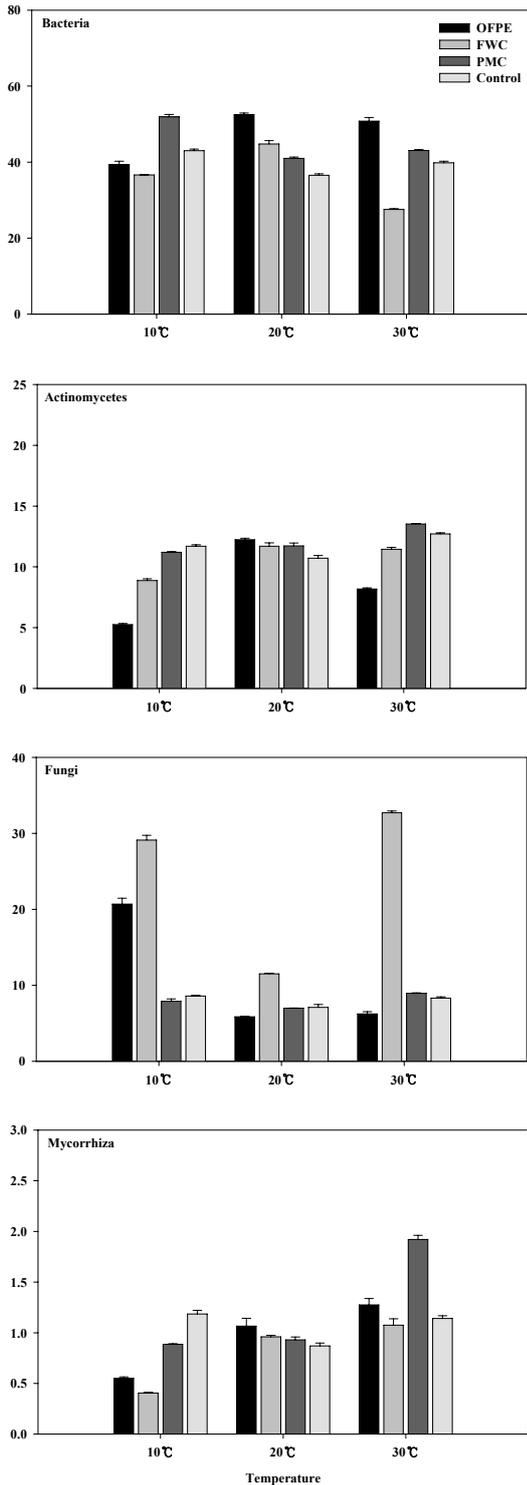


Fig. 3. Relative abundance of microbial group by PLFA profiles in non-volcanic ash soil treated with organic materials after incubation at 270 days. See fig. 1.

온도가 높아지면서 미생물군집을 구성하는 세균이나 사상균 인지질 지방산조성이 변화하면서 미생물의 분포도 차이가 나타난 것으로 생각된다.

인지질 지표 지방산을 이용한 향온배양 270일후 미생물 분포는 Fig. 3에 나타냈다. 세균 유래 지방산은 10°C에서 돈

분퇴비 (51.9%), 20°C와 30°C는 입상유기질비료 (52.5%, 50.8%)가 높았다. 입상유기질비료는 온도가 증가 할수록 증가하였으며 음식물퇴비는 20°C에서 44.8%, 돈분퇴비와 대조구는 10°C에서 각각 51.9%, 43.0%로 가장 높았다. 방선균 유래 지방산은 10°C에서 대조구 (11.7%), 20°C에서 입상유기질비료 (12.2%), 30°C에서 돈분퇴비 (13.5%)가 높았다. 입상유기질비료는 증가하다가 30°C에서 감소하였으나 돈분퇴비는 온도가 10°C 높아질수록 증가하는 경향을 보였다. 사상균 유래 지방산은 10°C, 20°C, 30°C처리에서 음식물퇴비 (29.1%, 11.5%, 32.7%)가 높았으며, 돈분퇴비와 대조구는 온도간에 비슷한 경향을 보였으며 입상유기질비료는 10°C에서 20.7%로 가장 높았으며 점차 감소하여 20°C와 30°C에서는 3배 이상 낮은 5.8%, 6.2%로 온도간에 차이가 컸다. 균근균 유래 지방산은 10°C에서 대조구 (1.2%), 20°C에서 입상유기질비료 (1.3%), 30°C에서 돈분퇴비 (1.9%)가 가장 높았으며 온도가 높을수록 증가하는 경향을 보였다.

이상의 결과 세균 유래 지방산은 돈분퇴비 (10°C)와 입상유기질비료 (20°C, 30°C)에서 높았으며, 방선균 유래 지방산은 온도별로 변동폭이 크게 나타나는 경향을 보였다. 사상균 유래 지방산은 음식물퇴비 (10°C, 30°C)에서 높았으며, 균근균 유래 지방산은 처리간에 유의성 ($p < 0.05$)이 있었다. 배양 기간이 길어지면서 유기물에 따라 차이가 있지만 미생물의 분포비율이 감소하는 경향을 보였다. 10°C와 대조구에서 지방산 유래 미생물의 분포비율이 높게 나타나는 것은 유기물에 포함된 지방산과 오랜기간 경작된 토양에 함유된 성분에서 기인하는 것으로 사료된다. 온도별로 유기물원에 따라 인지질 지방산 조성과 함량의 변화를 알 수 있어 인지질지방산 분석을 통하여 토양 미생물 분포를 파악할 수 있을 것으로 생각되며 유기물원에 따라 미생물분포가 다르게 나타나는 것으로 생각된다. 시간이 경과할수록 지방산유래 미생물의 밀도는 온도에 따라 차이가 있으나 감소하는 경향을 보였으며, 돈분퇴비는 10°C와 30°C에서 사상균의 밀도가 증가하는 경향을 나타냈다.

인지질 지방산함량에 의한 생물학적 지표 (Biological index) 해석

향온배양 75일후 지표 인지질 지방산을 이용한 기질이용성과 환경스트레스지표 변화를 분석한 결과는 Fig. 3에 나타냈다. 탄소영양원 이동 지표인 그람음성세균/그람양성세균 (G-/G+)비는 온도가 10°C씩 높을수록 감소하였으며 10°C에서 음식물퇴비가 2.87, 20°C에서 입상유기질비료가 1.06, 30°C에서 음식물퇴비가 0.64로 높았다. 유기물 함량 지표인 사상균/세균 (F/B)비는 음식물퇴비가 10°C, 20°C, 30°C에서 각각 0.63, 0.28, 0.68로 높았다. 양분결핍, pH 변화, 중금속함량, 고온 등 환경스트레스를 나타내는 지표인 cy19:0/18:1ω7c비는 입상유기질비료를 제외하고 온도가 10°C씩 높을수록 증가하는 경향이었고 10°C와 30°C에서 돈분퇴

비가 각각 1.81, 4.09, 20°C에서 음식물퇴비가 2.16으로 높았다. 특히 입상유기질비료는 10°C (1.50), 20°C (1.06), 30°C (0.76)로 온도가 높을수록 감소하였으나 음식물퇴비는 10°C (0.87), 20°C (2.16), 30°C (2.45)로 온도가 10°C씩 높을수록 증가하였으며 돈분퇴비도 같은 경향을 보였으며 30°C (4.08)

는 10°C (1.81)보다 2배이상 높았다. 호기적조건과 양분농도 지표인 단불포화지방산/포화지방산 (Unsat/sat)비는 10°C에서 입상유기질비료가 2.18, 20°C는 대조구가 1.29, 30°C는 입상유기질비료가 0.84로 높았다. 입상유기질비료와 음식물퇴비는 온도가 높을수록 점차 감소하는 경향을 나타냈으며, 돈분퇴비와 대조구는 증가하다가 감소하는 경향을 보였다.

G-/G+와 F/B비는 온도가 10°C 높을수록 감소하였으며, G-/G+는 음식물퇴비에서 감소비율이 제일 높았다. F/B비는 입상 유기질비료에서 6배나 감소하여 감소비율이 제일 높았다. 이는 고온에서 유기물의 분해가 활발하게 진행되어, 탄소 영양원이 풍부해졌기 때문으로 생각되며, Feng and Simpson (2009)이 보고한 결과와 일치하였다. 또한, Kaur et al. (2005)은 온도변화가 미생물군집에 스트레스를 주어 지방산 조성을 변화시킨다고 하였는데, 온도가 높아지면서 유기물이 분해되는 과정에서 사상균과 그람음성세균 유래 지표지방산이 감소하였기 때문으로 사료된다. cy19:0/18:1w7c비는 입상유기질비료가 온도가 높을수록 감소한 반면 돈분퇴비는 증가하였는데 이것은 유기물이 분해가 되면서 토양 pH의 변화, 돈분유래 중금속의 활성화, 유기물의 분해에 따른 가용성 양분의 증가에 기인하는 것으로 생각된다. 입상유기질비료와 음식물퇴비의 Unsat/sat비가 온도가 높을수록 감소하는 것은 낮은 온도에서 유기물의 분해가 느려서 잠재적으로 가용화 할 수 있는 양분의 양이 많다는 것을 의미하며 질소무기화가 30°C보다 10°C에서 상대적으로 낮은 것과 비슷한 경향을 보였다.

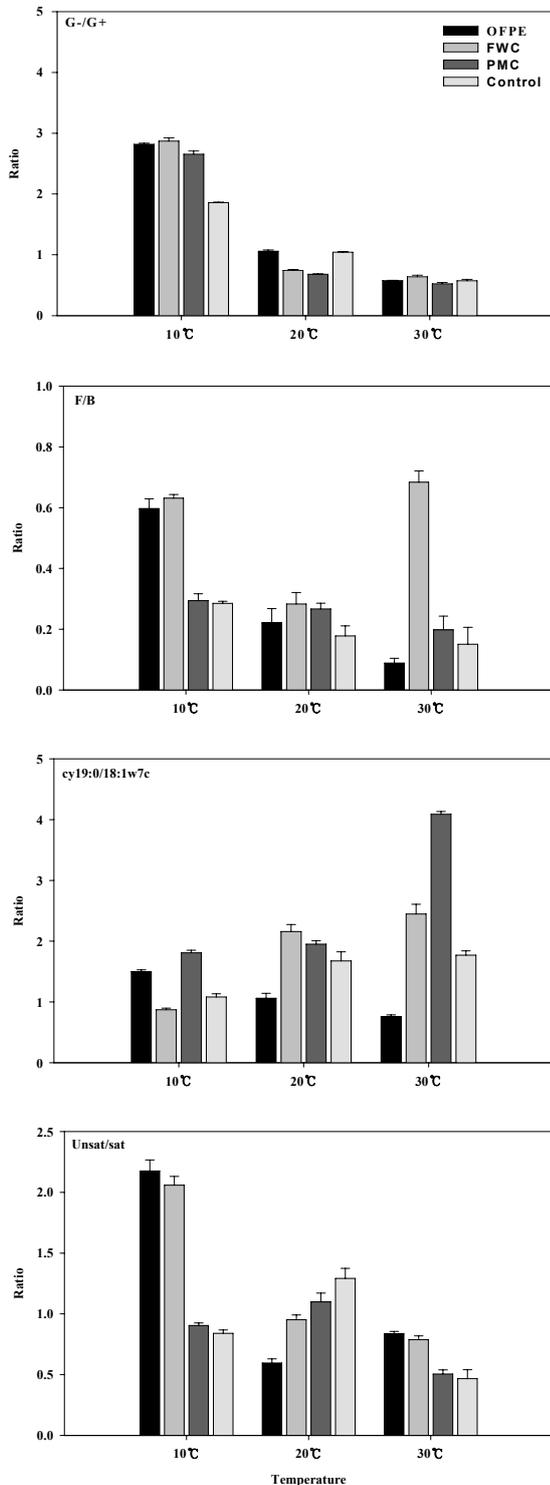


Fig. 4. Biological index ratio by PLFA profiles in non-volcanic ash soil treated with organic materials after incubation at 75 days. See fig. 1.

인지질 지방산 함량에 의한 미생물군집의 시기별 변화 온도조건이 인지질 지방산 함량과 조성에 미치는 영향에 대하여 시료별 1%이상 함유된 인지질 지방산을 이용하여 주성분 분석을 한 결과는 Fig. 5에 나타냈다. 75일에 분석된 인지질 지방산 함량은 온도에 따른 차이를 보이지 않았다. 하지만 270일에 분석된 인지질 지방산 함량은 온도별로 군집을 나타내는 경향을 보였는데 75일과 비교하여 군집분포가 다르게 나타났다. 특히 입상유기질비료의 경우 10°C와 30°C에서 음식물퇴비, 돈분퇴비와 비교하여 뚜렷하게 군집분포의 차이를 나타내었다. 75일은 총변동 중 제1 주성분은 22.0%, 제2주성분은 19.2%를, 270일은 총변동 중 제1 주성분은 26.0%, 제2주성분은 20.4%를 설명 할 수 있었다. Wennman and K terer (2006)는 온도가 높아질수록 탄소무기화가 증가한다고 하였는데, 미생물밀도가 낮은 풍건토양에 유기물을 혼합 후 일정시간이 경과하면서 미생물이 유기물을 분해하여 영양원으로 이용하기 때문에 온도가 미생물군집에 상당한 영향을 주는 것으로 생각되며, 특히 이분해성 유기물인 입상유기질비료는 온도가 높아질수록 분해가 진행되면서 토양에 가용성 탄소가 증가하여 음식물퇴비와 돈분퇴비 보다 다른 경향을 나타낸 것으로 생각된다. 이는 Kaur et al. (2005)이 유기질비료는 토양미생물의 생물량을 증가시킨다고 보고와

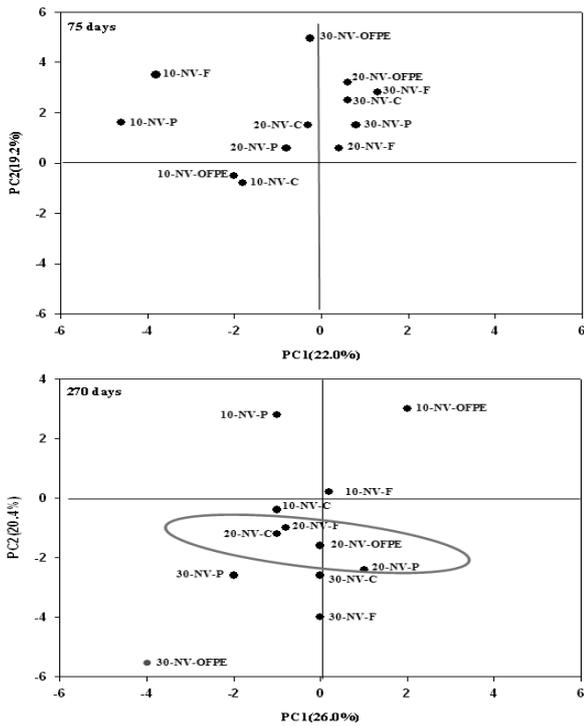


Fig. 5. Principal component analysis of microbial community structures using PLFA profiles according to different incubating temperature in non-volcanic ash soil (10:10°C; 20:20°C; 30:30°C; C:control; P:PMC; F:FWC).

일치하였다. 또한 일정기간 지난 후 미생물 군집이 안정화되면서 온도 등 환경이 미생물 군집구조와 구성에 영향을 준 것으로 사료되며, Wu et al. (2010)이 토양 환경조건은 미생물군집 형성에 크게 영향을 준다는 결과와 일치하는 경향을 보였다. 이상의 결과는 유기물원에 따라 미생물군집이 분별하게 차별화 되어 인지질 지방산을 미생물 군집구조를 해석하는 지표로 적용이 가능 할 것으로 생각된다. 75일과 270일 두 시기별 미생물군집의 차이는 토양속에서 온도, 수분 등 환경요인의 변화에 따라 항상 일정하게 유지되지 않고 양분 순환과 함께 계속 바뀌는 것을 의미하며, 토양에서 미생물군집의 이동은 가져온다미생물군집은 시간, 공간적 변이, 시비 등에 영향을 받는다 (Bossio et al., 1998; Bossio and Scow, 1998; Kaur et al., 2005; Marschner et al., 2003)는 보고와 일치하는 경향을 보였다. Joa et al. (2009)은 시간이 경과 할수록 총인지질 지방산 함량은 감소하였다고 보고한 바 있다. 이는 토양에 사용된 유기물의 종류와 분해정도가 미생물의 밀도에 영향을 주기 때문으로 Rahman and Sugiyama (2008)가 보고한 미생물군집 구성과 구조는 양분 공급량 차이나 샘플링 시기에 따라 변한다는 결과와 비슷하였다.

요 약

온도조건이 유기물의 질소무기화율, 인지질 지방산유래

미생물 분포와 군집구조에 미치는 영향을 평가하고자 수행하였다. 비화산회토양 30 g에 입상유기질비료, 음식물퇴비, 돈분퇴비를 각각 2 g씩 잘 혼합한 후 10°C, 20°C, 30°C에서 항온배양을 하면서 질소 무기화량과 인지질 지방산 함량을 분석하였다.

질소 무기화율은 온도와 비례하여 증가하였으며 음식물퇴비>입상유기질비료>돈분퇴비 순으로 질소무기화율이 높았다. 지방산 유래 미생물 그룹의 분포는 온도, 유기물종류에 따라 차이를 보였으며 시간이 경과 할수록 미생물의 밀도는 감소하는 경향을 나타냈다. G-/G+, F/B, Unsat/sat비는 온도가 올라가면서 감소하였다. 인지질 지방산 함량을 이용하여 주성분 분석을 한 결과 270일에 온도에 따라 입상유기질비료는 뚜렷한 미생물군집구조를 보였다.

결론적으로 미생물 활성은 온도, 유기물 종류에 따라 상대적인 민감도와 시기별로 차이를 보였다.

감사의 글

이 논문은 농촌진흥청 시험연구사업비 (과제번호 PJ90-6988)에 의해 수행되었음

인 용 문 헌

- Agehara, S. and D.D. Warncke. 2004. Soil moisture and temperature effects on nitrogen release from organic nitrogen sources. *Am. J. Soil Sci. Soc.* 69:1844-1855.
- Bapiri, A., E. Bååth, and J. Rousk. 2010. Drying-rewetting cycles affect fungal and bacterial growth differently in an arable soil. *Microb. Ecol.* 60:419-428.
- Bardgett, R.D., P.J. Hobbs, and A. Frostegard. 1996. Changes in soil fungal:bacterial biomass ratios following reductions in the intensity of management of an upland grassland. *Biol. Fertil. Soils* 22:261-264.
- Bligh, E.G. and W.J. Dyer. 1959. A rapid method for total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.* 37:911-917.
- Bossio, D.A., K.M. Scow, N. Gunapala, and K.J. Graham. 1998. Determinants of soil microbial communities: effects of agricultural management, season, and soil type on phospholipid fatty acid profiles. *Microb. Ecol.* 36:1-12.
- 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.
- Cobo, J.G., E. Barrios, D.C.L. Kass, and R. Thomas. 2002. Nitrogen mineralization and crop uptake from surface-applied leaver of green manure species on a tropical volcanic-ash soil. *Biol. Fertil. Soil.* 36:87-92.

- Deenik, J. 2006. Nitrogen mineralization potential in important agricultural soils of Hawai'i. *Soil Crop Manage.* 15:1-5.
- Feng, X. and M.J. Simpson. 2009. Temperature and substrate controls on microbial phospholipid fatty acid composition during incubation of grassland soils contrasting in organic matter quality. *Soil Biol. Biochem.* 41: 804-812.
- Joa, J.H., D.G. Moon, S.J. Chun, C.H. Kim, K.S. Choi, H.N. Hyun, and U.G. Kang. 2009. Effect of temperature on soil microbial biomass, enzyme activities, and PLFA content during incubation period of soil treated with organic materials. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42:500-512.
- Kaur, A., A. Chaudhary, R. Choudhary, and R. Kaushik. 2005. Phospholipid fatty acid-A bioindicator of environment monitoring and assessment in soil ecosystem. *Current Science.* 89:1103-1112.
- 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.
- 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.
- Manzoni, S. and A. Porpotato. 2007. A theoretical analysis of nonlinearities and feedbacks in soil carbon and nitrogen cycles. *Soil Biol. Biochem.* 39:1542-1556.
- Nobili, D.M., M. Contin, and P.C. Brookes. 2006. Microbial biomass dynamics in recently air-dried and rewetted soils compared to others stored air-dry for up to 103 years. *Soil Biol. Biochem.* 38:2871-2881.
- Rahman, M.H. and S. Sugiyama. 2008. Dynamics of microbial community in Japanese andisol of apple orchard production systems. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 39:1630-1657.
- NIAS. 2000. *Methods of soil and plant analysis.* National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Sharifi, M., B.J. Zebarth, D.L. Burton, C.A. Grant, S. Bittman, C.F. Drury, B.G. McConkey, and N. Ziadi. 2008. Response of potentially mineralizable soil nitrogen and indices of nitrogen availability to tillage system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72:1124-1131.
- Wang, W., C.J. Smith, P.M. Chalk, and D. Chen. 2001. Evaluation chemical and physical indices of nitrogen mineralization capacity with an unequivocal reference. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:368-376.
- Webster, G., L.C. Watt, J. Rinna, J.C. Fry, R.P. Evershed, R.J. Parkes, and A.J. Weightman. 2006. A comparison of stable-isotope probing of DNA and phospholipid fatty acids to study prokaryotic functional diversity in sulfate-reducing marine sediment enrichment slurries. *Environ. Microb.* 8:1575-1589.
- Wennman, P. and T. Kätterer. 2006. Effects of moisture and temperature on carbon and nitrogen mineralization in mine tailings mixed with sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 35:1135-1141.
- Wu, Y., X. Yu, H. Wang, N. Ding, and J. Xu. 2010. Does history matter? Temperature effects on soil microbial biomass and community structure based on the phospholipid fatty acid (PLFA) analysis. *J. Soils Sediments.* 10:223-230.
- 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.