

온도가 화산회토양의 질소무기화와 미생물군집이동에 미치는 영향

좌재호* · 문두경 · 고상욱 · 현해남¹

국립원예특작과학원, ¹제주대학교

Effect of Temperature Condition on Nitrogen Mineralization and Soil Microbial Community Shift in Volcanic Ash Soil

Jae-Ho Joa*, Doo-Gyung Moon, Sang-wook, Koh, and Hae-Nam Hyun¹

National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA

¹Major of Plant Resources and Environment, Jeju National University

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 structure in 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 were different significantly caused by 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. But cy19:0/18:1ω7c ratio increased both FWC and PMC treatment. Principal component analysis using PLFA profiles showed that microbial community structure made up clearly at both 75 days (10 °C) and 270 days (30 °C) by temperature factor. As incubating time passed, microbial community structure shifted gradually.

Key words: Temperature, Nitrogen mineralization, Microbial community shift, Volcanic ash soil

서 언

Takenaka and Hayano, 1999). 이는 토양을 구성하는 성분의 차이는 미생물의 기능과 군집구조에 영향을 주기 때문이다 (de Ridder-Duine et al., 2005; Rosa et al., 2006; Tschirko and Kandeler, 1999).

토양에 사용된 유기물의 분해에는 미생물 밀도, 분해효소활성, 토양 pH, 지온, 유기물을 구성하는 성분 등 여러 가지 요인이 영향을 미친다 (Manzoni and Porpotato, 2007; Nobili et al., 2006). 유기물이 분해되는 과정에서 pH는 질소 회산 (Kemmit et al., 2006), 미생물 개체수 변화, 미생물군집 (Wu et al., 2010), 점토 함량과 토양유형은 질소무기화반응에 영향을 준다 (Deenik, 2006). 유기질비료는 토양미생물의 생물량을 증가시키고 (Kaur et al., 2005; Mondini et al., 2008), 토양 건조와 수분의 재공급은 미생물 개체수와 활성에 영향을 준다 (Bapiri et al., 2010; Nobili et al., 2006). 건조된 토양을 향온배양 하였을 때 호기적 조건에서

총질소 무기화율은 높았으며 (Wang et al., 2001), Marschner et al. (2003)는 가축분뇨 퇴비와 토양을 혼합하였을 때 질소무기화는 빠르다고 하였다.

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, 군집구성의 변화를 해석하는데 사용될 수 있다 (Webster et al., 2006). 미생물군집은 토양유형, 시간, 화학비료 추비, 토양관리, 공간적 변이, 샘플링 시기에 (Bossio et al., 1998; Bossio and Scow, 1998; Kaur et al., 2005; Rahman and Sugiyama, 2008), 세균군집구조는 토양유기탄소함량과 C/N비 (Marschner et al., 2003)에 영향을 받는다고 하였다.

온도에 따른 유기물의 분해정도는 PLFA를 이용하여 평가할 수 있는데, PLFA는 양분이 부족하거나 환경 스트레스를 받으면 사상균 (18:2w6)과 그람 음성균 유래 지방산은 감소하고 cyclo 지방산은 증가한다 (Kaur et al., 2005). 또한 세균, 방선균, 사상균 등 미생물 그룹은 지표 지방산그룹에 의하여 분류할 수 있으며 미생물 구성 변화는 인지질 지

접수 : 2012. 3. 19 수리 : 2012. 7. 10

*연락처 : Phone: +82647412581

E-mail: choa0313@rda.go.kr

방산조성 변화로 알 수 있다. Feng and Simpson (2009)은 항온배양 시험을 통하여 기질이용성(F/B, G-/G+), 환경스트레스 (cy19:0/18:1ω7c), 호기적 조건과 고농도 양분지표 (Unsat/sat)에 대하여 보고한 바 있다.

많은 연구자들이 유기물시용이 미생물활성 (Marschner et al., 2003), 항온조건에 따른 탄소와 질소 무기화 특성 (Agehara and Warncke, 2004)에 대하여 보고를 한 바 있다. 그러나 제주지역 화산회토양에서 유기물 시용이 질소무기화와 미생물 활성에 미치는 영향에 대한 연구는 많지 않으며, 온도수준별 유기물 종류별 질소무기화와 미생물 군집의 변화에 대한 연구는 거의 없다.

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

재료 및 방법

2 mm체를 통과한 풍건시킨 흑색 화산회토 (미사질 식양토, 송당통, 비경작토) 30 g 에 감귤재배농가에서 가장 많이 사용되고 있는 입상혼합유기질비료, 돈분퇴비, 음식물퇴비 2 g을 잘 혼합한 후 밀폐된 플라스틱용기에 넣은 후 포장용수량 상태의 토양수분 조건을 유지하면서, 10°C, 20°C, 30°C에서 항온배양을 하면서, Joa et al.(2012)의 방법을 따라 시험을 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 평량 스푼을 이용하여 45일 동안은 7일 간격으로 토양과 유기물을 잘 섞이도록 하였으며 이후 토양을 채취할 때 마다 고르게 혼합하였다. 인지질 지방산 함량은 75, 270일에 2반복으로 토양을 채취하

여 분석에 이용하였다. 토양별 질소 무기화율은 15, 30, 45, 75, 150, 240, 270일에 토양을 채취하여 무기태 질소 (NH₄-N과 NO₃-N)함량을 분석하였다.

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 auto-analyzer, Foss Tecator, Sweden)로 분석되었고, 분석치는 건토함량으로 환산하였다.

시험에 이용한 화산회토양은 미사질식양토의 송당통으로, pH는 5.2 였으며, 유기물과 질소함량은 높았고 치환성 알루미늄함량은 968.3 mg kg⁻¹였다 (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(Joa et al., 2012).

인지질 지방산 (Phospholipid fatty acid, PLFA)분석

인지질 지방산추출은 Bligh and Dyer (1959)의 방법을 변형하여 이용하였다. 동결건조 시킨 토양 5 g에 추출시약 33.25 mL (CH₃OH : CHCl₃ : 50 mM Phosphate buffer = 2 : 1 : 0.8)를 첨가 한 다음 2시간동안 120 rpm에서 왕복진탕시킨 후 원심분리하여 상층액을 분액깔대기로 옮겨 18시간 동안 정치시킨 후 인지질 지방산을 추출하였다 (Joa et al., 2012). 추출된 인지질 지방산은 silicic acid column chromatography를 이용하여 중성지질과 당지질을 순서대로 제거한

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

pH	OM [†] g kg ⁻¹	T-N %	Av. P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	Exch. cation			Exch. Al mg kg ⁻¹
				K	Ca	Mg	
5.2	145.2	0.59	4.0	0.4	1.0	0.5	968.3

[†]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
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.

후 인지질 지방산을 분획하였다. 분획된 시료는 methylation 시킨 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 미생물그룹을 인지질 지방산 지표를 이용하여 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, 19:0cycω 8c, 17:1 ω 8c, 방선균은 TBSA 10me18:0, 10Me16:0, 10Me17:0, 사상균은 18:2 w6,9c, 18:1 w9c, 균근균 16:1ω 5c를 지표 지방산으로 이용하였다 (Joa et al., 2012). 세균은 그램 음성균과 양성균 지방산함량을 더해 산출하였다.

PLFA 생물학적 지표 (Biological index)비율 분석 화산회토양에서 온도별 유기물 종류가 미생물분포에 미치는 영향에 대하여 분석된 인지질 지방산을 이용하여 PLFA 생물학적 지표비율을 분석하였다. 탄소영양원 이동 지표는 그람음성세균/그램양성세균 (G-/G+) (Yao et al., 2000), 유기물함량 지표는 사상균/세균 (F/B) (Bardgett et al., 1996), 양분결핍, pH 변화, 증감속함량, 고온 등 환경스트레스를 나타내는 지표는 cy19:0/18:1ω7c (Bossio and Scow, 1998; Kaur et al., 2005), 호기적조건과 양분농도 지표는 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, 미생물군집분석은 온도별 유기물 종류별 1%이상 함유된 인지질 지방산에 대해 주성분 분석을 수행 하였다.

결과 및 고찰

온도조건별 유기물의 질소 무기화 270일 동안 온도별로 입상유기질비료, 음식물퇴비, 돈분퇴비를 화산회토양과 혼합후 배양하였을 때 유기물의 유기태질소가 무기태질소 (NH₄-N과 NO₃-N)로 전환된 비율은 Fig. 1에 나타냈다. 토양과 혼합된 유기물의 각 온도별 무기화된 질소의 비율은 입상유기질비료는 10°C 5.0%, 20°C 15.9%, 30°C 31.2%. 음식물퇴비는 10°C 9.7%, 20°C 35.9%, 30°C 62.2%. 돈분퇴비는 10°C 6.7%, 20°C 20.4%, 30°C 37.2%였으며 온도가 10°C 씩 증가할수록 유기물은 질소무기화가 빠르게 진행되었고 음식물퇴비가 돈분퇴비와 입상유기질비료보다 질소무기화

율이 가장 높았다. 저온보다 고온에서 질소무기화가 빠르게 나타난 것은 누적 적산온도가 높았기 때문으로 30°C에서 음식물퇴비는 입상유기질비료와 돈분퇴비보다 질소무기화가 2배나 빠르게 나타났다. 온도가 높을수록 질소무기화가 빠르게 나타나 온도는 유기태질소의 무기화에 상당한 영향을 준다 (Agehara and Warncke, 2004; Reichstein et al., 2005). 이는 Deenik (2006)이 보고한 토양온도가 30-35°C 일 때 질소무기화가 최대가 된다는 결과와 일치하는 경향을 보였다. Joa et al. (2009)은 분상 유기질비료는 입상 유기질비료보다 질소무기화가 빠르게 진행되어 30°C에서 사용된 유기물외에 토양중의 유기물이 분해가 나타났다고 하였는데, 앞으로 화산회토양에서 누적온도, 유기물 종류, 토양 특성에 따른 유기물의 탄소와 질소무기화에 대한 세밀한 연

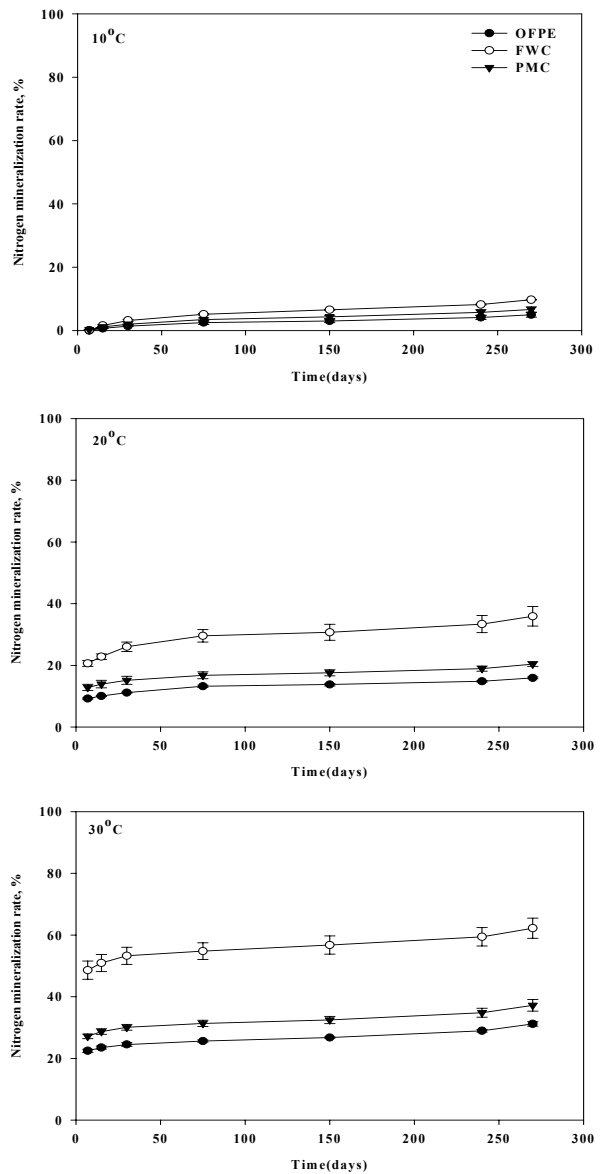


Fig. 1. Changes in volcanic ash soil nitrogen mineralization rate under different incubation temperature. See Table 1. Vertical bars indicate mean ± S.D.

구가 필요 할 것으로 생각된다. 입상 유기질비료는 골분과 어분이 포함되어 있어 분해가 되기 쉽고 토양중 미생물의 활성을 강화시킨다 (Mondini et al., 2008). 하지만 음식물 퇴비와 돈분퇴비가 질소무기화가 입상 유기질비료보다 빠르게 나타나 시험에 사용된 유기물의 C/N비가 질소무기화에 영향을 준 것으로 생각된다. 또한 음식물퇴비는 돈분퇴비보다 이분해성이 높은 유기물함량이 많고 삼나무보다 이분해성인 소나무 톱밥재료를 사용하여 돈분퇴비보다 빠르게 질소무기화가 되는 것으로 생각된다. 이러한 결과는 Manzoni and Porpotato (2007)가 보고한 유기물의 분해에는 유기물을 구성하는 원료의 잠재적인 분해력이 영향을 준다는 결과와 일치하였다.

화산회토양은 미생물의 활성이 낮아 탄소와 질소 무기화율이 낮기 때문에 유기물의 분해가 느리게 진행된다 (Takenaka and Hayano, 1999). 270일 동안 항온배양시 유기물의 질소 무기화가 30°C 기준 음식물퇴비가 62.2% 가장 높지만 입상 유기질비료와 음식물퇴비가 각각 31.2%, 37.2%로 무기화량이 상당히 낮았다. 이는 화산회토양 특성에 기인하는 것으로 화산회토양의 알루미늄 독성에 의하여 토양유형이 토양 미생물 기능 (Deenik, 2006; Takenaka and Hayano, 1999; Tschirko and Kandeler, 1999)에 영향을 주었기 때문으로 생각된다. 또한 입상 유기질비료의 경우 낮은 C/N비로 유기물이 분해 잠재력이 낮아 토양 pH(Kemmit et al., 2006)가 낮아 질소무기화가 낮게 나타난 것으로 사료된다.

인지질 지방산 (PLFA)함량에 의한 시기별 미생물 분포 인지질 지표 지방산을 이용한 항온배양 75일 후 미생물 분포는 Fig. 2에 나타냈다. 화산회토양의 세균 유래 지방산은 10°C에서 대조구 (41.6%)가 음식물퇴비 (25.5%)보다 2배 이상, 20°C는 돈분퇴비 (46.3%)가 가장 많았으나 처리 간에 유의성 ($p < 0.05$)은 없었으며, 30°C는 대조구 (46.0%)가 음식물퇴비 (32.4%)보다 약 1.5배정도 높았다. 입상유기질비료는 온도가 10°C 높을수록 증가 하였으며 30°C에서 44.2%로 세균의 밀도가 가장 높았다. 음식물퇴비는 20°C에서 44.5%로 높았으나 30°C에서는 감소하는 경향을 보였다. 돈분퇴비는 20°C에서 46.3%로 높았으나 30°C에서는 감소하는 경향을 보였다. 대조구는 온도가 높을수록 증가하는 경향을 나타냈다. 방선균 유래 지방산은 10°C에서 돈분퇴비 17.6%, 20°C와 30°C에서 음식물퇴비가 각각 18.6%, 15.7%로 가장 높았다. 입상유기질비료는 10°C에서 14.6%로 가장 높았고 돈분퇴비는 10°C (17.6%), 음식물퇴비 (18.6%)와 대조구 (18.0%)는 20°C에서 가장 높았으며 온도가 높을수록 점차 감소하는 경향을 보였다. 사상균 유래 지방산은 10°C, 20°C, 30°C에서 입상유기질비료가 각각 17.9%, 12.5%, 14.7%로 가장 높았다. 입상유기질비료와 음식물퇴비는 10°C에서 가장 높았고 온도가 높을수록 감소하는 경향을 보였다.

며 돈분퇴비는 온도와 상관없이 없었다. 균근균 유래 지방산은 10°C에서 대조구 (1.8%), 20°C와 30°C에서 돈분퇴비가 각각 2.5%, 1.9%로 높았다. 20°C에서 입상유기질비료는 1.4%, 음식물퇴비는 2.2%, 돈분퇴비는 2.5%로 가장 높았으며 20°C에서 처리 간에 유의성 ($p < 0.05$)이 있었다.

이상의 결과를 요약하면 화산회토양에서 세균 유래 지방산 비율은 유기물과 온도에 상관없이 비슷하였으나 온도가

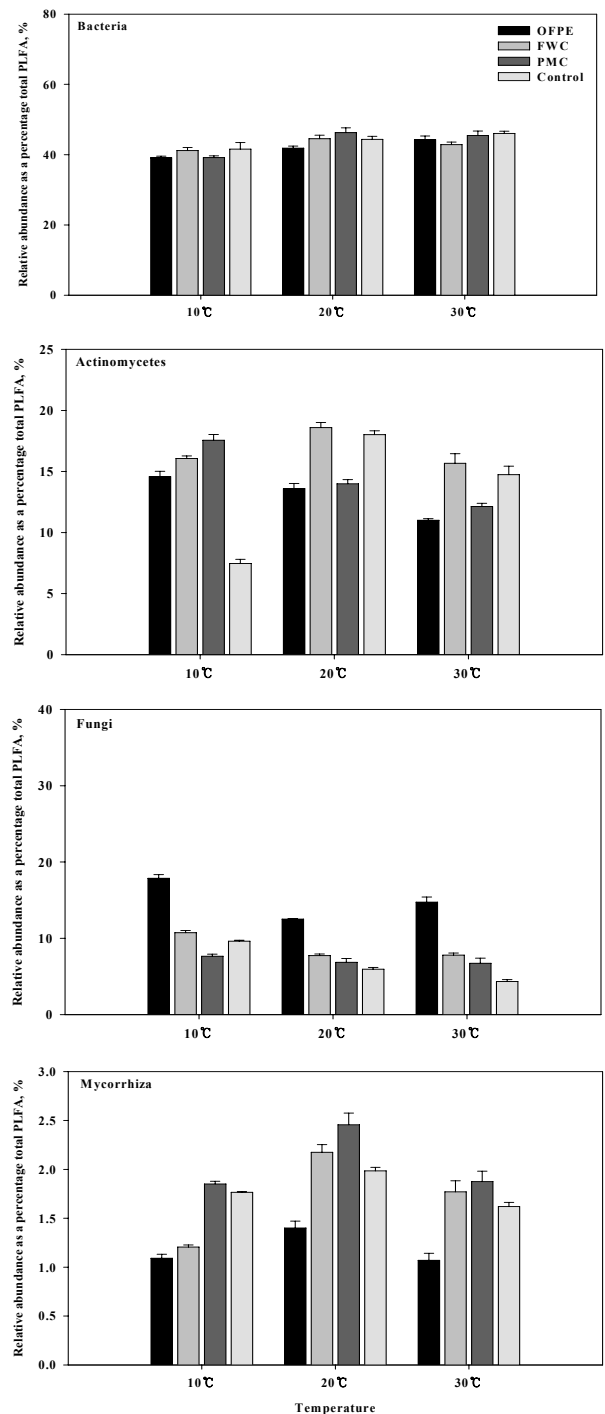


Fig. 2. Relative abundance of microbial group by PLFA profiles in volcanic ash soil treated with organic materials after incubation at 75 days. See Fig. 1.

높을수록 증가하는 경향을 보였다. 방선균은 무처리, 사상균은 유기질비료에서 증가하였으며, 균근균은 비슷한 경향을 나타냈다. Wu et al. (2010)은 토양을 채취한 지역의 온도 등 환경조건이 미생물분포나 군집에 영향을 준다고 하였는데, 온도가 높아지면서 미생물군집을 구성하는 세균이나 사상균 인지질 지방산조성이 변화하면서 미생물의 분포도 차이가 나타난 것으로 생각된다.

인지질 지표 지방산을 이용한 항온배양 270일후 미생물

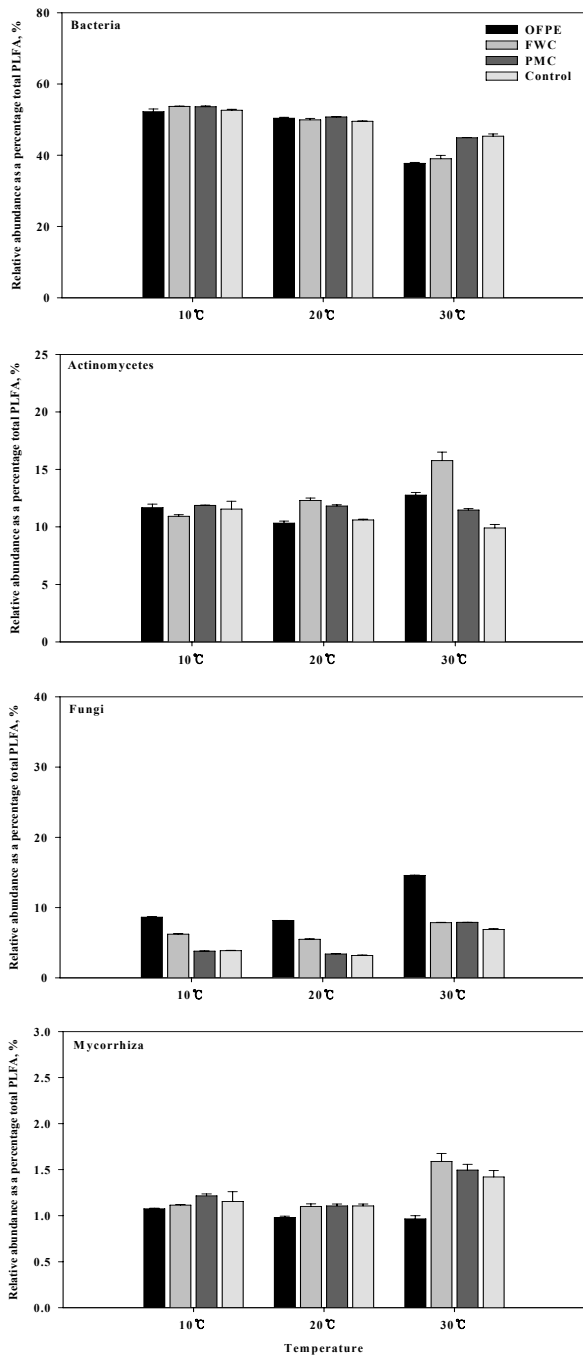


Fig. 3. Relative abundance of microbial group by PLFA profiles in volcanic ash soil treated with organic materials after incubation at 270 days. See Fig. 1.

분포는 Fig. 3에 나타냈다. 화산회토양에서 세균 유래 지방산은 10°C에서 입상유기질비료 (52.2%), 음식물퇴비 (53.7%), 20°C에서 돈분퇴비 (50.7%), 30°C는 대조구 (45.3%)가 높았다. 입상유기질비료는 온도가 증가할수록 감소하였으며 10°C에서 음식물퇴비는 53.7%, 돈분퇴비와 대조구는 각각 53.6%, 52.6%로 가장 높았다. 방선균 유래 지방산은 10°C에서 입상유기질비료 (11.7%), 20°C와 30°C에서 음식물퇴비가 각각 12.3%, 15.8%로 높았다. 입상유기질비료와 음식물퇴비는 증가하는 경향을 나타냈으나 돈분퇴비와 대조구는 온도가 10°C 높아질수록 감소하는 경향을 보였다. 사상균 유래 지방산은 10°C, 20°C, 30°C 처리에서 입상유기질비료 (8.6%, 8.1%, 14.6%)가 가장 높았으며, 돈분퇴비와 대조구는 10°C와 20°C에서 비슷한 경향을 보였으나 입상유기질비료는 30°C에서 14.6%로 가장 높았고 30°C는 10°C보다 약 2배 이상 증가하였다. 균근균 유래 지방산은 10°C에서 돈분퇴비 (1.2%), 20°C와 30°C에서는 음식물퇴비가 각각 1.1%, 1.6%로 가장 높았다. 입상유기질비료는 온도간에 차이가 없었으나 음식물퇴비와 돈분퇴비는 온도가 10°C씩 높을수록 증가하는 경향을 보였으며 처리 간에 유의성 ($p < 0.05$)이 있었다.

이상의 결과 화산회토양에서 세균 유래 지방산은 비슷하였으나 10°C 처리에서 많았고, 방선균 유래 지방산은 음식물퇴비 처리에서 온도가 높아질수록 증가하였다. 사상균 유래 지방산은 입상유기질비료에서 가장 높았고, 균근균 유래 지방산은 유기질비료 처리에서 낮았으나 처리간에 유의성 ($p < 0.05$)이 있었다. 하지만 배양기간이 길어지면서 유기물에 따라 차이가 있지만 미생물의 분포비율이 감소하는 경향을 보였다. 이는 온도별로 인지질 지방산 조성과 함량변화에 따라 미생물 분포가 다르게 나타나는 것으로 생각된다. 270일은 75일과 비교하였을 때 시간이 경과하면서 지방산 유래 미생물 밀도가 온도에 따라 조금씩 차이가 있으나 감소하는 경향을 보였다.

인지질 지방산함량에 의한 생물학적 지표 (Biological index) 해석

항온배양 75일후 지표 인지질 지방산을 이용한 기질이용성과 환경스트레스지표 변화를 분석한 결과는 Fig. 3에 나타냈다. 탄소영양원 이동 지표인 그람음성세균/그람양성세균 (G-/G+)비는 화산회토양에서 온도가 10°C씩 높을수록 감소하였으며 10°C에서 음식물퇴비 3.3, 20°C에서 입상유기질비료 0.94, 30°C에서 음식물퇴비가 0.79로 높았다. 유기물함량 지표인 사상균/세균 (F/B)비는 입상유기질비료가 10°C, 20°C, 30°C에서 각각 0.46, 0.33, 0.35로 높았으나 온도가 10°C씩 높을수록 점차 감소하는 경향을 나타냈다. 양분결핍, 중금속함량, 고온 등 환경스트레스를 나타내는 지표인 cy19:0/18:1ω7c비는 대조구를 제외하고 온도가 10°C씩 높을수록 증가하는 경향이었고 10°C와 20°C에서

대조구가 각각 3.20, 3.64, 30°C에서 입상유기질비료가 4.68로 높았다. 특히 입상유기질비료는 10°C (1.71), 20°C (2.28), 30°C (4.68)로 온도가 높을수록 증가하였다. 음식물 퇴비와 돈분퇴비는 10°C와 20°C에서 비슷하였으나 30°C에서는 증가하는 경향을 보였다. 호기적조건과 양분농도 지표인 단불포화지방산/포화지방산 (Unsat/sat)비는 10°C에서 입상유기질비료가 1.48, 20°C와 30°C는 음식물퇴비가 각각 1.17, 0.84로 높았다. 입상유기질비료와 음식물퇴비는 온도가 높을수록 점차 감소하였으며, 돈분퇴비와 대조구는 증가하다가 감소하는 경향을 보였다. G-/G+, F/B비는 온도가

올라가면서 감소하였는데, 이는 고온에서 유기물의 분해가 활발하게 진행되어, 탄소 영양원이 풍부해졌기 때문에 Feng and Simpson (2009)이 보고한 결과와 일치하였다. 또한 Kaur et al. (2005)은 온도변화는 미생물군집에 스트레스를 주어 지방산 조성을 변화시킨다고 보고 하였는데, 사상균과 그람음성세균 유래 지표지방산이 감소하였기 때문에 추측된다. cy19:0/18:1ω7c비는 입상유기질비료가 온도가 높을수록 감소한 반면 음식물퇴비와 돈분퇴비는 증가하였는데 유기물원이 가지고 있는 잠재 무기화 양분의 차이에 기인한 것으로 생각된다. 입상유기질비료와 음식물퇴비의 Unsat/sat 비가 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

인지질 지방산 함량에 의한 미생물군집의 시기별 변화

토양유형은 미생물군집이 분명하게 차별화 되어 인지질 지방산은 미생물 군집구조의 지표로 활용할 수 있다 (Bossio et al., 1998; Bossio and Scow, 1998; Kaur et al., 2005). 온도조건이 인지질 지방산 함량과 조성에 미치는 영향에 대하여 주성분 분석을 한 결과는 Fig. 5에 나타났다. 75일에 분석된 인지질 지방산 함량은 유기물보다는 온도에 따른 군집을 형성하였는데 10°C에서 뚜렷한 차이를 보였다. 총 변동 중 제1 주성분은 22.0%, 제 2주성분은 19.2%를 설명 할 수 있었다. 270일에 분석된 인지질 지방산 함량은 30°C에서 온도에 따른 뚜렷한 군집을 형성하였으며 미생물 군집의 구조가 75일과 비교하여 다르게 나타났다. Rosa et al. (2006)은 미생물군집구조는 토양간 차이가 크게 나타난다고 하였는데 건조된 토양에 수분을 공급하여 유기물을 처리하였을 때, 초기의 미생물 군집구조는 온도보다는 토양의 pH, 양분함량, 통기성, 수분함량 (Bapiri et al., 2010)등 토양 이화학성의 영향을 받는 것으로 생각된다. de Ridder-Duine et al. (2005)과 Nunan et al. (2005)은 토양적인 특성이 미생물군집구조 형성에 영향을 준다고 하였는데 제주 지역 화산회토양의 경우 알로펜 함량에 의하여 미생물의 밀도가 영향을 받는 것으로 보인다. 75일과 270일 두 시기별 미생물군집의 차이는 토양속에서 온도, 수분 등 환경요인의 변화에 따라 항상 일정하게 유지되지 않고 양분순환과 함께 계속 바뀌는 것을 의미하며, 미생물군집은 시간, 공간적 변이 등에 영향을 받는다 (Bossio et al., 1998; Bossio and Scow, 1998; Kaur et al., 2005)는 보고와 일치하는 경향을 보였다. Joa et al. (2009)은 유기물과 토양을 혼합후 항온 배양시 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 구성

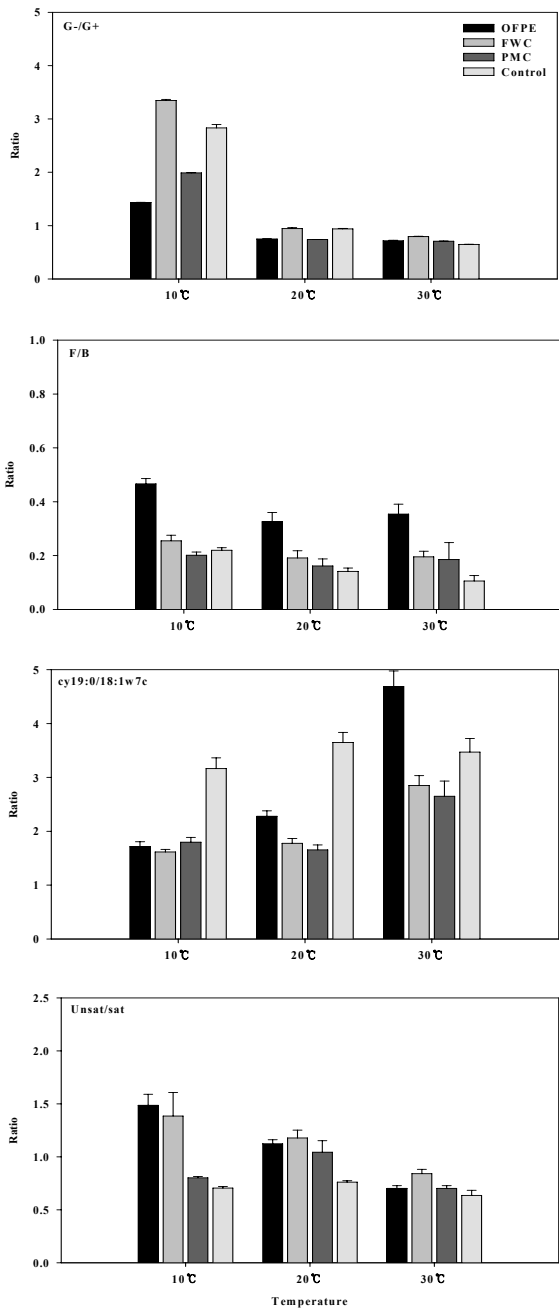


Fig. 4. Biological index ratio by PLFA profiles in volcanic ash soil treated with organic materials after incubation at 75 days. See Fig. 1.

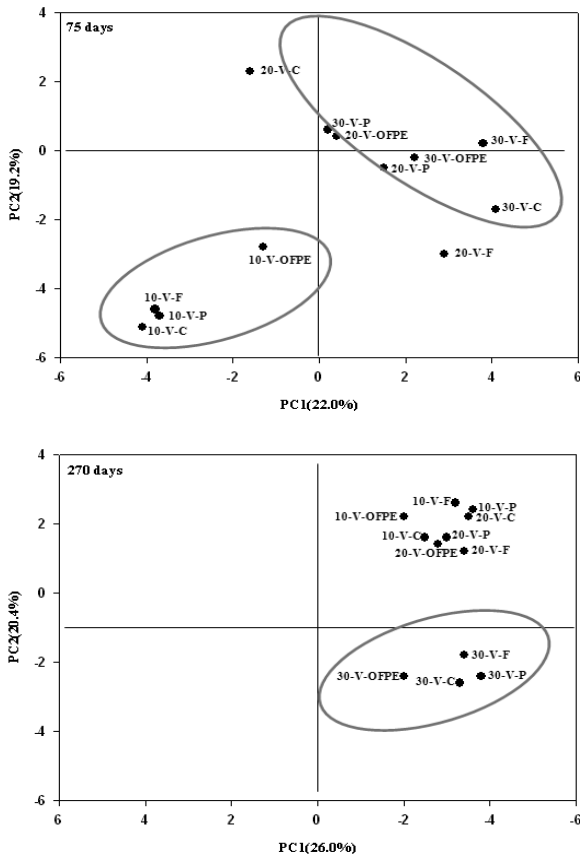


Fig. 5. Principal component analysis of microbial community structures using PLFA profiles according to different incubating temperature in volcanic ash soil (10:10°C; 20:20°C; 30:30°C; C:control; P:PMC; F:FWC).

과 구조는 샘플링 시기에 따라 변한다는 결과와 비슷하였다. Marschner et al. (2003)은 가축분뇨, 화학비료, 볏짚 등을 30년간 사용한 토양의 세균군집구조는 토양유기탄소 함량과 C/N비에 영향을 받았다고 보고한바 있다.

요 약

본 연구는 토양과 온도조건이 질소무기화율, 인지질 지방산유래 미생물 분포와 군집구조에 미치는 영향을 평가하고자 수행하였다. 화산회토양 30 g에 입상유기질비료, 음식물퇴비, 돈분퇴비를 각각 2 g씩 잘 혼합한 후 10°C, 20°C, 30°C에서 항온배양을 하면서 질소 무기화율과 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/sat 비는 온도가 10°C 씩 올라갈수록 감소하였고 cy19:0/18:1ω

7c비는 음식물퇴비와 돈분퇴비에서 증가하였다.

PLFA 함량을 이용한 주성분 분석 결과 초기 (75일)는 10°C, 후기 (270일)는 30°C에서 온도요인에 따라 뚜렷하게 미생물 군집을 보였으며 시간이 경과 할수록 군집이동이 나타났다.

사 사

이 논문은 농촌진흥청 시험연구사업비 (과제번호 PJ906955)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.

de Ridder-Duine, A.S., G.A. Kowalchuk, P.J.A.K. Gunnewiek, W. Smant, J.A. van Veen, and W. de Boer. 2005. Rhizosphere bacterial community composition in natural stands of *Carex arenaria* (sand sedge) is determined by bulk soil community composition. *Soil Biol. Biochem.* 37:349-357.

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.

Joa, J.H., K.H. Moon, S.C. Kim, D.G. Moon, and S.W. Koh.

2012. Effect of temperature condition on nitrogen mineralization of organic matter and soil microbial community structure in non-volcanic ash soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45:377-384.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Mondini, C., M.L. Cayuela, T. Sinicco, M.A.S. Monedero, E. Bertolone, and L. Bardi. 2008. Soil application of meat and bone meal. Short-term effects on mineralization dynamics an soil biochemical and microbiological properties. *Soil Biol. Biochem.* 40:462-474.
- 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.
- NIAST. 2000. Methods of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Nunan, N., T.J. Daniell, B.K. Singh, A. Papert, J.W. McNicol, and J.I. Prosser. 2005. Links between plant and rhizoplane bacterial communities in grassland soils characterized using molecular techniques. *Appl. Environ. Microbiol.* 71:6784-6792.
- Rahman, M.H. and S. Sugiyama. 2008. Dynamics of microbial community in Japanese andisol of apple orchard production systems. *Commun. Soil Sci. Plan.* 39:1630-1657.
- Reichstein, M., T. Katter, O. Andren, P. Ciais, E.D. Schulze, W. Cramer, D. Papale, and R. Valentini. 2005. Temperature sensitivity of decomposition in relation to soil organic matter pools: critique and outlook. *Biogeosciences* 2:317-321.
- Rosa, M., J.A. Pascuala, C. Garciaa, M.T. Hernandez, and H. Insam. 2006. Hydrolase activities, microbial biomass and bacterial community in a soil after long-term amendment with different composts. *Soil Biolo. Biochem.* 38:3443-3452.
- Takenaka, M and K. Hayano. 1999. Investigation on the influence of the global warming on the mineralization of soil organic matter. *Research Outcomes, Agriculture, Forestry Fishery Technology Bureau.* 339:232-236.
- Tscherko, D., and E. Kandeler. 1999. Classification and monitoring of soil microbial biomass, N-mineralization and enzyme activities to indicate environmental changes. *Die Bodenkultur.* 50:215-226
- 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.
- 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. Ecol.* 40:223-237.