

# 시용 유기물의 종류가 고추 재배지 토양 미생물상에 미치는 영향

박기춘\* · 김영숙 · 권오훈 · 권태룡 · 박상구

경상북도농업기술원 영양고추시험장

## Effects of Organic Amendments on Soil Microbial Community in Red Pepper Field

Kee-Choon Park\*, Yeong-Suk Kim, Oh-Hoon Kwon, Tae-Ryong Kwon, and Sang-Gu Park

Gyeongsangbuk-do Agricultural Research & Extension Services, Daegu, 702-708, Korea

Diverse organic amendments available in local areas have been used to improve soil quality in red pepper field and so the need for investigating the soil chemical and biological properties changed by the organic amendments application is increasing. Soil microbial diversities were measured by phospholipid fatty acid (PLFA) and Biolog EcoPlate™. Compost was most effective for improving soil chemical properties including pH, EC, total nitrogen, P, K, and Ca, and bark increased soil organic matter significantly ( $P=0.05$ ). Compost increased the fatty acids indicating actinomycetes and vascular arbuscular fungi, and ratio of *cy19:0/18:1w7c* and monounsaturated fatty acids/saturated fatty acids in soils in PLFA analysis. Bark increased soil fungal indicators in PLFA analysis ( $P=0.05$ ). Principal component analysis of Biolog EcoPlate data and PLFA differentiated the compost- and bark-amended soils from other organic matter-amended soils especially the soil incorporated with compost. More researches are needed to use bark for improving soil microbial properties because the soil chemical and microbiological properties caused by compost and bark are significantly different.

**Key words :** Organic amendment, Soil microbial community, PLFA, Biolog

### 서 언

고추는 재배기간이 긴 작물로서 전 생육기간에 걸쳐 적정 수준의 양분이 공급되어야만 충분한 생육과 수량을 확보할 수 있다. 따라서 고추 재배지는 물리·화학적 특성 개량을 통하여 토양의 양분 공급력을 높이려고 많은 양의 유기물이 시용되고 있다. 이들 유기물은 그 종류에 따라 토양 미생물상에 미치는 영향이 상이하며(Calbrix et al., 2007; Chang et al., 2008; Ros et al., 2006; Stark et al., 2007), 최근에는 퇴비화되지 않은 유기물의 시용이 늘고 있다. 또한 시용되는 대부분의 유기물은 시용 당년에 그 효과를 기대하고 시용되기 때문에 단기적 관점에서 유기물 시용이 토양미생물상의 변화 등에 미치는 영향을 검토할 필요가 있다.

토양 미생물상의 관찰은 정성적, 정량적 관찰을 동시에 할 필요가 있을 뿐만 아니라 일반 배지에서 자

라지 않는 대부분의 토양 미생물도 관찰할 필요가 있다. 세포막의 구성성분인 인지질지방산(Phospholipid fatty acid: PLFA)을 토양에서 직접 추출하여 GC-MIDI(MIDI Inc., Newark, DE)로 분석하는 방법은 토양 미생물을 배지에 배양할 필요가 없을 뿐만 아니라 정성과 정량이 동시에 가능하기 때문에 미생물 군집 구조 분석의 대표적인 방법의 하나이다(Kaur et al., 2005). 이들 지방산 중에서 특정 지방산은 특정 토양 미생물군의 지표가 될 수 있는데, 이 지표를 이용하여 각 미생물 군의 차이를 관찰하거나(Li et al., 2006) 모든 지방산 조성을 다변량 분석으로 해석하여 미생물 군락의 차이를 관찰할 수도 있다(Ludvigsen et al., 1997). 한편 토양 미생물 군락의 변동은 궁극적으로 토양에서 영양분을 이용하는 특성으로 발현된다. Biolog EcoPlate 에 의한 기질 이용성의 차이로 측정된 토양 미생물상의 차이는 유기물 시용에 의해 변화된 토양 미생물상의 최종 활동성의 차이를 보여준다(Gomez et al., 2006).

퇴비와 우분이 토양 미생물상에 미치는 효과는 이미

접수 : 2008. 1. 25 수리 : 2008. 2. 20

\*연락처 : Phone: +82546831691,

E-mail: kcped2@gba.go.kr

보고된 결과가 적지 않지만 퇴비는 그 원료 조성과 발효 방법에 따라 효과가 상이할 수 있으며, 우분도 지역에 따라서 포장에서의 효과는 변이가 심하다 (Carrera et al., 2007; Larkin et al., 2006). 나무에서 나오는 유기물 원료는 퇴비화 과정(Mupondi et al., 2006; Trois and Polster, 2007) 등을 거쳐서 이용되는 예가 많지만 우리나라의 경우 현재 수피나 우드 칩의 형태로 유통되고 있는 바, 수피 시용 토양에 대한 미생물적 검토도 필요하다. 이 연구에서는 경북 영양의 고추 재배지에서 퇴비와 더불어 퇴비화되지 않은 우분, 수피, 왕겨, 벚짖 등의 유기물 시용이 토양 미생물상의 변화에 미치는 영향을 관찰하였다.

## 재료 및 방법

**고추 재배 및 토양 시료 채취 방법** 시험포장은 강서동이며, 시험전 토양의 화학성은 pH 5.9, 유기물 함량  $19.9 \text{ g kg}^{-1}$ , EC  $1.83 \text{ dS m}^{-1}$ , CEC  $17.1 \text{ cmol kg}^{-1}$ , 총질소  $2.55 \text{ g kg}^{-1}$ , 가용성 인산  $274 \text{ mg kg}^{-1}$ , 칼리  $1.56 \text{ cmol kg}^{-1}$ , 칼슘  $7.94 \text{ cmol kg}^{-1}$ 이었다. 2007년 4월 22일에 미리 경운·정지가 된 시험포장에 질소 24, 인산 20, 가리 23  $\text{kg ha}^{-1}$ 을 기비로 전면살포하고 다시 로타리 정지를 한 다음 1.5 m 넓이로 이랑을 만들었고, 5월 초에 이랑 위에 처리별로 유기물을 고루 살포하고 인력으로 토양을 반전하여 고른 후 흑색비닐로 피복하였으며, 유기물은 처리 별로 퇴비와 우분 및 수피는 건물중으로 각각  $3,000 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ , 왕겨와 벚짖은  $1,500 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 을 사용하였다. 처리한 유기물 중 퇴비는 지난 해 여름에 생체중으로 수피 60,000 kg, 우분 225,000 kg, 벚짖 20,000 kg, 왕겨 20,000 kg을 혼적하여 제조하였으며, 우분은 농가에서 구입한 것을 건조시켜서 사용하였고, 수피와 왕겨 및 벚짖은 퇴비화시키지 않은 상태로 사용하였다. 5월 10일에 1.5 m 간격으로 만들어진 이랑 위에 2열로 80일간 육묘한 고추(*Capsicum annuum* L. var. hongsimae)를 주간거리 40 cm로 정식하였다. 정식이 끝난 후 투명비닐을 이용하여 터널을 설치하고 고추 묘가 있는 부분은 환기창을 뚫어 주었으며, 고추가 자람에 따라 6월 초에 터널의 비닐을 제거하였다. 화학성과 미생물상 분석을 위한 토양시료는 고추 생육 성기인 7월 하순에 직경 10 cm 토양 시료 채취기를 이용하여 고추 포기 사이의 중간 위치에서 10 cm 깊이로 채취하였으며, 시험구당 3개 지점에서 채취된 시료를 완전히 혼합한 다음 2 mm 체로 걸러서 거친 유기물과 자갈을 제거한 후 일부는  $-80^{\circ}\text{C}$  냉동고 및  $4^{\circ}\text{C}$  냉장고에 보관하고, 나머지는 상온에 보관하면서 분석에 사용하였다.

**토양의 화학성 분석** 상온에 보관된 토양 시료를 이용하여 화학 특성을 분석하였다. 토양화학분석법 (Institute of Agricultural Sciences, 1988)에 따라 pH와 전기전도도는 초자 전극법, 유기물 함량은 Tyurin 법, 유효인산 함량은 Lancaster법, 그리고 치환성 양이온 함량은  $1\text{N-NH}_4\text{OAc}$ (pH 7.0) 침출 여액 원자흡광분광광도계 분석법을 각각 이용하였다.

**인지질 지방산 분석**  $-80^{\circ}\text{C}$ 에 보관된 토양 시료를 동결 건조한 다음 인지질 지방산을 추출한 후 토양 미생물 군락의 구성을 Peacock et al.(2001)의 방법으로 분석하였다. 간단히 요약하면, 4 g의 토양 시료에 chloroform : methanol : buffer solution(1 : 2 : 0.8 v/v/v) 혼합물을 넣고 지질을 추출한 후 silicic acid column을 사용하여 중성지질, 당지질, 인지질로 분리하였다. 이 중에서 인지질을 메틸화 하여 만들어지는 메틸화된 지방산에 fatty acid methyl ester 19:0를 내부 표준물질로 넣은 다음 MIDI Sherlock Microbial Identification System(MIDI Inc., Newark, DE)으로 지방산을 정성·정량하였다. 탄소 수가 10개에서 20개인 지방산이 동정되었는데, 각 PLFA 값은 각 시료에서 총 PLFA의 퍼센트 비율로 표시하였다.

**토양 미생물 군락의 기질 이용성(Substrate utilization pattern: SUP)** 분석 토양 미생물 군락의 기질 이용성은 Biolog EcoPlate™(Biolog Inc., Hayward, CA)를 이용하여 분석하였다. Biolog EcoPlate 내에 있는 탄소 화합물은 토양 처리에 따른 미생물 군락의 단기적 반응을 충분히 보여 줄 만큼 민감하게 반응한다(Gomez et al., 2006). 실험과정을 간단히 설명하면 다음과 같다. 토양 5g을 0.85% NaCl 용액 95 ml에 넣고 15분간 회전용 진탕기에서 200 rpm의 속도로 진탕한 다음 1,000배로 희석한 후 Microplate의 well에 125  $\mu\text{l}$ 씩 분주하였다. 접종된 MicroPlate를 물로 적신 종이 수건과 함께 비닐 봉투에 넣은 후  $24^{\circ}\text{C}$  암실에서 72 시간 배양 후 보라색의 농도(OD)를 interference filter가 장착된 microplate reader(Molecular Devices Emax)로 590 nm의 파장을 측정하였다. 모든 색깔 농도 값은 A1 well의 control값을 빼고, 음의 수가 나오면 0으로 바꾸었다. 그 후 각 well의 값은 평균 well 값(average well color development(AWCD))으로 나누어 plate간의 농도차이에 의한 영향을 최소화하였다(Garland, 1996).

**통계분석** 모든 토양의 화학적 특성은 SAS version 9.13(SAS Inst., Cary, NC, USA) 프로그램을 이용하여 분산분석(ANOVA)으로 분석하였다. 전체

PLFA 44개 중에서 50% 이상의 시료에서 나타나는 지방산 32개만 통계 분석에 이용하였다. 전체 PLFA 데이터와 Biolog 데이터는 SAS version 9.13(SAS Inst., Cary, NC, USA)을 이용하여 다변량 분석법의 하나인 주요 요인 분석을 통하여 분석하였다. 주요 요인 분석 결과의 그림에서 보여지는 시료 간의 거리는 시료의 군집 구조의 유사도 차이를 의미한다. 전체 PLFA 중에서 주요 지표 지방산은 토양 화학적 특성 변수와 같은 방법으로 분석하였으며, Li et al.(2006)의 방법에 따른 지방산 분석 지표들을 이용하여 지방산을 분류하였다. 생물적 지표인 지방산을 이용하여 미생물 군락을 세균, 곰팡이, 방선균, 균근균으로 나누어 사용한 유기물의 종류에 따른 토양의 미생물상 차이를 분석하였다. 또한 곰팡이/세균 지방산, 그램 음성 세균/그램 양성 세균 지방산, cy19:0/18:1 $\omega$ 7c 지방산, 단불포화지방산/ 포화지방산 등의 지수들도 분석하여 토양 미생물 군락의 상태를 조사하였다. 그램 음성균의 지표 지방산은 18:1 $\omega$ 7c, 19:0 cy $\omega$ 8c, 17:1 $\omega$ 8c, 그램 양성균의 지표 지방산은 i14:0, i15:0, a15:0, i16:0, i17:0, a17:0, 세균의 지표 지방산은 그램 음성균과 양성균의 지표 지방산 모두를 이용하였으며, 곰팡이의 지표 지방산은 18:2 $\omega$ 6,9c, 균근균의 지표 지방산은 16:1 $\omega$ 5c, 방선균의 지표 지방산은 10Me16:0, 10Me17:0, TBSA10Me18:0, 단불포화 지방산은 16:1 $\omega$ 5c, 17:1 $\omega$ 8c, 18:1 $\omega$ 7c, 포화지방산은 14:00, 15:00, 16:00, 17:00, 18:00, 20:00을 각각 이용하였다.

## 결과 및 고찰

**토양의 화학성 변화** 고추 생육시기인 7월 하순에 토양을 채취하여 시용 유기물 종류별로 토양 화학성을 조사하였다(Table 1). 유기물을 시용하지 않은 대조구에 비하여 퇴비 시용구에서는 pH 및 유기물·총질소·인산·칼리·칼슘 등의 함량이, 우분 시용구에서는 전기전도도와 칼리 함량이, 수피 시용구에서는 유기물과 총질소 함량이, 왕겨 시용구에서는 유기물

함량이 크게 증가되었으나, 벚지 시용구에서는 모든 성분 함량이 대조구와 차이가 없었다. 특히, 시험에 공시된 퇴비화되지 않은 다른 유기물 시용구에 비하여 퇴비 시용구에서는 토양 pH 및 유기물 함량과 총질소·인산·칼리·칼슘 등 무기성분의 함량 증가가 현저하였으며, 우분 처리구에서는 전기전도도의 증가가 현저하였다. 퇴비 시용에 따른 토양의 pH, 유기물 및 무기물 함량의 증가 효과는 퇴비에 포함되어 있는 성분과 토양 무기물 유실 억제에 기인한 것으로 보이며, 이러한 결과는 Tambone et al.(2007)의 최근 연구에서도 확인되었다. 우분 시용이 토양의 물리성을 개량하고 유기물의 축적과 무기성분의 증가에 효과적이라는 Khan et al.(2007)의 연구 결과와 달리 본 연구에서는 우분 시용으로 칼리를 제외한 무기성분과 유기물 함량의 증가 효과가 나타나지 않았다. 이러한 결과는 토양 시료의 채취시기, 시험포장의 환경조건의 차이 등에 기인한 것으로 보인다. 다만, 우분 시용으로 토양의 전기전도도가 증가되었다는 것은 우분 분석된 무기 성분 이외의 무기성분 함량을 증가시켰거나 고농도의 칼리 함량에 기인한 것으로 예측할 수 있다. 수피 시용에 의한 유기물 증가 효과는 수피가 시용 당년에 어느 정도 분해되어 토양 유기물 함량에 영향을 미쳤고 그 증가된 유기물이 토양 질소를 흡착하여 토양의 질소 함량도 높인 것으로 보인다. 그러나 그 효과가 퇴비에 비하여 낮은 것은 Gasser et al.(1995)의 보고와는 달리 비료적 가치가 낮은 신선한 수피를 사용했기 때문으로 사료된다. 왕겨의 토양 유기물 함량에 대한 증가 효과와 벚지의 무효과는 왕겨가 벚지보다 토양 중에서 분해가 더 잘 되었음을 의미한다. 일반적으로는 회분의 약 86% 이상이 규산(SiO<sub>2</sub>)으로 구성되어 있는 왕겨가(Park et al., 2005) 벚지보다 분해가 느리지만 이 실험에서는 짚과 왕겨의 시용량이 일반적인 시용량보다 많았기 때문에 특히 짚이 토양 입자나 수분과 충분히 섞이지 못한 결과로 사료된다. 이상에서와 같이 고추 재배지에서 시용된 유기물의 토양화학성 변화에 미치는 영향이 가

Table 1. Selected soil chemical properties of red pepper field amended with organic sources.

Organic amendment	pH	OM	EC	T-N	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ex. Cation)		
						K	Ca	Mg
		g kg <sup>-1</sup>	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup>		
Control	5.0±0.3 <sup>†</sup>	29.5±5.7	2.7±2.3	1.7±0.1	124±64	1.5±0.1	9.6±1.3	5.1±0.0
Compost	5.6±0.3	51.2±9.9	3.0±0.8	2.7±0.2	381±151	3.1±1.1	13.2±2.1	6.5±1.1
Dairy manure	5.0±0.3	29.5±3.3	4.8±0.0	1.7±0.1	176±12	3.0±0.3	9.6±0.8	6.1±0.5
Bark	5.1±0.3	40.7±5.7	1.6±0.5	2.0±0.2	177±80	1.8±0.3	10.2±0.4	5.0±0.2
Rice hull	4.9±0.3	39.8±3.0	2.4±0.2	1.8±0.1	175±56	1.9±0.1	9.8±1.5	4.8±0.6
Rice straw	4.8±0.1	27.8±1.9	2.8±0.6	1.6±0.1	113±32	1.4±0.3	9.9±1.3	4.7±1.5

<sup>†</sup> Mean ± Standard Deviation.

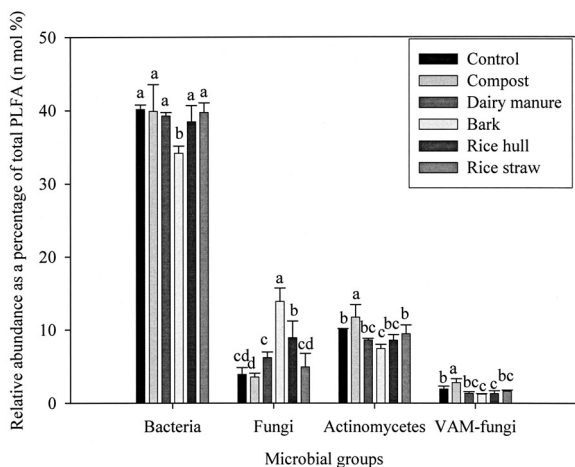
장 큰 것은 퇴비이며, 퇴비화되지 않은 우분이나 수피, 왕겨, 볏짚 등의 효과는 토양 시료 채취 시기를 연장하여 추가적인 검토가 필요한 것으로 보여진다.

**인지질 지방산 구성에 따른 토양 미생물 군락의 다양성** 세균 지표 지방산의 비율은 수피 처리구가 34.2% 로서 다른 모든 처리 보다 유의성 있게 적었고, 다른 처리구에서는 그 비율이 38.5-40.2%로서 처리간 유의성 있는 차이가 없었다( $P<0.05$ ). 곰팡이 지표 지방산의 비율은 수피 처리구에서 가장 높은 13.9% 로서 다른 모든 처리구보다 높았고, 그 다음이 8.9% 인 왕겨 처리구이었고, 그 다음이 6.2% 인 우분 처리구로서 가장 낮은 비율을 가진 퇴비의 3.6% 보다 높았다. 대조구와 볏짚 처리구는 3.9%와 5.0%로서 퇴비 및 우분 처리구와 차이가 없었다( $P<0.05$ ) (Fig. 1). 주요 생물학 지표 중에서 토양 유기물 함량의 지표가 되는 곰팡이/세균의 비율(Bardgett et al., 1996; Frostegård and Bååth, 1996)은 수피 처리구가 유의성 있게 높았고, 왕겨 처리구는 대조구 및 퇴비와 볏짚 처리구보다 유의성 있게 높았으나 우분 처리구는 수피 처리구를 제외한 처리구와 유의성 있는 차이가 없었다( $P<0.05$ ) (Fig. 2). 우분과 왕겨 처리구에서 곰팡이 지표 지방산과 곰팡이/세균 지방산 비율이 높은 것은 이들 처리구에서 유기물 함량이 많고 전기전도도가 낮기 때문으로 보인다. 유기물이 토양 곰팡이 비율을 증가시키고 토양비옥도와 곰팡이의 생물량은 부의 상관 관계가 있다는 연구 결과(Bardgett and McAlister, 1999; Boyle et al., 2008)는 본 실험 결과와 일치한다. 다만 우분과 왕겨 처리구 보다 유기물 함량이 많은 퇴비 처리구에서 이들 지수가 낮은 것은 퇴비는 분해가 어느 정도 진행되어서 곰팡이 생물량

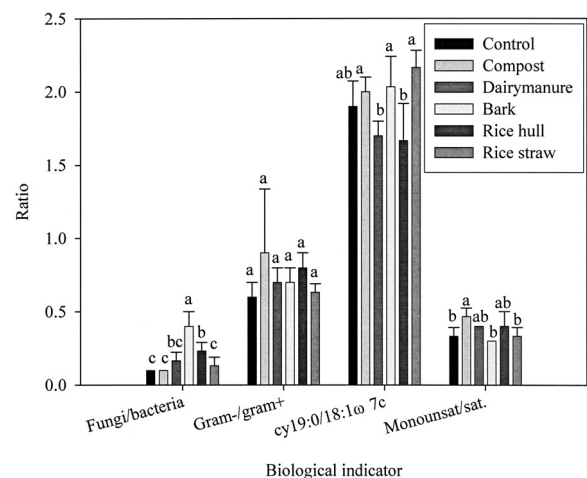
과 정의 상관 관계를 가진 거친 유기물 보다 곱팡이 생물량과 상관 관계가 없는 미세 유기물이 많기 때문으로 보인다(Grigera et al., 2006). 그리고 다른 연구에서 보고된 질소와 곱팡이 비율의 부의 상관관계가 (Demoling et al., 2008) 이 연구에서 나타나지 않은 것은 높은 유기물 함량이 작은 질소 함량의 차이를 상쇄한 것으로 사료된다.

방선균의 경우 퇴비 처리구에서 11.7% 로서 다른 처리구보다 높았고, 대조구와 볏짚 처리구는 10.0%와 9.5%로서 수피 처리구 보다 높았으며, 수피 처리구는 가장 낮은 7.5%이었다. 우분 및 왕겨 처리구는 무처리 대조구, 볏짚 및 수피 처리구와 유의성 있는 차이가 없었다( $P<0.05$ ). 무기질소 공급이 방선균 밀도를 낮추지만(Clegg, 2006), 총질소함량이 높은 퇴비 처리구에서 방선균 밀도가 높은 것은 무기질소와 유기질소의 토양 미생물상에 미치는 효과는 확연히 다르다는 결과(Chang et al., 2007)를 보여주었다. 수피 처리구에서 질소, 인산, 가리의 함량이 특히 낮진 않지만, 수피 처리구의 낮은 전기 전도도가 수피 처리구에서의 낮은 방선균과 관련이 있는 것으로 사료된다.

균균균은 퇴비 처리구에서 2.8% 로서 다른 모든 처리구보다 높았고, 그 다음이 1.9%인 대조구로서 수피 및 왕겨 처리구보다는 높았으며, 우분과 볏짚 처리구는 대조구 및 우분과 볏짚 처리구와 유의성 있는 차이가 없었다( $P<0.05$ ) (Fig. 1). 균균균은 pH와 정의 상관관계가 있다는 Nilsson et al.(2007)의 보고와 같이 pH가 높은 퇴비 처리구에서 균균균 지표 지방산이 함량이 가장 높았다. 한편 무기질소와 인이 균균균 성장과 부의 상관관계가 있는데도 불구하고(Nilsson et al. 2007; Olsson et al., 1997), 퇴비 처리구에서의 높은 균균균 지표 지방산 농도는 이들 무기물의 균균



**Fig. 1.** The class of fatty acids in the soils amended with five different organic sources. Data with the same letter indicates no significant difference, and data with different letter indicates significant difference at 0.05 level according to Least-Significant Difference (LSD) test.



**Fig. 2.** Changes in the biological ratio indexes of fatty acids in the soils amended with five different organic sources. Data with the same letter indicates no significant difference, and data with different letter indicates significant difference at 0.05 level according to Least-Significant Difference (LSD) test.

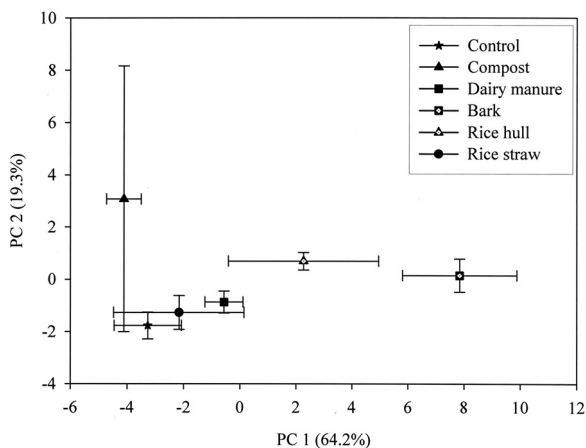
균에 미치는 효과가 pH의 효과보다도 적음을 의미한다고 볼 수 있다. 한편 수피 처리구에서의 균근균 지표 지방산의 낮은 함량은 분석된 유기 및 무기 성분 지표와의 상관 관계보다는 토양 식물병을 억제할 수 있는 정도로 토양 미생물에 영향을 미칠 수 있는 수피 분해 산물에 의한 작용으로 사료된다.

탄소 영양원이 적은 조건에서 탄소 영양원이 풍부한 조건(Borga et al., 1994; Yao et al., 2000)으로 이동하는 지표가 될 수 있는 그램음성균/그램양성균 비율은 처리간 차이가 없었다( $P < 0.05$ ). 양분 결핍, 낮은 pH, 중극속 오염, 제초제, 경운, 고온 등의 환경 조건의 지표(Kaur et al., 2005)가 되는 cy19:0/18:1w7c의 비율은 퇴비, 수피, 볏짚 처리구에서 가장 높은 2.0-2.2이었고 우분과 왕겨 처리구에서 가장 낮은 1.7%이었으며, 대조구는 다른 처리구와 유의성있는 차이가 없었다( $P < 0.05$ ). 따라서 퇴비, 수피, 볏짚이 토양 미생물상에 스트레스를 줄 가능성을 보여 주고 있으며, 우분과 왕겨 처리는 토양 미생물상에 스트레스를 덜 줄 수 있음을 의미한다고도 볼 수 있으나 이 지수들은 연구에 따라 반대의 결과도 있기 때문에 확정적인 결론을 도출하기는 곤란한 것으로 사료된다.

호기성과 높은 탄소원 농도(Bossio and Scow, 1998; Bossio et al., 1998)의 지표가 되는 단불포화 지방산/포화지방산의 비율은 퇴비 처리구가 대조구와 수피 및 볏짚 처리구보다 높았고 우분과 왕겨 처리구는 다른 처리구와 유의성 있는 차이가 없었다( $P < 0.05$ ) (Fig. 2). 단불포화지방산/포화지방산이 pH와 비례한다는 결과는 Iyyemperumal and Shi(2007)의 연구 결과에서와 같이 퇴비 처리구에서의 높은 비율을 잘 설명하였고, 무처리 대조구와 수피 처리구의 낮은 비율은 두 처리구에서 이용 가능한 탄소원이 부족할(Fierer et al., 2003) 수 있음을 보여주었다.

전체 미생물 군락의 차이를 조사하기 위하여 32개의 각 인지질 지방산을 다변량 분석법의 하나인 주 요인 분석으로 분석한 결과 처리간 현저한 차이가 발견되었다(Fig. 3). 주 요인 분석으로 얻어지는 그래프 상의 새로운 축인 PC1이 전체 변이의 64.2%, PC2가 19.3%을 각각 설명하였다. 가장 큰 변이를 설명하는 PC1은 퇴비 처리구를 가장 왼쪽에 위치하게 하면서 우분, 왕겨, 수피 처리구와 구분하였고, 우분 처리구를 가운데 위치하게 하면서 대조구, 퇴비 및 수피 처리구와 구분되게 하였으며, 수피 처리구를 가장 오른쪽에 위치하게 하면서 다른 모든 처리구와 구분되게 하였고, 왕겨 처리구는 가운데 위치하게 하면서 대조구, 퇴비 및 수피 처리구와 구분되게 하였고, 볏짚 처리구를 수피와 구분되게 하였다. PC2는 대조구와 볏짚 및 우분 처리구를 왕겨 및 수피 처리구를 구분되게 하였고, 우분 처리구를 대조구와도 구분시켰다. 따라서 퇴비와 짚을 제외한 모든 유기물이 대조구와 구별되는 토양 미생물상을 만들었으며, 각각의 유기물 처리구는 유기물 종류에 따른 특이한 미생물상을 조성하였다. 이러한 유기물 종류에 따른 토양 미생물 상의 차이는 Stark et al.(2007)의 연구 결과에서도 확인된 바 있다.

절대값이 0.1 이상이 되는 Eigenvector를 가지는 지방산이 PC1에서 6개, PC2에서 7개가 확인되었는데, 이들이 각각의 토양 미생물상 분리에 가장 많은 영향을 미쳤다고 볼 수 있다. PC1에 대하여 18:2w6,9c 과 18:1w9c 가 높은 양수 값을 가졌고 10me16:0, i17:0, 18:3w6c가 높은 음수 값을 가졌다. PC2에 대하여서는 cy19:0w8c, 10me16:0, 18:1w7c, 18:1w9c, 16:1w5c 이 높은 양수 값을 가졌고, i15:0 와 a15:0가 높은 음수 값을 가졌다. 따라서 수피는 PC1에서 절대값이 큰 Loading eigenvector 값을 가지는 지방산들의 구성이 퇴비와 가장 많이 다르다는 것을 보여주었고, 수피와



**Fig. 3.** Plots of sample scores extracted by the principal components on the PLFA. PC indicates, a principle component.

**Table 2.** Component weights of the 2-D plot of the most influential phospholipid fatty acids (PLFA) in distinguishing the microbial communities of the soils amended with six organic sources. The values of the loadings on both PC1 and PC2 are indicated in columns following each PLFA

PLFA	PC1	PC2
i15:0	-0.08	-0.75
a15:0	0.01	-0.39
16:1w5c	-0.09	0.15
10me16:0	-0.25	0.22
i17:0	-0.12	-0.01
18:3w6c	-0.10	-0.05
18:2w6,9c	0.88	0.05
18:1 w9c	0.28	0.12
18:1 w7c	-0.08	0.20
cy19:0w8c	-0.17	0.33
Percent of variance	64.2%	19.3%

다른 처리구에서도 그 차이가 퇴비 처리구 보다는 적지만 지방산 구성에서 큰 차이가 있음을 알 수 있었다(Table 2).

이 연구에서 퇴비 시용은 방선균, 균근균 밀도를 증가시켜서 고추 생육에 우호적인 미생물 군락 조성의 가능성을 보여주었고, cy19:0/18:1 $\omega$ 7c 지방산과 단불포화지방산/ 포화지방산 비율도 높은 것은 불량 환경 적응성을 의미하는 전자와 호기성과 높은 기질 농도 조건을 의미하는 후자 지수간의 상반된 결과는 해석하기 어려웠다. 우분은 cy19:0/18:1 $\omega$ 7c 지방산 비율을 낮추는 것 이외에는 토양 미생물군에 미치는 영향이 뚜렷하지 않았는데, 이 결과는 우분이 토양 화학성에 유의성 있는 증가 효과를 유발하지 못한 결과로 판단된다. 수피 처리에 의한 세균, 방선균, 균근균 밀도 감소, 곰팡이 밀도 증가, cy19:0/18:1 $\omega$ 7c 지방산 비율 증가, 단불포화지방산/ 포화지방산 비율 감소 효과는 수피가 토양 미생물 군에 미치는 효과가 뚜렷한 동시에 전체 토양 미생물 활동에 호의적인 조건을 조성하지는 않는다는 것을 보여준다. 왕겨 처리에서 벧짚 처리구 보다 곰팡이/세균의 비율이 높은 것은 7월 말 토양 채취 시기까지 왕겨에 비하여 벧짚의 분해가 느리게 진행되었음을 의미하며 그 이유는 전술한 바와 같이 벧짚은 토양 입자나 토양 수분과의 낮은 비율의 접촉 면적에 기인한 것으로 사료된다. 전체 PLFA에 의한 미생물 군락의 차이는 대조구에 비하여 수피가 가장 차이가 있음을 보여 주는데, 이는 수피가 토양 미생물상 변화에 가장 큰 영향을 미쳤음을 입증하는 것이다.

**기질이용성의 차이에 따른 토양 미생물 군락의 차이**  
 토양 미생물의 기질 이용성의 차이를 보여주는 Biolog EcoPlate 데이터를 다중 변량분석으로 분석한 결과는 토양 미생물 군의 기질 이용성의 차이를 보여주었다(Fig. 4). 주요인 분석 결과에서 PC1과 PC2가 각각 총 변이의 26.8%와 18.3%를 설명하였으며, PC1에 의해서는 수피 처리구가 대조구, 퇴비 및 벧짚 처리구로부터 분리되었고, PC2에 대해서는 수피 처리구가 대조구를 제외한 모든 처리구 특히 퇴비 처리구로부터 완전히 분리되었다. 그러나 수피 처리구를 제외한 다른 처리구 간에는 차이가 없었다. 따라서 수피가 처리된 토양에서 미생물 군락의 기질 이용성은 무처리구나 다른 유기물 처리구와는 확연히 구분되는 탄소 화합물 기질 이용성의 차이가 있음을 보여주었다. 이러한 유기물의 처리에 의한 토양 세균 군락의 기능적 다양성 변화는 본 실험에서와 같이 Biolog EcoPlate를 이용한 Gomez et al.(2006)의 실험에서도 확인된 바 있다. 한편 Grayston et al.(2004)의 결과에서와 같이 인지질 지방산이 Biolog plate를 이용한 기

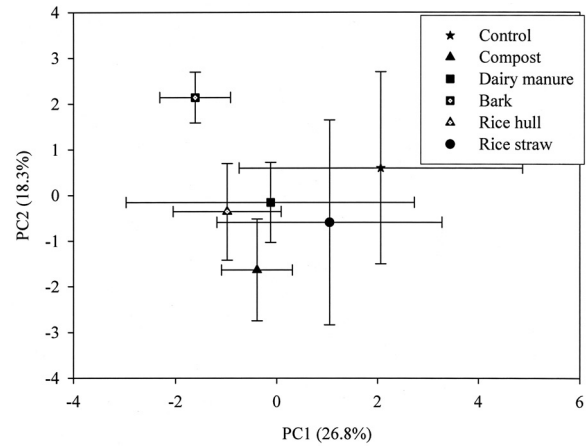


Fig. 4. Ordinate plot from principal component analysis of Biolog EcoPlates data. PC indicates a principle component.

질 이용성 차이보다 토양 미생물상을 더 잘 구분하였고, 두 가지 분석법 모두에서 수피가 가장 특이한 미생물상을 형성하였다.

### 적 요

다비작물이면서 재배기간이 긴 고추 재배지에서 당년의 효과를 기대하고 시용되는 유기물은 각 지역마다 사용되는 종류가 다양함으로 이들이 토양 미생물상에 미치는 효과를 검토할 필요가 있다. 본 연구에서는 우리나라에서 쉽게 구할 수 있는 수피, 우분, 왕겨, 벧짚과 이것으로 만든 퇴비가 토양의 화학적·미생물적 특성에 미치는 효과를 분석하였다. 퇴비가 pH를 포함한 토양 화학적 특성 변화에 가장 효과적이었고 수피는 유기물 증가에 기여하였다. 인지질 지방산의 토양 생물학적 지표 분석에서 퇴비는 방선균과 균근균 밀도 증가에 효과적이었으며, cy19:0/18:1 $\omega$ 7c와 단불포화/포화 지방산의 비율도 증가시켰다. 수피는 곰팡이 밀도 증가에 효과적이었고, 왕겨와 벧짚은 퇴비와 수피 만큼의 토양 미생물상 군락에 미치는 효과는 적었으나 왕겨가 벧짚 보다 컸다. 그리고 전체 미생물 상을 관찰하기 위하여 PLFA와 Biolog EcoPlate 성적을 주요인 분석으로 살펴 본 결과 수피가 두 가지 방법 모두에서 다른 처리 특히 퇴비 처리구와는 구별 되는 미생물 군을 형성함을 보여주었다. 따라서 퇴비와 수피가 토양의 화학적 특성과 미생물상 변화에 가장 큰 영향을 미쳤고, 특히 토양 미생물상에 미치는 두 유기 토양 개량제의 영향은 방향이 크게 다르므로 신선 수피의 토양 개량제로의 이용은 더 많은 검토가 필요한 것으로 사료된다.

### 인 용 문 헌

Bardgett, R.D., P.J. Hobbs, and Å. Frostegård. 1996. Changes in

- soil fungal:bacterial biomass ratios following reductions in the intensity of management of an upland grassland. *Biol. Fert. Soils* 22:261-264.
- Bardgett, R.D. and E. McAlister. 1999. The measurement of soil fungal : bacterial biomass ratios as an indicator of ecosystem self-regulation in temperate meadow grasslands. *Biol. Fert. Soils* 29:282-290.
- Borga, P., M. Nilsson, and A. Tunlid. 1994. Bacterial communities in peat in relation to botanical composition as revealed by phospholipid fatty-acid analysis. *Soil Biol. Biochem.* 26:841-848.
- 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.
- 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.
- Boyle, S.A., R.R. Yarwood, P.J. Bottomley, and D.D. Myrold. 2008. Bacterial and fungal contributions to soil nitrogen cycling under Douglas fir and red alder at two sites in Oregon. *Soil Biol. Biochem.* 40:443-451.
- Calbrix, R.L., S. Barry, O. Chabrierie, L. Fourrie, and K. Laval. 2007. Impact of organic amendments on the dynamics of soil microbial biomass and bacterial communities in cultivated land. *Appl. Soil Ecol.* 35:511-522.
- Carrera, L.M., J.S. Buyer, B. Vinyard, A.A. Abdul-Baki, L.J. Sikora, and J.R. Teasdale. 2007. Effects of cover crops, compost, and manure amendments on soil microbial community structure in tomato production systems. *Appl. Soil Ecol.* 37:247-255.
- Chang, C.Y., C.C. Chao, and W.L. Chao. 2008. Community structure and functional diversity of indigenous fluorescent *Pseudomonas* of long-term swine compost applied maize rhizosphere. *Soil Biol. Biochem.* 40:495-504.
- Chang, E.H., R.S. Chung, and Y.H. Tsai. 2007. Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. *Soil Sci. Plant Nutr.* 53:132-140.
- 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.
- Demoling, F., L.O. Nilsson, and E. Baath. 2008. Bacterial and fungal response to nitrogen fertilization in three coniferous forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 40:370-379.
- Fierer, N., J.P. Schimel, and P.A. Holden. 2003. Variations in microbial community composition through two soil depth profiles. *Soil Biol. Biochem.* 35:167-176.
- Frostegård, Å. and E. Bååth. 1996. The use of phospholipid fatty acid analysis to estimate bacterial and fungal biomass in soil. *Biol. Fert. Soils* 22:59-65.
- Garland, J.L. 1996. Analytical approaches to the characterization of samples of microbial communities using patterns of potential C source utilization. *Soil Biol. Biochem.* 28:213-221.
- Gasser, M.O., A. Ndayegamiye, and M.R. Laverdiere. 1995. Short-term effects of crop rotations and wood-residue amendments on potato yields and soil properties of a sandy loam soil. *Can. J. Soil Sci.* 75:385-390.
- Gomez, E., L. Ferreras, and S. Toresani. 2006. Soil bacterial functional diversity as influenced by organic amendment application. *Bioresource Technol.* 97:1484-1489.
- Grayston, S.J., C.D. Campbell, R.D. Bardgett, J.L. Mawdsley, C.D. Clegg, K. Ritz, B.S. Griffiths, J.S. Rodwell, S.J. Edwards, W.J. Davies, D.J. Elston, and P. Millard. 2004. Assessing shifts in microbial community structure across a range of grasslands of differing management intensity using CLPP, PLFA and community DNA techniques. *Appl. Soil Ecol.* 25:63-84.
- Grigera, M.S., R.A. Drijber, K.M. Eskridge, and B.J. Wienhold. 2006. Soil microbial biomass relationships with organic matter fractions in a Nebraska corn field mapped using apparent electrical conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:1480-1488.
- Institute of Agricultural Science. 1988. Methodology of soil chemical analysis. Rural Development Administration. pp26-114.
- Iyyemperumal, K. and W. Shi. 2007. Soil microbial community composition and structure: residual effects of contrasting N fertilization of swine lagoon effluent versus ammonium nitrate. *Plant Soil* 292:233-242.
- Kaur, A., A. Chaudhary, R. Choudhary, and R. Kaushik. 2005. Phospholipid fatty acid - A bioindicator of environment monitoring and assessment in soil ecosystem. *Curr. Sci. India* 89:1103-1112.
- Khan, A.U.H., M. Iqbal, and K.R. Islam. 2007. Dairy manure and tillage effects on soil fertility and corn yields. *Bioresource Technol.* 98:1972-1979.
- Larkin, R.P., C.W. Honeycutt, and T.S. Griffin. 2006. Effect of swine and dairy manure amendments on microbial communities in three soils as influenced by environmental conditions. *Biol. Fert. Soils* 43:51-61.
- 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* HBK. *Plant Soil* 281:309-324.
- Ludvigsen, L., H.J. Albrechtsen, H. Holst, and T.H. Christensen. 1997. Correlating phospholipid fatty acids (PLFA) in a landfill leachate polluted aquifer with biogeochemical factors by multivariate statistical methods. *FEMS Microbiol. Rev.* 20:447-460.
- Mupondi, L.T., P.N.S. Mnkeni, and M.O. Brutsch. 2006. Evaluation of pine bark or pine bark with goat manure or sewage sludge cocomposts as growing media for vegetable seedlings. *Compost Sci. Util.* 14:238-243.
- Nilsson, L.O., E. Baath, U. Falkengren-Grerup, and H. Wallander. 2007. Growth of ectomycorrhizal mycelia and composition of soil microbial communities in oak forest soils along a nitrogen deposition gradient. *Oecologia* 153:375-384.
- Olsson, P.A., E. Baath, and I. Jakobsen. 1997. Phosphorus effects on the mycelium and storage structures of an arbuscular mycorrhizal fungus as studied in the soil and roots by analysis of fatty acid signatures. *Appl. Environ. Microb.* 63:3531-3538.
- Park, S.J., M.H. Kim, and H.M. Shin. 2005. Agricultural process and food engineering : physical properties of rice husk. *J. Biosyst. Eng.* 30:229-234.

- Peacock, A.D., M.D. Mullen, D.B. Ringelberg, D.D. Tyler, D.B. Hedrick, P.M. Gale, and D.C. White. 2001. Soil microbial community responses to dairy manure or ammonium nitrate applications. *Soil Biol. Biochem.* 33:1011-1019.
- Ros, M., J.A. Pascual, C. Garcia, 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 Biol. Biochem.* 38:3443-3452.
- Stark, C., L.M. Condon, A. Stewart, H.J. Di, and M. O'Callaghan. 2007. Influence of organic and mineral amendments on microbial soil properties and processes. *Appl. Soil Ecol.* 35:79-93.
- Tambone, F., P. Genevini, and F. Adani. 2007. The effects of short-term compost application on soil chemical properties and on nutritional status of maize plant. *Compost Sci. Util.* 15:176-183.
- Trois, C. and A. Polster. 2007. Effective pine bark composting with the Dome Aeration Technology. *Waste Manage* 27:96-105.
- 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.