

## 토양 미생물 활성과 다양성에 미치는 고추 품종과 퇴비의 단기적 효과

박기춘\* · 권태룡 · 장길수 · 김영숙

경상북도농업기술원

(2008년 4월 18일 접수, 2008년 6월 18일 수리)

### Short-term Effects of Cultivars and Compost on Soil Microbial Activities and Diversities in Red Pepper Field

Kee-Choon Park\*, Tae-Ryong Kwon, Kil-Soo Jang, and Yeong-Suk Kim (Gyeongsangbuk-do Agricultural Research & Extension Services, Daegu, 702-708, Korea)

**ABSTRACT:** A field experiment was conducted to investigate the influence of cultivars and compost on soil microbial activities and diversities in a red pepper-grown field. Compost was applied with 0, 30, and 60M/T ha<sup>-1</sup> in April and then red pepper seedlings of “Yong-go 4” and “Koeun” were transplanted in May 2007. Soil samples were collected in early August 2007. Measurement of microbial activities was based on a dehydrogenase assay and a fluorescein diacetate hydrolysis. Soil microbial community was characterized with Biolog EcoPlate™ and phospholipid fatty acid (PLFA). Red pepper cultivars did not differentiate the selected soil chemical and microbial properties. Soil pH and soil microbial community changed by amending the soil with 30 and 60 M/T ha<sup>-1</sup> of compost, and the soil organic matter and potassium content, and soil microbial activities increased in soils amended with 60 M/T ha<sup>-1</sup> of compost. Red pepper cultivar induced a little different soil chemical properties and microbial activity in soils amended with 60 M/T ha<sup>-1</sup> of compost even though significant differences were not found in those properties. In conclusion the effects of compost on soil chemical and microbial properties were much higher than red pepper cultivars in short-term period but the effects of red pepper cultivars should be investigated in long-term field test.

**Key Words:** hot pepper, soil microbial activity, soil microbial diversity, compost

### 서론

토양 미생물 군락은 식물의 종류나 작물의 품종<sup>1,2)</sup> 그리고 토양 유기물의 조성<sup>3)</sup>과 함량<sup>3)</sup>에 따라 독특한 모습을 지닌다. 채소 작물 중에서 국내에서 가장 재배면적이 많은 작물인 고추는 그 품종 수가 다양하고, 재배기간이 길어서 퇴비 사용에 의한 토양 개량과 지속적 양분 공급의 필요성이 높은 작물이다. 특히 상업적으로 유통되는 대부분의 1대 교잡종과 재래종을 복원하여 품종 등록된 자식 순계 계통인 수비초(영고4호)간에는<sup>4)</sup> 미생물상에 미치는 효과가 상이할 것으로 기대된다. 또한 거의 매년 사용되는 유기물은 토양의 화학적·미생물적 반응에 영향을 미치고 그 정도는 사용량에 좌우될 수 있다.<sup>3)</sup> 특히 완숙된 퇴비는 C/N율이 20:1 이하로 낮기 때문

에 20:1 이상으로 높은 질 등의 신선 유기물과 비교할 때 질소의 주요 공급원이 될 수 있다. 그러므로 퇴비 시비량의 다소는 유기물 공급과 질소 등의 무기물 공급에 의해서 토양의 화학적, 미생물적 특성에 영향을 미친다.

토양 미생물상은 육안으로 관찰하기 어려움으로 여러 방법이 이용되는데, 토양 미생물 활성을 위해서는 탈수소효소 활성이나 fluorescein diacetate 수화도 등의 토양 효소 활성이 이용되고,<sup>4,5)</sup> 토양 미생물 군락의 다양성 측정을 위해서는 토양 미생물 군락의 기능적 다양성을 보여주는 Biolog EcoPlate 분석법과 미생물적 지표를 보여주는 인지질 지방산(phospholipid fatty acid: PLFA) 분석법이 토양 미생물상을 구분하는 유용한 방법들 중의 하나이다.<sup>6,7)</sup>

경상북도 농업기술원 영양고추시험장에서 지방 재래종 고추인 수비초를 순계 분리하여 ‘영고4호’로 품종 등록하였는데, 이 품종은 일반 시판품종과는 다른 생육 및 품질 특성을 가지고 있어서<sup>8)</sup> 토양 미생물상에 미치는 효과도 기존의 잡종 1대 품종과는 다를 것으로 기대된다. 본 연구에서는 퇴비 시

\*연락처:  
Tel: +82-54-683-1691 Fax: +82-54-683-1690  
E-mail: kcped2@gba.go.kr

용량을 달리한 토양에서 '영고4호'와 '고은'의 토양 이화학적·미생물적 반응을 비교 하였다.

## 재료 및 방법

본 시험은 경북 영양군 수비면의 재래종 고추인 '수비초'에서 순계 분리한 '영고4호'와 시판종 고추인 '고은'(농우종묘, 수원)을 사용하여 영양군 수비면에 소재한 농가 포장에서 2007년도에 수행하였다. 시험전 토양의 화학성은 pH 6.1, 유기물 함량  $62.1 \text{ g kg}^{-1}$ , EC  $1.65 \text{ dS m}^{-1}$ , 총질소  $1.81 \text{ g kg}^{-1}$ , 가용성 인산  $1,017 \text{ mg kg}^{-1}$ , 칼리  $1.42 \text{ cmol kg}^{-1}$ , 칼슘  $12.4 \text{ cmol kg}^{-1}$ 이었다. 시험구 배치는 분할구역설계(split plot) 3반복으로 하였다. 파종은 2월 3일에 파종상자에 하였고, 2월 16일에 72공 플러그트레이에 가식하였으며, 4월 24일에 1.5 m 이랑에 2줄, 40cm 간격으로 정식하였다. 퇴비 시용량을 0, 30, 60 M/T  $\text{ha}^{-1}$ 으로 달리하였으며, 시용한 퇴비는 전년도 여름에 생체증으로 수피 : 우분 : 질 : 왕겨를 6 : 22.5 : 2 : 2의 비율로 혼합 퇴적하여 본포에 시용하기 전까지 2번 반전하여 제조하였으며, 이 퇴비를 정식 직전인 4월 말에 살포하였다.

토양시료는 8월 초에 처리당 세곳에서 직경 4 cm인 토양 채취기로 10 cm 깊이까지 채취 혼합하여 즉시 2 mm 채로 거른 후에 토양 화학적 특성 분석을 위한 시료는 토양을 대기 중에서 건조하였고, 미생물상을 분석하기 위한 시료는  $-80^\circ\text{C}$  냉동고와  $4^\circ\text{C}$  냉장고에 나누어 보관하였다.

토양화학분석법은 농업과학기술원의 방법에<sup>9)</sup> 따라 pH와 전기전도도는 초자 전극법, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 그리고 치환성염류(양이온)는  $1\text{N-NH}_4\text{OAc}$  (pH 7.0) 침출 여액을 원자 흡광 분광 광도계를 이용하여 측정하였다.

토양 미생물 활성 측정을 위하여 Pepper 등<sup>5)</sup> Bandick 및 Dick이<sup>4)</sup> 고안한 방법과 절차로 토양 탈수소효소 활성과 fluorescein diacetate(FDA) 수화도를 측정하였으며 냉동 보관된 토양을 이용하였다. 탈수소 효소는 생체내에만 존재하여 그 양의 정도가 토양 생물활성 정도를 보여 줄 수 있으며 Triphenyl Formazan 함량을 분광광도계로 정량하여 그 효소활성을 정량하고, FDA 수화도는 토양 미생물에 의한 지방과 단백질 분해 효소와 esterase의 활성을 보여준다.<sup>10)</sup>

토양 미생물의 기질 이용성의 다양성에 의한 토양 미생물의 기능적 다양성은 Garland의 방법<sup>11)</sup>으로 31개의 각기 다른 탄소화합물을 가진 BIOLOG EcoPlate™(Biolog Inc., Hayward, CA)를 이용하여 측정하였다. 냉장 보관된 신선 토양을 1주일 내에 꺼내어 5 g을 0.85% NaCl 용액 95 ml에 넣고 15분간 회전용 진탕기에서 분당 200 rpm속도로 흔든 다음  $10^{-3}$  배로 희석한 후 EcoPlate의 well에 125  $\mu\text{l}$ 씩 분주하였다. 접종된 EcoPlate를 물로 적신 종이수건과 같이 비닐 봉투에 넣은 후 암 조건으로  $24^\circ\text{C}$ 에서 72시간 배양하

였다. 72시간 배양 후 보라색의 농도(OD)를 interference filter가 장착된 microplate reader(Molecular Devices Emax)로 590 nm의 파장을 읽었다. 모든 색깔 농도 값은 A1 well의 control값을 빼고, 음의 수가 나오면 0으로 바꾸었다. 그 후 각 well의 값은 평균 well 값(AWCD)으로 나누어 plate간의 농도차이에 의한 영향을 최소화 하였다.<sup>6)</sup>

인지질 지방산 구성에 의한 토양 미생물 군락을 조사하기 위하여 Peacock 등<sup>12)</sup>의 방법에 따라 지방산을 추출하였는데, 이 분석은 '고은' 품종 구를 제외하고 '영고4호' 품종 구만 조사하였다. 간단히 요약하면  $-80^\circ\text{C}$ 에 보관된 5 g의 토양을 TEFLON 튜브에 넣고 여기에 chloroform : methanol : buffer solution(1 : 2 : 0.8 v/v/v) 혼합용액을 넣고 지질을 추출하였다. 추출된 지질은 silicic acid 칼럼으로 neutral, glyco, phospholipid로 분리하였다. 분리된 phospholipid를 메틸화한 다음 MIDI Sherlock Microbial Identification System (MIDI Inc., Newark, DE)으로 분석하였다. 각 인지질 지방산의 값은 각 시료에서 총 인지질 지방산의 퍼센트 비율로 표시하였다. fatty acid methyl ester 19:0  $150 \text{ ng } \mu\text{l}^{-1}$  농도를 내부 표준 물질로 이용하였다. 각 지방산의 생물학적 지표 분류는 Li 등<sup>13)</sup>의 분류 기준을 이용하였다.

모든 토양의 화학적 특성과 효소활성은 SAS version 9.1.3(SAS Inst., Cary, NC, USA) 프로그램을 이용하여 분산분석(ANOVA)으로 분석하였다. 전체 PLFA 45개 지방산 중에서 5개의 시료에서만 나타나는 13개의 지방산은 분석 대상에서 제외하고 32개의 지방산만 분석에 이용하였다. 전체 PLFA 데이터와 Biolog 데이터는 SAS version 9.1.3(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 등<sup>13)</sup>의 방법에 따른 지방산 분석 지표들을 이용하여 지방산을 분류하였다. 생물적 지표인 지방산을 이용하여 미생물 군락을 세균, 곰팡이, 방선균, 균근균으로 나누어 시용한 유기물의 종류에 따른 토양의 미생물상 차이를 분석하였다. 세균의 지표 지방산은 18:1 $\omega$ 7c, 19:0 cy $\omega$ 8c, 17:1 $\omega$ 8c, i14:0, i15:0, a15:0, i16:0, i17:0, a17:0, 곰팡이의 지표 지방산은 18:2 $\omega$ 6,9c, 균근균의 지표 지방산은 16:1 $\omega$ 5c, 방선균의 지표 지방산은 10Me16:0, 10Me17:0, TBSA10Me18:0을 각각 이용하였다.

## 결과 및 고찰

퇴비 시용량을 달리한 처리에서 품종에 따른 토양의 이화학적 변화를 조사하였다(Table 1). 조사된 모든 토양 화학적 특성에서 고추 품종간 유의성 있는 차이는 발견되지 않았다. 일부 토양의 화학적 특성은 퇴비 시용 여부와 시용량에 차이

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

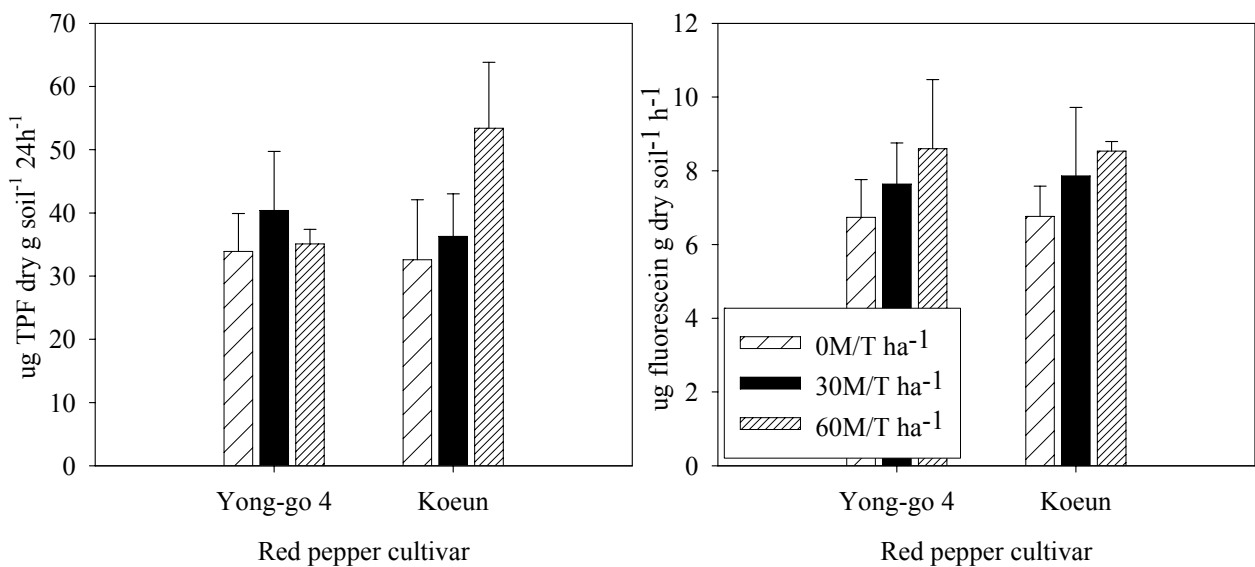
Cultivar	Compost (M/T ha <sup>-1</sup> )	OM (g Kg <sup>-1</sup> )	pH	EC (dS m <sup>-1</sup> )	T-N (g kg <sup>-1</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	K (cmol kg <sup>-1</sup> )	Ca (cmol kg <sup>-1</sup> )	Mg (cmol kg <sup>-1</sup> )
Yong-go 4	0	52.0 ± 12.1 <sup>†</sup>	6.4 ± 0.2	1.8 ± 0.7	1.6 ± 0.5	1047.0 ± 86.5	1.1 ± 0.3	11.1 ± 0.7	1.7 ± 0.1
	30	53.5 ± 5.9	6.6 ± 0.1	2.2 ± 0.3	1.9 ± 0.3	1120.7 ± 135.9	2.2 ± 1.1	11.7 ± 0.9	2.4 ± 0.6
	60	54.3 ± 4.6	6.7 ± 0.2	2.4 ± 0.8	2.1 ± 0.2	1181.7 ± 236.4	2.4 ± 0.8	10.5 ± 1.7	2.3 ± 0.5
Koeun	0	49.1 ± 9.5	6.2 ± 0.1	1.8 ± 0.8	1.9 ± 0.3	1142.0 ± 92.7	0.9 ± 0.3	10.2 ± 2.4	1.7 ± 0.6
	30	49.6 ± 7.9	6.5 ± 0.1	2.9 ± 0.7	1.9 ± 0.5	1103.7 ± 180.8	2.5 ± 1.0	11.6 ± 1.4	2.6 ± 0.7
	60	59.5 ± 6.1	6.9 ± 0.3	2.4 ± 1.0	2.1 ± 0.2	1195.0 ± 36.5	3.1 ± 1.2	11.9 ± 3.1	2.6 ± 0.4

<sup>†</sup>Mean ± Standard Deviation

를 보였다. 퇴비 시용이 토양 pH에 영향을 미쳤는데, 무시용구의 pH 6.2 ~ 6.4보다 30과 60 M/T ha<sup>-1</sup> 시용구에서 pH가 0.3~0.7이 상승하여 pH 6.5 ~ 6.9가 되어서 퇴비 시용이 토양 pH를 유의성 있게 증가시켰으나 퇴비 시용량의 다소는 유의성 있는 영향을 미치지 않았다( $P < 0.05$ ). 그리고 유기물 함량은 60 M/T ha<sup>-1</sup> 시용구에서 54.3~59.5 g kg<sup>-1</sup>로서 무처리구와 30 M/T ha<sup>-1</sup> 처리구의 49.1~54.3 g kg<sup>-1</sup>보다 유의성 있게 높았고, 무처리구와 30 M/T ha<sup>-1</sup> 처리구 간에는 유의성 있는 차이가 없었다( $P < 0.05$ ). 칼륨 함량은 60 M/T ha<sup>-1</sup> 시용구에서 2.4~3.1 cmol kg<sup>-1</sup>로서 무처리구의 0.9~1.1 cmol kg<sup>-1</sup>보다 유의성 있게 높았으나 30 M/T ha<sup>-1</sup> 처리구는 다른 처리구와 유의성 있는 차이가 없었다( $P < 0.05$ ). 그러나 총질소, 인산, 칼슘, 마그네슘 함량은 시용량에 따른 유의성 있는 차이는 없었지만, 대체로 퇴비 시용량의 증가와 더불어 증가하는 경향을 보였다. 이는 시험포장이 위치한 영양군 수비면과 같이 미사질 토양이면서 배수가 양호한 토양에서는 수피, 우분, 짚, 왕겨 등으로 제조한 퇴비를 60 M/T ha<sup>-1</sup> 정

도 시용해야 단기적으로 유의성 있는 유기물과 칼리 성분의 증대효과 있으며, pH는 표준 시용량인 30 M/T ha<sup>-1</sup>을 사용하여도 시용 당년에 유의성 있게 변화시킬 수 있었다. 한편 60 M/T ha<sup>-1</sup>의 퇴비를 사용한 경우 통계적 유의성은 없지만 '영고4호'를 심은 토양에서 '고은' 품종을 심은 토양보다 인산, 칼리, 칼슘, 마그네슘 함량이 낮고 질소 함량은 차이가 없었는데, 이는 '영고4호'가 질소 다비조건에서 질소를 제외한 무기성분의 흡비량이 높을 수 있음을 보여주었다. 이러한 토양 유기 개량제에 의한 토양 화학성 변화, 특히 퇴비에 의한 변화는 Tambone 등<sup>14)</sup>의 연구에서도 보고된 바 있고, 작물 품종에 따른 양분 흡수량의 차이는 Shar 등<sup>15)</sup>의 품종 비교 시험에서도 확인된 바 있다.

토양의 미생물 활성의 지표가 되는 탈수소 효소 활성과 미생물 활성과 병 저항성 정도의 지표로 이용되는 FDA 수화도를<sup>16)</sup> 측정하였다(Fig. 1). 탈수소효소의 활성은 품종간에 유의성 있는 차이는 없었으나 60 M/T 10a<sup>-1</sup>의 퇴비를 사용한 토양은 무처리구보다 높았다( $P < 0.1$ ). 그리고 유의성 있



**Fig. 1. Dehydrogenase and fluorescein diacetate hydrolytic activities in soils applied with 0, 30, and 60 M/T ha<sup>-1</sup> of compost in two red pepper cultivars 'Yong-go 4' and 'Koeun'. Error bars indicate standard deviation.**

는 차이는 없었지만, 60 M/T 10a<sup>-1</sup> 시용한 경우 ‘고은’ 품종에서 탈수소효소의 활성이 높았다(Fig. 1-A). FDA 수화도도 품종간에는 차이가 없었으나(Fig. 1-B), 60 M/T 10a<sup>-1</sup>의 퇴비를 시용한 토양은 무처리구보다 높았다( $P < 0.1$ ). 따라서 토양 미생물 활성에 미치는 영향도 토양 화학성에서와 같이 고추 품종 보다는 퇴비 시용량의 영향이 컸다. 60 M/T 10a<sup>-1</sup>의 퇴비를 시용했을 경우 ‘고은’ 정식구에서 ‘영고4호’에 비하여 탈수소 효소의 활성이 높은 것은 ‘영고4호’에 비하여 ‘고은’ 품종의 근권 발달이 양호하거나 뿌리 분비물이 더 많거나 토양 시료를 채취한 8월에 뿌리의 활력이 왕성할 수 있음을 암시한다고 사료되며, 퇴비의 증시는 미생물 활성화와 작물의 병 저항성을 증대시킬 수 있는 가능성이 고은 품종에서 더 클 수 있음을 의미한다고 보여진다. 퇴비시용에 의한 토양 효소 활성의 증가 또는 토양 유기물 함량과 탈수화 효소의 활성 및 FDA 수화 효소 활성의 정의 상관 관계는 Nayak 등<sup>17)</sup>의 연구에서도 확인된바 있다.

Biolog microplate는 1991년에 처음 이용하기 시작하여<sup>18)</sup> 지금은 빠르고 간편하게 배양이 가능한 세균의 기능적 다양성을 조사하는 토양 미생물 분석법이 되었다.<sup>19)</sup> 토양 미생물의 기질 이용성의 다양성에 미치는 효과를 보기 위하여 Biolog EcoPlate를 이용하여 토양 미생물의 다양성을 관찰하였다(Fig. 2). 다변량 분석법인 주요인 분석법으로 Biolog 데이터를 분석한 결과 첫 번째 주요 요인이 총 변이의 36.8%를, 두 번째 요인이 17.0%를 설명하였고 품종간 차이보다 퇴비 시용량에 따른 차이가 더 컸다. 이 결과는 퇴비가 토양 미생물의 기질 이용성의 다양성에 영향을 미치며 그 정도는 고추 품종이 미치는 효과보다 크다고 볼 수 있다. 이러한 작물의 토양 미생물 군락의 기질 이용성 차이는 유채와 밀의 품종간 차이에서도 발견되었고<sup>20)</sup>, 또 유전자 변형 작물을 재배한 토양에서도 보고된 바 있다.<sup>21)</sup>

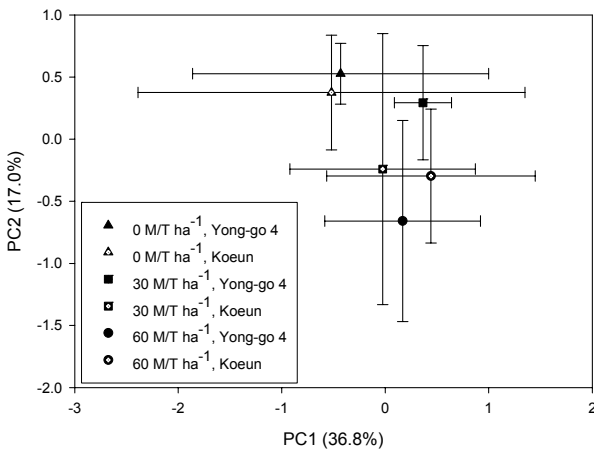


Fig. 2. Principal component analysis of substrate utilization pattern by Biolog EcoPlate in soils applied with 0, 30, and 60 M/T ha<sup>-1</sup> of compost in two red pepper cultivars ‘Yong-go 4’ and ‘Koeun’. Error bars indicate standard deviation.

또 다른 토양 미생물 다양성 분석법의 하나인 인지질 지방산을 ‘영고4호’ 정식구에서 추출하여 Gas chromatography-midi로 분석하여 세균, 곰팡이, 방선균, 근균을 조사한 결과, 처리간에 유의성은 없었지만( $P < 0.05$ ) 세균 밀도는 퇴비 시용량의 증가에 따라 증가한 반면, 방선균은 반대로 감소하였다(Fig. 3). 그리고 PLFA 분석성적에 대한 주요인 분석 결과 총 변이의 34.1%를 설명하는 PC1에 의해서 퇴비 시용구가 무시용구와 어느 정도 구분되었으나 시용량 간에는 차이가 없었다(Fig. 4). 따라서 퇴비시용이 토양 미생물 군락의 기능적 다양성에 미치는 영향은 고추 품종의 영향보다 컸으며, 퇴비 시용량이 토양 미생물상에 미치는 효과는 3개월까지 지속되지 못하였다. 토양 관리 방법의 토양 미생물상에 미치는 효

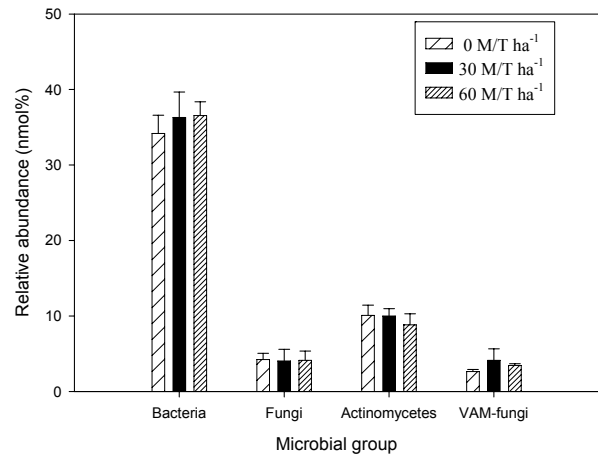


Fig. 3. Relative abundance of soil microbial groups by phospholipid fatty acid analysis in soils applied with 0, 30, and 60 M/T ha<sup>-1</sup> of compost in two red pepper cultivars ‘Yong-go 4’ and ‘Koeun’. Error bars indicate standard deviation.

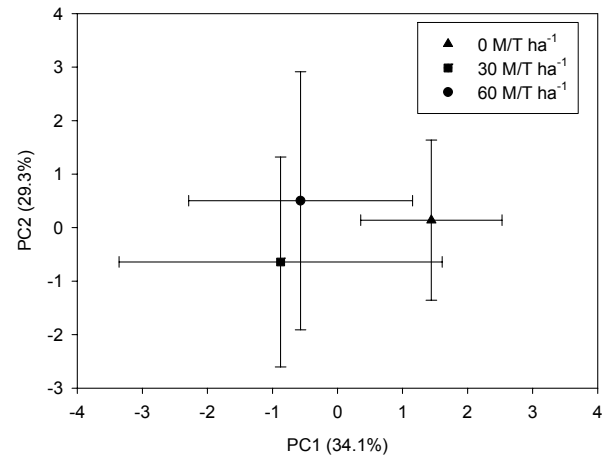


Fig. 4. Principal component analysis of phospholipid fatty acids in soils applied with 0, 30, and 60 M/T ha<sup>-1</sup> of compost in red pepper ‘Yong-go 4’. Error bars indicate standard deviation.

과는 PLFA의 분석으로 확인되기도 했고, 특히 pH, 유기물 등의 지표와 토양 미생물상과의 상관관계가 많이 보고되기도 했지만, 그 효과는 환경 등의 요인에 따라 변이가 심하기 때문에<sup>22)</sup> 이 연구에서도 퇴비와 품종에 의한 토양 미생물상의 변화가 일관성 있게 관찰되지 못한 것으로 사료된다.

‘영고4호’ 재배 적지인 경북 영양군 수비면에서 시용 당년의 효과를 기대하고 수피, 우분, 짚, 왕겨로 제조한 퇴비를 살포할 경우, 시용 당년에 토양의 이화학적 특성 개량과 미생물 활성 및 다양성 증진에 적당한 살포량은 30 M/T ha<sup>-1</sup>이었다. 그리고 ‘영고4호’의 토양 화학적, 미생물적 특성에 미치는 영향은 일반 시판 품종인 고은 품종과 비교하여 단기적으로는 유의성 있는 차이가 없었지만 미생물적 특성에 미치는 영향은 누적되면 장기적으로 차이가 나타날 수 있는 여지를 보여주었다.

## 요 약

고추 재배지 포장에서 고추 품종과 퇴비 시용 수준이 토양 미생물 활성과 다양성에 미치는 효과를 검증하고자 본 시험을 실시하였다. 2007년 4월에 퇴비를 30톤과 60톤 ha<sup>-1</sup>을 살포한 다음, 영고4호와 고은 고추를 5월에 정식하였으며 8월 초에 토양을 채취하였다. 토양 미생물 활성은 탈수소 효소 활성과 fluorescein diacetate(FDA) 수화도로 측정하였으며, 토양 미생물 군락은 EcoPlate™와 인지질 지방산을 분석하여 조사하였다. 모든 조사 항목에서 품종간 유의성 있는 차이는 발견되지 않았다. 퇴비 30톤과 60톤 ha<sup>-1</sup>처리는 토양의 pH와 미생물 군락을 변화시켰고, 퇴비 60톤 ha<sup>-1</sup>처리는 토양 유기물과 칼리 함량 증가 그리고 탈수소효소 활성과 FDA 수화도 증가에 효과적이었다. 결론적으로 단기적으로는 토양 화학적, 미생물적 특성에 미치는 영향이 고추 재배 품종보다는 퇴비 등의 유기 개량제의 영향이 크지만, 장기적으로 고추 재배 품종 특히 ‘영고4호’가 일반 재배 품종과는 다른 토양 미생물적 특성을 유도할 수 있는 가능성을 보여 주었다.

## 감사의 글

본 연구는 2007년 농촌진흥청 지역특화개발과제의 지원으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. Chiarini, L., Bevivino, A., Dalmastrì, C., Nacamulli, C. and Tabacchioni, S. (1998) Influence of plant development, cultivar and soil type on microbial colonization of maize roots. *Appl. Soil Ecol.* 8, 11-18.
2. Rasche, F., Trondl, R., Naglreiter, C., Reichenauer, T. G. and Sessitsch, A. (2006) Chilling and cultivar type affect the diversity of bacterial endophytes colonizing sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Can. J. Microbiol.* 52, 1036-1045.
3. Saison, C., Degrange, V., Oliver, R., Millard, P., Commeaux, C., Montange, D. and Le Roux, X. (2006) Alteration and resilience of the soil microbial community following compost amendment: effects of compost level and compost-borne microbial community. *Environ. Microbiol.* 8, 247-257.
4. Bandick, A. K. and Dick, R. P. (1999) Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biol. Biochem.* 31, 1471-1479.
5. Pepper, I. L., Gerba, C. P. and Brendecke, J. W. (1995) *Environmental Microbiology: a Lab Manual*. Academic Press, Sandiego, USA, p.51-56.
6. Garland, J. L. (1997) Analysis and interpretation of community-level physiological profiles in microbial ecology. *FEMS Microbiol. Ecol.* 24, 289-300.
7. Kaur, A., Chaudhary, A., Choudhary, R. and Kaushik, R. (2005) Phospholipid fatty acid - A bioindicator of environment monitoring and assessment in soil ecosystem. *Current Sci.* 89, 1103-1112.
8. Lee, M. J., Kwon, T. R. and Kim, B. S. (2003) Breeding of Red Pepper (*Capsicum annuum*) "Younggo No. 4". *Horti. Sci. Tech.* 21, 290-293.
9. Institute of Agricultural Science (1988) *Methodology of soil chemical analysis*. Rural Development Administration p.26-114.
10. Dick R. P., Breakwell, D. P. and Turco, R. F. (1996) Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In Doran, J. W. and Jones, A. J. (eds) *Methods for assessing soil quality*. Soil Sci. Soc. Am. p.247-271.
11. Gomez, E., Ferreras, L. and Toresani, S. (2006) Soil bacterial functional diversity as influenced by organic amendment application. *Bioresource Technol.* 97, 1484-1489.
12. Peacock, A. D., Mullen, M. D., Ringelberg, D. B., Tyler, D. D., Hedrick, D. B., Gale, P. M. and White, D. C. (2001) Soil microbial community responses to dairy manure or ammonium nitrate applications. *Soil Biol. Biochem.* 33, 1011-1019.
13. Li, W. H., Zhang, C. B., Jiang, H. B., Xin, G. R. and Yang, Z. Y. (2006) Changes in soil microbial community associated with invasion of the exotic weed, *Mikania micrantha* HBK. *Plant Soil.* 281,

- 309-324.
14. Tambone, F., Genevini, P. and Adani, F. (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.
  15. Shar, G. Q., Kazi, T. G., Sahito, S. R. and Haque, Q. (2003) Comparative study of important macro and micro-nutrient elements between two varieties of rice (*Oryza sativa* L.) and its soil. *J. Chem. Soc. Pakistan* 25, 233-237.
  16. van Bruggen, A. H. C. and Semenov, A. M. (2000) In search of biological indicators for soil health and disease suppression. *Appl. Soil Ecol.* 15, 13-24.
  17. Nayak, D. R., Babu, Y. J. and Adhya, T. K. (2007) Long-term application of compost influences microbial biomass and enzyme activities in a tropical Aeris Endoaquept planted to rice under flooded condition. *Soil Biol. Biochem.* 39, 1897-1906.
  18. Garland, J. L. and Mills, A. L. (1991) Classification and characterization of heterotrophic microbial communities on the basis of patterns of community level sole carbon source utilization. *Appl. Environ. Microb.* 57, 2351-2359.
  19. Preston-Mafham, J., Boddy, L. and Randerson, P. F. (2002) Analysis of microbial community functional diversity using sole-carbon-source utilisation profiles - a critique. *FEMS Microbiol. Ecol.* 42, 1-14.
  20. Siciliano, S. D., Theoret, C. M., De Freitas, J. R., Hucl, P. J. and Germida, J. J. (1998) Differences in the microbial communities associated with the roots of different cultivars of canola and wheat. *Can. J. Microbiol.* 44, 844-851.
  21. Mulder, C., Wouterse, M., Raubuch, M., Roelofs, W. and Rutgers, M. (2006) Can transgenic maize affect soil microbial communities?. *PLoS Comput. Biol.* 2, 1165-1172.
  22. Kaur, A., Chaudhary, A., Choudhary, R. and Kaushik, R. (2005) Phospholipid fatty acid - A bioindicator of environment monitoring and assessment in soil ecosystem. *Curr. Sci.* 89, 1103-1112.
-