

신규 유기농경지 토양의 유기물 공급이 토양 미생물군집에 미치는 영향*

안난희*** · 옥정훈** · 조정래*** · 신재훈*** · 남홍식*** · 김석철***

Effects of Organic Matter Application on Soil Microbial Community in a Newly Reclaimed Soil

An, Nan-Hee · Ok, Jung-Hun · Cho, Jung-Lai · Shin, Jae-Hoon ·
Nam, Hong-Sik · Kim, Seok-Cheol

The study was conducted to investigate the effects of organic matter application on soil microbial activities and diversities in a newly reclaimed soil. Soil chemical properties, population of microbe, microbial biomass, and properties of microbial community were investigated under 4 different treatment (animal manure compost+green manure, chemical fertilizer, and without fertilizer). The experiment was conducted for 3 years from 2012 to 2014. The most of chemical properties in the animal manure compost+green manure treatment were increased continually compare to chemical fertilizer and without fertilizer. The population of bacteria and fungi were higher in the animal manure compost+green manure treatment, however, there was no difference on actinomycetes. Soil microbial biomass C content was higher in the animal manure compost+green manure treatment than in chemical fertilizer and without fertilizer. Biolog examination showed that catabolic diversities of bacterial communities were higher in the treatment of animal manure compost+green manure. It was showed that principle component analysis of the Biolog data differentiated the organic matter amended soils from NPK and control. These results indicated that application of animal manure compost+green manure had a beneficial effect on soil microbial properties.

Key words : *biolog, compost, green manure, soil microbial community*

* 본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호 : PJ010895032015)의 연구비 지원으로 수행되었음.

** Corresponding author, 국립농업과학원 유기농업과(okjh@korea.kr)

*** 국립농업과학원 유기농업과

I. 서 론

친환경농업육성법에는 유기농에 적합한 환경조성을 위해 유기농산물 인증을 받기 전에 전환기간 동안 적절한 관리를 통한 토양의 건전성 확보가 필요하다. 우리나라 유기농업의 경우 유기물 시용에 의존하여 토양비옥도를 관리하고 있는 반면 유럽이나 미국 등에서는 녹비작물, 두과작물, 심근성작물재배 등으로 지력을 유지하고 윤작 등으로 지력 향상을 도모하고 있다고 한다(Lee et al., 2006). 경작지에서의 유기물 시용은 작물에 양분공급뿐만 아니라 토양의 구조개선, 양분 및 수분 보유능 증진, 미생물의 활성 촉진 등의 효과를 나타낸다. 토양에 유기물이 사용되면 토양 미생물체량을 증가시키고(Pascual et al., 2000; Peacock et al., 2001) 다양한 종류의 효소 활성이 높아진다고 보고하였다(Crecchico et al., 2001; Landeler et al., 1999). 다양한 유기물원 중에 녹비 작물은 토양 물리성 개선과 유기물 공급뿐만 아니라 후작물에 대한 질소공급원으로 활용가능하여 토양의 건전성을 높이는 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Anonymous. 1991; Thorup-Kristensen, 1994). 논외의 경우 내생균근균의 함량과 구성 비율은 녹비시용으로 관행보다 유의적으로 높았으며 장기연용 밭토양에서도 녹비 연용구에서 미생물의 생화학적 다양성이 높은 것으로 보고하였다(An et al., 2014; Kim et al., 2011). 또한 토양 중에 유기물 함량을 높이는 방법으로 퇴비를 이용하며, Shindo (1992)는 우분 벧짚퇴비의 연용으로 밭 토양의 protease, β -acetylglucosaminidase 등의 효소가 현저하게 증가하였으며 증가 정도는 효소와 토양의 종류에 따라 다르다고 하였다.

본 연구에서는 신규개간농경지를 대상으로 하여 가축분 퇴비와 녹비작물을 2년간 연용하였을 때 유기물에 의한 토양미생물 군집에 미치는 영향을 평가하고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험구 조성 및 처리 내용

본 시험은 전북 완주군 이서면에 새롭게 조성된 농촌진흥청 국립농업과학원 유기농업과 시험포장에서 2012년도부터 2014년까지 연구를 수행하였다. 시험포장은 5 m×5 m(가로×세로)으로 처리내용은 대조구(무비구), 화학비료 처리구, 가축분 퇴비+녹비작물 처리구로 하계에는 크로타라리아를 동계에는 헤어리베치와 호밀 녹비처리구 등 4처리를 난괴법 3반복으로 배치하였다. 화학비료 처리구의 시비방법은 농업과학기술원(RDA, 2006)의 보통옥수수 시비기준에 준하여 N-P₂O₅-K₂O = 18-3.0-6.9 kg 10 a⁻¹ 수준으로 하였고, 시험구안에 7줄×16점(70 cm×30 cm 간격)으로 옥수수를 파종하였다. 가축분 퇴비는 우분 50%, 돈분 15%, 계분 12%, 톱밥 15%, 버섯배지 5%, 제올라이트 3% 배합비율로 제조된 제품을 구입하였다.

퇴비의 비료성분은 N : 1.6, P₂O₅ : 3.3, K₂O : 2.65% 이었으며 5월과 9월에 녹비작물 파종시기에 맞추어 매년 2회, 처리량은 2,000 kg 10a⁻¹으로 사용하였다. 녹비작물 파종량은 크로타라리아는 8 kg 10a⁻¹으로 6월 중순에, 헤어리베치와 호밀은 각각 9 kg 10a⁻¹와 18 kg 10a⁻¹로 9월말과 10월말에 각각 파종하였다. 녹비 처리는 5월 중순에 헤어리베치 1,910 kg 10a⁻¹과 호밀 930 kg 10a⁻¹을 전량 예취하여 토양에 환원하였으며, 8월 중순에는 크로타라리아 6,600 kg 10a⁻¹을 전량 토양에 투입하였다. 토양시료 유기물처리 전 4월 중에 채취하였으며 시험 전 토양의 이화학적 성은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical properties of soil used in the experiment

pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	T-N (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cation (cmol kg ⁻¹)			EC (dS m ⁻¹)
				K	Ca	Mg	
5.6	8.3	0.5	23	0.41	5.95	1.11	0.44

2. 토양 분석

토양 화학성 분석을 위해 채취한 토양은 그늘에서 풍건하여 2 mm 체를 통과된 것을 사용하였다. 화학성 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원에서 발간한 토양 및 식물체 분석법 (RDA, 2000)을 적용하여 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 추출하여 초자전극법(Orion star A211, Thermo, USA)으로 측정하였다. 유기물은 원소분석기 Vario MAX CN (Elementar, Germany)를 이용해 탄소를 분석하여 탄소함량에 계수 1.724를 곱하여 산출하였고 질소분석에도 Vario MAX CN를 이용하였다. 유효인산은 Lancaster법으로 UV-Spectrophotometer (UV-2450, Shimadzu, Japan)를 이용하여 720 nm에서 측정하였다. 치환성 양이온(K, Ca, Mg, 및 Na)은 단일침출액(1 N CH₃COONH₄, pH 7.0) 추출 후 ICP (GBC, Australia)로 분석하였다.

3. 토양미생물 밀도 조사 및 미생물체량 분석

미생물 분석을 위해 채취한 토양은 2 mm 체로 거른 후 4℃ 냉장고에 보관하면서 2주일 이내에 분석 하였다. 습토 30 g을 270 mL의 멸균수에 넣고 왕복 진탕기에서 10분간 진탕하여 희석 평판법으로 토양내의 미생물의 밀도를 조사하였다. 일반 세균은 yeast glucose agar, 방선균에는 starch casein agar, 사상균에는 rose bengal agar에 30 mg L⁻¹의 streptomycin을 첨가하였다. 배양조건은 세균과 방선균은 28℃에서 4~7일, 사상균은 25℃에서 5일간 이며 각 시료당 미생물 계수는 3개의 petridish에 나타난 colony를 각각 계수한 평균값을 생균수(colony forming unit: cfu g⁻¹ 건토)로 계산하였다(Suh et al., 2010). 토양 미생물체량(Microbial biomass

C)은 혼증 추출법(Vance et al., 1987)을 이용하여 분석하였다. 비혼증시료는 습윤토양 15 g에 0.5 M K₂SO₄ 60 mL를 첨가하여 30분간 진탕하여 추출하였고, 혼증시료는 습윤 토양 15 g을 클로로포름 하에서 24시간 혼증시킨 후 0.5 M K₂SO₄ 60 mL를 첨가하여 30분간 진탕하여 추출하였다. 미생물체량은 TOC분석기(TOC-5050, Shimadzu, Japan)로 측정하였다. 미생물체량은 혼증된 분석값에서 비혼증된 분석값을 감하는 것으로 계산하였다.

4. BIOLOG를 이용한 토양 미생물 군집의 기능적 다양성 분석

토양 미생물군집의 유일 탄소원 이용능 차이는 31개의 각기 다른 탄소화합물을 가진 BIOLOG Ecoplate™ (BiologInc., Hayward, CA)를 이용하여 측정하였다. 냉장 보관된 토양을 1주일 내에 꺼내어 토양시료와 멸균수를 1:10(W/V)의 비율로 희석한 후 200 rpm 으로 10분간 교반하였다. 교반된 시료는 10⁻³배로 희석한 후 EcoPlate의 well에 150 µl씩 접종한 후 25°C 항온기에 96시간 배양한 후 590 nm에서 흡광도를 측정하였다. 측정된 분석치는 평균 발색량(average well color development, AWCD)과 다양성 지수(Shannon diversity index, H)를 다음의 식으로 계산하였다(Garland et al., 1991).

$$AWCD = \sum(C - R)/n \quad (1)$$

C : 각 well의 OD_{590nm} 값

R : Control well의 OD_{590nm} 값

n : 기질의 수 (31)

$$H = - \sum P_i (\ln P_i) \quad (2)$$

P_i : 전체 OD_{590nm} 값에 대한 각각의 기질 OD_{590nm} 값

5. 통계처리

자료의 통계분석은 프로그램(XLSTAT, 2015)을 이용하여 분산분석으로 수행하였고, 95% 수준에서 Duncan's New Multiple Range Test로 유의성 정도를 분석하였다. 또한 처리에 따른 토양미생물 군집의 차이는 주성분 분석을 통하여 비교 검토하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 토양화학성 변화

가축분 퇴비와 녹비 연용 2년차의 토양 화학성 변화는 Table 2와 같다. pH는 화학비료(5.4)와 무처리(5.5)에 비하여 6.6~6.7로 높아졌고 EC는 화학비료(0.39 dS m⁻¹)와 무처리(0.35 dS m⁻¹)에 비해 0.65~0.76 dS m⁻¹으로 증가하였다. 유기물 함량은 화학비료(8.9g kg⁻¹)와 무처리(8.1g kg⁻¹)에 비하여 18.0~19.4g kg⁻¹으로 증가되었고 유효인산 함량은 화학비료(9 mg kg⁻¹)와 무처리(6 mg kg⁻¹)에 비하여 205~237 mg kg⁻¹으로 증가하였다. 이는 지속적으로 퇴비를 투입하고 녹비작물을 재배하여 토양에 환원한 결과라고 생각된다. 가축분 퇴비와 녹비작물을 연작으로 실시할 경우, 유기물함량, 유효인산 등 토양내의 화학성분 함유량이 높아지는 경향을 보이는 것은 Zhang et al.(1999) 연구에도 비슷한 결과가 보고된 바 있다.

유기물 사용은 토양의 물리성과 화학성 개선 및 유용미생물 증대 등 토양의 종합개량효과가 있는데(Recel, 1994) 본 결과에서도 화학비료처리에 비해 유기물 사용으로 신규개간 유기농경지 토양의 화학성 개선에 긍정적인 효과를 나타낸 것으로 생각된다.

Table 2. Change of the chemical properties in surface soil after 2 annual dressing of different organic matter

Treatment	pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	T-N (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cation (cmol kg ⁻¹)			EC (dS m ⁻¹)
					K	Ca	Mg	
NPK	5.4	8.9	0.4	9	0.66	5.17	1.73	0.39
Compost, crotalaria + compost, rye	6.6	19.4	1.0	237	1.37	7.43	2.34	0.76
Compost, crotalaria + compost, hairy vetch	6.7	18.0	0.9	205	1.11	6.86	2.06	0.65
Untreated (control)	5.5	8.1	0.4	6	0.37	6.2	1.23	0.35

2. 토양미생물 밀도 변화

가축분 퇴비와 녹비처리에 의한 신규개간 유기농경지의 연차별 토양 미생물 밀도 변화를 조사하였다(Fig 1). 세균 개체수는 유기물 연용 1년차에 2.0×10⁶~1.4×10⁷ CFU g⁻¹으로 가축분퇴비, 크로타라리아+가축분퇴비, 호밀 처리와 무비 처리구에서만 유의적인 차이를 보였으며, 2년차에는 가축분퇴비, 크로타라리아+가축분퇴비, 헤어리베치>가축분퇴비, 크로타

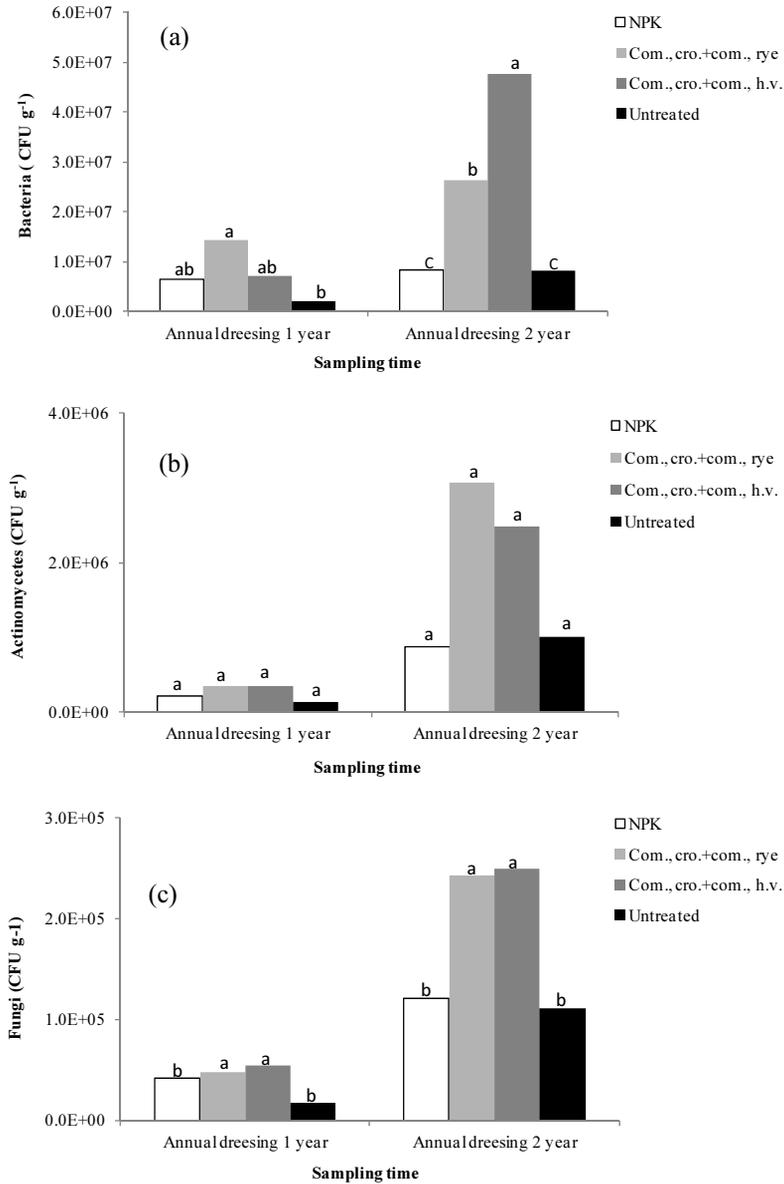


Fig. 1. Changes of microbial populations in newly reclaimed soil with application of organic matter. Different letters above bars indicate significant difference between treatments as determined by Duncan's New Multiple Range Test ($P < 0.05$).

라리아+가축분퇴비, 호밀>화학비료~무비 순으로 유기물 처리구와 화학비료 그리고 무비 처리구간의 유의적인 차이가 나타났다(Fig. 1(a)). 이러한 경향은 유기 콩 재배시 관행농업과 비교하여 호기성 세균 밀도가 유의적으로 많은 결과와 일치하며 유기농업 시험구는 녹

비를 투입함으로 미생물의 먹이가 관행농업보다 많은 데 기인한 것으로 보고하였다(Lee et al., 2011(a)). 방선균 밀도는 연용 1년차에 $1.4 \times 10^5 \sim 3.6 \times 10^5$ CFU g^{-1} 으로 처리간의 유의적인 차이는 없었으며 연용 2년차에도 처리간의 차이를 나타내지 않았다(Fig. 1(b)). 사상균의 경우 연용 1년차에 가축분퇴비, 크로타라리아+가축분퇴비, 헤어리베치~가축분퇴비, 크로타라리아+가축분퇴비, 호밀>화학비료>무비 순으로 유기물 처리구와 화학비료 그리고 무비 처리간의 차이를 보였으며, 2년차에도 가축분퇴비와 녹비 처리구가 화학비료와 무비구에 비해 유의적으로 차이를 보였다(Fig. 1(c)). Suh et al. (2010)은 밭토양에서 녹비작물을 장기적으로 연용할 경우 토양의 바실러스균과 그람음성세균이 우점하는 결과를 보고하였으며, Lee and Ha (2011(b))는 밭토양의 곰팡이 개체수는 토양의 유기물 함량과 정의 상관관계를 보고하였으며 녹비와 퇴비 공급으로 토양의 세균과 곰팡이 밀도에 영향을 미친 것으로 생각된다.

3. 가축분 퇴비와 녹비 연용 연차별 토양의 미생물체량 C 변화

가축분 퇴비와 녹비 연용 연차별 토양의 미생물체량 C의 변화를 조사한 결과 모든 처리구가 증가하였으며 NPK와 무비구에 비해 퇴비, 녹비 처리구에서 높게 나타났다(Fig. 2). 연용 1년차에는 처리구별 미생물체량 C 함량은 51~81 $mg\ kg^{-1}$ 으로 처리간의 차이가 없었으나 연용 2년차에는 가축분퇴비와 녹비 처리구가 385 $mg\ kg^{-1}$ 으로 화학비료(266 $mg\ kg^{-1}$)나 무비구(256 $mg\ kg^{-1}$)에 비해 유의적인 차이를 나타냈다. 이는 녹비 연용과 퇴비사용으로 미생물체량이 유의성 있게 증가한 결과와 유사한 경향을 보였다(Bolton et al., 1985; Weon et al.,

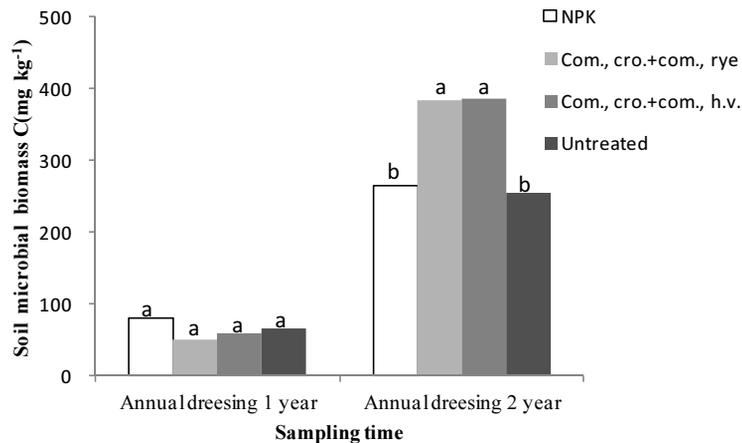


Fig. 2. Changes of soil microbial biomass C content in newly reclaimed soil with application of organic matters. Different letters above bars indicate significant difference between treatments as determined by Duncan's New Multiple Range Test ($P < 0.05$).

2004). 토양의 유기탄소 중 미생물체량 C 함량은 토양의 종류, 식생, 경작방법, 기후, 수분, 시료채취 시기 및 분석법 차이에 영향을 받아 연간 변동이 달라질 수 있으며(Mazzarino and Jimenes, 1992; Bottner, 1985) 본 시험결과에서도 녹비와 퇴비처리에 의해 미생물체량 C의 연차별 그리고 처리간의 차이가 나타난 것으로 생각된다. 유기물을 시용함에 따라 미생물체량이 증가하는 원인은 토양내의 가용성 탄소 함량과 질소의 무기화와 관계가 있다고 보고되었다(Bolton et al., 1985; Goyal et al., 1992).

4. BIOLOG를 이용한 토양 미생물 군집의 기능적 다양성 분석

Biolog Microplate는 1991년에 처음 이용하기 시작하여 현재 빠르고 간편하게 배양이 가능한 세균의 기능적 다양성을 조사하는 토양 미생물 분석법으로 활용되고 있다(Garland and Mills, 1991). 서로 다른 31개의 탄소원 가진 Ecoplate는 토양 미생물 군집의 생리적 다양성 차이 즉 토양 미생물 군집의 탄소기질 이용성(carbon substrates utilization pattern) 차이를 보여 준다(An et al., 2014; Bradley et al., 2006). 유기물 연용에 의한 토양미생물 군집의 기능적 다양성에 미치는 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Effect of organic matter on catabolic diversity of the soil bacterial community as evaluated by average well color development (AWCD), shannon's diversity index (H) and substrate richness (S) in the Biolog EcoPlate incubated for 98 h

Treatment	AWCD		H		S	
	Annual dressing 1 year	Annual dressing 2 year	Annual dressing 1 year	Annual dressing 2 year	Annual dressing 1 year	Annual dressing 2 year
NPK	0.92 ^a	0.95 ^{bc}	2.98 ^b	2.82 ^c	24 ^c	18 ^{bc}
Compost, crotalaria + compost, rye	0.95 ^a	1.11 ^{ab}	3.10 ^{ab}	3.04 ^b	26 ^b	23 ^{ab}
Compost, crotalaria + compost, hairy vetch	1.07 ^a	1.27 ^a	3.21 ^a	3.22 ^a	28 ^a	26 ^a
Untreated(control)	0.98 ^a	0.81 ^c	2.98 ^b	2.69 ^c	24 ^c	16 ^c

* Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan's test, $P < 0.05$).

각 처리구의 토양미생물 군집의 기질 이용도를 각 well의 평균 발색 정도(AWCD)를 비교한 결과 가축분 퇴비, 녹비 처리구가 화학비료나 무비구에 비해 기질 이용도가 높은 것을 확인하였으며 무비구의 경우 연용 1년차(0.98)에 비해 2년차(0.81)의 기질이용도가 낮아지

는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 미생물의 기질 이용도에 토양의 유기물 시용이 영향을 주며 적절한 토양 관리가 되지 않으면 토양 미생물상에 부정적인 영향을 미치기 때문이라 생각된다. 미생물의 종 다양성을 알아보기 위해 각 처리구의 Shannon index를 계산한 결과 AWCD와 마찬가지로 유기물 처리구가 화학비료, 무비구에 비해 높은 종 다양성을 나타냈다.

처리에 따른 토양 미생물 군집의 기질 이용성 차이를 조사하기 위하여 Ecoplate에서 얻은 결과값을 가지고 주성분 분석(PCA; Principal component analysis)으로 분석한 결과는 Fig. 3과 같다. 주성분 분석결과 유기물 연용 1년차에는 제1주성분이 86.0%이며 제2주성분이 5.8%로 전체 91.8%의 자료를 설명할 수 있다. 2년차에는 제1주성분과 제2주성분이 각각 총변이의 78.9%와 15.7%를 나타냈다. 제1주성분에 의해 처리간의 구분이 없었지만 유기물 연용 1년차, 2년차에서 모두 제2주성분에 의해 유기물 처리구와 그렇지 않은 화학비료, 무비구로 확연히 분리되었다. 제2주성분에 높은 정의 상관관계를 보이는 탄소원은 β -Methyl-D-Glucoside, α -Cyclodextrin, Glycogen, Phenylethylamine이었고 Tween 40, L-Phenylalanine, Tween 80, L-Threonine의 탄소원들이 제2주성분에 높은 부의 상관관계를 보임에 따라 이들 탄소기질들이 유기물 처리구를 그렇지 않은 처리와 구분되게 하는 주요 탄소원이었다. 또한 연용 2년차에서는 T2(가축분퇴비, 크로타라리아+가축분퇴비, 호밀), T3(가축분퇴비, 크로타라리아+가축분퇴비, 헤어리베치)간의 연용 1년차에 비해 분산 되었다. 이러한 차이는 겨울녹비로 재배된 헤어리베치와 호밀에 의한 것으로 헤어리베치는 탄질비가 낮아 토양의 질소 함량을 증대시키고 호밀은 상대적으로 탄질비가 높아 작물과 미생물간 경합에 의한 작물이 이용할 수 있는 질소를 제한하지만 토양 유기탄소를 증가시키는 것으로 알려져 있어 녹비 종류에 따라 토양 미생물 군집이 달라진 것으로 사료된다. 또한 유기물이 처리된 토양에서 미생물 군집의 기질 이용성은 화학비료나 무비구와는 확연히 구분되는 탄소 화합물 기질 이용성의 차이가 있음을 보여주며 유기물이 토양 미생물상 변화에 큰 영향을 미쳤음을 확인하였다. 이러한 가축분퇴비와 화학비료처리구의 토양 세균 군집의 기능적 다양성의 차이는 Wang et al., (2008)의 결과에서도 보고되었으며 녹비와 가축분퇴비 처리구의 토양 미생물 다양성을 비교했을 때 녹비가 가축분퇴비보다 토양미생물 밀도를 증가시키는데 더 효과적이며 이는 녹비를 분해하는 여러 특정 곰팡이에 의한 것으로 설명하였다(Elfstrand et al., 2007; Hiroyuki et al., 2007).

따라서 신규 개간농경지에서 유기물을 2년간 연용한 토양과 유기물을 처리하지 않은 토양과 비교하여 미생물의 기능적 다양성에 의한 서로 다른 미생물 군락을 형성한다고 판단된다.

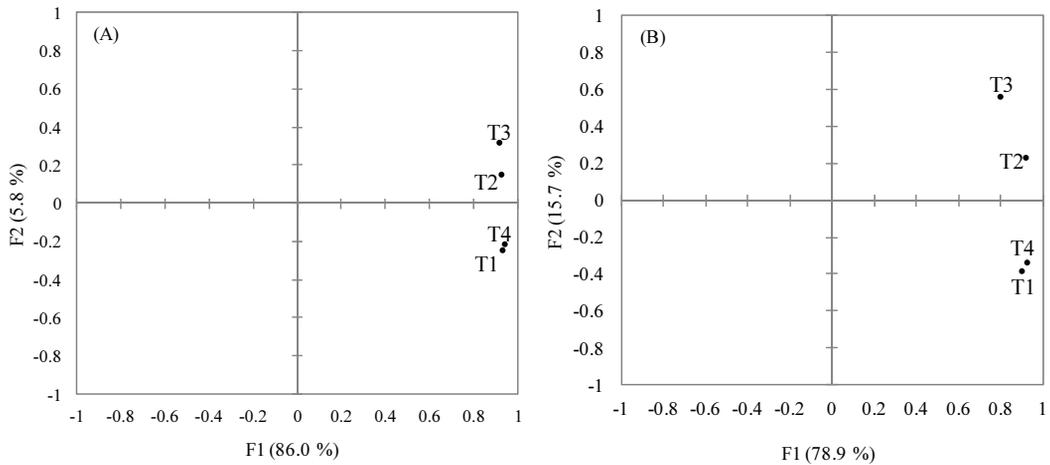


Fig. 3. Principal component analysis of substrate utilization pattern by Biolog Ecoplate in newly reclaimed with application of organic matter. (a) annual dressing 1 year, (b) annual dressing 2 year. T1 : NPK, T2 : animal manure compost, crotalaria + animal manure compost, rye, T3 : animal manure compost, crotalaria + animal manure compost, hairy vetch, T4 : untreated(control).

IV. 적 요

본 연구에서는 신규 개간지 유기농경지에서 가축분퇴비와 녹비작물을 2년간 연용하였을 때 유기물에 의한 발 토양미생물 군집에 미치는 영향을 평가하고자 수행하였다. 가축분 퇴비와 녹비를 연용한 처리구는 화학비료와 무비 처리구에 비해 유기물 함량이 증가하였다. 세균과 사상균 개체수는 유기물을 연용 할수록 유기물 처리구와 화학비료 그리고 무비 처리구간의 유의적인 차이를 나타내었다. 또한 가축분 퇴비와 녹비 연용으로 토양 미생물체량은 모든 처리구가 증가하였으며 NPK와 무비구에 비해 퇴비, 녹비 처리구에서 높게 나타났다. 유기물 연용에 의한 토양미생물 군집의 기능적 다양성 분석에서 가축분 퇴비, 녹비 처리구가 화학비료나 무비구에 비해 기질 이용도가 유의적으로 증가하였으며 유기물 처리구가 화학비료나 무비구에 비해 높은 종 다양성을 나타냈다. 그리고 주성분 분석에서 제2 주성분에 의해 유기물 처리구와 그렇지 않은 화학비료, 무비구로 분리되었다.

References

1. An, N. H., S. M. Lee, J. R. Cho, B. M. Lee, J. H. Ok, J. H. Shin, and S. C. Kim. 2014. Effects of long-term fertilization on microbial diversity in upland soils estimated by Biolog eplate and DGGE. *Korea J. Soil Sci. Fer.* 47: 451-456.
2. Anonymous. 1991. Organic production of agricultural product and indications referring thereto on agricultural products and food stuffs. Official Journal of the European Communities L198, EU, pp. 1-15.
3. Bolton, H. Jr., L. F. Elliot, and R. I. Papendick. 1985. Soil biomass and selected soil enzyme activities: effect of fertilization and cropping practices. *Soil Biol. Biochem.* 17: 297-302.
4. Bottner, P. 1985. Response of biomass to alternate moist and dry conditions in a soil incubated with ¹⁴C-and ¹⁵N-labelled plant material. *Soil Biol. Biochem.* 17: 329-337.
5. Bradley, R. I., B. Shipley, and C. Beaulieu. 2006. Refining numerical approaches for analyzing soil microbial community catabolic profiles based on carbon source utilization patterns. *Soil Biol. Biochem.* 38: 629-632.
6. Crecchio, C., M. Curci, R. Mininni, P. Ricciuti, and P. Ruggiero. 2001. Short term effects of municipal solid waste compost amendments on soil carbon and nitrogen content, some enzyme activities and genetic diversity. *Biol. Fertil. Soils.* 34: 311-318.
7. Elfstrand, S., K. Hedlund, and A. Martensson. 2007. Soil enzyme activities, microbial community composition and function after 47 years of continuous green manuring. *Applied Soil Ecology.* 35: 610-621.
8. Garland, J. L. and A. L. Mills. 1991. Classification and Characterization of heterotrophic microbial communities on the basis of patterns of community level sole carbon source utilization. *Appl. Environ. Microbiol.* 57: 2351-2359.
9. Goyal, S., M. M. Mishra, I. S. Hooda, and R. Singh. 1992. Organic matter-microbial biomass relationships in field experiments under tropical condition: effect of inorganic fertilization and organic amendments. *Soil Biol. Biochem.* 24: 1081-1084.
10. Hirouki, S., K. Atsuhiko, and T. Shigehito. 2007. Effect of cattle manure and green manure on the microbial community structure in upland soil determined by denaturing gradient gel electrophoresis. *Microb. and Environments.* 22: 327-335.
11. Landeler, E., M. Stemmer, and E. M. Klimanek. 1999. Response of soil microbial biomass, urease and xylanase within particle size fractions to long-term soil management. *Soil Biol. Biochem.* 31: 261-273.
12. Lee, Y. H., S. G. Lee, S. H. Kim, J. H. Shin, D. H. Choi, Y. J. Lee, and H. M. Kim. 2006.

- Investigation of the utilization of organic materials and the chemical properties of soil in the organic farms in Korea. 14: 55-67.
13. Lee, Y. H., Y. K. Son, B. K. Ahn, S. T. Lee, M. A. Shin, W. S. Kim, W. D. Song, and Y. S. Kwak. 2011(a). Impacts of organic farming system on the soil microbial population in upland soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44: 819-823.
 14. Lee, Y. H. and S. K. Ha. 2011(b). Impacts of chemical properties on microbial population from upland soils in Gyeongnam Province. *Korea J. Soil Sci. Fer.* 44: 242-247.
 15. Mazzarino, M. K., L. Szott and M. Jimenes. 1992. Dynamics of soil total C and N, microbial biomass, and water-soluble C in tropical agro-ecosystem. *Soil Biol. Biochem.* 25: 205-214.
 16. Pascual, J. A., C. Garcia, T. Hernandez, J. L. Moreno, and M. Ros. 2000. Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation process. *Soil Biol. Biochem.* 32: 1877-1883.
 17. 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 response to dairy manure or ammonium nitrate application. *Soil Biol. Biochem.* 33: 1011-1019.
 18. Recel, M. R. 1994. International seminar on the use of microbio and organic fertilizers in agriculture production. RDA & FFTC.
 19. RDA (Rural Development Administration). 2000. Analyses of soil and plant. NIAST. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
 20. RDA (Rural Development Administration). 2006. The standard of fertilizer application crop species. NIAST. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
 21. Shindo, H. 1992. Effect of continuous compost application on the activities of protease, β -acetylglucosmidase, and adenosine deaminase in soils of upland fields and relationships between the enzyme activities and the mineralization of organic nireogen. *Jpn. J. Soil. Sci. Plant Nutr.* 63: 190-195.
 22. Suh, J. S., J. S. Kwon, and H. J. Noh. 2010. Effect of the long-term application of organic matters on microbial diversity in upland soils. *Korea J. Soil Sci. Fer.* 43: 987-994.
 23. Thorup-Kristensen, K. 1994. The effect og nitrogen catch crop species on the nitrogen nutrition of succeeding crops. *Fertilizer Research* 37: 227-234.
 24. Vance, E. D., P. C. Brookes, and D. S. Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass carbon. *Soil Biol. Biochem.* 19: 703-707.
 25. Wang, G., J. Liu, X. Qi, J. Jian, U. Wang, and X. Liu. 2008. Effects of fertilization on bacterial community structure and function in a black soil of Dehui resgion estimated by

- Biolog and PCR-DGGE methods. *Acta Ecologica Sinica*. 28: 220-226.
26. Weon, H. Y., J. S. Kwon, Y. K. Shin, S. H. Kim, J. S. Suh and W. Y. Choi. 2004. Effect of composted pig manure application on enzyme activities and microbial biomass of soil under chinese cabbage cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37: 109-115.
27. Zhang, Y. S., G. J. Lee., J. H. Joo., J. T. Lee., J. H. Ahn, and C. S. Park. 2007. Effect of Winter Rye Cultivation to Improve Soil Fertility and Crop production in Alpine Upland in Korea. *Kor. J. Environ. Agric.* 26: 300-305.