

사과원에서 피복식물이 토양생물상에 미치는 영향

어진우¹ · 강석범¹ · 박기춘^{1*} · 한경숙¹ · 이영근²

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원, ²안동대학교 식물의학과
(2010년 9월 1일 접수, 2010년 9월 20일 수리)

Effects of Cover Plants on Soil Biota: A Study in an Apple Orchard

Jinu Eo¹, Seok-Beom Kang¹, Kee-Choon Park^{1*}, Kyoung-Suk Han¹ and Young-Keun Yi²(¹National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, ²School of Bioresource Science, Andong National University)

We aimed to investigate the responses of soil organisms to cover plants and to provide information for the selection of proper plant species. We studied the effects of 7 cover plants, including rye, oat, rattail fescue, Chinese milk vetch, red clover, crimson clover, and hairy vetch, on soil organisms in an apple orchard. An increase in the microbial phospholipid fatty acids (PLFA) and in the number of nematodes and microarthropods in the soil under the cover plants reflects elevated activities of soil organisms. A decrease in the level of some marker PLFA, which is an indicator of environmental stress, suggests that cover plants provide favorable environments for soil organisms. The population of fungi and animals that feed on fungi increased in the soil surface under red clover. The population density of nematodes and mites increased in the soil surface under rattail fescue, and that of mites and omnivorous nematodes increased in the soil surface under Chinese milk vetch. The level of microbial PLFA in the soil surfaces under the tested cover plants was higher than that under clean culture system. These results suggest that proper selection of the cover plants can facilitate the creation of favorable environments for soil organisms.

Key Words: Collembola, Mite, Nematode, PLFA

서 론

과원의 토양을 피복식물로 관리하면 토양침식 경감, 토양 구조 개선, 기계작업에 의한 경반층 형성 경감, 질소 이용도 증가, 유기물 증가, 보수력 증가, 우천시 작업환경 개선, 잡초 발생 억제, 개화식물의 관상 등의 효과를 기대할 수 있다 (Ramos *et al.*, 2010). 또한, 재배 후 녹비로 토양에 혼합하면 토양의 양분과 유기물을 증진시키는 중요한 역할을 한다. 최근에는 피복식물의 활용이 원예작물 재배지 중 과원을 중심으로 늘어나고 있으며 지금까지는 수도작에서의 활용연구에 집중되어 있었으나 (Kim *et al.*, 2002; Yang *et al.*, 2009), 사과원에서 피복식물이 토양환경 및 수체에 미치는 영향에 대한 연구도 진행되고 있다 (Kim *et al.*, 2000).

피복식물은 생육기간 중 합성된 유기물의 일부를 뿌리를 통하여 토양에 분비하거나, 녹비로 혼합할 경우에 토양의 유기물을 증가시키는 역할을 한다. 이러한 유기물이 과수가 이용할 수 있는 양분으로 전환하기 위해서는 토양생물에 의한 분해과정이 필요하다. 토양에 존재하는 미생물은 유기물의 분해나 양분의 순환에 중요한 역할을 하며, 미소동물은 주로 유기물의 물리적 분해를 돕고 분해과정에서 생성된 물질을 고정하는 역할을 하는데, 이들에 의한 유기물 분해는 미생물이 분해한 양의 64%에 달하기도 한다 (Hunt *et al.*, 1987). 사과는 다년생 식물로 장기간의 안정적 양분공급이 중요하므로 토양생물에 의한 유기물의 분해가 효율적으로 이루어질 경우 과수의 안정적 생산에도 기여할 수 있을 것이다.

피복식물에 의한 토양생물 밀도의 변화는 과원의 양분 관리에 있어서 중요한 요소라 할 수 있으나 국내에서는 이에 대한 연구가 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구는 친환경 사과원 재배에서 춘과 피복식물 이용시 과원의 토양생태계에 미치는 영향을 알아보고, 토양생물 관리에 유용한 초종을 선

*연락처:

Tel: +82-43-871-5556 Fax: +82-43-871-5509
E-mail: kcped2@rda.go.kr

발하기 위한 기초적 자료를 얻기 위하여 시험을 수행하였다.

재료 및 방법

실험장소 및 피복식물

본 시험은 충북 충주시 호암동에 위치한 3년생 후지품종 사과(*Malus pumila* cv Fuji)를 재배하는 농가에서 2009년 2월부터 실험을 수행하였다. 과수는 3.5 m × 1.5 m의 간격으로 재식하였고, 과원 표토 관리 방법은 농가의 관행적인 초생 재배 관리 방법에 준하여 관리하였다. 청경구는 5월과 7월에 제초제를 살포하여 잡초를 제거하였다. 피복식물로는 화본과의 호밀(*Rye, Secale cereale* L.), 귀리(*Oats, Avena sativa* L.), 들목새(*Rattail Fescue, Vulpia myuros* L.) 3종과, 두과 식물인 자운영(*Chinese milk vetch, Astragalus sinicus* L.), 레드클로버(*Red clover, Trifolium pretense*), 크림슨클로버(*Crimson clover, Trifolium incarnatum*), 헤어리베치(*Hairy vetch, Vicia villosa* Roth) 4종을 이용하였다. 시험에 이용된 녹비 종자는 과원 표토를 경운 후 각 초종별로 추과 사용량을 기준으로 30%를 증량하여 1 ha면적당 호밀 200 kg, 귀리 190 kg, 들목새 40 kg, 자운영 50 kg, 레드클로버 40 kg, 크림슨클로버 40 kg, 헤어리베치 60 kg을 3월 25일에 산파하였다. 각 시험구의 면적은 4 m × 4 m이었고, 3반복으로 배치하여 실험을 수행하였다.

미생물 PLFA

토양생물 분석을 위한 시료는 2009년 8월 4일에 실험구 별로 과수와 30 cm 이상 떨어진 공간에서 4곳의 장소를 선정하여 토양을 채취하였다. 토양미생물에 미치는 영향을 비교하기 위해 인지질지방산(PLFA, phospholipid fatty acid)을 다음과 같이 분석하였다(Peacock *et al.*, 2001). 냉동보관한 토양시료 5 g에 chloroform (4 mL), methanol (8 mL), buffer solution (3.2 mL, pH 7.4)을 혼합하여 지질을 추출한 후 silicic acid column으로 neutral-, glyco- 및 phospholipid로 분리하여, MIDI Sherlock Microbial Identification System (MIDI Inc., Newark, DE)으로 지방산을 정성 및 정량을 하였다. 전체 PLFA 중에서 주요 지표 지방산은 Li *et al.*(2006)의 방법에 따른 지방산 분석 지표들을 이용하여 지방산을 분류하였다. 각 인지질지방산의 값은 각 시료에서 총 인지질 지방산의 백분율로 환산하여 계산하였다. 미생물 군의 상대적 PLFA 수치는 청경구의 곰팡이, 세균, 방선균 및 VAM균의 평균치에 대한 비율로 표기하였다. 단불포화 지방

산은 16:1 ω5c, 17:1 ω8c, 18:1 ω7c, 포화지방산은 14:00, 15:00, 16:00, 17:00, 18:00, 20:00을 지표지방산으로 사용하였다. 호기성균은 16:1 ω7t, 혐기성균은 cy 19:0을 사용하였다. 그램 음성균의 지표 지방산은 18:1 ω7c, 19:0cy ω8c, 17:1 ω8c, 그램양성균은 i14:0, i15:0, a15:0, i16:0, i17:0, a17:0, 세균은 그램 음성균과 양성균을 모두 이용하였다. 곰팡이는 18:2 ω6,9c, 방선균은 10Me16:0, 10Me17:0, TBSA10Me18:0, 균근균은 16:1 ω5c을 이용하였다 (Li *et al.*, 2006).

미소동물

선충은 20 g의 토양을 이용하여 베르만갈대기법에 의해 48시간 동안 추출 후 TAF(2% triethanolamine, 2.8% formaldehyde) 용액에 보관하였다. 보관하였던 선충시료를 광학현미경에서 관찰하면서 식성에 따라 세균식성, 균식성, 잡식성으로 분류하였다(Okada, 2002). Mononchida목의 포식성 선충은 관찰되지 않았다. 식성분류는 선충의 두부와 내부기관 등의 형태적 특성을 비교하여 분류하였으며, 채취한 선충을 모두 관찰하였다. 선충의 개체밀도는 건조토양 1 g에 대한 개체수(N)로 표기하였다. 미소절족동물은 300 mL의 토양에서 툴그렌 장치를 이용하여 72시간 동안 추출하였다. 추출된 시료는 광학현미경으로 관찰하면서 응애류, 톱토기류 등으로 분류하였다. 미소절족동물의 개체밀도는 100 mL의 토양에 대한 개체수(N)로 표기하였다.

토양분석

토양의 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 하여 그 현탁액을 초자전극법으로 측정하였고, 유효인산은 Lan-caster 법으로 추출후 분광광도계(CINTRA6, GBC, Australia)로 분석하였다. 토양내 질산태질소는 2 M KCl로 추출후 켈달 분석법에 의해 질소분석기(K-314, Büchi, Switzerland)로 분석하였다. 치환성 양이온 분석을 위하여 토양을 1 N-NH₄OAc (pH 7)로 추출한 후 유도결합플라즈마발광광도계(ICP-AES, GBC Intergra XM2, Australia)로 정량하였다. 시험전 토양의 분석 내용은 Table 1에 표기하였다.

통계

피복식물이 미생물 PLFA 및 미소동물에 미치는 영향은 Tukey 검정법으로 분석하였고, PLFA 지표 지방산의 주요인 분석은 SAS v9.1(SAS Institute Inc., USA)을 이용하여 수행하였다.

Table 1. Chemical properties of soil before the trial

pH	OM	Av.-P ₂ O ₅	NO ₃ -N	Ex.- K	Ex.- Ca	Ex.- Mg
(1:5)	(g/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(cmol/kg)		
8.3	11.7	69.6	4.8	0.1	11.8	1.9

결과 및 고찰

미생물 PLFA

미생물의 PLFA 변화를 분석한 결과를 보면 피복식물에 의해 유의적으로 차이가 나타났다(Table 2). 세균의 그람-/그람+와 호기성/혐기성의 비율은 청경구보다 피복식물을 처리한 구에서 높게 나타났다. 지방산의 포화/불포화 비율과 cyclo/pre의 비율은 청경구에서 가장 높았고, 피복식물 처리에 의해 감소하였다. 개별 지방산의 비율을 주요인분석으로 분석한 결과 PC1이 총 변이의 31.9%를, PC2가 19.9%를, PC3은 13.7%를 각각 설명하였다(Fig. 1). 미생물군락은 PC1에 의해 청경구와 피복식물구들이 분리되었고, 호밀구는 자운영구 및 헤어리베치구와 분리되었다. PC3에 의해 귀리는 크림슨클로버를 제외한 다른 처리구들과 구분되었다. 자운영은 녹비로 처리할 경우 헤어리베치나 레드클로버 처리와 상이한

미생물 군락을 형성한다는 보고가 있으나(Park *et al.*, 2008), PLFA의 주요인 분석에 의해서는 다른 두과식물과 차이가 나타나지 않았다.

피복식물 효과

PLFA분석을 통해 미생물이 고온, 낮은 pH, 중금속오염 등의 스트레스를 받고 있는지 지표로 활용할 수 있으며, cyclo 지방산이 증가하고 곰팡이가 감소할 경우에 환경 스트레스가 증가하는 것을 반영한다(Kaur *et al.* 2005). 본 연구에서 피복식물 처리구에서 청경구와 비교하였을 때 대체적으로 지방산의 cyclo/pre 이 감소하였고, 곰팡이 수치가 높아졌기 때문에 토양 미생물의 생육환경이 개선된 것으로 추측된다. 미생물인 곰팡이, 세균, 방선균 및 VAM균의 상대적 밀도가 피복식물에 의해 증가하였으며(Table 2), 선충이나 미소절족동물의 전체밀도도 크게 증가하였다(Table 3, 4). 또

Table 2. Effects of cover plants on soil microbial PLFA

	G-/ G+	Aero/ anaero	Sat/ unsat	Cyclo/ pre	Fun/ bac	Fun	Bac	Act	VAM
						(Cover plant/clean culture ratio)			
Clean culture	0.5 ^{ct}	0.7 ^c	3.4 ^a	1.1 ^a	0.08 ^b	1.0 ^b	1.0 ^b	1.0 ^b	1.0 ^b
Rye	0.5 ^{bc}	1.2 ^b	2.4 ^b	0.8 ^b	0.10 ^b	2.2 ^{ab}	1.8 ^a	2.5 ^a	1.9 ^{ab}
Oats	0.6 ^{ab}	1.6 ^a	2.0 ^c	0.6 ^c	0.10 ^b	2.3 ^{ab}	1.9 ^a	3.0 ^a	2.8 ^a
Rattail fescue	0.6 ^{ab}	1.7 ^a	2.0 ^c	0.6 ^c	0.10 ^b	2.1 ^{ab}	1.6 ^{ab}	2.6 ^a	2.3 ^a
Chinese milk vetch	0.6 ^a	2.0 ^a	1.8 ^c	0.5 ^c	0.11 ^{ab}	2.4 ^a	1.8 ^a	2.8 ^a	2.8 ^a
Red clover	0.6 ^a	1.6 ^a	2.1 ^{bc}	0.6 ^{bc}	0.14 ^a	2.8 ^a	1.6 ^{ab}	2.4 ^{ab}	2.1 ^{ab}
Crimson clover	0.6 ^{ab}	1.6 ^a	2.1 ^{bc}	0.6 ^c	0.09 ^b	1.7 ^{ab}	1.6 ^{ab}	2.7 ^a	2.4 ^a
Hairy vetch	0.6 ^{bc}	1.7 ^a	2.0 ^c	0.6 ^c	0.09 ^b	1.7 ^{ab}	1.6 ^{ab}	2.6 ^a	2.4 ^a

†Values indicated by the same letter within a column are not significantly different according to Tukey's test ($P < 0.05$). G-, gram negative bacteria; G+, gram positive bacteria; Aero, aerobic microbes; Anaero, anaerobic microbes; Sat, saturated fatty acid; Unsat, unsaturated fatty acid; Cyclo, cyclo fatty acid; Pre, precursor; Fun, fungi; Bac, bacteria; Act, actinomycetes; VAM, vesicular-arbuscular mycorrhiza.

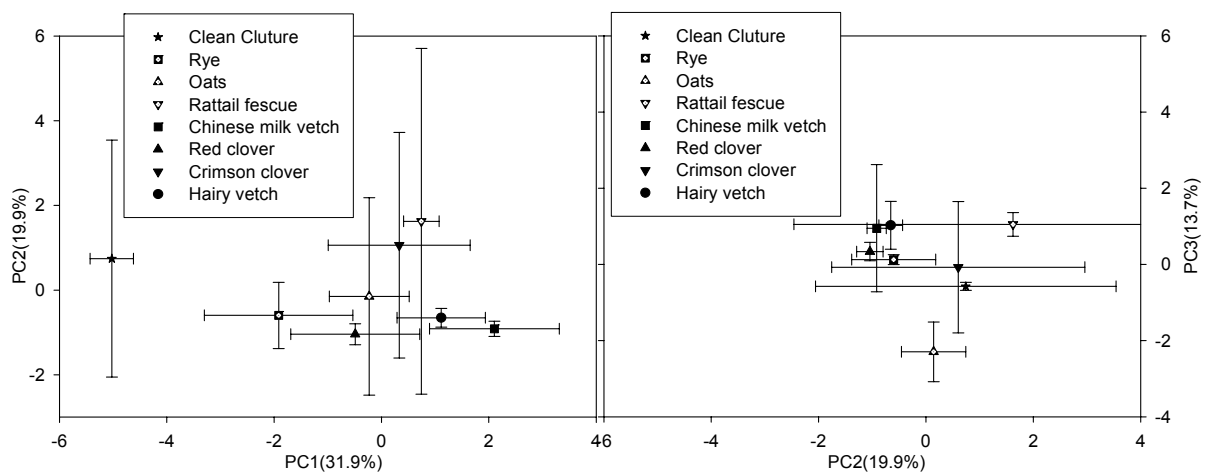


Fig. 1. Ordinate plot of principal component analysis of phospholipid fatty acids extracted from soils under different cover plants in an apple orchard.

Table 3. Effect of cover plants on population density of nematodes

	Total	Bacterivore	Fungivore	Omnivore
	(N/g)			
Clean culture	0.5 ^{ct}	0.4 ^c	0.02 ^b	0.1 ^b
Rye	7.9 ^{ab}	6.9 ^{ab}	0.62 ^a	0.2 ^b
Oats	4.9 ^{bc}	4.0 ^{bc}	0.38 ^{ab}	0.4 ^{ab}
Rattail fescue	11.3 ^a	9.9 ^a	0.74 ^a	0.5 ^{ab}
Chinese milk vetch	5.6 ^{bc}	4.1 ^{bc}	0.44 ^{ab}	0.9 ^a
Red clover	1.8 ^c	1.2 ^c	0.51 ^a	0.0 ^b
Crimson clover	3.8 ^c	2.9 ^{bc}	0.45 ^{ab}	0.5 ^{ab}
Hairy vetch	5.0 ^{bc}	4.1 ^{bc}	0.43 ^{ab}	0.3 ^{ab}

[†]Values indicated by the same letter within a column are not significantly different according to Tukey's test ($P > 0.05$).

Table 4. Effects of cover plants on population density of microarthropods

	Total	Oribata	Prostigmata	Collembola
	(N/100ml)			
Clean culture	0.7 ^{ct}	0.3 ^{cd}	0.1 ^b	0.1 ^b
Rye	7.8 ^{bc}	6.3 ^{bc}	0.4 ^{ab}	0.1 ^b
Oats	11.1 ^{abc}	7.2 ^{bc}	1.5 ^a	1.9 ^a
Rattail fescue	21.1 ^a	18.9 ^a	0.6 ^{ab}	0.4 ^{ab}
Chinese milk vetch	17.5 ^{ab}	15.6 ^{ab}	0.4 ^{ab}	0.4 ^{ab}
Red clover	2.5 ^c	1.7 ^c	0.4 ^{ab}	0.1 ^b
Crimson clover	4.4 ^c	2.9 ^c	0.7 ^{ab}	0.4 ^{ab}
Hairy vetch	11.4 ^{abc}	9.2 ^{abc}	0.6 ^{ab}	0.4 ^{ab}

[†]Values indicated by the same letter within a column are not significantly different according to Tukey's test ($P > 0.05$).

한, cyclo/pre 수치가 낮아진 것은 미생물에 많은 양의 기질을 제공하는 상태를 반영한다(Bossio and Scow, 1998). 이러한 환경에서는 유기물의 분해나 이동이 효율적으로 이루어질 것으로 판단되기 때문에, 사과원에서는 청경관리보다 피복식물로 관리하는 것이 토양생물의 생육환경을 개선시키고 이들의 활성을 증가시킬 수 있을 것으로 사료된다.

화분과식물

들목새는 지중해 지역이 원산지인 귀화식물로서 북반구와 남반구의 온대지역에 널리 분포하고 있으며(Dellow *et al.*, 2002), 우리나라에서는 감귤, 사과, 콩 등의 재배에서 피복식물로 연구되어 왔다. 들목새구에서는 특징적으로 선충 및 미소절족동물의 개체밀도가 가장 높았다. 세균의 PLFA 수치가 다른 피복식물과 비교하여 높지는 않았기 때문에, 먹이의 증가에 의한 결과는 아닌 것으로 추측된다.

호밀은 피복식물로 재배할 경우 응애류의 밀도가 증가하였고(Reeleder 2006), 근근균의 집중밀도가 청경구에 비해 높았으며(White and Weil, 2010), 귀리구에서도 미생물의 PLFA 수치가 청경구보다 높았으며, 미소동물의 개체밀도도

크게 증가하였기 때문에 과원의 토양생물 관리에 유용한 식물로 이용될 수 있다.

두과식물

자운영은 한국을 비롯하여 일본 및 중국 등에서 토양의 비옥도를 개선시키기 위하여 주로 수도작에 녹비작물로 이용되어왔다. 자운영구에서 응애류의 밀도가 높았는데, 응애류는 유기물 분해과정에서 물리적으로 분쇄하는 역할을 하기 때문에 유기물 분해에 의한 양분 공급의 효율성이 높아질 수 있다(Filser, 2002). Rutto *et al.*(2003)은 자운영이 균근균에 쉽게 접종이 되어 과수원에서 균근균의 밀도를 높게 유지하기 위해 적합한 식물이라고 제안하였다. 본 연구에서도 자운영 처리구에서 높은 균의 밀도가 확인되었고, 선충 중에서 환경에 가장 민감한 잡식성 선충의 개체밀도도 가장 높았기 때문에 미생물뿐만 아니라 미소동물의 활동에도 양호한 토양환경을 형성하는 것으로 판단된다.

레드클로버는 뿌리에 근근균이 공생하여 공기중의 질소를 고정하며 피복식물로 널리 이용된다. 레드클로버와 토양생물의 관계를 살펴보면 근근균이 청경구보다 컸으며, PLFA의

곰팡이 수치 및 곰팡이/세균의 비율이 가장 높았다. Elfstrand *et al.*(2007)은 레드클로버 처리구에서 세균과 곰팡이 밀도는 차이가 없었으나 균근군(AM균)이 증가하였다는 보고하였다. Jokela *et al.*(2009)도 레드클로버 재배는 녹비를 재배하지 않은 무처리구와 비교하여 높은 곰팡이/세균 비율을 높이고 또한 균근군 밀도도 증가시켰다고 하였다. 레드클로버는 citric acid를 생성하여 근권의 pH를 저하시킨다는 보고가 있으나(Otani *et al.*, 1996), 곰팡이의 PLFA수치가 높은 것과 관련하여 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다. 식균성 선충이 전체 선충에서 차지하는 비율이 다른 처리구에서는 2.6-11.8%이었던 것에 비교하여 레드클로버구에서는 28.3%로 크게 높았던 것은(Tukey's test, $P < 0.05$) 선충의 먹이가 되는 곰팡이의 증가와 더불어 곰팡이 중심의 생태구조가 형성되었기 때문이라고 추측된다(Wardle, 1993). 식물기생성이면서도 식균성 선충인 *Ditylenchus destructor*도 알팔파, 옥수수, 귀리, 강낭콩보다 레드클로버를 재배한 토양에서 밀도가 높았다(MacGuidwin and Slack, 1991).

크림슨클로버 재배시 토양유기물의 양과 미생물의 활성이 호밀에서보다 높았다는 보고가 있으나(Reddy *et al.*, 2003) 본 연구에서는 미생물 PLFA수치에서 차이가 없었으며, 같은 두과식물인 자운영에 비하여 날개응애의 개체밀도는 낮게 나타났다.

요 약

사과원 토양의 지속적인 생산성을 위해 토양생물의 변화를 파악하는 것이 중요하므로, 피복식물 재배에 따른 미생물 PLFA 및 미소동물의 개체밀도 변화를 조사하였다. 피복식물은 두과식물인 호밀, 귀리, 들목새와 두과식물인 자운영, 레드클로버, 크림슨클로버, 헤어리베치를 대상으로 하였다. 청경구에 비하여 피복식물을 재배하였을 때 미생물 PLFA 수치 및 미소동물이 증가하였기 때문에 청경구보다는 피복식물로 토양을 관리하는 것이 토양생물을 증가시키는데 유리할 것으로 사료된다. 미생물 PLFA 수치에서는 피복식물간 차이가 적었지만, 화분과식물 중에서는 들목새와 두과식물 중에서는 자운영이 토양의 미소절족동물의 개체밀도를 증가시키는 효과가 비교적 큰 것으로 나타났다. 본 결과는 적절한 피복식물 선정을 통한 효과적인 유기물분해와 안정적인 양분공급을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- Aoki, J., 1999. *Pictorial Keys to soil animals of Japan*. pp. 113-787. Tokai university press, Japan.
- Bossio, D.A., Scow, K.M., 1998. Impacts of carbon and flooding on soil microbial communities: phospholipid fatty acid profiles and substrate utilization patterns, *Microbial Ecol.* 35, 265-278.
- Dellow, J.J., Wilson, G.C., King, W.M., Auld, B.A., 2002. Occurrence of weeds in the perennial pasture zone of New South Wales, *Plant Prot. Quart.* 17, 12-16.
- Elfstrand, S., Bath, B., Martensson, A., 2007. Influence of various forms of green manure amendment of soil microbial community composition, enzyme activity and nutrient levels in leek, *Appl. Soil Ecol.* 36, 70-82.
- Filser, J., 2002. The role of collembolan in carbon and nitrogen cycling in soil, *Pedobiologia* 46, 234-245.
- Hunt, H.W., Coleman, D.C., Ingham, E.R., Ingham, R.E., Elliott, E.T., Moore, J.C., Rose, S.L., Reid, C.P.P., Morley, C.R., 1987. The detrital food web in a shortgrass prairie, *Biol. Fertil. Soils* 3, 57-68.
- Jokela, W.E., Grabber, J.H., Karlen, D.L., Balsler, T.C., Palmquist, D.E. 2009. Crop and Liquid Manure Effects on Soil Quality Indicators in a Corn Silage System, *Agron. J.* 101, 727-737.
- Kaur, A., Chaudhary, A., Kaur, A., Choudhary, R., Kaushik, R., 2005. Phospholipid fatty acid-A bio-indicator of environment monitoring and assessment in soil ecosystem, *Curr. Sci.* 89, 1103-1112.
- Kim, C.G., Seo, J.H., Cho, H.S., Choi, S.H., Kim, S.J., 2002. Effect of hairy vetch as green manure on rice cultivation, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 35, 169-174.
- Kim, W.S., Lee, S.H., Choi, H.S., Jo, J.A., 2000. Effect of cover cropping with rye on growth and development in Pear (*Pyrus pyifolia Nakai*), *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 18, p 106.
- Li, W.H., Zhang, C.B., Jiang, H.B., Xin, G.R., Yang, Z.Y., 2006. Changes in soil microbial community associated with invasion of the exotic weed, *Mikania micrantha* HBK, *Plant Soil* 281, 309-324.
- MacGuidwin, A.E., Slack, S.A., 1991. Suitability of alfalfa, corn, oat, red clover, and snapbean as hosts for the potato rot nematode, *Ditylenchus destructor*, *Plant Dis.* 75, 37-39.
- Okada, H., 2002. Role of nematodes in soil ecosystems-effects on dynamics of inorganic nitrogen. *Root Res.* 11, 3-6.
- Otani, T., Ae, N., Tanaka, H., 1996. Phosphorus (P) uptake mechanisms of crops grown in soils with low P status. II. Significance of organic acids in root exudates of pigeon pea. *Soil Sci. Plant Nutr.* 42, 533-560.

- Park, K.C., Seo, Y.J., Kim, C.Y., Kim, J.S., Yi, Y.K., S., J.A., 2008. Influence of growing green manures on soil microbial activity and diversity under organically managed grape-greenhouse. *Kor. J. Environ. Agri.* 27, 260-266.
- Peacock, A.D., Mullen, M.d., Ringelberg, D.B., Tyler, D.D., Hedrick, D.B., Gale, P.M., White, D.C., 2001. Soil microbial community responses to dairy manure or ammonium nitrate applications, *Soil Biol. Biochem.* 33, 1011-1019.
- Ramos, M.E., Benitez, E., Garcia, P.A., Robles, A.B., 2010. Cover crops under different managements vs. frequent tillage in almond orchards in semiarid conditions: Effects on soil quality, *Appl. Soil Ecol.* 44, 6-14.
- Reddy, K.N., Zablotowicz, R.M., Locke, M.A., Koger, C.H., 2003. Cover crop, tillage, and herbicide effects on weeds, soil properties, microbial populations, and soybean yield, *Weed Sci.* 51, 987-994.
- Reeleder, R.D., Miller, J.J., Coelho, B.R.B., Roy, R.C., 2006. Impacts of tillage, cover crop, and nitrogen on populations of earthworms, microarthropods, and soil fungi in a cultivated fragile soil, *Appl. Soil Ecol.* 33, 243-257.
- Rutto, K.L., Mizutani, F., Moon, D.G., Cho, Y.S., Kadoya, K., 2003. Seasonal fluctuations in mycorrhizal spore populations and infection rates of vineyard soils planted with five legume cover crops, *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 72, 262-267.
- Schloter, M., Dilly, O., Munch, J.C., 2003. Indicators for evaluating soil quality, *Agri. Ecosys. Environ.* 98, 255-262.
- Stenberg, B., 1999. Monitoring soil quality of arable land: microbial indicators, *Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil Plant Sci.* 49, 1-24.
- White, C.M., Weil, R.R., 2010. Forage radish and cereal rye cover crop effects on mycorrhizal fungus colonization of maize roots, *Plant Soil* 328, 507-521.
- Wardle, D.A., 1993. The dual importance of competition and predation as regulatory forces in terrestrial ecosystems: evidence from decomposer food-webs, *Oecologia* 2, 303-306.
- Yang, C.H., Ryu, J.H., Kim, T.K., Lee, S.B., Kim, J.D., Back, N.H., Kim, Sun., Choi, W. Y., Kim, S.J., 2009. Effect of green manure crops incorporation with rice cultivation on soil fertility improvement in paddy field, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42, 371-378.