

경작지토양에서 미생물제제가 미생물의 다양성과 고추의 생육에 미치는 영향

안창환¹ · 임종희¹ · 김요환¹ · 정병권¹ · 김진원² · 김상달^{1*}
¹영남대학교 미생물생명공학과, ²예천군 농업기술센터

Received : October 21, 2011 / Revised : December 8, 2011 / Accepted : December 9, 2011

Effects on the Soil Microbial Diversity and Growth of Red Pepper by Treated Microbial Agent in the Red Pepper Field. An, Chang-Hwan¹, Jong-Hui Lim¹, Yo-Hwan Kim¹, Byung-Kwon Jung¹, Jin-Won Kim², and Sang-Dal Kim^{1*}. ¹Department of Applied Microbiology & Biotechnology, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Korea, ²Yecheon Agricultural Technology Center, Yecheon 757-802, Korea – We investigated the effects on soil microbial diversity and the growth promotion of red pepper resulting from inoculation with a microbial agent composed of *Bacillus subtilis* AH18, *B. licheniformis* K11 and *Pseudomonas fluorescens* 2112 in a red pepper farming field. Photosynthetic bacteria, *Trichoderma* spp., *Azotobacter* spp., Actinomycetes, nitrate oxidizing bacteria, nitrite oxidizing bacteria, nitrogen fixing bacteria, denitrifying bacteria, phosphate solubilizing bacteria, cellulase producing bacteria, and urease producing bacteria are all indicator microbes of healthy soil microbial diversity. The microbial diversity of the consortium microbial agent treated soil was seen to be 1.1 to 14 times greater than soils where other commercial agent treatments were used, the latter being the commercial agent AC-1, and chemical fertilizer. The yield of red pepper in the field with the treated consortium microbial agent was increased by more than 15% when compared to the other treatments. Overall, the microbial diversity of the red pepper farming field soil was improved by the consortium microbial agent, and the promotion of growth and subsequent yield of red pepper was higher than soils where the other treatments were utilized.

Keywords: Microbial diversity, plant growth promoting rhizobacteria (PGPR), microbial agent, soil indicator

서 론

토양의 중요한 지표로써 생물학적 다양성이 풍부하고 영양물질순환이 원활히 이루어지는 토양을 건전한 토양이라고 한다. 이를 지속가능하고 친환경적인 토양을 유지하기 위해서 토양의 관리는 필수적이다[29]. 건전한 토양은 경작지 내 미생물 군집의 다양성과 관련되어 있으며 미생물의 밀도, 생물량, 효소활성 등과 밀접한 관계[6, 22]가 있고, 토양 내 원활한 물질순환이 진행되어야 하는데 이 과정 대부분에도 토양미생물이 관여하고 있다[25, 32].

최근 국내 연구는 경작지 토양의 미생물상이 농경지 토양 미생물의 속까지 분류되어 호기성 세균, 방선균, 사상균, *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp., *Azotobacter* spp., 탈질균, 암모니아 산화세균, 아질산 산화세균 등이 건전한 토양에 상대적으로 많은 것으로 보고되고 있다[30]. 이것은 토양에서 미생물과 식물과의 상호작용을 증진하는 매체로서의 기능을 수행함으로써 토양의 건전성에 영향을 미치고 있다[10].

현재까지 경작지 토양에서 미생물의 접종으로 불용성인산을 식물이 이용가능할 수 있는 인산가용화 촉진[19], 길항미생물의 식물병원균의 억제[24], auxin과 cytokinin 등의 식물 호르몬의 생산[13]이나 난용성 유기화합물의 분해[3, 18, 19, 35] 등의 다양한 기능을 가지는 미생물을 이용하는 연구가 대두되고 있다. 이것을 이용하여 경작지 토양에서 유기물의 시용[31], 퇴비[26]와 식물생장을 촉진하는 미생물제제의 친환경 제품 개발[15, 20] 등의 지속가능하고 친환경적인 토양을 유지하고 이것이 토양생태계에 미치는 영향과 토양미생물의 다양성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

따라서 본 연구에서는 토양에서 분리, 개발된 식물생장촉진근권세균(Plant Growth Promoting Rhizobacteria, PGPR) 컨소시엄 미생물제제의 처리가 경작지 토양에 서식하는 근권세균의 미생물 다양성에 미치는 영향을 분석하였다. 또한, 경작지 토양에서 고추의 생장속진과 수확량에 미치는 영향을 분석함으로써 컨소시엄 미생물제제의 효능을 검증하였다. 이렇게 컨소시엄 미생물제제로 인한 근권세균의 다양성 증가와 식물에 미치는 영향을 비교분석함으로써 지속가능한 농업을 위해 토양 생태의 건전성과 친환경적인 토양 관리에서의 적용 가능성을 평가하고, 또 이 연구가 메타지노믹스

*Corresponding author

Tel: +82-53-810-3053, Fax: +82-53-810-4663

E-mail: sdkim@ynu.ac.kr

에 의한 토양미생물의 다양성에 기초자료가 될 수 있을 것이다.

재료 및 방법

사용균주 및 균주의 배양

본 연구에 사용된 균주는 식물생장촉진 호르몬인 auxin과 식물병원성진균의 생육을 억제 하는 siderophore를 생산하는 PGPR인 *B. subtilis* AH18[11], β -glucanase와 chitinase를 생산하는 *B. licheniformis* K11[12]과 2,4-diacetylphloroglucinol (2,4-DAPG)과 환경스트레스 저항성 ACC deaminase를 생산하는 *P. fluorescens* 2112가 혼합된 컨소시엄 미생물제제를 사용하였다[17, 23]. *B. subtilis* AH18과 *B. licheniformis* K11 균주의 배양은 LB (Luria-Bertani) broth (Difco Co. Detroit, MI)에 180 rpm으로 37°C에서 3일간 배양하였고, *P. fluorescens* 2112 균주의 배양은 LB broth에 180 rpm으로 30°C에서 3일간 배양하였다.

경작지 시험포장과 시험작물 및 컨소시엄 미생물제제 처리

성주군 화성육묘장의 고추(*Capsicum annuum* L.)의 청양 품종 800 주를 경상북도 경산시 대동 영남대학교의 자연자원 대학 23×33 m의 실험포장에서 설치 및 실시하였다. 처리구는 *B. subtilis* AH18, *B. licheniformis* K11과 *P. fluorescens* 2112의 혼합균주의 컨소시엄 미생물제제 처리구(PGPR), 시판중인 상업용 미생물제제(*Paenibacillus polymyxa* AC1, G사의 T 제품, AC-1)인 상업용제제 처리구, 화학농약(C사 D 제품, Agrochemical) 처리구와 물만 처리한(Only water) 처리구로 하였고 50주씩 4회 반복하여 난피법으로 정식하였다. 모든 처리구는 10일 간격으로 주당 100 mL씩 관주접종하였다. 미생물제제의 접종 농도는 10^6 cfu/mL로 하여 처리하였고, 상업용제제 처리구와 화학농약 처리구는 권장사용기준에 따라 처리하였다.

토양 시료의 채취 및 물리·화학적 분석

토양의 시료 채취는 2010년 7월 1일에 작물을 정식한 시점을 기준으로 각 처리구별로 고추의 정식 전(non-planting)

시료를 포함하여, 30일 간격으로 표층의 토양을 2-3 cm 제거한 후, 지표면으로부터 30 cm 깊이까지의 고추 근권 토양을 10 m 간격을 두고 4회 반복 채취하였다. 채취한 토양 시료를 2 mm 표준체(10 mesh)를 이용하여 체거름한 토양 시료를 4°C에 냉장보관하였다. 토양 시료의 수분함량은 채취한 경작지 토양 10 g을 60°C 고온건조기에서 48시간 건조하여 측정하였다(Table 1). 토양 시료의 이화학적 분석은 24 시간동안 25°C에서 음건한 토양 시료 200 g을 예천군 농업기술센터에 의뢰하였다.

고추 근권의 토양미생물의 밀도 측정

고추 근권토양의 주요 지표 미생물인 방선균을 선별하기 위해 Actinomyces isolation agar (Difco Laboratories, MI, U.S.A.) medium에서 28°C, 7일간 배양하였다. *Trichoderma* spp.의 계수는 일반세균의 생장을 억제하기 위해 50 μ g/mL 농도의 chlorotetracycline을 첨가한 malt extract agar에서 30°C에 7일간 배양하였다[28]. 광합성 세균은 Athiorhodaceae 배지[21]에 28°C, 7일간 배양한 후 평판배지에서 자라는 집락을 계수하여 측정하였다. 식물의 근권에 서식하고, 식물의 뿌리와 공생관계에 있는 *Azotobacter* spp.는 Glucose agar 배지(Glucose 5 g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.2 g, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.04 g, K_2HPO_4 0.8 g, $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ 0.005 g, $CaCl_2$ 0.15 g, agar 15 g, 증류수 1,000 mL, pH 7.0)에 28°C, 7일간 배양하여 크림색의 점착성이 있는 집락을 계수하여 측정하였다[4].

질소 순환 미생물의 활성과 밀도 측정

암모니아 산화세균은 $(NH_4)_2SO_4$ 0.5 g, NaCl 0.3 g, K_2HPO_4 1.0 g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.3 g, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.03 g, $NaHCO_3$ 7.5 g, 증류수 1,000 mL로 조성된 평판배지(pH 7.0)에 28°C, 7일간 배양하였고, 아질산 산화세균은 $NaNO_2$ 0.006 g, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.03 g, K_2HPO_4 1.0 g, $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 0.3 g, NaCl 0.3 g, $NaHCO_3$ 1.0 g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.1 g, 증류수 1,000 mL로 조성된 평판배지(pH 7.0)에 28°C, 7일간 배양하여 Griess-Ilosvay시약과 반응시켜 발색되는 집락을 계수하여 측정하였다. Giltay배지에서 탈질되어 청색으로 발색되는 집락을 계수하여 탈질세균을 측정하였다[14]. 대기중의

Table 1. Chemical properties of rhizosphere soil in the red pepper farming field.

Treatments ¹	Factors						
	pH (1:5 H ₂ O)	Organic matter (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Water contents (%)	Exchangeable cation		
					Exch.-K (cmol/kg)	Exch.-Ca (cmol/kg)	Exch.-Mg (cmol/kg)
Only water	7.75	17.83	222.5	17.4	0.63	13.83	2.73
PGPR	7.85	17.5	212.5	17.2	0.56	15.42	2.59
AC-1	7.61	18.67	180.25	16.8	0.71	10.48	1.71
Agrochemical	7.73	17.75	160.41	16.4	0.51	14	2.6

¹PGPR; consortium microbial agent treatment, AC-1; commercial microbial agent treatment, and Agrochemical; agrochemical fertilizer treatment.

질소분자를 암모니아로 전환시켜주는 질소고정세균의 계수는 Nitrogen-free agar media (Sucrose 6 g, MgSO₄·7H₂O 0.2 g, Na₂HPO₄ 13.9 g, KH₂PO₄ 1.7 g, NaCl 2 g, FeCl₃·6H₂O 8 mg, Na₂MoO₄·2H₂O 3 mg, Thiamin 1 mg, agar 13 g, 증류수 1,000 mL, pH 7.0)를 이용하여 28°C에 7일간 배양하여 평판배지에 자라는 집락을 측정하였다.

가수분해 기능미생물의 활성과 밀도 측정

섬유소분해세균은 일반세균배지 Knopp's의 변형배지(CMC 10 g, NaNO₃ 1 g, Na₂HPO₄ 1 g, KCl 0.5 g, FeCl₃ 0.01 g, agar 15 g, 증류수 1,000 mL, pH 7.0)에 28°C, 7일간 배양하여 1%의 congo red 염색법으로 투명대를 형성하는 colony를 계수하였다[33]. 난용성 인산을 식물이 이용할 수 있게 해주는 인산가용화 미생물은 glucose 1%, (NH₄)₂SO₄ 0.01%, MgSO₄·7H₂O 0.025%, MgCl₂·7H₂O 0.5%, KCl 0.02%, Ca₃(PO₄)₂ 0.5%, agar 1.5% 평판배지에 28°C, 3~5일간 배양하여 투명대를 형성하는 colony를 계수하였다. Urease 생산세균은 urea agar base (Peptone 1 g, dextrose 1 g, sodium chloride 5 g, potassium phosphate Mono 2

g, urea 20 g, phenol red 0.012 g, 증류수 1,000 mL, pH 6.8±0.1)를 제조하여 평판배지에 28°C, 7일간 배양하여 적색으로 발색되는 colony를 계수하였다.

고추의 성장촉진능과 수확량 증대 효과 검증

고추 경작지 토양에서 컨소시엄 미생물제제의 처리가 고추의 생육 및 수확량에 미치는 영향에 대해서 알아보았다. 컨소시엄 미생물제제 및 화학농약과 상업용제제가 경작지 토양 내 고추의 생육에 미치는 영향을 조사하기 위해 10일간격으로 고추의 생육발달의 지표가 되는 초장, 주경장, 경경과 분지수를 측정하였다[16]. 또한 고추수확량 증대 효과를 검증하기 위해 수확한 고추를 열풍건조기에 60°C, 160시간 건조하여 건고추의 중량을 측정하였다.

결과 및 고찰

고추 근권의 토양미생물의 밀도 분석

고추 경작지 토양의 건진성을 측정하기 위하여 지표미생물로 알려진 주요 미생물들의 활성을 고추의 정식 전의 미

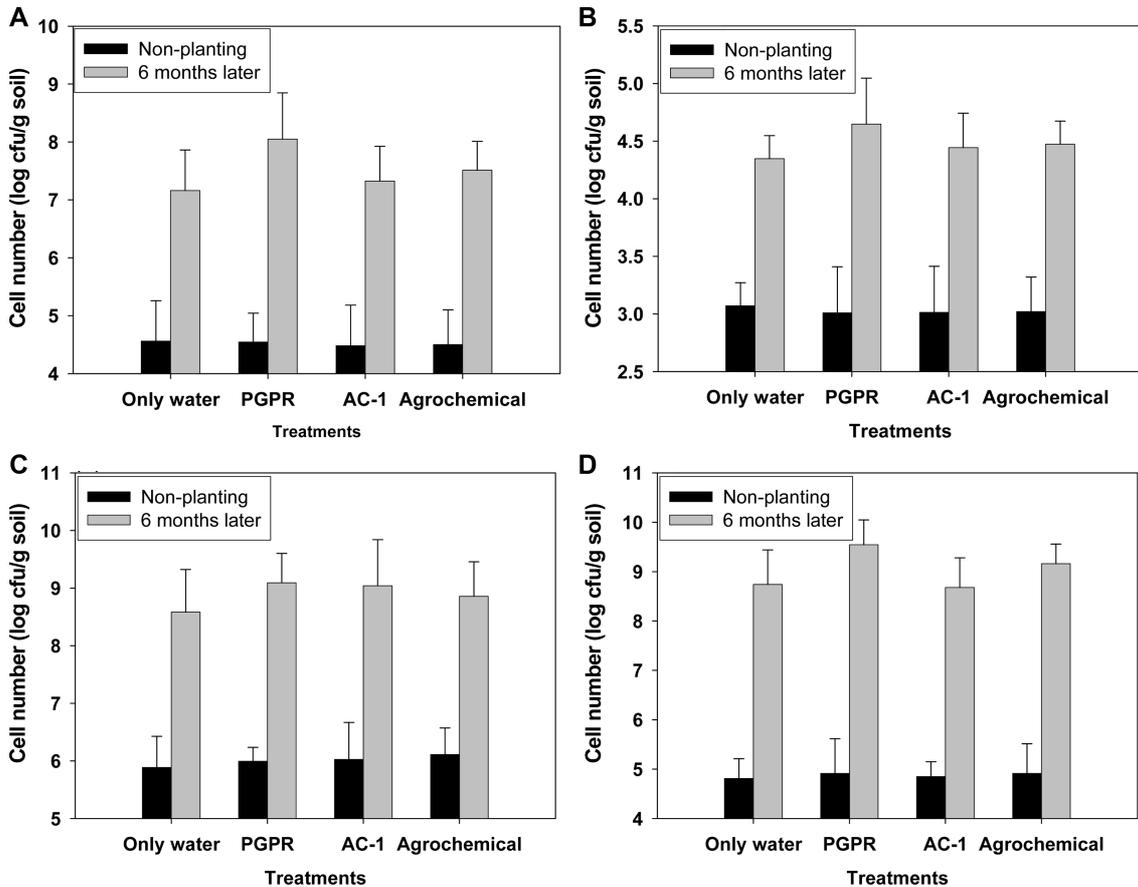


Fig. 1. Soil microbial diversity in the red pepper farming field by the treatment of consortium microbial agent. Comparison of microbial diversity with non-planting soil and 6 months later soil sample. (A), *Actinomyces* spp.; (B), fungi; (C), photosynthetic bacteria; (D), *Azotobacter* spp..

생물 밀도와 정식 후 6개월 후의 미생물 밀도를 비교하여 방선균, *Trichoderma* spp., 광합성세균, *Azotobacter* spp., 암모니아 산화세균, 아질산 산화세균, 질소 고정세균, 탈질균, 섬유소유기물분해세균, 인산가용화 세균, urease 생산세균을 통해 고추 경작지의 토양미생물 다양성변화를 비교분석 하였다.

방선균은 cellulase, hemicellulase와 chitinase 등의 효소를 생산해 유기물을 분해[5]하여 토착미생물들과 공생관계를 가지거나 작물의 생육촉진 등의 작용을 하는 미생물로 알려져 있다[36]. 경작지 토양내 고추 정식 전의 방선균의 계수는 3.5×10^4 cfu/g soil로 모든 처리구가 비슷하였다. 그러나 정식 후 6개월 후의 방선균의 계수는 컨소시엄 미생물제제 처리구가 1.1×10^8 cfu/g soil로 화학농약 처리구와는 5배, 물 처리구와는 9배 높았다(Fig. 1A).

유기물의 분해자 역할을 주로 하는 *Trichoderma* spp.는 세균이나 방선균과 식물과의 관계에서는 기생 혹은 공생관계이다[30]. 고추의 경작지 토양의 정식 전 곰팡이 계수는 모든 처리구에서 1.0×10^3 cfu/g soil로 비슷하게 계수되었지만 정식 후 상업용제제 처리구의 경우 다른 처리구와 비교

하였을 경우 컨소시엄 미생물제제 처리구가 다른 처리구보다 3배 가량(2.0×10^4 cfu/g soil) 더 증가하였다. 이러한 결과는 컨소시엄 미생물제제를 토양에 처리하였을 경우 화학농약을 처리하거나 상업용제제를 처리하였을 때보다 고추 근권내 사상균의 다양성을 증가시키는 효과를 가져온다고 볼 수 있다(Fig. 1B).

광합성세균의 계수는 고추 정식 전 1.1×10^6 cfu/g soil로 모든 처리구에서 동일하였지만 정식 6개월 후의 광합성세균은 컨소시엄 미생물제제 처리구가 1.2×10^9 cfu/g soil로 물 처리구보다 5배, 화학농약 처리구보다 2배 이상 높았으며 컨소시엄 미생물제제의 처리에 의한 토양미생물의 광합성세균의 다양성 증가를 확인할 수 있었다(Fig. 1C).

Fig. 1D는 경작지 토양의 고추 정식 전과 정식 6개월 후의 *Azotobacter* spp.이다. 식물의 뿌리와 공생관계에 있는 *Azotobacter* spp.는 정식 전 8.3×10^4 cfu/g soil로 처리구간의 차이가 없었다. 하지만 정식 6개월 후의 *Azotobacter* spp.의 차이는 컨소시엄 미생물제제 처리구의 경우 3.6×10^9 cfu/g soil로 상업용제제 처리구에 비해 9배가 높았다. 이와 같은 결과는 기존의 박 등[27]과 이 등[20]의 미생물제제를 처

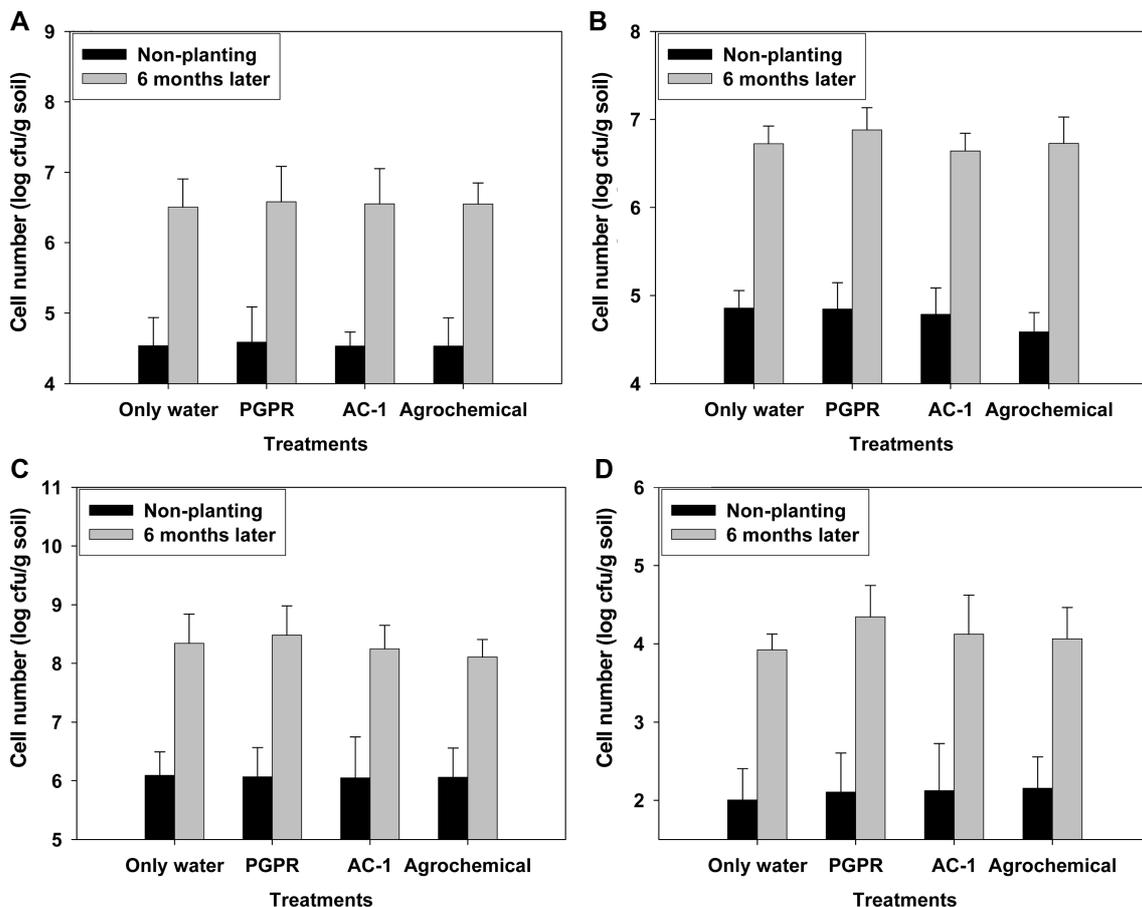


Fig. 2. The microbial diversity of dominant nitrogen cycling bacteria in the red pepper farming field. Comparison of microbial diversity with non-planting soil and after 6 months later soil sample. (A), ammonia oxidizing bacteria; (B), nitrite oxidizing bacteria; (C), nitrogen fixation bacteria; (D), denitrifying bacteria.

리함으로써 토양 내 미생물의 다양성과 개체수가 증가하였다는 연구결과와 일치하여 경작지내 컨소시엄 미생물제제를 처리하였을 때 토착미생물과의 공생관계, 난용성유기물 분해균의 증가, 다양한 효소 및 항생물질 등을 생산해내는 유익한 방선균, *Trichoderma* spp., 광합성세균, *Azotobacter* spp.의 밀도를 증가시켰다는 것을 보여준다.

질소순환 미생물의 밀도 분석

건전한 토양의 지표 중 질소순환은 토양 내 미생물에 의해 원활히 이루어지고 있다. 또한 미생물에 의해 원활히 이루어지고 있는 토양성분 중의 질소는 식물에게 필수적인 영양원[1, 7]이다. 고추의 정식 전 토양에서의 암모니아 산화세균은 3.8×10^4 cfu/g soil가 존재하며 고추의 정식 6개월 후 다른 처리구와 비교하였을 때 컨소시엄 미생물제제가 3.9×10^6 cfu/g soil로 다른 처리구와 차이는 없었다(Fig. 2A).

아질산세균은 정식 전 7.0×10^4 cfu/g soil이며 정식 후 물 처리구, 상업용제제 처리구와 화학농약 처리구와 비교하였을 때 7.6×10^6 cfu/g soil로 1.6-2.4배 증가하였다(Fig. 2B).

질소고정세균은 정식 후 컨소시엄 미생물제제 처리구가 3.0×10^8 cfu/g soil로 화학농약 1.2×10^8 cfu/g soil, 상업용제제

1.8×10^8 cfu/g soil보다 1.4-3.8배 가량 증가하였다(Fig. 2C).

탈질작용은 N_2O , N_2 등의 가스태의 질소로 환원되는 과정으로 생물권으로부터 대기권으로 방출되는 질소의 주요한 경로로서 질소순환에 커다란 역할을 한다[9]. Fig. 2D에서 탈질균은 정식 전 1.2×10^2 cfu/g soil에 존재하며 정식 후 컨소시엄 미생물제제 처리구가 2.2×10^4 cfu/g soil로 상업용제제 처리구나 화학농약 처리구보다 2-4배 높게 측정되어 컨소시엄 미생물제제 균주의 처리가 경작지 토양내 미생물의 다양성을 증가시킴을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 고추 경작지 토양의 질소 순환에 있어 화학농약 및 기존의 상업용제제보다 컨소시엄 미생물제제가 다양한 질소순환 미생물을 증가시켜 건전한 토양의 지표미생물을 증가시키는 효과가 있음을 알 수 있었다. 또한 질소는 식물생장촉진이나 질소고정을 하여 농업 생산량을 결정짓는 중요한 요소[2]로서 토양 건전성에 중요한 물질이므로 건전한 토양을 관리하는데 있어서 미생물제제의 효과는 뛰어나다는 것을 알 수 있었다.

가수분해 기능미생물의 밀도 분석

섬유소 분해세균의 측정은 고추의 정식 전 8.0×10^5 cfu/mL로 모든 처리구가 차이는 없었다. 그러나 정식 6개월 후

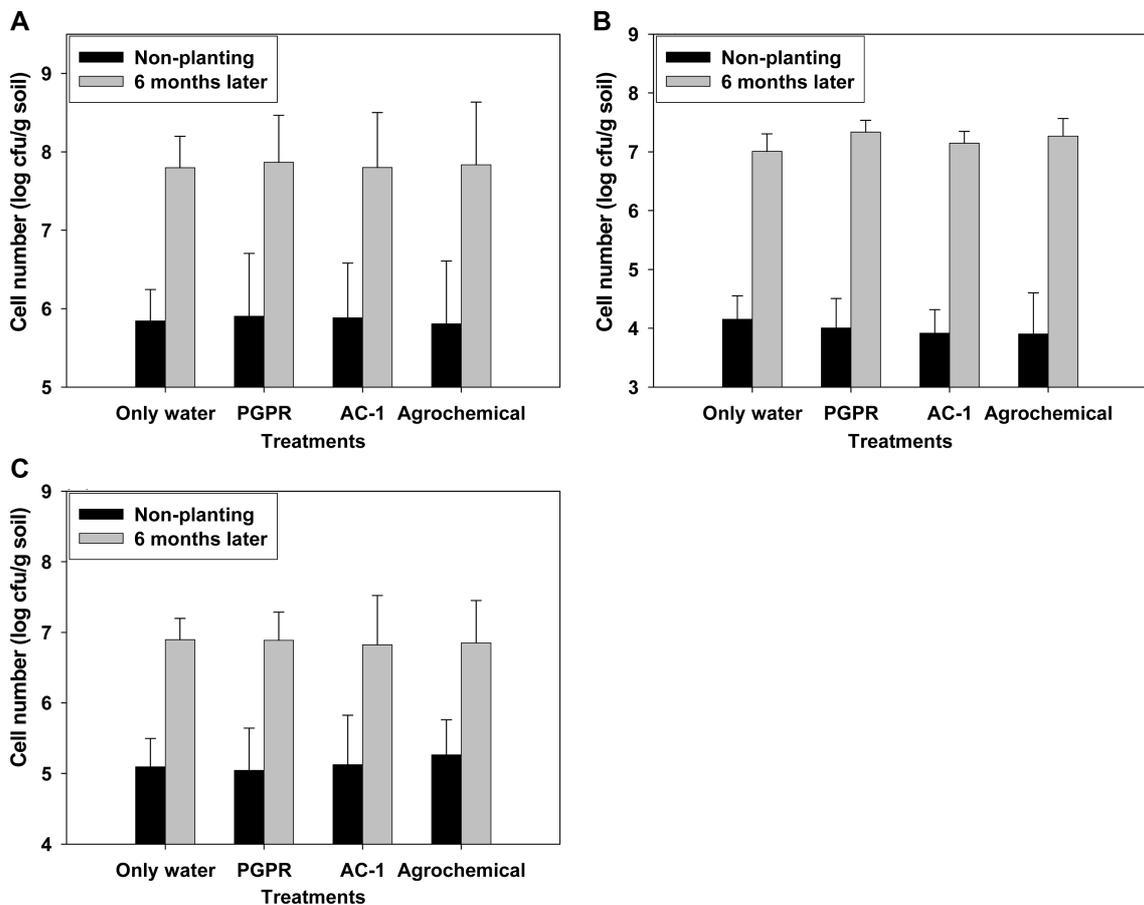


Fig. 3. Rhizosphere diversity of functional bacteria in the red pepper farming field. Comparison of microbial diversity with non-planting soil and after 6 months later soil sample. (A), cellulolytic bacteria; (B), phosphate solubilizing bacteria; (C), urease producing bacteria.

의 섬유소 분해세균은 컨소시엄 미생물제제의 처리구가 7.3×10^7 cfu/mL로 다른 처리구보다 0.3-0.7배 높았다(Fig. 3A).

인산가용화세균은 난용성 인산염을 미생물 스스로는 물론 작물이 이용할 수 있게 하는 기능을 가지고 있는 미생물[34]로 모든 처리구가 고추 정식 전 1.0×10^4 cfu/mL로 모든 처리구에서 유사한 수치를 보였고, 정식 6개월 후의 섬유소 분해세균의 수는 컨소시엄 미생물제제 처리구가 2.2×10^7 cfu/mL로 다른 처리구보다 1.3-3.3배 높게 측정되었다(Fig. 3B).

Urease 생산세균은 고추 정식 전 1.1×10^5 cfu/mL로 정식 후 모든 처리구의 차이는 없었다(Fig. 3C).

고추 경작지 토양의 건전성을 측정하기 위하여 지표로 되는 11종의 토양미생물 다양성 변화를 비교분석 하였다. 측정된 11종의 미생물을 고추 정식 전과 정식 6개월 후의 다양성을 비교하였을 때 11종의 미생물의 다양성은 고추 정식 후 증가하였다. 이와 같은 결과는 최[8], 이[22] 등과 Tate[32]에 의하면 미생물제제의 처리가 경작지 토양에서 토양미생물의 다양성을 증가시키는 것과 일치하여 본 연구의 컨소시엄미생물제제의 처리는 친환경적이고 지속가능한 토양에 적용하기에 매우 적합하다는 것을 보여주는 것이다.

고추의 성장촉진능 검증

고추의 성장을 측정하기위해 생육발달에 지표가 되는 초장, 주경장, 경경과 분지수를 10일 간격으로 6회 조사하였다.

초장은 작물의 지표에서부터 지상부 선단까지의 총 길이로 고추의 경우 초장값이 작을수록 작물의 생장에 유리한데[16], 측정결과 각 처리구간의 차이는 없었다(Fig. 4A).

주경장은 지면으로부터 가지가 처음으로 갈라지는 부위까지의 길이로서 값이 작을수록 좋은데[16] 물 처리구와 화학농약 처리구가 35 cm, 상업용제제 처리구가 34 cm, 컨소시엄 미생물제제 처리구는 33.8 cm 가장 낮았다(Fig. 4B).

경경은 지면으로부터 1 cm 떨어진 지점의 줄기 직경을 측정한다. 측정값이 클수록 작물에게 수확량에 유리한 영향[16]을 미치는데, 상업용제제 처리구와 화학농약 처리구가 19.5 mm가 측정되었고, 물 처리구는 20.1 mm로 1.6 mm 더 높았다. 컨소시엄 미생물제제 처리구는 21.2 mm로 화학농약 처리구와는 1.7 mm 더 높았다.

갈라지는 마디의 수가 클수록 수확량 증대에 영향[16]이 미치는 분지 수는 물 처리구를 제외한 나머지 세 처리구가 14 분지수로 동일하였다(Fig. 4C와 4D).

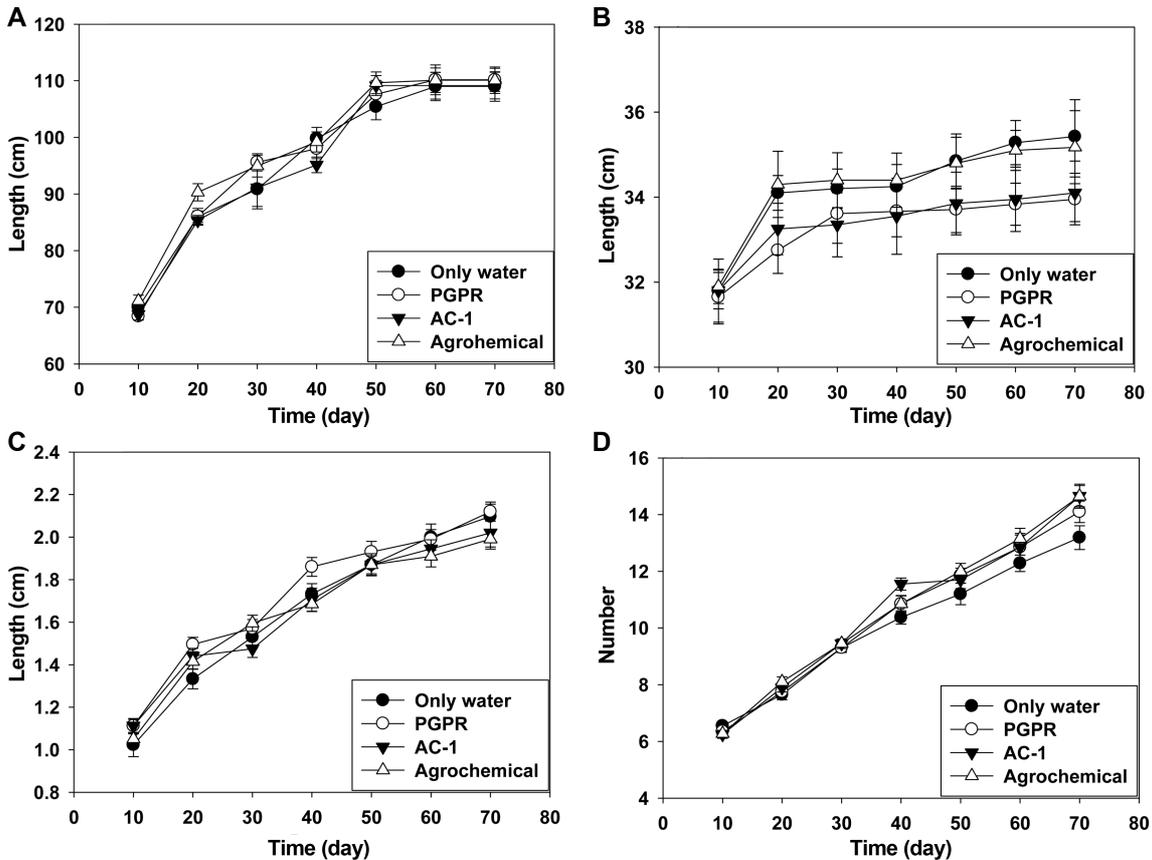


Fig. 4. Measurement of plant length, main stem length, stem diameter and number of branches. The length from the tip to the surface of plant, (A) plant length; the length of come first or central stem, (B) main stem length; the thickness of the plant stem, (C) stem diameter; (D) number of branches; only water treatment (-●-), consortium microbial agent treatment (-○-) and commercial microbial agent treatment (-▽-) was treated 10^6 cfu/mL per a plant, and agrochemical fertilizer treatment (-△-).

Lim[24]이 보고한 바와 같이 본 실험의 컨소시엄 미생물 제제는 식물생장촉진물질인 옥신을 생산하는 *B. subtilis* AH18, 환경스트레스를 감소시키는 ACC deaminase를 생산하는 *P. fluorescens* 2112와 β -glucanase, chitinase를 생산하는 *B. licheniformis* K11의 복합균주로 균주의 효능이 고추의 생육에 있어 초장, 주경장, 경경과 분지수에 직접적 또는 간접적인 영향을 주는 것으로 보여진다.

경작지의 고추수확량 측정

수확량은 각 처리구에서 5회 수확한 고추의 총 무게에서 정식한 작물의 수를 나누어 작물 한 포기당 수확한 고추의 무게로 나타내었다. 컨소시엄 미생물제제 처리구가 건조중량 124 g/one plant, 화학농약처리구는 건조중량 115 g/one plant, 상업용제제 처리구는 건조중량 108 g/one plant이고 물 처리구는 107 g/one plant을 수확하였다. 이 결과는 물 처리구와 비교해 보면 컨소시엄 미생물제제가 15.8% 증가하였고, 화학농약 처리구는 7.4% 증가, 미생물농약 처리구는 0.9% 증가로 컨소시엄 미생물제제가 다른 처리구보다 두배 이상의 증가한 수확량을 측정할 수 있었다(Fig. 5). 또한, 토양의 화학성분은 작물의 생육과 결실에 영향을 미친다[16].

건전토양의 정상 지표범위는 pH의 경우 6.0-6.5, 유기물함량(organic matter)은 25-35 g/kg, 가용성 인산(P_2O_6)은 150-250 mg/kg, 치환성 양이온 칼륨(Exch.-K)은 0.65-0.75 cmol/kg, 치환성 양이온 칼슘(Exch.-Ca)은 5.0-6.0 cmol/kg, 치환성 양이온 마그네슘(Exch.-Mg)은 1.5-2.0 cmol/kg이다. 본 실험결과를 상기의 정상 지표범위와 비교하였을 때 Table 1에서 pH, 유기물(organic matter), 수분함량과 exchangeable

cation은 처리구간 차이는 크지 않았지만, 물 처리구와 컨소시엄 미생물제제 처리구의 가용성 인산은 상업용제제, 화학농약 처리구에 비하여 비교적 높았다. 또한, 건전토양의 인산 지표의 범위에 모든 처리구가 포함되어있으므로 처리구간의 수확량은 차이가 없는 것으로 예상되며 가용성 인산의 과잉으로 인한 작물의 피해는 없었다.

이와 같은 결과는 Kim 등[15]의 연구에서 미생물제제를 처리하였을 때 식물의 건조중량이 14% 증가하였다는 결과와 미생물제제에 의해 미생물 다양성이 1.1-5.7배 증가하였다는 결과와 함께 비교하였을 때, 본 연구에서 처리한 컨소시엄 미생물제제가 토양미생물의 다양성과 작물의 생육촉진 및 수확량 증대에 효과가 있다는 결과와 일치하여 본 연구에 사용된 컨소시엄 미생물제제의 지속가능하고 친환경적 농업을 유지할 수 있는 현장 적용과 토양 생태계의 유지 및 복원에 있어 매우 적합하다는 것을 보여주는 것이다.

요 약

두 종의 *Bacillus*와 한 종의 *Pseudomonas*로 구성된 컨소시엄 미생물제제를 고추 경작지에 첨가하였을 때 경작지 토양의 미생물 다양성 변화를 조사하기 위해 건전한 토양의 지표가 되는 질소순환관계 미생물과 근권토양 내 섬유소 분해기능, 인산가용화기능과 urea 가수분해기능을 가지는 기능성 미생물의 활성과 밀도를 측정하였다. 고추 경작지 토양에 컨소시엄 PGPR 미생물인 *B. subtilis* AH18, *B. licheniformis* K11과 *P. fluorescens* 2112의 컨소시엄 미생물제제를 처리하여 토양미생물의 다양성에 변화를 측정하여 컨소시엄 미생물제제의 처리에 의한 근권토양 미생물의 다양성 변화와 고추의 생육에 미치는 영향을 분석하였다. 컨소시엄 미생물제제 처리구의 경우 *Actinomyces* spp., *Trichoderma* spp., 광합성세균과 *Azotobacter* spp.가 다른 처리구에 비하여 1.7-5 배 이상 높았으며, 질소 순환에 관여하는 미생물은 1.4-4배 증가되었다. 또한 기능성 미생물의 다양성도 화학제제나 물 처리구와 비교하였을 때 1.3-3배 증가하였다. 건고추 수확량은 컨소시엄 미생물제제를 처리하였을 경우 대조구나 화학제제를 처리하였을 때보다 15%이상 수확량이 증대되었다. 따라서 PGPR 컨소시엄 미생물제제의 처리로 인해 고추 경작지 토양의 근권미생물 다양성과 작물의 생산성에 긍정적인 영향을 주는 것으로 생각된다. 추후 메타지노믹스를 활용하여 미생물 다양성 변화를 추가적으로 확인할 예정이다.

Acknowledgement

This study was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by Ministry of Education, Science and Technology (NRF-2010-0008216).

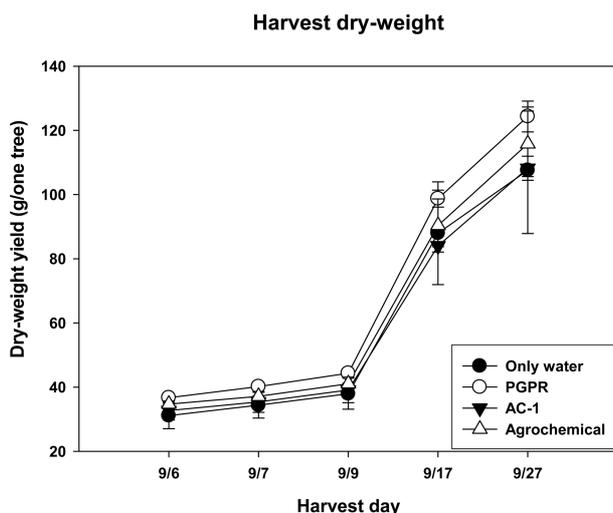


Fig 5. Measurement of the crop yield in red pepper farming field. Evaluation of the dry-weight yields was five time measured, and yield was divided number of plant objects. only water treatment (-●-), consortium microbial agent treatment (-○-), commercial microbial agent treatment (-▽-) and agrochemical fertilizer treatment (-◻-).

REFERENCES

1. Anderson, I. C. and J. S. Levine. 1986. Relative rates of nitric oxide and nitrous oxide production by nitrifiers, denitrifiers, and nitrate respirers. *Appl. Environ. Microbiol.* **51**: 938-945.
2. Barbara, R. H. and H. Thomas. 1997. *Azoarcus* spp. and their interactions with grass roots. *Plant and Soil.* **194**: 57-64.
3. Beguin, P. and J. P. Aubert. 1994. The biological degradation of cellulose. *FEMS Microbiol. Rev.* **13**: 25-58.
4. Brown, M. E., S. K. Burlingham, and R. M. Jackson. 1962. Studies on *Azotobacter* species in soil. I. Comparison of media and techniques for counting *Azotobacter* in soil. *Plant Soil* **17**: 309-319.
5. Cao, L. X., Z. Q. Qiu, J. L. You, H. M. Tan, and S. Zhou. 2004. Isolation and characterization of endophytic *Streptomyces* antagonists of *Fusarium* wilt pathogen from surface sterilized banana roots. *FEMS Microbiol.* **247**: 147-152.
6. Cheng, H. H. 1990. Pesticides in the soil environment; processes, impacts and medeling. *Soil Science Society of America*. pp. 429-466.
7. Choi, E. H., S. E. Lee, K. S. Yoon, D. K. Kwon, J. K. Sohn, S. H. Park, M. S. Han, and S. Y. Ghim. 2003. Isolation of nitrogen-fixing bacteria from gramineous crops and measurement of nitrogenase activity. *Korean J. Microbiol. Biotechnol.* **31**: 18-24.
8. Choi, J. K., and S. D. Kim. 1998. Improvement in antagonistic ability of antagonistic bacterium *Bacillus* sp. SH14 by transfer of the urease gene. *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* **26**: 122-129.
9. Gamble, T. N., M. R. Betlach, and J. M. Tiedje. 1977. Numerically dominant denitrifying bacteria from world soils. *Appl. Environ. Microbiol.* **33**: 926-939.
10. John, W. D. and Michael R. Z. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Appl. Soil Ecology* **15**: 3-11.
11. Jung, H. K., J. R. Kim, S. M. Woo, and S. D. Kim. 2006a. An auxin producing plant growth promoting rhizobacterium *Bacillus subtilis* AH18 which has siderophore-producing biocontrol activity. *Korean J. Microbiol. Biotechnol.* **34**: 94-100.
12. Jung, H. K., J. R. Kim, S. M. Woo, and S. D. Kim. 2006b. Selection of the auxin, siderophore, and cellulase-producing PGPR, *Bacillus licheniformis* K11 and its plant growth promoting mechanism. *J. Kor. Soc. Appl. Biol. Chem.* **50**: 23-28.
13. Jung, H. Y., J. H. Lim, B. K. Kim, J. J. Lee, and S. D. Kim. 2010. Selection and mechanisms of indigenous antagonistic microorganisms against sheath rot and dry rot disease of garlic. *Korean J. Microbiol. Biotechnol.* **38**: 295-301.
14. Katsuji, W. and K. Nobuhisa. 2009, Use of a microchip electrophoresis system for estimation of bacteria phylogeny and analysis of NO₃⁻ reducing bacterial flora in field soils. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **73**: 479-488.
15. Kim, S. H., K. S. Bae, J. K. Yang, Y. J. Lee, J. S. Oh, S. J. Jung, B. J. Moon, and J. W. Lee. 2004. Effect of microbial product made of *Bacillus stearothermophilus* DL-3 on microorganisms in soil and growth of lettuce and chinese cabbage. *J. Life Science* **14**: 778-787.
16. Kwon, Y. T. 2008. Capsicum annum manual. Yeongyang-gun Agriculture Extension center
17. Lee, E. T. and S. D. Kim. 1999. Selection and antifungal activity of antagonistic bacterium *Pseudomonas* sp. 2112 against red-pepper rotting *Phytophthora capsici*. *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* **28**: 334-340.
18. Lee, H. Y. 2004. Optimization of environmental parameters for extracellular chitinase production by *Trichoderma hazianum* SJG-99721 in bioreactor. *Kor. J. Environ. Biol.* **22**: 167-170.
19. Lee, S. J., S. E. Lee, K. J. Seul, S. H. Park, and S. Y. Ghim. 2006. Plant growth-promoting capabilities of diazotrophs from wild Gramineous crops. *Korean J. Microbiol. Biotechnol.* **34**: 78-82.
20. Lee, S. H., W. S. Kim, K. Y. Kim, T. H. Kim, H. Whangbo, W. J. Jung, and S. J. Chung. 2003. Effect of chitin compost incorporated with chitinolytic bacteria and rice bran on chemical properties and microbial community in pear orchard soil. *J. Kor. Soc. Hort.* **44**: 201-206.
21. Lee, Y. H., H. T. Jeong, H. D. Yun. 2008. Effects of *Rhodobacter* sp. SA16 on lettuce (*Lactuca sativa* L.) in plastic film house. *Kor. J. Environ. Agric.* **27**: 163-170.
22. Lee, Y. H. and S. T. Lee. 2011. Comparison of microbial community of orchard soils in gyeongnam province. *Kor. J. Soil. Sci. Fert.* **44**: 492-497.
23. Lim, J. H., J. G. Kim, and S. D. Kim. 2008. Selection of the auxin and ACC deaminase producing plant growth promoting rhizobacteria from the coastal sand dune plants. *Korean J. Microbiol. Biotechnol.* **36**: 268-275.
24. Lim, J. H. and S. D. Kim. 2010. Biocontrol of phytophthora blight of red pepper caused by *Phytophthora capsici* using *Bacillus subtilis* AH18 and *B. licheniformis* K11 formulation. *Kor. J. Soc. Appl. Biol. Chem.* **53**: 766-773.
25. Munnecke, D. M., L. M. John. H. W. Talbot, and S. Barik. 1982. Microbial metabolism and enzymology of selected pesticides, in A. M. Chakrabarty (ed.) Biodegradation and Detoxication of Environmental Pollutants, CRC press, Boca Raton, FL: 1-32.
26. Park, K. C., T. R. Kwon, K. S. Jang, and Y. S. Kim. 2008. Short-term effects of cultivars and compost on soil microbial activities and diversities in red pepper field. *Kor. J. Environ. Agric.* **27**: 139-144.
27. Park, K. C., J. H. Lim, Y. K. Yi, and S. D. Kim. 2009. Effects of phytophthora blight-antagonistic microorganisms *Bacillus subtilis* AH18 and *Bacillus licheniformis* K11 on the soil microbial community. *J. Appl. Biol. Chem.* **52**: 121-125.
28. Samuels, G. J. 1996. *Trichoderma*: a review of biology and systematic of the genus. *Mycol. Res.* **100**: 923-935.
29. Sharma, S. K., A. Ramesh, M. P. Sharma, O. P. Joshi, B.

- Govaerts, K. L. Steenwerth, and D. L. Karlen. 2011. Microbial community structure and diversity as indicators for evaluating soil quality. *Sustainable Agriculture Reviews*. **5**: 317-358.
30. Suh, J. S. and J. S. Shin. 1997. soil microbial diversity of paddy fields in Korea. *Kor. J. Soil. Fert.* **30**: 200-207.
31. 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. *Kor. J. Soil. Sci. Fert* **43**: 987-994.
32. Tate, R. L. 1995. Soil microbiology. Energy Transformations and Metabolic Activities of Soil Microbes. *John Wiley & Sons Inc.* p64-92. USA.
33. Teather, R. M., and P. J. Wood. 1982. Use of congo red-polysaccharide interactions in enumeration and characterization of cellulolytic bacteria from the bovine rumen. *Appl. Environ. Microbiol.* **43**: 777-780.
34. Vyas, P., P. Rahi, A. Chauhan, and A. Gulati. 2007. Phosphate solubilization potential and stress tolerance of *Eupenicillium parvum* from tea soil. *Microbiol. Res.* **167**: 931-938.
35. Woo, S. M. and S. D. Kim. 2007. Confirmation of non-siderophore antifungal substance and cellulase from *Bacillus licheniformis* K11 containing antagonistic ability and plant growth promoting activity. *J. Life Sci.* **17**: 983-988.
36. Yang, J. C., H. K. Jung, H. S. Lee, S. J. Choi, S. S. Yun, K. S. Ahn, and T. M. Sa. 2004. Selection of filamentous cyanobacteria and optimization of culture condition for recycling waste nutrient solution. *Kor. J. Soil. Sci. Fert.* **37**: 177-183.