Korean Journal of Environmental Agriculture

Korean J Environ Agric (2012)
Vol. 31, No. 4, pp. 368-374 http://dx.doi.org/10.5338/KJEA.2012.31.4.368

Online ISSN: 2233-4173
Print ISSN: 1225-3537

Research Article

Open Access

미생물혼합제제 처리가 토양의 미생물상과 화학적 특성 및 시설 채소 생육에 미치는 영향

류일환, 정수지, 한성수*

원광대학교 생명자원과학대학

Effect of Microorganism Mixture Application on the Microflora and the Chemical Properties of Soil and the Growth of Vegetables in Greenhouse

Il-Hwan Ryu, Su-Ji Jeong and Seong-Soo Han* (College of Life Science and Natural Resources, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea)

Received: 29 August 2012 / Revised: 11 September 2012 / Accepted: 26 October 2012

ⓒ 2012 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract

BACKGROUND: The urgency of feeding the world's growing population while combating soil pollution, salinization and desertification requires suitable biotechnology not only to improve crop productivity but also to improve soil health through interactions of soil nutrient and soil microorganism. Interest in the utilization of microbial fertilizer has increased. A principle of nature farming is to produce abundant and healthy crops without using chemical fertilizer and pesticides, and without interrupting the natural ecosystem. Beneficial microorganisms may provide supplemental nutrients in the soil, promote crop growth, and enhance plant resistance against pathogenic microorganisms. We mixed beneficial microorganisms such as *Bacillus* sp. Han-5 with anti-fungal activities, *Trichoderma harziaum, Trichoderma longibrachiatum* with organic material degrading activity, *Actinomycetes bovis* with antibiotic production and *Pseudomonas* sp. with nitrogen fixation. This study was carried out to investigate the mixtures on the soil microflora and soil chemical properties and the effect on the growth of lettuce and cucumber under greenhouse conditions.

METHODS AND RESULTS: The microbial mixtures were used with each of organic fertilizer, swine manure and organic+swine manure and compared in regard to changes in soil chemical properties, soil microflora properties and crop growth. At 50 days after the treatment of microorganism mixtures, the pH improved from 5.8 to 6.3, and the EC, NO_3-Na and K decreased by 52.4%, 60.5% and 29.3%, respectively. The available P_2O_5 and SiO_2 increased by 25.9% and 21.2%, respectively. Otherwise, the population density of fluorescent *Pseudomonas* sp. was accelerated and the growth of vegetables increased. Moreover, the population density of *E. coli* and *Fusarium* sp., decreased remarkably. The ratio of bacteria to fungi (B/F) and the ratio of Actinomycetes bovis to fungi (A/F) increased 2.3 (from 272.2 to 624.4) and 1.7 times (from 38.3 to 64), respectively. Furthermore, the growth and yield of cucumber and lettuce significantly increased by the treatment of microorganism mixtures.

CONCLUSION(S): These results suggest that the treatment of microorganism mixtures improved the chemical properties and the microflora of soil and the crop

*교신저자(Corresponding author),
Phone: +82-63-850-6678; Fax: +82-63-850-6678;
E-mail: seshan@wonkwang.ac.kr

growth. Therefore, it is concluded that the microorganism mixtures could be good alternative soil amendments to restore soil nutrients and soil microflora.

Key Words: Growth of vegetables, Soil chemical properties, Soil microflora, Treatment of microorganism mixtures

서 론

오늘날 농업은 화학비료와 농약의 과다사용으로 인한 토양의 산성화 및 염류집적 등으로 인한 작물의 생산 및 품질저하, 농가소득의 저하 현상이 두드러지게 나타나고 있다. 친환경유기농업을 하여 부가가치도 높이고 이러한 현상을 개선할 목적으로 농가에서는 목초액, 식물 발효액 및 한방 영양제 등 다양한 친환경유기농자재들을 이용하고 있으나, 자재의 용도와 기준 또는 효능이 명확하지 않은 등 많은 문제점을 갖고 있다. 따라서 많은 연구자들은 미생물에 의해 토양생태계의 변화를 가져와 농업 생산성을 지속시키고 환경보존형 친환경유기농업의 실현을 위한 연구결과들을 보고하였다(Ha *et al.*, 1979; Han, 1988; Glick *et al.*, 1995; Riddle and Ford, 1995; Nehl *et al.*, 1996; Kenedy *et al.*, 1997; Kwon *et al.*, 1998; Johnson *et al.*, 2005; Estiken *et al.*, 2006; Li and Kremer, 2006; Liste and Felgentreu, 2006; Ahn *et al.*, 2007; Aslantas *et al.*, 2007; Fiderico *et al.*, 2007; Meers *et al.*, 2007; Shaharoona *et al.*, 2007). 과다한 화학비료와 농약의 사용, 시설작물의 연작으로 인해 토양의 산성화 및 염류침착으로 인해 *Fusarium* sp.와 같은 토양 병원균의 과도한 증식으로 다양한 식물 병발생의 원인이 될 수 있다(Fiderico *et al.*, 2007). 토양 중에는 세균・방선균・사상균・조류・원생동물 등 표토 토양 1 g당 세균수가 수십억, 사상균의 균사의 길이가 수백 m, 미생물의 생체 무게가 토양 유기물 양의 수 %에 이르는 경우가 있다. 세균은 유기영양세균(종속영양세균)과 무기영양세균(독립영양세균)으로 구분되며 식물유체 등 유기물의 분해에 관여할 뿐만 아니라, 질소고정 및 탈질작용 및 질산 생성작용, 황・철・망간 등 무기원소의 산화에 관여하는 토양의 물질순환의 중요한 담당자이다. 또한, 방선균은 다양한 유기물을 기질로 하여 자라며, 사상균은 세균에 비하여 일반적으로 내산성이 강하여 특히 산성토양에서 유기물 분해에 중요한 작용을 하고 있다. 이러한 근권미생물(rizobacteria)은 질소의 형태변화에도 관여하여 토양의 비옥도와 비료의 효과에 영향을 끼치고, 유기물을 분해하여 암모니아의 생성과 질산으로의 변화, 질산의 탈질, 공중질소를 고정시키며, 항생물질을 생산하여 식물을 보호하는 등 다양한 작용을 한다(Glick *et al.*, 1995; Nehl *et al.*, 1996; Kenedy *et al.*, 1997; Johnson *et al.*, 2005). 식물생장촉진 근권미생물(plant growth promoting rhizobacteria)은 식물의 뿌리에 서식하며 식물의 생장을 촉진하는 미생물로 최근 토양표면의 오염물질 제거(Cunningham and Berti, 1993; Shimp *et al.*, 1993; Schnoor, 1997; Macek and Kas, 2000), 식물역병의 방제(Thomas *et al.*, 1997; Kim and Cho, 2006), 및 식물생장촉진(Li and Kremer, 2006; Liste and Felgentreu, 2006) 등 다양한 방면에서 근권미생물을 이용하려는 연구가 활발하게 수행되고 있다. 그러나 여러 미생물을 혼합미생물혼합제제로 사용하여 토양의 화학적 특성과 미생물상의 변화 및 작물의 생육에 끼치는 영향에 관한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 토양으로부터 분리하여 보관중인 *Bacillus* sp. Han-5,T*richoderma* sp. 2종, *Actinomycetes bovis* (ATCC 13683), *Pseudomonas* sp. 등 5종의 미생물을 혼합하여 수행하였다. *Bacillus* sp. Han-5는 *olletotrichum gloesporioides, Phytophthora capsici, Sclerotinia sclerotioum, Fusarium oxysporum, Fusarium oxysporum, Scleromitrula shiraiana*등 식물병원진균에 대하여 생육저해활성을 갖고있으며, *Trichoderma*속의 곰팡이와 *Actinomycetes bovis* (ATCC 13683)는 *Fusarium solani*의 생육을 조절하고 곰팡이 세포벽 및 식물세포벽을 구성하는 섬유질 분해효소 생산능이 우수하였으며, *Pseudomonas* sp. 는 대표적 광합성 세균으로 식물의 생육에 적합한 양양분을 공급하는 특성을 갖고있다. 각각의 특성을 갖고있는 미생물혼합제제가 토양의 화학적 특성 및 미생물상의 변화와 시설채소의 생육에 끼치는 영향을 조사하였고, 이를 토대로 미생물혼합제제의 친환경유기농자재로써의 사용가능성을 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

미생물혼합제제 및 유기질비료

본 실험에 사용된 균주는 본 연구자들에 의해 토양에서 분리한 *Bacillus* sp. Han-5, T*richoderma harziaum, Trichoderma longibrachiatum, Actinomycetes bovis* (ATCC 13683) 및 *Pseudomonas* sp.를 사용하였다. 최적 조건의 확립을 위하여 선택 배양배지를 사용하였다. 선택 배양배지로는 *Bacillus* sp. Han-5은 nutrient broth, T*richoderma harziaum, Trichoderma longibrachiatum* 등 곰팡이는 potato dextrose broth, *Actinomycetes bovis* 및 *Pseudomonas* sp. 는 MacConkey broth에서 각각 배양 후 세균, 곰팡이, 방선균의 혼합비율을 1:1:1로 혼합하여 최종농도가 1.5×10^9 CFU/mL가 되게 조제하였다. 본 실험에 사용한 유기질비료(입상혼합유기질비료, 한국유기농자재센터)와 돈분퇴비질비료(부산물비료, 당진유기질톱밥비료)는 전북 익산시 소재 판매상에서 구입하였으며, 그의 성분분석결과는 **Table 1**과 같다.

미생물혼합제제 처리가 토양의 화학적 특성에 미치는 영향

미생물혼합제제, 유기질비료, 돈분퇴비질비료, 유기질비료+돈분퇴비질비료(1:1)를 원광대학교 생명자원과학대학 원예학 전공의 실습포장하우스에 도포하고 30일과 50일후에 10 cm 내 표토를 분석시료로 준비하였다. 채취된 토양의 분석은 토양분석법(농촌진흥청,2000)에 준하여 분석하였다. pH와 전기전도도(EC)는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 추출하여 각각 pH와 전기전도도 meter로 측정하였고, 유기물 함량은

Table 1. Componemt of organic fertilizer and swine manure used

Type of manure	Organic matter	N	C/N ratio	As	Cd	Hg	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn
	(g/kg)			(mg/kg)							
Organic fertilizer	463.5	27.6	16.8	ND*	0.001	ND	0.001	0.003	0.167	0.001	0.015
Swine manure	432.0	12.0	16.7	ND	0.42	ND	16.7	14.5	30.3	18.1	108.2

ND*: Not detected.

Tyurin법, 총 질소는 Kjeldahl 증류법으로 분석하였으며, 양이온 치환용량은 1M NH4OAc로 감압추출하여 킬달증류장치로 측정하였다. 그리고 토양분산율(Soil dispersion percentage)은 4mm와 2mm체 사이에 있는 토양 50g을 분산제와 증류수로 토양을 분산시켜 hydrometer로 측정한 후 증류수값에 대한 분산제값의 비율에 100을 곱하여 계산하였다(NIAST, 2000), 치환성 양이온은 1N-NH_4OAc 용액(pH 7.0)으로 침출된 것을 ICP-OES(XMP, GBC)로 정량하였으며, 토양의 유효 인산은 Bray No. 1법으로 추출 후 바나도몰리브덴산을 이용한 비색법으로 측정하였다(Bray and Kurtz, 1945).

미생물혼합제제 처리가 토양 미생물상에 미치는 영향

미생물혼합제제, 유기질비료, 돈분퇴비질비료, 유기질비료+돈분퇴비질비료(1:1)를 원광대학교 생명자원과학대학 원예학 전공의 실습포장 하우스에 사용 후 50일에 10 cm내 표토 중 미생물의 총 균수는 생균수 측정법(Riddle and Ford, 1995)에 의하여 CFU/g of soil로 나타내었다. 세균수의 측정은 토양화학분석법(Han, 1988)에 준하여 희석평판법으로 각각 선택배지를 사용하여 측정하였다. Bacillus sp.은 TSA(tryptical soy agar), 방선균은 AIA(actinomycetes isolation agar)를 사용하였으며, fungi는 PDA(potato dextrose agar)를 사용하였다. *Fusarium* sp.는 Komada's medium을 사용하여 출현한 colony의 형태적 특성을 이용하여 계수하였다. 광합성 *Pseudomonas* sp. 세균은 P1 배지에서 출현한 colony에 UV light(254-365 nm)하에서 형광을 발하는 colony를 CFU/g of soil로 나타내었다. 또한 E. coli는 HiCrome™ M-TEC Agar 배지를 사용하여 출현한 청색의 colony를 CFU/g of soil로 나타내었다.

미생물혼합제제 처리가 오이 및 상추의 생육에 미치는 영향

생육 포장 시험은 원광대학교 생명자원과학대학 원예학 전공 온실 내 시험포장 및 익산시 신용동 674번지 농가 하우스 포장을 임대하여 시행하였다. 상추는 적상추(*Lactuca sativa* L,흥농종묘)를 플라스틱 트레이 200구용에 싱싱상토(흥농바이오)를 넣고 종자 1개씩을 파종하였다. 발아 3일 후 하우스 밖으로 꺼내어 15일간 육묘하였다. 시험포장은 경운하기 전 표토전면에 토양살충제 스퍽(필라케미칼)과 코니도(바이엘) 입제를 살포한 후 경운하였으며, 실험포장의 이랑은 폭 90 cm, 높이 15 cm, 골 40 cm로 하였으며, 시험구 면적은 6.6 ㎡로 시험구당 30주를 주당 옆 25 cm, 앞・뒤 25 cm 간격으로 정식하였다.

오이는 청락엽 장과형 오이종자(*Cucumis sativus.* L, 흥농종묘)를 플라스틱 상자(30 cm x 40 cm x 10 cm)에 산파한 후 10일 후에 발아된 묘를 육묘용 포트에 싱싱 상토(흥농바이오)를 넣은 후 이식하였다. 시험포장은 경운하기 전 표토전면에 토양살충제 스퍽(필라케미칼)과 코니도(바이엘) 입제 그리고 입상석회 2,000 kg/ha을 살포한 후 경운하고 정지작업하였다. 시험구 이랑은 폭 90 cm, 길이 8 m, 높이 15 cm로 하였고, 시험구 면적은 7.2 m^2로, 구당 32주를 주당 열 간격 50 cm, 폭 60 cm로 2줄 일자형으로 만들어 이식 후 14일된 묘를 정식하였다.

시험구는 미생물혼합제제 처리구, 유기질비료 처리구, 돈분퇴비질비료 처리구 및 유기질비료+돈분퇴비질비료 처리구 등 4개 처리구로 설정하였다. 각 처리구에 정식 3일 전 미생물혼합제제는 1,500 kg/ha, 유기질비료는 4,500 kg/ha, 돈분퇴비질비료는 6,000 kg/ha를 그리고 유기질비료+돈분퇴비질비료는 2,250 kg/ha＋3,000 kg/ha를 각각 처리하고 경운 로타리작업 후 정식하였다. 시험구 배치는 난괴법 3반복으로 실시하였으며, 그 밖의 재배관리는 관행에 준하였다.

상추의 생육조사는 정식 후 20일, 27일 및 34일에 엽수, 엽장, 엽폭 및 생체중을 조사하였다. 오이의 생육조사는 정식 후 10일, 20일에 근경부 두께, 초장, 마디수 등을 조사하였고, 정식 후 20일에 과경 및 과장이 각각 30 cm 및 25 cm 이상인 것을 수확하여 과중, 과장, 과경, 수량을 조사하였다.

결과 및 고찰

미생물혼합제제 처리가 토양의 화학적 특성에 미치는 영향

미생물혼합제제, 유기질비료, 돈분퇴비질비료, 유기질비료+돈분퇴비질비료 의 처리 전과 후에 조사한 토양의 pH, 유기물함량, 양이온치환용량, 치환성염기 및 EC를 Table 2에 나타내었다. 시험 전 토양의 pH는 5.4이었고, 양이온치환용량(CEC)은 14.1 cm/kg수준이었으며, 치환성염기인 K, Ca, Mg 함량은 각각 0.92, 5.8, 1.9 cmol/kg이었고, Na함량은 0.34 cmol/kg이었다. 또 유효인산의 함량은 27 mg/kg으로 비교적 높게 집적된 경향을 보였으며, 염류농도 EC도 4.2ds/m으로 비교적 높은 염집적성 특성을 나타내었다. 미생물혼합제제, 유기질비료, 돈분퇴비질비료, 유기질비료+돈분

Table 2. Chemical properties of soil before and after application of microbial agents

Application		pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	NO_3-Na	P_2O_5	SiO_2	K	Ca	Mg	Na	CEC
					mg/kg			$cmol^+/kg$				
Before		5.4	4.2	37.2	456	27	137	0.92	5.8	1.9	0.34	14.1
After 30 days	1*	5.8	2.7	30.2	270	29	127	0.72	5.2	1.9	0.33	13.6
	2	5.6	3.4	31.0	564	24	150	0.86	6.2	3.0	0.44	14.0
	3	5.6	4.0	34.5	472	24	147	0.84	5.6	2.7	0.43	13.0
	4	5.8	2.4	31.7	339	22	148	0.78	6.0	2.3	0.37	13.1
After 50 days	1	6.3	2.0	28.1	180	34	166	0.65	5.0	1.8	0.27	13.0
	2	5.4	2.5	34.8	532	23	145	0.88	5.4	2.7	0.29	13.2
	3	5.3	3.8	37.9	430	20	148	0.85	5.2	2.3	0.39	13.1
	4	6.0	2.0	30.6	303	22	145	0.75	5.3	2.0	0.31	14.3

*1, Microorganisms; 2, Organic fertilizer; 3, Swine manure; 4, Organic fertilizer + Swine manure .

퇴비질비료 처리 후 토양화학성의 누적된 변화를 시설채소재배 개시 50일 후 조사한 결과, 미생물혼합제제 처리군에서 가장 우수한 개선 효과를 나타내었다. pH의 변화는 미생물혼합제제 처리에서 pH 6.3으로 유기질비료, 돈분퇴비질비료, 유기질비료+돈분퇴비질비료 처리의 각각 5.4, 5.3, 6.0에 비해 개선폭이 큰 결과를 보였다. pH의 증가는 토양 화학성이 증가되었음을 단적으로 나타내는 것이며, 토양 미생물 군락의 변화를 유발함을 알 수 있었다. EC의 변화는 미생물혼합제제 처리에서 2.0으로 52.4% 감소하여 유기질비료, 돈분퇴비질비료 처리의 각각 2.5, 3.8 보다 큰 감소를 나타내었으나, 여전히 염류집적의 경향이 큰 것으로 나타났다. 또한 토양의 비옥도를 나타내는 유효인산 및 SiO_2는 미생물혼합제제 처리에서 처리 전에 비해 50일 후 34 mg/kg, 166 mg/kg,으로 각각 약 25.9% 및 21.2% 집적되는 경향을 나타내었으나, 나머지 시험구에서는 유효인산의 경우 오히려 감소하는 경향을 보였으며, SiO_2의 경우 큰 변화를 보이지 않았다. 이는 토양 중 유기물 분해에 작용하는 유용미생물상의 형태에 의한 것으로 판단된다. 양이온치환용량의 변화를 처리구별로 보면, 미생물혼합제제 처리에서 14.1에서 16.0으로 10% 증가한 반면 다른 처리구에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 Mg 변화폭이 미생물혼합제제 처리에서 각각 2.8 cmol/kg로 50% 증가한 반면, K, Ca, Na의 변화는 각각 0.65, 5.0 및 0.27 cmol/kg로 29%, 14% 및 21% 감소하였다.

이상의 결과에서 미생물혼합제제 처리시 작물의 생육에 필요한 토양의 비옥도 개선에 유의적인 결과를 보였다. 이는 유기농법으로 작물을 재배하기 위한 토양의 비옥도의 유지와 증진은 미생물 발효퇴비를 사용하여 지력을 증진시켜야 한다는 codex 기준안에 부합되는 결과이다(Riddle and Ford, 1995).

미생물혼합제제 처리가 토양의 미생물상에 미치는 영향

미생물혼합제제의 처리 전과 처리 50일 후 토양 미생물상을 조사한 결과를 **Table 3**에 나타내었다. 병원균에 대한 저항성을 갖고 있으며 작물의 생육을 촉진하는 것으로 알려진 형광성 *Pseudomonas* sp. 미생물은 미생물혼합제제 처리에서 1.9×10^4에서 6.6×10^4으로 347% 증가하였으나, 유기질비료, 돈분퇴비질비료, 유기질비료+돈분퇴비질비료 처리에서는 각각 15%, 0% 및 52% 증가에 그쳐 그 증가 폭이 미생물혼합제제 처리에 비하여 매우 낮았으며, *E. coli* 및 *Fusarium* 속은 미생물혼합제제 처리에서 각각 2.7×10^3 및 3.0×10^2로 96.3% 및 50%의 낮은 감소폭을 나타내었다. 또한, *Bacillus*속은 6.5×10^5에서 8.6×10^6으로 1,323% 증가하였다. 이 결과는 작물의 생육이 우수한 토양에서 형광성 *Pseudomonas* sp. 미생물의 밀도가 크고 *Fusarium* sp.과 같은 사상균의 밀도가 감소한다는 Kwon 등(1998)의 보고를 근거로 토양의 개선효과가 있는 것으로 판단된다. 또한 세균/곰팡이(B/F) 및 방선균/곰팡이(A/F)의 비율이 272와 38에서 623과 64로 각각 2.29및 1.67배 상승되어 현저한 개선 효과를 나타내었다. 이 결과는 토양의 염농도가 증가하면 유용세균의 활성 저하를 초래하고 상대적으로 사상균의 활성 증가로 작물생산에 부적합한 환경을 만든다는 Ha 등(1979)의 보고와 유사한 결과를 보였으며, 또한 중성 pH 영역에서 세균 및 방선균의 활성이 증가하고 사상균의 활성이 낮아진다는 Kwon 등(1998)의 보고와 일치하는 결과를 보였다. 특히, 형광성 *Pseudomonas* sp.은 작물생육을 촉진하는 효과 및 염류집적성 토양 환경에 민감히 반응하여 균 밀도가 급격히 감소하므로 시설재배지와 같이 집약농업이 실시되고 있는 토양의 단기간 변동상 추적에 적합한 지표 미생물로의 이용 가능성이 제시되고 있다(Estiken *et al.*, 2006: Aslantas *et al.*, 2007; Shaharoona *et al.*, 2007). 이상의 결과로 부터 미생물혼합제제의 처리는 토양의 이화학적 특성을 개선시키고 이로 인해 미생물 군락의 변화를 유발하고 점진적으로 토양의 개선에 유익 순환 사이클을 형성하는 것으로 판단된다.

Table 3. Change of microflora in soil before and after application of microbial agents

Application		*Bacillus* sp. ($\times10^6$ CFU/g)	*Pseudomonas* sp. ($\times10^4$ CFU/g)	*E. coli* ($\times10^3$ CFU/g)	*Fusarium* sp. ($\times10^2$ CFU/g)	A/F*	B/F**
Before		0.65	1.9	7.9	6	38	272
After 50 days	1***	8.6	.66	2.7	3	64	623
	2	7.2	2.2	6.3	5	41	290
	3	6.5	1.9	7.0	6	40	284
	4	6.9	2.9	6.6	5	45	320

* Ratio of actinomycetes/fungi; **Ratio of bacteria/fungi; ***1, Microorganisms; 2, Organic fertilizer; 3, Swine manure 4, Organic fertilizer + swine manure.

미생물혼합제제 처리가 상추 및 오이의 생육에 미치는 영향

미생물혼합제제와 유기물비료, 돈분퇴비질비료, 유기물비료+돈분퇴비질비료 시용이 상추의 생육 및 수량에 미치는 영향을 조사한 결과는 **Fig. 1**에 나타내었다. 정식 20일째 첫 수확한 수량을 조사한 결과로는 미생물혼합제제의 처리구가 엽폭, 엽장, 엽수 및 생체중 등 전 항목에서 미생물혼합제제 처리가 다른 처리구에 비해 가장 우수한 생육을 보였다. 상추의 수량을 좌우하는 엽장과 엽폭을 조사하여 상품성을 예측한 결과 또한 미생물혼합제제의 처리구가 가장 좋은 결과를 나타내었다. 이 결과는 재배 지역을 달리한 경우에도 동일한 결과를 얻었다. 따라서 미생물혼합제제의 사용이 상추의 생육 및 수량에 미치는 영향의 결과를 보았을 때 다른 처리구보다 미생물혼합제제의 처리구가 전체적으로 우수하게 나타났고 유기질비료 처리가 작물 생육에 가장 저조한 결과를 나타냈다.

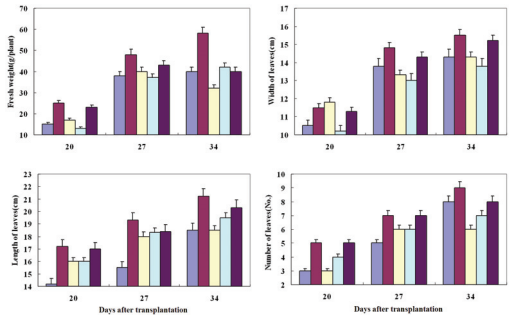

Fig. 1. Effect of application of microbial agents on growth of lettuce. : non-treatment, : mixed microorganism, : organic fertilizer, : swine manure, : organic fertilizer+swine manure.

미생물혼합제제의 사용이 생육 시기별 오이의 생육 상태를 조사한 결과는 **Fig. 2**와 같다. 초장은 정식 10일째 까지는 처리구간 큰 차이를 나타내지 않았으나, 미생물혼합제제 처리와 돈분퇴비질비료 처리에서 다소 우수한 생육상태를 보였으며, 유기질비료+돈분퇴비질비료 처리가 약간 생육이 떨어지는 결과를 보였다. 정식 20일째 생육 상태의 조사 결과로는 시험구별 차이가 다소 나타나는 것을 볼 수 있었다. 초장의 길이와 마디수를 조사해 보니 후기생육은 유기질비료+돈분퇴비질비료 처리가 수고와 마디수가 양호하게 나타났으며, 그 외의 다른 처리구는 생육상태가 비슷하게 조사되었고 무처리구가 비료 부족 현상이 나타나는 생육상태를 보였다. 생육 상태를 볼 수 있는 근경, 줄기, 두께를 조사한 결과로는 미생물혼합제제 처리와 유기질비료+돈분퇴비질비료 처리가 매우 양호했으며 유기질비료 및 돈분퇴비질비료 처리에서는 보편적인 생육상태를 보인 것으로 조사되었다.

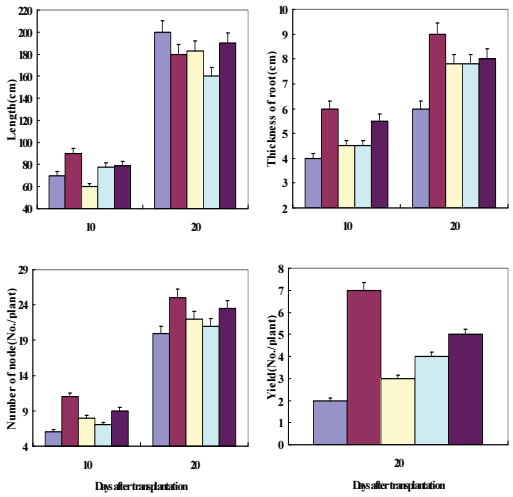

Fig. 2. Effect of application of microbial agents on early growth and yield of cucumber. : non-treatment, : mixed microorganism, : organic fertilizer, : swine manure, : organic fertilizer+swine manure.

수확 마디 및 초기 수확량이 가장 우수한 미생물혼합제제 처리에 대하여 생육시기별 오이의 수량에 미치는 영향을 조사한 결과는 **Fig. 3**과 같다. 수확량 조사는 정식 후 20일이 지난 후에 수확하여 조사하였다. 과일의 형태별 조사인 과장과 과중은 시험구별 크게 차이는 나타나지 않아 실험 결과에서 배제하였다. 이 결과는 미생물을 첨가한 토양에서 식물의 생육이 증가하였다는 많은 연구자들의 보고와 일치하였다. Meers 등(2007)은 토양에 *Bacillus subtilis* BEB-13b를 첨가후 토마토 재배시 뿌리의 건조 중량 및 길이가 18-26% 증

가하였다고 보고하였으며, Aslantas 등(2007)은 *Bacillus* sp. 및 *Pseudomonas* sp. 첨가 토양에 사과 재배시 과일의 수확율이 각각 116%와 137% 증가하였다고 보고하였다. 또한, Shaharoona 등(2007), Ahn 등(2007), Kloepper 등(2007)에 *Bacillus* sp. 및 *Pseudomonas* sp.의 첨가시 식물 생장이 촉진되었다는 보고와 일치하였다. 이는 혼합 미생물의 첨가가 토양의 화학적 특성의 개선은 물론 직접적으로 재배작물의 성장을 촉진하는 것으로 판단된다.

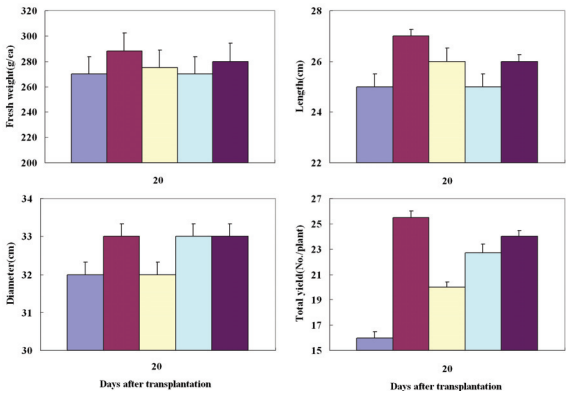

Fig. 3. Effect of application of microbial agents on yield and its component of cucumber. : non-treatment, : mixed microorganism, : organic fertilizer, : swine manure, : organic fertilizer+swine manure.

결 론

미생물혼합제제, 유기질비료, 돈분퇴비질비료, 유기질 비료+돈분퇴비질비료를 사용 후 토양 미생물상과 토양의 화학적 특성의 변화를 조사하고 상치 및 오이의 생육에 미치는 영향을 검토한 결과, 처리 전 토양은 pH는 5.4, 양이온 치환용량 CEC는 14.1 cm/kg, Ca, K, Mg 함량은 각각 0.92, 5.8, 1.9 cmol/kg이며, 유효인산 함량과 EC는 높은 염집적성 특성을 나타내었다. 미생물혼합제제, 유기질비료, 돈분퇴비질비료 및 유기질비료+돈분퇴비질비료 처리 후의 pH의 변화는 미생물혼합제제 처리에서 pH 6.3으로 유기질비료, 돈분퇴비질비료, 유기질비료+돈분퇴비질비료 처리의 각각 pH 5.4, 5.3, 6.0에 비해 개선 폭이 큰 결과를 보였다. EC의 변화는 미생물혼합제제 처리에서 2.0으로 52.3% 감소하였으나 여전히 염류 집적의 경향이 큰 경향을 나타내었다. 유기인산 및 SiO_2는 미생물혼합제제 처리에서 50일후 34 mg/kg및 166 mg/kg으로 약 25.9% 및 21.2% 집적되는 경향을 나타내었다. 양이온 치환용량의 변화는 미생물혼합제제 처리에서 14.1에서 16.0으로 10% 증가하였다. Mg는 미생물혼합제제 처리에서 2.8 cmol/kg로 50% 증가한 반면 K, Ca, Na의 변화는 각각 0.65, 5.0 및 0.27 cmol/kg로 29%, 14% 및 21% 감소하였다. 또한, 토양 미생물상의 변화를 조사한 결과, *Bacillus* 속은 6.5×10^5 CFU/g에서 8.6×10^6 CFU/g으로 1,323% 증가하였으며, 형광성 *Pseudomonase* 속의 미생물은 미생물혼합제제 처리에서 1.9×10^4 CFU/g에서 6.6×10^4 CFU/g으로 347% 증가하였으나, *E. coli* 및 *Fusarium*속은 미생물혼합제제 처리에서 2.7×10^4 CFU/g및 3×10^3 CFU/g로 96.3% 및 50%의 감소폭을 나타내었다. 세균/곰팡이(B/F) 및 방선균/곰팡이(A/F)의 비율이 272.2와 38.3에서 623.3과 64로 각각 2.29와 1.67배 상승되어 현저한 개선 효과를 나타내었다. 미생물혼합제제 시용이 생육 시기별 상추와 오이의 생육 및 수량에 미치는 영향을 조사한 결과, 정식 20일째에는 미생물혼합제제의 처리구가 엽폭, 엽장, 엽수 및 생체중 등 전 조사항목에서 유기질비료나 돈분퇴비질비료 처리구에 비해 우수한 생육을 보였다. 상추의 수량을 좌우하는 엽장과 엽폭을 조사하여 상품성을 예측한 결과 또한 미생물혼합제제의 처리구가 가장 좋은 결과를 나타내었다. 이 결과는 재배 지역을 달리한 경우에도 동일한 결과를 얻었다(자료 미 제시). 이상과 같이 미생물혼합제제의 사용이 상추와 오이의 생육 및 수량에 미치는 영향의 결과를 보았을 때 다른 처리구보다 미생물혼합제제의 처리구가 전체적으로 우수하게 나타났고, 유기질비료+돈분퇴비질비료 처리구가 작물 생육에 가장 저조한 결과를 나타냈다. 이상의 결과를 토대로 미생물혼합제제는 토양의 개선 및 작물의 생육증진에 비교적 적합한 제제로 확인되었다.

감사의 글

This study was supported by research grants from Wonkwang University of Iksan in 2012.

참고문헌

Ahn, T.S., Ka, J.O., Lee, G.H., Song, H.G., 2007. Revegetation of a lakeside barren area by the application of plant growth-promoting rhizobacteria, *J. Microbiol.* 45, 171-174.

Aslantas, R., Ramazan, C. and Sahin, F., 2007. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on young apple tree growth and fruit yield under orchard condition, *Sci. Horticamsterdam* 111, 371-377.

Bray, R.H. and Kurtz, L.T., 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil, Soil Sci. 59, 39-45.

Cunningham, S.D. and Berti, W.R. 1993. Remediation of contaminated soils with green plants: an overview, *InVitro Cell Dev. Biol.* 29, 207-220.

Estiken, A. Pirlak, L., Turan, M., Sahin, F., 2006. Effects of floral and foliar application of plant growth promoting rhizobacteria(PGPR) on yield, growth and nutrition of sweet cherry, *Sci. Horticamsterdam* 110, 324-327.

Federico, G.R., Maria, M.R., Marcela, F., Sofia, N.C., Adriana, M.T., 2007. Biological control by *Trichoderma* species of *Fusarium solani* causing peanut brown root

rot under field conditions, *Crop Protect,* 26, 549-555.

Glick, B.R., Karaturovic, D.M., Newell, P.C., 1995. A novel procedure for rapid isolation of plant growth promoting *Pseudomonas, Can. J. Microbiol.* 41, 533-536.

Ha, H.S., Um, S.K., Kang, H., Park, J.C., 1979. Chemical properties of the soils under plastic film house in the southern forcing culture areas, *Horticul Environ. Biotechnol.* 20, 36-46.

Johnson, D.L., Anderson, D.R., McGrath, S. 2005. Soil microbial response during the phytoremediation of a PAH contaminated soil, *Soil Biol. Biochem.* 37, 1334-1336.

Kennedy, I.R., Pereg-Gerk, L.L., Wood, C., Deaker, R., Gilchrist, K., Katupitiya, S., 1997. Biological nitrogen fixation in non-leguminous field crop: facilitating the evolution of an effective association between *Azospirillium* and wheat, *Plant Soil* 194, 65-79.

Kim, J.Y., Cho, K.S., 2006. Bioremediation of oil-contaminated soil using rhizobacteria and plant, *Kor. J. Microbiol. Biotechnol.* 34, 185-195.

Kloepper, J.W., Gutierrwz-estrada, A., Melnroy, J.A., 2007. Photoperiod regulates elicitation of growth promotion but not induced resistance by plant growth-promoting rhizobacteria, *Can. J. Microbiol.* 53, 159-167.

Kwon, J.S., Suh, J.S., Weon, H.Y., Shin, J.S., 1998. Evalution of soil microflora in salt accumulated soils of plastic film house, *Korean J. Soil and Fertilizer,* 31, 204-210.

Li, J., Kremer, R.J. 2006. Growth response of weed and crop seeding to deleterious rhizobacteria, *Biol. Control,* 39, 58-65.

Liste, H., Felgentreu, D., 2006. Crop growth, culturable bacteria, and degradation of petrol dehydrocarbons (PHCs) in a long-term contaminated field soil, *Appl. Soil Ecol.* 31, 43-52.

Macek, T.M. and Kas, J. 2000. Exploitation of plants for the removal of organics in environmental remediation, *Biotechnol. Adv.* 18, 23-34.

Meers, E., Vandecasteele, B., Ryttens, A., Vangronsveld, J., Track, F.M.G., 2007. Potential of five willow species(*Salix* spp.) for phytoextraction of heavy metal, *Environ. Experim. Bota.* 60, 57-68.

NIAST. 1988. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.

Nehl, D.B., Allen, S.J., Brown, J.F., 1996. Deleterious rhizosphere bacteria, an intergrating perspective, *Appl. Soil Ecol.* 5, 1-20.

Riddle, J., Ford, J., 1995. *Organic Inspection Manual Independent Organic Inspectors Association*, p. 121, Minnesota, USA.

Schnoor, J. L. 1997. *Phytoremediation technology evaluation report, Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center*, pp.8-18, Iowa, U.S.A.

Shaharoona, B., Arshad, M., Khilid, A., 2007. Differential response of etiolated pea seedlings to inoculation with rhizobacteria capable of utilizing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate or L-methionine, *J. Microbiol.* 45, 15-20.

Shimp, J.F., Tracy, J.C., Davis, L.C., Lee, E., Huang, W., Erickson, L.E., Schnoor, J.L. 1993. Beneficial effect of plants in the remediation of soil and groundwater contaminated with organic meterials, *Environ. Sci. Technol.* 23, 41-77.

Thomas, F.C., Chin, A.W., Priester, W., Bij, A.J., Lugtenberg, J.J., 1997. Description of the colonization of a gnotobiotic tomato rhizosphere by *Pseudomonas* fluorescens biocontrol strain WCS365 using scanning electron microscopy, *Mol. Plant Microbe.* 10, 79-86.