ISSN 0367-6315 (Print) / ISSN 2288-2162 (Online)
Korean J. Soil Sci. Fert. 49(5), 621-626 (2016)
http://dx.doi.org/10.7745/KJSSF.2016.49.5.621

Article

Effect of *Bacillus subtilis* S37-2 on Microorganisms in Soil and Growth of Lettuce (*Lactuca sativa*)

Jae-Young Heo, Dae-Ho Kim, Yong-Jo Choi, Sang-Dae Lee, Su-Won Seuk, Jae-Kyeong Song[1], Jang-Sik Kwon[1], and Min-Keun Kim*

Gyeongnam Agricultural Research and Extension Services, Jinju 52733, Korea
[1]National Academy of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Korea

(Received: October 2 2016, Revised: October 27 2016, Accepted: October 28 2016)

The present study evaluated the variations in soil microbial population of controlled horticultural land used for lettuce (*Lactuca sativa*) cultivation by their fatty acid methyl ester and chemical properties. We utilized four treatment groups, no treatment (NT), culture medium (CM), *Bacillus subtilis* S37-2 (KACC 91281P) × 10^6 CFU mL^{-1} (BS1), and *Bacillus subtilis* S37-2 × 10^7 CFU mL^{-1} (BS2) and analyzed these variations throughout the before treatment and harvesting stage. The chemical properties such as pH, organic matter, available phosphate, and electrical conductivity in soils before treatment and harvesting stage showed no significant difference among the treatments. Total numbers of bacteria and microbial biomass C in soil treated with BS1 were larger than those of NT, CM, and BS2, whereas total number of fungi at the harvesting stage was significantly lower in the BS1 soil than in the NT and CM soils ($P < 0.05$). On basis of leaf length, leaf width, leaf number and leaf weight, the growth characteristics lettuce on the soil treated with BS1 and BS2 was faster than those of NT and CM soils. Yield of lettuce with treated BS1 and BS2 were 35% and 29% more than that of NT, respectively.

Key words: *B. subtilis* S37-2, Microorganism, Microbial biomass, Lettuce

Growth characteristics and yield of lettuce depending on *B. subtilis* S37-2 concentration.

Treatment[†]	Leaf length	Leaf width	Leaf number	Leaf weight	Root weight	Yield
	cm	cm	No. $plant^{-1}$	g $plant^{-1}$	g $plant^{-1}$	kg $10a^{-1}$
NT	15.7b[‡]	9.2ab	13.8ab	26.3ab	2.1a	2,111ab
CM	15.8b	9.0ab	14.9ab	26.8ab	2.2a	2,148ab
BS1	18.2a	10.1a	16.3a	35.8a	1.9a	2,868a
BS2	17.9ab	9.9ab	12.7b	34.0ab	2.0a	2,723ab

[†]NT, No treatment; CM, Culture medium; BS1, *B. subtilis* S37-2×10^6 CFU mL^{-1}; BS2, *B. subtilis* S37-2×10^7 CFU mL^{-1}.
[‡]Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

*Corresponding author: Phone: +82552541354, Fax: +82552541319, E-mail: goguma99@korea.kr
[§]Acknowledgement: This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ010825)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

최근 친환경 농업의 증가와 안전성에 대한 인식이 높아짐에 따라 농약과 비료를 대체할 수 있는 유용 미생물에 대한 관심이 높아지고 있다 (Kim et al., 2004). 유용 미생물의 농업적 활용으로는 농업 부산물의 부숙 촉진효과 (Darbyshire and Greaves, 1973) 및 생물학적 방제제로 살균 및 살충력을 이용한 생물 농약 (Kloepper et al., 1988; Schippers et al., 1987), 미생물이 분비하는 각종 영양 및 생리활성물질 활용 (Duff et al., 1963; Katznelson and Bose, 1959; Okon et al., 1988) 등으로 이용하고 있다. 친환경 농업 및 녹색성장에 따른 유용 미생물의 수요와 시장은 계속적으로 증가하고 있으며, 토양개량 및 유기농업에 이용할 수 있도록 만들어진 액상 미생물을 최근 농업, 환경 및 축산업 등에 적용한 결과 (Kim et al., 2012; Park et al., 2010), 그 효능이 입증됨에 따라 국내 유용미생물이 회사나 시·군 농업기술센터에서 제조하여 판매 및 보급되고 있다. 국내 유용 미생물의 시장 규모는 2005년 1,444억에서 2010년 7,714억원으로 시장이 급격하게 커졌으며, 유용 미생물에 대한 수요 증가로 전국에 미생물을 보급하는 시·군 농업기술센터가 2015년 130개 지역으로 증가하였다 (RDA, 2015). 토양 내에 존재하는 유용 미생물은 화학비료와 농약의 과다한 사용을 감소시키는 역할을 할 수 있다. 그러나 단일 미생물은 종류에 따라 기능적인 분류가 가능하지만, 현재 생산되어 나오는 유용 미생물들이 대부분 혼합 되어 있어 미생물 사용에 대한 효과를 명확하게 구분 할 수 없다. 그리고 무분별한 미생물제재 생산업체의 난립에 따른 검증되지 않은 제품의 생산과 표준화 된 유용미생물의 작물에 따른 처리 효과 검증 부족이 문제되고 있다 (Kim et al., 2002). 유용 미생물로 사상균, 방선균, 효모 및 세균 등이 이용되고 있으며, 세균으로는 *Bacillus*속이 많이 이용이 되고 있다 (Lynch, 1982). 농촌진흥청에서 개발된 *Bacillus subtilis* S37-2 (KACC 91281P) 균주는 식물생육 촉진 미생물로 작물에 대한 효과가 보고되었다 (Kwon et al., 2007). 그러나 농업 현장에서 개발된 미생물의 적정 처리농도와 작물 생육촉진 효과에 대한 보고는 없는 실정이다. 본 연구는 식물생육촉진 미생물 *B. subtilis* S37-2 (KACC 91281P) 단일 균주를 시설상추에 농도별로 처리하여 생육에 미치는 영향과 토양의 미생물상 변화를 구명하여 적정 처리농도를 평가하고 향후 표준화 된 매뉴얼을 개발하기 위하여 실시하였다.

Materials and Methods

시험균주 본 연구에 사용된 *B. subtilis* S37-2 (KACC 91281P) 균주는 농업미생물은행 (Korean Agricultural Culture Collection, KACC)에서 분양 받은 균주를 TSB (Tryptic Soy Broth, Difco Lab., USA) 액체배지 용액에 *B. subtilis* S37-2를 접종시켜 37°C에서 24시간 배양하였다. 처리에 사용한 *B. subtilis* S37-2 균주 현탁액은 TSB 배양액에서 $\times 10^8$ CFU mL^{-1} 이상 배양 후 5일 간격으로 처리 단계별로 희석하여 사용하였다 (Table 1).

재배방법 및 처리조건 *B. subtilis* S37-2 균주의 식물생육촉진 효과를 검토하기 위하여 경상남도농업기술원 내에 위치한 시설하우스에서 상추 (*Lactuca sativa*, 품종 : 적축면)를 대상으로 2015년 5월 26일 정식 후 7월까지 수행하였다. 시험구 배치는 완전임의배치법 (Completely randomized design)을 이용하였고 재식거리는 20 ㎝ × 20 ㎝로 실시하였다. 시험구는 2 m × 2 m의 면적에 균체가 없는 물만 처리한 무처리구, *B. subtilis* S37-2 균체가 없는 균주 배양액, *B. subtilis* S37-2 균주 현탁액 $\times 10^6$ CFU mL^{-1}, *B. subtilis* S37-2 균주 현탁액 $\times 10^7$ CFU mL^{-1} 등 4 처리구로 나누어 상추를 정식 후 5일 간격으로 3회 관주 처리하였다. 이때 처리량은 1 ton $10a^{-1}$ 기준으로 시험구 당 400 mL씩 처리하였다. *B. subtilis* S37-2 균주 현탁액의 상추에 대한 생육촉진 효과를 검정하기 위하여 수확한 상추를 세척한 후, 생체중량과 건조중량, 줄기에서부터 엽의 길이를 측정한 엽장, 엽 중에서 가장 넓은 부분을 측정한 엽폭 그리고 엽수를 조사하였다.

토양 화학성 조사 *B. subtilis* S37-2 균주 현탁액의 처리 전·후에 따른 시험포장 토양의 화학성 변화를 조사하기 위하여 정식 전 10일과 수확 후 당일 채취한 토양을 각각 실험실에서 7일간 풍건하여 2 mm 체에 통과한 것을 분석에 사용하였다. 토양 화학성분 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 의해 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 추출하여 초자전극법 (Orion 520A pH meter, Orion Research Inc., Boston, USA)으로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법을 사용하였다. 치환성 양이온인 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등은 1 M

Table 1. Application of concentration of *B. subtilis* S37-2 on growth of lettuce.

Application	Concentration of *B. subtilis* S37-2		
	$\times 10^6$ CFU mL^{-1}	$\times 10^7$ CFU mL^{-1}	$\times 10^8$ CFU mL^{-1}
First times	4.3	4.3	4.3
Second times	2.4	2.4	2.4
Third times	3.6	3.6	3.6

NH_4OAc로 추출하여 ICP (Optima 5300 DV, Perkin-Elmer, Norwalk, USA)로 분석하였다.

토양 미생물 조사 *B. subtilis* S37-2 균주 현탁액의 처리 전과 처리 후에 토양의 미생물상을 조사하기 위해 채취한 토양은 4°C에서 보관하며 분석하였다. 한천배지 평판 도말법으로 토양 내 미생물의 종류별 계수를 실시하였다 (Pump and Krist, 1988). 선택배지의 종류로는 일반 세균은 Tryptic Soy Agar (TSA), 방선균은 Actinomycetes Isolation Agar (AIA), 곰팡이는 Potato Dextrose Agar (PDA)에서 배양하여 형성된 콜로니수를 측정하였다. Biomass C 분석은 상추를 수확 후 처리구 별 토양을 채취하여 2 mm 채로 친 후 샘플통에 담아 4°C 냉장 보관하면서 분석에 이용하였다. 토양 미생물의 Biomass C 함량은 클로로포름 훈증 추출법 (Vance et al., 1987)을 이용하여 조사하였다.

토양 미생물 함량 분석 시험 처리구간에 미생물 군집 분석은 −80°C에 3일간 보관 후 동결 건조하여 분석에 사용하였다. 미생물 군집은 미생물에 있는 고유 세포벽 지방산을 분석하는 FAME 방법을 이용하였다 (Schutter and Dick, 2000). 이때 미생물의 정량은 internal standard 19:0을 이용하여 분석하였다. 분석에 사용한 기기는 GC Agilent 6890N (Agilent Technologies, USA)과 HP-ULTRA 2 capillary column (25 m × 0.2 ㎜ × 0.33 ㎛ film thickness, Agilent Technologies, USA)을 이용하였고, 칼럼 온도를 170°C부터 270°C가 될 때까지 분당 5°C씩 가온 후 270°C에서 2분간 유지하며 분석하였다. 분석된 미생물 세포벽 지방산은 MIDI software program package (MIDI, Inc., Newark, DE)을 이용하여 지방산에 대한 미생물 군집을 분석하였다 (Hamel et al., 2006).

통계처리 분석된 자료는 SAS 프로그램 (SAS version 9.1.3, USA, 2006)을 사용하였다. 평균간 유의차 검정은 Duncan's multiple range test로 95% 수준에서 분석하였다.

Results and Discussion

시험 후 토양 화학성 *B. subtilis* S37-2 균주 현탁액 처리가 상추 재배 토양에 미치는 영향을 조사하기 위하여 상추를 수확 후 당일 처리구별 토양을 각각 채취하여 토양 화학성분을 분석하였다 (Table 2). 시험 전 토양의 pH는 5.2로 산성을 나타내었고 EC는 5.17 dS m^{-1} 정도로 높은 수준이었다. 유기물 함량은 20 g kg^{-1}, 유효인산 함량은 444 mg kg^{-1}으로 pH와 유기물함량은 시설토양의 적정범위보다 낮고 유효인산 함량은 적정한 함량을 나타내었다 (NAAS, 2014). 상추 수확 후 처리구별 토양을 분석 한 결과 pH는 시험 전 토양에 비해 *B. subtilis* S37-2 균주 현탁액을 처리한 토양에서 조금 개선이 되었고, 전기전도도 (EC)는 5.14~5.32 dS m^{-1}로 시험 전과 비교 시 큰 변화는 없었다. *Bacillus*속은 포자 형성균으로 대부분 유기물 분해와 관련이 있는 부생성 세균으로 유기물 함량은 시험 전 토양보다 2~4 g kg^{-1} 정도 높아졌지만, *B. subtilis* S37-2 균주 현탁액 처리로 인한 증가라고 보기에는 어려웠다. 마찬가지로 유효인산과 치환성 양이온은 시험 전 토양과 비교 시 큰 변화는 없었으며, *B. subtilis* S37-2 균주 현탁액 농도에 관계없이 토양의 화학성에는 영향을 주지 않았다. 이러한 결과는 고형화 된 미생물혼합제제를 토양에 처리하면 pH 증가, EC 감소와 같은 토양의 비옥도를 개선한다는 연구 내용 (Ryu et al., 2012)과는 다르게 액상으로 된 미생물제제는 EC를 제외한 토양의 화학성에는 큰 영향을 미치지 않는다는 보고 (Choi, W.Y., 1997)와 같이 본 연구에서도 *B. subtilis* S37-2 균주 현탁액 농도별 처리에 따른 토양의 화학성분은 영향을 받지 않았다.

토양 미생물상에 미치는 영향 *B. subtilis* S37-2 균주 현탁액 처리 전과 처리 후 상추를 수확한 당일 토양의 미생물상을 조사한 결과를 Table 3에 나타내었다. *B. subtilis* S37-2 균주 현탁액을 처리하기 전 토양 미생물 삼상의 밀도는 세균은 1.3×10^5 CFU g^{-1}, 방선균은 2.3×10^3 CFU g^{-1}, 곰

Table 2. Chemical properties of soil after the experiment by the different levels of applied *B. subtilis* S37-2.

Treatment†		pH	EC	OM	Avail. P_2O_5	Exch. Cation			
						K	Ca	Mg	Na
		(1:5)	dS m^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	---------- $cmol_c$ kg^{-1} ----------			
Before		5.2a‡	5.17a	20a	444a	1.22a	6.82a	2.00a	1.08a
Harvesting	NT	5.2a	5.20a	20a	448a	1.37a	6.74a	2.05a	1.05a
	CM	5.6a	5.32a	22a	458a	1.61a	6.35a	2.70a	1.54a
	BS1	5.4a	5.14a	23a	456a	1.41a	6.72a	2.36a	1.39a
	BS2	5.4a	5.24a	23a	455a	1.23a	6.61a	2.12a	1.24a

†NT, No treatment; CM, Culture medium; BS1, *B. subtilis* S37-2×10^6 CFU mL^{-1}; BS2, *B. subtilis* S37-2×10^7 CFU mL^{-1}.

‡Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

팡이는 2.9×10^4 CFU g^{-1}로 Biomass C는 350 mg kg^{-1}로 나타내었다. 특히 세균/곰팡이 (B/F)의 비율이 45로 낮았는데, 이러한 이유는 시험 전 토양의 전기전도도 (EC)가 5.17 dS m^{-1}로 토양의 염 농도가 증가하면 유용세균의 활성이 저하되는 반면 사상균의 활성 증가로 작물생산에 부적합한 환경을 만든다는 Ha et al. (1979)의 보고와 유사한 결과를 보였다. *B. subtilis* S37-2 균주 현탁액을 처리한 처리구 토양의 미생물 삼상 밀도는 처리 전 보다는 세균의 밀도는 높아지고 곰팡이 밀도는 현저히 낮아지는 결과를 보여 미생물 제제의 처리가 토양의 개선효과를 보인다는 Ryu et al. (2012)의 보고를 근거로 *B. subtilis* S37-2 균주 현탁액 처리가 미생물 군락의 변화를 유익한 방향으로 일으킨 것으로 판단된다. 농업 현장에서 미생물제 처리 기준 설정을 위한 미생물 현탁액 10^6 CFU mL^{-1} 농도 처리구에서 세균과 방선균, 그리고 미생물 Biomass C 함량이 높아지는 결과를 보였다. 또한 방선균 대 곰팡이 (A/F) 및 세균 대 곰팡이 (B/F)의 비율이 시험 전 토양이 79와 45에서 250과 750으로 각각 3.16 및 16.6배 높아졌다. 이러한 결과는 Kwon et al. (2007)이 보고한 염 농도 10% NaCl을 첨가한 배지에서도 생육하는 *B. subtilis* S37-2 균주의 특성으로 인해 토양의 염 농도에 관계없이 토양의 개선에 유익한 작용을 하였다고 판단할 수 있다. *B. subtilis* S37-2 $\times 10^7$ CFU mL^{-1} 균주 현탁액 처리구의 토양 미생물상 밀도는 세균은 7.0×10^5 CFU g^{-1}, 방선균은 2.4×10^3 CFU g^{-1}, 곰팡이는 1.2×10^4 CFU g^{-1}였고 Biomass C는 345 mg kg^{-1}로 나타내었다. 이러한 결과는 *B. subtilis* S37-2 $\times 10^6$ CFU mL^{-1} 균주 현탁액에 비해 미생물 삼상 밀도는 낮았지만 시험 전 토양과 무처리, 균주 배양액 처리구의 토양 미생물 삼상 보다는 높은 결과를 나타내었다.

토양 미생물 함량 비교 *B. subtilis* S37-2 균주 현탁액을 농도별로 조제하여 상추 재배 토양에 처리한 후 토양의 미생물 함량을 비교하였다 (Table 4). 시험 전 토양의 FAME 함량은 144 nmol g^{-1}이었으며 총 세균 함량은 32 nmol g^{-1}, 그람음성 세균과 그람양성 세균의 함량은 각각 8.7 nmol g^{-1}, 20 nmol g^{-1}, 방선균 함량은 3.4 nmol g^{-1}, 곰팡이 함량은 19 nmol g^{-1}, 내생균근균 함량은 1.4 nmol g^{-1} 이었다. 이러한 결과는 시설 재배지에서는 다른 미생물 개체에 비해 세균과 곰팡이 함량은 높다는 보고와 일치하였다 (Lee and Ha, 2011). 특히 그람음성 세균과 그람양성 세균 비율은 0.43으로 낮아 Lee and Ha (2011)가 보고한 일반적인 시설재배지 토양의 비

Table 3. Change of microbial populations in soil after the experiment by the different levels of applied *B. subtilis* S37-2.

Treatment†		Bacteria	Actinomycetes	Fungi	A/F‡	B/F	Biomass C
		$\times 10^4$ CFU g^{-1}	$\times 10^2$ CFU g^{-1}	$\times 10^3$ CFU g^{-1}			mg kg^{-1}
Before		13c⁋	23a	29b	79b	45c	350ab
Harvesting	NT	52bc	34a	66a	52b	79c	386ab
	CM	84b	48a	30b	160ab	280b	331ab
	BS1	120a	40a	16c	250a	750a	451a
	BS2	70b	24a	12c	200ab	583ab	345ab

†NT, No treatment; CM, Culture medium; BS1, *B. subtilis* S37-2×10^6 CFU mL^{-1}; BS2, *B. subtilis* S37-2×10^7 CFU mL^{-1}.

‡A, Actinomycetes; F, fungi; B, Bacteria.

⁋Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

Table 4. Change of microbial biomass in soil after the experiment by the different levels of applied *B. subtilis* S37-2.

Treatment†		TF‡	B	G(-)	G(+)	A	F	AMF	G(-)/G(+)	F/B
		nmol g^{-1}								
Before		144c	32a	8.7a	20b	3.4a	19a	1.4a	43a	59a
Harvesting	NT	161bc⁋	40a	9.3a	25b	2.8a	25a	1.2a	37a	62a
	CM	165bc	39a	10.3a	25b	4.0a	18a	2.0a	41a	46a
	BS1	206a	51a	12.8a	32a	4.3a	31a	2.0a	40a	61a
	BS2	181b	36a	12.5a	28ab	4.3a	17a	1.5a	45a	47a

†NT, No treatment; CM, Culture medium; BS1, *B. subtilis* S37-2×10^6 CFU mL^{-1}; BS2, *B. subtilis* S37-2×10^7 CFU mL^{-1}.

‡TF, total FAMEs; B, total bacteria; G(-), Gram-negative bacteria; G(+), Gram-positive bacteria; A, actinomycetes; F, fungi; AMF, arbuscular mycorrhizal fungi.

⁋Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

율인 0.75보다 낮았으며, 이러한 결과는 그람음성 세균이 토양 유기물 등의 영양분이 부족할 경우 민감하게 반응하여 개체수가 감소하기 때문이었다 (Guckert et al., 1986; Kieft et al., 1997). *B. subtilis* S37-2 균주 현탁액을 처리한 토양의 미생물 함량은 시험 전 토양과 무처리, 균주 배양액 처리구과 비교 시 유의적인 차이는 없었다. 그러나 *B. subtilis* S37-2 × 10^6 CFU mL^{-1} 균주 현탁액에서는 총 FAME 함량이 206 nmol g^{-1}으로 다른 처리구에 비해 유의적으로 높았다. 그리고 균주 현탁액의 농도를 2배 높게 처리하여도 기존 토양의 미생물 함량에는 영향을 주지는 않았다. 그람음성 세균 비율은 *B. subtilis* S37-2 균주 현탁액을 처리한 토양에서 유의적으로 차이는 없었으나, 배지성분이 미생물의 먹이가 되어 탄소가 풍부한 까닭으로 다른 처리구에 비해서 조금 많아진 것으로 판단되었다 (Kim and Lee, 2011). 유기물을 기질로 자라는 방선균의 함량은 시험 전·후 토양의 유기물 함량이 적었던 관계로 처리구간 유의적인 차이가 없었으며 2.8~4.3 nmol g^{-1}함량을 나타냈다. 마찬가지로 곰팡이의 함량은 17~31 nmol g^{-1}, 내생균근균 함량은 1.2~2.0 nmol g^{-1}으로 처리구간 유의적인 차이는 없었다.

상추 생육에 미치는 영향 *B. subtilis* S37-2 균주 현탁액을 상추를 정식 후 농도별로 5일 간격으로 3회 관주 처리 후 생육 및 수량에 미치는 영향을 조사한 결과는 Table 5에 나타내었다. 상추 수량을 조사한 결과는 *B. subtilis* S37-2 × 10^6 CFU mL^{-1} 균주 현탁액 처리구가 엽장, 엽폭, 엽수, 엽중 및 생체중 등 전 항목에서 다른 균주 현탁액 처리구보다 우수한 특성을 보였으며 무처리구에 비해 35% 수량이 증가하였다. 그리고 *B. subtilis* S37-2 × 10^7 CFU mL^{-1} 균주 현탁액 처리는 무처리구에 비해 29% 증가하였다. 이와 같은 결과는 Kwon et al. (2007)이 보고한 *B. subtilis* S37-2 균주 현탁액을 처리하면 상추 생육량이 증가한다는 내용과 일치하였다. Kwon et al. (2007)의 보고서에는 *B. subtilis* S37-2 × 10^8 CFU mL^{-1} 농도의 균주 현탁액을 조제하여 상추의 생육촉진 효과를 검정하였으나, 시·군 농업기술센터에서 일반적으로 보급하는 미생물의 농도는 × 10^8 CFU mL^{-1}이고 농가에서는 대부분 × 10^6~× 10^7 CFU mL^{-1} 농도로 희석한 균주 현탁액을 작물에 사용한다. 그러므로 본 연구에서 현장 적용을 위한 적정 농도를 검토할 목적으로 수행한 결과 *B. subtilis* S37-2 × 10^6 CFU mL^{-1}과 *B. subtilis* S37-2 × 10^7 CFU mL^{-1} 균주 현탁액 처리는 상추의 수량을 증대시킬 것으로 판단되었다.

Conclusions

농촌진흥청에서 선발한 유용 미생물 *B. subtilis* S37-2 (KACC 91281P) 단일 균주에 대하여 시설상추를 대상으로 적정 처리 농도를 구명하기 위하여 시험하였다. 세균 개체수와 Biomass C 함량은 *B. subtilis* S37-2 균주 현탁액 처리구 모두에서 무처리구보다 높았으며, ×10^6 CFU mL^{-1} 현탁액 처리구의 경우 곰팡이 개체수는 낮아지는 특성을 보였다. 토양의 미생물 함량은 *B. subtilis* S37-2 × 10^6 CFU mL^{-1} 균주 현탁액에서 총 FAME 함량이 206 nmol g^{-1}으로 다른 처리구에 비해 유의적으로 높았다. *B. subtilis* S37-2 × 10^6 CFU mL^{-1} 균주 현탁액 처리구가 엽장, 엽폭, 엽수, 엽중 및 생체중 등 전 항목에서 다른 균주 현탁액 처리구보다 양호하였고, 상추의 수량에 있어서도 무처리구에 비해 35% 증가하였다. *B. subtilis* S37-2 × 10^7 CFU mL^{-1} 균주 현탁액 처리는 무처리구에 비해 29% 증가하는 결과를 보였다.

References

Choi, W.Y. 1997. Inorganic salt uptake by bacterial cell mass and absorbents for soil improvement in glass house condition. Chungnam Univ. Research report.

Darbyshire, J.F. and M.P. Greaves. 1973. Bacteria and protozoa in the rhizosphere. Pestic. Sci. 4:349-360.

Duff, R.B., D.M. Webley, and R.O. Scott. 1963. Solubilization of minerals and related materials by 2-ketogluconic acid-producing bacteria. Soil Sci. 95:105-114.

Guckert, J.B., M.A. Hood, and D.C. White. 1986. Phospholipid ester-linked fatty acid profile changes during nutrient deprivation of Vibrio cholerae: increases in cis/trans ratio and proportions of cyclopropyl fatty acid. Appl. Environ. Microbial. 52:794-801.

Table 5. Growth characteristics of lettuce by different *B. subtilis* S37-2 concentration.

Treatment†	Leaf length	Leaf width	Leaf number	Leaf weight	Root weight	Yield
	cm	cm	No. $plant^{-1}$	g $plant^{-1}$	g $plant^{-1}$	kg $10a^{-1}$
NT	15.7b‡	9.2ab	13.8ab	26.3ab	2.1a	2,111ab
CM	15.8b	9.0ab	14.9ab	26.8ab	2.2a	2,148ab
BS1	18.2a	10.1a	16.3a	35.8a	1.9a	2,868a
BS2	17.9ab	9.9ab	12.7b	34.0ab	2.0a	2,723ab

†NT, No treatment; CM, Culture medium; BS1, *B. subtilis* S37-2×10^6 CFU mL^{-1}; BS2, *B. subtilis* S37-2×10^7 CFU mL^{-1}.

‡Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

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

Hamel, C., K. Hanson, F. Selles, A.F. Cruz, R. Lemke, B. McConkey, and R. Zentner. 2006. Seasonal and long-term resource-related variations in soil microbial communities in wheat-based rotations of the Canadian prairie. Soil Biol. Biochem. 38:2104-2116.

Katznelson, H. and B. Bose. 1959. Metabolic activity and phosphate dissolving capability of bacterial isolates from wheat roots, rhizosphere and non-rhizosphere soil. Can. J. Microbiol. 5:79-85.

Kieft, T.L., E. Wilch, K. O'connor, D.B. Ringelberg, and D.C. White. 1997. Survival and phospholipid fatty acid profiles of surface and subsurface bacteria in natural sediment microcosms. Appl. Environ. Microbiol. 63:1531-1542.

Kim, B.Y, H.Y. Weon, I.C. Park, S.Y. Lee, W.G. Kim, and J.K. Song. 2011. Microbial diversity and community analysis in lettuce or cucumber cultivated greenhouse soil in korea. Korean J. Soil Sci. Fert. 44(6):1169-1175.

Kim, E.S. and Y.H. Lee. 2011. Response of soil microbial communities to application of green manures in paddy at an early rice-growing stage. 2011. Korean J. Soil Sci. Fert. 44(2):221-227.

Kim, J.M., C.S. Kim, H.J. Kim, B.J. Moon, J.H. Lee, S.S. Lee, and J.W. Lee. 2002. Effect of microbial product on microorganisms in soil and growth of cabbage and tomato. Korean J. Life Sci. 12(5):515-522.

Kim, S.H, K.S. Bae, J.K. Yang, Y.J. Lee, J.S. Oh, S.J. Jung, B.J. Moon, and K.S. Bae. 2004. Effect of microbial product made of *Bacillus stearothermophilus* DL-3 on microorganisms in soil and growth of lettuce Chinese cabbage. Korean J. Life Sci. 14(5):778-787.

Kim, Y.H., J.H. Lim., C.H. An., B.K. Jung, and S.D. Kim. 2012. Soil microbial community analysis using soil enzyme activities in red pepper field treated microbial agents. J. Appl. Biol. Chem. 55(1):47-53.

Kwon, J.S., H.Y. Weon, J.S. Suh, W.G. Kim, K.Y. Jang, and H.J. Noh. 2007. Plant growth promoting effect and antifungal activity of *Bacillus subtilis* S37-2. Korean J. Soil Sci. Fert. 40(6):447-453.

Lee, Y.H. and S.K. Ha. 2011. Impacts of topography on microbial community from upland soils in gyeongnam province. Korean J. Soil Sci. Fert. 44(3):485-491.

Lee, Y.H., Y.K. Soun, B.K. Ahn, S.T. Lee, M.A. Shin, E.S. Kim, W.D. Song, and Y.S. Kwak. 2011. Impacts of organic farming system on the soil mirobial population in upland soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 44(5):819-823.

Lynch, J.M. 1982. Interaction between bacteria and plants in the root environment. Soil. Appl. Bacteriol. Symp. Ser. 10:1-23.

NAAS (National Academy of Agricultural Science), 2014. Korean soil information system. Korea.

Nah, K.C., J.Y., Cho, and S.J. Chung. 1997. Chung. Effects of compost supplemented with cultured solution of photosynthetic bacteria (*Rhodops eudomonas capsulatus*) on the early growth of plug seedlings of tomato. Korean J. Organic Agric. 5(2): 105-115.

NIAST (National institute of Agricultural Science and Technology), 2010. Methods of analysis of soil and plant. Korea.

Okon, Y., E. Fallik., S. Sarig., E. Yahalom, and S. Tal. 1988. Plant growth promoting effects of *Azospirillum*. In Nitrogen Fixation. Gustav Fischer, Stuttgart, West Germany. 741-746.

Park, D.J., J.C. Lee., Y.H. Chang, and C.J. Kim. Control effects of *Micromonospora* sp. AW050027 by media optimization and microbial treatment against pine wood nematode. 2010. Korean J. Pestic. Sci. 14(2):138-147.

Pump, H.H. and H. Krist. 1998. Laboratory manual for the examination of water, and soil, VCH., Weinheim, Germany.

RDA (Rural Development Administration), 2015. Annual report of microbial conference.

Ryu, I.H., S.J. Jeong, and S.S. Han. 2012. Effect of microorganism mixture application on the microflora and the chemical properties of soil and the growth of vegetables in greenhouse. Korean J. Environ. Agric. 31(4):368-374.

SAS Institute. 2006. SAS Version 9.1.3. SAS Inst., Cary, NC

Schippers, B., A.W. Bakker, and P.A.H.M. Bakker. 1987. Interactions of deldterious and beneficial rhizosphere microorganisms and the effect of cropping practices. Annu. Rev. Phytopathol. 25:339-358.

Schutter, M.E. and R.P. Dick. 2000. Comparison of faaty acid methyl ester (FAME) methods for characterizing microbial communities. Soil Sci. Soc. Am. J. 64:1659-1668.

Vance, E.D., P.C. Brookes, and D.S. Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biol. Biochem. 19:703-707.