

Bacillus ehimensis YJ-37에 의한 채소류 모잘록병의 생물학적 방제

김진호¹ · 최용화¹ · 강상재² · 이인구 · 주길재*

상주대 ¹식물자원학과, ²원예학과, *경북대 농화학과

Biocontrol of Vegetables Damping-off by *Bacillus ehimensis* YJ-37

Jin-Ho Kim¹, Yong-Hwa Choi¹, Sang-Jae Kang²
In-Koo Rhee and Gil-Jae Joo*

¹Department of Plant Resource

²Department of Horticulture, Sangju National University, Sangju 742-711, Korea

*Department of Agricultural Chemistry, Kyungpook National University, Daegu 702-701

Abstract

Bacillus ehimensis YJ-37 was observed as a potential biological agent to control the occurrence of diseases and plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). Population density of *B. ehimensis* YJ-37 were higher 1.2~2 times in main roots and lateral roots than from nonrhizosphere soil and persisted around 10^4 cfu/g root on the watermelon and radish root system upto 30 days after growing in pot condition. As a PGPR, *B. ehimensis* YJ-37 enhanced plant growth of watermelon and radish by soil treatment. The leaf area, hypocotyl length, root length and dry weight of radish were about 85, 33, 23 and 89% more than that of untreated plant, respectively. In case of watermelon were about 63, 27, 25 and 69% more than that of untreated plant, respectively. Biocontrol of damping-off in watermelon and radish caused by *Rhizoctonia solani* AG-4 and *Pythium ultimum* were carried out in pots using *B. ehimensis* YJ-37. The results showed that might contribute to it's suppression of damping-off disease in field plants.

Key words – Biocontrol, *Bacillus ehimensis*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum*, watermelon, radish

서 론

수박과 무 등의 채소류 모잘록병은 식물체 지제부 혹은 지하부 뿌리 주변에 서식하는 *Thanatephorus cucumeris* (무성세대: *Rhizoctonia solani*) AG-4나 *Pythium ultimum* 등의 병원성 곰팡이에 의해 지온이 17~23℃로 낮고 다습할 때 발생하는 식물 병이다.

최근 길항미생물을 이용한 식물 병의 생물학적 방제에 관한 연구가 많이 진행되고 있으며, 미생물학적 방제가 환경오염이나 인축의 농약중독을 감소시킬 수 있는 친환경농업으로 인식되면서 각종 미생물 농자재들이 개발되어 등록·시판되고 있다[8].

채소류 모잘록병의 생물학적 방제도 길항미생물을 이용하고 있으며, 지금까지 모잘록병균 *R. solani* AG-4나 *P. ultimum*에 길항하는 미생물로는 *Trichoderma harzianum*, *T. viride*, *Gliocladium virens*[14] 등의 진균류와 *Streptomyces lydicus*[19], *Actinomyces* spp.[7] 등 방선균류, *Pseudomonas*

*To whom all correspondence should be addressed
Tel : 053-950-6854, Fax : 053-950-6853
E-mail : gjjoo@knu.ac.kr

aeruginosa 7NS K2[4], *P. cepacia*[11], *P. fluorescens* DR54 [18], *Enterobacter agglomerans*[5], *Stenotrophomonas maltophilia* W81[9], *Paenibacillus polymyxa*, *Bacillus pumilus*[17] 등의 세균류가 보고되었다.

길항미생물을 이용한 식물 병의 방제는 실험실에서는 높은 방제효과가 나타나지만 실제 재배환경에서 방제력이 감소하는 경향이 많다. 그 원인은 여러 가지 있겠으나 주된 이유는 작물재배지에 투입되는 길항미생물이 지하부 근권환경에서 정착하여 생존하지 못한다는 것이 가장 큰 원인일 것이다[13].

식물과 근권미생물은 서로 공생관계로서 식물 뿌리는 각종 삼출액을 분비하며 근권미생물은 이것을 먹이로 이용하기 위해 뿌리표면에 모이게 되고 또한 근권미생물도 아미노산, 핵산의 염기류 및 각종 비타민을 분비하여 뿌리에 공급하며 서로 공생하고 있다. 그러나 식물마다 분비되는 삼출액이 다르고 타식물과 근권미생물의 생육에 해를 입히는 알렐로파시(allelopathy) 뿐만 아니라 병원균에 저항성을 발현하는 파이토알렉신(phytoalexin) 등의 영향으로 아무리 좋은 유용미생물이라 할지라도 작물뿌리에 정착하지 못하고 사멸하게 된다.

따라서 채소류의 뿌리 병을 미생물학적으로 방제하기 위해서는 그 채소류의 뿌리에 서식하면서 우점하고 있는 근권미생물을 분리하고 제형화하여 재투입함으로써 지하부 근권환경에서 우점하거나 토착화되기 쉬우므로 방제효과를 증가시킬 수 있을 것이다.

전보[13]에서 채소류 모잘록병균에 높은 길항력을 지니고 있는 *Bacillus ehimensis* YJ-37을 채소류 뿌리로부터 분리하여 보고하였다.

본 연구는 근권 길항미생물 *B. ehimensis* YJ-37의 채소류 근권정착밀도 및 토양미생물제제에 의한 모잘록병의 미생물학적방제를 시도하였기에 보고하고자 한다.

재료 및 방법

공시균주

본 실험에 사용한 공시균주는 채소류 뿌리에서부터 분리 동정[13]한 *Bacillus ehimensis* YJ-37을 사용하였다. 공시균의 보관은 tryptic soy broth (TSB) 영양배지(pH 6.0~7.0)에서 30~37℃로 3~5일 동안 진탕 배양시킨 후 미생물

세포의 수가 1ml 당 콜로니 형성단위(colony forming unit; cfu)로서 10⁸개 포함되어 있는 배양액을 4℃에 보관하거나 동결건조기로 건조하여 분말상태로 보관하면서 사용하였다. 모잘록병균 *Rhizoctonia solani* AG-4와 *Pythium ultimum* 은 PDA (potato dextrose agar) 배지에 28℃로 4~10일간 배양한 다음 4℃, 또는 살균 증류수에서 보관하면서 사용하였다.

균수 측정

균수는 균원시료 1ml를 0.85% NaCl 용액에서 삼단 희석하여 2가지 방법으로 계수한 후 그 평균값으로 나타내었다. 첫째, 각종 미생물분리용 배지에 상기 희석액을 0.1ml 도말하여 배양한 후 형성된 colony를 계수한 것, 둘째, 균수 측정 kit (3M Co., Petrifilm™ plate)를 이용하여 상기 희석액을 1ml 도말하여 배양한 후 계수한 것을 평균하여 콜로니형성 단위(cfu)로 나타내었다.

미생물제제화

길항균 *B. ehimensis* YJ-37은 jar fermentor ((주)한국발효기상사, 용량 5 l, 원지름 20 cm, 높이 25 cm, baffle 10×2 cm 4개 부착, impeller 1×5 cm □형)로 3 l 배양하였고, 배양조건은 1.5% starch, 0.6% peptone, 0.3% Na₂HPO₄, 0.15% MgCl₂ (pH 8.0) 배지에 종균을 1% 접종하고 배양온도를 32℃, 배양시간을 54시간, 공기주입량을 2 vvm, 교반속도를 200 rpm으로 하여 배양하였다. 토양미생물제제는 상기 *B. ehimensis* YJ-37 배양액 3 l (미생물의 수 : 2.3×10⁹ cfu/ml)과 담체로는 흑운모와 왕겨를 각각 3 kg, 1.5 kg, 영양분으로는 당밀 또는 포도당을 0.5 kg, 미량요소로는 붕소, 철, 망간 등을 전체 0.01 kg 미만으로 첨가하여 잘 혼합하여 30℃에 7일 이상 후배양 시킨 후 수분함량이 10% 이하가 되도록 건조시키고 피복물질로 0.5%의 PVA (polyvinyl alcohol)를 처리하여 외부를 피막화하여 제형화하였다.

길항균의 근권 정착능력 조사

길항균의 근권정착능력을 조사하기 위해 사용한 공시작물은 무(세미니스코리아사, 백자무)와 수박(세미니스코리아사, 풀수박)을 사용하였고, 인공용토는 모래와 발토양을 풍건시킨 후 직경 2 mm체로 걸러서 각각 1 kg을 준비하고

시판 부엽토를 1 kg 준비하여 각각을 121℃에서 15분간 3번 살균하여 모래 : 발토양 : 부엽토를 1 : 1 : 1로 섞어 인공용토로 사용하였다. 인공용토에 길항균 *B. ehimensis* YJ-37는 두가지 방법으로 첨가하였는데 첫 번째는 길항균 배양액을 잘 혼합하여 용토 kg당 미생물의 수가 $2.0 \pm 0.2 \times 10^8$ cfu가 되게 첨가하여 준비하였고, 두 번째는 *B. ehimensis* YJ-37 배양액으로 만든 토양미생물제제를 인공용토 kg당 미생물의 수가 $2.0 \pm 0.2 \times 10^8$ cfu가 되게 준비하였다. 70% 에탄올로 살균한 플라스틱 포트(Ø 15 cm, 높이 30 cm, 협구)에 미생물배양액 및 토양미생물제제를 각각 첨가한 인공용토를 100 g씩 담고 종자(1% NaOCl로 10분간 살균한 종자를 28℃에서 무균상태로 발아시킨 종자)를 2립씩 정식하고 협구를 살균한 탈지면으로 막은 다음 수분을 충분히 유지하며 온실(20~30℃)에 4주간 재배하였다. 재배 후 각 포트의 내용물 전체를 꺼집어 내어 채소류 뿌리를 완전히 분리한 후 주근과 측근으로 잘라서 부위별로 서식하고 있는 균의 밀도를 colony 수로 관찰하여 근권 정착능력을 조사하였다. 시험구 데이터 값은 3반복 처리하여 평균값으로 나타내었다.

채소류 성장활력 및 잘록병방제 실험

채소류의 성장활력 및 잘록병방제 실험에 사용한 공시작물은 상기 무와 수박을 사용하고, 인공용토는 상기 근권 정착능력조사 방법과 동일하게 준비하였다.

작물 생육 촉진실험은 16공 플라스틱 사각포트에 상기 인공용토에 길항미생물 *B. ehimensis* YJ-37 배양액으로 만든 토양미생물제제를 넣은 구간(시험구)과 넣지않은 구간(대조구 1) 및 시판 미생물상토(세미니스코리아사, R-safe) 구간(대조구 2)으로 하여 무균 발아시킨 무와 수박 종자를 각각 4립씩 정식하고 온실에서 5주간 육묘한 후 줄기, 뿌리, 잎의 건조 중량 및 자엽의 길이, 배축의 길이 및 무게

등을 조사하여 성장활력 정도로 나타내었다.

잘록병 방제실험은 상기와 동일한 방법으로 준비한 인공용토에 *B. ehimensis* YJ-37 토양미생물제제를 넣지 않은 구간(대조구 1, 2)과 넣은 구간(시험구 1, 2)으로 나누고 다시 대조구 2와 시험구 2에 PDA 배지에서 키운 잘록병균 현탁액(9 ml/plate)을 포트당 5 ml씩 동일하게 처리하였으며, 모든 구간은 무균 발아시킨 무와 수박 종자를 정식하고 온실에서 6주간 동일하게 재배하여 모잘록병 발병 및 억제를 관찰하였다.

결과 및 고찰

B. ehimensis YJ-37의 근권정착밀도 조사

수박과 무 등의 채소류 뿌리에서 분리한 *B. ehimensis* YJ-37[13]이 실제 채소류 뿌리에서 생존하고 정착할 수 있는지를 조사하기 위해 *B. ehimensis* YJ-37의 근권정착밀도를 조사하였다. 길항균 *B. ehimensis* YJ-37의 배양액 처리구와 배양액으로 만든 토양미생물제제 처리구로 구분하여 조사한 결과, Table 1과 같이 수박은 인공용토 전체 길항균 *B. ehimensis* YJ-37의 수가 배양액을 처리한 구에서는 $g당 1.42 \times 10^4$ cfu이었으나 주근은 2.85×10^4 cfu, 측근은 1.98×10^4 cfu로 나타나 반면 토양미생물제제 처리구에서 인공용토 $g당 1.33 \times 10^4$ cfu, 주근에서는 1.68×10^4 cfu, 측근에서는 1.76×10^4 cfu로 나타나 토양미생물처리구 보다 배양액 처리구에서 높은 근권정착밀도가 형성되었다. 또한 무의 경우도 인공용토 전체 길항균 *B. ehimensis* YJ-37의 수가 배양액을 처리한 구에서는 $g당 1.56 \times 10^4$ cfu이었으나 주근은 2.64×10^4 cfu, 측근은 1.72×10^4 cfu로 나타나 반면 토양미생물제제 처리구에서 인공용토 $g당 1.29 \times 10^4$ cfu, 주근에서는 1.51×10^4 cfu, 측근에서는 1.31×10^4 cfu로 나타나 수

Table 1. Colonization densities of *B. ehimensis* YJ-37 at the different roots in the plant rhizosphere

Treatment	Population density* ($\times 10^4$ cfu/g)					
	Watermelon			Radish		
	Main root	Lateral root	Artificial soil	Main root	Lateral root	Artificial soil
Culture broth	2.85 ± 0.14	1.98 ± 0.15	1.42 ± 0.13	2.64 ± 0.13	1.72 ± 0.12	1.56 ± 0.15
Formulation	1.68 ± 0.27	1.76 ± 0.25	1.33 ± 0.19	1.51 ± 0.14	1.31 ± 0.17	1.29 ± 0.17

*Population density were investigated with 3 replications on artificial bed soil that treated *B. ehimensis* YJ-37 culture broth and its formulation, respectively.

박과 마찬가지로 토양미생물처리구 보다 배양액 처리구에서 높은 근권정착밀도가 형성되었다. 즉, 인공용토에 존재하는 길항균의 평균밀도보다 주근에서는 약 1.2~2배 이상의 길항균의 수가 증가하였고, 측근은 1.3~1.4배 이상 증가한 것으로 보아 길항균 *B. ehimensis* YJ-37은 수박이나 무의 뿌리에서 정착이 가능하였음을 확인하였다. 그러나 인공용토에 처음 투입한 길항균의 총량이 대략 g당 $2.0 \pm 0.2 \times 10^5$ cfu가 되었으나 실제 4주 재배 후 g당 $1.3 \sim 1.4 \times 10^4$ cfu로 길항균의 수가 전체적으로는 감소하였다.

이러한 결과는 Clark[6]가 *Bacillus*에 대하여 보고한 바와 같이 뿌리가 신장됨에 따라 길항균의 밀도는 다소 감소되었으나 뿌리 끝까지 이행되는 것으로 보아 처리한 길항균은 무나 수박뿌리에서 분비되는 각종 영양분을 이용하여 효과적으로 근권에 정착하여 뿌리에서의 길항균 밀도는 상대적으로 증가하였고 인공용토에서는 길항균의 생육이 정지되거나 사멸되어 전체적으로는 길항균의 수가 감소되었다고 본다. 그러나 자연토양에서는 타 미생물과의 경쟁, 토양의 이화학적 특성 등의 이유 때문에 단독으로 한종의 미생물을 처리하는 경우와는 근권정착이 다소 상이할 것으로 판단된다. 따라서 살균토양(또는 인공용토)에서는 투입된 1종의 미생물배양액이 근권에 정착하여 존재할 수 있으나 자연토양(비살균토양)에서는 제형화된 토양미생물제제가 근권에 정착되는데 유리할 것이다.

토양미생물제제에 의한 작물 성장활력 조사

길항균 *B. ehimensis* YJ-37 배양액으로 만든 토양미생물제제로 무와 수박에서의 성장활력을 조사한 결과, Table 2

에서과 같이 수박에서 엽면적은 토양미생물제제 무처리구가 36 cm²이었으며, 시판 미생물상토 처리구에서는 52 cm², 토양미생물제제 처리구에서는 59 cm²으로 나타나 무처리구에 비해 각각 43%, 85% 증가하였다. 또한 Fig. 1과 2에서와 같이 줄기길이, 뿌리길이, 및 전체 건조 중량 등도 대부분 증가하였다. 특히 무는 건조중량이 무처리구에 비해 처리구가 89%나 생육촉진효과가 우수하였으며, 초장, 엽수, 엽폭, 경경, 근장, 자엽무게 등도 증가하였다. 길항균 *B. ehimensis* YJ-37 배양액으로 만든 토양미생물제제를 무에 처리하였을 때, 무처리구에 비해 처리구에서는 잎면적은 85%, 자엽의 길이는 33%, 뿌리의 길이는 23%, 건조중량은 89% 촉진되었고, 수박의 경우도 무처리구에 비해 잎면적

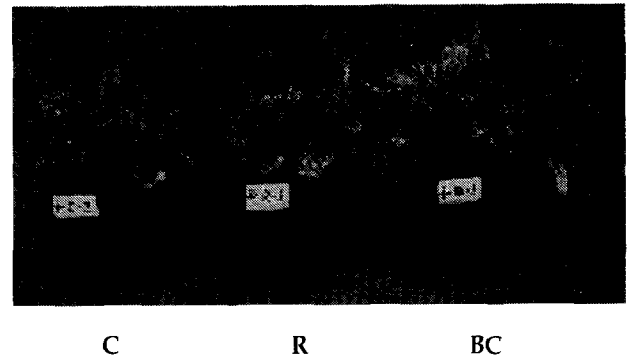


Fig. 1. Plant growth-promoting effects of radish in the artificial bed soil with a formulation of *B. ehimensis* YJ-37.

C, artificial bed soil; R, commercial microbial bed soil (S. Co.) ; BC, artificial bed soil mix a formulation of *B. ehimensis* YJ-37.

Table 2. Plant growth-promoting effects of the plant in the artificial bed soil with a formulation of an antagonistic bacterium, *B. ehimensis* YJ-37

Plants	Treatme condition*	Plant growth-promoting effect			
		leaf area (cm ²)	Hypocotyl length (cm)	Root length (cm)	Dry weight (g)
Radish	ABS	42±0.5	12±0.04	13±0.16	0.28±0.03
	CBS	60±0.6	14±0.01	15±0.34	0.33±0.02
	ABF	78±0.4	16±0.05	16±0.17	0.53±0.05
Watermelon	ABS	36±0.3	15±0.06	12±0.16	0.23±0.03
	CBS	52±0.1	16±0.04	14±0.12	0.30±0.04
	ABF	59±0.4	19±0.06	15±0.18	0.39±0.03

All values are mean±SD and the average of three samples.

*, ABS, artificial bed soil; CBS, commercial microbial bed soil, ABF, artificial bed soil with a formulation of *B. ehimensis* YJ-37.

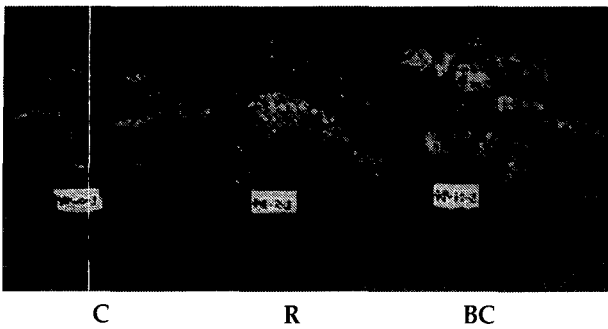


Fig. 2. Plant growth-promoting effects of watermelon in the artificial bed soil with a formulation of *B. ehimensis* YJ-37.
C, artificial bed soil; R, commercial microbial bed soil (S. Co.) ; BC, artificial bed soil mix a formulation of *B. ehimensis* YJ-37.

은 63%, 자엽의 길이는 27%, 뿌리의 길이는 25%, 건조중량은 69% 촉진되었다.

길항균에 의한 생육촉진효과는 호르몬의 생성, 항생물질 생산에 따른 발병억제, 토양내 불용성물질의 가용화 등에 기인되는 것으로 알려져 있는데[2,6], 길항균 *B. ehimensis* YJ-37의 배양액을 무와 수박유묘에 직접 처리할 경우도 토양미생물제제로 토양 처리할 경우와 동일하게 생육이 촉진되었다. Broadbent 등[3]은 *Bacillus*에 의한 생육촉진 기작으로 *Bacillus subtilis*에 의한 gibberellin 생성, *Bacillus* spp.에 의한 인산 등 불용성분의 가용화, *B. polymyxa*, *B. racemosus*, *B. circulans*에 의한 질소고정을 보고한 바 있다. 따라서 본 시험에서 길항균 *B. ehimensis* YJ-37에 의한 생육촉진효과는 본 균이 생산하는 어떤 물질이 근권환경에 영향을 미쳤거나, 호르몬을 생성하거나 질소고정능력이 있음으로써 생육이 촉진되었다고 생각되며 추후 자세한 연구가 필요하다고 본다.

질록병 방제 조사

채소류 모잘록병균 *R. solani* AG-4와 *P. ultimum* 등에 길항하는 미생물 *B. ehimensis* YJ-37을 이용하여 토양미생물제제를 제조한 후 이들을 이용하여 채소류 질록병 방제 실험을 행한 결과, Fig. 3과 4에서와 같이 무와 수박 모두 모잘록병균 *R. solani* AG-4와 *P. ultimum* 등을 처리한 대조구는 모잘록병이 발병하여 병징을 나타내었으나 토양미생물제제 처리구는 모잘록병이 전혀 발병되지 않고, 오히려

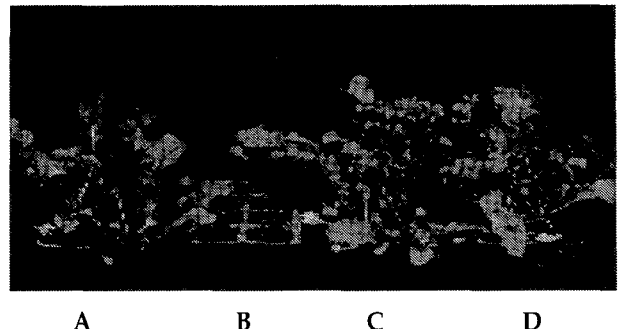


Fig. 3. Suppression of damping-off of radish caused by *R. solani* AG-4 and *P. ultimum* with a formulation of *B. ehimensis* YJ-37.
A, artificial bed soil; B, artificial bed soil mix *R. solani* AG-4 and *P. ultimum*; C, artificial bed soil mix a formulation of *B. ehimensis* YJ-37; D, artificial bed soil mix a formulation of *B. ehimensis* YJ-37 added *R. solani* AG-4 and *P. ultimum*.

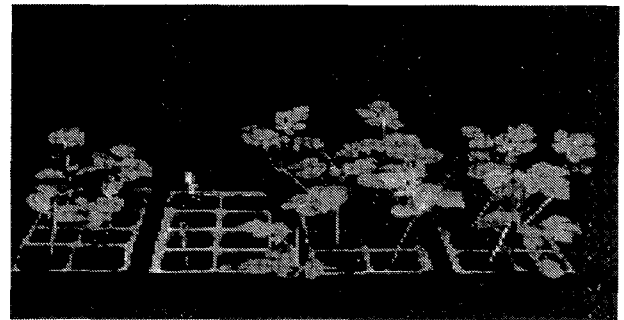


Fig. 4. Suppression of watermelon caused by *R. solani* AG-4 and *P. ultimum* with a formulation of *B. ehimensis* YJ-37.
A, artificial bed soil; B, artificial bed soil mix *R. solani* AG-4 and *P. ultimum*; C, artificial bed soil mix a formulation of *B. ehimensis* YJ-37; D, artificial bed soil mix a formulation of *B. ehimensis* YJ-37 added *R. solani* AG-4 and *P. ultimum*.

생육촉진 현상이 나타났으며, 미생물학적으로 채소류 모잘록병 방제 가능성이 있음을 확인하였다.

B. ehimensis YJ-37에 관한 연구로는 chitosanase[15], chitosanase gene[1] 등이 알려져 있으나 그 외 연구로는 발표된 것이 없다. 채소류 모잘록병의 생물학적 방제에 관한 연구로는 *B. subtilis*와 *Rhizobium*을 이용한 콩의 모잘록병 방제[10], *Burkholderia ambifaria* BC-F[16], *Pseudomonas putida*[12], *Trichoderma harzianum*, *T. viride*, *Gliocladium*

virens[14], Streptomyces lydicus[19], Actinomyces spp.[7], Pseudomonas aeruginosa 7NS K2[4], P. cepacia[11], P. fluorescens DR54[18], Enterobacter agglomerans[5], Stenotrophomonas maltophilia W81[9], Paenibacillus polymyxa, Bacillus pumilus[17] 등이 보고되었다.

요 약

B. ehimensis YJ-37은 생육촉진미생물이면서 모잘록병의 생물학적 방제균으로서 관찰되었다. 길항균 *B. ehimensis* YJ-37의 무와 수박의 근권정착밀도는 인공용토에 존재하는 길항균의 평균밀도 10^4 (cfu/g) 보다 주근과 측근에서 약 1.2~2배 이상의 증가하였다.

길항균 배양액으로 만든 토양미생물제제에 의한 무의 생육촉진은 토양미생물제제 무처리구에 비해 처리구에서 앞면적은 85%, 자엽의 길이는 33%, 뿌리의 길이는 23%, 건조중량은 89% 촉진되었고, 수박의 경우도 무처리구에 비해 처리구에서 앞면적은 63%, 자엽의 길이는 27%, 뿌리의 길이는 25%, 건조중량은 69% 촉진되었다.

토양미생물제제는 채소류 모잘록병균 *R. solani* AG-4와 *P. ultimum* 등의 생육을 억제하여 모잘록병을 유발시키지 못하게 하였으며, 생육촉진현상도 동시에 가져왔다.

감사의 글

본 연구는 2000년 제8차 산학연공동기술개발 지역컨소시엄(과제번호: 2000-11) 연구지원비에 의하여 수행된 연구 결과의 일부이며, 이에 깊이 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- Akiyama, K., T. Fujita, K. Kuroshima, T. Sakane, A. Yokota and R. Takata. 1999. Purification and gene cloning of a chitosanase from *Bacillus ehimensis* EAG1. *J. Biosci. Bioengin.* **87**, 383-385.
- Beagle-Ristaino, J. E. and G. C. Papavizas. 1985. Biological control of Rhizoctonia stem canker and black scurf of potato. *Phytopathol.* **75**, 560-564.
- Broadbent, P., K. and F. Baker. 1974. Behavior of *Phytophthora cinnamoni* in soils suppressive and conducive to root rot. *Aust. J. Agric. Res.* **25**, 121-137.
- Buysens, S., K. Heungens, J. Poppe and M. Hofte. 1996. Involvement of pyochelin and pyoverdine in suppression of Pythium-induced damping-off tomato by *Pseudomonas aeruginosa* 7NS K2. *Appl. Environ. Microbiol.* **62**, 865-871.
- Chernin L., Z. Ismailov, S. Haran and I. Chet. 1995. Chitinolytic *Enterobacter agglomerans* antagonistic to fungal plant pathogen. *Appl. Environ. Microbiol.* **61**, 1720-1726.
- Clark, F. E. 1949. Soil microorganisms and plant roots. *Advanced Agronomy* **1**, 241-288.
- Crawford, D. L., J. M. Lynch, J. M. Whipps and M. A. Ousley. 1993. Isolation and characterization of actinomycete antagonists of a fungal root pathogen. *Appl. Environ. Microbiol.* **59**, 3899-3905.
- David, M. W. 1988. Biological control of soilborne plant pathogens in the rhizosphere with bacteria. *Annu. Rev. Phytopathol.* **26**, 379-407.
- Dunne, C., Y. Moenne-Loccoz, F. J. de Bruijin, F. O'Gara. 2000. Overproduction of an inducible extracellular serine protease improves biological control of *Pythium ultimum* by *Stenotrophomonas maltophilia* strain W81. *Microbiol.* **146**, 2069-2078.
- Estevez de Jensen, C., J. A. Percich and P. H. Graham. 2002. Integrated management strategies of bean root rot with *Bacillus subtilis* and *Rhizobium* in Minnesota. *Field Crops Research* **74**, 107-115.
- Fridlender M., J. Inbar and I. Chet. 1993. Biological control of soilborne plant pathogens by a β -1,3 glucanase-producing *Pseudomonas cepacia*. *Soil Biol. Biochem.* **25**, 1211-1221.
- Gu, Y and M. Mazzola. 2001. Impact of carbon starvation on stress resistance, survival in soil habitats and biocontrol ability of *Pseudomonas putida* strain 2C8. *Soil Biol. Biochem.* **3**, 115-1162.
- Joo, G. J., J. H. Kim and S. J. Kang. 2002. Isolation and antifungal activity of *Bacillus ehimensis* strain YJ-37 as antagonistic against vegetables damping-off fungi. *Kor. J. Life Sci.* **12**, 242-249.
- Koch. E. 1999. Evaluation of commercial products for microbial control of soil-borne plant diseases. *Crop Protection* **18**, 119-125.
- Kuroshima, K., T. Sakane, R. Takata and A. Yokota. 1996. *Bacillus ehimensis* sp. nov. and *Bacillus chitinolyticus* sp. nov., new chitinolytic members of the genus *Bacillus*. *Intl. J. System. Bacteriol.* **46**, 76-80.

16. Li, W., D. P. Roberts, P. D. Dery, S. L. F. Meyer, S. Lohrke, R. D. Lumsden and K. P. Hebbar. 2002. Broad spectrum anti-biotic activity and disease suppression by the potential biocontrol agent *Burkholderia ambifaria* BC-F. *Crop Protection* **21**, 129-135.
17. Nielsen, P., J. Sorensen. 1997. Multi-target and medium-independent fungal antagonism by hydrolytic enzymes in *Paenibacillus polymyxa* and *Bacillus pumilus* strains from barley rhizosphere. *FEMS Microbiol. Ecol.* **22**, 183-192.
18. Thrane, C., T. H. Nielsen, M. N. Nielsen, J. Sorensen and S. Olsson. 2000. Viscosinamide-producing *Pseudomonas fluorescens* DR54 exerts a biocontrol effect on *Pythium ultimum* in sugar beet rhizosphere. *FEMS Microbiol. Ecol.* **33**, 139-146.
19. Yuan, W. M., D. L. Crawford. 1995. Characterization of *Streptomyces lydicus* WYEC108 as a potential biocontrol agent against fungal root and seed rots. *Appl. Environ. Microbiol.* **61**, 3119-3128.

(Received April 25, 2002; Accepted August 7, 2002)