

고추역병의 생물학적 방제를 위한 길항세균의 분리

이용세[†] · 최장원 · 김상달* · 백형석**

대구대학교 자연자원대학 자연자원학부

*영남대학교 응용미생물학과

**부산대학교 미생물학과

Isolation of Antagonistic Bacteria to *Phytophthora capsici* for Biological Control of Phytophthora blight of Red Pepper

Yong Se Lee[†], Jang Won Choi, Sang Dal Kim* and Hyung Suk Baik**

Department of Natural Resources, Taegu University, Kyongsan 712-714, Korea

*Department of Applied Microbiology, Yeungnam University, Kyongsan 712-749, Korea

**Department of Microbiology, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

Abstract

To isolate of antagonistic bacteria to *Phytophthora capsici*, which cause Phytophthora blight in red pepper, 237 isolates of *Pseudomonas* spp. and 260 isolates of *Bacillus* spp. were screened in selective media from rhizosphere soils of red pepper at Kyongsan, Kyongju, Yongchon and Euisung in Kyongbuk. Among total 497 isolates, 8 isolates of *Pseudomonas* spp and 4 isolates of *Bacillus* spp. inhibited the mycelial growth of *Phytophthora capsici* above 50%. These antagonistic bacteria showed more inhibitory effect on TSA (tryptic soy agar) than V-8 juice agar. Four isolates, P0704, P1201, B1101 and B1901, showing the most prominent antagonistic activity were selected and identified as *P. cepacia* (P0704, P1201), *B. polymyxa* (B1101) and *B. subtilis* (B1901), respectively. Cell free filtrates of these isolates were shown to inhibit zoospore germination and mycelial growth of *P. capsici* indicating that these isolates turned out to be bacteria producing antifungal substances. As a result of antagonistic test to Phytophthora blight in green house *P. cepacia* (P0704) showed the highest antagonistic effect with 46.7% and the rest of them were in the range of 13.4% to 26.7%.

Key words : Antagonistic bacteria, Biological control, *Phytophthora capsici*, Red pepper

서 론

*Phytophthora capsici*에 의한 고추 역병은 전 생육기간에 걸쳐 발생하여 가장 심한 피해를 일으키는 병으로 고추

생산 및 재배에 있어서 제한요인이 되고 있다. 고추재배가 주산단지화 되면서 이어짓기가 행해지고 있는 재배환경에서는 연작장해의 주원인이 되고 있다 [10]. *P. capsici*는 토양 속에서 장기간 생존하면서 병을 일으키는 토양전염성

[†] Corresponding author

병원균이기 때문에 방제상 많은 어려움이 있다 [6]. 고추 역병은 살균제를 처리하여 쉽게 방제가 되지 않으며 [14], 병든 포기가 발생하게 되면 병원균이 비바람에 의해 빠른 시간 내에 인접식물로 전파되어 병을 일으키기 때문에 [2] 윤작을 실시하여 병원균의 1차 전염원을 제거하거나, 길항 미생물을 이용하는 생물적 방제 또는 저항성 품종을 재배하는 것이 가장 효과적이라 할 수 있다.

현재 고추역병방제용 살균제가 개발되어 시판되고 있지만 높은 비용과 환경파괴 및 식품잔류성 문제를 일으키고 있으며, 저항성 품종의 육성에 의한 역병의 방제가 현 단계에서는 미흡하기 때문에 상대적으로 저렴한 비용으로 장기적이며 효율적으로 역병을 방제할 수 있는 근권 길항 미생물을 이용하는 생물적 방제법의 개발이 절실히 요구되고 있다.

길항미생물을 이용하는 생물적 방제는 자연 생태계 내에서 서로 다른 두 종간에 일어날 수 있는 경쟁, 기생, 포식관계 또는 항생작용 등의 상호작용을 인위적으로 조절하여 이용하는 것으로서, 1970년대 억제토양이 토양내 미생물들의 상호작용에 의한 것으로 보고된 이후 종합적방제법의 일환으로서 활발히 수행되어져 왔으며, 많은 종류의 actinomycetes, bacteria 및 fungi에 속하는 길항미생물들이 분리되어 생물적방제에 연구되어져 왔다 [3, 4]. 특히 토양전염성병은 농약으로도 방제가 매우 어려우며, 병 발생 이후에는 치료가 거의 불가능하기 때문에 각종 토양전염성 병원균에 대한 생물학적 방제에 관한 연구가 활발히 수행되고 있다 [3]. 우리나라에서 고추 역병에 대한 생물학적 방제에 관한 연구는 1980년대 중반 이후 농업기술연구소 병리과와 농약 연구소 생물농약 연구팀을 중심으로 활발히 수행되어 고추역병균에 활성이 있는 여러 종류의 길항 세균 및 길항 진균이 분리되어 제형개발에 이르기까지 상당한 진전이 있었다 [1, 5, 7, 8, 9, 11, 13, 15, 16, 17, 18]. 그러나 실용화 단계에는 이르지 못하고 있다. 이러한 이유는 *in vitro* 및 온실실험에서 역병의 발생을 현저히 억제시키는 균주가 선발된다 하더라도 선발된 균주를 수많은 환경요인이 작용하는 실제 경작지에 적용할 경우 길항 미생물의 정착능력 및 활성의 유지가 문제되기 때문이라 할 수 있다 [6, 19].

본 연구에서는 고추 역병의 생물학적 방제 방법을 확립하기 위한 실험의 일환으로서 고추 역병균과 동일한 서식

처에서 생존하면서 상호 경쟁에 의해 역병발생에 큰 영향을 미칠 수 있는 고추의 근권토양에 서식하는 미생물 중에서 고추 역병균에 대한 길항효과가 우수한 길항 미생물을 선발하기 위해 실시하였다.

재료 및 방법

공시토양

길항 세균을 선발하기 위해 경북 경산, 경주, 영천, 의성의 고추 재배지에서 근권토양을 채집하였다. 토양표면 10~15 cm 깊이에서 약 100g의 토양을 채집하였으며, 세균의 분리는 채집 즉시 또는 저온실 (8℃)에 보관하면서 실시하였다.

세균의 순수분리

채취한 토양시료 5g을 50ml의 멸균 생리식염수가 담긴 100ml 삼각 flask에 현탁한 다음 1ml를 취하여 9ml의 살균수에 희석하고 계속 10배수로 10^5 까지 희석하였다. 10^4 및 10^5 의 각 희석액에서 200 μ l씩을 취하여 Tryptic soy agar (TSA) 와 Pseudomonas isolation agar (PA) 및 Bacillus selective agar (BA) 를 각각 15ml를 부어 굳힌 petri dish에 분주하여 도달한 다음 27℃에서 48시간 배양 후 단일 colony를 순수 분리하여 TSA에 2-3일간 배양하였다. 배양기는 모두 Merck (Germany) 제품을 사용하였다.

길항 세균의 분리 및 동정

길항효과가 우수한 균주를 선발하기 위하여 dual culture방법을 사용하였다. 순수분리 후 배양한 각 균주를 TSA 및 V-8 평판배지의 양쪽에 희석 (40mm)으로 접종한 다음 중앙에 5일간 V-8 agar에 전배양한 *Phytophthora capsici*의 균총 (5mm)을 각각 접종하였다. 27℃에서 6일간 배양 후 *P. capsici*의 균사생장을 억제시키는 균주를 1차 길항 세균으로 선발하였다. 선택배지를 사용하여 분리 후 선발한 Pseudomonas속 균은 API 20NE, Bacillus속 균은 API 50CHB system을 이용하여 동정하였다.

길항 세균 배양여액의 활성 조사

길항 세균을 TSB에 72시간 동안 27℃에서 150 rpm으로 진탕배양 후 12,000×g로 30분간 원심분리하여 상등액을 취한 후 membrane filter (0.45 μ m, Millipore)로 여과하여

배양여액을 만들었다. 이 배양여액 10 ml를 100 ml 삼각 플라스크에 넣고 역병균의 유주자를 접종한 다음 27 °C에서 120 rpm으로 24시간 진탕 배양 후 유주자의 발아율을 조사하였으며, 배양여액을 10% 농도로 V-8 juice agar에 혼합하여 만든 배양기에서 균사생장억제 정도를 조사하였다.

길항 세균의 고추 역병 억제효과 조사

선발한 길항 세균의 고추 역병 발생 억제효과 조사를 pot 실험에 의해 실시하였다. 식물재료는 서울종묘에서 연구용으로 사용하고 있는 오뎀고추를 분양 받아 사용하였다. 자연광하의 온실에서 원예용 상토 (Fisons, Canada)에 육묘한 건전 묘를 포트 (12×15cm)당 5주씩 이식하여 실험을 실시하였다. 공시 역병균은 경북대학교 김병수 박사가 밀양 고추 재배지의 이병주에서 분리한 균주를 분양 받아 사용하였다. 역병균의 접종용 유주자량의 형성은 V-8 주스 한천 배지에서 하였으며, 접종은 유주자량을 50개/g soil로 하였고, 접종 후 24시간 습실 처리한 다음 온실에서 계속 재배하면서 경시적으로 발병률을 조사하였다. 공시 길항 세균은 TSB에 48시간 진탕배양하여 10⁷cfu/ml이 되도록 현탁액을 조제하여 pot당 100 ml씩 관주하여 처리하였다. 3반복으로 3회 반복시험을 실시하였다. 역병의 발생은 접종 4일 후부터 2일 간격으로 14일 까지 조사하였다.

결 과

길항 세균의 분리

길항미생물을 이용하는 생물학적 방제에서 가장 중요한 것은 정착능력이 우수한 길항미생물을 재배지 토양에 직접 처리하여 병의 발생을 억제시키는 방법의 확립이라 할 수 있다. 일반 토양에서 우점적으로 서식하고 있으며, 특히 식물체의 근권에서 서식하면서 종류에 따라 작물의 생육을 억제하거나, 또는 병원균의 생존과 증식에 영향을 주어 병의 발생을 억제시키거나 생리활성물질을 분비하여 작물의 성장을 촉진시키는 것으로 알려진 *Pseudomonas* 속 균 [4]과 일반 토양에서 우점적으로 서식하는 *Bacillus* 속 균 [12]을 건전 고추묘의 근권에서 분리하여 생물적방제균으로 사용하고자 선택배지를 사용하여 분리하였다. 4개 지역의 건전고추 근권에서 BA 및 PA배지를 사용하여 각각 분리한 260개, 237개 균주의 고추 역병균에 대한 활성을 TSA배지상에서 dual culture에 의해 조사한 결과 327개 균주는 활성이 거의 20%미만으로 매우 낮았으며, 12개 균주는 50%이상 역병균의 균사생장을 억제시켰다 (Table 1). 근권토양의 채집장소에 따라서 특이성을 보이지는 않았으나 *Bacillus*속 균이 *Pseudomonas*속 균보다 더 많이 분리되었으며, 고추역병균에 대한 활성이 40%이하인

Table 1. Antifungal activity of bacterial isolates obtained from rhizosphere soil of red-pepper plants against *Phytophthora capsici*

Areas obtained	Medium	No. isolates with activity of inhibition rate(%)					Subtotal	Total no. isolates
		20 <	20-30	31-40	41-50	50 <		
Kyongsan	BA	61	12	9	4	3	89	168
	PA	54	7	8	6	4	79	
Kyeongju	BA	38	6	3	5	0	52	115
	PA	46	8	4	4	1	63	
Yongchon	BA	31	17	13	2	1	64	111
	PA	24	9	8	4	2	47	
Euisung	BA	41	7	5	2	0	55	103
	PA	32	7	4	4	1	48	
Total		327	73	54	31	12	497	497

The isolated bacteria were streaked (40mm) on one side of plates of the tryptic soy agar, and 48 h after incubation at 27°C mycelial disk (5 mm in diameter) of *Phytophthora capsici* was placed 35 mm distant from the bacteria. They were incubated at 27°C.

After 6 days incubation, the mycelial growth of *P. capsici* in distance (mm) of toward bacteria (a), and distance in the opposite direction from bacteria (b) were measured. The fungal growth inhibition rate (IR) was determined as follows; IR (%) = 100-(a/b×100).

균주는 Bacillus속이 243개, Pseudomonas속이 211개 분리되었다. 그러나 40% 이상 역병균의 균사생장을 억제시킨 43개 균주 중 Bacillus속 균은 17개, Pseudomonas속 균은 26개로 Pseudomonas속 균이 더 많았다. 이와 같은 결과에 의해 건전 고추묘의 근권에 서식하는 Pseudomonas spp.와 Bacillus spp.의 상관관계를 설명할 수는 없으나, 고추 역병균에 대한 길항미생물을 분리하고자할 경우 Pseudomonas 선택배지를 사용하는 것이 효과적인 것으로 사료되었다.

길항세균의 고추역병균에 대한 활성

토양전염성 병원균에 대한 길항 세균을 이용하는 생물적 방제에서는 주로 항균성물질을 분비하는 세균이 효과가 큰 것으로 보고되어 있으며 [1], 길항 미생물의 활성은 배양기의 종류에 따라 다를 수 있기 때문에 50% 이상 고추역병균의 균사생장억제 효과가 있었던 13개 균주 중 가장 효과가 높은 균주를 선발하기 위해 TSA와 V-8 agar에서 고추역병균의 균사생장억제효과를 3반복으로 3회 조사하여 활성이 높은 4개 균주를 선발하였다. 공시 모든 균주는 V-8 agar에서보다 TSA배지에서 활성이 높은 경향을 보였으며, 이는 TSA가 bacteria에 적합한 배지이며 V-8 juice agar는 역병균의 생육에 적합한 배지이기 때문으로 사료된다. TSA에서 60% 이상 역병균의 생장억제효과를 보인 균주는 Pseudomonas속 2 균주 (P0704, P1201)와 Bacillus속 2 균주 (B1901, B1101)였으며, 나머지 10개 균주는 50-60% 억제효과를 나타냈다 (Table 2). 길항효과가 현저한 4개 균주를 API 20NE system과 API 50CHB System을 사용하여 동정한 결과 P0704와 P1201은 Pseudomonas cepacia로 B1901은 Bacillus subtilis, B1101은 B. polymyxa로 각각 판단되었다.

길항 세균 배양여액의 활성조사

역병균의 균사생장을 현저히 억제시키는 4개 균주를 공시하여 배양여액의 역병균 유주자발아억제효과를 조사한 결과 (Table 3) 모든 균주의 배양여액에서 100% 발아가 억제되었다. 그러나 10% 농도에서는 균주간 차이를 보여 P0704균주의 배양여액과 B1101균주의 배양여액에서는 각각 11.4%와 17.2%가 발아하여 80% 이상 발아가 현저히 억제되었으나, P1201균주와 B1901균주의 배양여액에서는

Table 2. Inhibition rates of mycelial growth of *Phytophthora capsici* on the TSA and V-8 juice agar by various antagonistic bacteria isolated from red-pepper rhizosphere soil

Antagonistic bacteria	Inhibition rate (%) on the media	
	Tryptic soy agar	V-8 juice agar
P0101	51.5±3.4	32.4±4.6
P0301	58.9±4.2	11.8±5.2
P0704	64.8±3.7	41.2±6.3
P0803	56.3±2.1	26.5±4.8
P1201	60.0±3.5	32.4±5.0
P1301	54.2±2.2	29.5±3.6
P1502	56.7±4.7	29.5±3.4
P1801	59.4±4.8	29.5±3.6
B0101	58.4±3.9	47.1±4.2
B1401	51.5±4.7	50.0±4.8
B1901	61.2±5.2	11.8±8.2
B1101	65.8±5.4	58.9±6.4

The antagonistic bacteria were streaked (40mm) on one side of plates of the test media, and 48 h after incubation at 27°C mycelial disk (5 mm in diameter) of *Phytophthora capsici* was placed 35 mm distant from the antagonistic bacteria. They were incubated at 27°C. After 6 days incubation, the mycelial growth of *P. capsici* in distance (mm) of toward bacteria (a), and distance in the opposite direction from bacteria (b) were measured. The fungal growth inhibition rate (IR) was determined as follows; IR (%)=100-(a/b×100).

Table 3. Antagonistic effect of culture filtrates of antagonistic bacteria isolated from red-pepper rhizosphere soils on the zoosporangia germination of *Phytophthora capsici*

Antagonistic bacteria	Germination rate (%) of zoosporangia ^a		
	100% ^b	10%	1%
P0704	0	11.4±5.7	86.2±4.7
P1201	0	52.6±6.3	85.6±5.2
B1101	0	17.2±4.4	89.4±4.6
B1901	0	64.8±5.2	88.6±6.1
V-8 juice broth	87.3±6.8	87.7±7.3	89.3±5.7

The antagonistic bacteria were grown in TSB for 3~5 days at 27°C, 120rpm and their cell-free filtrates were collected by centrifugation followed by aseptic 0.45µm-filtration.

- a: Values are averages of 3-replications.
- b: Concentration of culture filtrates.

Table 4. Antagonistic effect of culture filtrates of antagonistic bacteria isolated from red-pepper rhizosphere soils on mycelial growth of *Phytophthora capsici*

Antagonistic bacteria	Inhibition rate (%) ^a
P0704	36.4±2.8
P1201	12.1±6.4
B1101	26.0±2.1
B1901	6.7±4.7

A mycelial disk (5 mm in diameter) of actively growing *Phytophthora capsici* was placed on the V-8 juice agar plate (15 ml/plate) which contained 10 ml of culture filtrates of antagonistic bacteria isolates mixed 90 ml V-8 juice agar.

After 7 days incubation at 27°C, the diameter of *P. capsici* mycelium (a) was measured, and the inhibition rate (%) was calculated from mycelial growth on V-8 juice agar (control) as follows;

Inhibition rate (%) = 100-(a/control × 100).

a: Values are averages of 3-replications.

각각 52.6%와 64.8%가 발아하여 발아 억제효과가 매우 낮았다. 배양여액을 1.0%로 희석하여 발아억제효과를 조사한 결과 공시 모든 균주에서 발아억제효과가 없었다.

배양여액 10 ml를 90 ml의 v-8 juice agar와 혼합하여 만든 배양기에서 역병균의 균사생장을 조사한 결과는 Table 4와 같다. P0704 균주와 B1101 균주의 배양여액이 혼합된 배지에서는 각각 대조구인 V-8 juice agar와 비교하였을 때 각각 36.4%, 26.0% 균사생장이 억제되었으며, P1201 균주와 B1901 균주에서는 각각 12.1% 및 6.7% 억제

되어 유주자발아억제 정도와 유사한 경향을 보였다. 이와 같은 결과는 이들 균주가 항균성물질의 생성분비에 의한 것으로 판단되었다.

길항 세균의 고추 역병 억제효과

건전 고추묘를 이식 후 고추 역병균의 유주자낭을 관주 처리하여 접종한 결과 접종 4일 후부터 이병주를 관찰할 수 있었으며 (Fig. 1), 접종 14일 후까지 경시적으로 이병률을 조사한 결과는 Table 5와 같다. 이식 6일 후에 멸균수를 처리한 대조구에서는 15식물 중 13식물에서 발병되



P0704 P. capsici Check

Fig. 1. Effect of antagonistic bacteria on disease development of *Phytophthora* blight of red peppers caused by *Phytophthora capsici*. Six days after inoculation.

Table 5. Effect of selected antagonistic bacteria on incidence of *Phytophthora* blight of red pepper plants in infested soil (3×10^4 zoosporangia/600g pot soil) in the green house

Antagonistic fungi	Number of diseased plants(/15)					
	4days ^a	6	8	10	12	14
P0101	0	1	6	13	15	- (100%) ^b
P0704	0	0	3	5	6	8(53.3%)
P1201	0	1	5	6	8	11(73.3%)
B1101	0	1	6	8	10	12(80.0%)
B1401	0	4	10	14	15	- (100%)
B1901	0	3	6	8	11	13(86.6%)
Water	4	13	15	-	-	- (100%)

a; days after inoculation, b; rate (%) of diseased plants.

어 86.7% 발병률을 보였으며, 8일 후에는 15주 모두 발병되었다. *In vitro*에서 역병균의 균사생장 및 유주자의 발아를 현저히 억제시켰던 P0704균주처리에서는 접종 14일 후 발병률이 53.3%로 46.7% 발병이 억제되었으며, P1201, B1101 및 B1901균주처리에 의해서는 각각 26.7%, 20.0% 및 13.4% 발병이 억제되었다. 그러나 *in vitro*에서의 활성이 낮았던 P0101 및 B1401균주의 처리에서는 접종 12일 후 공시 모든 식물이 발병되어 병발생억제 효과가 없는 것으로 나타나 *in vivo*에서의 효과가 공시 길항미생물이 분비하는 항균성물질에 의한 것으로 사료되었다.

본 실험에서 병발생 억제효과가 높은 것으로 선발 동정된 *Pseudomonas cepacia* 와 *Bacillus polymyxa*는 고추역병에 대한 억제효과가 있는 것으로 보고되어 있다 [5, 17]. 본 실험에서 분리, 선발한 이들 균주의 직접 관주 처리에 의한 고추역병 발생의 억제효과와 발병지연효과가 뚜렷하게 나타나 고추역병의 생물적 방제에 응용될 수 있는 가능성을 제시하였다. 그러나 실제 포장에 적용하기 위해서는 이들 균주의 처리농도에 따른 고추역병에 대한 예방효과 및 치료효과와, 제형화에 따른 활력의 유지 및 사용방법에 따른 정착능력 및 활성의 유지에 대한 연구가 수반되어야 하기 때문에 앞으로 이들 분야에 대한 시험을 수행할 예정이다.

요 약

고추 역병균에 대한 *Pseudomonas*속 및 *Bacillus*속 길항미생물을 역병균과 동일한 서식처인 근권에서 분리하고 자 4지역의 고추재배지에서 건전고추의 근권토양을 채취하여 선택배지를 사용하여 분리하였다.

*Pseudomonas*속 237개 *Bacillus*속 260개 총 497개 균주 중 327개 균주는 역병균에 대해 거의 활성이 없거나 역병균의 균사생장을 20%이하로 억제시켰으나, *Pseudomonas*속 8균주와 *Bacillus*속 4균주는 50% 이상 역병균의 균사생장을 억제시켰다. 이들 균주의 활성은 V-8 juice agar보다 TSA에서 높았으며, TSA에서 역병균의 균사생장을 60% 이상 억제시키는 균주를 선발하여 API system을 사용하여 *P. cepacia* (P0704, P1201), *B. polymyxa* (B1101) 및 *B. subtilis* (B1901)로 동정하였다. 이들 균주의 배양여액은 고추역병균의 유주자발아 및 균사생장을 억제시켜 항균성물질을 생성분비하는 균주로 판단되었다. 고추 역병발생 억

제효과를 조사한 결과 P0704가 46.7%로 가장 높았으며, 나머지 균주는 26.7%에서 13.4%로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 1997년도 대구대학교 학술연구비의 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Ahn, S. J., and Hwang, B. K. 1992. Isolation of antibiotic-producing actinomycetes antagonistic to *Phytophthora capsici* from pepper-growing soils. *Korean J. Mycol.* **20**, 259-268.
- Bowers, J. H., Sonoda, R. M., and Mitchell, D. J. 1990. Path coefficient analysis of the effect of rainfall variables on the epidemiology of Phytophthora blight of pepper caused by *Phytophthora capsici*. *Phytopathology* **80**, 1439-1446.
- Cook, R. J. 1990. Twenty-five years of progress towards biological control. p1-4. In D. Hornby(ed.), *Biological control of soil-borne plant pathogens*, CAB International, Wallingford, UK.
- Handelsman J., and Stabb, E. V. 1996. Biocontrol of soilborne plant pathogens, *Plant Cell*, **8**, 1855-1869.
- Hong, S. S., Park, K. S., Kim, C. H., and Lee, E. J. 1990. Granule formulation of *Pseudomonas cepacia* antagonistic to *Phytophthora capsici* and its viability on red-pepper. *Korean J. Plant Pathol.* **6**(4), 434-439.
- Hwang, B. K. and Kim, C. H. 1995. Phytophthora blight of pepper and its control in Korea. *Plant Disease* **79**, 221-227.
- Hwang, B. K. and Kim, E. S. 1992. Protection of pepper plants against Phytophthora blight by an avirulent isolate of *Phytophthora capsici*. *Korean J. Plant Pathol.* **8**(1), 1-7.
- Jee, H. J., Nam, C. G., and Kim, C. H. 1988. Studies on biological control of Phytophthora blight of red-pepper I. Isolation of antagonists and evaluation of antagonistic activity in vitro and in greenhouse. *Korean J. Plant Pathol.* **4**(4), 305-312.
- Kim, B. S., and Hwang, B. K. 1992. Isolation of antibiotic-producing bacteria antagonistic to *Phytophthora capsici* from pepper growing soils and evaluation of their antibiotic activity. *Korean J. Plant Pathol.* **8**, 241-248.

10. Kim, C. H. 1993. Current status of fungal and bacterial disease of hot pepper and their control measures. *J. Korean Capsicum Res. Coop.* **2**, 1-11.
11. Kim, C. H., Kim, K. D., and Jee, H. J. 1991. Enhanced suppression of red-pepper Phytophthora blight by combined applications of antagonist and fungicide. *Korean J. Plant Pathol.* **7**(4), 221-225.
12. Kim, D. S., Cook, R. J., and Weller, D. M. 1997. *Bacillus* sp. L324-92 for biological control of three root diseases of wheat grown with reduced tillage. *Phytopathology* **87**, 551-558.
13. Lee, E. J., Jee, H. J., Park, K. S., and Kim, C. H. 1990. Studies on biological control of Phytophthora blight of red-pepper IV. Performance of antagonistic agents in field under polyethylene filmhouse. *Korean J. Plant Pathol.* **6**(1), 58-64.
14. Lee, H. U., Kim, C. H., and Nam, K. W. 1991. Suppression of Phytophthora blight incidence of red pepper by cropping system. *Korean J. Plant Pathol.* **7**, 140-146.
15. Nam, C. G., Jee, H. J., and Kim, C. H. 1988. Studies on biological control of Phytophthora blight of red-pepper II. Enhancement of antagonistic activity by soil amendment with organic materials. *Korean J. Plant Pathol.* **4**(4), 313-318.
16. Park, H. H., and Kim, H. K. 1989. Biological control of Phytophthora crown and root rot of greenhouse pepper with *Trichoderma harzianum* and *Enterobacter agglomerans* by improved method of application. *Korean J. Plant Pathol.* **5**(1), 1-12.
17. Park, K. S., Hagiwara, H., and Kim, C. H. 1993. Isolation of an antibiotic substance from *Pseudomonas cepacia* antagonistic to *Phytophthora capsici*. *Korean J. Plant Pathol.* **9**(1), 1-6.
18. Park, K. S., Jang, S. W., Kim, C. H., and Lee, E. J. 1989. Studies on biological control of Phytophthora blight of red-pepper III. Formulations of *Trichoderma harzianum* and *Pseudomonas cepacia* antagonistic to *Phytophthora capsici* and their preservation. *Korean J. Plant Pathol.* **5**(2), 131-138.
19. Smith, K. P., Handelsman, J., and Goodman R. M. 1997. Modeling dose-response relationships in biological control: Partitioning host responses to the pathogen and biological agent. *Phytopathology*, **87**(7), 720-729.