Kor. J. Microbiol. Biotechnol.
Vol. 36, No. 3, 227–232(2008)

고추역병 유발병원균 *Phytophthora capsici*에 대한 *Bacillus* sp. AM-651의 항진균활성

이중복 · 신정학[1] · 장종옥[2] · 신기선[2] · 최충식 · 김건우[1] · 조민섭[1] · 전춘표[1] · 김윤회[1] · 권기석[1,*]
(주)한스바이오, [1]안동대학교 생명자원과학부, [2]한국생명공학연구원

Antifungal Activity of *Bacillus* sp. AM-651 Against *Phytophthora capsici*. **Lee, Jung-Bok, Jeong-Hak Shin[1], Jong-Ok Jang[2], Kee-Sun Shin[2], Chung-Sik Choi, Kun-Woo Kim[1], Min-Sub Jo[1], Chun-Pyo Jeon[1], Yun-Hoi Kim[1], and Gi-Seok Kwon[1,*].** *Research Center 101, Gyeongbuk Institute For Bioindustry, Songcheondong 1319-84, Andong 760-380, Korea, [1]School of Bioresource Science, Andong National University, Andong 760-749, Korea, [2]Biological Resource Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), Daejeon 305-600, Korea* – Biological antagonists of *Phytophthora capsici* were isolated from soil in Gyeongbuk, Korea. Among the isolated bacteria, a *Bacillus* sp. was identified from 16S rDNA sequence analysis and named *Bacillus* sp. AM-651. *Bacillus* sp. AM-651 strain which can strongly a antifungal activity against *Phytophthora capsici*. Culture conditions for the maximum production of the antagonistic substance were optimized. The production of antibiotic were high on modified Davis mineral medium pH 7 at 30°C. The medium for highest production of the agonistic substance optimized. It is composed the best activity on glucose, $(NH_4)_2SO_4$ and K_2HPO_4 at 0.5%, 0.1%, and 0.7%, respectively. By time course of culture solution selected *Bacillus* sp. AM-651, the culture solution after 48hrs had strongly growth inhibition rate against *P. capsici*. And culture solution of *Bacillus* sp. AM-651 was stable within a pH range 5~11 and temperature range 4~70°C. *Bacillus* sp. AM-651 cultured broth shown fungal growth inhibitory activitiy against *B. sorokiniana, B. cinerea, R. solani* avove and beyond *P. capsici* and comparatively showed a high activity against *C. gloeosporioides, B. dothidea, B. cinerea* and *F. graminearum by* agar diffusion method.

Key words: Antifungal, antibiotic, *Bacillus* sp. AM-651, *Phytiphthora capsici*, biopestcide

서 론

우리나라와 전 세계에 널리 분포하는 고추 역병인 *Phytophthora capsici*는 고추 전 생육기간에 걸쳐 발생하여 가장 심한 피해를 일으키는 대표적인 식물병원성 질병이다. 고추 역병균의 방제를 위해 사용되는 약제로는 metalaxyl, dimethomorph, tebuconazole 그리고 bemomyl 등이 있으나 [5, 6, 11], 저항성균의 계속적인 출현으로 효과적인 방제를 기대하기에 많은 어려움이 있다[3, 14, 16]. 또한 최근에는 화학 농약의 과도한 노출로 인해 토양과 작물의 잔류 및 생태계 오염 등의 환경적인 문제도 야기되고 있어 생물농약의 개발이 시급한 실정이다.

*P. capsici*는 무성포자에 의하여 번식하는 식물성 병원균이지만 서로 다른 교배형으로 유성적으로 형성되는 난포자는 유전적 변이의 주요 원인이며, 병원성의 변이가 나타나는 것으로 알려져 있다[1, 18, 21]. 이러한 고추역병은 살균제를 처리하여도 쉽게 방제가 되지 않으며, 병든 포기가 발생하게 되면 병원균이 비바람에 의해 빠른 시간 내에 인접 식물로 전파되어 병을 일으키기 때문에 윤작을 실시하여 병원균의 1차 전염원을 제거하거나, 길항미생물을 이용하는 생물적 방제 또는 저항성 품종을 재배하는 것이 가장 효과적이라 할 수 있다[7].

길항미생물을 이용하는 생물학적 방제법은 생태계 내에서 서로 다른 두 종류의 미생물간에 일어나는 경쟁현상(competition), 기생 또는 포식관계(parasitism, predation)나 항생작용(antagonism) 등의 상호작용을 인위적으로 조절, 활용함으로써 가능하게 된다[10, 20, 22]. 이러한 길항미생물의 분포나 밀도를 증가시키는 미생물농약은 첫째는 항생물질에 의한 항생작용[2, 4, 8, 9], 둘째는 식물병원성 진균세포벽 가수분해효소[19] 그리고 마지막으로는 siderophore를 통한 Fe^{3+}에 대한 경쟁적 길항작용[13, 17] 등으로 크게 3가지로 나누어 볼 수 있다.

이에 본 연구에서는 고추역병을 야기하는 *Phytophthora capsici*에 대하여 강한 항진균 활성을 나타내는 길항균주를 선발 및 동정을 하고, 그 길항균주가 생산하는 항진균성 물질의 생산성의 최적화를 검토하고, 역병방제 미생물 제제화

*Corresponding author
Tel: 054-820-5909, Fax: 054-823-1627
E-mail: gskwon@andong.ac.kr

및 생물 농약으로서 친환경농자재의 개발에 가능성과 기초를 마련하고자하였다.

재료 및 방법

길항세균의 분리 및 선발

고추역병균의 생장을 억제시키는 길항미생물을 선발하기 위해 경북 북부지역의 고추재배지 토양과 자연 경작지 토양을 균원 시료로 사용하였으며, 채취한 시료 1 g을 9 mL의 멸균생리식염수가 담긴 test tube에 현탁하여, 현탁액 100 μL씩 분취하여 LB및 NA 배지 도말한 다음 30°C에서 2일간 배양하여 미생물을 분리하였다. 순수 분리한 균주들 중 고추역병을 방제할 수 있는 균주를 선발하기 위하여 각 균주의 배양 상등액을 PDA 배지에 접종한 후 중앙에 V8 쥬스 배지에 전배양한 고추역병의 균총(5 mm)을 각각 접종하여 28°C에서 5일간 배양 후 고추역병의 균사생장을 억제시키는 균주를 최종 선발하였다.

길항세균의 동정

고추역병균의 균사생장을 억제시키는 균주중 항진균 활성 가장 우수한 균주를 선별하여 16S rDNA sequencing을 통하여 균주를 동정하고 계통분류도를 그렸다.

길항세균 배양학적 특성 및 생장 측정

최종 선발된 길항균의 배양조건에 따른 생장 및 항진균 활성물질의 생산특성을 조사하기 위하여 최소배지에 균주를 접종하고 30°C, 130 rpm으로 진탕배양 하여 600 nm에서 흡광도를 측정하였다.

길항세균의 항진균성 활성물질의 생산

길항균이 생산하는 항진균성 활성물질에 의한 고추 역병균 생육의 길항정도를 측정하기 위해 먼저 길항세균을 최소배지(0.5% glucose, 0.7% K_2HPO_4, 0.2% KH_2PO_4, 0.1% $(NH_4)_2SO_4$, 0.01% $MgSO_47H_2O$, 0.01% yeast extract)에 30°C에서 2일간 전 배양한 후 8,000 rpm에서 15분간 원심분리한 후, agar diffusion method를 이용하여 $3\times10^{6\sim7}$ cfu/mL로 *P. capsici*가 접종되어진 PDA plate에 상등액 100 μL를 점적한 paper disc(Ø8 mm)를 올려, 28°C에서 7일간 배양하여 항진균 활성을 조사하였다.

항진균성 활성물질 생산에 대한 탄소원, 질소원 및 무기염의 영향

탄소원의 첨가에 따른 항진균성 활성물질의 생산에 대한 영향을 조사하기 위하여 Davis 최소 배지(0.5% glucose, 0.7% K_2HPO_4, 0.2% KH_2PO_4, 0.1% $(NH_4)_2SO_4$, 0.01% $MgSO_4{\cdot}7H_2O$)에 탄소원으로 glucose를 제외시키고 8종의 탄소원인 glucose, fructose, mannose, sucrose, maltose, lactose, starch 그리고 pectin을 각각 0.5%씩 첨가하였으며, 질소원으로 $(NH_4)_2SO_4$를 제외시키고 13종의 질소원인 yeast extract, tryptone, malt extract, beef extract, peptone, urea, NH_4Cl, $(NH_4)_2HPO_4$, KNO_3, NH_4HCO_3, $NaNO_3$ 그리고 NH_4NO_3를 각각 0.1% 첨가하였고, 무기염의 경우 K_2HPO_4를 제외시키고 9종의 무기염인 Na_2HPO_4, NaH_2PO_4, $NH_4H_2PO_4$, $MgCl_2$, $CaCl_2$, NaCl, KCl, $CaCO_3$ 그리고 $ZnSO_4$를 각각 0.7% 첨가하여 각각에 대한 항진균성 활성물질 생산에 미치는 영향을 조사하였다. 항진균 활성은 선발된 균을 30°C에서 4일간 130 rpm으로 진탕 배양하면서 배양액을 경시적으로 채취하였으며 8,000 rpm에서 15분간 원심 분리한 상등액을 이용해 발육 균체량 측정법에 따라 항진균 활성을 조사하였다.

항진균성 활성물질 생산에 미치는 최적 pH 및 온도

1N NaOH, 1N HCl로 pH 3-11로 조절된 최적배지에 분리균주를 접종하고 4일 동안 배양하면서 경시적으로 상등액을 회수하였고, agar diffusion method에 따라 항진균 활성을 조사하였다. 항생물질 생산에 대한 온도에 영향을 조사하기 위해 25-40°C에서 4일 동안 배양하면서 경시적으로 상등액을 회수하여 diffusion method에 따라 항진균 활성을 조사하였다.

길항세균 배양액의 pH 및 온도에 대한 안정성 조사

최종 선발된 길항세균 배양액의 pH에 대한 안정성은 최적화된 배지에 분리균주를 1%(v/v)되게 접종한 후, 30°C에서 2일간 130 rpm으로 진탕 배양하여 상등액을 pH 3, 5, 7, 9 그리고 11로 조절하여 diffusion method를 이용하여 항진균 활성을 조사하였다. 온도에 대한 안정성은 상등액을 온도 -20, -4, 0, 4, 10, 20, 30, 40, 50, 70 그리고 90°C에서 30분 동안 처리하고, 110과 121°C에서 30분간 고압 열처리하여 조사하였다.

항진균 Spectrum

고추역병에 대하여 길항효과가 우수한 선발균주인 *Bacillus* sp. AM-651를 이용하여 다른 식물병원균에 대한 항진균 효과 여부를 알아보기 위하여 *Bipolaris sorokiniana, Botrytis cinerea, Rhizoctonia solani* 등의 진균 10종에 대하여 고추역병균과 동일한 실험 방법으로 조사하였다.

결과 및 고찰

길항세균의 분리 및 선발

고추역병에 대해 강한 억제활성을 갖는 길항세균의 분리 및 선발을 위해 총 300여점의 시료에서 균주를 분리하였고, 이들의 항진균 활성을 검정하여 총 8종의 균주를 선발하였다. 각 선발된 균주의 항균력은 50% 이상으로 조사된

#13이 65%, #32이 60%, #41이 51%, #46이 50%, #170이 63%, E4가 72%, JH 68%, AM-651이 90%로 이들 중 가장 길항력이 높게 나타난 AM-651을 최종 선발하여 실험에 사용하였다.

길항세균의 동정

최종 선발된 길항세균의 동정을 위하여 분리 균주인 AM-651을 LB 배지를 이용하여 30°C에서 순수 배양한 후 생화학적 특성을 조사한 결과 내생포자를 형성하는 gram positive의 간균으로, catalase test에서는 양성으로 조사되었다. 16S rDNA sequencing 결과 *Bacillus* sp.와 99%의 상동성을 나타냈다(Fig. 1). 따라서 이 균주를 최종적으로 *Bacillus* sp. AM-651로 명명하였다.

길항세균의 배양학적 특성 및 생장 측정

Bacillus sp. AM-651의 최적 pH와 최적 온도 배양시간에 따른 생장 및 항진균 활성물질의 생산특성을 조사하기 위하여 Davis 최소 배지를 변형한 배지를 이용하여 130 rpm, 30°C에서 배양한 결과 Fig. 2와 같이 배양 24시간에 가장 높은 O.D. 3.0으로 나타났으며, 최대 증식기때에 항진균활성은 20.04 mm로 나타났으며, 고추역병에 대한 항진균 활성은

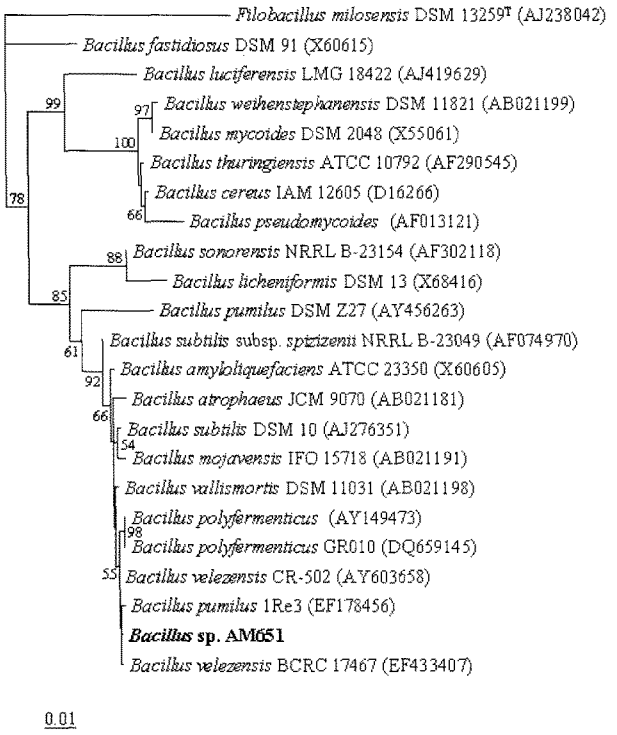


Fig. 1. Phylogenetic tree for strain AM-651 and related organisms based on 16S rDNA sequences. The distances were calculated usingthe neighbor-joining method. The numbers at the branch points are bootstrap values (based on 1000 samplings), and only values greater than 50% are shown. The GenBank accession numbers are given. *Filobacillus milosensis* DSM 13259^T was used as the outgroup.

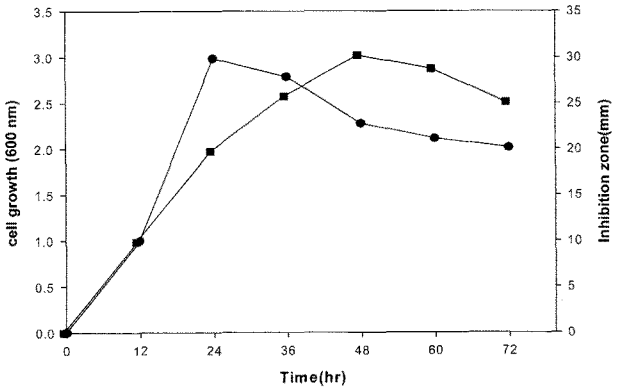


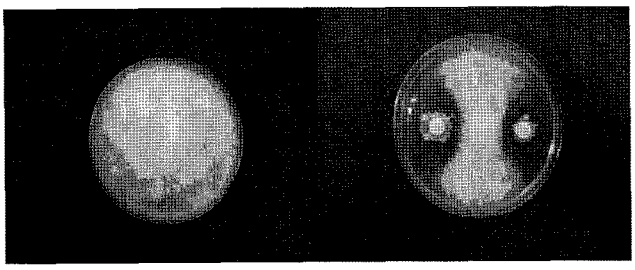
Fig. 2. Time cource of antifungal activity by *Bacillus* sp. AM-651. ●, Cell growth, ■, Inhibition zone.

가장 우수했던 배양시간은 배양후 48시간에 가장 높은 30.24 mm로 나타났다. 이러한 결과로 보아 *Bacillus* sp. AM-651은 2차 대사산물에 의해 항진균 활성을 나타냄을 추정 할 수 있다. 길항세균의 항진균 활성은 Fig. 3과 같이 PDA배지 상에서 대치배양을 실시하여 이루어졌으며, PDA배지 상에서 clear zone은 30.24 mm를 나타났으며, 이는 Lee 등의 결과[12] 보다 30% 가량 더 높은 것으로 조사되었다.

항진균 활성물질의 생산을 위한 영향 및 최적조건

Davis 최소 배지를 변형하여 영양원에 따른 항진균 항생물질 생산의 영향을 조사한 결과 전반적으로 첨가된 탄소원에 의해 항진균 활성이 조사되었다. 그 중 탄소원으로 glucose, mannose 그리고 maltose는 탄소원으로 이용하였때 항진균력이 우수하게 나타났으나, 항생물질 생산성과 경제성을 고려한다면 대량배양의 최적 탄소원으로 Table 1과 같이 74%의 항진균력을 나타낸 glucose를 최적 탄소원으로 사용하였다.

질소원에 대한 항진균성 물질의 생산성을 Davis 최소 배지에 질소원을 변형하여 조사한 결과 Table 1과 같았다. 다양한 질소원에 상당히 의존적으로 항진균 활성을 보였으며, 특히 $(NH_4)_2HPO_4$ 0.1%가 첨가된 경우 항진균능이 80%로 가장 높게 나타났다. 또한, 무기질소원보다는 유기질소원에



A B

Fig. 3. Antifungal activity of *Bacillus* sp. AM-651 against *Phytophthora capsici*. **A**. *P. capsici*, **B**. Inhibited mycelium.

Table 1. Effects of various carbon sources, nitrogen sources and salt sources on the antifungal activities from *Bacillus* sp. AM-651.

Carbon sources	Antifungal activity (%)	Nitrogen sources	Antifungal activity (%)	Salt sources	Antifungal activity (%)
		control	0		
		yeast extract	62.2	control	0
		tryptone	54.4	Na_2HPO_4	66.5
control	0	malt extract	61.1	K_2HPO_4	92.6
maltose	69	beef extract	71.1	NaH_2PO_4	52.6
fructose	43	peptone	68.8	$NH_4H_2PO_4$	69.2
mannose	70	urea	18.8	$MgCl_2$	70.5
sucrose	38	NH_4Cl	75	$CaCl_2$	50.3
glucose	74	$(NH_4)_2HPO_4$	80	NaCl	67.5
lactose	52	KNO_3	71.1	KCl	78.6
starch	65	$(NH_4)_2SO_4$	67.8	$CaCO_3$	68.3
pectin	35	NH_4HCO_3	23.3	$ZnSO_4$	83.2
		$NaNO_3$	62.2		
		NH_4NO_3	60		

Antifungal activity (%) = (inhibited zone (mm)/Control (mm))×100.

서 길항세균의 성장과 항진균 활성물질 생산능이 높게 나타났는데 이러한 결과는 *Bacillus* sp.이 생산하는 항생물질의 다른 보고들과 비슷한 결과이다[10, 19]. 그리고 기존의 보고들에 비해 본 균주인 *Bacillus* sp. AM-651은 무기질소원의 이용률이 높아 토양에서 잔류하고 있는 무기질소를 이용한 물질 생산이 충분히 유도될 것으로 사료된다.

무기염에 대한 항진균성 물질의 생산성을 조사한 결과 *Bacillus* sp. AM-651은 Table 1에서와 같이 K_2HPO_4가 92%로 가장 높은 항진균성을 보였다. 또한 비료에 다량 함유된 KCl과 Na_2HPO_4도 각각 78.6%, 66.5%의 항진균력을 보였으며, 이러한 결과로 보아 *Bacillus* sp. AM-651을 현장에 미생물 제제로 살포하였을 때 이미 토양에 잔재하던 비료 성분을 이용하여 더 높은 항진균 물질을 생산하여 방제효과가 더 효과적일 수 있을 것으로 사료된다.

항진균 활성물질 생산을 위한 *Bacillus* sp. AM-651의 최적 pH 및 온도

Bacillus sp. AM-651이 갖는 항진균 활성물질 생산을 위한 최적 pH 및 온도를 조사하기 위해 최적조건의 배지를 130 rpm에서 각각의 온도와 pH에서 조사한 결과 Fig. 4에서와 같이 강산성인 pH 3과 강알카리성 pH 11에서는 각각 8.00 mm의 항진균활성을 보였으며, 가장 높은 활성을 보인 최적 pH는 7로 방제가가 40.23 mm의 넓은 inhibition zone을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 Lim(2000) 이 보고한 pH가 산성인 조건에서 활성 물질 생산이 불안정하다는 결과와는 달리 본 균주 *Bacillus* sp. AM-651이 생산하는 항진균 물질은 넓은 범위의 pH에 대해서도 안정한 것으로 사료된다.

최적 온도에 대한 항진균 활성 영향의 결과 Fig. 4와 같이 30°C에서 배양한*Bacillus* sp. AM-651 균주가 가장 항진균 활성이 높게 나타났으며, 25~40°C까지 배양하였을 경우에도 항진균 활성효과를 보이는 것으로 조사되어졌다.

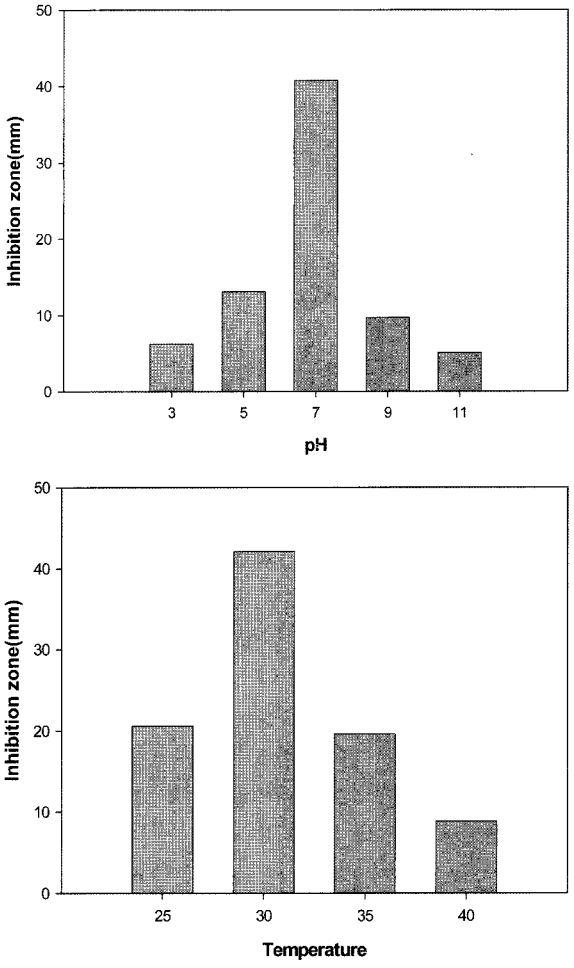


Fig. 4. Effect of pH and temperatures (°C) on the antifungal activity from *Bacillus sp.* AM-651.

Bacillus sp. AM-651 배양액의 pH 및 온도에 대한 안정성 조사

항진균 활성을 보이는 *Bacillus* sp. AM-651 배양액의 pH에 대한 안정성에 대한 실험 결과 Fig. 5에서 보는 바와 같이 배양액의 고추역병에 대한 억제력이 pH 3~11까지 넓은 범위에서 나타났다. 이러한 결과는 우리나라 토양이 산성의 특성을 가지며, 화학농약과 비료의 사용으로 더욱 산성화될 수 있는 점을 고려한다면 산성에서 안정한 본 분리균주의 항진균 활성은 현장 적용시 중요한 인자로 작용할 것으로 사료된다. *Bacillus* sp. AM-651 배양액의 온도에 대한 안정성을 조사한 결과는 Fig. 5에서 같이 30°C에서도 가장 높은 안정성을 보였으며, 저온과 고온에서도 매우 안정적으로 조사되었으며, 특히 고압 열처리한 배양액에서도 50% 이상의 활성을 보였다. 이러한 결과는 *Bacillus* sp. AM-651 배양액을 토양에 살포하였을 때 여름철 토양의 온도 변화에도 안정하여 현장 살포 후에도 방제효과는 우수할 것으로 사료된다.

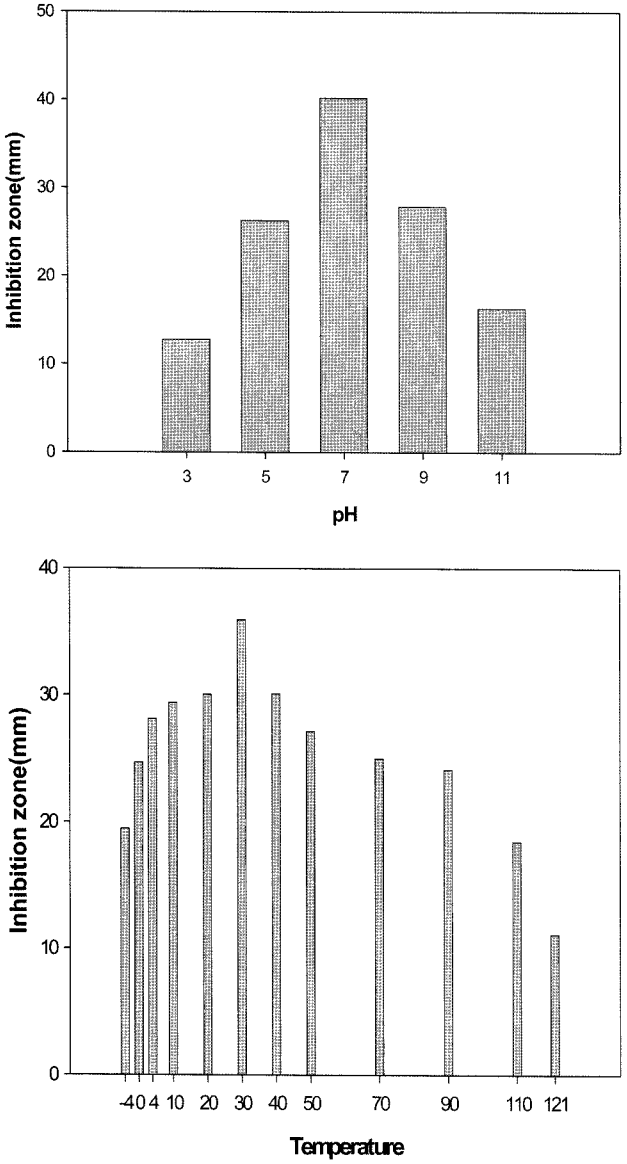


Fig. 5. Stabilites of pH and temperatures (°C) on antifungal activity from culture broth of *Bacillus* sp. AM-651.

Table 2. Antifungal activity of *Bacillus* sp. AM-651 against several plant pathogenic fungi.

Plant pathogenic fungi	Inhibition zone (mm)
Bipolaris sorokiniana	18.50
Botrytis cinerea	20.74
Rhizoctonia solani	19.68
Fusarium graminearum	20.46
Alternaria mali	17.88
Phytophthora infensi	14.11
Phytophthora capsici	32.05
Botryosphaeri dothidea	27.08
Collectrichum gloeosporioides	22.55

항진균 Spectrum

길항세균 *Bacillus* sp. AM-651이 생산하는 항진균 물질을 고추 역병외 다른 식물병원균에 대한 방제 활성을 조사하기 위하여, 총 10종의 식물병원균에 대해 항진균 활성을 고추 역병균 실험과 동일한 방법으로 확인하였다. 그 결과 Table 2에서 보는바와 같이 *A. mali*와 *P. infensi*에 대한 항진균 활성은 비교적 낮은 편이었으나, 이들을 제외한 *C. gloeosporioides, B. dothidea, B. cinerea* 그리고 *F. graminearum*에 대하여 항진균 활성이 높았으며, 이러한 결과로 보아 길항세균 *Bacillus* sp. AM-651은 고추 역병균에 가장 높은 억제활성을 나타냄과 동시에 여러 가지 식물성 병원균에 대한 넓은 항진균 spectrum의 활성이 미생물 제제로 *Bacillus* sp. AM-651을 이용할 수 있을 것이라는 가능성을 확인할 수 있었다. 또한 실용적인 친환경농자재인 생물학적 방제제로의 개발을 위해 포장실험과 제형개발 등의 다양한 조사를 진행하여야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임(과제번호: 107049-03-1-CG000).

요 약

고추 역병이 발병된 토양 시료에서 길항미생물을 선발 및 개량하여 다시 현장에 적용했을 때 방제능 및 적응력이 높은 생물 방제균을 선발하고자 총 300여점의 경북 북부지역의 토양시료로부터 길항능이 우수한 균주를 분리하였으며, 이들을 대상으로 고추 역병균에 대한 항진균력이 가장 우수한 균주 AM-651을 최종 선발하였다. 분리균주 AM-651은 생리생화학적 특성과 16S rDNA sequencing의 방법을 이용

하여 동정한 결과 *Bacillus* sp.로 동정되었다. 항진균성 활성 물질의 생산을 위한 배지의 최적조건은 Davis minimal media를 변형하여 배양하였을 경우 pH 7, 온도 30°C 조건에서 고추 역병균에 대한 항진균 활성이 높았으며, 탄소원으로는 0.5% glucose, 질소원으로는 0.1% $(NH_4)_2SO_4$, 무기염으로는 0.7% K_2HPO_4를 첨가 하였을 때 가장 높은 활성을 보였다. 선발된 *Bacillus* sp. AM-651 균주를 시간대별로 배양 후 항진균력을 측정 해 본 결과 48시간 배양액에서 고추 역병균에 대한 억제율이 가장 높았다. 또한, *Bacillus* sp. AM-651의 배양액은 pH와 온도의 변화에서 안정된 활성을 보였다. *Bacillus* sp. AM-651은 고추 역병 외에도 *B. sorokiniana, B. cinerea, R. solani* 등에 대하여 항진균 활성이 높았고, 다른 식물성 병원균에 대해서도 비교적 항진균 활성이 높게 나타났다. 열처리한 *Bacillus* sp. AM-651배양 상등액은 처리전과 비슷한 항진균 활성을 가지므로 열에 안정한 물질인 것으로 추측되었다.

REFERENCES

1. Bowers, J. H. and Mitchell, D. J. 1991. Relationship between inoculum level of *Phytophthora capsici* and mortality of pepper. *Phytopathol.* **81:** 178-184.
2. Chung, B. K. and M. J. Kang. 1990. Effect of temperature and nutrition affecting zoospore formation of *Phytophthora capsici* causing red pepper fruit rot. *Kor. J. Mycol.* **18:** 203-208.
3. Davidse, L. C., D. Looigen, L. J. Turkensteen, and D. Van der Wal. 1981. Occurrence of metalaxyl-resistant strains of *Phytophthora infestans* in Dutch potato field. *Neth. J. Pl. Path.* **87:** 65-68.
4. Gregory, K. F., O. N. Allen, A. J. Riker, and W. H. Peterson. 1952. Antibiotics as agents for the control of certain damping-off fungi. *Am. J. Botany.* **9:** 405-415.
5. Hwang, B. K. and B. S. Kim. 1995. *In-vivo* efficacy and *in-vitro* activity of tubercidine, and antibiotic nucleoside, for control of *Phytophthora capsici* blight in *Capsicium annuum. Pestic. Sci.* **44:** 225-260.
6. Kim, K. D., S. Nemec, and G. Musson. 1997. Control of phytophthora root and crown rot of bell pepper with composts and soil amendments in the greenhouse. *Apple. Soil Ecol.* **5:** 169-179.
7. Kim, S. D. and H. S. Lim. 1990. The role of chitinase of *Pseudomonas stutzeri* YPL-1 in biocontrol of *Fusarium solani. Kor. J. Microbiol. Biotechnol.* **18:** 88-94.
8. Kim, S. H., H. J. Suh, and C. O. Kim. 1993. Taxonomy, purification and physicochemical properties of novel antifungal antibiotic AF-011A. *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* **6:** 556-536.
9. Kim, Y. S. and S. D. Kim. 1994. Antifungal mechanism and properties of antibiotic substances produced by *Bacillus subtilis* YB-70 as a biocontrol agent. *J. Microbiol. Biotechnol.* **4:** 296-304.
10. Kim, Y. S. 1992. Biocontrol bacteria, *Bacillus subtilis* YB-70 producing the antifungal antibiotics and genetic improvement. *Department of applied microbiology, Graduate school Yeungnam University.*
11. Lamour, K. H. and M. K. Hausbeck. 2000. Mefenoxam insensitivity and the sexual stage of *Phytophthora capsici* in Michigan cucurbit fields. *Phytopathol.* **90:** 369-400.
12. Lee, E. T. and S. D. Kim. 2001. An antifungal substance, 2,4-diacetylphloroglucinol, produced from antagonistic bacterium *Pseudomonas fluorescens* 2112 against *Phytophthora capsici. Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* **29:** 37-42.
13. Lim, H. S., J. M. Lee, and S. D. Kim. 2002. A plant growth promoting Pseudomonas fluorescens GL20 - mechanism for disease suppression, outer membrane receptors for ferric siderophore, and genetic improvement for increased biocontrol efficacy. *J. Microbiol. Biochnol.* **12:** 240-249.
14. Lim, T. H., T. H. Chang, and B. J. Cha. 1998. Incidence of benzimidazole- and dicarboximide-resistant isolates of *Monilinia fructicola* from over-wintering memmies and peduncles on peach trees. *Kor. J. Plant Pathol.* **14:** 367-370.
15. Lim, J. N. 2000. Phytophthora Diseases in korea. *Plant Pathology Div. National Institute of Agricultultural Sicence and Technology, Rural Development Administration, Suwon* 441-707. Korea.
16. Oh, J. S. and C. H. Kim. 1992. Varying sensitivity to metalaxyl of Korean isolates of *Phytophthora capsici* from red pepper field. *Kor. J. Plant Pathol.* **8:** 29-33.
17. Paulitz, T. C. and J. E. Loper. 1991. Lack of a role for fluores cent siderphore production in the biological control of Phythium damping-off of cucumber by a strain of *Pseudomonas putida. Phytopathol.* **81:** 930-935.
18. Ristaino, J. B. 1990. Intraspecific variation among isolates of *Phytophthora capsici* from pepper and cucurbit fields in North in North Carolina. *Phytopathol.* **80:** 1253-1259.
19. Shin, Y. J. 2000. Isolation, characteristics and structural analysis of the antifungal antibiotic from *Bacillus sp.* YJ-63. *Department of applied microbiology, Graduate school Dongeui University.*
20. Someya, N. and N. Kataoka. 2000. Biological control of cyclamen soilborne disease by *Serratia marcescens* strain B2. *Plant disease.* **4**: 294-299.
21. Yoo, S. J. and H. G. Kim. 2002. Distribution and alteration of mating type of *Phytophthora capsici* population from red pepper in Korea. *Kor. J. Mycol.* **30:** 152-156.
22. Yoo, J. H., B. H. Song, J. G. Kim, M. H. Lee, and S. D. Kim. 1995. Genetic organization and nucleotide sequencing of the urea gene cluster in *Bacillus pasteurii. Mol. cell.* **5:** 359-369.

(Received May 15, 2008/Accepted July 1, 2008)