

Bacillus sp. GJ-1의 *Phytophthora capsici*에 대한 항진균활성

이건주¹ · 한준희¹ · 신종환¹ · 김흥태² · 김경수^{1*}

¹강원대학교 응용생물학과, ²충북대학교 식물의학과

Antifungal Activity of *Bacillus* sp. GJ-1 Against *Phytophthora capsici*

Gun-Joo Lee¹, Joon-Hee Han¹, Jong-Hwan Shin¹, Heung Tae Kim² and Kyoung Su Kim^{1*}

¹Department of Applied Biology, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

²Department of Plant Medicine, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

ABSTRACT: *Phytophthora capsici* is one of major limiting factors in production of pepper and other important crops worldwide by causing foliage blight and rot on fruit and root. Increased demand for the replacement of fungicides has led to searching a promising strategy to control the fungal diseases. To meet eco-friendly agriculture practice, we isolated microorganisms and assessed their beneficial effects on plant health and disease control efficacy. A total of 360 bacterial strains were isolated from rhizosphere soil of healthy pepper plants, and categorized to 5 representative isolates based on colony morphology. Among the 5 bacterial strains (GJ-1, GJ-4, GJ-5, GJ-11, GJ-12), three bacterial strains (GJ-1, GJ-11, GJ-12) presented antifungal activity against *P. capsici* in an fungal inhibition assay. In phosphate solubilization and siderophore production, the strain GJ-1 was more effective than others. The strain GJ-1 was identified as *Bacillus* sp. using 16S rDNA analysis. *Bacillus* sp. GJ-1 was also found to be effective in inhibiting other plant pathogenic fungi, including *Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum* and *Fusarium solani*. Therefore, the *Bacillus* sp. GJ-1 can serve as a biological control agent against fungal plant pathogens.

KEYWORDS: Antifungal activity, Biological control, Phosphate solubilization, Siderophore

서론

우리나라 노지고추 재배면적은 약 61,900 ha이며, 이 중 역병 발병 피해면적은 12,300 ha로써 전체 고추재배 면적의 19.9%를 차지하고 있다. 이와 같이 고추역병은 고추재배에 있어 피해가 심각한 병으로 우리나라 고추생산에 큰 감수요인이 되고 있다. 이 병은 묘상부터 전 생육기간에 걸쳐 발생하며 역병이 발생하기 쉬운 여름철 장마기에 물

빠짐이 나빠지거나 침수에 의해 피해가 증가한다(Hwang, 1995). 고추역병의 방제를 위해 사용되는 무분별한 화학농약으로 식물병원균들의 저항성 획득과 수질오염, 토양의 산성화 그리고 토양·작물의 농약 잔류 및 생태계 오염의 문제를 일으키고 있다. 최근 들어 유기농 및 친환경 농산물을 선호하기 때문에 친환경농업을 위한 지속적인 생물농약의 개발과 필요성이 급증하고 있다(Jung *et al.*, 2005). 따라서 유용미생물을 이용한 생물학적 방제가 좋은 대안으로 제시되고 있다. 이러한 유용미생물은 진균 외막가수분해효소인 chitinase, β -1,3-glucanase와 같은 가수분해효소에 의해 식물병원균의 세포벽을 분해시키는 용균작용(Shin, 2000; Han *et al.*, 1999), 유용미생물이 생산하는 항진균성 항생물질에 의해 직접 식물병원균의 생육을 저해시키는 항생작용(Chung and Kang, 1990; Kim and Kim, 1994), 유용미생물이 분비하는 철(Fe^{3+}) 성분 결합물질인 siderophore생산에 의해 식물병원균의 생육을 저해하는 경쟁적 길항작용(Lim *et al.*, 2002) 등 크게 3가지가 알려져 있다. siderophore생산에 의한 경쟁적 길항작용은 토양 전염병을 감소시키며, 기주식물의 근권 정착능력을 촉진함으로써 작물의 성장을 양호하게 하여 수확량을 증대할 수 있는 매우 효과적인 생물학적 방제 방법이다(Glick *et al.*,

Kor. J. Mycol. 2013 June 41(2): 112-117
<http://dx.doi.org/10.4489/KJM.2013.41.2.112>
 pISSN 0253-651X
 ©The Korean Society of Mycology

*Corresponding author
 E-mail : kims@kangwon.ac.kr

Received May 5, 2013
 Revised June 10, 2013
 Accepted June 18, 2013

©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.

1999). 또한, 인산은 무기 인산염 형태로 토양에 사용되는 식물의 필수 양분이지만, 많은 부분이 불용화 되어 식물이 직접적으로 흡수할 수 없게 된다. 이러한 인산의 특성은 화학비료 가격을 높일 뿐만 아니라 토양 비옥도면에서도 역효과를 낼 수도 있다. 따라서 선발된 유용미생물을 토양에 투입하면 난용성 인산염의 분해로 식물의 생장에 직접적인 영양원으로 가용화시켜 인의 공급을 원활히 하여 생장촉진효과를 볼 수 있다(Ahmad *et al.*, 2009; Kim and Kim, 2006; Lee *et al.*, 2004).

따라서 본 연구는 건전한 고추 재배 근권 토양에서 병발생을 억제하며 서식하는 미생물 중 고추역병에 대한 항진균활성이 크고, siderophore의 생산능력이 우수하며, 인산가용화 능력이 높은 유용미생물을 선발하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

균원 시료 채집

항진균활성을 나타내는 유용미생물을 분리하기 위하여 역병피해를 보이지 않는 춘천지역 고추 재배지에서 토양 시료를 채집하였다. 그리고 실험실로 옮겨 4°C에 보관하면서 균원 시료로 사용하였다.

배지 및 배양조건

채취한 시료로부터 유용미생물을 분리하기 위하여 토양 시료 1 g을 생리식염수(NaCl 0.85%) 9 mL에 현탁하고 test tube에 10^{-5} 의 농도로 희석하여 NA[Nutrient agar; beef extract 0.3%(w/v), peptone 0.5%(w/v), agar 1.5%(w/v), Difco, USA], LB[Luria Bertani Agar; tryptone 1%(w/v), yeast extract 0.5%(w/v), NaCl 0.5%(w/v), Difco, USA]배지에 도말하여 28°C에서 2일간 배양하였다. 배양 후 다시 2~3회 정도 계대 배양을 통해 순수 분리하였다. 순수분리된 균주는 20% glycerol에 현탁하여 deep-freezer(-70°C)에 보관하며 연구를 진행하였다. 유용미생물의 고추역병에 대한 항진균력을 검정하기 위하여 항생제가 포함되지 않은 V8A[V8 juice 10%(w/v), CaCO₃ 0.001%(w/v), agar 1.5%(w/v)]배지를 사용하였다.

병원균의 선발

순수 분리된 유용미생물들의 항진균 능력을 검정하기 위하여 *Phytophthora capsici*(KACC 44716), *Rhizoctonia solani*(KACC 40146), *Pythium ultimum*(KACC 42265), *Fusarium solani*(KACC 44891)를 농촌진흥청 농업유전자원정보센터로부터 분양받아 본 연구에 사용하였다.

항진균성을 통한 유용미생물의 선발

선발된 균주의 항진균성을 검정하기 위해 V8A배지에서 7일간 배양된 고추역병균의 균사 선단부에서 cork borer(직

경 5 mm)로 분리한 agar disk를 사용하였다. 그리고 선발된 균주들은 각각 LB 액체배지에 28°C, 200 rpm으로 진탕 배양하였다. 배양액의 O.D 값을 0.8로 맞추고 키워놓은 고추 역병 agar disc와 5 cm 떨어진 곳에 8 mm의 paper disc를 놓고 유용미생물 배양액을 각각 20 µL씩 접종하였다. 이후 25°C에서 대치배양 후 형성되는 병원균의 균사생육 저지대를 조사하여 항진균성을 검정하였다. 선발된 균주를 이용하여 *R. solani*, *P. ultimum*, *F. solani*에 대한 항진균성도 동일한 방법으로 확인하였다.

Siderophore 활성 검정

선발된 균주의 siderophore 활성을 알아보기 위해 Chrome azurol sulfonate(CAS, sigma, USA) assay를 사용하였다. CAS 염료용액은 증류수 50 mL에 CAS 60 mg을 녹이고, HCl용액(10 mM) 10 mL에 2.7 mg의 FeCl₃ · 6H₂O를 녹였다. 그리고 73 mg의 HDTMA(Hexadecyltrimethylammonium bromide)를 증류수 40 mL에 녹여 빛이 들어가지 않도록 하고, 세 용액을 혼합하여 고압 멸균하였다. 다음 증류수 750 mL, Minimal Media 9 salt 10X stock solution 100 mL, agar 15 g, Pipes 30.24 g, 10% casamino acid 용액 30 mL, 20% glucose stock과 NaOH stock과 vitamin 등을 혼합한 용액(pH 6.8)을 고압 멸균하여 50°C로 식힌 후 준비해 둔 CAS 염료용액을 거품이 나지 않도록 첨가하여 plate에 분주하여 CAS 평판배지를 준비하였다. CAS 평판배지에 선발된 균주 배양액을 8 mm의 paper disc에 각각 20 µL 씩 접종하였으며, control로 LB 액체배지를 사용하였다. 28°C 인큐베이터에 2일간 배양 후 orange halo zone 형성 유무를 관찰하여 siderophore 생산 여부를 판단하였다.

Phosphate solubilizing 활성 검정

유용 미생물이 난용성 인산염의 분해로 식물의 생장에 직접적인 영양원인 인의 공급을 원활히 하여 생장촉진효과를 나타내는지 알아보기 위하여 불용성 인산이 0.5%가 포함된 Pikovskaya's agar[Ca₃(PO₄)₂ 5 g, glucose 10 g, (NH₄)₂SO₄ 0.5 g, KCl 0.2 g, MnSO₄ 0.1 mg, FeSO₄ 0.1 mg, yeast extract 0.5 g, agar 15 g, 증류수 1 L] 배지를 이용하여 활성 검정 실험을 하였다. Pikovskaya's agar 배지에 지름 8 mm의 filter paper를 깔고 선발된 균주의 배양액을 20 µL씩 접종하였다. 28°C 인큐베이터에 2일간 배양하고 clear zone 형성 유무로 인산가용 활성을 검정하였다.

16S rDNA 분석을 통한 유용미생물 동정

선발된 균주를 동정하기 위하여 16S rDNA 염기서열을 분석하였다. 선발균주를 LB broth 배지에 접종하여 shaking incubator에 28°C, 200 rpm으로 배양하였다. DNA를 추출하기 위해서 Wizard genomic DNA purification kit(Promega, USA)에 기술된 방법에 따라 DNA를 추출하였다. 추출된 genomic DNA에서 16S rDNA 부분을 증폭하기 위하여 universal 518F(CC

AGCAGCCGCGGTAATACG), 800R(TACCAGGGTAT CTAATC C) 프라이머를 사용하여 PCR하였으며 PCR 산물의 확인을 위하여 1% agarose gel에 전기영동하여 EtBr solution에 넣어 염색한 후 UV에서 확인하고 Fragment DNA purification kit(Intron, Korea)에 기술된 방법에 따라 gel elution을 수행하였다. DNA sequence는 Solgent Co. Ltd에 동정을 의뢰하였으며, 염기서열분석 결과는 미국 국립생물공학정보센터[National Center for Biotechnology Information(NCBI)]의 BLASTN으로 Genbank에 등록된 염기서열과 상동성을 비교하여 선발균주를 동정하였다.

결 과

유용미생물의 분리 및 길항능력 검증

고추역병 피해를 보이지 않으며 고추재배지 근권에서 토양시료를 채취하여 총 360여점의 미생물 콜로니를 분리하였으며, 이들 콜로니의 색깔과 모양 등의 형태학적 특징을 기준으로 총 12개의 그룹으로 재분류하였다. 순수 분리한 12개 그룹의 각각의 대표 균주에 대하여 길항성 검정을 수행하였다. Fig. 1은 12개의 대표 균주 중에서 *P. capsici*의 균사 성장을 억제하는 길항효과를 보인 3개의 균주(Fig. 1A, 1D, 1E)와 길항능력이 없는 대표 균주(Fig. 1B, 1C)를 보여 주고 있다. 길항효과 검증 결과에 기반하여, 길항효과가 있는 3개의 균주(GJ-1, GJ-11, GJ-12)와 길항효과가 없는 2개의 균주(GJ-4와 GJ-5)를 대조균으로 선발하였다.

Siderophore 활성 검증

선발된 유용미생물의 siderophore 활성 검정을 CAS assay를 통하여 진행하였다. CAS배지에 선발된 토양근권세균 배양액을 넣고 28°C에서 2일간 배양하면 siderophore 활성이 높은 균주는 강한 킬레이트물질인 siderophore를 분비하여 CAS배지에 포함된 철(Fe³⁺)과 결합하게 되어 푸른색이 옅은 지색으로 변화됨으로써 확인 할 수 있었다. 선발된 5균주 중 GJ-1과 GJ-5 균주가 CAS 배지에서 orange halo zone을 상당히 크게 형성하여 siderophore 활성이 높은 균주로 확인되었다(Fig. 2A, 2C). 반면에 GJ-4, GJ-11, GJ-12 균주는 약간의 siderophore 활성능력을 보였으나, GJ-1, GJ-5 균주와 비교해서 매우 적은 것으로 나타났다(Fig. 2B, 2D, 2E).

Phosphate solubilization 활성 검증

유용미생물은 토양중의 난용성 인산염을 가용화시켜 식물이 쉽게 이용할 수 있게 하는 작용을 한다. 따라서 선발된 5균주로 불용성 인산이 0.5%가 포함된 Pikovskaya's agar 배지를 이용하여 인산가용 활성 검정을 하였다. Pikovskaya's agar 배지의 인 성분을 분해하게 되면 배지상에서 clear zone을 형성하는 것을 볼 수 있다. 선발된 GJ-1, GJ-5, GJ-12 균주는 난용성 인산염을 분해하는 활성을 보였으며, GJ-4와 GJ-11 균주는 활성이 없는 것으로 나타났다(Table 1).

GJ-1 균주의 동정

고추 역병에 길항성을 보인 세 개의 균주(GJ-1, GJ-11, GJ-12)중에서 siderophore 활성능력이 뛰어나고 phosphate solubilization 활성이 있는 GJ-1에 대해서 16s rDNA 염기서열 분석을 통해 동정하였다. 분석된 염기서열을 NCBI의 Gen Bank의 BlastN database와 DNA 염기서열을 비교해본 결과

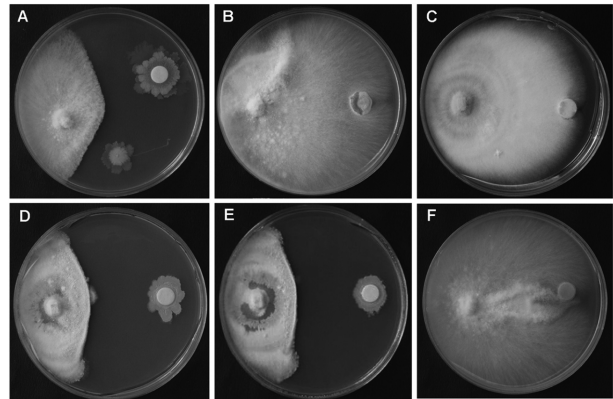


Fig. 1. Inhibition of mycelium growth of *Pytophthora capsici* by the selected rhizobacterial strains on V8A medium at 7 days after inoculation. (A) GJ-1, (B) GJ-4, (C) GJ-5, (D) GJ-11, (E) GJ-12, (F) control.

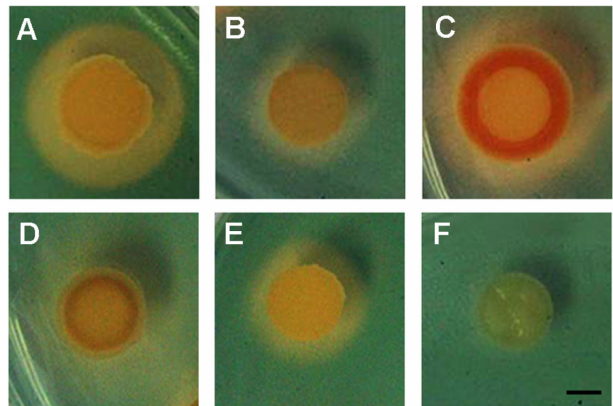


Fig. 2. Orange halo zone formation of the siderophore produced by selected rhizobacterial strains in CAS medium. (A) GJ-1, (B) GJ-4, (C) GJ-5, (D) GJ-11, (E) GJ-12, (F) control. Bar = 4 mm.

Table 1. Phosphate solubilization ability of selected rhizobacteria strains on Pikovskaya's agar medium

Isolates	Phosphate solubilization ability ^a
GJ-1	P
GJ-4	A
GJ-5	P
GJ-11	A
GJ-12	P
Control	A

^aP=present, A=absent

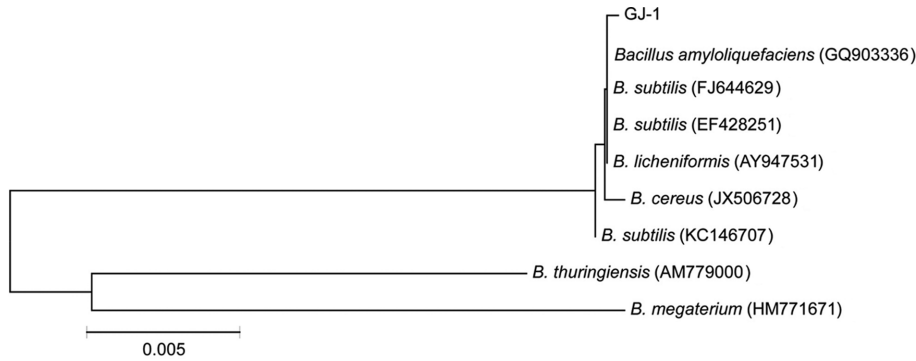


Fig. 3. Phylogenetic tree by neighbor-joining method based on 16S rDNA sequences of *Bacillus* strains. The scale bar represents 0.005 nucleotide substitutions per site.

Table 2. Antifungal effect of selected rhizobacterial strains against other fungal plant pathogens

Isolates	Fungal plant pathogens		
	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Pythium ultimum</i>	<i>Fusarium solani</i>
GJ-1	+++ ^a	++	+++
GJ-4	-	-	-
GJ-5	-	-	-
GJ-11	++	-	++
GJ-12	-	-	-
Control	-	-	-

^aDetermined by measuring the average diameter of clear zone of inhibition, - = no inhibition; + = 0.5 to 1 cm; ++ = 1.1 to 2 cm; +++ = 2.1 to 3 cm.

Bacillus species에 속하는 *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. licheniformis* 와 99% 이상 높은 유사도를 보여 최종적으로 선발 유용미생물 GJ-1을 *Bacillus* sp.로 명명하였다(Fig. 3).

GJ-1 균주의 항진균활성 범위

선발된 유용미생물 GJ-1 균주의 고추 역병 이외의 적용 범위를 알아보기 위하여 난방제 식물병원성 진균에 대한 항진균활성을 조사하였다. 식물병원성 진균으로는 *Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum*, *Fusarium solani*를 사용하였다. 그 결과 선발된 유용미생물 GJ-1 균주는 고추역병균인 *P. capsici*와 더불어 난균강에 속해있는 *Pythium ultimum* 에도 높은 길항성을 보였으며, 또한 담자균에 속해있는 *R. solani*와 자낭균에 속해있는 *F. solani*에 대해서는 높은 길항성을 보였다(Table 2). GJ-11 균주는 *P. capsici*에는 길항성을 보인 반면에(Fig. 1D), *P. ultimum*에는 길항효과가 없는 것으로 나타났다. 하지만, *R. solani*와 *F. solani*에 대해서는 길항효과를 보였다. GJ-12 균주는 GJ-4, GJ-5와 동일하게 *R. solani*, *P. ultimum*, *F. solani* 에 대해서 길항효과가 없는 것으로 나타났다(Table 2).

고찰

고추 역병균은 비바람에 의해 빠른 시간 내에 인접식물로 전파되어 병을 일으키기 때문에 매년 큰 문제를 일으킨다(Bowers *et al.*, 1990). 고추 역병균의 방제를 위해 사용되는 약제는 metalaxyl, dimethomorph, tebuconazole 그리고 benomyl 등이 있으나, 저항성균의 계속적인 출현으로 효과적인 방제를 하기에 많은 어려움이 있다(Hwang and Kim, 1995; Davidse *et al.*, 1981). 최근 화학 농약의 과도한 노출로 인해 토양과 작물의 농약잔류 및 생태계 오염 등의 환경적인 문제도 야기되고 있어 유용미생물을 이용한 생물학적 방제가 가장 바람직한 방제 방법으로 대두되고 있다.

이에 본 연구에서는 고추역병에 피해를 보이지 않는 건전한 고추재배지 식물 근권에서 선발한 균주들 중에서 GJ-1, GJ-11 그리고 GJ-12 균주가 고추역병균의 균사 생육 저지를 나타내는 길항효과가 있는 것을 확인하였다. 세균이 생산하는 항생물질은 *Bacillus*속에서 많은 연구가 진행되었으며 진균의 세포벽을 분해하는 효소인 cellulase, amylase, glucanase 등(Phister *et al.*, 2004)과 iturin, surfactin과 bacillomycin 등의 lipo-cyclopeptide계의 항생물질을 생산한다(Bais *et al.*, 2004; Spadaro *et al.*, 2005). 따라서 동정된 유용미생물 *Bacillus* sp. GJ-1은 식물병 방제에 유용한 균주라 사료된다. 또한 GJ-1 균주는 고추역병균 뿐만 아니라, *P. ultimum*, *R. solani*, 그리고 *F. solani*와 같은 주요 식물병원균에 대해서도 높은 길항력을 보였다. 시험에 사용된 식물병원균들은 서로 다른 분류그룹에 속해있는 병원균이기 때문에 GJ-1 균주의 길항효과는 폭넓은 스펙트럼을 가진다고 설명할 수 있다. GJ-1 균주의 길항효과에 대한 추가적인 연구는 GJ-1 균주가 생성하는 항생물질과 효소에 대한 이해와 활용 측면에서 중요한 부분이 될 것이라 사료된다.

Siderophore는 식물의 근권에서 철 이온(Fe³⁺)을 선택적으로 흡수하여 병원성 진균의 철 이온 흡수를 방해함으로써 식물병원성 진균을 고사시킨다. 기존 연구에서 siderophore의

활성을 강하게 보이는 *Pseudomonas*속의 속하는 미생물이 식물병원균을 억제 시킬 뿐만 아니라 식물생장촉진 효과도 있다는 연구가 있다(Katiyar and G. Reeta, 2004; Kwon *et al.*, 2004). 그리고 auxin과 siderophore를 동시에 생산하는 *Bacillus subtilis*에 대한 연구도 보고되었다(Kim *et al.*, 2006). 이에 본 연구에서 CAS배지를 이용한 siderophore의 생산능력을 비교한 결과 선발 유용미생물 GJ-1, GJ-5 두 균주가 siderophore의 활성이 뛰어난 것을 알 수 있었다. 하지만, GJ-1과는 달리 GJ-5는 본 연구에서 실험한 4개의 식물병원균에 대해서 길항작용이 없는 것으로 나타나서 siderophore 생성에 의한 식물병원균의 길항효과에 있어 보조적인 역할을 한다고 고려할 수 있다.

식물 생장에 필요한 영양소 가운데 중요한 역할을 하는 성분 중 하나인 인(P)은 주로 핵산, 인지질, phytates 등을 구성하며, 세포분열이 활발히 일어나는 성장점과 어린 식물에 가장 많이 함유되어있다(Ahmad *et al.*, 2009). 인산 가용화 능력이 뛰어난 유용미생물은 토양 내에 존재하는 불용성 인산을 가용화시켜 식물체가 흡수하도록 만들어주는 역할을 한다. 본 연구에서 불용성 인산이 0.5%가 포함된 Pikovskaya's agar 배지를 이용하여 선발균주 GJ-1이 인산가용화활성이 가장 뛰어난 것을 알 수 있었다. 따라서 분리한 토양근권세균 중 고추역병균에 강한 항균활성을 나타내며 siderophore를 생산하고 인산가용화 능력이 뛰어난 유용미생물 GJ-1을 선발하였다. 선발된 GJ-1 균주의 16S rDNA 염기서열을 분석한 결과 *Bacillus* species에 속하는 *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. licheniformis* 와 매우 높은 상동성을 보여 *Bacillus* sp.로 명명하였다. 선발된 *Bacillus* sp. GJ-1 균주는 고추역병균 뿐만 아니라, 모잘록병과 뿌리썩음병을 일으키는 난방제 식물병원성 진균에도 뛰어난 항진균 활성을 보였으며, 높은 siderophore 활성 능력과 인산가용화능력을 나타낸 점을 고려할 때, 유용한 미생물로써 활용 가능성을 확인 할 수 있었다. 실용적인 생물학적 방제제로의 개발을 위해, GJ-1 균주의 포장에서의 활성능력 검정과 길항물질 탐색에 대한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이라 사료된다.

적 요

*Phytophthora capsici*는 고추에 역병을 일으켜 우리나라 뿐만 아니라 전 세계적으로 심각한 피해를 주는 대표적인 식물병원균이다. 최근 환경문제로 화학 농약을 대체하여 유용미생물을 이용한 생물학적 방제가 가장 바람직한 방제 방법으로 대두되고 있다. 본 연구에서는 고추역병에 피해를 보이지 않는 건전한 고추재배지 근권에서 토양시료를 채취하여 토양근권세균을 분리하였다. 총 360여점의 미생물 콜로니를 분리하였으며, 이들 콜로니의 색깔과 모양 등의 형태학적 특징을 기준으로 총 12개의 그룹으로 재분류하였다. 그 중 항균작용을 알아보기 위해 실시한 *in vitro* 실험에서 고추역병균에 길항효과를 보인 GJ-1, GJ-11,

GJ-12 균주를 분리하였으며 길항효과가 없는 균주 2개(GJ-4, GJ-5)를 대조균으로 선발하였다. 선발된 5균주에 대하여 siderophore의 활성을 검정한 결과 GJ-1과 GJ-5 두 균주가 CAS 배지에서 orange halo zone을 크게 형성하여 siderophore를 많이 분비하는 균주로 확인되었다. 그리고 토양중의 난용성 인산염을 가용화시켜 식물의 생장촉진효과를 보이는 phosphate solubilization 활성을 검정한 결과 GJ-1, GJ-5, GJ-12 균주가 난용성 인산염에 대한 분해능력을 나타내었다. 따라서 *P. capsici*에 강한 항균활성을 나타내며 siderophore를 생산하고 인산가용화 능력이 뛰어난 유용미생물 GJ-1을 최종적으로 선발하였다. 최종 선발된 GJ-1균주를 동정하여 *Bacillus* sp.로 명명하였다. *Bacillus* sp. GJ-1의 길항작용은 *Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum*, *Fusarium solani*에 대한 식물병원성 진균에서도 좋은 효과를 나타내었다. 따라서 *Bacillus* sp. GJ-1은 생물학적 방제제로 고추역병균을 포함하여 다른 토양 식물병원성 진균 방제에 이용 가치가 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 강원대학교 학술연구 조성비와 농촌진흥청 공동연구사업 연구과제(과제번호: PJ0093242013)의 지원에 의해 수행되어진 것입니다.

참고문헌

- Khan, A. A., Jilani, G., Akhtar, M. S., Nagvi, S. M. S. and Rasheed, M. 2009. Phosphorus Solubilizing Bacteria: Occurrence, Mechanisms and their Role in Crop Production. *J. Agric. Biol. Sci.* 1:48-58.
- Bais, H. P., Fall, R. and Vivanco, J. M. 2004. Biocontrol of *Bacillus subtilis* against infection of Arabidopsis roots by *Pseudomonas syringae* is facilitated by biofilm formation and surfactin production. *Plant Physiol.* 134: 307-319.
- 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.
- Chung, B. K. and Kang, M. J. 1990. Effect of temperature and nutrition affecting zoospore formation of *Phytophthora capsici* causing red pepper fruit rot. *Kor. J. Mycol.* 18:203-208. (in Korean).
- Davidse, L. C., Looigen D., Turkensteen L. J. and Van der Wal, D. 1981. Occurrence of metalaxyl-resistant strains of *Phytophthora infestans* in Dutch potato field. *Neth. J. Pl. Path.* 87:65-68.
- Glick, B. R., Patten, C. L., Patten, G. and Penrose, D. M. 1999. Biochemical and genetic mechanisms used by plant growth promoting bacteria. Imperial College Press. Canada.
- Han, K. H., Lee, C. U. and Kim, S. D. 1999. Antagonistic role of chitinase and antibiotic produced by *Promicromonospora* sp. KH-28 toward *F. oxysporum*. *Kor. J. Appl. Microbial. Biotechnol.* 27:349-353. (in Korean).
- Hwang, B. K. 1995. Physiology, Genetics, Epidemiology and Control Strategies of Phytophthora Blight in Pepper Plants. *Nat. Resour. Res.* 3:139-167.

- Hwang, B. K. and Kim, B. S. 1995. *In-vivo* efficacy and *in vitro* activity of tubercidine, and antibiotic nucleoside, for control of *Phytophthora capsici* blight in *Capsicum annuum*. *Pestic. Sci.* 44:225-260.
- Jung, H. K., Ryoo, J. C. and S. D. Kim. 2005. A multimicrobial biofungicide for the biological control against several important plant pathogenic fungi. *J. Kor. Soc. Appl. Biol. Chem.* 48:40-47. (in Korean).
- Katiyar, V. and G. Reeta. 2004. Improved plant growth from seed bacterization using siderophore overproducing cold resistant mutant of *Pseudomonas fluorescens*. *J. Microbiol. Biotechnol.* 14:653-657.
- Kim, S. D., Woo, S. M., Kim, J. R. and Jung, H. K. 2006. An auxin producing plant growth promoting rhizobacterium *Bacillus subtilis* AH18 which has siderophore-producing biocontrol activity. *Kor. J. Microbiol. Biotechnol.* 34:94-100. (in Korean).
- Kim, J.M. and Kim, K. H. 2006. Nutrient removal ability by phosphate solubilizing bacteria and effect on crop growth. Exhibition in National Science Fair. (in Korean).
- 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.
- Kwon, D. H., Choe, J. H. Jeong, H. K. Im, J. H. Ju, G. J. and Kim, S. D. 2004. Selection and identification of auxin producing plant growth promoting rhizobacteria having phytopathogen antagonistic activity. *J. Kor. Soc. Appl. Biol. Chem.* 47:17-21.
- Lee, C. W., Jung, Y. J., Lee, K. A., Choi, S. L., Kim, Y. G. and Choi, Y. L. 2004. Isolation and characteristic of the phosphate solubilizing bacteria *Klebsiella* sp. DA 71-1. *J. Life Sci.* 14:174-179. (in Korean).
- Lim, H. S., Lee, J. M. and Kim, S. D. 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. Biotechnol.* 12:240-249.
- Phister, T. G., O'Sullivan, D. J. and McKay, L. L. 2004. Identification of bacilysin, chlorotetaine, and iturin A produced by *Bacillus* sp. strain CS93 isolated from Pozol, a Mexican fermented maize dough. *Appl. Environ. Microbiol.* 70:631-634.
- 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. (in Korean).
- Spadaro, D. and Gullino, M. 2005. Improving the efficacy of biocontrol agents against soilborne pathogens. *Crop Prot.* 24:601-613.