

고추탄저균 성장 억제 점액세균의 탐색

정진우 · 이차울 · 윤성철¹ · 조경연*

호서대학교 생명공학과 점액세균은행, ¹선문대학교 의생명과학과

Screening of Myxobacteria Inhibiting the Growth of *Collectotrichum acutatum* Causing Anthracnose on Pepper. Chung, Jinwoo, Chayul Lee, Sung-Chul Yun, and Kyungyun Cho*. *Myxobacteria Bank, Department of Biotechnology, Hoseo University, Asan 336-795, Korea, ¹Department of Biomedical Sciences, Sun Moon University, Asan 336-708, Korea* – As an effort to search new bacterial biocontrol agents against pepper anthracnose, we screened myxobacteria, which might inhibit the growth of *Collectotrichum acutatum*, the agent of that plant disease. When 93 myxobacterial strains including 59 *Myxococcus* spp. and 34 *Coralloccoccus* spp. were tested against *C. acutatum* ACYSJ001 on agar plates, 10 strains identified as the genus *Myxococcus* significantly obstructed the growth of *C. acutatum*, whereas the majority of strains belonging to the genus *Coralloccoccus* did not demonstrate any counteractive effect. Such results have indicated that the strains of the genus *Myxococcus* have a high potential to play roles of biocontrol agents for control of pepper anthracnose. These also have revealed that the strains of the genus *Myxococcus* could be used as excellent microbial resources for screening novel antifungal substances.

Key words: Myxobacteria, myxococcus, collectotrichum, anthracnose, pepper

서 론

고추탄저병(pepper anthracnose)은 우리나라에서 경제 작물인 고추(*Capsicum annuum*) 재배 시에 과실에 발생하는 주요 병해로 고추역병과 함께 경제적으로 큰 피해를 주고 있다[8]. 병원균은 *Collectotrichum gloeosporioides*, *C. acutatum*, *C. dematium*, *C. coccodes* 등이 보고되어 있으며[10, 16], 2000년 이후 우리나라 고추 포장에서 분리된 탄저균주의 약 90% 이상은 *C. acutatum*에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다[11]. 고추탄저병의 방제는 저항성 품종 재배, 이병 식물 제거 등의 경종적인 방법과 살균제에 의한 화학적 방제가 주로 사용되고 있으며, 최근에는 미생물 농약 및 천연물 농약 등과 같은 생물학적 방제에 관한 연구도 이루어지고 있다[3, 4, 9, 15]. 이중, 방선균, *Bacillus* 등과 같은 미생물들은 병원균에 활성을 나타내는 항균물질을 생산해서 병원균을 직접 죽이거나 생육을 억제하는 길항미생물로서, 미생물농약으로서의 실용화 가능성에 대한 여러 연구가 이루어지고 있다[6, 7, 14].

점액세균(myxobacteria)은 우리 주변의 모든 토양에서 많은 수로 서식하고 있는 그람음성 토양세균으로[19], 다양한 항생물질과 가수분해 효소 등을 분비함으로써 주위의 다른 미생물을 분해하여 먹이로 섭취한다[12, 22]. 이에 더해, 점

액세균은 인체에 무해한 비병원성 미생물로 방선균 및 *Bacillus*와 마찬가지로 토양에 존재하여 식물에 병을 일으키는 여러 식물병원성 곰팡이의 생육억제제로 사용될 수 있는 이상적인 조건을 갖추고 있다. 하지만 전 세계적으로 이 분야에 대한 연구가 활발하지 않은 까닭에 점액세균을 이용한 식물병원성 곰팡이의 생육억제제의 개발은 최근까지 극히 미미하다[2]. 따라서 본 연구에서는 고추탄저병의 생물학적 방제제 개발에 사용될 수 있는 미생물을 선발하고자 고추탄저병을 유발하는 곰팡이 *C. acutatum*에 생육억제 활성을 보이는 점액세균 균주를 선발하고 그 특성을 조사하고자 하였다.

재료 및 방법

사용 균주

본 연구에 사용된 점액세균들은 21C 프론티어 미생물유전체활용기술개발사업을 통해서 분리되었으며[13, 17], 국가 지정연구소재은행의 하나인 점액세균은행을 통해서 관리되고 있는 균주들이다. 그리고 *C. acutatum* ACYSJ001은 충남 청양의 고추탄저병이 발병한 밭에서 분리, rDNA ITS(internal transcribed sequence)로 동정한 균주이다.

사용 배지 및 배양 조건

야생 점액세균의 배양에는 PDCY 평판배지를 사용하였으며, *C. acutatum*의 배양에는 PDA(potato dextrose agar)배지를 사용하였다. PDCY 배지는 리터당 casitone 5 g, yeast

*Corresponding author

Tel: 82-41-540-5627, Fax: 82-41-548-6231

E-mail: kycho@hoseo.edu

extract 1 g, CaCl₂ 1 g, potato dextrose 2.4 g, agar 15 g 을 함유하고 있으며, PDA 배지는 리터당 potato dextrose 24 g, agar 15 g 을 함유하고 있다. 점액세균에 의한 자실체 형성 유도에는 10 mM 3-[N-morpholino] propanesulfonic acid (MOPS, pH 7.6), 0.1% CaCl₂·2H₂O, 1.5% 한천을 함유하고 있는 WCX 배지를 사용하였다[21]. 그리고 CTS 배지는 리터당 casitone 5 g, MgSO₄·7H₂O 2 g, 1 M 4-(2-hydroxyethyl)piperazine-1-ethanesulfonic acid (HEPES, pH 7.6) 50 ml, 콩기름 300 μL, 미량원소용액 200 μL 을 함유하고 있으며, 이 때 미량원소용액은 리터당 H₂SO₄ 10 ml, FeCl₃·6H₂O 14.6 g, ZnCl₂ 2.0 g, MnCl₂·4H₂O 1.0 g, CuCl₂·2H₂O 0.43 g, H₃BO₃ 0.31 g, CaCl₂·6H₂O 0.24 g, Na₂MoO₄·2H₂O 0.24 g 을 함유하고 있다[21]. 한편, 야생 점액세균만을 배양할 때는 32°C에서 배양하였으며, *C. acutatum* 을 배양하거나, 점액세균을 *C. acutatum* 와 함께 배양할 때는 25°C에서 배양하였다. PDA 배지, casitone, yeast extract, potato dextrose, agar 등은 미국 Difco Lab.에서 구입하였고, HEPES는 미국 Sigma Chemical Co.에서 구입하여 사용하였다. 그리고 다른 시약들은 일본 Kanto Chemical Co.에서 제조된 것을 사용하였다.

생육억제활성을 보이는 점액세균 균주 선발

점액세균을 PDCY 배지 상에서 4일간 배양한 후, 야생균주를 멸균된 주걱으로 긁어 제거하였다. 그리고 점액세균이 제거된 배지의 중앙에 *C. acutatum* 균사체를 갖는 한천조각을 올려놓고 25°C 배양기에서 7일 동안 배양한 후, *C. acutatum*의 집락의 크기를 관찰함으로써 성장이 억제되는 정도를 측정하였다.

배양추출물의 제조 및 활성조사

Amberlite XAD-16(Sigma, USA) 5 g이 들어있는 250 mL CTS 배지에서 점액세균을 5일간 배양한 후, resin을 회수하여 흡착된 물질들을 100% methanol 25 mL로 추출하였으며, 추출한 용액은 건조한 후 다시 100% methanol 100 μL에 녹였다. 활성조사는 추출물 12 μL를 흡수시킨 6 mm paper disc를 건조시킨 후 1×10⁶개의 *C. acutatum* 포자가 도말된 PDA 배지 중앙에 올려놓고 25°C에서 3~5일간 배양하면서 성장이 억제되는 정도를 측정하였다.

점액세균의 분리 동정

분리 탐색된 야생 점액세균들은 이미 알려진 방법 및 기준에 따라 세포, 포자, 자실체, 집락의 형태 및 색, 색소의 생성 여부, 영양 및 16S rRNA 염기서열 비교에 의해 동정하였다[20, 23]. 16S rRNA 유전자의 대부분(1,530 bp)을 포함한 DNA 조각은 점액세균으로부터 분리한 유전체 DNA를 주형으로 하고, 두개의 oligonucleotides, 5'-GAGTTT-GATCCTGGCTGAG-3'(27f)과 5'-AGAAAGGAGGTG-

ATCCAGCC-3'(1525r)를 primer로 사용하여, *Taq* polymerase(SolGent Co., Korea)로 증폭한 DNA 증합효소연쇄반응(PCR)을 통해 얻어졌다. 얻어진 PCR 조각은 PCR purification kit(Bioneer Co., Korea)를 사용하여 분리한 후, PCR에서 사용된 두 primer 및 다음 primer들을 사용하여 염기서열을 결정하였다[18]. 5'-CTGCTGCCTCCCGTA-3'(343r), 5'-TACGGGAGGCAGCAG-3'(357f), 5'-GWATTA-CCGCGGCKGCTG-3'(519r), 5'-CAGCMGCCGCGGTAA-TWC-3'(536f), 5'-ATTAGATACCCTGGTAG-3'(803f), 5'-CCGTCAATTCATTTGAGTTT-3'(907r), 5'-GCAACGAGC-GCAACCC-3'(1114f), 5'-CGGTGTGTRCAAGGCC-3'(1385r). 그리고, 얻어진 염기서열은 NCBI의 Genbank에 등록하였으며, 각 균주들의 accession number는 EU262648 (KYC1013), EU271853 (KYC1101), EU262649 (KYC1105), EU262650 (KYC1126), EU262651 (KYC1136), EU262652 (KYC1154), EU262653 (KYC1183), EU262654 (KYC1190), EU262655 (KYC1198), EU262656 (KYC1200) 이다. 염기서열은 Clustal W[24]와 미국 NCBI의 BLASTN 프로그램[1]을 이용하여 분석하였다.

세포 및 자실체의 관찰

영양세포 및 집락의 관찰은 야생 점액세균을 PDCY 평판 배지에 접종 한 후, 32°C 배양기에서 4일 동안 배양한 후 이루어졌으며, 자실체와 포자의 관찰은 *Escherichia coli* MC4100이 도말된 WCX 평판배지에 야생점액세균을 접종한 뒤, 32°C 배양기에서 5일간 배양하여 자실체 형성을 유도한 후 이루어졌다. 자실체 및 집락의 관찰은 Nikon SMZ1000 실체현미경(Nikon Co., Japan)을 사용하였으며, 세포와 포자의 관찰은 Nikon Eclipse E600 위상차현미경(Nikon Co., Japan)을 사용하였다.

결과 및 고찰

고추탄저균의 성장을 저해하는 점액세균의 선발

고추탄저균의 생육을 억제하는 점액세균을 탐색하기 위해 먼저 점액세균을 PDCY 한천배지 위에 도말하여 4일간 배양하였다. 그리고 배지 상의 점액세균을 긁어서 대부분의 균체를 제거한 후, 배지의 중앙에 고추탄저균인 *C. acutatum* ACYSJ001을 접종하여 7일간 배양하면서 고추탄저균 균사체의 성장을 관찰하였다. 모두 93개 점액세균 균주에 대해 이와 같은 실험을 실시하였는데, 이중 69개 점액세균 균주가 자랐던 배지에서는 고추탄저균 균사체가 대조군과 비교해서 큰 차이 없이 성장하는 것으로 관찰되어 이들 균주들은 고추탄저균의 성장에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다(Fig. 1A). 그런데 Fig. 1C에서 보인 바와 같이, 10개 점액세균 균주가 성장하였던 배지에서는 고추탄저균의 균사체가 거의 성장하지 못하는 것으로 나타나 이들 점액세균 균

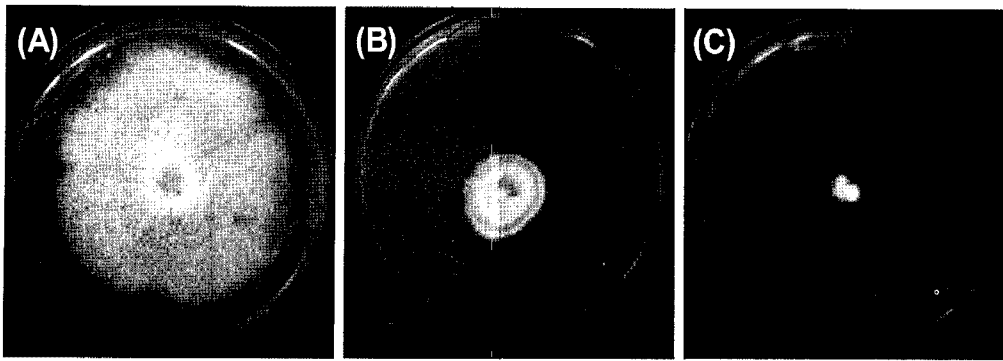


Fig. 1. Antagonistic effect of myxobacteria on the growth of *C. acutatum*. *C. acutatum* ACYSJ001 was placed on the center of PDCY agar plates which had been used to grow *Myxococcus* spp. KYC1180 (A), 1130 (B), and 1105 (C), respectively.

주들은 고추탄저균의 성장을 강하게 저해하는 것으로 나타났다. 한편, 나머지 15개 점액세균 균주들이 자랐던 배지에서는 균사체의 성장이 약하게 저해 받은 것으로 나타났다 (Fig. 1B).

본 실험에 사용한 93개 점액세균들은 모두 다른 미생물들을 분해하여 영양분을 섭취할 수 있는 용균성 점액세균들이었으며, 나머지 35개 균주들은 *Corallocooccus* 속에 속하는 균주들이었다. 그런데 강한 저해 활성을 보인 10개 균주들은 모두 *Myxococcus* 속에 속하는 균주들이나 반면에 *Corallocooccus* 속에 속하는 균주들은 강한 저해활성을 전혀 보이지 않았고, 단지 한 균주만이 약한 저해활성을 보였다 (Table 1). 이러한 결과는 비록 *Myxococcus* 속과 *Corallocooccus* 속 균주들이 계통적으로 매우 가까운 관계이기는 하지만 *C. acutatum* ACYSJ001에 대한 성장 저해 활성은 매우 다름을 보여주는 것이다. 보고에 의하면 항진균물질을 포함한 다양한 생리활성물질들이 *Myxococcus* 속 계열 균주들에서 발견된 반면 *Corallocooccus* 속 계열 균주들에서는 소수의 생리활성물질만이 발견된 것으로 알려져 있다 [5].

선별된 균주의 동정

본 연구에 사용된 균주들은 분리 시 자실체 형태에 따라

Table 1. Screening of wild myxobacteria isolates that inhibit the growth of *C. acutatum*.

Genus	Number of strains inhibiting the growth of <i>C. acutatum</i> ACYSJ001			Total
	+++	+	-	
<i>Myxococcus</i>	10	14	35	59
<i>Corallocooccus</i>	0	1	34	35

After each myxobacterial isolate was cultivated on a PDCY plate for 4 days, its cells were removed from the plate with sterile scoops, and a chunk of the agar containing *C. acutatum* ACYSJ001 was placed on the center of the plate. Growth inhibition of *C. acutatum* by each myxobacterial isolate was observed by measuring the size of mycelium of *C. acutatum* on the plate after 7 days incubation at 25°C. +++: strong inhibition, +: mild inhibition, -: no inhibition.

속이 분류된 균주들이지만 종 수준까지는 아직 동정되지 않은 균주들이다. 따라서 본 연구에서는 고추 탄저균인 *C. acutatum*에 대해 활성이 높게 나타나는 10개 균주들에 대해 형태적 특성과 16S rRNA 염기서열 분석을 통해 속을 확인하고 종을 결정하고자 하였다. 10균주들의 16S rRNA 염기서열 분석은 먼저 유전체 DNA 상의 16S rRNA 유전자를 PCR로 증폭한 후 염기서열을 결정하고 분석하는 방식으로 이루어졌는데, 분석 결과 10개 균주들은 모두 자실체 형태 관찰에 의해 분류된 바와 같이 *Myxococcus* 속에 속하는 것으로 확인되었다 (Fig. 2).

Myxococcus 속에 속하는 점액세균들의 종 분류는 16S rRNA 서열 분석 결과보다는 자실체의 형태와 색, 그리고 포자의 형태와 크기가 중요한 기준이 되는데 [20], KYC1105는 자실체가 오렌지색의 구형이며, 포자가 *Myxococcus* 속중에서 가장 큰 1.9~2.4 μm 인 까닭에 *M. virescens*로 판단되며, KYC1101과 KYC1154는 포자가 타원형이므로 *M. stipitatus*로 판단된다. 그리고 KYC1136과 KYC1198은 회색 또는 노란색의 짧은 자루가 있는 구형의 자실체를 형성하며 작은 포자를 갖는 까닭에 *M. fulvus*인 것으로 판단된다 (Fig. 3). 또한, KYC1190와 KYC1200는 중간 크기의 포자를 갖으며 진한 오렌지색의 구형, 반구형의 자실체를 형성하므로 *M. xanthus*로 판단된다 (Fig. 3). 한편, KYC1013와 KYC1183은 *M. xanthus*인 것으로 추정되나 자실체의 색이 노란색이므로 분류를 보류하였으며, KYC1126은 형태적인 특성에서는 *M. xanthus*로 분류되나 16S rRNA 염기서열이 *M. fulvus*와 유사하므로 분류를 보류하였다.

Myxococcus 속에는 *M. virescens*, *M. stipitatus*, *M. fulvus*, *M. xanthus*의 4개 주요 종이 있는데 [20], 이상의 동정 결과에 의하면 고추탄저균에 성장저해활성을 보이는 균주가 최소한 *M. virescens* 1균주, *M. stipitatus* 2균주, *M. fulvus* 2균주, *M. xanthus* 2균주이므로 4개의 종이 골고루 있는 것으로 나타났다. 따라서 *Myxococcus* 속에 속하는 점액세균들은 종의 구별 없이 고르게 고추탄저균의 성장을 억제하는 균주들이 존재하는 것으로 보인다.

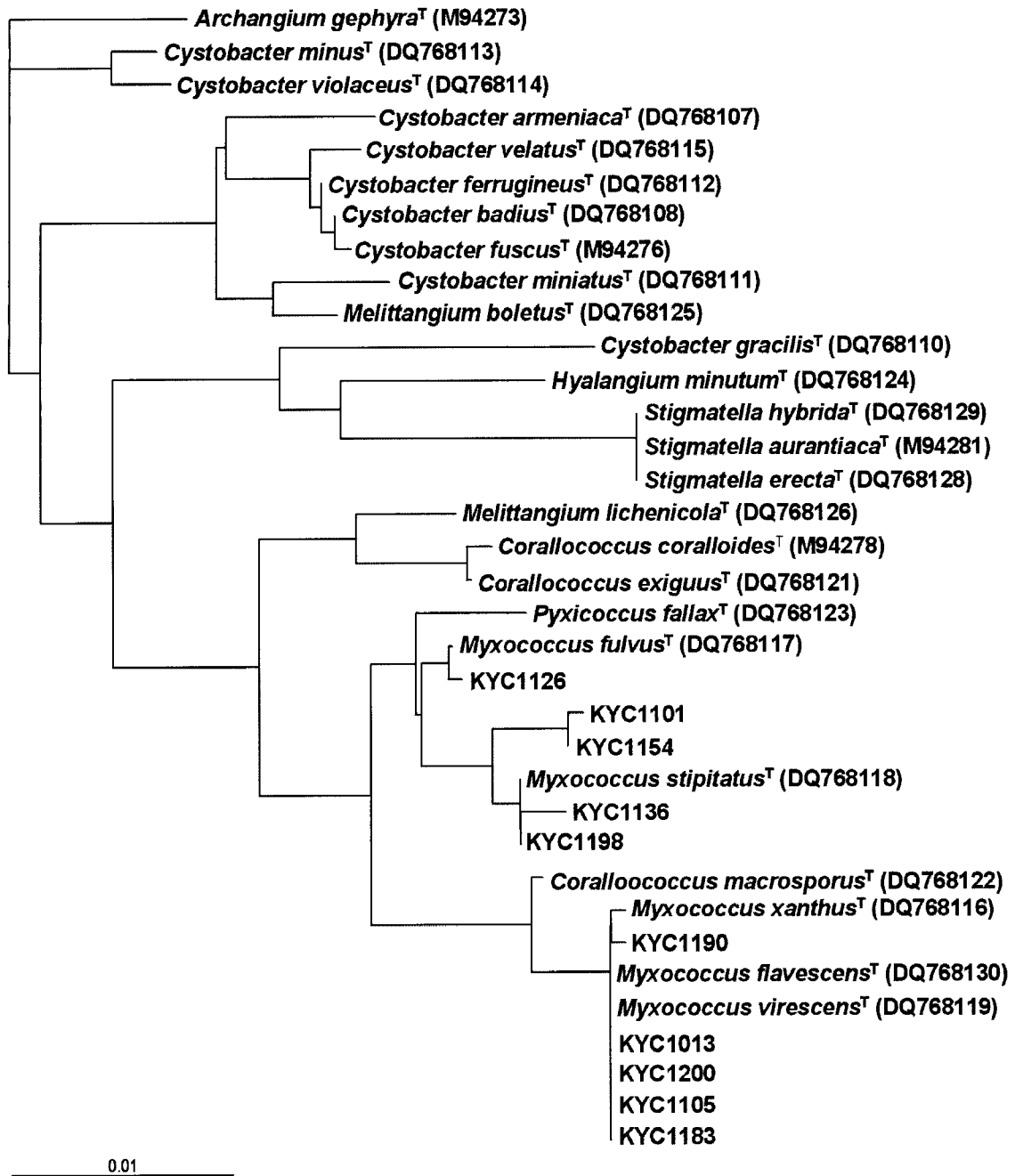


Fig. 2. Phylogenetic dendrogram of the myxobacterial isolates based on 16S rRNA sequences. 16S rRNA sequences (1,550 bp) of the isolates were determined and analyzed with Clustal W.

점액세균 배양추출물의 고추탄저균의 성장 저해 활성

고추탄저균에 대해 성장 저해 활성을 보이는 10개 균주들이 항진균물질을 생산 분비함으로써 고추탄저균의 성장을 저해할 가능성이 높으므로 10개 점액세균들의 배양액 중 Amberlite XAD-16 resin에 흡착했다가 methanol에 의해 추출되는 배양추출물이 고추탄저균의 성장을 저해하는 활성을 보이는지 조사하였다. 그 결과 Fig. 4에서 보인 바와 같이, Myxococcus sp. KYC1136의 배양추출물이 C. acutatum ACYSJ001의 성장을 강하게 저해하는 활성을 보였으며, Myxococcus spp. KYC1101, KYC1126, KYC1183의 배양

추출물들도 다른 균주들에 비해 강하게 C. acutatum ACYSJ001의 성장을 저해하는 활성을 보였다(Table 2). C. acutatum ACYSJ001은 충청남도 청양군의 한 면에서 분리된 균주인데, 배양추출물들이 충남 청양군 및 아산시의 다른 고추 포장에서 분리한 균주들에 대해서도 동일한 저해활성을 보이는지 조사하여 보았다. 그 결과, C. acutatum ACYSJ001에 대해 저해활성을 보인 점액세균 균주들은 다른 C. acutatum 균주들인 ASM001, ACYJJ001, ACYTJ001, 그리고 ACYYD001에 대해서도 동일한 양상의 저해활성을 보이는 것으로 나타났다(Table 2). 이는 전체 균주 중 최소한

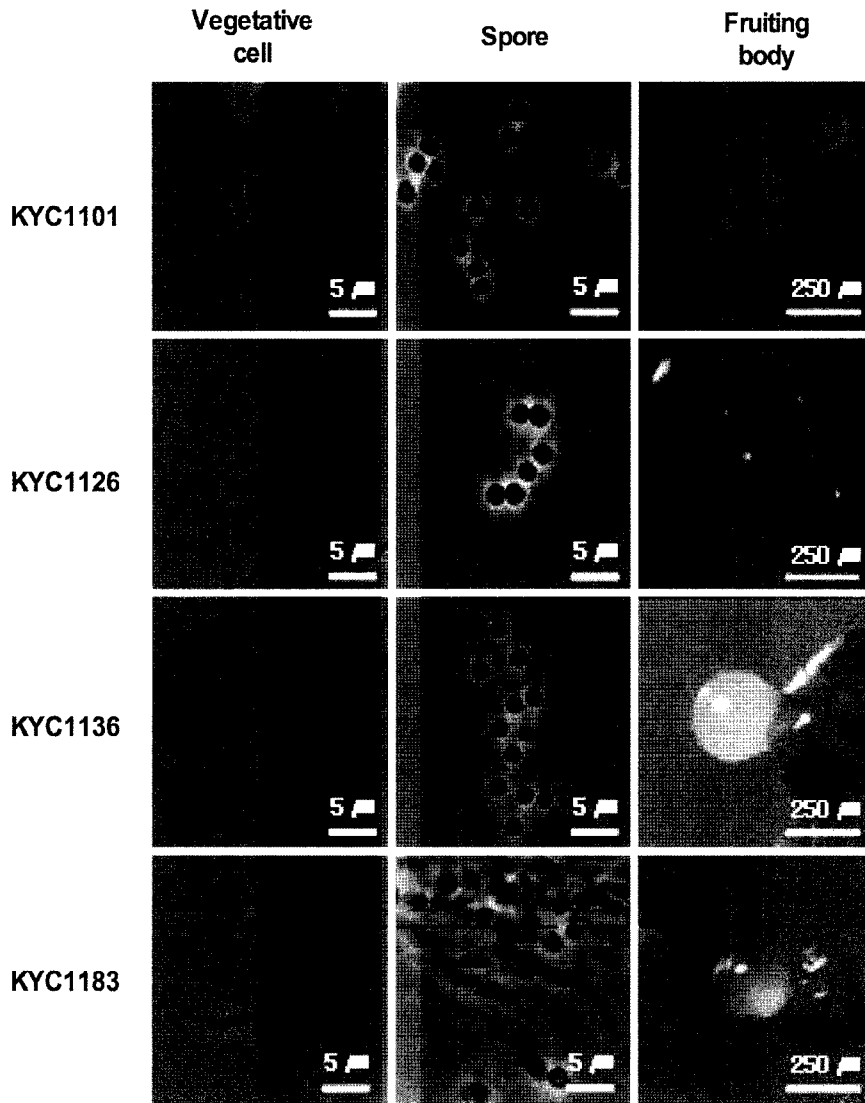


Fig. 3. Vegetative cells, spores, and fruiting bodies of the myxobacterial isolates that inhibit the growth of *C. acutatum* causing pepper anthracnose.

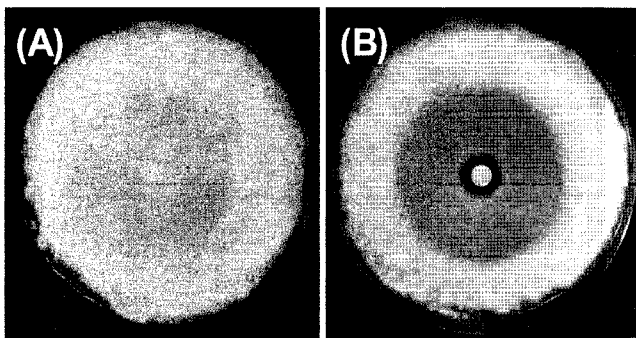


Fig. 4. Antifungal activity of the culture extracts of the myxobacterial isolates against *C. acutatum*. (A) Control, (B) A 6 mm paper disc containing the culture extract of *Myxococcus* sp. KYC1136 was placed on the plate spreaded with 1×10^6 spores of *C. acutatum* ACYSJ001 and incubated at 25°C for 4 days.

4균주가 항진균물질을 생산 분비함으로써 고추탄저균의 성장을 저해함을 보여주는 결과로 실험에 사용한 93균주의 4.3%

에 해당하며, *Myxococcus* 속 균주의 6.8%에 해당한다.

한편, PDCY 한천배지 상에서 강한 활성을 보였던 10균주 중 KYC1013, KYC1190, KYC1200의 배양추출물들은 약한 저해활성을 보였으며, KYC1105, KYC1154, KYC1198의 배양추출물들은 전혀 저해활성을 보이지 않았다. 이러한 차이에 대해 가능한 첫째 설명으로는 먼저 배지성분과 배양조건을의 차이를 들 수 있겠다. 즉, 최초 성장억제활성을 갖는 점액세균의 선별에 사용한 PDCY 한천배지는 고체배지인 반면, 배양추출물 제조에 사용한 CTS 배지는 조성이 전혀 다른 액체배지이다. 따라서 균주에 따라 PDCY 한천배지에서는 저해활성성분을 생산하지만 CTS 액체배지에서는 저해활성성분을 생산하지 않을 가능성이 있다. 또 다른 가능성은 배양추출물 제조 방식으로 인한 차이이다. 본 실험에서는 배양액 내 활성성분을 Amberlite XAD-16 resin에 흡착시켰다가 methanol에 의해 추출하는 방식으로 배양추출물을 제조하였는데, 이 경우 점액세균이 저해활성성분을 생산하였어

Table 2. Inhibitory effects of culture extracts of the myxobacteria isolates on the mycelial growth of diverse *Colletotrichum acutatum* strains causing pepper anthracnose.

Myxococcus	Colletotrichum acutatum				
	ASM001	ACYJJ001	ACYSJ001	ACYTJ001	ACYYD001
KYC1013	+	+	+	+	+
KYC1101	++	++	++	++	++
KYC1105	-	-	-	-	-
KYC1126	++	++	++	++	++
KYC1136	+++	+++	+++	+++	+++
KYC1154	-	-	-	-	-
KYC1183	++	++	++	++	++
KYC1190	+	+	+	+	+
KYC1198	-	-	-	-	-
KYC1200	+	+	+	+	+

Inhibitory effects of the culture extracts of myxobacteria on the growth of *C. acutatum* was determined by placing 6 mm paper discs containing the culture extracts on PDA plates spreaded with 1×10^6 spores of *C. acutatum* and measuring the size of clear zones caused by the extracts after 4 days incubation at 25°C. +++: strong inhibition, ++ or +: mild inhibition, -: no inhibition.

도 저해활성성분이 resin에 흡착하지 않는 특성의 물질이거나 흡착하였어도 methanol에 의한 추출되지 않는 물질이라면 이로부터 얻어진 배양추출물은 저해활성이 전혀 없는 것으로 나타나게 된다. 따라서 이러한 점들을 고려할 때, Table 2에서와 같이 균주들에 따라 저해활성이 약하거나 전혀 없는 것으로 나타났어도 최초로 선별된 10균주들은 모두 *C. acutatum*의 생육을 저해하는 활성을 가지고 있는 것으로 판단되며, 다만 저해활성성분의 생산조건이 다르거나 특성이 다를 것으로 사료된다.

점액세균은 토양미생물로 유기물이 존재하는 대부분의 토양에 많이 존재하며 현재까지 전혀 인체에 해가 없는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구를 통해 얻어진 결과들은 점액세균에 의한 고추탄저병 방제의 가능성을 제시하며, 향후 더 효율적인 고추탄저균 성장 억제 점액세균 균주 탐색의 방향을 제시한다. 이에 더해, 이들이 또한 점액세균이 새로운 항진균물질 탐색을 위한 좋은 생물연구소재임을 보여준다.

요 약

고추탄저병을 생물학적으로 방제할 수 있는 미생물을 얻기 위하여 고추탄저균 *C. acutatum* ACYSJ001의 성장을 억제하는 점액세균을 탐색하였다. *Myxococcus* 속에 속하는 59균주와 *Coralloccoccus* 속에 속하는 34균주 등 총 93균주의 용균성 점액세균에 대해 고추탄저균인 *C. acutatum* ACYSJ001에 대한 성장 억제 활성을 조사한 결과, *Coralloccoccus* 속에 속하는 대부분의 점액세균들이 *C. acutatum* ACYSJ001의 성장을 저해하지 않는 반면, *Myxococcus* 속으로 동정된 10균주들은 *C. acutatum* ACYSJ001의 성장을 강하게 저해하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 *Myxococcus* 속에 속하는 여러 점액세균들이 고추탄저병을 억제하는 미

생물로서 활용될 수 있는 가능성이 높으며, 또한 새로운 항진균물질 탐색을 위한 좋은 생물연구소재임을 보여주었다.

감사의 글

본 연구에 사용된 점액세균들은 국가지정 점액세균은행에서 관리되고 있는 균주들입니다. 이 논문은 2007년도 호서대학교의 재원으로 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구이며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Altschul, S. F., W. Gish, W. Miller, E. W. Myers, and D. J. Lipman. 1990. Basic local alignment search tool. *J. Mol. Biol.* **215**: 403-410.
- Bull, C. T. 2002. Interactions between myxobacteria, plant pathogenic fungi, and biocontrol agents. *Plant Disease* **86**: 889-886.
- Cho, S. -J., S. K. Lee, B. J. Cha, Y. H. Kim, and K. -S. Shin. 2003. Detection and characterization of the *Gloeosporium gloeosporioides* growth inhibitory compound iturin A from *Bacillus subtilis* strain KS03. *FEMS Microbiol. Lett.* **223**: 47-51.
- Freeman, S., D. Minz, I. Kolesnik, O. Barbul, A. Zveibil, M. Maymon, Y. Nitzani, B. Kirshner, D. Rav-David, A. Bilu, A. Dag, S. Shafir, and Y. Elad. 2004. Trichoderma biocontrol of *Collectotrichum acutatum* and *Botrytis cinerea* and survival in strawberry. *Eur. J. Plant Pathol.* **110**: 361-370.
- Gerth, K., S. Pradella, O. Perlova, S. Beyer, and R. Miller. 2003. Myxobacteria: proficient producers of novel natural products with various biological activities - past and future biotechnological aspects with the focus on the genus *Sorangium*. *J. Biotechnol.* **106**: 233-253.

6. Jung H. K., J. C. Ryoo, and S. -D. Kim. 2005. A multi-microbial biofungicide for the biological control against several important plant pathogenic fungi. *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.* **48**: 40-47.
7. Jung, H. K. and S. -D. Kim. 2005. An antifungal antibiotic purified from *Bacillus megaterium* KL39, a biocontrol agent of red-pepper phytophthora-blight disease. *J. Microbiol. Biotechnol.* **15**: 1001-1010.
8. Kim, C. H. and K. S. Park. 1998. A predictive model of disease progression of red-pepper anthracnose. *Korean J. Plant Pathol.* **4**: 325-331.
9. Kim, P. I., H. Bai, D. Bai, H. Chae, S. Chung, Y. Kim, R. Park, and Y. -T. Chi. 2004. Purification and characterization of a lipopeptide produced by *Bacillus thuringiensis* CMB26. *J. Appl. Microbiol.* **97**: 942-949.
10. Kim, W. K., E. K. Cho, and E. J. Lee. 1986. Two strains of *Collectotrichum gloeosporioides* Penz. causing anthracnose on pepper fruits. *Korean J. Plant Pathol.* **2**: 107-113.
11. Kim, Y. -S., J. Y. Min, B. K. Kang, N. V. Bach, W. B. Choi, E. W. Park and H. T. Kim. 2007. Analyses of the less benzimidazole-sensitivity of the isolates of *Colletotrichum* spp. causing the anthracnose in pepper and strawberry. *Plant Pathol. J.* **23**: 187-198.
12. Kim, Y. S., W. C. Bae, and S. J. Back. 2003. Bioactive substances from myxobacteria. *Kor. J. Microbiol. Biotechnol.* **31**: 1-12.
13. Lee, B., C. Lee, and K. Cho. 2003. Isolation of dispersed mutants from wild myxobacteria. *Kor. J. Microbiol. Biotechnol.* **31**: 342-347.
14. Lim, T. H. 2005. Antifungal activity of *Streptomyces griseofuscus* 200401 against pathogens causing late blight and anthracnose on pepper. *Kor. J. Pesticide Sci.* **9**: 102-107.
15. Paik, S. -B. and D. -W. Kim. 1995. Screening for phyllospherical antagonistic microorganism for control of red-pepper anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*). *Kor. J. Mycol.* **23**: 190-195.
16. Park, K. S. and C. H. Kim. 1992. Identification, distribution and etiological characteristics of anthracnose fungi of red pepper in Korea. *Korean J. Plant Pathol.* **8**: 61-69.
17. Park, S., B. Lee, J. Kim, C. Lee, E. Chang, and K. Cho. 2004. Isolation and characterization of bacteriolytic wild myxobacteria. *Kor. J. Microbiol. Biotechnol.* **32**: 218-223.
18. Rainey, F. A., W. N. Rainey, R. M. Kroppenstedt, and E. Stackebrandt. 1996. The Genus *Nocardopsis* represents a phylogenetically coherent taxon and a distinct actinomycete lineage: proposal of *Norcardiopsaceae* fam. nov. *Int. J. Syst. Bacteriol.* **46**: 1088-1092.
19. Reichenbach, H. 1999. The ecology of the myxobacteria. *Environ. Microbiol.* **1**: 15-21.
20. Reichenbach, H. 2005. Myxococcales. pp. 1059-1144. In Brenner, D. J., N. R. Krieg, J. T. Staley, and G. M. Garrity (eds.), *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, 2nd ed. Bergey's Manual Trust, East Lansing, MI.
21. Reichenbach, H. and M. Dworkin. 1992. The myxobacteria. pp. 3416-3487. In Balows, A., H. G. Truper, M. Dworkin, W. Harder, and K. H. Schleifer (eds.), *The Prokaryotes*, 2nd ed. vol. **IV**, Springer Verlag, New York.
22. Reichengbach, H. 2001. Myxobacteria, producers of novel bioactive substances. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* **27**: 149-156.
23. Spreer, C., H. Reichenbach, and E. Stackebrandt. 1999. The correlation between morphological and phylogenetic classification of myxobacteria. *Int. J. Syst. Bacteriol.* **3**: 1255-1262.
24. Thompson, J. D., D. G. Higgins, and T. J. Gibson. 1994. CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Res.* **22**: 4673-4680.

(Received Dec. 17, 2007/Accepted Feb. 9, 2008)