

길항성 근권 세균이 딸기 시설재배에서 발생하는 잿빛곰팡이병의 생물학적 제어에 미치는 영향*

조 정 일** · 조 자 용*** · 양 승 렬****

Effects of Antagonistic Rhizobacteria on the Biological Control of Gray Mold in Greenhouse Grown Strawberry Plants

Cho, Jung-Il · Cho, Ja-Yong · Yang, Seung-Yul

This study was carried out to clarify the effects of antifungal bacterial strains isolated from the greenhouse soil grown strawberry plants on the growth inhibition of plant pathogen, gray mold (*Botrytis cinerea*) infected in strawberry plants in Damyang and Jangheung districts. Antagonistic bacterial strains were isolated and investigated into the antagonistic activity against gray mold. Screened ten bacterial strains which strongly inhibited *Botrytis cinerea* were isolated from the greenhouse grown strawberry plants, and the best antifungal microorganism designated as SB 143 was finally selected. Antifungal bacterial strain SB 143 was identified to be the genus *Bacillus* sp. based on the morphological and biochemical characterization. *Bacillus* sp. SB 143 showed 59.4% of antifungal activity against *Botrytis cinerea*. By the bacterialization of culture broth and heated filtrates of culture broth, *Bacillus* sp. SB 143 showed 93.1% and 32.1% of antagonistic activity against *Botrytis cinerea*.

Key words : strawberry, gray mold, *Botrytis cinerea*, antagonistic microorganism, *Bacillus* sp.

* 이 연구는 2004년도 농림기술개발연구과제(현장애로)의 지원에 의해 수행되었음.

** 대표저자, 조선이공대학 식생활과

*** 남도대학 약용자원원에개발과

**** 순천대학교 식물생산과학부

I. 緒 言

현재 전 세계적으로 이용되고 있는 식물생장촉진 근권미생물 (plant growth promoting rhizobacteria ; PGPR)을 보면 생물비료 (biofertilization), 식물생장촉진 (phytostimulation) 및 생물적 방제 (biocontrol) 등을 위한 접종원으로 이용되고 있다 (Bloemberg 등, 2001).

생물비료로 이용되는 균주의 종류를 보면 *Rhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium* 및 *Allorhizobium* 등 (Long, 2001; Spaink, 2000; Perret 등, 2000)이며, 그 외에도 *Herbaspirillum*, *Acetobacter*, *Azotobacter* 및 *Azoarcus* 등의 free-living 질소고정세균류들이 공기중의 질소를 고정할 수 있는 것 (Steenhoudt와 Vanderleyden, 2000)으로 알려져 있다.

또한, 식물생장촉진균 (phytostimulation)으로는 *Azospirillum* spp. (Steenhoudt와 Vanderleyden, 2000)가 대표적이며, 이 균주는 질소를 고정하는 능력 이외에도 auxins, cytokinins 및 gibberellins 등의 식물 호르몬을 분비(Steenhoudt와 Vanderleyden, 2000)하여 식물의 성장을 직접적으로 촉진한다.

생물적 방제제 (biocontrol agents)로 이용되는 균주들이 생산하는 물질로는 생물적 방제원으로 구명된 항균물질 (anti-fungal metabolites)로 phenazines, pyrrolnitrin, 2,4-diacetylphloroglucinol (DAPG) 및 pyoluteorin 등이 보고되고 있다. 뿐만 아니라 the class of cyclic lipopeptides에 속하는 viscosinamide (Nielsen 등, 1999)와 tensin (Nelsen 등, 2000) 등도 발견되었다. 또한, 최근에는 균주의 유전적 연구와 더불어 생합성이 연구되고 있는데, *P. fluorescens* PF-5에 의한 pyoluteorin (Nowak-Thompson 등, 1999), *P. fluorescens* Q2-87에 의한 2,4-diacetylphloroglucinol (DAPG) (Banger와 Thomashow, 1999; Delany 등, 2000) 등에 관한 연구가 진행되고 있다. *Streptomyces*와 *Bacillus* 류도 생물적 방제 균주로 개발되고 있는데, Stohl 등(1999)은 *Bacillus cereus*가 생산하는 항균물질 zwittermicin A 등을 보고하였다.

본 연구는 장흥균과 담양균을 중심으로 딸기 시설재배 농가에서 발생하는 잣빛곰팡이병 (gray mold, *Botrytis cinerea*)에 대하여 식물생장촉진 근권미생물의 일종인 항균작용이 우수한 길항성 근권 세균을 선발하여 딸기의 저농약 고품질 재배의 기초 자료로 활용하고자 실시하였다.

II. 材料 및 方法

1. 잣빛곰팡이병원균의 분리 및 병원성 검정

전남 장흥균과 담양균의 딸기 시설재배지에서 잣빛곰팡이병을 발병시키는 병반을 수집

하여 병환부에서 병원균의 포자를 분리하여 공시하였다. 또한, 농촌진흥청 농업과학기술원 (NAIST; National Agricultural Science and Technology Institute) 및 원예연구소 (HI; Horticultural Crop Institute of Research and Development)로부터 잿빛곰팡이병원균을 분양 받아 본 실험실에서 분리한 잿빛곰팡이병원균과 비교 검토하였다. 본 실험에서 사용한 배지는 4 종류를 사용하였고, 이들에 조성은 다음과 같다. PCA(w/v); tryptone 0.48%, yeast extract 0.24%, Dextrose 0.1%, Agar 1.4%, PDA(w/v); Potato Infusion from 16%, Bacto dextrose 1.6%, NA(w/v); Bacto Beef extract 0.3%, Bacto peptone 0.5%, agar 1.4%, SDBP(w/v); 설탕 5%, 간장 3%, Beef extract 0.1%, yeast extract 0.1%, Proteose peptone 0.1% 잿빛곰팡이병원균을 분리하기 위하여 딸기 병환부에서 채집된 병반을 20℃, 상대습도 90% 이상의 항온항습실에서 3일간 습실 처리한 후 이병조직을 70% ethanol 및 5% sodium hypochlorite (NaOCl)로서 표면을 살균하고 병원균 선택용 배지 [potato dextrose agar (PDA) medium + streptomycin 200 μ l/ml, pH 3.0]에 병반부위를 올려놓고, 25℃ 항온배양기에서 2~3일간 배양하여 형성시킨 균총 (colony)에서 병원균을 분리하였다 (Fig. 1).

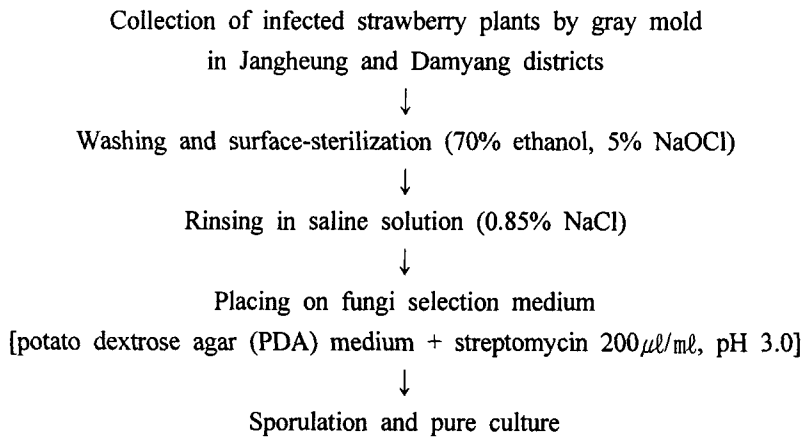


Fig. 1. Isolation of gray mold (*Botrytis cinerea*) from infected strawberry plants.

2. 자연계로부터 유용 균주 분리

전남 장흥군과 담양군을 중심으로 딸기 시설재배 근권 토양에서 유용 균주를 분리하기 위하여 근권 토양을 채취한 후 살균수로 조제한 희석액을 희석평판법에 의해 plate count agar (PCA) medium에 도말접종하고, 25℃에서 48시간 정도 배양한 후 나타난 콜로니를 현미경하에서 검경하여 분리하였다.

또한, 근권 토양에서 균주를 분리하기 위하여 지표로부터 5~20cm 부위의 근권 토양을 채

취하고 희석평판법을 이용하여 단일 균주를 분리하였다. 즉, 잿빛곰팡이병원균에 항균작용을 갖는 길항균을 분리하기 위하여 토양 시료를 tris-HCl buffer solution (pH 7.5) 100ml에 넣고 진탕배양을 10분 정도 실시한 후 배지 내에 들어있는 균주를 생리식염수 (0.85%, NaCl)로 희석하여 영양한천배지 [nutrient agar (NA) plate]에 농도별로 도말 접종하였다.

도말 접종한 NA 배지는 30℃ 항온배양기 (incubator SW-901)에서 24~36시간 정도 배양한 후 균주를 분리하여 사면배지에서 보관하며 실험에 이용하였다. 분리된 균주는 영양한천배지에 접종하여 배양하고 단일 균총 (colony)를 형성시켜 잿빛곰팡이병원균과의 항균실험에 사용하였다.

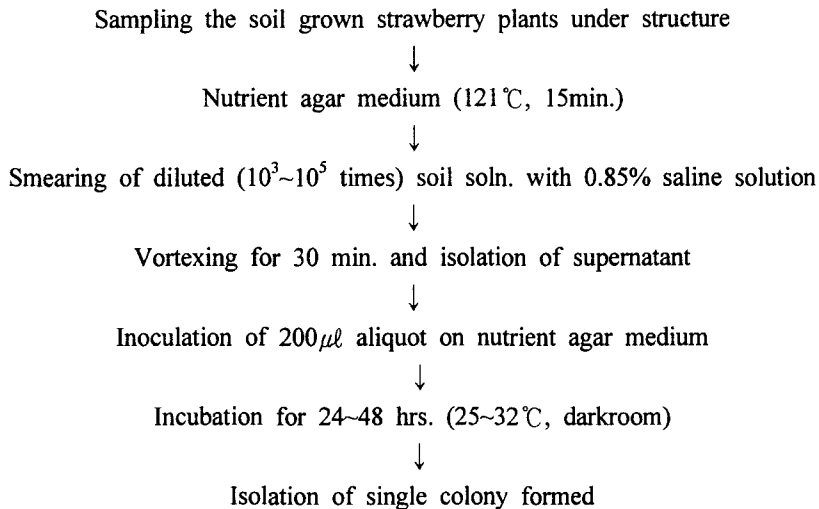


Fig. 2. Isolation of bacterial strain from the soil grown strawberry plants.

3. 잿빛곰팡이병원균과 길항성 세균의 대치배양 및 길항성 근권 세균 선발

딸기에서 발생하는 잿빛곰팡이병원균에 대하여 항균작용이 우수한 길항성 근권 세균을 선발하는 실험은 병원균의 생육에 적합한 PDA 배지를 이용하였다. 또한, 배양 온도도 25℃ 정도로서 사상균의 생장에 양호한 온도 범위에서 배양하여 병원균의 생장에 적당한 온도 조건에서 길항력이 우수한 근권 세균류를 분리하였다.

길항성 근권 세균의 분리 방법은 PDA 배지에 잿빛곰팡이병원균을 접종하고 길항성 근권 세균을 접종한 후 7일 정도 배양시켜 항균작용을 조사하였다. PDA 배지 상에 1곰팡이를 접종하고 길항성 근권 세균 4종류를 접종한 후 7일 정도 배양하여 저지대 (inhibition zone)를 형성하는 길항성 근권 세균을 선발하였다. 생장저지율은 PDA 배지에서 병원균과 7일간 대치배양하면서 병원균 콜로니를 측정하여 무처리구와 비교하여 백분율로 계산하였다.

4. 길항성 근권 세균의 동정

딸기 잣빛곰팡이병원균에 대하여 길항작용이 우수한 근권 세균의 균주 동정은 Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, Microbiological Method, The Prokaryotes 등의 방법에 의하여 미생물의 형태, 배양 및 생리 생화학적 특성 등을 검토하여 실시하였다.

5. 길항균 배양액 한천배지에 잣빛곰팡이병원균 접종에 의한 생장억제 효과

SDBP 배지에서 3일 동안 배양한 길항균 배양액을 10,000rpm에서 8min. 동안 원심분리하여 길항균의 cell을 제거한 후 열처리한 방법으로 조제한 배지는 배양액에 맞는 PDA와 혼합하여 121°C에서 15분간 멸균하였고, filter 처리하여 조제한 배지는 전체 배양액에 맞는 PDA(4배 농축)와 1/4의 배양상징액을 멸균한 후 0.45 μ m membrane filter로 여과한 3/4의 배양상징액을 혼합하여 조제하였다. 조제된 배양액 배지를 plate에 부어 굳힌 다음 잣빛곰팡이병원균을 접종하여 25°C incubator 안에서 7일간 배양시켜 실험한 결과를 PDA에 접종한 대조구와 비교하였다.

6. 열처리한 길항균 배양액의 잣빛곰팡이병원균 생장 억제 효과

SD+B+P 배지에서 3일간 배양한 길항균 배양액을 10,000rpm에서 8min. 동안 원심분리하여 cell을 제거한 후 열처리한 방법으로 조제한 배지는 배양액에 맞는 PDA와 혼합하여 121°C에서 15분간 멸균하였고, filter 처리하여 조제한 배지는 전체 배양액에 맞는 PDA(4배 농축)와 1/4의 배양상징액을 멸균한 후 0.45 μ m membrane filter로 여과한 3/4의 배양상징액을 혼합하여 조제하였다. 조제된 배양액 배지를 plate에 부어 굳힌 다음 잣빛곰팡이병원균을 접종하여 25°C incubator 안에서 7일간 배양시켜 실험한 결과를 PDA에 접종한 대조구와 비교하였다.

Ⅲ. 結果 및 考察

1. 자연계로부터 단일 균주의 분리

전남 장흥과 담양지역을 중심으로 딸기 시설재배에서 발생하는 잣빛곰팡이병원균에 대하여 병원균의 생장을 억제하는 길항작용이 우수한 유용 균주를 분리하기 위하여 수집한 토양 시료를 Fig. 1과 같은 방법으로 하여 단일균주를 210여종 정도 분리하였다. 단일균주

로 분리된 미생물들은 영양한천배지에 접종하여 균총(colony)를 형성시킨 후 냉장보관하면서 딸기에서 발생하는 잣빛곰팡이 병원균과의 항균작용 실험에 이용하였다.

2. 병원균의 분리

전남 담양과 장흥지역의 딸기 시설재배에서 발생하는 잣빛곰팡이 병원균을 딸기 시설재배지를 현지 답사하면서 병징과 표징별로 병반을 채집하여 딸기에서 잣빛곰팡이병을 발생시키는 병원균인 *Botrytis cinerea*를 분리하였다. 분리한 병원성 곰팡이를 딸기에 재접종하여 실험한 결과 딸기 잣빛곰팡이 병원균과 같은 병징을 보여 본 실험의 공시 병원균으로 사용하였다.

3. 길항성 균주 선발

전남 장흥과 담양지역을 중심으로 딸기 시설재배 근권 토양에서 분리한 단일균주 210여 종 중에서 딸기 잣빛곰팡이 병원균에 대하여 항균작용이 우수한 균주를 선발한 결과는 Fig. 3~5 및 표 1 등과 같다. Fig. 3~5의 사진에서 보는 바와 같이 항균작용이 가장 우수한 균주는 SB 143으로서 잣빛곰팡이병원균과의 대치배양 결과 병원균 성장억제력이 59.4% 정도였으며, 그 다음으로는 SB 38 (58.7%), SB 127 (58.3%), SB 64 (57.4%), SB 92 (56.0%), SB 104 (55.4%), SB 171 (54.8%), SB 23 (53.6%), SB 58 (52.9%) 및 SB 16 (51.7%) 등의 순으로 길항력이 우수한 것으로 조사되었다.

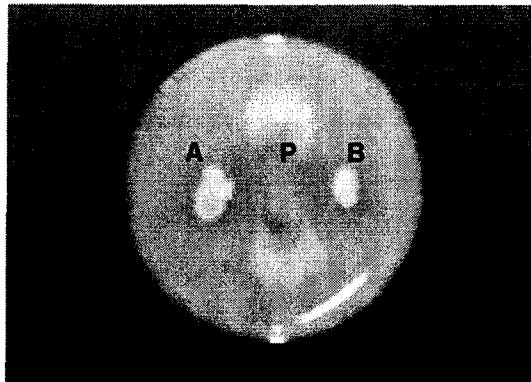


Fig. 3. Inhibition effects of antifungal bacterial strains against gray mold, *Botrytis cinerea* occurred in strawberry plants on potato dextrose agar (PDA) plate for 7 days at 28°C (A: SB 143, B: SB 127, P: *Botrytis cinerea*).

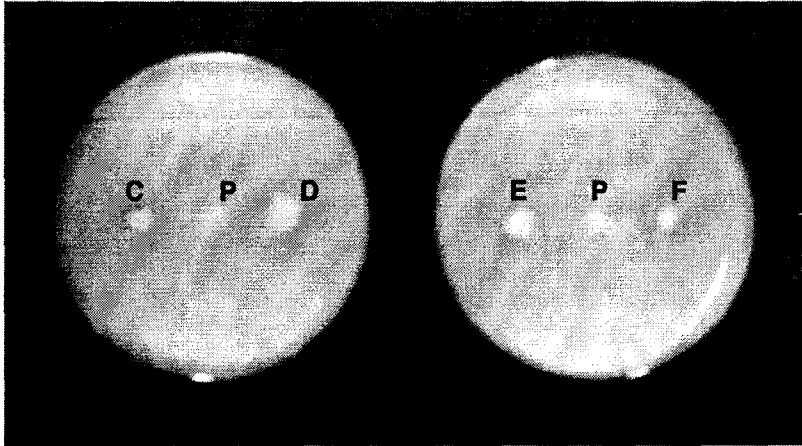


Fig. 4. Inhibition effects of antifungal bacterial strains against gray mold, *Botrytis cinerea* occurred in strawberry plants on potato dextrose agar (PDA) plate for 7 days at 28°C (C: SB 23, D: SB 104, E: SB 58, F: SB 92, P: *Botrytis cinerea*).

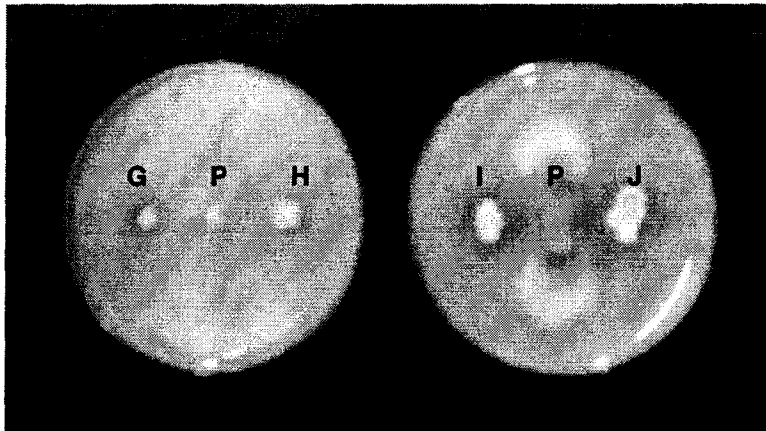


Fig. 5. Inhibition effects of antifungal bacterial strains against gray mold, *Botrytis cinerea* occurred in strawberry plants on potato dextrose agar (PDA) plate for 7 days at 28°C (G: SB 16, H: SB 171, I: SB 38, J: SB 64, P: *Botrytis cinerea*)

본 연구에서 분리된 딸기 잿빛곰팡이 병원균에 대한 길항성 세균은 다른 식물에서 발생하는 토양 및 공기전염성 병원균에도 항균작용이 있을 것으로 생각되므로, 본 연구에서 분리한 길항성 세균인 균주들을 대상으로 항균성 물질과 2차 대사산물 등을 분리 정제하여 항균작용을 유기하는 길항물질의 본체를 구명하는 연구가 필요하다고 생각된다.

Table 1. The inhibition zone*(%) of each antifungal bacterial strains against gray mold, *Botrytis cinerea* occurred in strawberry plants on potato dextrose agar (PDA) plate for 7 days at 28°C.

Bacterial strains	Pathogen <i>Botrytis cinerea</i>	Bacterial strains	Pathogen <i>Botrytis cinerea</i>
SB 143	59.4	SB 92	56.0
SB 127	58.3	SB 16	51.7
SB 23	53.6	SB 171	54.8
SB 104	55.4	SB 38	58.7
SB 58	52.9	SB 64	57.4

$$\text{Zone of inhibition (\%)} = \frac{NT - T}{NT} \times 100$$

NT; colony diameter of no treatment (mm), T; colony diameter of treatment (mm)

4. 길항성 균주의 동정

Table 2. Morphological and biochemical characteristics of antifungal bacteria SB143.

Characteristics	Strain <i>Bacillus subtilis</i>	SB 143
Cell diameter > 1.0 μ m	-z	-
Spores round	-	-
Endospore	+	+
Gram stain	+	+
Form	rod	rod
Sporangium swollen	-	-
Parasporal crystals	-	-
Catalase	+	+
Voges-Proskauer test	+	+
pH in V-P broth < 6 > 7	d(+/-) -	d(+/-) -
Acids from D-Glucose L-Arabinose D-Xylose D-Mannitol	+	+

Characteristics \ Strain	<i>Bacillus subtilis</i>	SB 143
Gas from glucose	-	-
Hydrolysis of		
Casein	+	+
Gelatin	+	-
Starch	+	+

z -, 90% or more are negative; +, 90% or more are positive; d, 11~89% are positive

딸기 시설재배에서 발생하는 잣빛곰팡이병원균에 대하여 항균작용이 우수한 근권 세균인 균주 SB 143을 동정하기 위하여 균주의 형태적인 특성, 배양적 특성 및 생리 생화학적 특성 등을 검토한 결과는 Table 2와 3 등과 같으며, 이와 같은 결과를 기초하여 균주 동정을 실시한 결과 *Bacillus* sp.인 것으로 동정되었다.

Bacillus sp. SB 143은 크기가 직경 > 1.0 μ m 정도의 단간균으로 호기성이었으며 약간의 운동성을 보였다. 4 $^{\circ}$ C와 42 $^{\circ}$ C에서는 생육하지 않았고 포자를 형성하는 Gram 양성균이었다. 젤라틴 액화능은 음성이나 starch 분해능은 있었으며, catalase가 양성, citrate는 양성, nitrate reduction은 양성, indole 검사는 음성이었다. 또한, Methyl red 반응은 음성, VP 반응은 약하게 나타났으며, H₂S 형성은 K/A이었고, 당 분해능은 포도당, xylose 및 mannitol arabinose 등은 양성으로 나타났다.

이러한 결과를 토대로 Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, Microbiological Method 등에 기술된 분류기준에 따라 SB 143은 *Bacillus* sp.와 93.8% 정도 유사한 *Bacillus* sp. 균주 또는 그 유연균주인 것으로 추정되었다.

Table 3. Morphological and biochemical characteristics of antifungal bacteria SB143.

Characteristics \ Strain	<i>Bacillus subtilis</i>	SB 143
Utilization of		
Citrate	+	+
Propionate	-	-
Degradation of tyrosine	-	+
Deamination of phenylalanine	-	-
Egg-yolk lecithinase	-	-
Formation of		
Indole	-	-
Dihydroxyacetone	ND	d

Characteristics \ Strain	<i>Bacillus subtilis</i>	SB 143
NaCl and KCl required	-	-
Allantoin or urate required	-	-
Growth at pH		
6.8, nutrient broth	+	+
5.7	+	+
Growth in NaCl		
2%	+	+
5%	+	+
7%	+	+
10%	ND	d
Growth at		
5°C	-	-
10°C	d	d
30°C	+	+
40°C	+	+
50°C	d	d
55°C	-	-
65°C	-	-
Growth with lysozyme present	d	d

z -, 90% or more are negative; +, 90% or more are positive; d, 11~89% are positive; ND, no data available

5. 길항균 살포에 의한 딸기 잿빛곰팡이병원균의 생장억제 작용

딸기 잿빛곰팡이병원균에 대하여 길항성이 우수한 *Bacillus* sp. SB 143을 SD+B+P 배지에서 3일 동안 배양한 배양액을 원심분리하여 균주의 균체를 제거한 후 열처리한 방법으로 조제한 배지를 PDA 배지에 혼입하여 멸균하였다. Filter 처리한 배지는 전체 배양액에 맞는

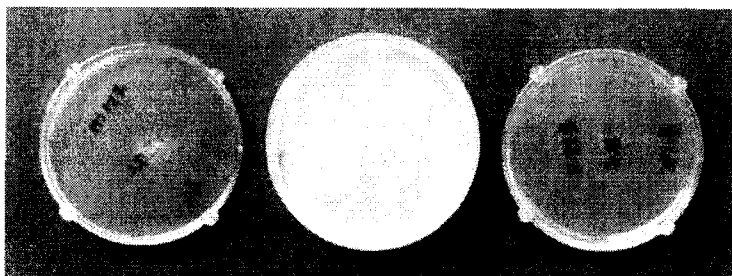


Fig. 6. Growth inhibition of gray mold, *Botrytis cinerea* by antagonistic bacteria. Gray mold, *Botrytis cinerea* occurred in the greenhouse grown strawberry plants were

selected and grown on PDA medium at 24hrs and bacterialized by antagonistic bacterial strain, *Bacillus* sp. SB 143. Antifungal strain cultural broth was filtered into 0.45 μ m membrane filter, and PDA medium plus 3/4 suspension solution was autoclaved and antagonistic experiments were conducted. [A: application of antifungal filtrate using 0.45 μ m membrane filter, B: control (Gray mold, *Botrytis cinerea*), C: application of heat treated antifungal cultures].

PDA (4배 농축)와 0.45 μ m membrane filter로 여과한 3/4의 배양상징액을 혼합하여 조제된 배양액을 plate에 부어 굳힌 다음 곰팡이를 접종하여 25 $^{\circ}$ C incubator 안에서 7일간 배양시켜 실험한 결과 PDA에 접종한 대조구와 비교하여 길항균의 딸기 잿빛곰팡이병원균에 대한 생장억제 작용이 현저히 증가하는 것으로 나타났다.

6. 열처리한 길항성 균주 배양액의 잿빛곰팡이병원균에 대한 생장억제 작용

딸기 잿빛곰팡이병원균에 대하여 길항작용이 우수한 *Bacillus* sp. SB 143이 생산하는 길항물질이 내열성인지의 여부를 알아보기 위하여 길항성 균주의 배양액을 열처리하여 항균 작용을 실험한 결과는 Fig. 7과 같다.

균주가 생산하는 배양액의 열처리는 SD+B+P 배지에서 3일 동안 배양한 균주의 배양액을 원심분리하여 균체는 제거하고 상징액을 열처리하였다. 열처리한 후 조제된 배양액 배지를 plate에 부어 굳힌 다음 곰팡이를 접종하여 25 $^{\circ}$ C 배양기안에서 7일간 배양시켜 실험한 결과를 대조구와 비교하여 관찰한 결과 약 32.1% 정도의 길항력을 보여 길항균이 분비하는 길항성 물질이 어느 정도는 내열성이 있는 것으로 보였다.

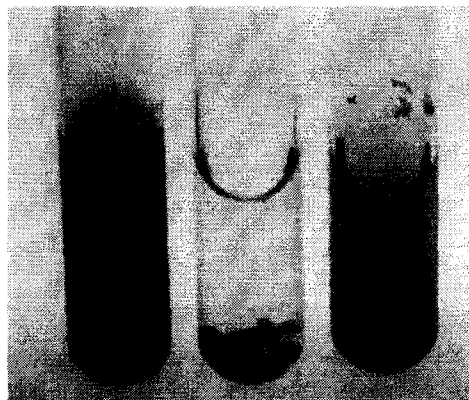


Fig. 7. Growth inhibition of gray mold, *Botrytis cinerea* by heat treated culture broth of antagonistic bacteria. Gray mold, *Botrytis cinerea* occurred in the greenhouse

grown strawberry plants were selected and grown on PDA medium at 25°C for 24 hours and treated by heat treated(121°C, 15min) culture broth of antagonistic bacterial strain, *Bacillus* sp. SB 143. [A: application of antifungal filtrates using 0.45 μ m membrane filter, B: control (gray mold, *Botrytis cinerea*), C: application of heat treated antifungal cultures]

IV. 摘 要

전남 담양과 장흥지역을 중심으로 딸기 시설재배지에서 발생하는 잣빛곰팡이병원균(gray mold, *Botrytis cinerea*)의 대하여 길항작용이 우수한 균주를 토양으로부터 분리 동정하였다. 딸기 시설재배지에서 발생하는 잣빛곰팡이병원균에 대하여 항균작용이 우수한 균주를 10종을 1차적으로 선발하였고, 이 중에서 항균작용이 가장 우수한 SB 143을 최종적으로 선발하였다. 딸기 잣빛곰팡이병원균에 대하여 항균작용이 우수한 SB 143을 대상으로 균주의 형태적 성질, 배양적 특성 및 생리 생화학적 성질 등을 조사하여 균주의 동정을 검토한 바 *Bacillus* sp.와 유사한 균주로 동정되었다. 길항균으로 분리한 *Bacillus* sp. SB 143은 딸기 잣빛곰팡이병원균에 대하여 59.4% 정도의 높은 생장억제력을 보일 뿐만 아니라 한천배지에서 잣빛곰팡이병원균 접종 후 길항균 처리와 열처리한 균주 배양액을 처리하였을 때 각각 93.1%와 32.1%의 항균작용을 보였다.

[논문접수일 : 2005. 3. 20. 최종논문접수일 : 2005. 5. 20.]

参 考 文 献

1. Bloemberg, G. V. and B. J. J. Lugtenberg. 2001. Molecular basis of plant growth promotion and biocontrol by rhizobacteria. *Current Opinion in Plant Biology* 4(4) : 343-350.
2. Long, S. R. 2001. Genes and signals in the *Rhizobium*-legumes symbiosis. *Plant Physiol.* 125 : 69-72.
3. Spaink, H. P. 2000. Root nodulation and infection factors produced by rhizobial bacteria. *Annu. Rev. Microbiol.* 54 : 257-288.
4. Perret, X., C. Staehelin and W. J. Broughton. 2000. Molecular basis of symbiotic pro-

miscuity. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 64 : 180-201.

5. Nielsen, T. H., C. Christophersen., U. Anthoni and J. Sorensen. 1999. Viscosinamide, a new cyclic depsipeptide with surfactant and antifungal properties produced by *Pseudomonas fluorescens* DR54. *J. Appl. Microbiol.* 87 : 80-90.
6. Nielsen, T. H., C. Thrane, C. Christophersen, U. Anthoni and J. Sorensen. 2000. Structure, production characteristics and fungal antagonism of tensin - a new antifungal cyclic lipopeptide from *Pseudomonas fluorescens* strain 96.578. *J. Appl. Microbiol.* 89 : 992-1001.
7. Nowak-Thompson, B., N. Chaney, J. S. Wing, S. J. Gould and J. E. Loper. 1999. Characterization of the pyoluteorin biosynthetic gene cluster of *Pseudomonas fluorescens* Pf-5. *J. Bacteriol.* 181 : 2166-2174.
8. Bangera, M. G. and L. S. Thomashow. 1999. Identification and characterization of a gene cluster for synthesis of the polyketide antibiotic 2,4-diacetylphloroglucinol from *Pseudomonas fluorescens* Q2-87. *J. Bacteriol.* 181 : 3155-3163.
9. Delany, I., M. M. Sheehan, A. Fenton, S. Bardin, S. Aarons and F. O'Gara. 2000. Regulation of production of the antifungal metabolite 2,4-diacetylphloroglucinol in *Pseudomonas fluorescens* F113: genetic analysis of *phlF* as a transcriptional repressor. *Microbiology* 146 : 537-546.
10. Stohl, E. A., J. L. Milner and J. Handelsman. 1999. Zwittermicin, a biosynthetic cluster. *Gene* 237 : 403-411.