

## 오이의 온실재배에서 발생하는 위조병의 미생물학적 제어

조 정 일\* · 조 자 용\*\*

### Biological Control of Fusarium Wilt by Antagonistic Microorganism in Greenhouse Grown Cucumber Plants

Cho, Jung-Il · Cho, Ja-Yong

This study was carried out to clarify the effects of antagonistic microorganism, *Bacillus* sp. JC181 isolated from the greenhouse soil grown cucumber plants on the growth inhibition of plant pathogen, fusarium wilt (*Fusarium oxysporum*) occurred in cucumber plants in greenhouse. Antagonistic bacterial strains were isolated and were investigated into the antifungal activity of the antagonistic microorganism against fusarium wilt. Screened fourteen bacterial strains which strongly inhibited *F. oxysporum* were isolated from the greenhouse soil grown cucumber plants, and the best antagonistic bacterial strain designated as JC181, was finally selected. Antagonistic bacterial strain JC181 was identified to be the genus *Bacillus* sp. based on the morphological and biochemical characterization. *Bacillus* sp. JC181 showed 58.2% of antifungal activity against the plant pathogen growth of *F. oxysporum*. By the bacterialization of culture broth and heated filtrates of culture broth, Bacterial strain, *Bacillus* sp. JC181. showed 91.2% and 26.0% of antifungal activity against *F. oxysporum*, respectively.

*Key words* : protected cultivation, cucumber, fusarium wilt, *Fusarium oxysporum*, antagonistic microorganism, *Bacillus* sp. JC181

## I. 緒 言

현재 국내의 오이 시설재배에서 염류집적으로 인한 생리장해 발생의 심화, 토양전염성

---

\* 조선이공대학 식생활과

\*\* 남도대학 약용자원원에개발과

병원미생물의 만연, 시설의 이동설치에 따른 경비와 인건비 증가로 경영 악화 초래, 농업 노동인력의 고령화 등으로 인해 기존의 토양재배에서 첨단 과학영농기술이라 할 수 있는 수경재배로 전환하려는 농업인들과 더불어 유용미생물과 유기농업자재를 적극적으로 활용하여 환경친화적 지속농업으로 전환하는 농가가 늘어나고 있다(김, 1992; Cho와 Cho, 2003; 공, 1996; Lee, 1999; 뮌와 裴, 1995; Whipps, 1997; Yang 등, 1990).

유기농업과 지속농업으로의 전환에서 가장 중요한 것은 작물재배에 필요한 토양관리와 더불어 유용 미생물의 균주 개발이다. 현재 원예작물의 시설재배에서 발생하는 근권 병원균의 발생을 억제하고 식물의 성장을 촉진하는 유용균주로는 *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Azospirillum* sp., 광합성세균 및 균근균 등이 보고되고 있다(Aguilar와 Barea, 1997; Baker와 Scher, 1986; Cho와 Cho, 2003; Howell과 Stipanovic, 1979; 김, 1992; Orlikowski, 1987; Scher와 Baker, 1980; van Peer 등, 1988; Whitelaw 등, 1997).

이러한 유용 근권미생물들은 식물의 지상부와 뿌리 발달을 저해하는 미생물에 대하여 항생작용을 갖는다(Brown, 1974; Cho와 Cho, 2003; Kloepper 등, 1980). 또한, 길항성 근권 미생물은 뿌리전염성 병원균의 생육을 억제함으로써 식물의 성장을 촉진시키기도 한다(Lesinger와 Margraff, 1979). 병원성 미생물의 성장을 억제하는 메카니즘에는 항생물질(Howell과 Stipanovic, 1979; Baker와 Scher, 1986)과 철 킬레이트 화합물의 생산(Nielands, 1981; Nielands와 Leong, 1986; Simeoni 등, 1987) 등이 보고되고 있다.

그러므로 본 연구에서는 오이의 시설재배에서 병해 발생이 심각한 위조병원균에 대하여 항균력이 우수한 근권미생물을 분리하여 동정함으로써 환경친화적 농업개발의 기초자료로 활용하고자 실시하였다.

## II. 材料 및 方法

### 1. 위조병원균의 분리

시설재배 토양에서 오이의 위조병 증상을 발생시키는 병반을 수집하여 병환부에서 병원균 포자를 분리하여 공시하였다. 오이 병반에서 위조병을 발생시키는 병원균을 분리하기 위하여 구례를 중심으로 전남지방의 주요 시설원예단지를 현지 답사하면서 병징 및 표징 별로 병반을 채집하여 위조병원균을 분리하였다.

또한, 원예연구소(HI; Horticultural Crop Institute of Research and Development)와 농업과학기술원(NAIST; National Agricultural Science and Technology Institute)으로부터 위조병원균을 분양 받아 본 실험실에서 분리한 병원균과 비교 검토하였다.

위조병원균의 분리를 위하여 채집된 병반은 20℃, 상대습도 90% 이상의 항온 항습실에

서 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 $\mu$ l/ml, pH 3.0]에 병반조직을 올려놓고 25 $^{\circ}$ C 항온배양기에서 2~3일간 배양하여 형성된 균총(colony)에서 병원균을 분리하였다<그림 1>.

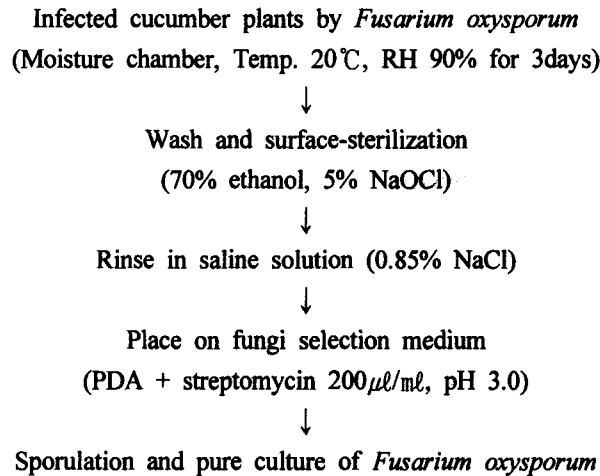


Fig. 1. Isolation of *Fusarium oxysporum* from infected cucumber plants.

## 2. 유효미생물 분리

오이에서 발생하는 위조병원균에 대하여 항균작용을 갖는 유효미생물을 자연계로부터 분리하기 위하여 살균수로 조제한 회석액을 회석평판법에 의하여 plate count agar(PCA) 배지에 도말하고, 25 $^{\circ}$ C에서 48시간 배양한 후 나타난 colony를 실체현미경하에서 검경하여 미생물을 분리하였다. 또한, 시설재배 토양으로부터 미생물 분리를 위하여 지표로부터 5~20 cm의 토양을 채취하고 회석평판법 및 토양평판법을 이용하여 단일균주를 분리하였다. 길항미생물의 분리방법은 채취한 시료를 tris-HCl buffer solution(pH 7.5) 100ml에 넣고 진탕배양을 10분 정도 실시한 후 배지내에 들어있는 미생물을 생리식염수(0.85%, NaCl)로 회석하여 영양한천배지[nutrient agar (NA) plate]에 회석하고 농도별로 도말하였다. NA plates는 30 $^{\circ}$ C 항온배양기(incubator, SW-901)에서 24~36시간 정도 배양한 후 균주를 분리하여 사면배지에 보관하였다. 분리된 미생물은 영양한천배지에 접종하고 단일 colony를 형성시켜 오이의 위조병원균에 감염된 부위에서 분리한 병원균과의 길항력 실험에 사용하였다.

### 3. 병원균과 길항균의 대치배양과 길항균 선발

위조병원균에 대한 길항균의 선발 실험은 병원성 사상균의 생육에 유리한 감자한천(PDA) 배지를 이용하였고, 배양 온도 역시 25℃ 정도로 위조병원균의 생장에 양호한 온도 범위로 배양하여 병원성 사상균의 생육에 적합한 환경에서 길항력이 우수한 세균성 균주를 분리하였다.

길항균의 선발방법은 감자한천배지에 위조병원균의 균총을 접종 후 4일간 배양하여 길항균 106종을 접종하고 7일 정도 배양시켜 길항력을 관찰하였다. 길항균 선발을 위한 대치배양은 PDA plate 중앙에 1곰팡이를 접종하고 길항균 4종류를 짝어 실험한 후 7일 정도 배양하여 저지대(inhibition zone)를 형성하는 균주를 길항균으로 선발하였다. 생장저지율은 PDA 평판배지에서 병원균과 7일간 대치배양 후 병원균 균총(colony)의 직경을 측정하여 무처리구와 비교하여 다음과 같은 백분율로 나타내었다.

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

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

### 4. 길항미생물 동정

길항미생물의 동정은 위조병원균에 대하여 길항력이 우수한 JC181을 동정하기 위하여 Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, Microbiological Method, The Procaroyotes 등의 방법에 의하여 미생물의 형태적 성질, 배양적 특성 및 생리 생화학적 성질 등을 검토하였다 (Krieg와 Holt, 1984).

### 5. 배양액 한천배지에 위조병원균 접종에 의한 위조병원균 억제 효과

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

## 6. 위조병원균 접종 후 길항균 배양액 살포에 의한 위조병원균의 억제 효과

길항균은 SD+B+P 배지에서 3일간 배양하여 배양액을 10,000rpm에서 8min. 동안 원심 분리하여 cell을 제거한 후, 열처리 방법으로 한 배양상징액은 121℃, 1.2기압에서 15분간 멸균하였고, filter 처리 방법으로 한 배양상징액은 0.45 $\mu$ m membrane filter로 여과하여 곰팡이 접종 후 8시간 정도 배양하여 1ml씩 살포하였다. 배양상징액이 살포된 곰팡이를 7일간 25℃ incubator 안에서 배양시켜 실험한 결과를 무처리한 대조구와 비교하였다.

## 7. 열처리한 길항균 배양액의 위조병원균의 억제효과

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℃에서 15분간 멸균하였고, filter 처리하여 조제한 배지는 전체 배양액에 맞는 PDA(4배 농축)와 1/4의 배양상징액을 멸균한 후 0.45 $\mu$ m membrane filter로 여과한 3/4의 배양상징액을 혼합하여 조제하였다. 조제된 배양액 배지를 plate에 부어 굳힌 다음 곰팡이를 접종하여 25℃ incubator 안에서 7일간 배양시켜 실험한 결과를 PDA에 접종한 대조구와 비교하였다.

# Ⅲ. 結果 및 考察

## 1. 자연계로부터 미생물의 분리

온실재배 오이에서 발생하는 위조병원균에 대하여 길항작용을 갖는 유용미생물을 분리하기 위하여 구례지역을 중심으로 한 전남지방의 시설원에 토양에서 수집된 시료를 처리하여 2,500여종의 단일균주를 분리하였다. 분리된 미생물들은 영양한천(nutrient agar, NA medium) 배지에 접종하여 균총(colony)을 형성시킨 후 냉장보관하면서 위조병원균과의 항균작용 실험을 하였다.

## 2. 위조병원균 분리 및 수집

오이를 재배하는 구례 등의 전남지방 시설원에 농가를 현지 답사하면서 위조병원균의 병징 및 표징별로 병반을 채집하여 오이의 위조병을 발생시키는 위조병원균(*Fusarium oxysporum*)을 분리하였다. 분리된 위조병원균을 오이에 다시 접종한 결과 오이에서 발생하는 위조병원균과 동일한 병징을 보여 길항균과의 대치배양 및 길항균 선발에 공시 위조병원균으로 사용하였다.

### 3. 위조병원균에 대한 길항미생물 선발

<그림 2>는 구례 등 전남지방의 시설원에 농가 토양에서 분리한 단일 균주 2,500여종 가운데 오이의 위조병원균에 대하여 길항작용을 갖는 유효 미생물을 선발하는 과정이다. 시설원에 토양에서 분리한 2,500여종의 미생물 가운데 오이의 위조병원균에 대하여 항균작용을 갖는 미생물들을 선발하여 또다시 위조병원균과 대치배양을 하여 길항미생물을 선발한 결과는 <그림 3>에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 JC181이 길항력이 가장 우수한 균주로 조사되었으며, JC194, JC160, JC164, JC177, JC172, JC189 및 JC198 등의 순서로 위조병원균에 대하여 항균작용이 우수한 것으로 조사되었다<그림 3>.

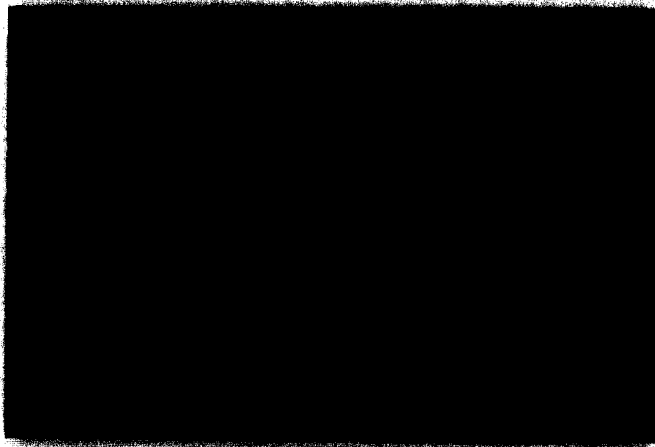


Fig. 2. Screening of antifungal microorganisms against fusarium wilt (*Fusarium oxysporum*) occurred in cucumber plants grown in greenhouse soil.

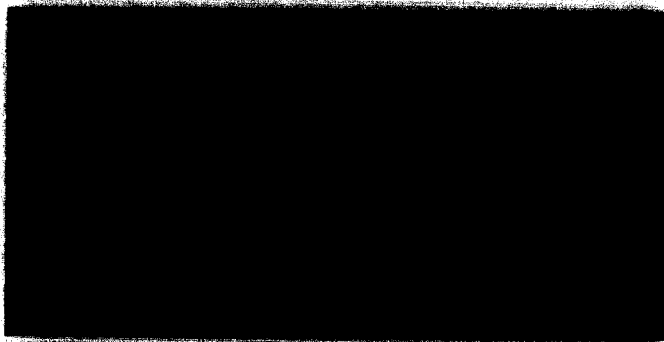


Fig. 3. Inhibition effects of antifungal bacterial strains against fusarium wilt, *Fusarium oxysporum* occurred in the greenhouse grown cucumber plants on potato dextrose agar(PDA) plate for 7 days at 28°C. (a: JC160, b: JC164, c: JC172, d: JC177, e: JC181, f: JC189, g: JC194, h: JC198, p: *Fusarium oxysporum*)

Table 1. Inhibition zone\*(%) of the each antagonistic microorganism against fusarium wilt, *Fusarium oxysporum* occurred in the greenhouse grown cucumber plants on PDA media for 7 days at 28°C.

Isolated bacterial strain	Pathogen	<i>Fusarium oxysporum</i>
JC160		52.4
JC164		52.0
JC172		51.4
JC177		51.8
JC181		58.1
JC189		47.4
JC194		53.7
JC198		46.5

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

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

<표 1>의 결과와 같이 JC181이 58.1%로서 오이에서 발생하는 위조병원균에 대한 항균작용이 가장 우수한 미생물로 조사되었으며, 그 다음으로는 JC194(53.7%), JC160(52.4%), JC164(52.0%), JC177(51.8%), JC172(51.4%), JC189(47.4%) 및 JC198(46.5%) 등의 순서로 길항력이 우수하였다. 기내에서 선발된 길항균이 포장에서 동일한 항균작용을 갖도록 하는 다양한 실험이 향후 수행되어야 할 것으로 생각되며, 본 길항균이 분비하는 다양한 항균물질과 더불어 2차 대사산물에 대한 더 많은 연구가 필요하다고 생각된다.

#### 4. 길항균 동정

시설재배지에서 분리하여 오이의 위조병원균에 대하여 길항력을 갖는 균주인 JC181을 동정하기 위하여 미생물 균주의 형태적 특성, 배양적 특성 및 생리생화학적 성질 등을 검토한 결과는 <표 2와 3> 등과 같다. <표 2와 3> 등과 같은 결과를 기초로 하여 길항성 세균의 동정을 실시한 결과 *Bacillus* sp.와 92.4% 정도 유사한 균주로 동정되어 *Bacillus* sp. JC181로 명명하였다.

Table 2. Morphological and biochemical characteristics of antifungal bacteria JC181.

Characteristics	Strain	<i>Bacillus subtilis</i>	JC181
Cell diameter > 1.0 $\mu$ m		-z	-
Spores round		-	-
Endospore		+	+
Gram stain		+	+
Form		rod	rod
Sporangium swollen		-	d(-)
Parasporal crystals		-	-
Catalase		+	+
Voges-Proskauer test		+	+
pH in V-P broth			
< 6		d(+/-)	d(+/-)
> 7		-	-
Acids from			
D-Glucose		+	+
L-Arabinose		+	+
D-Xylose		+	+
D-Mannitol		+	-
Gas from glucose		-	-
Hydrolysis of			
Casein		+	+
Gelatin		+	-
Starch		+	+

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

*Bacillus* sp. JC181은 약간의 운동성을 갖는 호기성 단간균(직경 > 1.0 $\mu$ m)으로 4 $^{\circ}$ C와 42 $^{\circ}$ C에서 생육하지 않고 포자를 형성하는 Gram 양성균으로 젤라틴 액화능은 음성이나 starch 분해능은 없었으며, catalase가 양성, citrate는 양성, nitrate reduction은 양성, indole 검사는 음성이었다. Methyl red 반응은 음성, VP 반응은 약하게 나타났으며, H<sub>2</sub>S 형성은 K/A이었고, 당 분해능은 포도당, xylose는 양성이나 mannitol arabinose는 음성으로 나타났다.

이러한 결과를 토대로 Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, Microbiological Method 등에 기술된 분류기준에 따라 JC181 균주는 *Bacillus* sp. 균주 또는 *Bacillus* sp.와 92.4% 정



도 유연균인 것으로 추정되었다(Krieg와 Holt, 1984).

Table 3. Morphological and biochemical characteristics of antifungal bacteria JC181.

Characteristics	Strain	<i>Bacillus subtilis</i>	JC181
Utilization of	Citrate	+	+
	Propionate	-	-
Degradation of tyrosine		-	+
Deamination of phenylalanine		-	-
Egg-yolk lecithinase		-	-
Formation of	Indole	-	-
	Dihydroxyacetone	ND	+
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	+
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 위조병원균의 생장억제 효과

길항균 *Bacillus* sp. JC181을 SD + B + P 배지에 3일간 배양하여 형성된 배양액을 원심분리하여 균체를 제거하고, 열처리 방법으로 조제한 배지를 배양액에 맞는 PDA와 혼합하여 멸균하여 병원균을 접종한 결과 오이 위조병원균에 대한 항균작용이 있는 것으로 관찰되었다<그림 4-C>. 또한, filter 처리하여 조제한 배지는 전체 배양액에 맞는 PDA(4배 농축)와 1/4의 배양상징액을 멸균한 후 0.45 $\mu$ m membrane filter로 여과한 3/4의 배양상징액을 혼합하여 조제한 후 조제한 배양액을 plate에 부어 굳힌 다음 곰팡이를 접종하여 25 $^{\circ}$ C incubator 안에서 7일간 배양시켜 실험한 결과<그림 4-A>를 PDA에 접종한 대조구<그림 4-B>와 비교하여 관찰한 결과 오이 위조병원균에 대한 생장저지율이 현저히 증가하는 것으로 나타났다<그림 4>.



Fig. 4. Growth inhibition of *Fusarium oxysporum* by antagonistic bacteria. *Fusarium oxysporum* occurred in the greenhouse grown cucumber plants were selected and grown on PDA at 24hrs and bacterialized by antagonistic bacterial strain, *Bacillus* sp. JC181. Antifungal strain cultural broth was filtered into 0.45 $\mu$ 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 $\mu$ m membrane filter, B: control (*Fusarium oxysporum*), C: application of heat treated antifungal cultures]

또한, 오이에서 발생하는 위조병원균을 접종후 *Bacillus* sp. JC181 균주의 배양액 살포에 의한 항균작용을 관찰한 결과는 <그림 5>와 같다. 길항균 *Bacillus* sp. JC181을 SD + B + P 배지에서 3일간 배양하여 배양액을 원심분리하여 균체는 제거하고 열처리 방법으로 배양액을 멸균하였다.

배양상징액은 filter로 여과하여 오이 위조병원균을 접종한 후 8시간 정도 배양하여 1ml씩

살포하여 처리하였으며, 열처리한 배양상징액이 살포된 곰팡이를 7일간 25℃ incubator 안에서 배양시켜 실험한 결과를 무처리한 대조구와 비교하여 관찰한 결과 대조구에 비하여 filter 처리한 시험구와 열처리 배양액 살포 처리구에서 현저하게 위조병원균에 대한 생장억제 작용이 있었다. 위조병원균에 대한 생장억제작용을 보면 filter 처리한 *Bacillus* sp. JC181의 배양액 살포 처리구 > *Bacillus* sp. JC181의 열처리한 배양액 살포 처리구 > 대조구 등의 순이었으며<그림 5-a~c>, 이러한 결과는 Cho와 Cho(2003) 등이 토마토 시설재배에서 발생하는 위조병원균에 대한 길항균 *Bacillus* sp의 항균작용 연구와 비슷한 경향인 것으로 보였다.

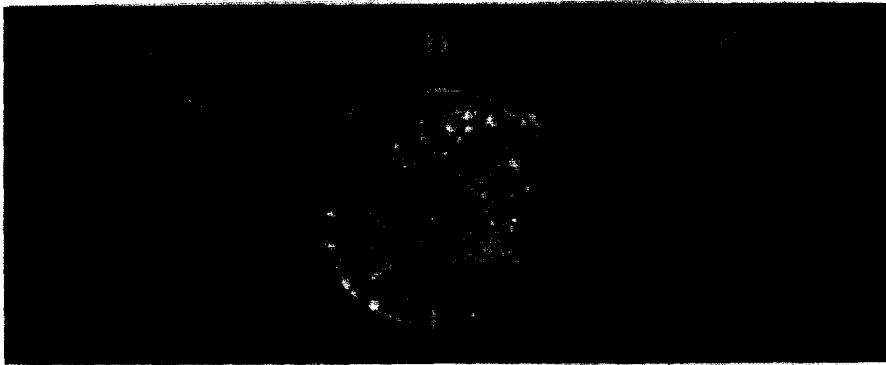


Fig. 5. Growth inhibition of *Fusarium oxysporum* by filtrate using 0.45µm membrane filter and autoclaved(121°C, 15min) antifungal strain cultural broth on PDA at 24hrs. Antagonistic bacterial strain, *Bacillus* sp. JC181 was cultured in SD+B+P medium and filtered into 0.45µm membrane filter and autoclaved(121°C, 15min). [A: application of antifungal filtrates using 0.45µm membrane filter, B: control (*Fusarium oxysporum*), C: application of heat treated antifungal cultures]

## 6. 열처리한 길항균 배양액의 위조병원균 생장억제효과

오이 온실재배에서 발생하는 위조병원균(*Fusarium wilt*)에 대하여 항균작용이 우수한 길항균 *Bacillus* sp. JC181이 생산하는 항균물질이 내열성인지의 여부를 확인하기 위하여 열처리 방법으로 길항균의 배양액을 처리하여 위조병원균과의 길항력을 실험한 결과는 그림 6과 같다.

길항균의 열처리는 SD + B + P 배지에서 3일간 배양시킨 *Bacillus* sp. JC181 균주의 배양액을 10,000rpm으로 원심분리하여 균체는 제거하고, 상징액을 열처리하였다. 조제된 배양액 배지를 plate에 부어 균한 다음 오이에서 분리한 위조병원균 *Fusarium oxysporum*을 접종하여 대조구와 비교한 결과 약 26% 정도의 항균작용을 보여주어 길항균이 분비하는 물질

이 어느 정도 내열성이 있는 것으로 관찰되었다<그림 6-A~C>.

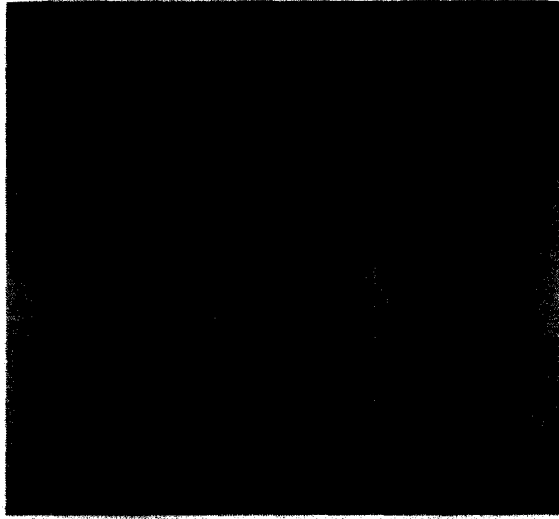


Fig. 6. Growth inhibition of *Fusarium oxysporum* by heat treated culture broth of antagonistic bacteria. *Fusarium oxysporum* occurred in the greenhouse grown cucumber plants were selected and grown on PDA at 25°C for 24hrs and treated by heat treated(121°C, 15min) culture broth of antagonistic bacterial strain, *Bacillus* sp. JC181. [A: application of antifungal filtrates using 0.45µm membrane filter, B: control (*Fusarium oxysporum*), C: application of heat treated antifungal cultures]

#### IV. 摘 要

온실재배 오이에서 발생하는 위조병원균(*Fusarium oxysporum*)에 대한 항균성 길항미생물을 검색 및 분리하기 위하여 시설재배지 토양에서 미생물을 분리하여 위조병원균에 대한 길항력을 검정하고, 길항미생물을 동정하였다. 시설재배 토양으로부터 얻은 2,500여종의 미생물 중에서 오이에 발생하는 위조병원균에 대하여 길항력이 우수한 미생물을 1차적으로 14종 선발하였으며, 이 중에서 가장 항균작용이 뛰어난 JC181의 형태적 특성, 배양적 특성 및 생리 생화학적 특성 등을 조사하여 비교 검토한 결과 *Bacillus* sp.와 유사한 균으로 동정되었다. 길항균 *Bacillus* sp. JC181은 오이에서 발생하는 위조병원균에 대하여 58.1% 정도의 높은 생장억제력을 보였으며, 감자한천배지에서 위조병원균을 접종한 후 길항균의 균체 접종 처리와 열처리한 배양액을 처리하였을 때 각각 91.2%와 26.0% 정도의 항균작용을 보였다.

주요어 : 시설재배, 오이, 위조병원균, *Fusarium oxysporum*, 길항미생물, *Bacillus* sp. JC181

## 참 고 문 헌

1. Aguilar, C. A. and J. M. Barea. 1997. Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture : significance and potentials. *Scientia Horticulturae* 68 : 1-24.
2. Baker, R. and F. M. Scher. 1986. Enhancing the activity of biological control agents. In *Innovative Approaches to Plant Disease Control* (I. Chet, Ed.). Wiley New York pp. 1-18.
3. Brown, M. E. 1974. Seed and root bacterization. *Annu. Rev. Phytopathol.* 12 : 181-197.
4. Cho, J. I. and J. Y. Cho. 2003. Biological control of fusarium wilt of tomato plants by antagonistic microorganism in greenhouse. *Kor. J. Organic Agri.* 11(4) : 61-74.
5. Howell, C. R. and R. D. Stipanovic. 1979. Control of *Rhizoctonia solani* in cotton seedlings with *Pseudomonas fluorescens* and with antibiotic produced by the bacterium. *Phytopathology* 69 : 480-482.
6. 김태우. 1992. 혐기성 광합성 세균의 bio fertilizer로서의 이용. 경북대학교 농화학과 석사학위논문.
7. Kloepper, J. W., M. N. Schroth, and T. D. Miller. 1980. Effects of rhizosphere colonization by plant growth-promoting rhizobacteria on potato plant development and yield. *Phytopathology* 70 : 1078-1082.
8. 공혜숙. 1996. 계분, 톱밥 및 왕겨사용이 토양미생물 활동상에 미치는 영향. 건국대학교 농학박사학위논문.
9. Krieg, N. R. and J. G. Holt. 1984. *Bergey's manual of systematic bacteriology*. Williams and Wilkins, Baltmor. pp. 215-232.
10. Lee, B. S. 1999. Effect of root-zone environment on the nutrient and water uptake and growth of hydroponically grown cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants. PhD Diss., Chonnam National Univ., Korea.
11. Lesinger, T. and R. Margraff. 1979. Secondary metabolites of the fluorescent pseudomonads. *Microbiol. Rev.* 43 : 422-442.
12. Nielands, J. B. 1981. Iron absorption and transport in microorganisms. *Annu. Rev. Nutri.* 1 : 27-46.
13. Nielands, J. B. and S. A. Leong. 1986. Siderophores in relation to plant growth and disease. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 37 : 187-208.
14. 吳日秀, 裴鐘響. 1995. 養液栽培論. 先進文化社. pp. 154.

15. Orlikowski, L. 1987. Biological control of fusarium wilt of carnation. *Acta Hortic.* 216 : 101-104.
16. Scher, F. M. and R. Baker. 1980. Mechanism of biological control in a *Fusarium* suppressive soil. *Phytopathology* 70 : 412-417.
17. van Peer, R., T. Xu., H. Rattink, and B. Schippers. 1988. Biological control of carnation wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi* in hydroponic systems. *ISOSC Proc.* pp. 361-373.
18. Simeoni, L. A., W. L. Lindsay. and R. Baker. 1987. Critical iron level associated with biological control of fusarium wilt. *Phytopathology* 77 : 1957-1961.
19. Whipps, J. M. 1997. Development in the biological control of soil-borne plant pathogens. *Advances in Botanical Research Incorporating Advances in Plant Pathology* 26 : 1-134.
20. Whitelaw, M. A., T. J. Harden. and G. L. Bender. 1997. Plant growth promotion of wheat inoculated with *Penicillium badicum* Sp-Nov. *Australian J. Soil Research* 35(2) : 291-300.
21. Yang, W. M., S. J. Chung, and S. Y. Yang. 1990. Comparative studies on the physiological and morphological adaptations of greenhouse tomato grown in aeroponics and nutrient film technique. 1. Changes of root zone environment and growth response as affected by solution temperature, spraying intervals and substrate. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 31(1) : 22-36.