

비병원성 *Fusarium oxysporum* 균주를 이용한 시금치 시들음병의 생물학적 방제

신동범* · 竹原利明¹

영남농업시험장 식물환경과, ¹일본농업연구센터 병해충방제부

Biological Control of Fusarium Wilt of Spinach by Nonpathogenic Isolates of *Fusarium oxysporum*

Dong Bum Shin* and Toshiaki Takehara¹

Plant Environment division, National Yeongnam Agricultural Experiment Station, Milyang 627-130, Korea

¹National Agricultural Research Center, Yatabe 305, Japan

ABSTRACT: Four nonpathogenic isolates of *Fusarium oxysporum* isolated from spinach showed suppressive effect on the occurrence of the Fusarium wilt of spinach caused by *F. oxysporum* f. sp. *spinaciae*, among which NF01 controlled the disease most effectively. And NF01 was not pathogenic to tomato, cucumber, radish and spinach. This isolate was further tested for the biological control of the disease. The isolate was not inhibitory to the growth of the pathogen on potato sucrose agar medium, however the Fusarium wilt disease occurred less by drenching spore suspension of the nonpathogenic isolate. The control effect of the isolate was higher at lower inoculum level of the pathogen than at the higher inoculum level, and in the pretreatments than the simultaneous treatment of the isolate with the pathogen. The control effect was more prominent in the treatment before 7 days than 3 days of the pathogen inoculation. The nit mutants of the isolate were easily formed on chlorate containing media, and was reisolated selectively as nit mutant from infected soil and plants. The reisolation rate of the isolate as opposed to pathogen was high at preinoculated soil and plants relative to the simultaneous inoculation of the isolate with the pathogen.

Key words: nonpathogenic, *Fusarium oxysporum*, spinach, biological control.

시금치는 건강채소로서 그 수요가 증가되고 있으며, 외국으로 수출되고 있는 채소이다. 그러나 시금치는 동일포장에서 계속적으로 연작할 경우 토양의 이화학적 성질이 악화될 뿐만 아니라 각종 토양 전염성 병의 발생이 많아지고 생장이 억제되는 작물로 매년 토양개량 및 소독을 행하지 않는 한 휴경하거나 윤작하는 등의 조치가 필요하다(3). 특히 *Fusarium oxysporum* f. sp. *spinaciae*에 의한 시금치 시들음병은 토양전염성병으로 일단 발생하면 연작에 의해 발생 면적이 확대되는 중요한 병이다(4). *Fusarium* 시들음병은 많은 작물에 피해를 초래하는 중요한 토양병으로서, 전염원이 토양으로부터 오기 때문에 살균제 사용으로 방제하기 어려운 병이다. 따라서 토양소독 등 관행적인 방제법에 있어서의 어려움을 해결하기 위해 유용한 생물제제로서 방제하려는 시도가 이루어지고 있다. 그 중에서 비병원성 혹은 약병원성 *Fusarium* spp.를 이용한 *F. oxysporum*에 의한 병발생 억제는 수박(5), 토마토(6), 오이(7, 15), 카네이션(10), 딸기(14), 고

구마(8, 9) 등 다양한 작물에서 밝혀지고 있다.

한편 비병원성 *Fusarium* spp.를 이용한 *Fusarium* 시들음병의 생물방제 연구에 있어서 특정의 *F. oxysporum* 균이 다른 분화형과 비병원성 *Fusarium*과 구별되어 선택 분리 되어야 정확한 평가가 이루어질 수 있다. Nit변이주는 질산염을 이용하지 못하는 영양요구성 변이주로서 염소산염에 대해 내성을 갖는 원리를(1) 이용하여, Haddar 등(2)이 염소산칼륨을 함유한 nit 변이주 선택 분리 배지를 개발하여 *F. oxysporum*의 생태연구에 nit 변이균주의 이용가능성을 시사한 후 그에 대한 연구가 수행되고 있다(12, 13).

이 연구에서는 시금치 식물체에서 분리한 *F. oxysporum* 비병원성균주의 시금치 시들음병 발병 억제효과와 표식균주로 nit 변이균주를 이용하여 재분리에 관한 실험을 수행하였는데 그 결과를 보고한다.

재료 및 방법

공시균주 및 nit 변이주 추출. 시금치 식물체에서 분

*Corresponding author.

리한 병원성 균주 *Fusarium oxysporum* f. sp. *spinaciae* PF01과 *F. oxysporum* 비병원성균주 NF01, NF02, NF03, NF04 균주를 공시균주로 사용하였다. 그리고 *F. oxysporum* 비병원성균을 이용한 생물방제 연구에 사용된 균주를 선택적으로 분리하기 위해 Puhalla(11)의 방법에 준하여 비병원성균주에 대한 nit 변이주를 작출하여 표식균주로 사용하였다. 즉 nit 변이주 작출용 배지로서 *F. oxysporum*의 최소배지(MM배지: Distilled water 1 l, Sucrose 30 g, NaNO₃ 2 g, KH₂PO₄ · 7H₂O 0.5 g, MgSO₄ · 7H₂O 0.5 g, KCl 0.5 g, sterile trace elements solution 0.2 ml, Agar 20 g)와 이 최소배지에 L-asparagine 1.6 g/l와 KClO₃ 15 g/l를 첨가한 MMC배지를 사용하였으며, 그 수행방법은 다음과 같다. 먼저 PSA(Potato Sucrose Agar)사면배지에 배양한 공시균주의 균총절편(2~3 mm)을 Petri dish에 분주한 MMC배지에 치상하여, 5~7일간 발육시킨 균총을 PSA사면배지에 이식하여 7일간 배양한 다음 균총절편을 취하여 MMC배지에 이식하여 배양 3~4일후 균사가 water agar상에서 자라는 것과 같이 넓게 자라는 균총을 형성하는 것을 nit 변이균주로 하였다. 이상의 실험에서 균배양은 25°C 항온기를 사용하였다.

비병원성 균주의 발병억제효과 검증. 비병원성균주 NF01, NF02, NF03, NF04의 4개균주에 대한 발병억제효과를 검토하기 위하여, 비병원성 균주와 병원성균주 PF01를 PSB(Potato Sucrose Broth)배지에서 28°C로 7일간 진탕배양한 후 균배양액(균농도 10⁸ cell/ml)을 접종원으로 사용하였다. 먼저 직경 9 cm의 비닐포트에 원예용 육묘상토(크로바 원예배양토)를 넣은 다음 시금치 종자를 포트당 10립을 파종한 후 15일간 육묘한 시금치에 비병원성균주 및 병원성균주의 접종원을 포트당 30 ml를 접종하여 발병정도를 조사하였다. 이때 병원성균주의 접종농도를 10⁸ cell/ml과 10⁶ cell/ml 두 수준으로 하였다. 이상의 실험은 25°C 온실에서 3반복으로 수행하였다.

병원균에 대한 비병원성 균주의 항균효과. 생물검정에서 발병억제효과가 높았던 비병원성균주 NF01의 병원균에 대한 항균효과를 알고자 직경 9cm Petri dish의 PSA배지상에 병원성균주 PF01과 대치되게 치상하여 25°C 항온기에서 배양하여 저지대 형성을 조사하였다.

병원성조사. 비병원성균주 NF01의 시금치를 비롯한 다른작물에 대한 병원성을 검토하고자, 시금치, 오이, 무, 토마토의 종자를 직경 9 cm 비닐포트에 3립씩 파종하여 생육시킨 육묘에 PSB배지 28°C에서 7일간 진탕배양한 NF01의 균배양액을 30 ml씩 관주접종하여 발병유무를 조사하였으며, 대조로 공시작물의 병원성균주를 각각의 기주작물에 같은 방법으로 접종하여 발병을 조사하였다. 이상의 실험은 25°C 온실에서 3반복으로 수행하였다.

비병원성균주의 처리방법별 발병억제효과. 발병억제

검정에서 억제효과가 높았던 NF01균주의 시금치 시들음병 발병억제 효과를 검토하기 위하여 직경 9cm 비닐포트에 시금치 종자를 각각 10립을 파종하여 15일간 생육시킨 시금치에 병원성균주 PF01균주를 접종하기전 7일, 3일 및 동시 접종하여 발병율을 조사하였다. 이때 비병원성균 접종농도는 10⁸ cell/ml, 병원균 접종농도는 10⁸ cell/ml과 10⁶ cell/ml의 두 수준으로 처리하였으며, 접종량은 포트당 30 ml로 하였다. 이상의 실험은 25°C 온실에서 3반복으로 수행하였다.

공시균의 재분리. 공시균주의 재분리율을 조사하기 위하여 비병원성균주 NF01은 nit 변이주 병원성균주 PF01은 야생주를 공시하였는데, 공시균주의 분리는 nit 변이균주 선택분리배지인 MMCPA배지(MM배지+L-asparagine 1.6 g/l, KClO₃ 10 g/l, PCNB 0.25 g/l)와 야생균주 선택분리배지인 MMPA배지(MM+PCNB 0.25 g/l) 사용하여 조사하였다. 즉 병원균처리 15일후 시금치 육묘를 채취하여, 뿌리 끝으로부터 주근의 절편을 5 mm씩 주당 3개씩 잘라 70% 에탄올로 30초간 표면살균한 후 공시배지에 치상한 것을 25°C 항온기에서 5일간 배양하여 시금치 식물체로부터 균생육 유무를 조사하였으며 처리구 당 5주씩 사용하였다. 또한 병원균처리 15일후 포트의 근권토양을 채취하여 0.05% 한천용액으로 10³배로 현탁하여 공시배지 Petri dish당 1 ml씩 도말한 다음 25°C 항온기에서 7일간 배양한 후 균총의 수를 조사하였는데, 3반복으로 수행하였다.

결 과

비병원성 균주의 발병억제 효과 검증. 시금치 식물체로부터 분리한 비병원성균주 NF01, NF02, NF03, NF04의 시금치 시들음병 발병억제 효과를 검토하기 위하여 포트에서 병원균 접종농도를 달리하여 실험한 결과, Table 1에서와 같이 병원균 단독처리에서 보다 모든 비병원성 균주처리구에서 발병율이 낮아 발병억제 효과가 있었으며, 병원균 접종농도를 10⁶ cell/ml로 처리한 모든 구에서 10⁸ cell/ml로 처리한 구에서보다 발병율이 낮아 발병억제 효과가 높게 나타났다. 그중에서 NF01 균주처리에서 처리후 10일의 발병율이 병원균 접종농도 10⁶ cell/ml, 10⁸ cell/ml 처리구에서 각각 13.3, 43.3(%)로 다른 비병원성 균주 처리구의 발병율 16.7~33.3(%), 53.3~66.7(%)보다 낮아 발병억제 효과가 높았다.

병원균에 대한 항균효과 및 병원성조사. 생물검정에서 발병억제 효과가 높았던 비병원성균주 NF01의 병원균에 대한 항균효과를 대치배양에 의해 검토한 결과, 균생육을 억제하는 저지대 형성은 관찰되지 않았다.

비병원성균주의 시금치를 비롯한 다른작물에 대한 병원성을 조사한 결과 Table 2에서와 같이 공시 작물에 병

Table 1. Protection of spinach plants by selected nonpathogenic isolate of *F. oxysporum* from fusarium wilt infections in the greenhouse

Treatment	% of disease occurrence ^a			
	Experiment 1		Experiment 2	
	7 DAI	10 DAI	7 DAI	10 DAI
NF01	6.7 a ^c	43.3 a	0.0 a	13.3 a
NF02	16.7 b	56.7 c	6.7 b	33.3 d
NF03	36.7 c	66.7 d	6.7 b	26.7 c
NF04	16.7 b	53.3 b	0.0 a	16.7 b
Control A ^b	66.7 d	96.7 e	33.3 c	86.7 e
Control B	0.0	0.0	0.0	0.0

^a Exp. 1: Inoculum levels were 10⁸ cell/ml of pathogenic and non-pathogenic isolates. Exp. 2: Inoculum levels were inoculated 10⁸ cell/ml of pathogenic isolate and 10⁸ cell/ml of non-pathogenic isolates. DAI: days after inoculation

^b Control A: pathogen only, Control B: no treatment

^c Means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

Table 2. Pathogenicity of nonpathogenic *Fusarium oxysporum* isoate to some other species of major vegetable crops

Inoculated with	Pathogenicity ^a			
	Spinach	Tomato	Cucumber	Radish
Non-pathogenic	-	-	-	-
<i>F. oxysporum</i> NF01	-	-	-	-
Pathogenic formae speciales ^b	+	+	+	+
Not-inoculated control	-	-	-	-

^a +: pathogenic, -: no pathogenic

^b f. sp. *spinaciae* to spinach, f. sp. *lycopersici* to tomato, f. sp. *cucumerinum* to cucumber, f. sp. *raphani* to radish

원성인 균주 접종구에서는 공시작물이 시들어 고사하는 병원성을 나타낸 반면, 비병원성 균주 NF01 접종구에서는 시금치, 토마토, 오이, 무 등 공시작물 모두 무접종구와 같은 생육을 보여 병원성을 나타내지 않음을 알 수 있었다.

비병원성 균주의 처리방법별 발병억제 효과. 비병원성 균주 NF01을 접종시기를 달리하여 발병억제효과를 검토한 결과, Fig. 1에서와 같이 무처리에 비해 비병원성 균 처리에서 발병율이 낮아 발병억제 효과를 나타내었는데, 동시처리보다 전처리에서 발병억제 효과가 높았다 (Fig. 2). 즉 병원균 농도를 비병원성 균주 접종농도와 같은 10⁸ cell/ml와 병원균 접종농도를 1/100로 희석한 10⁶ cell/ml로 접종한 10일 후의 발병율이 각각 비병원성 균주 NF01의 7일전 처리구에서 13.3, 0.0%, 3일전 처리구에서 46.7, 6.7%, 동시처리구에서 53.3, 16.7%, 병원균 단독 접종처리에서 83.3, 66.7% 이었다. 그리고 병원균 접종후 15일에도 병원균 단독 처리구에서의 발병율이 100.0, 93.3%인데 비하여 비병원성 균주 NF01의 7일전

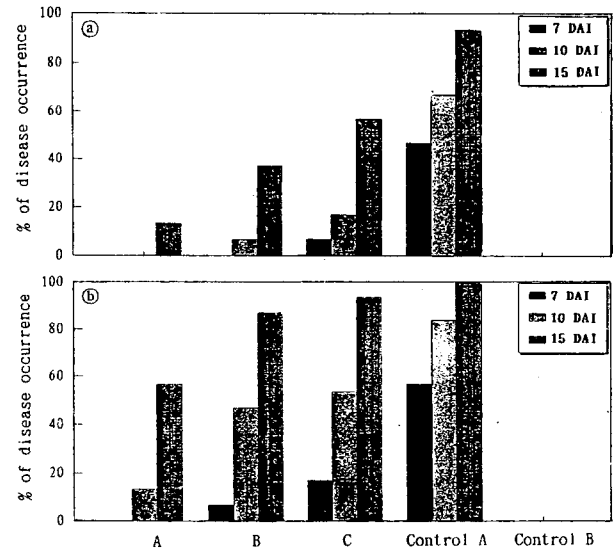


Fig. 1. Suppression of fusarium wilt of spinach by different-inoculation times by *F. oxysporum* nonpathogenic isolate NF01. (a) 10⁸ cfu/ml of pathogenic and 10⁸ cfu/ml of nonpathogenic isolate inoculated. (b) 10⁸ cfu/ml of pathogenic and non-pathogenic isolate inoculated. DAI: days after inoculation. A: The treatment of the nonpathogenic isolate inoculation before 7 days of the pathogen inoculation. B: The treatment of the nonpathogenic isolate inoculation before 3 days of the pathogen inoculation. C: The treatment of the nonpathogenic isolate simultaneous inoculation with the pathogen. Control A: pathogen only, Control B: no treatment.

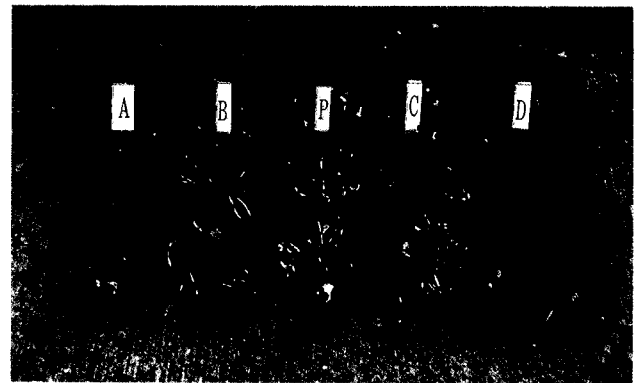


Fig. 2. Suppression effect of fusarium wilt of spinach after 10 days of the pathogen inoculation by different inoculation times of *F. oxysporum* nonpathogenic isolate NF01. The inoculum level of pathogenic and nonpathogenic isolate was 10⁸ cfu/ml. A: The treatment of the nonpathogenic isolate inoculation before 7 days of the pathogen inoculation. B: The treatment of the nonpathogenic isolate inoculation before 3 days of the pathogen inoculation. C: The treatment of the nonpathogenic isolate simultaneous inoculation with the pathogen. D: no treatment. P: pathogen only.

처리에서의 발병율이 56.7, 13.3%로 낮아 높은 발병억제 효과를 나타내었다.

공시균의 재분리율. 발병억제 효과시험에서 접종한 병원성균주 및 비병원성균주의 재분리율을 알아보기 위하여 병원성균주 균주를 야생주, 비병원성균주를 nit 변이주를 공시하였다. 비병원성 균주 NF01의 nit 변이주는 비교적 용이하게 작출되었으며(Fig. 3), MMCPA 배지에서는 비병원성균주 MMPA 배지에서는 병원성 균주가 재분리되었는데, 병원균처리 15일후 식물체 및 토양으로부터 비병원성균주 및 병원성 균주를 분리한 결과,

Table 3에서와 같이 병원균접종전 비병원성균주 처리에서 동시접종처리에서보다 병원균에 대한 비병원성균의 분리비율이 높았으며, 7일전 처리에서 3일전 처리에서보다 높았다.

고 찰

Fusarium 시들음병은 많은 작물에 피해를 주는 토양 병해로 약제방제가 어려운 병해이다. 따라서 관행적인 방제법의 어려움을 해결하기 위해 비병원성 혹은 약병원성 *Fusarium* spp.를 이용한 *F. oxysporum*에 의한 병발생 억제연구가 수행되었다. Ogawa 등(8, 9)은 고구마로부터 분리한 비병원성균주는 고구마는 물론 오이, 무, 양배추, 토마토, 멜론 등에 병원성이 없었고, 고구마 덩굴쪄짐병균에 대한 항균효과는 없었으나, 발병억제효과를 나타내었다고 하였고, Tezuka 등(14)은 딸기와 토마토로부터 분리한 비병원성 균주는 딸기를 비롯한 토마토, 멜론 등 10과 18종의 작물에 대해 병원성이 없었으며, 딸기 시들음병균에 대한 항생효과는 없었으나, 발병억제효과를 나타내었다고 하였는데, 이 연구에서도 같은 경향으로 시금치로부터 분리한 비병원성균주들은 발병억제효과를 나타내었으며, 비병원성균주 NF01균주는 시금치를 비롯한 토마토, 오이, 무 등에 병원성을 나타내지 않았고 병원균에 대한 항균효과도 나타내지 않았다. Yang 등(15)은 오이에서 분리한 비병원성 *F. oxysporum* 균주를 전접종하였을 때 오이 덩굴쪄짐병에 대하여 안정적인 방제효과를 보였다고 하였고, Larkin 등(6)은 발병억제 토양으로부터 분리한 비병원성 *F. oxysporum*균주는 가장 주된 길항균으로 수박 시들음병을 지속적인 억제효과를 나타내었다고 하였다. Ogawa 등(8)은 고구마 삼주를 비병원성 균주 배양액에 침지처리 하였을 때 이식후 토양관주처리에서보다 발병억제효과가 높았으며, 비병원성균의 농도가 높을수록 침지기간이 길수록 발병억제 효과가 높았다고 하였다. 이 연구에서는 비병원성균주 NF01 균주를 병원균 접종전에 처리하였을 때 동시접종처리보다 발병억제 효과가 높았는데, 3일전 처리에서보다 7일전 처리에서 높은 발병억제 효과를 보였다. Ogawa 등(9)은 비병원성균주를 전접종하였을 때 접종부위에서 병원균이 분리되었을 때도 발병억제효과가 나타나 기주의 저항성 유도가 인정되었다고 하였고, Mandel 등(7)은 비병원성 균주를 토양에 처리하였을 때 오이 시들음병 발병억제 효과를 나타내었는데, 비병원성균의 항균효과, 감염부위의 경쟁효과, 기주의 유도저항성등의 3가지 생물방제 기작이 관련되었다고 하였다. 그러나 Postma 등(10)은 비병원성균주의 이용에 의한 카네이션 시들음병 발병억제 연구에서 발병억제효과는 비병원성균주의 증식에 의한 감염부위의 경쟁효과는 인정되었으나, 기주 유도저항성은 인

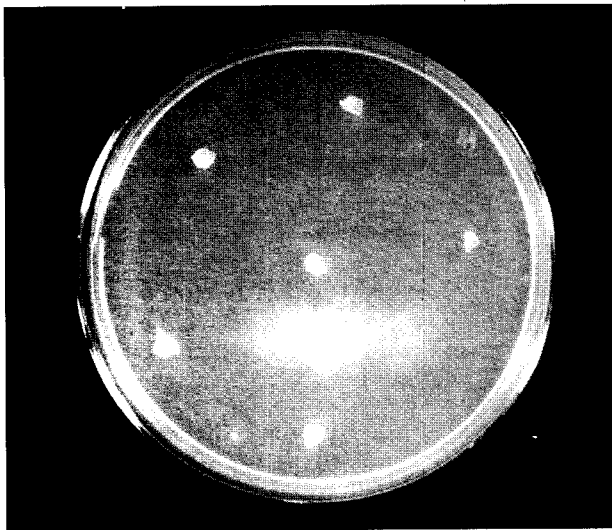


Fig. 3. Nit mutants of the nonpathogenic isolate NF01 of *Fusarium oxysporum* induced on the medium containing chlorate (MMC media) grew poorly when cultured on the *Fusarium minimal* medium (MM media). The thick-white mycelium formed on the plate was the result of complementary reaction.

Table 3. The rate of reisolation of pathogenic PF01 isolates and nonpathogenic NF01 isolates of *Fusarium oxysporum* with different inoculation time when isolated from infected spinach plants and soil after 15 days of pathogen inoculation

Treatment ^b	Frequency of reisolation ^a					
	Plants (% of reisolated)			Soil (10 ³ Cell/dry soil/g)		
	PF01	NF01	NF01/PF01	PF01	NF01	NF01/NF01
PIS	53.3	100.0	1.9	17.1	30.5	1.8
PIT	80.0	93.3	1.2	16.5	20.5	1.2
SAT	100.0	73.3	0.7	23.5	21.1	0.9
Control A	100.0	0.0	-	24.7	0.0	-
Control B	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-

^a PF01 was reisolated selectively on MMPA media as wild type, and NF01 was reisolated selectively on MMCPA media as nit mutant.

^b PIS: The treatment of the nonpathogenic isolate inoculation before 7 days of the pathogen inoculation. PIT: The treatment of the nonpathogenic isolate inoculation before 3 days of the pathogen inoculation. SAT: The treatment of the nonpathogenic isolate simultaneous inoculation with the pathogen. Control A: pathogen only, Control B: no treatment.

정되지 않았다고 하였다. 이 연구에서는 병원균 접종 전 처리에서 비병원성균주의 병원균에 대한 분리비율이 높게 나타났으며 비병원성 균주의 병원균에 대한 항균효과도 나타나지 않았으므로 발병억제 효과는 감염부위의 경쟁효과가 주된 원인으로 생각되나, 비병원성균을 이용한 생물방제 기작에 대해서는 더 정밀한 연구검토가 이루어져야 할 것으로 생각된다. 그리고 이 연구결과를 토대로 포장수준에서 비병원성균에 의한 시금치 시들음병 발병억제 효과에 대한 시험연구가 앞으로 이루어져야 할 것으로 생각된다.

한편 *F. oxysporum* 비병원성 균주를 이용한 생물방제 연구에 있어서 공지된 특성의 *F. oxysporum*과 다른 *F. oxysporum*과 구별되어 선택분리 되어져야 하는데, Hadar 등(2)은 $KClO_3$ 을 함유한 nit 변이주 선택분리 배지를 개발하여 이용가능성을 시사하였다. Shin 등(12)과 Takehara 등(13)은 염소산염($KClO_3$)를 함유한 MM-CPA배지에서는 nit 변이주, MMPA배지에서는 야생균주가 선택분리되어 이용가능성 있다고 하였는데, 이 연구에서도 같은 결과로 nit 변이주를 표식균주로서의 이용가능성이 있음을 알 수 있었다.

요 약

시금치에서 분리한 비병원성 *Fusarium oxysporum* 균주 NF01, 02, 03, 04 등은 발병억제 효과를 나타내었고, 그중에서 NF01균주의 발병억제효과가 가장 높았으며 질산염 이용결핍변이주(nit 변이주)가 비교적 용이하게 작출되었다. 발병억제 효과가 높았던 NF01균주는 병원균에 대한 항균효과는 나타내지 않았으며, 시금치를 비롯한 오이, 토마토, 무 등의 작물에 병원성을 나타내지 않았다. NF01균주를 병원균 접종 전에 처리하였을 때 동시 접종 처리에서보다 발병억제효과가 높았고, 7일전 접종 처리에서 3일전 접종처리에서 보다 높았으며, 병원균 접종농도가 낮을 때 발병억제 효과는 높게 나타났다. 그리고 병원균에 대한 비병원성 균의 분리를 또한 발병억제 효과와 같은 경향으로 병원균 접종 전 비병원성균주 접종 처리에서 병원균에 대한 비병원성균의 분리비율이 높았으며, 7일전 접종처리에서 식물체 및 토양의 그 분리비율이 가장 높았다.

인용문헌

- Cove, D. J. 1976. Chlorate toxicity in *Aspergillus nidulans*. *Mol. Gen. Genet.* 146:147-159.
- Hadar, E., Katan J. and Katan T. 1989. The use of nitrate-nonutilizing mutants and a selective medium for studies of pathogenic strains of *Fusarium oxysporum*. *Plant Dis.* 73: 800-803.
- 金光勇, 金永哲, 李志遠, 徐泰鐵. 1995. 시금치 양액재배를 위한 배양액 개발에 관한 연구. *농업논문집* 37(1):226-233.
- 岸國平. 1976. 野菜の病害蟲, pp. 288-289. 全國農村教育協會. 東京.
- Larkin, R. P., Hopkins D. L. and Martin, F. N. 1993. Ecology of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* in soils suppressive and conducive to Fusarium wilt of watermelon. *Phytopathology* 83:1105-1116.
- Louter, J. H., and Edgington, L. V. 1990. Indications of cross-protection against fusarium crown and root rot of tomato. *Can. J. Plant pathol.* 12: 283-288.
- Mandeel, Q., and Baker, R. 1991. Mechanisms involved in biological control of Fusarium wilt of cucumber with strains of nonpathogenic *Fusarium oxysporum*. *Phytopathology* 81:462-469.
- Ogawa, K. and Komada, H. 1984. Biological control of Fusarium wilt of sweet potato by nonpathogenic *Fusarium oxysporum*. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 50:1-9
- Ogawa, K. and Komada, H. 1986. Induction of systemic resistance against Fusarium wilt of sweet potato by nonpathogenic *Fusarium oxysporum*. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 52:15-21.
- Postma, J. and Rattink, H. 1992. Biological control of Fusarium wilt of carnation with a nonpathogenic isolate of *Fusarium oxysporum*. *Can. J. Bot.* 70:1199-1205.
- Puhalla, J. E. 1985. Classification of strains of *Fusarium oxysporum* on the basis of vegetative compatibility. *Can. J. Bot.* 63:179-183.
- Shin, D. B., Takehara, T., Jin, T. D. and Park, J. H. 1996. Utilization of nit mutant in ecological study of spinach Fusarium wilt. *RDA. J. Agri. Sci.* 38(1):477-482.
- Takehara, T. and Kuniyasu, K. 1994. Use of nitrate nonutilizing mutants in ecological studies of fusarium diseases. II. Isolation of nitrate nonutilizing mutants of *Fusarium oxysporum* on selective media. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 60:705-710.
- Tezuka, N. and Makino, T. 1991. Biological control of Fusarium wilt of strawberry by nonpathogenic *Fusarium oxysporum* isolated from strawberry. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 57:506-511.
- Yang, S. S. and Kim, C. H. 1996. Studies on cross protection of Fusarium wilt of cucumber IV. Protective effect by a nonpathogenic isolate of *Fusarium oxysporum* in a greenhouse and field. *Korean J. Plant Pathol.* 12:137-141.

(Receiver March 13, 1998)