인삼 뿌리썩음병(根腐病) 관련 *Fusarium* species와 그 병원성

이 순 구*

안동대학교 생명자원과학부 농생물학전공(전 한국인삼연초연구소 증평인삼시험장)

Fusarium species Associated with Ginseng (*Panax ginseng*) and Their Role in the Root-Rot of Ginseng Plant

Soon-Gu Lee*

Department of Agricultural Biology, School of Bioresource Sciences, Andong National University
Andong, Gyeong-Buk 760-749, Korea

(Previously Jeung-Pyong Ginseng Experiment Station, Korea Ginseng and Tobacco Research Institute)
(Received on November 24, 2004)

A total 115 isolates of *Fusarium* species from ginseng roots of 'rotted', and soils collected during 1982-1985 in Korea, were identified and classified into 11 species with the Snyder & Hansen System (with reference to Gerlach-Nirenberg's Modified System). The most dominant of these species were *F. solani* (55 isolates), *F. oxysporum* (35 isolates), and *F. moniliforme* (10 isolates) sensu Snyder & Hansen. The other 8 species (15 isolates) were very rarely isolated and previously identified as *F. roseum* sensu Snyder & Hansen (1945); these were *F. equiseti*, *F. avenaceum*, *F. gramineum*, *F. arthrosporioides*, *F. sambucinum*, *F. reticulatum*, *F. semitectum* and *F. poa*. Tested for the ability to infect the roots of ginseng (3 yr. old plants) in field condition with the mycelial inoculum, only one isolate of *F. solani* (34 isolates tested) and one isolate of *F. oxysporum* (24 isolates tested) were weakly pathogenic to ginseng roots. Any of the isolates (7 isolates tested) of *F. moniliforme* [Liseola section] were not pathogenic to ginseng. However, all the isolates of tested of the species of *Phytophthora cactorum*, *Pythium ultimum*, and *Cylindrocarpon destructans* were highly pathogenic to ginseng roots. The species of *Fusarium solani* and *Cylindrocarpon destructans* were supposed to be a host dominant disease agent in ginseng plant.

Keywords : *Cylindrocarpon destructans*, *Fusarium* species, *F. solani*, Ginseng plants, Root-rot

인삼 재배에서 가장 큰 제한요인은 식물병이다. 그중 가장 큰 피해를 미치는 것은 인삼 뿌리썩음병(根腐病)이다. 인삼에 뿌리썩음을 일으키는 병원체는 세균, 선충, 곰팡이 등이 있는데 그중에서 *Fusarium solani*와 *Cylindrocarpon destructans*에 의한 뿌리썩음이 가장 많은 피해를 보이고 있으며 인삼 연작장해의 원인으로 여겨지고 있다. 이밖에도 균핵병에 의한 뿌리썩음병도 있으나, 이는 대개 추운 지방에서 국지적으로 발생하는 병이다. 감자썩이선충에 의한 뿌리썩음병(오 등, 1983)도 화산회토 지역인 강원도 철원지방에서 국지적으로 발생하여 큰 피해를 보였다. 세

균에 의한 뿌리썩음은 주로 *Erwinia carotovora*에 의한 연부병(軟腐病; soft rot)이며 1900년대 초창기 인삼병 연구에서 중요시되었으나 그 후에는 조사 연구가 극히 미진한 실정이다. 최근 또 다른 세균에 의한 뿌리썩음이 보고되어(김 등, 2004), 앞으로 이 분야의 새로운 연구가 기대된다. 인삼의 토양전염성 식물병으로 역병(*Phytophthora cactorum*)(오와 박, 1980) 및 모잘록병(*Pythium ultimum*, 기타 *Pythium* spp.) 등이 있지만 이는 병 발생 포장이 묘포에 한정되거나 극소수 본포에서 문제될 뿐이다. 그리고 그 피해도 주로 뿌리보다는 뇌두 부위 위쪽의 지체부(땅가) 줄기 등으로 한정된다. 다만 *Rhizoctonia solani*에 의한 모잘록병은 묘포 본포할 것 없이 보편적으로 상존 위험이 있으며 그 피해도 매우 크지만, 주로 지체부(땅가) 줄기나 뇌두를 침입하는 선에서 그치고 뿌리썩음에는 관

*Corresponding author
Phone)+82-54-820-5509, Fax)+82-54-823-1628
E-mail)soongu@andong.ac.kr

여하지 않는 것이 보통이다.

인삼의 보편적인 뿌리썩음병을 일으키는 *Fusarium solani*와 *Cylindrocarpon destructans*에 대해서는 1910년대부터 미국, 캐나다, 한국, 일본에서 병원균과 병의 성격과 생태 등에 관하여 많은 연구자들에 의해서 시험연구가 이루어져 그 연구 축적이 다른 어떤 인삼의 식물병보다 많은 편이다. 그리고 많은 연구자들이 인삼 연작장해의 주 원인으로 이들 병원균을 꼽고 있지만, self-allopathy 현상으로 병원균보다는 독물질로써 설명하는 연구도 많다. 인삼의 뿌리썩음병 병원균 *F. solani*와 *C. destructans*에 대한 병원성을 다른 인삼의 토양전염성 병원균과 비교하여 그 성격이 어떻게 다른가에 대해서는 거의 연구된 것이 없다. 왜냐하면 다른 식물들(대부분 다년생 목본)에서 이들 병원균들은 거의 모두 부생균 혹은 미약 병원균(weak pathogen)으로 보고되어 있어 그 연구들이 식물병리학적으로 깊이 있게 조사 연구된 것이 극히 적기 때문이다. 다만 이 균들의 균학적인 연구만 곰팡이 분류학자들에 의해 이루어져 왔을 뿐이다. 이 연구는 *F. solani*의 병원성을 다시 검토 비교하고, 아울러 인삼 근권 및 뿌리, 뿌리썩음에서 분리된 다른 종의 *Fusarium* 균주들을 형태적으로 분류 동정코자 실시하였다. 최근, *Fusarium* 분류의 학문적 추세는 종 통합 개념(species lumpers)에서 종 분화 개념(species splitters)으로 바뀌어 지고 있는 추세이다(O'Donell, 2000; Aoki 등, 2003). 그러나 식물병 연구자들은 아직도 대부분 종 통합 개념의 분류체계를 고수하고 있는 실정이다. 이 연구는 1985년에 이루어졌고, 한국 균학회에서 이미 구두 발표를 한 바 있으나, 분류 동정 방식과 병원성 검정 결과 등에 대한 해석에 자신이 없어 감히 세상에 내놓을 엄두를 못 내고 있었던 것을 거의 20년이 지나서 출판하는 것이다.

재료 및 방법

Fusarium 균주 및 기타 인삼 토양전염성 병원균 수집 및 균 분리

1982년부터 1985년 동안 한국인삼연초연구소 증평인삼시험장에서 분리하고 보관했던 *Fusarium* 균주들(155균주)을 이용하였다. 주로 인삼의 뿌리썩음병 병반에서 균 분리하였으며, 감자 썩이선충에 의한 뿌리 썩는 증상과 균핵병 병 걸린 뿌리에서도 *Fusarium* 균을 분리하였다. 균주들은 주로 PDA-slants에서 보관하였다. *Fusarium* 이외의 *Cylindrocarpon destructans* 균주들과 인삼 역병균(*Phytophthora cactorum*), *Pythium* 균주들, *Rhizoctonia solani* 균주들도 병 걸린 식물체에서 분리하여 동정하고,

동정 후 PDA-slants에 보관하여 포장 접종시험에 공시하였다.

*Fusarium*균의 형태적 분류 동정

일반적인 토양전염병 병원 곰팡이의 그림책들과, compendium, monograph, 기타 실험 매뉴얼들을 참고하여 속(genus) 단위의 분류동정을 수행하였고, *Fusarium*의 종(species) 단위의 분류동정은 먼저 Snyder-Hansen 방식의 분류 시스템(Nelson-Toussoun-Marasas, 1983)으로 수행했으나, Liseola section의 균들(*F. moniforme*, sensu Snyder-Hansen's)은 다시 Nirenberg(1976) 및 Gerlach-Nirenberg(1982) 방식으로 종 유별하였다. Snyder-Hansen의 *F. roseum* 균들은 다시 Gerlach-Nirenberg(1982) 방식으로 종 유별하였다. *Cylindrocarpon*균들은 주로 Booth 방식으로 종 유별하였다. 형태적인 특징의 현미경 관찰은 주로 대형 포자(macroconidia), 소형포자(microconidia), 후벽포자(chlamydospores), phialides (conidiophores)를 PDA, SNA, WA에 배양한 후 관찰하였다. 배지에 우러나는 색깔(color diffused into agar)의 조사는 주로 PDA 배양으로 하였으며, 색깔의 유무, 혹은 열음(color absent or pale) 및 carmine red 색깔을 나타내는 것들은 주로 *F. roseum* sensu Snyder & Hansen로, purple 색깔을 나타내는 것은 Liseola, Elegans, Martiella section으로 판별하였다. 기중균사(aerial mycelium)의 유무, slimy, yeast-like colony형성(Eupionnotes), 매우 천천히 자라는 균(Growth very slow) 등의 특징을 조사하여 종 유별하였다.

인삼의 토양전염성 병원균 및 *Fusarium*균의 인삼 뿌리썩음병 병원성 검정

병원균 접종. 증평인삼시험장 3년생 격리포장(토성: 사양토)에 포장 균주 접종, 접종날짜는 1985년 6월 10일에서 6월 15일, 6일에 걸쳐서 접종, 1균주 당 3개 식물의 겨두 바로 밑 뿌리 동체에 PDA 배양 균총 절편(5 cm)을 갖다 부쳐서 접종하였다. 접종 후 조사하는 기간 동안의 토양 온도(토심 5 cm)는 6월 10일에서 6월 25일까지 평균 19.0°C(18~21°C)이었고, 7월에서 8월 27일까지는 24~28°C이었다.

발병조사. 접종 후 12일경인 6월 26일에 지상부 식물의 위조(wilt or blight)와 뿌리 동체의 물렁썩음(soft-rot)을 조사하였다. 지상부의 급격한 위조와 뿌리의 물렁썩음은 동시에 진행되었다. 뿌리 동체의 마른 썩음(dry-rot or hard-rot)은 접종 후 77일경인 8월 27일에 뿌리를 캐어서 그 썩음 정도를 0에서 5까지의 등급(Fig. 1 참조)을 매겨 조사하였다.

Fig. 1. Root rot symptoms of ginseng plant inoculated with some pathogenic fungi: (A) Soft-rot of root caused by the isolate Op-3 (*Phytophthora cactorum*), (B) Wilted upper plant of ginseng 12 days after inoculation with the isolate Op-3 and *Phytophthora cactorum* 84-01 (*Phytophthora cactorum*), (C) Dry-rot of root caused by the isolates Cyl 85-01 and Cyl 84-01 (*Cylindrocarpon destructans*), (D) Root-rot rate 0-5 (almost of them are dry rot), inspection of ginseng roots on 77 days after inoculation of fungal mycelial inoculum to root.

결 과

*Fusarium*균의 형태적 분류 동정

1982년부터 1985년에 이르기까지 한국인삼연구초연구소 증평인삼시험장에서 분리한 155균주를 분류 동정한 결과, Table 1과 같다. 대부분의 균주는 주로 인삼의 뿌리 썩음병 증상에서 분리한 균주들이지만 간혹 인삼 근권 토양 및 건전 인삼뿌리에서 분리한 것도 있었다. *F. solani*가 55균주(48%)로 가장 많이 분리된 우점종이었으며 *F. oxysporum*이 35균주, *F. moniliforme*가 10균주, *F. roseum*이 15균주였다. Snyder-Hansen 방식의 *F. moniliforme*와 *F. roseum*을 다시 Gerlach-Nirenberg(1982) 방식으로 종 유별한 결과, Table 4와 Table 1과 같다. *F. solani*와 *F. oxysporum*의 유별은 소형포자 형성의 phialide(분생포자경)의 길이와 격벽 유무로 판별하였다(Fig. 2 참조). 분리한 *Fusarium*균 중에서는 *Cylindrocarpon candidum*(F 85-39)도 있었다. *Cylindrocarpon destructans*는 *Fusarium*의 분류 동정 조사에서 제외하였다(Fig. 5 참조). *Fusarium solani* 균주들을

Table 1. The identified *Fusarium* species isolated from ginseng plants and soils

<i>Fusarium</i> species [Section]	Number of Isolates (%)
<i>Fusarium solani</i> [Martiella]	55(47.8)
<i>Fusarium oxysporum</i> [Elegans]	35(30.4)
<i>Fusarium moniliforme</i> * [Liseola]	10(8.7)
<i>Fusarium roseum</i> *	15(13.1)
<i>Fusarium equiseti</i> [Gibbosum]	1
<i>Fusarium avenaceum</i> [Roseum]	1
<i>Fusarium gramineum</i> [Roseum]	2
<i>Fusarium arthrosporioides</i> [Roseum]	1
<i>Fusarium sambucinum</i> [Discolor]	1
<i>Fusarium reticulatum</i> [Discolor]	2
<i>Fusarium semitectum</i> [Arthrosporiella]	2
<i>Fusarium poa</i> [Sporotrichiella]	1
Not-Identified (Unknown)	4
Total	115

*sensu Snyder & Hansen's (1945).

Not-Identified (Unknown):

F 83-11; supposed to be a *Fusarium concolor* [Arthrosporiella]

F 83-35; supposed to be a species in section [Discolor]

F 84-06; supposed to be a *Fusarium acuminatum* [Discolor]

F 84-04; supposed to be a *Fusarium dimerum* [Eupionnotes]

Fig. 2. Conidiophores of *Fusarium solani* and *Fusarium oxysporum*: (A) *Fusarium solani*, (B) *Fusarium oxysporum*.

Table 2. Characteristics of *Fusarium solani* (Martiella section) isolates from ginseng plant roots ; all isolates tested of pathogenicity were 34 isolates

Isolate No.	Source (Isolated Field Location, Disease Symptom, Plant-Age, Yr)	Co-isolated Ginseng Root Pathogen	Root-Rot Rate (0-5)	Colony Type	Colony Color Diffused
F 84-01	JPGES ^a , Stem-bud-root rot (2yr)	-	4.3	Pionnotal	Blue-purple*
F 83-31	Yang-ju, Amber colored root-rot (1yr)	<i>Sclerotinia minor</i>	1.3	Pionnotal	Beige-white
Bio 29	Soil trap by root (1 yr)	-	2.0	Pionnotal	Beige-white
F 82-01	JPGES, Root-rot (3 yr)	<i>Rhizoctonia solani</i>	0.0	Mycelial	Beige-white
F 85-01	JPGES, Root-rot (4 yr)	<i>Cylindrocarpon destructans</i>	1.3	Pionnotal	Beige-white
F 83-28	JPGES, Root-rot (1 yr)	<i>Pythium ultimum</i>	1.0	Pionnotal	Beige-white
F 82-05	Cheul-won, Nematode Root-rot	<i>Ditylenchus destructor</i>	1.0	Pionnotal	Beige-white
F 83-23	Kim-po, Healthy root (1 yr)	-	1.3	Mycelial	Blue-purple

^aJPGES; Jeung-Pyong Ginseng Experiment Station.

**Fusarium coeruleum* sensu Gerlach's (1982); In Section Martiella, existed 4 species of *F. javanicum*, *F. eumartii*, *F. solani*, *F. coeruleum*.

Fig. 3. Colony types and colony color diffused into PDA of the isolates of *Fusarium solani*: (A) F 84-01, a pathogenic isolate of pionnotal and blue-purple color diffused into PDA. (B) F 84-01 isolates (extreme left side 3 slants) and the other isolates of *Fusarium solani* (not pathogenic) slants.

그 병원성을 형태적 특징들과 비교해서 검토해 본 결과, Table 2와 같다. 인삼 근부병 병원성을 보인 F 84-01균주는 pionnotal type의 콜로니를 나타내었으며, PDA배지에 blue-purple한 색깔을 보였다(Fig. 3 참조). 대형포자의 크기와 대형포자의 후벽화를 조사한 결과, F 84-01균주는 후벽포자를 내생(endo)으로 형성하였으나, 다른 균주들은 외생(exo)으로 형성하였다(Table 3 및 Fig. 4 참조). Snyder-Hansen 개념의 *Fusarium moniliforme* 균주들(Liseola section)을 더욱 면밀하게 Gerlach-Nirenberg(1982) 및 Nirenberg (1976) 방식으로 유별한 결과 Table 4와 Fig. 6과 같다.

Table 3. Morphological characteristics of *Fusarium solani* (Martiella section) isolates from ginseng plant roots

Isolate Number	Three septated Macroconidia (μ m)		Chlamydospore in Macroconidia
	Length	Width	
F 84-01*	42.1(37.5-47.5)	$\times$ 5.4(5.0-6.3)	endo-
F 83-31	36.1(30.0-37.5)	$\times$ 6.1(5.3-6.8)	exo-
F 85-01	40.1(31.3-46.3)	$\times$ 5.8(5.0-6.3)	exo-
F 83-28	37.9(35.0-42.5)	$\times$ 5.7(5.3-6.3)	exo-

*Pathogenic isolate, All isolates belong to Matuo's (1973) sensu γ -type (*F. solani* f.sp. *radicicola*).

F. solani f.sp. *psi*: β -type, 3 septated, less than 5 μ m in width. by the Matuo's (1972) sensu α , β , γ , ζ .

Fig. 4. Morphological characteristics of *Fusarium solani* (Martiella section) isolates from ginseng plant roots: (A) F 84-01, a pathogenic isolate, endo-chlamydospores in macroconidia. (B) F 83-31, a not-pathogenic isolate, exo-chlamydospores in macroconidia. (C) F 85-01, a not-pathogenic isolate, exo-chlamydospores in macroconidia. (D) F 83-28, a not-pathogenic isolate, exo-chlamydospores in macroconidia.

Fig. 5. Morphology of *Cylindrocarpon destructans* (A, B, C) and *C. cadidum* (D), isolated from ginseng plants: (A) Colony morphology in PDA, (B) Conidia of the isolate Cyl 83-03 (macro- and micro conidia, phialide), (C) Chlamydospores of the isolate Cyl 83-03, (D) Macroconidia of the isolate F 85-39 of *C. cadidum*.

Table 4. Morphological characteristics of *Fusarium* species in Liseola section isolated from ginseng plant

Isolate	Species ^a	Microconidia ^b	Macroconidia
F 83-06	<i>Fusarium fujikuroi</i>	clavate:chained	common
F 83-07	<i>Fusarium proliferatum</i> var. <i>minus</i>	clavate:chained	rare
F 85-07	<i>Fusarium proliferatum</i> var. <i>proliferatum</i>	clavate(pyriform): chained	rare
F 84-19	<i>Fusarium sacchari</i> var. <i>subglutinans</i>	oval:false-head	common

^aAll species have polyphialides.^bMicroconidia were observed in SNA plates.

Snyder-Hansen 개념의 *Fusarium roseum* 균주들을 다시 Gerlach-Nirenberg(1982) 방식으로 section 유별하여 동정해 본 결과, Table 1과 Fig. 7과 같다.

F. equiseti (F83-29) [section Gibbosum]는 후벽포자가 연쇄상(chain)으로 형성되었고, 소형포자(primary conidia) 형성이 많았다. 대형포자는 그 크기가 $37.5 \times 3.75 \mu\text{m}$ 정도로 fusiform and dorsiventral curved하였고, markedly pedicelled foot cell이 있었다. PDA culture undersurface가 tan-brown(coffee brown)하였으며, 빠른 성장(fast-growing)을 보이는 특징과 simple phialide를 가지고 있었다.

F. avenaceum (F.83-34) [section Roseum]은 후벽포자가 매우 드물었으며, 대형포자가 매우 길었다(very long, tall, falcate). 대형포자의 격벽은 3~7개가 있었다. 7 septated(격벽의) 대형포자의 크기는 $80 \times 4.5 \mu\text{m}$, 6 septated(격벽의) 대형포자 크기는 $75 \times 3.75 \mu\text{m}$, 5 septated(격벽의) 대형포자는 $62.5 \times 3.25 \mu\text{m}$ 정도였다. 소형포자도 있었는데 대개 3 septated 하였으며 $32.5 \mu\text{m}$ 길이를 보였다. culture 색깔은 분홍-beige, 무색이며 기중균사는 백색, floppy하여, *Fusarium avenaceum* forma 1[Roseum]의 특징을 보였다.

F. gramineum (F83-36) [section Roseum]은 배지가 carmine-red 변색, 기중균사 없고, pionnotal 혹은 혁질. 후벽포자가 없고, 소형포자가 매우 드물었다. 대형포자의 크기는 5격벽 있는 것이 $42.5 \sim 47.5 \times 4.5 \sim 5.0 \mu\text{m}$, 4격벽 있는 것이 $40 \times 4.0 \mu\text{m}$, 3격벽 있는 것이 $35 \times 4.3 \mu\text{m}$ 정도였다.

F. arthrosporioides (F85-28) [section Roseum]은 배지가 carmine red 변색, 백색-적색 균사가 floppy했고, 후벽포자 및 소형포자가 없었다. 대형포자는 fusiform으로 $41.3 \times 3.8 \sim 45 \mu\text{m}$ 크기였다.

F. reticulatum var. *reticulatum* (F.85-08) [section Discolor]은 SNA에서 monophialide, 소형포자 없고, 대형포자는 sporodochia에서 형성되었으며 1차 포자는 fusiform으로 sickle shaped 하였다. PDA에서 carmine red 내지 buff

Fig. 6. Morphological characteristics of *Fusarium* species in Liseola section isolated from ginseng plants: (A) F 83-06; *Fusarium fujikuroi*, (B) F 84-12; *F. proliferatum* var. *minus*, (C) F 85-07; *F. proliferatum* var. *proliferatum*, (D) F 83-04; *F. sacchari* var. *subglutinans*.

Fig. 7. Conidial morphology of *Fusarium reseau* sensu Snyder-Hansen (1945): (A) *F. equiseti* (F 83-29), (B) *F. avenaceum* (F 83-34), (C) *F. gramineum* (F 83-36), (D) *F. arthrosporioides* (F 85-28), (E) *F. sambucinum* (F 83-42), (F) *F. reticulatum* (F 85-08), (G) *F. semitectum* (F 85-15), (H) *F. poa* (F 85-34), (I) *F. concolor* (F 83-11).

(black) brown 색깔을 보였으며 후벽포자가 있었으며 기중균사가 많았다. 대형포자의 크기는, 1차 포자가 fusiform(3 septated)으로 $28.8 \times 3.8 \mu\text{m}$ 크기였고, 2차 포자는 dorsiventral falcate(4~5 septated) 모양으로 $43.8 \times 3.8 \mu\text{m}$ 크기였다.

F. semitectum var. *semitectum* (F85-15) [section *Arthrosporiella*]는 mono- 혹은 poly-phialides를 가졌으며, 소형 및 후벽포자를 형성하지 않았고 fusiform-conidia(대형포자)만 형성, 그 크기가 $32.5 \sim 37.5 \times 3.75 \sim 5.0 \mu\text{m}$ 정도였다. 백색의 기중균사 형성, 배지 접촉부위가 carmine-red(brown-buff) 색깔을 나타내었다.

F. poa (F85-34) [section *Sporotrichiella*]는 후벽포자가 존재했으나 매우 드물었으며, 배지가 carmine-red로 변색, 대형포자 크기가 $41.3 \times 4.5 \mu\text{m}$ 크기였다. mono-phialides 이었다.

인삼의 토양전염성 병원균 및 *Fusarium*균의 인삼 뿌리썩음병 병원성 검정

Fusarium 균주들을 포장 3년생 인삼에 접종한 결과 74

Table 5. The species of *Fusarium* isolated from ginseng and their pathogenicity of the root-rot of ginseng plant

<i>Fusarium</i> species (Section)	Number of Isolates tested of Pathogenicity	Number of isolates Pathogenic to Ginseng Roots
<i>Fusarium solani</i> (Martiella)	34	1
<i>Fusarium oxysporum</i> (Elegans)	24	1
<i>Fusarium moniliforme</i> (Liseola)	7	0
<i>Fusarium sambucinum</i> (Discolor)	1	1
<i>Fusarium equiseti</i> (Gibbosum)	2	1
<i>Fusarium acuminatum</i> (Gibbosum)	3	2
<i>Fusarium avenaceum</i> (Roseum)	2	0
<i>Fusarium concolor</i> (Arthrosporiella)*	1	0
Total	74	6

*Gibbosum sensu Booth's (1971).

Et cetera, Isolates of *Fusarium semitectum* (Arthrosporiella), *Fusarium poa* (Sporotrichiella) was isolated, but were not tested of pathogenicity.

개 균주 중 6개 균주만이 뿌리썩음병 병징 재현(병원성)을 보였다. *F. solani*의 경우, 34개 균주 중 1개(F 84-01)

Table 6. Wilting and soft rot of the root of ginseng plants (3 yr. old) inoculated by some ginseng root rot pathogenic fungi in field condition inspected 12 days after inoculation

Fungi	Number of Isolates Tested (Three Plants Inoculated per Isolate)	Number of Wilt-Incited Isolates	Wilted Plants per Inoculated Plants (Inspected 12 days after Inoculation)	Soft or Hard Root Rot of Inoculated Plants (Inspected 12 days after inoculation)
<i>Phytophthora cactorum</i>	2	2	6/6	soft
<i>Pythium ultimum</i>	4	4	11/12	soft
<i>Cylindrocarpon destructans</i>	12	3	4/9	dry
<i>Rhizoctonia solani</i>	5	1	2/3	dry
<i>Pythium irregulare</i>	5	1	1/3	soft
<i>Pythium spinosum</i>	3	1	3/3	soft
<i>Pythium sylvaticum</i>	2	1	3/3	soft
<i>Fusarium sambucinum</i>	1	1	3/3	dry
<i>Fusarium solani</i>	34	0	0	-
<i>Fusarium oxysporum</i>	24	0	0	-
<i>Fusarium moniliforme</i>	7	0	0	-

Table 7. Dry-rot of the roots of ginseng plants (3 yr. old) inoculated by some ginseng root rot fungi in field condition, inspected 77 days after inoculation

Fungi	Number of Isolates Inoculated	Number of Isolates of the Root-Rot Incited	Average Root-Rot Rate (0-5)
<i>Cylindrocarpon destructans</i>	12	12	4.7 ± 0.5
<i>Pythium irregulare</i>	5	5	4.3 ± 0.6
<i>Pythium spinosum</i>	3	1	4.5 ± 0.5
<i>Pythium sylvaticum</i>	2	1	3.4 ± 0.1
<i>Rhizoctonia solani</i>	5	3	3.8 ± 1.3
<i>Fusarium solani</i>	34	1	4.3 ± 0.5
<i>Fusarium oxysporum</i>	24	1	5.0 ± 0.0
<i>Fusarium equiseti</i>	2	1	3.7 ± 0.5
<i>Fusarium acuminatum</i>	3	2	3.9 ± 0.9

만이 병원성을 보였다(Table 5 참조). 그러나 *Cylindrocarpon destructans*는 대체로 높은 병원성(12개 균주 접종, 모두 병원성 보임)을 나타내었다(Fig. 1 참조). *Phytophthora cactorum*과 *Pythium ultimum*은 접종 12일 후에 지상부 출기, 잎의 급성 시들음(萎凋) 및 지하부 뿌리썩음에 가장 높은 병원성을 보였다. 그리고 이들 높은 병원성을 보인 균들은 모두 뿌리를 물렁썩이(軟腐; soft rot)시켰다. 접종 12일 후에 *Cylindrocarpon destructans* 및 *Rhizoctonia solani* 균, 기타 *Pythium* 균들은 일부 균주만이 병원성을 나타내어 중정도의 병원성을 나타내었다. 그리고 이들 균들은 대부분 뿌리를 마른썩이(乾腐; dry rot 혹은 hard rot)시켰다(Table 6 참조). 접종 후 77일경에 마른썩음(乾腐; dry rot 혹은 hard rot)의 정도로써 접종한 균주들의 병원성을 조사한 결과 Table 7과 같다. 병원균 접종 후 뿌리썩음(根腐) 병징이 나타난 것에서 다시 병원균을 재분리해 본 결과, *Fusarium solani*가 한결같이 병원균과 더불어 부생균으로 분리되었다(Table 8 참조).

Table 8. Re-isolation of the inoculated pathogenic fungi from the infected root of ginseng, which had been inoculated

Fungi inoculated	Isolate Number	Fungi isolated from Lesions (rotted-root)
<i>Phytophthora cactorum</i>	Phytoph84-01	<i>Phytophthora cactorum</i> , <i>Pythium spinosum</i> , <i>Fusarium solani</i>
	Op-3	<i>Pythium</i> sp. (oogonium-less), <i>Fusarium solani</i>
<i>Pythium ultimum</i>	Py83-47	<i>Fusarium solani</i>
	Py83-30	<i>Fusarium solani</i>
<i>Cylindrocarpon destructans</i>	Cyl83-03	<i>Cylindrocarpon destructans</i> , <i>Fusarium solani</i>
	Cyl83-01	<i>Fusarium solani</i>
	Cyl85-05	<i>Fusarium solani</i>
<i>Rhizoctonia solani</i>	R-4	<i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Mucor</i> sp., <i>Trichoderma</i> sp., <i>Fusarium solani</i> , <i>Fusarium oxysporum</i>
<i>Fusarium sambucinum</i>	F83-42	<i>Fusarium solani</i>

고 찰

농업적으로 중요한 *Fusarium* 균으로서는, 토양전염성인 각종 식물의 시들음병균(*Fusarium wilt agents*), 뿌리썩음병균(根腐病菌; Root Rot agents), 벼 키다리병균(馬鹿苗病菌; Bakanae Disease Incitors, 종자전염), 그리고 공기전염성(air-borne)인 맥류의 붉은곰팡이병균(赤黴病菌; *Fusarium Head Blight*; FHB-related mycotoxigenic species), 옥수수 이삭썩음병균(Stalk Rot)이 있으며, 특히 후자들은 균독소를 분비해 인축에 큰 피해를 미치기도 한다.

인삼의 뿌리썩음병균인 *Fusarium solani* 균과 *Cylindrocarpon destructans*는 인삼재배에서 가장 큰 피해를 주는 병원균으로 1910년대 부터 많은 연구자들(미국, 캐나다, 한국, 일본)에 의해서 인식되어 왔다. 이들 두 균은 인삼 뿌리썩음병(根腐病; ginseng root-rot)과 더불어 인삼 연작장해(replant disease)의 원인으로 여겨지고 있다. 그러나 이 연구 결과로만 보아서는 *F. solani*를 인삼의 뿌리썩음병의 주병원균으로 보기 매우 어렵다. 이 연구 결과에서 보이는, 인삼뿌리의 물렁썩음을 일으키고 지상부의 급격한 위조를 가져오는 인삼 역병균(*Phytophthora cactorum*)이나 *Pythium ultimum* 균들은 전형적인 병원균 우위(優位)의 토양전염성병(pathogen-dominant disease, Kommedhal과 Windels, 1979)의 병원균이라고 보아야 한다. 그러나 이들에 의한 인삼의 근부 피해는 일반 재배 농가 포장에서 거의 찾아볼 수 없다. 대개 묘포에서 모잘록병을 일으키거나 본포에서 짧은 시간동안 지상부 위조 증세를 보이는 것이 이들 병원균의 인삼 식물에 대한 발병 특징이다. 병원균 우위의 토양병들은 대개 one pathogen-one disease의 유형을 보인다. 병원균 우위의 인삼병으로는 감

자색이선충에 의한 근부병(오 등, 1983)이나, 균핵병, 역병(오와 박, 1980) 등을 들 수 있다. 그러나 일반적으로 고년생 인삼포에서 보이는 뿌리썩음병은 오랜 기간 동안 서서히 진행되며, 기주 식물 즉 인삼의 생육에 미치는 다른 환경 스트레스 요인들(물리적 상처, 비료, 수분, 염류농도, 독물질 등)에 의해 촉발되어 뿌리썩음을 유도하는 것으로 생각된다. 지상부 식물체가 건전해 보여도 뿌리는 뇌두 부근(생장점이 있음)만 남아 있고 다 썩어버린 경우가 인삼 포장에 매우 많다. 이때 관여하는 미약(weak) 혹은 일시적인 기회 병원균으로서 *Fusarium solani*는 도저히 무시할 수 없다. 이 연구 결과만 보아서는 인삼 뿌리썩음병의 병원균으로서 가장 중요한 것은 *Cylindrocarpon destructans*라고 할 수 있으며, 인삼 뿌리썩음에 가장 많이 관여하는 2차균 혹은 부생균으로서는 *Fusarium solani*가 가장 중요하다고 볼 수 있다. *Cylindrocarpon destructans*나 *Fusarium solani* 및 *Rhizoctonia solani* 그리고 기타 *Pythium* 균들은 전형적인 미약 병원균(weak pathogens)으로, 기주 식물 우위(優位)의 토양전염성병(host-dominant disease, Kommedhal과 Windels, 1979)의 양상으로 인삼에 뿌리썩음을 일으킨다. 이들 병원균들은 대개 인삼 뿌리를 마른썩음(乾腐)시키는 특징이 있으며, 복합병(complex disease)의 특징인 some pathogens-one disease의 유형을 보인다. 인삼은 대개 재배 기간이 4~5년 걸리는 일종의 목본 식물의 기주 조건을 갖추고 있으며, 수분이나 각종 토양 미량원소의 과부족에 민감한 생리장해를 나타낸다. 이런 점에서 *Cylindrocarpon destructans*나 *Fusarium solani*의 병원학적 중요성을 간과할 수 없다. 식물병원세균에 의해 일어나는 인삼의 뿌리썩음병(김 등, 2004)의 경우에도 기주식물 우위의 토양병인 것으로 여겨진다. 저년생

Table 9. Root-rot pathogens of ginseng plant : Root rot symptoms and pathogen or host dominance in disease

Root-Rot involved Organisms	Root-Rot Development Pattern	Wilting or Blight of Upper Plant Part	Pathogen or Host Dominance in Ginseng Disease ^a
<i>Phytophthora cactorum</i>	Soft-rot	+	Pathogen
<i>Pythium ultimum</i>	Soft-rot	+	Pathogen
<i>Cylindrocarpon destructans</i> *	Dry-rot	+/-	Host
<i>Pythium</i> spp.*	Dry or Soft-rot	+/-	Host
<i>Rhizoctonia solani</i>	Dry-rot	+/-	Host
<i>Fusarium solani</i> *	Dry-rot	-	Host
<i>Fusarium</i> spp.*	Dry-rot	-	Host
<i>Sclerotinia minor</i>	Soft-rot	+	Pathogen
<i>Ditylenchus destructor</i> (a nematode)	Semi Dry-rot	+	Pathogen
Bacteria*	Soft-rot	-	Host

* Supposed to be a wound parasites or weak pathogens.

+: Upper plants are wilted or blighted, -: Upper plants are not wilted or blighted.

^a: Kommedhal & Windels 1979.

인삼의 병은 대개 병원균 우위의 토양병이 많고, 고년생 인삼은 기주식물 우위의 토양병이 많을 것으로 생각된다 (Table 9 참조).

이 연구에서 *Fusarium solani* 균주들 중에서 뿌리썩음에 유일하게 병원성을 보인 F 84-01균주의 형태적 특징도 Matuo 등(1972, 1980)이 인삼 백부병(白腐病) 병원균으로 보고한 *Fusarium solani* f.sp. *pisi*의 그것과 일치하지 않는다. 그는 *Fusarium solani*의 대형포자를 크기 별로 4개 유형(α , β , γ , ζ)으로 나누어 세분화하였으며, 인삼 뿌리썩음병원균인 *F. solani* f.sp. *pisi*는 β -type으로 대형포자가 '3 septated, less than 5 μ m in width'라고 했으나, 이 연구에서 조사한 모든 *F. solani* 균주들은 Matuo's(1972) sensu γ -type(*F. solani* f.sp. *radicicola*)이었다. 인삼의 뿌리썩음병의 병원균으로서의 *Fusarium solani*에 대해서 좀더 세분화된 종 혹은 variety개념을 적용시켜야 올바른 병원균을 찾을 수 있을 것이다. Snyder-Hansen 분류체계의 통합종으로서의 *F. solani* 학명적 의미는 단지 분생포자경의 길이가 *F. oxysporum* 보다 더 길고 분생포자경에 격벽이 있다는 형태적 특징으로만 한정될 수 밖에 없다. *Cylindrocarpon destructans* 균은 캐나다에서 인삼의 뿌리썩음병(根腐病)균으로 Hildebrand(1935), Zinssmeister(1918) 등에 의해 처음에 *Ramularia destructans*로 보고되었으나, 그 후 *Ramularia* 속은 'dry blastspores formed at blown-out ends'하는 불완전균(dematous hyphomycetes)의 속(genus) 개념으로 한정되어 버리는(Mason, 1937; Hugh, 1953) 바람에, 인삼 뿌리썩음병 병원균은 slimy phialspores를 형성하는 *Cylindrocarpon* 속, 즉 *Cylindrocarpon destructans*로 그 이름(속명)을 바꾸어 가지게 되었다. *Cylindrocarpon* 속은 *Fusarium* 분류연구의 출발점인 Wollenweber에 의해 창설(1913)되었으며, 역시 *Fusarium* 분류연구의 대가인 Booth에 의해 그 모노그랩(1966)이 출판되었다. *Cylindrocarpon* 속은 *Fusarium*의 Martiella section(*F. solani* sensu Snyder & Hansen)과 매우 유사하나, 배지에 갈색 색소를 형성하고 매우 천천히 자라며, 갈색의 후벽포자를 형성하는 특징과 *Fusarium*과 다른 것은 단지 대형포자에 foot-cell이 없다는 것 정도이다. 자낭세대도 *Nectria radicicola*로 *F. solani*의 완전세대와 거의 유사하다. 그러므로 *Cylindrocarpon destructans*는 넓은 개념의 *Fusarium solani*[Martiella section]라고 볼 수 있다. *Cylindrocarpon destructans*는 인삼 뿐만 아니라, 작약의 검은 뿌리썩음병 병원균이며 작약 연장장애의 원인이다(최 등, 2004. 식물병연구 10(4): 268-271 참조). 작약 검은뿌리썩음병 병 걸린 뿌리에서 저자가 직접 균 분리한 결과, 인삼의 균주와 colony 및 성장속도, 포자 모양이 동일한 것을 확인하였다(미발표).

Fusarium 균의 분류 연구는, 1935년 Wollenweber and Reinking에 의하여 *Fusarium* 균에 대한 분류가 본격적으로 집대성된 이후, 세계 각국에서 여러 연구자들에 의하여 수행되어 왔다. 2001년 Lee, Youn-Su and Park, Chang-Seuk에 의해 93종의 기주식물로부터 21종(및 20 f.sp of *F. oxysporum* 포함)의 균을 분류 동정한 monograph이 출판된 바 있다. 그러나 이 모노그랩의 분류방식은 최근의 균학적 발전추세에 대처하지 못하고 너무 식물병리학적 실용주의에 치우친 편향된 종래 방법에 따르는 경향이 짙다. O'Donnell(2000) 및 Aoki 등(2003)은 기존의 형태학적(phenotypic) 특징을 근간으로 한 분류체계보다 특정부위(28s rDNA, ITS, IGS, EF- α gene 등)의 유전자(DNA)염기서열을 분석 비교한 계통분류(系統分類; phylogenetical taxonomy)를 시도해서 크게 주목을 받고 있다. 대개 종 통합(단순화; lumpers systems)에 의한 분류방식은 그 분류가 매우 쉽고 편리하지만 종의 유전적 근연관계가 무시되어 분류의 논리나 합리성을 잃어버리기 쉽다(O'Donnell, 2000). 유전적 계통분류에 의하면, 아직 미발견된 종(cryptic species)들이 계속 나타날 수 있는 여지를 남겨야 종개념의 열린(open) 의미를 수용할 수 있다. 그러나 종 통합에 있어서는 그런 개연성들이 모두 사라지고 인위적인 형태적 유사성만이 판단, 분류, 동정의 근거가 되어, 합리적이고 논리적인 과학적 정확성을 잃기 쉽다. 계통분류를 시도하는 연구자들은 Wollenweber and Reinking의 분류체계를 거의 고수하는 Gerlach and Nirenberg 분류체계를 주로 선호, 수용하고 있다.

요 약

1982년부터 1885년 동안, 인삼뿌리썩음병 및 근권 토양에서 분리한 *Fusarium*균(115균주)을 Snyder-Hansen 방식(주로 *F. solani* 및 *F. oxysporum*의 동정에 적용) 및 Gerlach-Nirenberg 방식(주로 *F. moniliforme*[Liseola section]의 균주 동정 및 *F. roseum*[Snyder-Hansen 분류개념에 의한]에 속하는 균주 동정에 적용), 그리고 *Cylindrocarpon* 균은 Booth 방식으로 분류 동정한 결과, 11개의 종으로 나눌 수 있었다. 가장 많이 분리된 균은 *Fusarium solani* (55균주), *F. oxysporum*(35균주), 그리고 *F. moniliforme*(10균주) 등이었다. Snyder와 Hansen(1945) 분류방식에 의해 *F. roseum*으로 불리우는 나머지 균주들(15균주)은 매우 드물게 분리되었으며, 8개의 종으로 다시 분류할 수 있었다. 이들은 *F. equiseti*, *F. avenaceum*, *F. graminum*, *F. arthrosporioides*, *F. sambucinum*, *F. reticulatum*, *F. semitectum* and *F. poa* 등이었다. 1985년 6월 이들 *Fusarium* 균주들

과 *Cylindrocarpon destructans* 균주들 및 주요 인삼의 토양전염성 병원균 균주들을 증평인삼시험장 3년생 격리포장에서 균총 절편으로 뿌리 상부에 접종시켜 그 병원성을 검정한 결과, *Phytophthora cactorum*과 *Pythium ultimum*은 접종 12일 만에 지상부 위조 및 뿌리의 물렁썩음을 일으키는 높은 병원성을 나타내었다. 접종 후 77일경에 뿌리를 채굴하여 뿌리의 마른 썩음을 조사한 결과, *Fusarium solani* 균은 34 균주 중 1개 균주만이 병원성을 보였으나, *Cylindrocarpon destructans*는 12개 접종 균주 모두 인삼의 뿌리썩음에 높은 병원성을 나타내었다. *Fusarium solani* 및 *Cylindrocarpon destructans*는 전형적인 기주-위주의 인삼 토양병원균으로 추정할 수 있었다.

감사의 글

이 연구가 있을 수 있도록 연구소에 저를 특별 채용해 주시고 인삼의 식물병과 토양전염성병에 대해 자상하게 일일이 지도 편달해 주신, 전 한국인삼연구초연구소 연구책임자이셨던 오승환 박사님과 김홍진 박사님, *Fusarium*과 *Cylindrocarpon*을 맨 처음 제게 가르쳐주신 정후섭 서울대학교 명예 교수님, 그리고 이 연구 시험을 수행할 수 있도록 허가해주신, 전 증평인삼시험장 김요태, 이종화, 홍순근 장장님들께 늦게나마 감사함을 표합니다.

참고문헌

- Aoki, T., O'Donnell, K., Homma, Y. and Lattanzi, A. R. 2003. Sudden-Death Syndrome of Soybean is caused by two morphologically and phylogenetically distinct species within the *Fusarium solani* species complex- *F. virguliforme* in North America and *F. tucumaniae* in South America. *Mycologia* 95: 660-684.
- Booth, C. 1966. The genus *Cylindrocarpon*. *Mycol. Pap.* 104: 1-56.
- Booth, C. 1971. The genus *Fusarium*. CMI. 237 pp.
- 조대휘, 박규진, 유연현, 오승환, 이호자. 1995. *Cylindrocarpon destructans*에 의한 연작지 2년근 인삼의 근부병 발병특성. *Korean J. Ginseng Sci.* 19(2): 175-180.
- Chung, Hoo Sup. 1975. Studies on *Cylindrocarpon destructans* causing root rot of ginseng. *Rept. Tottori Mycol. Inst.*(Jpn). 12: 127-138.
- Domsch, K. H., Gams, W. and Anderson, T. H. 1980. Compendium of Soil Fungi. Academic Press. Vol. 1. 859 pp. plus Vol. 2. 405 pp.
- Gerlach, W. and Nirenberg, H. 1982. The genus *Fusarium* : A Pictorial Atlas. Paul Parey. 406 pp.
- Joffe, A. Z. 1986. *Fusarium* Species: Their Biology and Toxicology. John Wiley & Sons. 588 pp.
- Hildebrand, A. A. 1935. Root rot of ginseng in Ontario caused by members of the genus *Ramularia*. *Cand. J. Res.* 12(1): 82-114.
- 김동기, 이순구, 이영근, 이종팔, 정기채. 2004. *Serratia liquefaciens*에 의한 인삼 뿌리썩음병. *식물병연구* 10(1): 8-12.
- Kommedahl, T. and Windels, C. E. 1979. Fungi: Pathogen or Host Dominance in Disease. pages 1-103 in *Ecology of Root Pathogens*. Krupa, S. V. and Dommergues, Y. R. (eds). Elsevier. 281 pp.
- Lee, Youn-Su. and Park, Chang-Seuk. 2001. *Fusarium* Species of Korea. Nat'l Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea. 91 pp.
- 松尾卓見, 駒田 旦, 松田 明. 1980. 作物の *Fusarium* 病. 全國農村教育協會. 東京. 502 pp.
- Matuo, T. and Miyazawa, Y. 1984. Scientific name of *Cylindrocarpon* sp. causing root rot of ginseng. *Ann. Phytopath. Soc. Jpn.* 50: 649-652.
- Matuo, T. and Snyder, W. C. 1972. *Phytopathology* 62: 731-735.
- Nelson, P. E., Toussoun, T. A. and Cook, R. J.(eds). 1981. *Fusarium: Diseases, Biology, and Taxonomy*. The Pennsylvania State Univer. Press. 457 pp.
- Nelson, P. E., Toussoun, T. A. and Marasas, W. F. O. 1983. *Fusarium* species: An Illustrated Manual for Identification. The Pennsylvania State Univer. Press. 193 pp.
- Nirenberg, H. 1976. Untersuchungen über die morphologische und biologische Differenzierung in der *Fusarium* Sektion *Liseola*. Paul Parey. 117 pp.
- O'Donnell, K. 2000. Molecular phylogeny of the *Nectria haematococca-Fusarium solani* species complex. *Mycologia* 92: 919-938.
- 오승환, 이순구, 이장호, 한상찬. 1983. 감자썩이선충(*Ditylenchus destructor*)에 의한 인삼의 새로운 근부병. *한국식물보호학회지* 22(3): 181-185.
- 오승환, 박창석. 1980. 인삼의 역병, 병원균 및 방제책에 관하여. *고려인삼학회지* 4(2): 186-193.
- Singleton, L. L., Mihail, J. D. and Rush, C. M.(eds.). 1992. *Methods for Research on Soilborne Phytopathogenic Fungi*. APS Press. 265 pp.
- Snyder, W. C. and Hansen, H. N. 1941. The species concept in *Fusarium* with reference to section *Martiella*. *Am. J. Botany* 28: 738-742.
- Snyder, W. C. and Hansen, H. N. 1945. The species concept in *Fusarium* with reference to *Discolor* and other sections. *Am. J. Botany* 32: 657-666.
- Snyder, W. C. and Hansen, H. N. 1954. Species concept, genetic, and pathogenicity in *Hypomyces solani*. *Phytopathology* 44: 338-342.
- Snyder, W. C. and Toussoun, T. A. 1965. Current status of taxonomy in *Fusarium* species and their perfect stages. *Phytopathology* 55: 833-837.
- Summerell, B. A. et al.(eds.) 2001. *Fusarium*: Paul E. Nelson Memorial Symposium. APS Press. 392 pp.

- Toussoun, T. A. and Nelson, P. E. 1976. *Fusarium*: A Pictorial Guide to the Identification of *Fusarium* species according to the taxonomic system of Snyder and Hansen (2nd ed.) The Pennsylvania State Univer. Press. 43 pp.
- Watanabe, T. 2002. Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi: Morphology of Cultured Fungi and Key to Species(2nd ed.). CRC Press. 486 pp.
- Zinssmeister, C. L. 1918. *Ramularia* root-rots of ginseng. *Phytopathology* 8: 557-571.