



## 인삼뿌리썩음병원균에 의한 국내 인삼재배지의 병 발생 현황

서문원<sup>1</sup> · 홍지은<sup>2</sup> · 권나영<sup>3</sup> · 이성우<sup>4</sup> · 김상국<sup>5</sup> · 이승호<sup>6\*</sup>

### Disease Occurrence Status in Ginseng Cultivation Fields Caused by Pathogens of Ginseng Root Rot in South Korea

Mun Won Seo<sup>1</sup>, Ji Eun Hong<sup>2</sup>, Na Yeong Kwon<sup>3</sup>, Sung Woo Lee<sup>4</sup>, Sang Kuk Kim<sup>5</sup> and Seung Ho Lee<sup>6\*</sup>

#### ABSTRACT

**Received:** 2021 November 30  
**1st Revised:** 2021 December 20  
**2nd Revised:** 2022 January 6  
**3rd Revised:** 2022 January 17  
**Accepted:** 2022 January 17

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Background:** Ginseng is a high value medicinal herb and cash crop in Korea. It takes four to six years to reach ginseng root harvest. Over the extensive cultivation period, ginseng is targeted by many pathogens.

**Methods and Results:** We investigated the disease severity of ginseng root rot in 27 harvest fields. The highest disease severity was Hongcheon 1 (2.92) and the lowest was Ansung 1 (0.04). Ginseng lesions were collected and the pathogens were identified by the color of the fungus. A total of 587 pathogen strains were isolated from the ginseng root rot. Of these strains, the internal transcribed spacer (ITS) region was sequenced for 141 isolates. The sequence of the ITS region revealed *Ilyonectria radicola*, as the main disease of ginseng root rot in 45 isolates. *Fusarium solani* occurred in 44 isolates, *F. oxysporum* was in 45 isolates, and 7 other fungi also existed. The fungi isolated from six years old ginseng harvest fields were grouped into *I. mors-panacis*, *I. cyclaminicola*, *I. robusta* and *I. liriodendri* in the *I. radicola* complex. *F. solani*, was divided into two groups.

**Conclusions:** Analyzing the correlations between ginseng root rot pathogen and disease outbreaks provides a basis for establishing a pathogen control strategy during ginseng cultivation.

**Key Words:** *Panax ginseng* C. A. Meyer, gGinseng rRoot rRot, *Ilyonectria radicola* sSpecies cComplex, *Cylindrocarpon destructans*, *Fusarium solani*

#### 서 언

인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer)은 4년 - 6년 동안 동일 장소에서 재배하기 때문에 여러 병해에 의한 피해가 많이 발생하며, 그 중 농가에 큰 피해를 입히는 것은 인삼뿌리썩음병으로 알려져 있다. 관련된 병원균으로는 *Ilyonectria radicola* (= 불완전세대명, *Cylindrocarpon destructans*)로 재배 이후에도 토양에 후벽포자 등으로 10년 이상 생존이 가능하며, 연작장해의 주요 원인으로 보고된 바 있다 (Cho *et al.*, 1995; Lee, 2004; Kang *et al.*, 2007).

인삼뿌리썩음병원균 (*I. radicola* species complex)은 multi-locus 분석과 이들의 균학적 특성을 통해, 총 16종으로 세분화되었으며 (Cabral *et al.*, 2012), 국내 인삼에서는 *I. mors-panacis*, *I. robusta*, *I. cyclaminicola*, *I. liriodendri* 등이 동정되어 보고되었다 (Seo, 2017). 국내 보고된 인삼뿌리썩음병원균들 (*I. radicola* species complex)은 종에 따라 병원성에 차이가 있다. 특히 *I. mors-panacis*는 병원균 접종 후 4주 부터 지상부 잎이 시들거나 인삼 뿌리에서 전형적인 뿌리썩음 증상 등이 나타나며, 병원성이 강한 것으로 확인되었다. 반면에 *I. liriodendri*, *I. robusta*, *I. cyclaminicola*는 병원균

\*Corresponding author: (Phone) +82-43-871-5609 (E-mail) lsh750409@korea.kr

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 인삼과 전문연구원 / Post-doc, Ginseng Research Division, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

<sup>2</sup>농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 인삼과 농업연구사 / Researcher, Ginseng Research Division, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

<sup>3</sup>농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 인삼과 농업연구사 / Researcher, Ginseng Research Division, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

<sup>4</sup>경상북도농업기술원 생물자원연구소 농업연구관 / Researcher, Bioresources Research Institute, GBARES, Andong 36614, Korea.

<sup>5</sup>경상북도농업기술원 구미화훼연구소 농업연구관 / Researcher, Gumi Floriculture Research Institute, GBARES, Gumi 39102, Korea.

<sup>6</sup>농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 인삼과 농업연구사 / Researcher, Ginseng Research Division, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

접종 4 주 - 12 주 사이에 뿌리에 약한 병반을 형성하는 등 *I. mors-panacis*와 비교하여 상대적으로 병원성이 약한 것을 확인되었다 (Seo, 2017; Farh *et al.*, 2018).

인삼뿌리썩음병원균 (*I. radicola* species complex)의 기주로는 참나무, 호두나무와 같은 수목 등으로 알려져 있으며, 수목의 근권에서도 부생적으로 존재한다 (Booth, 1966; Matuo and Miyazawa, 1984; Singleton *et al.*, 1992; Punja, 1997; Reeleder *et al.*, 2002). 또한, 작약에서 연작장해의 원인으로 알려진 검은뿌리썩음병에서 분리된 *I. radicola* species complex (Choi *et al.*, 2004)는 인삼에서도 동일하게 뿌리썩음병을 일으키는 것으로 보고되었다 (Seo *et al.*, 2017).

또 다른 인삼뿌리썩음병 관련 병원균인 *Fusarium solani*의 경우에는 뿌리 및 종자에 병을 발생시키지만, *I. radicola*에 비하여 상대적으로 병원성이 약하다고 보고되고 있다 (Matuo and Snyder, 1972; Reeleder and Brammall, 1994; Reeleder *et al.*, 2002). 국내의 경우, *F. solani*의 병원성 검정으로 인삼에 대한 뿌리썩음병이 확인되었지만, *C. destructans*에 비하여 약한 병징이 나타났다 (Lee, 2004). 또한 ITS 영역의 유전자를 이용한 유연관계 분석 결과, 인삼에서 분리된 *F. solani*는 크게 *F. solani* f. sp. *pisi*와 *F. solani* f. sp. *radicola*로 분류되었다 (Suga *et al.*, 2000).

본 연구는 2020년 6년근 인삼 수확지에서 얻은 결과로, 2017년부터 2020년까지 매년 6년근 인삼을 수확하는 포장에서 인삼뿌리썩음병의 발병현황을 조사하고, 관련 병원균의 동정 및 분류를 통하여 국내 뿌리썩음병원균에 의한 병 발생에 대하여 알아보고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 뿌리썩음병 발병현황 조사

국내 인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer)재배지의 뿌리썩음병 발병현황을 조사하기 위하여 2020년 6년근 인삼 수확포장 중 충청남도, 충청북도, 경기도, 강원도, 전라북도를 대상으로 과거에 인삼을 한번도 재배하지 않은 초작지 27 개 포장을 조사하였다.

포장 당 90 cm × 180 cm (1 칸)을 기준으로 포장 당 3 반복 이상을 조사면적으로 선정하였으며, 뿌리썩음병 병반 정도에 따라 5 단계로 나누어 조사를 실시하였다. 병반 면적에 따라 0% (무발병) = 0, 1% - 30% = 1, 31% - 60% = 2, 61% - 99% = 3, 100% (결주 혹은 완전부패) = 4로 각각 구분하였다. 발병지수 (disease severity index, DSI)는 다음과 같이 환산하였다.

$$DSI = [\text{이병개체수} \times (\text{이병도 합}/\text{총 개체수})] / \text{총 개체수}$$

이병도 합은 각 단계별 뿌리썩음병 발생등급에 해당하는 발병주수를 곱한 후 (발병등급 × 발병주수) 총 합을 계산하였다.

### 2. 토양화학성 분석

6 년근 인삼의 재배지에서 뿌리썩음병 발병현황을 조사한 지점의 토양을 채취하여 분석에 사용하였다. 증류수 750 ml 에 acetic acid 11.5 ml + 1N ammonium chloride 10.70 g + ammonium fluoride 0.56 g을 녹인 후 hydrochloric acid 1 ml를 첨가하여, 1,000 ml가 되도록 증류수를 채우고 토양 3 g을 삼각플라스크에 평량하여 침출액 25 ml를 가한 후 5 분간 진탕하여 Whatman No.2 여과지로 여과하여 각각의 성분 분석에 이용하였다.

토양화학성은 농촌진흥청 토양화학분석법에 준하여 pH, EC, 유기물, 인산 및 치환성 양이온 (K, Ca, Mg, Na)에 대하여 분석하였다 (NIAST, 2000).

### 3. 뿌리썩음병원균 분리 및 동정

인삼 뿌리썩음병 발병조사를 실시한 6 년근 인삼 수확지에서 뿌리썩음병 증상을 보인 인삼을 채집하였고, 병반으로부터 병원균을 분리하였다.

채집된 인삼을 세척 후, 병반 조직을 0.5 cm 크기로 절단하고, 1 분간 1% NaOCl에 침지하여 표면소독을 실시하였다. 소독이 완료된 이병조직은 potato dextrose agar (PDA, Becton Dickinson and Company, Franklin Lakes, NJ, USA) 배지에 치상하고, 15°C - 20°C에서 7 일간 암조건에서 배양하였다. 배양된 조직으로부터 순수분리된 균주들은 PDA 배지에 재배양 하였다. 배양된 균주는 20°C에 보관하여 실험에 사용하였으며, 일부는 20% glycerol을 이용하여 -70°C에 보관하였다.

### 4. 병원균 DNA 추출

순수분리된 균주들은 genomic DNA를 추출하기 위해 PDA 배지로부터 균사를 수거하여 1.5 ml effendorf tube에 넣어 동결건조를 하였다.

동결건조된 균사는 400  $\mu$ l의 extraction buffer (200 mM Tris-HCl (pH 8.0), 200 mM NaCl, 30 mM EDTA (ethylenediamine-tetraacetic acid), 0.5% SDS (sodium dodecyl sulfate)를 섞고 마쇄한 후, 700  $\mu$ l의 chloroform : isopropanol (24 : 1)을 첨가하여 15 분 동안 13,000 rpm으로 원심분리하였다. 분리된 상층액은 100% ethanol 800  $\mu$ l를 첨가하여 10 분간 13,000 rpm으로 원심분리하여 genomic DNA를 침전시켰다. 상층액 제거 후, 세척을 위해 70% ethanol 800  $\mu$ l를 첨가하고 13,000 rpm으로 5 분간 원심분리하여 DNA를 제외한 이물질들을 제거하였다. 침전된 DNA는 ethanol을 제거하고 멸균수 50  $\mu$ l를 넣고, 추후 실험에 사용하기 위해 냉동보관 하

였다 (Doyle, 1990).

5. PCR 및 계통분석

인삼 이병부위에서 분리된 병원균의 유전학적 동정을 위하여 internal transcribed spacer (ITS) 영역을 증폭하였다.

본 연구에서 사용한 primer는 (주)제노텍 (Daejeon, Korea)에서 제작하였으며, PCR 반응을 위해 총량 20 µl 반응액에 10 ng의 주형 DNA, 1 X PCR buffer, 각각의 dNTP 0.2 mM, 각 primer 10.0 mM, 1 U taq polymerase 0.2 µl 를 첨가하였다. ITS 1과 ITS 4 primer를 이용한 PCR 증폭은 94°C, 30 초; 55°C, 30 초; 72°C, 30 초 조건으로 35 cycle로 수행하였다 (White et al., 1990). 전기영동을 통해 약 520 bp의 PCR 산물을 확인한 후 direct sequencing 방법을 통해 염기서열을 확인하였다.

획득한 염기서열은 MEGA6 프로그램 (Tamura et al., 2013)을 사용하여 불일치한 염기서열은 제외하였으며, 1,000

회의 bootstrap 분석을 통하여 신뢰도를 평가하였다. 증폭된 ITS 유전자들의 염기서열은 NCBI (The National Center for Biotechnology Information, USA)에 이미 기탁되어 있는 해당 종의 ITS 유전자와 99.0% - 100.0% 수준에서 상동성을 보였다.

결과 및 고찰

1. 2020년 인삼 6년근 수확포장의 인삼뿌리썩음병 발병현황

국내 6년근 인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer) 수확지 27 농가를 대상으로 인삼뿌리썩음병의 발병현황을 조사하였다. 각 농가당 90 cm × 180 cm 를 기준으로, 3 반복 이상에 대하여 인삼뿌리의 썩음 정도에 따라 이병도를 구한 후 DSI 를 산출하였다.

충북 농가들의 발병지수는 0.79 - 2.38 (평균: 1.45)로 나타났다으며, 충남은 1.11 - 2.85 (평균: 1.75), 강원 0.51 - 2.92

Table 1. The Disease severity from 6 years old ginseng root rot on harvested fields in 2020.

Field	Area of root rot in ginseng/DR <sup>1)</sup>					DSI <sup>2)</sup>	
	0% (0)	1%-30% (1)	31%-60% (2)	61%-99% (3)	100% (4)		
CB	Cheongju 1	21.00 <sup>3)</sup>	27.67	0.33	00.00	23.00	1.19
	Cheongju 2	8.00	18.33	3.67	1.00	41.00	2.38
	Chungju 1	28.33	25.33	0.33	00.00	18.00	0.83
	Chungju 2	37.00	9.67	0.33	0.00	25.00	0.79
	Goesan 1	5.33	32.00	4.00	2.67	28.00	2.07
CN	Hongseong 1	3.33	12.67	11.00	0.33	44.67	2.85
	Hongseong 2	31.00	7.67	0.67	0.00	32.67	1.11
	Hongseong 3	26.00	8.00	0.00	0.00	38.00	1.42
	Seosan 1	21.33	13.67	0.67	0.00	36.33	1.60
GW	Chuncheon 1	2.33	16.00	10.33	1.67	41.67	2.80
	Chuncheon 2	36.33	21.67	2.67	0.33	11.00	0.51
	Hongcheon 1	2.33	14.00	7.67	3.67	44.33	2.92
	Hongcheon 2	2.33	24.00	5.00	0.67	40.00	2.65
	Hongcheon 3	8.67	26.33	4.67	0.00	32.33	2.02
	Hongcheon 4	5.00	22.33	5.00	1.33	38.33	2.49
GG	Ansung 1	90.33	16.67	4.33	0.00	0.00	0.04
	Ansung 2	50.33	8.00	1.00	0.33	18.30	0.71
	Ansung 3	12.33	15.67	0.67	0.67	42.67	2.24
	lcheon 1	17.33	14.33	1.33	0.00	39.00	1.84
	Yeoju 1	17.33	13.33	4.33	0.33	16.67	1.79
JN	Gangjin 1	29.67	15.33	0.67	0.00	26.33	1.03
	Gochang 1	20.67	11.33	1.67	0.00	38.33	1.71
	Gochang 2	27.33	10.00	0.67	0.00	34.00	1.32
	Haenam 1	2.00	8.33	0.33	0.00	28.33	0.88
	Naju 1	41.00	12.00	0.67	0.00	18.33	0.51
	Yeonggwang 1	33.33	11.33	2.33	0.67	24.33	1.12
	Yeonggwang 2	34.00	8.67	0.67	0.00	28.67	1.01

CB; Chungbuk, CN; Chungnam, GW; Gangwon, GG; Gyeonggi, JN; Jeonnam. <sup>1)</sup>DR; disease rating, <sup>2)</sup>DSI; disease severity index, <sup>3)</sup>Average of individuals.

(평균: 2.23), 경기 0.04 - 2.24 (평균: 1.32), 전북 0.51 - 1.71 (평균: 1.08)로 확인되었다. 발병지수가 1.0 이하인 곳은 총 7 포장 (안성 1, 안성 2, 충주 1, 충주 2, 춘천 2, 해남 1, 나주 1)이었으며, 1.0 - 2.0인 곳은 11 개 포장으로 가장 많았다. 그리고 9 개의 농가 (안성 3, 청주 2, 춘천 1, 괴산 1, 홍성 1, 홍천 1 - 4)에서 2.0 - 3.0의 발병지수가 나타났으며, 조사한 27 포장 중 홍천 1은 2.92로 발병지수가 가장 높았다 (Table 1).

인삼은 이식삼의 경우, 관행적으로 90 cm × 180 cm 기준으로 약 63 - 72 주의 묘삼 (1 년근)을 식재하여 5 년간 재배하면서 뿌리썩음병 등 각종 병해와 환경에 의해 결주가 발생하게 된다. 조사한 인삼 포장의 평균 결주율은 41.8%로 확인되었으며, 발병지수에 따라 1.0 이하인 포장은 평균 23.0%의 결주율을 보였다. 발병지수가 1.0 - 2.0인 포장은 43.7%, 발병지수가 2.0 - 3.0 포장의 평균 결주율은 54.5%로 나타났으며, 뿌리썩음병의 발병지수에 따라 결주율이 크게 증가하는 것이

확인되었다. 국내 연구진의 결과에서도 인삼 재배시 약 45.0% - 50.0% 이상이 뿌리썩음병에 의한 결주가 발생된다고 보고되었다 (Chung, 1972; Seo *et al.*, 2019), 이상의 결과로 연작장해의 주요 원인인 뿌리썩음병은 초작지에서도 병 발생이 만연하다는 것을 확인되었다.

## 2. 6 년근 수확지 농가의 토양화학성 분석

국내 6 년근 인삼 재배지 27 농가에 대한 토양화학성에 대한 분석을 통하여 뿌리썩음병과의 관련성을 알아보았다 (Table 2).

토양산도 (pH)의 허용범위는 6.0 - 6.5로 8 개 농가만이 허용범위 안에 있었으며, pH 6.0 이하는 17 개 농가로 가장 많은 재배지들이 이에 해당이 되었다. 그리고 전기전도도를 통한 염류농도는 0.5 - 1.0 dS/m가 인삼을 재배하기 위한 허용범위로 오직 4 개 농가에서만 범위 안에 있었으며, 그 외 25 개 농가에서는 모두 1 dS/m 이상이였다.

**Table 2.** Soil chemical assay of 6 years old ginseng root rot soils on harvested fields in 2020.

Field	pH	EC (dS/m)	NO <sub>3</sub> (mg/kg)	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	OM (g/kg)	Ex. Cation (cmol <sup>+</sup> /kg)				
						K	Mg	Na	Ca	
CB	Cheongju 1	6.14	2.71	275.99	747.91	14.48	0.55	2.48	0.12	5.93
	Cheongju 2	5.00	3.12	276.14	432.47	14.28	0.73	2.11	0.42	6.24
	Chungju 1	5.49	3.13	428.63	530.99	29.15	0.51	2.83	0.17	11.10
	Chungju 2	6.38	3.74	372.10	331.98	7.18	0.24	2.61	0.41	6.74
	Goesan 1	5.59	3.68	378.75	348.94	14.42	0.28	1.87	0.28	7.35
CN	Hongseong 1	5.05	2.10	160.39	343.33	8.63	0.39	4.74	0.41	5.13
	Hongseong 2	6.49	1.41	83.98	942.56	17.46	1.22	3.55	0.12	7.64
	Hongseong 3	5.00	1.31	105.30	203.76	20.48	0.82	2.44	0.17	5.27
	Seosan 1	4.94	0.64	16.27	14.71	8.01	0.23	1.97	0.48	1.92
GW	Chuncheon 1	4.96	2.01	246.49	268.26	11.09	0.33	1.20	0.14	5.13
	Chuncheon 2	5.16	2.02	253.21	190.33	19.10	0.70	1.36	0.15	3.41
	Hongcheon 1	5.46	1.85	202.07	269.69	14.75	0.62	1.50	0.23	5.82
	Hongcheon 2	6.00	1.40	112.62	39.19	9.180	0.19	3.15	0.31	8.11
	Hongcheon 3	4.73	1.68	176.50	386.22	14.81	0.50	1.08	0.17	3.48
	Hongcheon 4	4.70	2.48	319.26	290.73	19.70	0.72	1.76	0.30	5.12
CG	Ansung 1	6.08	1.55	111.43	161.46	8.03	0.11	1.26	0.29	6.18
	Ansung 2	6.10	1.60	114.10	164.55	8.08	0.11	1.30	0.29	6.51
	Ansung 3	6.09	1.59	111.03	180.94	7.96	0.10	1.18	0.26	5.84
	Icheon 1	6.74	0.93	73.69	73.04	6.56	0.51	1.37	0.23	4.26
	Yeoju 1	4.85	2.19	196.82	202.40	4.52	0.45	1.54	0.18	3.58
JN	Gangjin 1	4.64	1.19	127.69	295.48	31.58	0.27	0.67	0.27	3.26
	Gochang 1	6.07	1.46	82.47	768.07	20.22	1.06	2.30	0.12	7.72
	Gochang 2	4.87	1.04	49.99	343.81	17.28	0.79	1.74	0.08	4.82
	Haenam 1	5.03	0.74	37.02	130.15	14.02	0.40	1.70	0.08	3.53
	Naju 1	4.83	1.00	59.68	112.67	12.41	1.03	1.80	0.10	3.65
	Yeonggwang 1	4.71	0.92	30.46	303.38	12.41	1.26	1.49	0.10	3.65
	Yeonggwang 2	6.89	0.80	23.01	355.39	13.73	1.24	2.37	0.10	6.75

CB; Chungbuk, CN; Chungnam, GW; Gangwon, GG; Gyeonggi, JN; Jeonnam.

염류농도가 높아지면 이에 의해 뿌리에 상처가 나기 때문에 뿌리썩음병 발생이 증가하게 된다 (Yang *et al.*, 2000). 인삼의 연작장해에 의한 인삼뿌리썩음병은 토양 병원균에 의한 결주가 가장 큰 원인이며 (Rahman and Punja, 2005), 연작장해 유발토양은 억제토양에 비하여 토양산도와 염류농도가 높게 나타났다. (Lee *et al.*, 20210). 따라서 인삼뿌리썩음병원균이 검출이 되지 않은 홍천 1과 홍천 3 농가는 발병지수가 높았지만, 뿌리썩음병원균의 주된 병원균인 *I. radiculicola*나 *F. solani*가 아닌 부수적인 *F. oxysporum*에 의하여 (Lee, 2004), 뿌리썩음병원균이 토양 이화학적화학과 같은 환경요인으로 인해 발생한 것으로 보인다.

인삼뿌리썩음병에 대한 발병지수가 2.0 이상의 9 농가 중에서 토양산도는 홍천 3, 안성 3을 제외한 모든 재배지에서 pH 6.0보다 낮은 것을 확인하였으며, 전기전도도를 통한 염류농도의 경우에는 모든 농가가 1 dS/m 이상이였다.

3. 뿌리썩음병 관련 병원균의 분리 및 동정

인삼 6 년근 수확지에서 뿌리썩음병이 발생된 인삼을 채집하여 PDA 배지에서 균을 분리하고, 이들 중 일부의 병원균을 동정하고 분리 비율을 확인하였다 (Fig. 1). 총 587 균주를 병반에서 분리하여, 균학적 특성 중 형태적으로 유사한 병원균들은 제외하고, 그 중 138 균주에 대하여 ITS 영역을 이용하여 병원균을 동정하였다. 염기서열 분석 결과, 뿌리썩음병 관련 균주인 *Ilyonectria radiculicola* (44 균주), *Fusarium solani*

Table 3. The color of mycelium isolated from ginseng root rot lesion obtained from the harvested fields.

	Color of mycelium				
	White	Beige	Brown	Red	Etc.
Number of isolates	48	227	91	89	132

Table 4. The pathogens isolated from root rot of 6 years old ginseng on harvested fields in 2020.

Field	No. of isolates			
	<i>Ilyonectria radiculicola</i>	<i>Fusarium solani</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>	Etc.
Cheongju 1	0	2	1	0
Cheongju 2	1	2	2	0
CB Chungju 1	3	1	0	1
Chungju 2	1	2	1	0
Goesan 1	2	2	2	0
CN Hongseong 1	2	3	3	0
Hongseong 2	1	2	3	0
Hongseong 3	2	1	1	0
Seosan 1	0	0	4	0
GW Chuncheon 1	1	2	1	1
Chuncheon 2	0	1	0	1
Hongcheon 1	0	0	1	0
Hongcheon 2	0	3	3	0
Hongcheon 3	0	0	4	0
Hongcheon 4	0	2	3	0
GG Ansung 1	3	0	2	0
Ansung 2	3	3	0	0
Ansung 3	2	1	0	1
Icheon 1	6	1	0	1
Yeoju 1	3	0	0	1
JN Gangjin 1	0	1	4	0
Gochang 1	0	5	3	0
Gochang 2	1	2	2	0
Haenam 1	1	3	2	0
Naju 1	7	0	0	0
Yeonggwang 1	3	3	0	1
Yeonggwang 2	2	3	1	0

CB; Chungbuk, CN; Chungnam, GW; Gangwon, GG; Gyeonggi, JN; Jeonnam.

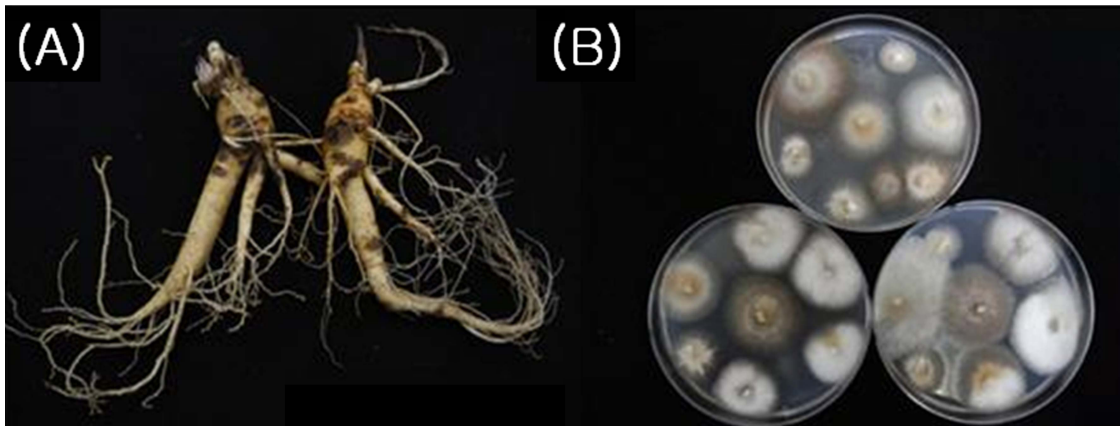


Fig. 1. The ginseng with root rot and isolation of colony using PDA media. Ginseng root rot (A), isolation of pathogens from lesions (B).

(45 균주)는 각각 31.9%, 32.6%의 비율로 균이 동정되었다 (Table 3).

강원도의 홍천 포장들 (홍천 1, 홍천 2, 홍천 3, 홍천 4)은 Table 4에서 보는 바와 같이 인삼뿌리썩음병의 주된 원인균인 *I. radiculicola*가 병반에서 분리가 되지 않았음에도 불구하고 이

병도가 2 이상인 것을 확인할 수 있었으며, 충주 1, 충주 2, 안성 1, 안성 2, 나주 1의 경우에는 이병도가 1 이하로 나타났지만, *I. radiculicola* 균주가 분리되는 것을 알 수 있었다.

홍천 1 - 4 포장은 주된 병원균인 *I. radiculicola*는 분리되지 않았으나 *F. solani*와 같은 병원균에 대하여 인삼이 감수성이

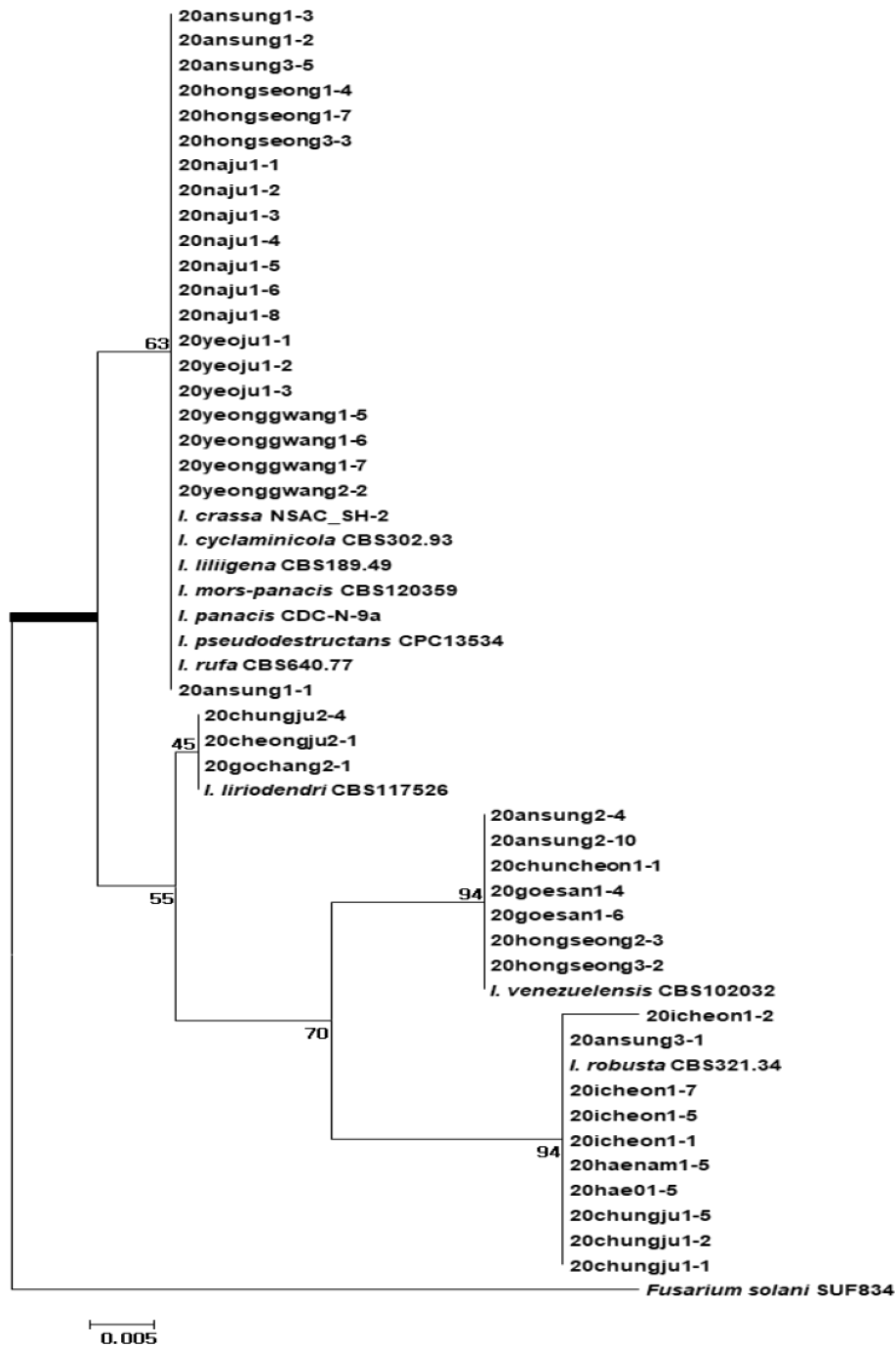


Fig. 2. Phylogenetic analysis of *Ilyonectria radiculicola* complex isolated from root rot of 6 years old ginseng using ITS region. The bootstrap analysis was performed with 1,000 replications. Bold bar is *I. radiculicola* complex.

거나 환경이 병원균에 유리하고 인삼 생육에 영향을 주었기 때문에 이병도가 2 이상으로 나온 것으로 판단된다. 반대의 의미로 충주 1 - 2, 안성 1 - 2, 나주 1 포장은 *I. radicolica* 가 인삼 병반에서 분리가 되어 충분히 인삼뿌리썩음병을 일으킬 수 있겠지만, 기주인 인삼이 병원균에 저항성이었거나 재배환경이 병원균이 병을 일으키는데 제약을 준 것으로 생각된다.

#### 4. 인삼뿌리썩음병원균의 유연관계 분석

인삼 수확지로부터 6 년근 인삼 병반에서 병원균을 분리하였고, 이들의 ITS 영역의 염기서열을 통하여 종 동정을 실시하였다.

국내에 보고된 인삼뿌리썩음병의 주된 원인균인 *I. radicolica* 그룹은 인삼에 대하여 강병원성을 보이는 *I. morspanacis*와 약병원성인 *I. cyclaminicola*, *I. venezuelensis*, *I.*

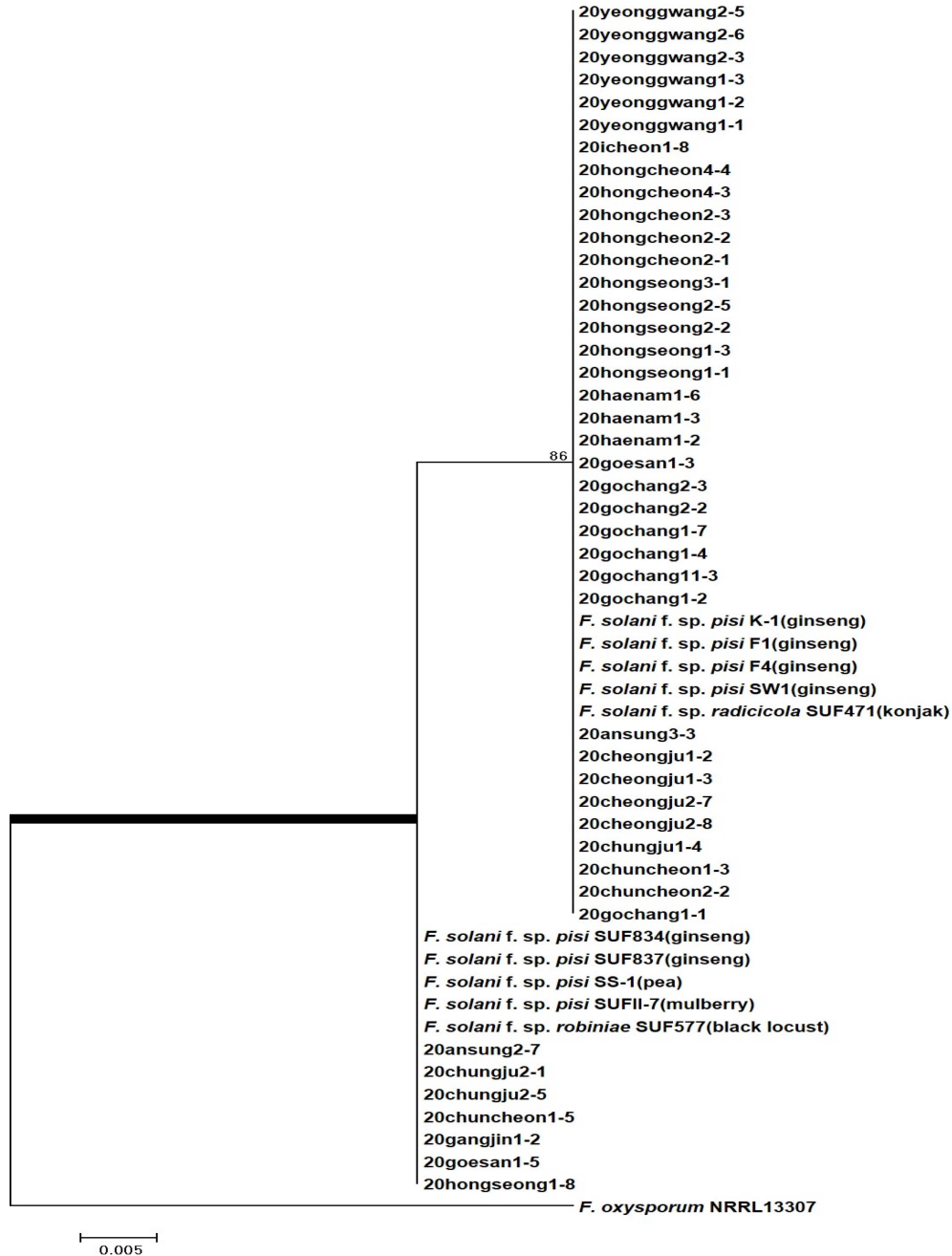


Fig. 3. Phylogenetic analysis of *Fusarium solani* from root rot of 6 years old ginseng using ITS region. The bootstrap analysis was performed with 1,000 replications. Bold bar is *F. solani* group.

*robusta*, *I. liriiodendri*가 보고되었다 (Seo, 2017).

2020년 수집 균주 41 균주 중에서 *I. mors-panacis*, *I. cyclaminicola*와 같은 그룹에 속한 균주는 21 균주가 확인되었으며, *I. liriiodendri*와 같은 그룹은 3 균주, *I. venezuelensis*와 같은 그룹은 7 균주, *I. robusta*와 같은 그룹은 10 균주로 동정되었다 (Fig. 2).

현재까지 인삼에서만 기주로 알려진 *I. mors-panacis*와 시클라멘이 기주인 *I. cyclaminicola* 그룹의 경우에는 다양한 종들이 그룹을 이루기 때문에 새로운 유전자로 유연관계 분석을 실시하여 정확한 종 동정이 필요하다. *I. liriiodendri*는 주로 유럽종 포도에 대하여 검은뿌리썩음병을 일으키는 것으로 알려져 있으며, *I. robusta*는 참나무, 미국삼, 체리, 포도나무 등의 기주로 보고되었다 (Cabral *et al.*, 2012; Seo *et al.*, 2018). 국내에서는 밤나무, 포도나무, 소나무에서 병원균을 분리하여 *I. cyclaminicola*, *I. liriiodendri* 병원균을 얻었으며, 인삼에 대한 감염률이 30.2% - 37.5%를 보인 것을 확인하였다 (Seo, 2017).

또한 6 년근 수확포장에서 분리한 *F. solani*는 크게 두 그룹으로 나뉘었다 (Fig. 3). 인삼 (*F. solani* f. sp. *pisi*)과 곤약 (*F. solani* f. sp. *radicicola*)에서 분리된 그룹과 인삼, 완두콩, 뽕나무 (*F. solani* f. sp. *pisi*)와 아카시아 (*F. solani* f. sp. *robiniae*)에서 분리된 그룹으로 약 5 (36 균주) : 1 (7 균주)의 비율로 나뉘어지는 것을 확인하였다.

유연관계 분석을 통하여 인삼에 뿌리썩음병을 일으키는 주요 병원균인 *I. radicicola*와 *F. solani*는 다양한 기주와 관련이 있는 것을 확인하였으며, 국내에도 다양한 기주에 이들 병원균이 존재할 것으로 생각되며, 추후 이들 기주탐색에 대한 연구가 필요할 것으로 보여진다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01439802)의 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

## REFERENCES

- Booth C. (1966). The genus *Cylindrocarpon*. Mycological Papers. International Mycological Institute. Kew, England. p.1-56.
- Cabral A, Groenewald JZ, Rego C, Oliveira H and Crous PW. (2012). *Cylindrocarpon* root rot: Multi-gene analysis reveals novel species within the *Ilyonectria radicicola* species complex. Mycological Progress. 11:655-688.
- Cho DH, Park KJ, Yu YH, Ohh SH and Lee HS. (1995). Root-rot development of 2-year old ginseng(*Panax ginseng* C. A. Meyer) caused by *Cylindrocarpon destructans*(Zinssm.) Scholten in the continuous cultivation field. Korean Journal of Ginseng Science. 19:175-180.
- Choi SY, Park KS, Kim KJ and Kim JC. (2004). Occurrence and control of black root rot of peony(*Paeonia lactiflora*) on continuous cropping. Research in Plant Disease. 10:268-271.
- Chung HS. (1972). Ginseng disease in Korea. Korea Pharmacognosy. 2:72-79.
- Doyle JJ. (1990). Isolation of plant DNA from fresh tissue. Focus. 12:13-15.
- Farh MEA, Kim YJ, Kim YJ and Yang DC. (2018). *Cylindrocarpon destructans/Ilyonectria radicicola*-species complex: Causative agent of ginseng root-rot disease and rusty symptoms. Journal of Ginseng Research. 42:9-15.
- Kang SW, Yeon BY, Hyeon GS, Bae YS, Lee SW and Seong NS. (2007). Changes of soil chemical properties and root injury ratio by progress years of post-harvest in continuous cropping soils of ginseng. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 15:157-161.
- Korean Society of Plant Pathology. (2009). List of plant diseases in Korea. The Korean Society of Plant Pathology. Seoul, Korea. p.91, 284, 288.
- Lee SG. (2004). *Fusarium* species associated with ginseng(*Panax ginseng*) and their role in the root-rot of ginseng plant. Research in Plant Disease. 10:248-259.
- Lee SW, Lee SH, Seo MW, Jang IB, Kwon RY and Heo HJ. (2020). Soil chemical properties, microbial community and ginseng root rot in suppressive and conducive soil related injury to continuously cropped ginseng. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 28:142-151.
- Matuo T and Miyazawa Y. (1984). Scientific name of *Cylindrocarpon* sp. causing root rot of ginseng. Japanese Journal of Phytopathology. 50:649-652.
- Matuo T and Snyder WC. (1972). Host virulence and the hypomyces stage of *Fusarium solani* f. sp. *pisi*. Phytopathology. 62:731-735.
- National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST). (2000). Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology. Rural Development Administration. Suwon, Korea. p.103-131.
- Punja ZK. (1997). Fungal pathogens of American ginseng(*Panax quinquefolius*) in British Columbia. Canadian Journal of Plant Pathology. 19:301-306.
- Rahman M and Punja ZK. (2005). Factors influencing development of root rot on ginseng caused by *Cylindrocarpon destructans*. Ecology and Epidemiology. 95:1381-1390.
- Reeleder RD and Brammall RA. (1994). Pathogenicity of *Pythium* species, *Cylindrocarpon destructans*, and *Rhizoctonia solani* to ginseng seedlings in Ontario. Canadian Journal of Plant Pathology 16:311-316.
- Reeleder RD, Roy R and Capell B. (2002). Seed and root rots of ginseng(*Panax quinquefolius* L) caused by *Cylindrocarpon destructans* and *Fusarium* spp. Journal of Ginseng Research. 26:151-158.
- Seo MW, Song JY, Kang KH, Park SY, Kim SI and Kim HG. (2017). Virulence assays and genetic reclassification to assess the pathogenicity of *Cylindrocarpon destructans* isolated from peony in ginseng. Korean Journal of Mycology. 45:132-138.
- Seo MW. (2017). Reclassification and disease occurrence factor in first planted field of Korean ginseng root rot pathogen



- population(*Cylindrocarpon destructans*) and practical disease diagnosis. Ph. D. Thesis. Chungnam National University. p.28-34.
- Seo MW, Han YK, Bae YS and Lee SH.** (2019). The disease severity and related pathogens caused by root rot on 6 years old ginseng cultivation fields. *Korean Journal of Plant Resources*. 32:144-152.
- Seo MW, Song JY, Kim SI, Oh SK and Kim HG.** (2018). Pathogenicity on ginseng and sequence assays of *Ilyonectria radicola* isolated from chestnut rhizosphere soils. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 26:302-307.
- Singleton LL, Mihail JD and Rush CM.** (1992). Methods for research on soilborne phytopathogenic fungi. APS Press. St. Paul, MN, USA. p.140-141.
- Suga H, Hasegawa T, Mitsui H, Kageyama K and Hyakumachi M.** (2000). Phylogenetic analysis of the phytopathogenic fungus *Fusarium solani* based on the rDNA-ITS region. *Mycological Research*. 104:1175-1183.
- Tamura K, Stecher G, Peterson D, Filipski A and Kumar S.** (2013). MEGA6: Molecular evolutionary genetics analysis version 6.0. *Molecular Biology and Evolution*. 30:2725-2729.
- White TJ, Bruns T, Lee S and Taylor J.** (1990). Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In Innis M *et al.* (ed.). PCR protocols, a guide to methods and applications. Academic Press. New York, NY, USA. p.315-322.
- Yang SS, Kim CH and Nan KW.** (2000). Effect of soil salinity on the root growth and *Fusarium* disease of tomato and cucumber. *Research in Plant Disease*. 6:71-75.
- Suga H, Hasegawa T, Mitsui H, Kageyama K and Hyakumachi**