

인삼 뿌리썩음병 발병에 미치는 토양전염성병원균과 토양환경요인

신지훈 · 윤병대 · 김혜진¹ · 김시주² · 정덕영^{1*}

한국생명공학연구원 생물산업공정센터, ¹충남대학교 농업생명과학대학 생물환경화학과, ²국립식량과학원

Soil Environment and Soil-borne Plant Pathogen Causing Root Rot Disease of Ginseng

Ji-Hoon Shin, Byung-Dae Yun, Hye-Jin Kim¹, Si-Ju, Kim², and Doug-Young Chung^{1*}

Bioindustrial Process Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology

¹Dept. of Bio-environmental Chemistry, College of Agriculture and Life Sciences,

Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²NICS, Suwon

Disease is the major problem in ginseng cultivation from seed stratification, soil preparation prior to planting, right through to drying of the roots. There are many soil-borne disease pathogen in rhizosphere soil environment, furthermore occurrence of diseases by a diverse group of fungi and related organisms are closely related to various soil condition. Observable symptoms for soil-borne diseases include wilting, leaf death and leaf fall, death of branches and limbs and in severe cases death of the whole plant. The fungus *Cylindrocarpon destructans* is the cause of root rot characterized by a decay of the true root system in many ginseng production areas in Korea. Some pathogens are generally confined to the juvenile roots whilst others are capable of attacking older parts of the root system. However, the relation between the soil environmental characteristics and ginseng root rot by soil-borne disease pathogen is not clearly identified in ginseng field. In this paper, we reviewed soil-borne plant pathogen causing root rot disease of ginseng with respect to soil environment.

Key words: Root rot, Soil environment, Plant pathogenic fungi, Ginseng

서 언

인삼 (*Panax ginseng*)은 오갈피나무과 (*Araliaceae*) 인삼속 (*Panax*)에 속하는 다년생 초본류로서, 1843년 소련의 Carl Anton Meyer에 의하여 명명된 식물이다. 고려인삼의 속명인 *Panax*는 그리스어 pan (모두)과 axos (의약)가 결합된 복합어로서 “만병통치약”이라는 뜻에서 유래되었다. 한 방에서는 그 뿌리를 인삼 (ginseng radix)이라 하여 약용으로 사용하고 있는 등 인삼은 의약적으로 매우 각광을 받고 있는 작물이다.

인삼의 식물학적 특성 중의 하나는 재배적지에 대한 선택성이 강하여 기후, 토양 등의 자연환경이 적당하지 않으면 인삼의 생육이 곤란하거나, 설령 생육이 가능하더라도 생산된 인삼의 형태, 품질 및 약효에서 현저한 차이를 나타낸다 (Lee et al., 2008). 우리나라는 인삼재배의 자연조건이 최적지로 인정되고 있다.

국내의 인삼경작현황을 파악해보면, 연도별로 재배농가의 수나 재배면적이 조금씩 증가하는 경향을 관찰할 수 있어 생산량이나 생산가액을 비롯한 수출액 등의 규모 또한 증가 중임을 확인할 수 있다 (Table 1).

인삼 재배에 있어서 가장 큰 문제는 연작장해로 인하여 재배예정지를 찾기가 어렵다는 것으로 예정지란 인삼을 심지 않은 땅을 지칭하는 말로서 과거에는 재작연한이 30년 이상이라는 말이 있었으며, 전매공사에서는 경험적으로 15년이라는 적설이 있었다. 그 후, 한국인삼연초연구소의 설립 이후에 병원균의 생리적인 면을 고려하여 7년이라는 주장이 있었으나, 현재까지 확실하게 입증된 바는 없다.

연작장해는 동일 토양에 동일 작물을 재배함으로써 작물의 생산량을 감소시키는 기지 현상을 말하는데 보다 광의의 해석으로 토양양분 소모설, 토양반응 이상설, 토양물리성 약화설, 독소설, 토양미생물설 등 5가지를 주원인으로 정의하고 장해요인을 구분 설명하고 있다. 인삼 경작시 발생하는 연작장해 중 가장 큰 병해는 뿌리의 동체부분에 나타나는 흑갈색의 뿌리썩음 증상으로 이에 관련된 주요 원인균으로는 *Fusarium solani*와 *Cylindrocarpon destructans*로 알

접수 : 2012. 3. 5 수리 : 2012. 5. 2

*연락처 : Phone: +82428216739

E-mail: dychung@cnu.ac.kr

Table 1. The cultivation situation of ginseng (Shin, 2010).

Year	Household	Area	Yield	Export
		ha	----- Mg -----	
2006	15,856	16,405	19,850	1,898
2007	19,850	17,831	21,818	1,937
2008	24,298	19,408	24,613	2,128

려져 있다 (Shim and Lee, 1991; Cho et al., 2003).

이후로 상기 병원균에 대한 관심이 높아지게 되었으며, 초작지의 구둑이 어려워지면서 재작을 가능하게 하기 위한 대책으로서의 뿌리썩음병 방제방법의 연구의 일환으로 뿌리썩음병 원인균의 기초적 생리, 생태 연구가 지속되어 왔다 (Lee and Park, 2004).

인삼은 다른 작물과는 특이하게 뿌리부분의 상품성이 중요시 되는 작물로서 4~5년에 이르는 재배기간 동안 건강한 뿌리를 가진 인삼을 재배하는 것이 가장 중요하나 뿌리썩음병을 방제하는 살균제의 수 또한 기타 병해들을 방제하기 위한 살균제의 수에 비해서 미비한 것이 현실이다. 인삼 뿌리썩음병에 의한 경제적 손실을 감소시키기 위해 경종적 측면에서의 답전 윤환의 논삼재배법이 실시되고 있고, 토양훈증제 처리와 기타 살균제에 의한 화학적 방제가 실시되고 있으나, 뿌리썩음병 원인균으로 밝혀진 식물 병원성 곰팡이들은 불리한 토양 조건 내에서는 후막포자를 형성하여 장기간 생존이 가능하므로 근본적 방제가 어렵다. 또한 토양훈증제의 사용은 토양 내 존재하는 유용미생물들까지 사멸시켜 토양생태계의 파괴를 초래함은 물론이고, 식품안전성 및 환경오염 등 많은 문제를 야기할 수 있다. 따라서 친환경적 인삼 뿌리썩음병의 방제대책으로 생물학적인 병 방제 전략이 탐구 (Kim et al, 1997; Shim and Lee, 1991; Chung and Kim, 1978; Chung et al., 2006; Chung et al., 1982)와 함께 일차적으로 중요한 것이 인삼 경작 토양에서의 뿌리썩음병 발생 조건 및 병원성 원인균의 밀도 또는 감염능력을 조사하고, 발병 가능성을 진단하여 건전한 토양 환경으로의 개선을 도모 하는 것이다.

따라서, 본 연구는 식물의 생육에 있어서 병을 일으키는 여러 종류의 식물 병원성균 중에서 토양을 통하여 전염되는 토양 전염성 병원균의 특성에 대하여 알아보고, 그 중 인삼의 뿌리 썩음병에 관여하는 식물병원성 원인균에 대하여 알아보는 한편, 물리적인 측면에서 뿌리썩음병이 발생하는 토양 환경에 대하여 연구함으로써, 토양관리와 인삼 뿌리썩음병 발병율과의 상관관계 연구를 통해 추후 토양 전염성 병원균의 제어를 통한 생물학적 방제의 방법과 적절한 토양관리를 통하여 인삼뿌리썩음병의 방제가가능성을 조사하여, 실제 인삼 농가의 친환경적인 재배를 통한 고품질의 청정인삼

을 생산할 수 있는 친환경적 농법으로서의 기술체계를 확립할 수 있는 기본자료를 제시하는데 그 목적이 있다.

본 론

인삼을 경작하는 데 있어서 발생하는 병해의 대부분은 식물병원성 곰팡이와 같은 토양전염성병원균 (Soil-borne Disease Pathogen)에 의해서 발병한다. 지금까지 연구 결과로 밝혀진 토양전염성병원균의 종류는 무수히 많으나 대부분 세균보다는 진균류에 속하는 것들이 다수를 차지하고 있다.

식물의 발아 단계에서부터 시작하여 영양생장과 생식생장의 전 기간에 걸쳐 발생하는 질병에는 가지과 작물이나 박과 작물에 자주 발생하는 역병과 균핵병을 비롯하여, 유묘 단계에서 빈번하게 발병하는 잘록병, 식물 뿌리부위의 썩음병, 잎 부위의 마름병 등 매우 다양한 종류의 병해들이 있는 것으로 밝혀졌다 (Lee, 2004). 이렇게 다양한 토양 전염성 병해는 *Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum*, *Phytophthora cactorum*, *Alternaria panax*, *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Fusarium solani*, *Cylindrocarpon destructans* 등의 진균류에 속하는 식물병원성 곰팡이에 의하여 감염되어 발생하며, 각 병해의 감염부위는 Table 2와 같다.

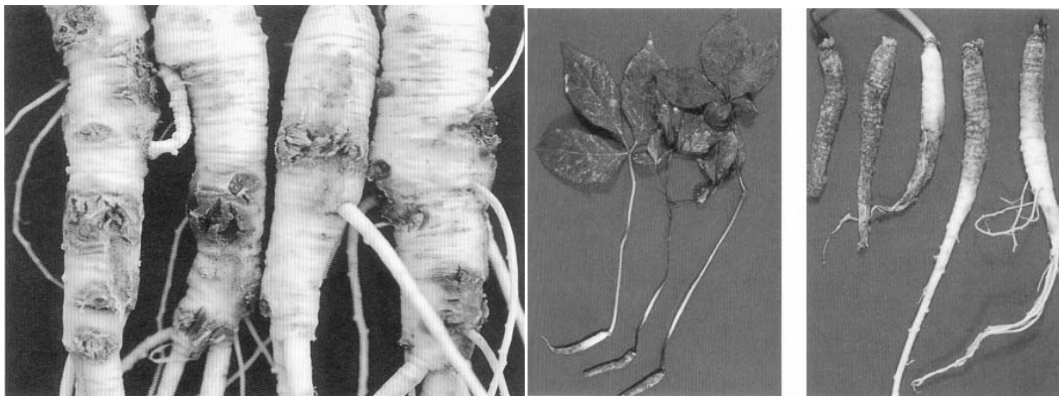
인삼 경작 시 발생하는 각종 병해로서는 모잘록병, 모썩음병, 역병, 탄저병, 갯빛곰팡이병, 균핵병, 점무늬병, 뿌리썩음병 등 식물병원성 곰팡이를 비롯한 여러 요인에 기인하는 여러 종류의 병해가 있으며, 재배시기나 지역에 따라서 발생하는 종류가 매우 다양한 것으로 알려져 있다 (Lee et al., 2006). 현재까지 토양전염성 병해의 방제는 다수의 농약을 사용하는 화학적 방제법에 의존하고 있는 실정이었으나, 근래에 들어서 식물병원성곰팡이에 대한 길항능력을 가지고 있는 유용 미생물들을 찾아내어 생물학적 방제를 유도하는 기술에 대한 연구가 진행되고 있다 (Jeon et al., 2010; Jung et al., 2007; Sang et al., 2006; Lee et al., 1999).

뿌리썩음병

인삼 뿌리썩음병의 병징은 여러 원인이 단독 또는 복합적으

Table 2. Soil-borne disease caused plant pathogenic fungi (Shin, 2010).

Disease	Soil-borne disease pathogen	occurrence site
Damping-off	<i>Rhizoctonia solani</i>	stem part on soil surface
Seedling rot	<i>Pythium ultimum</i>	stem part on soil surface
Late blight	<i>Phytophthora cactorum</i>	leaf, branch part of petiole
Root rot	<i>Fusarium solani</i> , <i>Cylindrocarpon destructans</i>	root
Anthraxnose	<i>Phytophthora cactorum</i>	fruit, leaf
Melanose	<i>Alternaria panax</i>	stem
Gray mold blight	<i>Botrytis cinerea</i>	stem on soil surface, leaf, fruit
Sclerotium rot	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	root, stem

**Fig. 1. Symptom of root rot disease in infected ginseng (Referred from <http://blog.daum.net/simnani-/10651427>).**

로 관여하므로, 그 증상이 매우 다양하며, 부패가 진행된 정도에 따라 흑변 또는 갈변현상이 일어난다 (Park et al., 2006). 초기에는 전형적인 병원성균에 의한 흑색 또는 갈색반점이 형성되나 시간이 경과함에 따라 부생성 선충 및 다른 종류의 균들이 2차적으로 감염되어서 뿌리표면이 물렁물렁해지는 등의 여러 가지 증상이 나타난다. 또한 부패하는 부위는 뿌리 끝에서부터 썩기 시작하여 올라가는 경우와, 뇌두에서부터 부패하여 내려가는 경우, 그리고 뿌리의 불특정 위치에서 부패가 시작되는 경우 등으로 다양하며, 어떠한 형태의 증상이라도 뇌두 부위나 뿌리 전체 부위로 병이 확산되기 전까지는 대체로 잎이나 줄기에 아무런 증상도 나타나지 않으므로 병의 감염여부 자체를 파악하기 힘든 단점이 있다.

뿌리썩음병은 묘삼을 비롯한 모든 년삼에서 발병하나 고년생일수록 발병율이 높다. 발병 시기를 살펴보면 늦은 봄부터 가을까지 성숙기 전반에 걸쳐 발생하며, 최초의 병징은 6월 중, 하순경에 잎에 나타나는 홍엽증상 혹은 잎이 배 모양으로 안쪽으로 오므라드는 증상을 보이다가 7월 하순이후에는 고사하게 되는 증상을 보인다. 전 해에 감염되어 뿌리의 상당부분이 침해된 경우에는 발아하지 않거나, 발아하더라도 줄기와 잎이 진한 녹색으로 변하여 고사하는 모습을 보이나, 뿌리 일부에서만 병이 진전될 경우에는 지표상에서는 아무런 증상을 나타내지 않는 경우도 있다.

발병초기에는 원형 또는 부정형의 흑갈색 병반이 형성되며, 세균은 모두 소실되거나 적색으로 변색되어 부패하고 병이 진전됨에 따라 점차 부패범위가 확산되어 주근까지 부패하게 되는 증상을 보인다 (Fig. 1).

초작지의 경우 저년근 (1~2년근)에서는 지상부 병징을 찾아 보기 힘들며 주로 4~5년 이상의 고년근에서는 잎끝부터 붉게 단풍이 들거나, 장마기 이후에 지상부가 일시에 시들어 마르는 증상이 발생한다. 초작지의 대부분은 5~6년근에서 병이 발병하는 것으로 알려져 있으며, 병 발생부위도 주로 뇌두 아래 부분의 주근 (몸통)으로서 채굴을 통하여야 정확한 병의 증상을 확인할 수 있다. 재작지의 경우 5월 출아 후 잎이 전개되지 못하고 그대로 시들어버리거나 잎이 서서히 붉게 단풍이 드는 증상으로 미루어 뿌리썩음병의 발병을 확인할 수 있다.

뿌리썩음병 주발병 병원

인삼뿌리썩음병의 주원인은 토양 내 존재하는 진균의 일종인 *C. destructans* 나 *F. solani* (Fig. 2) 등의 식물병원성곰팡이로 밝혀졌으며, 실제로 인삼의 유묘단계에서 뿌리썩음병의 진전에 따른 토양균의 특성을 살펴본 연구결과 (Park and Chung, 1997) 뿌리썩음병 발병토양에서 분리된 병원성 미생물의 동정결과 상기 두 종의 병원성 원인균의 분리빈도가 가장 높았다.

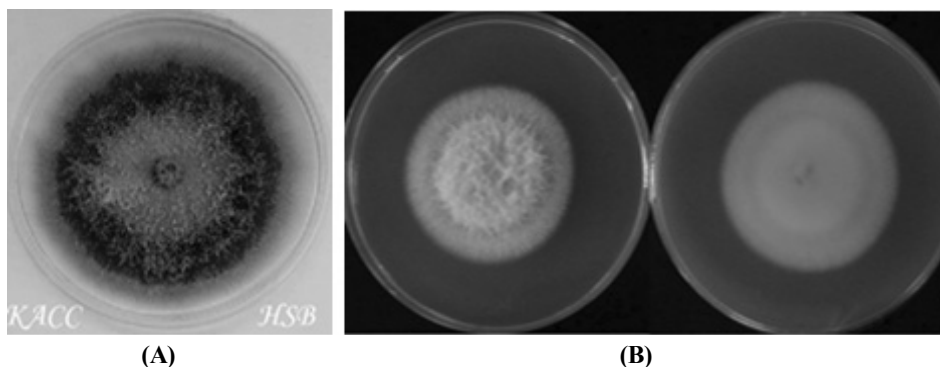


Fig. 2. Morphology of *C. destructans* (A) and *F. solani* (B).

(Referred from <http://www.genbank.go.kr/gp/resourceInfoSearch/microbe/microbe/search.view.jsp>)

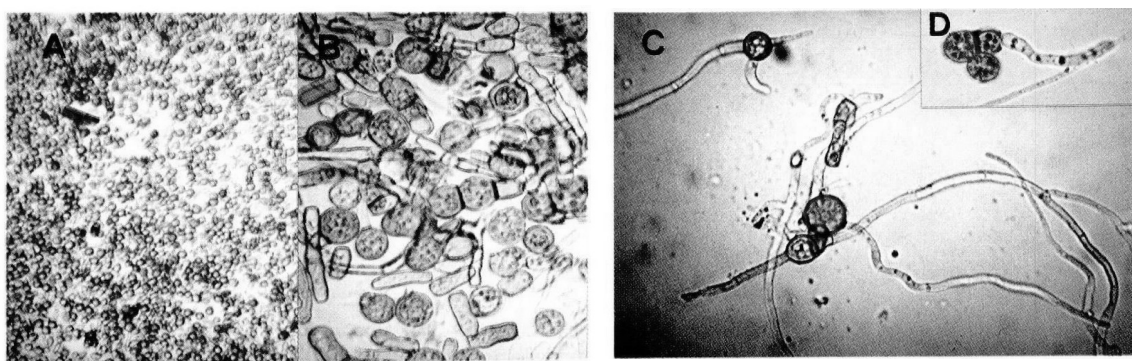


Fig. 3. The optical microscope pictures of chlamydo spores of *C. destructans* (Yoo et al, 1996).

이와 더불어 병 발생부위에 2차적으로 되어 병의 진전이나 피해를 증가시키는 다양한 종류의 부생성균과 선충 등이 관여하고 있다. 식물병원성 곰팡이의 경우 5~30°C의 비교적 넓은 범위의 생육가능온도를 가지며, 생육최적온도는 15~20°C이다. 토양 내에서 후막포자형태 (Fig. 3)로 존재하는데 발아조건이 불분명하여 토양 내 밀도진단이 어렵고, 수중에서 6년 이상의 생존력을 가지고 있어 완전한 제거가 힘든 특성을 가지고 있다. 균의 이동과 감염은 주로 배수를 통해 이루어지며, 특히 감염된 묘삼을 통해 쉽게 전파가 이루어지는 것으로 밝혀졌다. *F. solani*의 경우 병원성보다는 부생성이 강한 진균으로서 부패가 어느 정도 진행된 이병 인삼으로부터 쉽게 분리된다. 인삼 뿌리썩음병의 초기 발병온도가 저온인 점과 *F. solani*의 최적 생육온도가 *C. destructans* 보다 다소 높아서 저온에서의 성장속도가 *C. destructans*보다 느린 점으로 미루어 볼때, *C. destructans*에 의하여 1차 감염이 되어 뿌리썩음병이 발병 후, *F. solani*를 비롯한 타 균주들이 2차적으로 감염되어 피해를 증가시키는 것으로 판단된다.

인삼에서 병을 일으키는 식물병원성곰팡이를 제외한 병원성세균은 현재까지 그리 많이 보고되어 있지 않은 상황이며, 2004년 보고된 *Serratia liquefaciens* 세균 정도가 특이적으로 작용하는 병원성세균으로 알려져 있다 (Kim et al., 2004).

발병토양환경

일반적으로 뿌리썩음병의 발병원인으로는 과습한 토양 내 수분이나 토양 중의 염류농도 등과 같은 환경요인과도 밀접한 관계가 있다고 보고되었다 (Yang et al., 1997). 병원성 원인균의 밀도 분포에 따라 가장 큰 영향을 받겠지만, 미부숙 퇴비를 다량 사용한 토양이나, 해충, 선충 등의 방제를 소홀히 한 토양조건에서는 병원성 원인균의 밀도는 낮은 경우에도, 여타 요인들에 의해 인삼 뿌리에 상처를 유발, 감염의 용이성을 높여줘서 병원균의 확산이 빠르게 이루어질 수 있다.

인삼 예정지 관리와 미관리의 차이에 따른 연작지 수확 경과년수에 따른 토양의 화학성을 조사했던 연구결과 (Kang et al., 2007)에 따르면, 예정지 미관리 토양의 수확경과년 수별 시험전후 토양의 pH, OM, P₂O₅ 등은 큰 차이를 보이지 않았으나, 시험 후 EC와 NO₃-N함량은 높게 나타났다. 한편 예정지 관리 토양도 미관리 토양과 마찬가지로 화학성의 차이를 보이지 않았으나, 시험 후 EC와 NO₃-N 함량은 높게 나타나 같은 경향을 보였다 (Table 3). 토양 중 EC와 NO₃-N의 함량은 정의상관계를 보이고 있어 인삼의 적변과 뿌리썩음병에 관여하는 주요 인자로 작용하는 것으로 보고 있다.

Table 3. Chemical properties of soil for preparing and immature for Ginseng field. (Kang et al., 2007)

Category	Treatment		Soil Texture	pH	EC	OM	P ₂ O ₅	NO ₃ -N	Exch. Cation		
	Growth Period	Sampling							K	Ca	Mg
Nonmanagement (’04)	Yr			(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		cmol _c kg ⁻¹		
	3~4	Before	Loam	5.2	0.30	18.3	26	13.7	0.27	3.30	0.97
		After	Loam	5.0	0.94	18.0	29	52.0	0.36	3.20	1.00
	7~8	Before	Sandy	5.7	0.33	18.7	130	12.0	0.15	3.07	0.73
		After	Loam	7.4	0.85	18.7	131	57.7	0.21	3.40	1.00
	10 yr <	Before	Loam	5.6	0.40	19.0	32	13.3	0.22	3.73	1.07
		After	Loam	5.5	0.51	18.0	37	24.0	0.27	3.90	1.00
	Management (’05)	3~4 yr	Before	Loam	5.2	0.20	6.9	28	13.0	0.19	2.3
After			Loam	5.2	0.55	8.2	22	30.0	0.29	2.5	0.7
7~8 yr		Before	Sandy	6.0	0.16	7.6	232	12.0	0.36	2.5	0.5
		After	Loam	5.8	0.51	7.6	204	62.0	0.29	2.6	0.5
10 yr <		Before	Laom	5.4	0.19	10.0	32	13.0	0.39	2.7	0.8
		After	Laom	5.2	0.41	7.8	31	33.0	0.26	2.7	0.8
standard		-	5~6	0.5 <	15~25	70~200	50 >	0.20~0.50	2.0~4.5	1.0~2.0	

Table 4. Ginseng growth and soil physical properties according to bed height in 4 years old ginseng field (Lee et al., 1991).

Treatment	Yield	Missing plant rate	Rusty root rate	Root diameter	Porosity	Soil hardness	Soil Moisture
	kg m ⁻²						
15 cm	0.98 ^a (93) [†]	36.6	13.3	21.7	59.5 ^a	12.5 ^c	19.5 ^e
25 cm	1.05 ^a (100)	30.0	6.6	22.3	65.4 ^c	10.3 ^a	17.9 ^e
35 cm	1.52 ^b (145)	26.6	0.0	22.8	68.0 ^e	8.6 ^a	16.0 ^a
F-test	*	NS	NS	NS	**	*	**

†() : %, *0.05, **0.01, Duncan’s multiflur range test, same letters means no significant difference.

Table 5. Ginseng growth and soil physical properties according to bed height in 3 years old ginseng field (Lee et al., 1991).

Treatment	Missing plant rate	Rusty root rate	Stem Length	Stem diameter	Soil hardness	Porosity
			cm	cm		%
15 cm	36.5	44.8	26.0	3.4	12.0	58.6
25 cm	20.7	42.4	27.0	3.6	9.2	61.6
35 cm	19.5	16.6	28.2	3.8	7.7	62.3

Table 6. Yield and root growth, soil physical properties according to bed height in 6 years old ginseng field (Lee et al., 1991).

Division	Missing plant rate	Rusty root rate	Root		Bed ht.	Soil hardness	Porosity	Yield
			length	diameter				
			cm	cm			%	kg m ⁻²
High	46.5	24.6	6.4	31.7	27.8	9.7	65.5	2.44
Low	61.2	51.9	6.4	29.9	21.9	9.2	63.4	1.59
T-value	3.97**	2.55*	0.17 ^{ns}	1.61 ^{ns}	7.84**	0.90 ^{ns}	3.38**	3.84**

*0.05, **0.01.

Park (1995)이 인삼 재배 예정지 관리의 중요성을 조사하기 위한 토양의 이화학적 특성 조사나 3~6년근 인삼의 두둑 높이에 따른 인삼 적변율의 관계에 (Lee et al., 1991) 따르면 두둑이 낮거나 배수가 불량한 인삼포장에서는 적변삼의 발생률이 높은 것으로 나타난 연구 결과 (Table 4, 5, 6)도 있어 토양 내 수분조건과도 밀접한 관계가 있을 것이라고 판단된다. 이와 같은 주장은 을 확인했던 연구결과에서도 확인할 수 있다.

토양 내 토양전염성병원균 억제 기작과 미생물

Mark (2002)의 연구에 따르면 토양전염성병원균을 억제할 수 있는 토양은 생물적 요소와 비생물적 요인들이 복합적으로 작용하였을 때 만들어 질 수 있는데, 가장 많이 알려진 기작은 미생물에 의한 질병 억제율의 증가이다. 대부분의 토양이 질병 억제력을 증가시키는 미생물과 유사한 물질을 소유하고 있으며, 특유의 질병 억제 기작을 갖고 있게 된다. 이와 같은 생물적 요소의 증가로 인하여 생기는 토양전염성병원균의 억제기작에는 한계가 존재하고 따라서 비생물적 요소들도 중요 인자로 작용하게 되는데, 토양의 pH를 포함한 유기물과 점토의 함량등과 같은 화학적이고 생리적인 요소들이 토양전염성병원균에 대한 억제력을 직, 간접적으로 조절할 수 있다고 하였으며, 실제로 *Fusarium wilt suppressive soil*이나 *Rhizoctonia suppressive soil*과 같은 모델을 밝혀냈다. 이와 같은 억제토양에 대한 연구는 토양전염성병원균의 생물학적 방제 도구로서 광범위하게 이용될 수 있으며, 최근 여러 과학자들에 의해 진행되고 있는 토양 내 특정 병원균에 대하여 억제 능력을 갖는 미생물의 연구 (James and Becker, 2007) 결과로 밝혀진 여러 유용한 미생물의 이용과 더불어서 이용 가치가 높다고 생각된다 (Fravel et al., 1998; Jung et al., 2005; Park et al., 2005; Kwon et al., 2004).

인삼을 경작하는 데 있어서 여러 가지 병해에 따른 문제점들이 발생하며 이중 연작장애에 따른 뿌리썩음병의 발병은 생산량의 감소와 함께 농가소득의 감소로 연결된다. 따라서 이와 같은 문제를 해결하고자 하는 연구들이 꾸준히 진행되어 왔으며 그 결과 인삼의 연작장애에 주요 원인으로 *C. destructans*와 *F. solani*와 같은 식물병원성 진균류가 작용할 뿐만 아니라 토양수분함량이나 EC, pH 등과 같은 토양 환경조건 또한 많은 영향을 미친다고 밝혀졌다. 이처럼 복합적 요인에 의해 발생하는 뿌리썩음병을 방제하기 위해서 기존 농가에서는 수십 년간 농약에 의한 화학적 방제법에만 의존해 왔으나, 기존의 화학적 방제를 대신할 수 있는 미생물을 이용한 생물학적 방제 가능성에 대한 연구들이 각

광을 받고 있다. 실제로 토양 내에서 분리해낸 *Bacillus sp.*와 같은 세균류를 이용한 식물병방제 사례들이 꾸준히 보고되고 있으며, 그러한 미생물들이 분비하는 대사물질에 관한 연구도 지속적으로 진행되고 있다. 이러한 길항성 대사산물의 작용성에는 토양 내 양분 또는 토양환경조건이 영향을 미치는 것으로 판단되므로, 환경적 측면에서 접근하여 경작 토양의 이화학적이나 토양 내 수분함량, 산성도 등을 조사하여 건전한 토양조건으로의 개선을 통한 병 저항성을 유도시키는 방법에 관한 연구사례들도 점차 늘어나고 있다. 따라서 토양수준에서의 예정지 관리등과 같은 토양환경 개선에 따른 뿌리썩음병 방제와 동시에 식물병원성 진균류에 대하여 항진균 능력을 나타내는 유용한 길항미생물들을 선발해냄으로써 이들의 최적배양조건을 탐색하여 경작토양의 근권에 접종, 우점할 수 있도록 생육환경을 조성해주면 뿌리썩음병의 방제를 도모할 수 있을 것이라고 판단된다. 이러한 연구들을 기반으로 하여 앞으로 식물병원성 원인균의 밀도와 실제 발병률의 상관관계, 이에 길항하는 미생물들의 대사물질, 무기적 토양환경요인과의 연관성 등의 토양과 미생물의 상호작용에 따른 병해의 발생과 제어에 관한 연구가 수행되면, 효율적인 토양관리와 병해 제어로 인해 농가에서의 실제적 생산량을 높여줌으로써 농가의 소득증대에 기여하는 한편, 농약사용의 감소로 인한 친환경 농업으로의 전환에 있어 소중한 연구가 될 것으로서 판단된다.

인 용 문 헌

- Bae, Y.S., K.S. Park, and C.H. Kim. 2004. *Bacillus sp.* as biocontrol agent of root rot and phytothora blight on ginseng. *Plant pathol. J.* 20:63-66.
- Borneman, J. and J.O. Becker. 2007. Identifying microorganisms involved in specific pathogen suppression in soil. *Annu. Rev. Phytopathol.* 45:153-172.
- Cho, D.H., Y.H. Yu, and Y.H. Kim. 2003. Morphological characteristics of chlamydospores of *Cylindrocarpon destructans* causing root-rot of *Panax ginseng*. *J. Ginseng Res.* 27:195-201.
- Chung, K.C., C.B. Kim, D.K. Kim, and B.J. Kim. 2006. Isolation of antagonistic bacteria against major disease in *Panax Ginseng* C.A. meyer. *Korean J. Medicinal crop sci.* 14:202-205.
- Chung, H.S. and C.H. Kim. 1978. Biological control of ginseng root rot with soil amendments. *Proc, 2nd Int. Ginseng symposium, Korea Ginseng Res. Inst., Seoul. Korea.* p.67.
- Chung, Y.R., H.S. Chung, and S.H. Oh. 1982. Identification of streptomycetes species antagonistic to *usarium solani* causing Ginseng root rot. *Kor. J. microbial.* 20:73.
- Fravel, D.R., W.J. Connik, Jr, and J.A. Lewis, 1998.

- Formulation of microbial biopesticides. In Berges, H.D. (de.) Formulation of microorganisms to control plant disease. Kluwer Academic Publishers. p.187.
- Jeon, Y.H., S.G. Kim, I. Hwang, and Y.H. Kim. 2010. Effects of initial inoculation density of *paenibacillus polymyxa* on colony formation and starch-hydrolytic activity in relation to root rot in ginseng. J. Appl. Microbiol. 109: 461-470.
- Jung, H.K., J.C. Ryoo, and S.D. Kim. 2005. A multi-microbial biofungicides for the biological control against several important plant pathogen fungi. J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem. 48:40-47.
- Jung, H.K., J.R. Kim, B.K. Kim, T.S. Yu, and S.D. Kim. 2005. Selection and antagonistic mechanism of *Bacillus thuringiensis* BK4 against *Fusarium* wilt disease of Tomato. Kor. J. Microbiol. Biotechnol. 33:194-199.
- Jung, H.I., K.K. Kim, H.C. Park, S.M. Lee, Y.G. Kim, H.S. Lim, C.Y. Lee, and H.J. Son. 2007. Isolation and characteristics of bacteria showing biocontrol and biofertilizing activities. J. Life Sci. 17:1682-1688.
- Kang, S.W., B.Y. Yeon, G.S. Hyun, Y.S. Bae, S.W. Lee, and N.S. Sung. 2007. Changes of soil chemical properties and root injury ratio by progress years of post-harvest in continuous cropping soils of ginseng. Korean J. Medicinal Crop Sci. 15:157-161.
- Kim, D.G., S.G. Lee, Y.K. Lee, J.P. Lee, and K.C. Jung. 2004. Root rot of *Panax Ginseng* caused by *Serratia liquefaciens*. Res. Plant Dis. 10:8-12.
- Kim, S.I., S.J. Yu, and H.G. Kim. 1997. Selection of antagonistic bacteria for biological control of ginseng diseases. Plant Pathol. J. 13:342.
- Kwon, D.H., J.H. Choi, H.K. Chung, J.H. Lim, G.J. Ju, and S.D. Kim. 2004. Selection and identification of auxin-producing plant growth promoting rhizobacteria having phytopathogen antagonistic activity. J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem. 47:17-21.
- Lee, B.D. and H. Park, 2004. Control of effect of *Bacillus subtilis* B-4228 on root rot of *Panax ginseng*. J. Ginseng. Res. 28:67-70.
- Lee, I.H., C.S. Park, G.J. Song, and S.G. Hong. 1991. Effect of bed height on ginseng growth and soil physical properties. Korean J. Ginseng Sci. 15:197-199.
- Lee, J.M., H.S. Lim, T.H. Chang, and S.D. Kim, 1999. Isolation of siderophore-producing *Pseudomonas fluorescens* GL-7 and its biocontrol activity against root-rot disease. Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol. 27:427-432.
- Lee, S.W. 2004. *Fusarium* species associated with ginseng and their role in the root rot of ginseng plant. J. plant pathol. 10:248-259.
- Lee, S.W., B.Y. Yeon, C.G. Kim, Y.S. Shin, D.Y. Hyun, S.W. Kang, and S.W. Cha. 2008. Effect of variety and shading material on growth characteristics and ginsenoside contents of 2-year-old ginseng *Panax ginseng* C. A. Meyer) grown in imperfectly drained paddy soil. Korean J. Medicinal Crop Sci. 16:434-438.
- Lee, Y.S., S.K. Kim, Y.S. Bae, and Y.C. Cho, 2006. Occurrence and control of major disease on ginseng in the northern region of Gyeonggi province. Korean J. Medicinal Crop Sci. 14:78-79.
- Mark, M. 2002. Mechanisms of natural soil suppressiveness to soilborne disease. Antonie van Leeuwenhoek. 81:557-564
- Park, G.J. and H.S. Chung. 1997. Characteristics of soil groups based on the development of root rot of ginseng seedlings. Korean J. Plant Pathol. 13:46-56.
- Park, G.J. 1995. Factors affecting root rot of ginseng and development of the disease forecasting model. Ph. D. Thesis, Seoul National University. Seoul, Korea.
- Park, H.W., T.G. Lim, C.H. Choi, and J.E. Choi. 2006. Factors and cause of rusty-ginseng occurrence. Korean J. Crop Sci. 51:396-400.
- Park, S.M., S.H. Han, and T.S. Yu. 2005. Culture condition and antifungal activity of *Bacillus licheniformis* KMU-3 against crop pathogenic fungi. Kor. J. Microbiol. Biotechnol. 33:112-115.
- Sang, M.K., M.H. Chiang, E.S. Yi, K.W. Park, and K.D. Kim. 2006. Biocontrol of Korean ginseng root rot caused by *Phytophthora cactorum* using antagonistic bacterial strains ISE13 and KJ1R5. Plant Pathol. J. 22:103-106.
- Shin, J.H. 2010. The antagonisms of *Bacillus subtilis* S-5 against *Fusarium solani* of ginseng root rot pathogen. Master thesis, Hannam University, Daejeon, Korea.
- Shim, J.W. and M.W. Lee. 1991. Identification of streptomycetes species antagonistic to *Fusarium solani* or *Cylindrocarpon destructans* causing ginseng root rots. Kor. J. Mycol. 19:66.
- Yang, D.C., Y.H. Kim, K.Y. Yun, S.S. Lee, J.N. Kwon, and H.M. Kang. 1997. Red-colored phenomena of ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer) root and soil environment. Kor. J. Ginseng Sci. 21:91-97.
- Yoo, S.J., J.W. Cho, J.S. Jo, and S.H. Yu. 1996. Effect of physical and chemical factors on the formation and germination of chlamydospore of *Cylindrocarpon destructans* causing root rot of *Panax ginseng*. Korean J. Plant Pathol. 12:422-427.