

윤작물 재배에 의한 인삼 뿌리썩음병 발생 억제 효과

이성우[†] · 이승호 · 박경훈 · Jin Mei Lan · 장인복 · 김기홍

농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부

Inhibition Effect on Root Rot Disease of *Panax ginseng* by Crop Cultivation in Soil Occurring Replant Failure

Sung Woo Lee[†], Seung Ho Lee, Kyung Hoon Park, Jin Mei Lan, In Bok Jang and Ki Hong Kim

Ginseng Research Division, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 369-873, Korea.

ABSTRACT : To study the effect of crop rotation on the control of ginseng root rot, growth characteristics and root rot ratio of 2-year-old ginseng was investigated after the crops of 18 species were cultured for one year in soil contaminated by the pathogen of root rot. *Fusarium solani* and *Cylindrocarpon destructans* were detected by 53.2% and 37.7%, respectively, from infected root of 4-year-old ginseng cultivated in soil occurring the injury by continuous cropping. Content of NO₃, Na, and P₂O₅ were distinctly changed, while content of pH, Ca, and Mg were slightly changed when whole plant of crops cultured for one year were buried in the ground. All of EC, NO₃, P₂O₅, and K were distinctly increased in soil cultured sudangrass, peanut, soybean, sunnhemp, and pepper. All of EC, NO₃, P₂O₅, and K among inorganic component showed negative effect on the growth of ginseng when they were excessively applied on soil. The growth of ginseng was promoted in soil cultivated perilla, sweet potato, sudangrass, and welsh onion, while suppressed in Hwanggi (*Astragalus mongholicus*), Deodeok (*Codonopsis lanceolata*) Doraji (*Platycodon grandiflorum*), Gamcho (*Glycyrrhiza uralensis*), Soybean. All of chicory, lettuce, radish, sunnhemp, and welsh onion had effective on the inhibition of ginseng root rot, while legume such as soybean, Hwanggi, Gamcho, peanut promoted the incidence of root rot. Though there were no significant correlation, NO₃ showed positive correlation, and Na showed negative correlation with the incidence of root rot.

Key Words : Crop Rotation, *Cylindrocarpon destructans*, *Panax ginseng*, Root Rot

서 언

인삼의 연속재배는 뿌리썩음병에 의한 결주 증가, 토양 이화학성의 악화, 토양미생물상의 단순화, 타감물질에 의한 자가독성, 선충에 의한 피해 등과 같은 요인에 의해 발생하는데 (Lee *et al.*, 1989), 이중에서 *Cylindrocarpon destructans*에 의한 뿌리썩음병 (Kang *et al.*, 2007; Rahman and Punja, 2005)과 인삼 뿌리에서 분비되는 페놀화합물과 같은 독성물질에 의한 병원균의 증가 및 인삼의 생육억제 (Sun *et al.*, 2013)가 연속재배 발생의 중요한 원인이 된다.

그 외 양분의 과잉 (염류농도, 인산, 질소 등)과 미량원소의 결핍은 연속재배 발생의 집적적인 원인이기 보다는 연속재배

를 증가시키는 요인으로 작용하는데, 염류농도, 인산, 질소 함량이 높으면 양분의 흡수가 저해되며, 뿌리가 갈변되고 상처가 유발되어 병원균의 침입이 쉬워진다 (Uhm *et al.*, 2001; Yang *et al.*, 2000). 또한 토양미생물상의 단순화도 뿌리썩음병 발생을 촉진하여 연속재배를 증가시키는 요인으로 작용하는데, 초작지 토양에서는 방선균 (actinomycetes)의 밀도가 높고 재작지에서는 총세균과 진균의 밀도가 증가되며, *Fusarium* spp. 총 진균의 비율도 초작지보다 재작지에서 더 많은 경향을 보인다 (Shin *et al.*, 1985).

그동안 인삼의 연속재배를 경감하기 위해 훈증제를 이용한 토양훈증, 4~5년간의 벼 재배에 의한 담수처리, 작토층을 깎아내는 절토, 50 cm 정도의 복토, 표토와 심토를 뒤집는 심토

[†]Corresponding author: (Phone) +82-43-781-5541 (E-mail) leesw@korea.kr

Received 2015 March 20 / 1st Revised 2015 May 15 / 2nd Revised 2015 May 28 / 3rd Revised 2015 June 1 / Accepted 2015 June 6

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.

반전, 10년 이상의 윤작물 재배 등의 방법을 이용해 왔다. 토양훈증 방법은 뿌리썩음병원균을 죽일 수 있는 가장 확실한 방법이나 토양수분이 적으면 가스 발생이 적어지고 점질토양에서는 흠덩이 발생으로 완전한 살균이 어렵다 (Ahn *et al.*, 1982). 4-5년간 벼 재배는 병원균의 밀도를 낮출 수 있어 효과적이거나 4년근 이상의 포장에서는 병 발생이 많아지는 단점이 있으며, 논토양은 배수 불량이나 벼 재배시 사용한 화학비료 등으로 생리장해 발생이 많아 재배면적 확대에는 한계가 있다 (Lee *et al.*, 2013). 절토, 복토 및 심토반전은 소규모 면적에서 활용할 수 있으나 대규모 면적에는 처리비용 부담과 작업 부주의로 인한 재오염 문제가 발생할 수 있다.

인삼뿌리썩음병원균 (*C. destructans*)은 주로 고려인삼, 미국삼, 일본삼을 비롯하여 알팔파, 스위트 클로버, 연, 벼풀, 당근, 시크라멘, 떡갈나무, 감자, 전나무, 모란, 사과나무류, 배나무류 등과 같은 수목이나 초본성 식물에서 뿌리를 부패 시키는데 (Booth, 1966), 인삼의 뿌리썩음병은 병을 일으키는 기주범위가 넓고 인삼과 같은 기주식물이 없어도 토양 속에서 10년 이상 생존할 수 있으므로 효과적인 방제가 어렵다 (Kang *et al.*, 2007).

실제 토양 전염성 병해를 방제하기 위해서는 토양훈증을 하거나 화학농약을 관주 처리해야 하는데, 이로 인해 환경오염이나 농약잔류의 위험이 크므로 윤작 등과 같은 경종적 방법이나 길항미생물과 같은 생물학적 방법을 이용하여 방제하는 것이 보다 친환경적이라고 할 수 있다.

윤작에 의해 식물병해를 억제하려는 시도가 있었는데, *Pythium ultimum*의 유주자낭 발아와 균사생장 억제에는 목단, 자리공, 대황의 추출물이 효과적이었으며, 이중 가장 효과가 큰 목단 추출물은 참깨의 발병에는 억제효과가 컸으나 오이에는 발병 억제효과가 없었다 (Park *et al.*, 1990). 호박을 심기 전 토양에 반건조된 네마장황을 투입하였을 때 식물에 기생하지 않고 독립생활을 하는 선충의 수와 선충에 길항성이 있는 곰팡이의 수가 증가되었으며, 더불어 호박의 줄기와 뿌리의 생육이 증가되었다 (Wang *et al.*, 2004). 무 식물체에 들어있는 배당체 (glucosinolates)는 세포가 파괴될 때 효소에 의해 isothiocyanate 등으로 분해되어 항균 활성을 나타내는데, 무 재배는 콩과식물 뿌리에서 콩의 생육에 이익이 되지 않는 작은 뿌리혹박테리아 혹은 밀도를 감소시키고 식균성 선충의 밀도를 감소시켜 콩의 생육을 촉진했다 (Pearse *et al.*, 2014). Basil, cumin 및 rose geranium의 정유 성분은 *Fusarium* spp.에 의해 일어나는 cumin의 뿌리썩음병을 억제했다 (Hashem *et al.*, 2010). 한편, 인삼의 뿌리에서 분비되는 진세노사이드가 뿌리끝썩음병원균 (*Pythium irregulare*)의 균사생장을 촉진했으며 (Yousef and Bernards, 2006), 토양전염성 병원균인 역병 (*Phytophthora cactorum*)과 *Pythium irregulare*의 균사 생장을 증가시켰다 (Nicol *et al.*, 2003).

그런데 인삼의 뿌리썩음병을 유발하여 연작장해의 주원인이 되는 *C. destructans*와 식물과의 관계에 대한 연구결과는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 인삼 연작장해가 발생한 재작지 토양에서 18종의 윤작물을 재배한 다음 인삼의 뿌리썩음병 발생율을 조사하여 윤작물 재배에 따른 인삼의 뿌리썩음병 발생에 미치는 효과를 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 재작지 토양시료 채취 및 포트 제작

충북 충주시 살미면에서 연작장해 발생이 심한 농가포장을 선정하고 2013년 5월 상순에 토양시료를 채취하여 본 시험에 사용하였다. 선정된 농가포장은 10년 주기로 총 3회 인삼을 재배한 포장으로 토양시료 채취 당시 농가포장에는 4년생 인삼이 재배되고 있었는데, 결주율이 75%로 매우 높아 연작장해 발생이 심하였다. 토양시료를 이용하여 시험포트를 제작하였는데, 포트는 직경 25 cm, 높이 30 cm의 원형 플라스틱 포트를 이용하였다.

2. 재작지에서 인삼뿌리썩음병원균의 분리 동정

인삼 재작지의 뿌리썩음 병원균의 오염 정도를 조사하기 위해 2013년 5월 상순경 토양시료 채취 농가포장에서 생육중인 4년생 인삼을 채취하여 병원균의 감염 여부를 조사하였다. 채집한 인삼을 멸균증류수로 깨끗이 씻은 후 이병 조직을 잘라 1% sodium hypochlorite에서 2분간 표면 살균하였다. 표면 살균한 이병 조직은 멸균수로 3회 세척하고 멸균된 여과지 (Whatman No. 1)로 물기를 제거한 후 streptomycin (600 µg/ml)이 첨가된 감자한천배지 (potato dextrose agar, PDA)에 치상하여 25°C 항온기에서 5일간 배양하였다. 치상한 이병 조직에서 자라난 균사의 선단 부분을 떼어서 PDA 배지에 재배양하였다. 분리된 균은 water agar, V8 agar 배지 등을 이용해 단포자 분리를 하여 생리 및 형태가 동일한 균주를 선별하였다.

분리된 균주의 분자생물학적 동정을 위해 complete media agar 배지에서 7일간 배양한 후 CTAB buffer (Proctor *et al.*, 1995)를 이용해 genomic DNA를 추출하였다. rDNA의 증폭을 위해 ITS1 (5'-TTCGTAGGTGAACCTGCGG-3'), ITS4 (5'-AACATGCGTGAGATTGTAAGT-3') primer set을 사용하였고 전기영동으로 확인 후 염기서열을 분석하였다. 모든 순수 분리된 균은 15% 글리세롤 용액에 현탁하여 -70°C 초저온 냉동고에 보관하였다.

3. 윤작물의 선정 및 재배관리

시험포트에 재배한 윤작물은 수단그라스 (*Sorghum sudanense* Staff), 고구마 (*Ipomoea batatas* L.), 땅콩

Table 1. Inorganic component of commercial compost used in diseased soil for crop cultivation.

C/N	T-N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	Mg (%)
12.5	2.32	3.28	2.56	13.18	1.81

(*Arachis hypogaea* L.), 콩 (*Glycine max* L.), 들깨 (*Perilla frutescens* var. *japonica* Hara), 황기 (*Astragalus mongholicus* Bunge), 더덕 (*Codonopsis lanceolata* Siebold), 도라지 (*Platycodon grandiflorum* A. DC.), 감초 (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch), 네마장황 (*Crotalaria juncea* L.), 적겨자 (*Brassica juncea* L.), 청갯 (*Brassica juncea* Czern), 고추 (*Capsicum annuum* L.), 상추 (*Lactuca sativa* L.), 옥수수 (*Zea mays* L.), 파 (*Allium fistulosum* L.), 열무 (*Raphanus sativus* L.), 치커리 (*Cichorium intybus* L.) 등 18종 이었다.

인삼 재작지 토양으로 제작한 시험포트를 비닐하우스 (높이 3.5 m, 폭 4 m)로 옮긴 다음 윤작물별 표준재배법에 따라 5월 중순부터 파종 또는 육묘한 묘를 이식하여 2013년 10월까지 재배하였으며, 시험포트는 6반복이었다. 재작지 토양에서 뿌리썩음병 발생을 증가시키고 윤작물의 생육을 촉진하기 위해 무기성분 함량이 높은 가축분퇴비 (돈분 30%, 톱밥 40%, 수피 30%)를 추비하였는데, 6월 하순경 가축분퇴비를 모든 윤작물에 포트당 1 l 씩 추비로 사용하였으며, 퇴비의 무기성분 함량은 Table 1과 같다. 모든 윤작물은 개화기 때 예취하여 3 cm 미만으로 잘게 자른 다음 토양에 다시 섞어 주었다.

4. 시험토양 분석

음긴한 토양을 2 mm 체로 쳐서 분석시료로 사용하였다. pH와 EC는 초자전극법으로 분석하였다. 질산태질소는 2M KCl에 침출여과 후 Auto analyzer (CFA, Norderstedt, Germany)로 분석하였고 유효인산은 Lancaster법 (NIAS, 2000), 치환성 양이온은 1-N NH₄OAc (pH 7.0)로 침출 여과 후 ICP-OES (Integra XMP, GBC, Braeside, Australia)를 이용하여 분석하였다. 유기물 분석은 토양 0.25 g을 취해 900°C에서 태워 Automatic Carbon/Nitrogen Analyzer (Vario MAX CN, Hanau, Germany)로 분석하였다.

5. 인삼 생육조사 및 통계분석

2년생 인삼의 지상부 생육은 7월 하순에 조사하였고 지하부 생육 및 뿌리썩음병 이병주율은 10월 하순에 조사하였다. 통계처리는 SAS (Statistical Analysis System 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 통계 프로그램을 이용하여 처리간의 평균값을 5% 유의수준에서 최소유의차검정 (Least Significant Difference) 방법으로 비교 분석하였다.

Table 2. Soil borne pathogen detected from 4-year-old ginseng in soil occurring replant failure.

Rate of missing plant (%)	Species		
	<i>Fusarium solani</i> (%)	<i>Cylindrocarpon destructans</i> (%)	Other (%)
75.0	53.2	37.7	10.1

*Investigated date: July 25, 2012.

결과 및 고찰

1. 인삼 재작지에서 뿌리썩음병원균의 분리 동정

10년 단위로 윤작을 하면서 총 3번 인삼을 재배한 농가포장에서 5월 상순경 뿌리썩음병 발생 정도를 조사한 결과 (Table 2) 결주율이 75%로 매우 높아 연작장해 발생이 심하였다. 지하부를 관찰해 보면 뿌리 끝이 썩어 들어가고 동체에도 흑갈색 반점과 괴사 증상이 나타나고 있었다.

재배농가의 의견에 의하면 인삼 수확 후 10년이 경과되어 재작이 가능할 것으로 판단하고 수단그라스와 호밀을 차례로 재배하여 2년간 예정지를 관리한 후 재작을 시도하였는데, 3년생부터 연작장해 증상이 나타나기 시작하여 지상부 생육이 억제되고 조기에 낙엽이 지는 증상을 보였다고 하였다.

뿌리썩음병에 이병된 인삼에서 병원균을 분리 동정한 결과 (Table 2) *Fusarium solani* 53.2%, *Cylindrocarpon destructans* 37.7%, 기타 동정할 수 없는 곰팡이 10.1%가 감염되어 있었다. 인삼의 연작장해를 일으키는 주원인이 되는 뿌리썩음병 병원균은 *C. destructans* 이나 대부분 이병된 뿌리에서 *F. solani*도 같이 검출되는데 (Lee et al., 2014a, b; Lee, 2004; Punja, 1997), 병원성이 강한 *C. destructans*가 먼저 감염된 후 *F. solani*가 감염되어 뿌리썩음병 증상이 더 악화되며 (Lee, 2004; Punja, 1997), *Fusarium spp.*에 감염되면 인삼 표피에 적변이 생긴다고 하였다 (Lee et al., 2014a).

토양에도 인삼의 뿌리썩음병을 유발하는 주요 병원균인 *Cylindrocarpon destructans*의 균사, 분생포자, 후막포자 등이 높은 밀도로 존재할 것으로 예상되나 토양에서 이 병원균의 밀도를 측정할 수 있는 기술이 확립되어 있지 않아 토양에서의 병원균 밀도는 측정하지 못하였다.

2. 윤작물 재배 후 토양화학성의 변화

인삼 재작지 토양에서 윤작물 재배 후 토양에 혼입하여 토양화학성의 변화를 조사한 결과는 Table 3과 같다. 토양화학성분 중에서 질산태질소, 나트륨, 인산의 함량은 변이계수가 매우 커 윤작물 재배에 따라 큰 변화를 보였으나 토양산도, 칼슘, 마그네슘은 변이 계수가 작아 함량의 변화가 크지 않

Table 3. Changes of soil chemical properties by crop cultivation in soil occurring replant failure.

Cultured crops	pH (1 : 5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	NO ₃ (mg/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. Cation (cmol ⁺ /kg)			
						K	Ca	Mg	Na
Control	6.91	0.85	46.8	62.5	227.8	0.89	10.14	2.49	0.15
Sudangrass	6.97	1.55	100.7	134.3	670.9	1.63	14.08	4.01	0.24
Sweet potato	6.95	1.35	71.6	115.1	264.8	1.33	12.43	2.64	0.24
Peanut	6.78	1.60	74.7	171.3	426.6	1.23	12.16	2.99	0.13
Soybean	6.78	1.77	83.8	184.9	559.9	1.73	13.19	3.27	0.16
Perilla	7.08	1.19	84.9	92.7	417.1	1.51	14.13	3.43	0.27
<i>Astragalus</i>	6.85	1.23	59.5	114.2	462.6	1.38	11.39	2.94	0.19
<i>Codonopsis</i>	7.02	0.94	59.2	76.0	286.6	1.22	10.31	2.60	0.19
<i>Platycodon</i>	6.81	1.10	52.0	102.5	306.6	1.21	10.86	2.48	0.14
<i>Glycyrrhiza</i>	7.02	1.07	63.0	95.6	295.5	1.17	11.32	2.71	0.17
Sunnhemp	6.86	1.75	62.0	186.9	482.0	1.61	12.58	3.05	0.15
<i>Brassica*</i>	6.93	0.83	44.3	67.2	330.9	1.19	9.39	2.20	0.13
<i>Brassica**</i>	7.02	0.92	55.2	71.0	500.2	1.30	10.45	2.44	0.13
Pepper	7.06	1.51	57.9	151.7	615.6	1.40	11.62	2.99	0.16
Lettuce	6.83	1.13	59.5	79.0	332.7	1.06	10.88	2.63	0.22
Maize	7.09	1.22	55.7	94.9	461.9	1.06	11.18	2.55	0.16
Welsh onion	6.86	1.29	61.8	110.3	495.1	1.21	10.75	2.60	0.13
Radish	6.95	0.91	53.4	62.2	347.9	1.00	9.93	2.45	0.14
Chicory	7.20	1.19	66.8	72.7	750.4	1.81	11.93	3.32	0.36
CV (%)	1.67	23.77	22.02	37.77	33.26	19.12	11.55	15.57	33.52
LSD (5%)	ns	0.03	5.99	3.98	14.72	0.05	0.45	0.14	0.01

Brassica juncea* L. (Jeokgyeoja), *Brassica juncea* Czern (Cheonggat).

†Investigated date of soil samples: November 20, 2014 (after harvest of 2-year-old ginseng).

았다. 토양 pH는 처리간에 유의성이 없었으며, 뿌리썩음병에 유의적인 효과를 보인 네마장황, 상추, 파, 열무, 치커리의 경우 EC, OM, NO₃, P₂O₅, K, Ca는 무처리와 비교하여 모두 유의성이 인정되었으나 Mg은 네마장황과 치커리에서만 유의성이 인정되었고 Na은 상추와 파에서만 유의성이 인정되었다.

토양산도는 윤작물 재배에 따라 변이폭이 작았는데, 땅콩과 콩을 제외하고 대체로 무처리와 비슷하거나 약간 증가되는 특징을 보였다. 염류농도는 윤작물 재배에 따라 변이폭이 상당히 컸는데, 적겨자에서만 감소를 보였고 나머지 윤작물에서는 모두 뚜렷이 증가되었으며, 특히 콩, 네마장황, 땅콩, 수단그라스, 고추에서 증가폭이 컸다. 일반적으로 윤작물을 재배하면 토양의 염류농도는 감소하는데 (Lee *et al.*, 1989), 본 실험에서는 식물체를 다시 토양에 혼입하여 환원시켰기 때문에 염류농도가 증가된 것으로 생각된다. 유기물 함량도 적겨자를 제외하고 모든 윤작물에서 증가되었는데, 수단그라스, 들깨, 콩 등에서 증가폭이 매우 컸다.

질산태질소 함량은 윤작물 재배에 따라 변이폭이 가장 컸는데, 모든 윤작물에서 증가되었다. 특히 네마장황, 콩, 땅콩 등 두과작물에서 크게 증가되었는데, 이는 식물체의 질소함량이 높기 때문으로 생각된다 (Seo and Lee, 2005). 인산 함량은 모

든 윤작물에서 크게 증가하였는데, 특히 치커리, 수단그라스, 고추, 콩 등에서 크게 증가되었다. 보통 가축분퇴비는 질소와 인산 함량이 높으며, 특히 인산은 토양입자에 쉽게 결합, 축적되어 인삼의 생리장해를 유발하는데 (Jang *et al.*, 2013), 본 실험에서도 윤작물의 재배를 위해 사용한 가축분퇴비와 윤작물을 토양에 혼입한 것이 인산의 함량을 크게 증가시킨 것으로 생각된다.

치환성 양이온 중에서 칼륨 함량은 윤작물 재배에 따라 크게 증가되었는데, 치커리, 콩, 수단그라스, 네마장황 등에서 증가폭이 매우 컸다. 칼륨은 가축분퇴비에 많이 함유되어 있으며, 칼륨 함량이 높으면 K/Mg의 균형이 깨져 인삼에서 황증 발생의 원인이 되므로 사용량 등에 주의가 필요하다 (Lee *et al.*, 2013). 칼슘 함량은 적겨자, 무를 제외하고 나머지 윤작물 모두에서 증가되었는데, 수단그라스, 들깨, 콩 등에서 증가폭이 컸으나 칼륨보다 그 증가폭이 크지 않았다. 마그네슘 함량은 적겨자, 청갓, 무, 도라지에서는 약간 감소되고 나머지 윤작물은 모두 증가되었는데, 수단그라스, 들깨, 치커리 등에서 증가폭이 컸다. 나트륨 함량은 청갓, 적겨자, 땅콩, 파에서 약간 감소되고 도라지, 네마장황, 무에서는 큰 변화가 없었으며, 나머지 윤작물은 모두 증가되었는데, 특히 치커리, 들깨, 수단

Table 4. Aerial growth characteristics of 2-year-old ginseng by crop cultivation in soil occurring replant failure.

Cultured crops	Plant height (cm)	Stem length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Root weight (g/plant)	Survival ratio of aerial part (%)
Control	16.7	4.5	5.7	3.1	1.05	11.1
Sudangrass	17.8	5.2	6.3	3.3	1.17	43.3
Sweet potato	18.5	6.0	5.9	3.1	1.11	45.6
Peanut	16.8	4.1	6.2	3.3	0.89	16.7
Soybean	16.0	3.8	5.9	3.0	0.94	15.6
Perilla	19.2	6.3	6.2	3.3	0.96	45.6
Astragalus	14.0	3.2	5.1	2.9	0.93	6.7
Codonopsis	15.7	4.4	5.5	3.0	0.80	40.6
Platycodon	15.8	4.5	5.6	2.8	0.64	25.6
Glycyrrhiza	15.3	3.1	5.8	3.6	0.54	2.2
Sunnhemp	17.8	5.0	5.8	3.2	0.99	42.2
Brassica*	17.6	5.2	6.1	3.0	1.04	26.7
Brassica**	14.7	3.1	5.8	3.1	0.99	16.1
Pepper	15.8	4.1	6.1	3.2	0.98	18.9
Lettuce	16.3	4.2	6.0	3.2	0.90	11.1
Maize	17.9	4.5	6.2	3.1	0.93	35.6
Welsh onion	18.1	4.7	6.5	3.5	0.92	10.0
Radish	17.1	5.9	5.5	2.9	0.89	15.6
Chicory	17.2	5.1	5.6	3.0	0.75	13.3
CV (%)	8.07	20.26	5.66	6.72	16.55	61.97
LSD (5%)	2.34	1.18	0.81	0.44	0.21	17.01

Brassica juncea* L. (Jeokgyeoja), *Brassica juncea* Czern (Cheonggat).

†Investigation date of aerial part: July 30, 2014. Root weight: October 20, 2014.

그라스, 고구마 등에서 증가폭이 컸다.

위 결과를 요약해 보면 윤작물 재배로 인한 가축분퇴비의 시용과 윤작물의 토양 혼입으로 토양의 무기성분 함량은 증가되었는데, 과용시 인삼 생육에 부정적인 영향을 미치는 EC, NO₃, P₂O₅, K 함량은 수단그라스, 땅콩, 콩, 네마장황, 고추 재배시 크게 증가되었으므로 예정지 관리시 윤작물 선정에 주의가 필요할 것으로 생각된다.

3. 윤작물 재배에 따른 2년생 인삼의 생육특성

인삼 재작지 토양에서 윤작물 1년 재배 후 묘삼을 이식하여 2년생 인삼의 생육특성을 조사한 결과 (Table 4) 지상부 생존율, 경장, 주당근중은 윤작물 재배에 따라 변이폭이 컸으나 초장, 엽장, 엽폭은 상대적으로 변이폭이 작았다. 뿌리썩음병에 유의적인 효과를 보인 네마장황, 상추, 파, 열무, 치커리의 경우 초장, 엽장, 엽폭은 무처리와 비교하여 모두 유의성이 인정되지 않았는데, 경장은 열무에서, 근중은 치커리에서, 지상부 생존율은 네마장황에서만 무처리와 비교하여 유의성이 인정되었다.

초장은 윤작물 재배에 따라 증가되거나 감소되었는데, 들깨,

고구마, 파, 옥수수, 수단그라스, 네마장황, 적겨자에서 증가되었고 황기, 청갓, 더덕, 도라지에서 감소되었다. 경장은 들깨, 고구마, 무, 적겨자, 치커리에서 증가되었고 감초, 청갓, 황기, 콩에서 감소되었다. 엽장과 엽폭은 파, 감초, 들깨, 콩, 수단그라스에서 증가하였고 황기, 도덕, 도라지, 무에서 감소하였다. 지상부 생존율은 들깨, 고구마, 수단그라스, 네마장황, 옥수수에서 뚜렷이 증가하였고 감초, 황기, 파에서 감소되었다. 주당 근중은 수단그라스와 고구마에서 증가되었고 나머지 윤작물에서는 모두 감소되었는데, 특히 감초, 도라지, 치커리, 더덕에서 뚜렷이 감소하였다. 인삼에서 지상부 생존율이 높으면 광합성을 할 수 있는 잎을 오랫동안 유지할 수 있어 근중비대에 유리한데 (Kim *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2013), 본 실험에서 수단그라스와 고구마 처리를 제외하고 들깨, 네마장황, 더덕, 옥수수처럼 인삼의 지상부 생존율이 높았던 처리에서도 주당 근중이 증가되지 않았다. 이와 같은 원인은 근중의 증가가 지상부 생존율보다 토양의 무기성분 과잉 (Hyun *et al.*, 2009) 과 생육억제물질의 존재 (Sun *et al.*, 2013; Seo and Lee, 1993; Lee *et al.*, 2012)에 더 큰 영향을 받았기 때문인 것으로 생각된다.

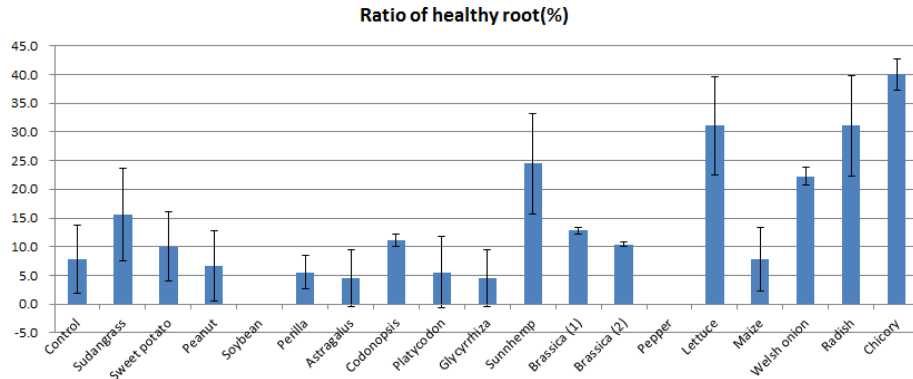


Fig. 1. Inhibition effect on root rot disease of 2-year-old ginseng by crop cultivation in soil occurring replant failure. Brassica 1; *Brassica juncea* L. (Jeokgyeoja), Brassica 2; *Brassica juncea* Czern (Cheonggat).

위 결과를 종합해 보면 재작지에서 윤작물 재배에 따라 들깨, 고구마, 수단그라스, 파 등은 인삼 생육을 촉진하였고 황기, 더덕, 도라지, 감초, 콩 등은 인삼 생육을 억제하였는데, 향후 이와 같은 작물의 재배에 따른 토양이화학성의 변화와 생육억제물질 (alleochemicals)에 대한 자세한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

4. 윤작물 재배에 따른 인삼의 뿌리썩음병 억제 효과

인삼 재작지 토양에서 윤작물 1년 재배 후 묘삼을 이식하여 2년생 인삼의 뿌리썩음병 발생 정도를 조사한 결과 (Fig. 1) 뿌리썩음병에 감염되지 않은 건전주 비율은 무처리가 7.8%로 낮은 반면 치커리 40.0%, 상추 31.1%, 열무 31.1%, 네마장황 24.4%, 파 22.2% 로 높아 인삼의 뿌리썩음병 발생 억제에 효과가 있었다.

치커리는 국화과 식물로 항균작용 (Street *et al.*, 2014)과 살충작용이 있으며 (Mansour *et al.*, 2014), 뿌리와 잎에 페놀 화합물이 각각 0.104%, 0.044% 함유되어 있고 치커리의 수용

성 추출물은 산목새, 알팔파, 토끼풀의 발아와 유묘 생장을 촉진하였다 (Wang *et al.*, 2012). 상추는 국화과 식물로 폴리페놀 성분이 많이 함유되어 항산화, 항균작용이 높으며 (Liorach *et al.*, 2008), 상추 추출액은 무사마귀병의 휴면포자 발아를 뚜렷이 억제하였다 (Kim *et al.*, 2000). 무에 함유되어 있는 glucosinolates라는 배당체는 뿌리를 갈면 isothiocyanates라는 휘발성 물질로 변화되어 항균, 살충작용을 하는데, *Rhizoctonia*에 의한 사과나무의 뿌리썩음병을 억제했다 (Cohen *et al.*, 2005). 반 건조된 네마장황 식물체를 토양에 투입하면 고구마 뿌리혹선충의 밀도가 낮아지고 호박의 줄기와 뿌리의 생육이 증가되었다 (Wang *et al.*, 2004).

무처리보다 낮은 건전주 비율을 보인 윤작물은 고추, 콩, 황기, 감초, 들깨, 도라지, 땅콩 등으로 나타나 이와 같은 윤작물은 인삼의 뿌리썩음병 발생을 촉진한다고 볼 수 있다. 특히 콩, 황기, 감초, 땅콩 등과 같은 두과작물의 경우 인삼의 뿌리썩음병 발생이 촉진되었는데, Oh 등 (2012)도 두과작물인 헤어리벤티는 화분과 작물인 호밀에 비해 식물병원균을 억제하

Table 5. Correlation coefficients between soil chemical properties and the ratio of healthy root in soil occurring replant failure.

	RHR [↓]	pH	EC	OM	NO ₃	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na
RHR	1.00									
pH	0.173	1.00								
EC	-0.144	-0.303	1.00							
OM	-0.092	0.010	0.644**	1.00						
NO ₃	-0.316	-0.447*	0.955**	0.508*	1.00					
P ₂ O ₅	0.221	0.313	0.536*	0.478*	0.381	1.00				
K	0.079	0.169	0.645**	0.655**	0.532*	0.760**	1.00			
Ca	-0.164	0.046	0.747**	0.914**	0.620**	0.486*	0.729**	1.00		
Mg	0.010	0.141	0.659**	0.888**	0.511*	0.690**	0.777**	0.984**	1.00	
Na	0.393	0.536*	0.072	0.468*	-0.166	0.398	0.550*	0.492*	0.574**	1.00

*, **Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.
[↓]RHR; Ratio of Healthy Root.

는 세균과 방선균의 밀도가 낮고 병 발생을 촉진하는 진균의 밀도가 높다고 하였다. 또한 배지에 질소원 첨가는 인삼 뿌리썩음병원균 (*Cylindrocarpon destructans*)의 균사 성장 및 분생포자 형성을 촉진했다는 보고 (Cho *et al.*, 1997)와 같이 두과식물체에 많이 함유되어 있는 질소성분이 뿌리썩음병 발생에 부정적 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 고구마, 더덕, 적겨자, 청갯, 옥수수 등은 건전주 비율이 무처리보다 약간 높거나 비슷하여 인삼의 뿌리썩음병 발생과 관계가 적은 것으로 보인다.

5. 토양 화학성과 인삼 뿌리썩음병 발생율과의 상관관계

윤작물 재배후 토양화학성과 인삼 뿌리썩음병 발생율과의 상관관계를 분석해 보면 (Table 5) 인삼의 건전주 비율은 질산태질소와 부의 상관을 보였고 나트륨 함량과 정의 상관을 보여 대체로 질산태질소 함량이 많으면 건전주 비율이 낮아져 뿌리썩음병 발생이 많아지고, 나트륨 함량이 많으면 건전주 비율은 높아져 뿌리썩음병 발생이 적어지는 특징을 보였으나 모두 유의성은 인정되지 않았다. Cho 등 (1997)는 질소원의 첨가는 인삼 뿌리썩음병 생장을 촉진한다고 하였고 Lee 등 (1985)도 질산태질소는 인삼의 결주율을 증가시켰다고 하여 본 실험과 비슷한 결과를 보고하였다. 일반적으로 나트륨 함량이 높아지면 토양염류농도가 상승하여 인삼뿌리썩음병 발생이 증가할 것으로 예상되었으나 본 실험에서는 정반대의 결과를 보였으므로 금후 나트륨 함량과 인삼 뿌리썩음병 발생과의 관계에 대해서는 더 자세한 검토가 요망된다. 토양의 이화학성 중에서 질산태질소는 칼륨과 고도로 유의한 정의 상관을 보였고 나트륨은 마그네슘과 고도로 유의한 정의 상관을 보였다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청에서 주관하는 인삼 연작장해 경감을 위한 기반기술 개발 및 실용화 연구 과제(과제번호: PJ00857602)의 연구비 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

Ahn YJ, Kim HJ, Ohh SH and Choi SY. (1982). Effect of soil fumigation on growth, root rot, and red discoloration of *Panax ginseng* in replanted soils. Korean Journal of Ginseng Science. 6:46-55.
 Booth CD. (1966). The genus *Cylindrocarpon*. Mycology paper No. 104:1-56.
 Cho DH, Yu YH, Oh SH and Lee HS. (1997). Effect of carbon and nitrogen source on the mycelial growth and sporulation of *Cylindrocarpon destructans* causing root rot of *Panax ginseng*. Research in Plant Disease. 13:30-36.

Cohen MF, Yamasaki H and Mazzola M. (2005). *Brassica napus* seed meal soil amendment modifies microbial community structure, nitric oxide production and incidence of *Rhizoctonia* root rot. Soil Biology and Biochemistry. 37:1215-1227.
 Hashem M, Moharam AM, Zaied AA and Saleh FEM. (2010). Efficacy of essential oil in the control of cumin root rot disease caused by *Fusarium* spp. Crop Protection. 29:1111-1117.
 Hyun DY, Yeon BY, Lee SW, Kang SW, Hyun GS, Kim YC, Lee KW and Kim SM. (2009). Analysis of occurrence type of physiological disorder to soil chemical components in ginseng cultivated field. Korean Journal of Crop Science. 17:439-444.
 Jang IB, Hyun DY, Lee SW, Kim YC, Kim JW, Park KC, Bang KH and Kim KH. (2013). Analysis of growth characteristics and physiological disorder of Korean ginseng affected by application of manure in paddy-converted field. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 21:380-387.
 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.
 Kim CH, Cho WD and Kim HM. (2000). Some environment factors affecting germination and survival spores of *Plasmodiophora brassicae*. Korean Journal of Pesticide Science. 4:66-71.
 Kim DW, Kim JY, You DH, Kim CS, Kim HJ, Park JS, Kim JM, Choi DC and Oh NK. (2014). Effect of cultivation using plastic-film house on yield and quality of ginseng in paddy field. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 22:210-216.
 Lee JC, Kim HJ and Oh SH. (1989). Review of studies on ginseng replanting problems. Korean Society of Cop Science(Disaster physiology). 1:115-120.
 Lee IH, Park CS, Yu YH and Yuk CS. (1985). Studies on the soil management in ginseng preplanting soil (II). Relationship between the soil characteristics of 2-year-old ginseng field soil and the ratio of missing plant. Korean Journal of Ginseng Science. 9:36-41.
 Lee IH, Yuk CS and Park H. (1989). Yield and missing plant rate of *Panax ginseng* affected by the annual change in physico-chemical properties of ginseng cultivated soil. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer. 22:18-24.
 Lee JH, Byeon JH, Lee JH, Park CG, Park CB and Cho JH. (2012). Alleopathic effect of Ganghwa mugwort(*Artemisia* spp.) on seed germination and seedling growth of plants. Korean Journal of Organic Agriculture. 20:589-605.
 Lee JS, Han KS, Lee SC, Soh JW and Kim DW. (2014a). Environmental factors on the development of root rot on ginseng caused by *Cylindrocarpon destructans*. Research in Plant Disease. 20:87-94.
 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, Park KH, Jang IB, Jin Mei Lan and Kim KH. (2014b). Effect of irrigation of sulfur solution before sowing on growth and root rot disease of seedling in ginseng nursery. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 22:391-397.

- Lee SW, Park KC, Lee SH, Park JM, Jang IB and Kim KH.** (2013). Soil chemical property and leaf mineral nutrient of ginseng cultivated in paddy field occurring leaf discoloration. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 21:289-295.
- Liorach R, Martinez-Sanchez A, Tomas-Barberan FA, Gil MI and Ferreres F.** (2008). Characterization of polyphenols and antioxidant properties of five lettuce varieties and escarole. *Food Chemistry* 108:1028-1038.
- Mansour SA, Ibrahim RM and El-Gengaihi SE.** (2014). Insecticidal activity of chicory(*Cichorium intybus* L.) extracts against two dipterous insect-disease vectors: Mosquito and housefly. *Industrial Crops and Products*. 54:192-202.
- National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST).** (2000). Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology. RDA. Suwon, Korea. p.89-93.
- Nicol RW, Yousef FL, Traquair JA and Bernards AM.** (2003). Ginsenosides stimulate the growth of soilborne pathogens of American ginseng. *Phytochemistry*. 64:257-264.
- Oh YJ, Kang SB, Song YI, Choi JH and Paik WK.** (2012). Effects of cover plants on soil microbial community in organic apple orchards. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 45:822-828.
- Pearse IS, Bastow JL and Tsang A.** (2014). Radish introduction affects soil biota and has a positive impact on the growth of a native plant. *Oecologia*. 174:471-478
- Proctor RH., Hohn TM and McCormick SP.** (1995) Reduced virulence of *Gibberella zeae* caused by disruption of a trichothecene toxin biosynthetic gene. *Molecular Plant-Microbe Interaction*. 8:593-601.
- Punja ZK.** (1997). Fungal pathogens of American ginseng(*Panax quinquefolium*) 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*. *Phytopathology*. 95:1381-1390.
- Seo JH and Lee HJ.** (2005). Effect of hairy vetch green manure on nitrogen enrichment in soil and corn plant. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 38:211-217.
- Seo JS and Lee SK.** (1993). Competitive effects of allelochemicals on the monoculture and cross-cropping culture system of plants. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 26:259-264.
- Shin HS, Lee HH and Lee MW.** (1985). Studies on the distribution of fungal and *Fusarium* spp. propagules in ginseng field soil. *Mycobiology*. 14:109-119.
- Street AR, Sidana J and Prinsloo G.** (2014). *Cichorium intybus*: Traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and toxicology. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2013:1-13.
- Sun J, Fu J, Zhou R and Yan X.** (2013). Antibiotic effects of four exogenous phenolic acids on soilborne pathogen, *Cylindrocarpon destructans*. *Applied Mechanics and Materials*. 295-298:2294-2299.
- Uhm MJ, Han SG, Kim KC, Moon YH and Choi JS.** (2001). Properties of plastic film house soils and physiological disorder of eggplant. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 34:192-198.
- Wang Q, Xie B, Wu C, Chen G, Wang Z, Cui J, Hu T and Wiatrak P.** (2012). Models analyses for allelopathic effects of chicory at equivalent coupling of nitrogen supply and pH level on *F. arundinacea*, *T. repens* and *M. sativa*. *Plos One*. 7:1-10.
- Wang KH, Mcsorley R and Gallaher RN.** (2004). Effect of *Crotalaria juncea* amendment on squash infected with *Meloidogyne incognita*. *Journal of Nematology*. 36:290-296.
- Yang SS, Kim CH and Nam KW.** (2000). Effect of soil salinity on the root growth and *Fusarium* disease of tomato and cucumber. *Research in Plant Disease*. 6:71-75.
- Yousef FL and Bernards AM.** (2006). *In vitro* metabolism of ginsenosides by the ginseng root pathogen *Pythium irregulare*. *Phytochemistry*. 67:1740-1749.