



인삼 연속토양에서 관수 및 인삼뿌리 잔사물이 토양 미생물상 및 뿌리썩음병 발생에 미치는 영향

이성우[†] · 이승호 · 서문원 · 박경훈 · 장인복

농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부

Effects of Irrigation and Ginseng Root Residue on Root Rot Disease of 2-Years-Old Ginseng and Soil Microbial Community in the Continuous Cropping Soil of Ginseng

Sung Woo Lee[†], Seung Ho Lee, Moon Won Seo, Kyung Hoon Park and In Bok Jang

Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

ABSTRACT

Background: Some phenolics detected in the soil may inhibit the seed germination and seedling growth of ginseng (*Panax ginseng*). This study investigated the effect of irrigation and ginseng root residue addition on the soil microbial community and root rot disease in 2-year-old ginseng.

Methods and Results: Each 20 l pot was filled with soil infected with ginseng root rot pathogens, and irrigated daily with 2 l of water for one month. After the irrigation treatment, ginseng fine root powder was mixed with the irrigated soil at a rate of 20 g per pot. In descending order, NO₃⁻, electric conductivity (EC), exchangeable Na (Ex. Na) and K (Ex. K) decreased due to irrigation. In descending order, NO₃⁻, EC, Ex. K, and available P₂O₅ increased with the addition of ginseng powder to the soil. The abundance of *Trichoderma crassum* decreased with irrigation, but increased again with the incorporation of ginseng powder. The abundance of *Haematonectria haematococca* increased with irrigation, but decreased with the incorporation of ginseng powder. The abundance of *Cylindrocarpon* spp. and *Fusarium* spp., which cause ginseng root rot, increased with the incorporation of ginseng powder. The abundance of *Arthrobacter oryzae* and *Streptomyces lavendulae* increased with irrigation. The abundance of *Streptomyces lavendulae* decreased, and that of *Arthrobacter* spp. increased, with the incorporation of ginseng powder. Aerial growth of ginseng was promoted by irrigation, and ginseng root rot increased with the incorporation of ginseng powder.

Conclusions: Ginseng root residues in the soil affected soil nutrients and microorganisms, and promoted ginseng root rot, but did not affect the aerial growth of ginseng.

Key Words: *Panax ginseng* C. A. Meyer, Ginseng Root Residue, Root Rot, Soil Microbial Community, Soil Nutrients

서 언

인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer)은 한 곳에서 다년간 재배되기 때문에 고년생으로 갈수록 토양병원균에 의한 뿌리썩음병 발생이 많아져 6년근 인삼의 수확주수 비율은 50 - 70% 내외로 낮으며, 다시 재작할 경우 2년생부터 뿌리썩음병 발생이 급증하여 연속피해가 심한 편이다. 연속장해를 회피하기 위해 초작지를 찾아 원거리 이동재배를 하는데, 이로 인해

임차료, 교통비, 제반 관리비용 등 경영비 증가의 원인이 되고 있다.

인삼의 연속장해는 주로 *Cylindrocarpon destructans*와 *Fusarium solani* 등과 같은 토양전염성 병원균에 의한 뿌리썩음병 때문에 발생하는데 (Rahman and Punja, 2005; Kang et al., 2007), 이러한 병원균은 후막포자를 만들어 토양에서 10년 이상 생존하기 때문에 인삼을 수확한 후 10년 이상이 경과되어야 비로소 재작이 가능하다 (Kang et al., 2007).

[†]Corresponding author: (Phone) +82-43-871-5605 (E-mail) leesw@korea.kr

Received 2018 July 2 / 1st Revised 2018 July 26 / 2nd Revised 2018 August 20 / 3rd Revised 2018 September 2 / Accepted 2018 September 4

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.

그동안 인삼의 연작장해를 극복하고자 여러 시도가 있었는데, 벼를 4-5년 재배하면 토양전염성 병원균의 밀도를 낮출 수 있고 유기산 등 생육 억제물질 등을 씻어내는 효과가 있어 대부분 4년근 재배농가에서 널리 쓰이고 있으나 4년근 이상에서는 병원균의 밀도가 크게 증가하여 병 발생이 많아지는 단점이 있다 (Jo *et al.*, 1996).

인삼의 재배기간이 증가할수록 토양 세균의 다양성이 감소하여 연작장해 발생의 원인이 되는데, 이는 오래된 뿌리가 더 적은 량의 유기물을 배출하여 세균의 생육에 필요한 무기양분이 고갈되기 때문이며, pH가 높고 유효인산과 칼슘 함량이 많은 토양일수록 세균의 다양성이 증가된다고 하였다 (Nguyen *et al.*, 2016). 작약의 재배년수 증가에 따라 세균과 방선균의 밀도는 1-3년까지 증가하다가 감소하였고 사상균 밀도는 재배년수에 따라 크게 증가되었다 (Park *et al.*, 2011).

미국인삼 재배토양으로부터 사포닌을 분리한 결과 토양 중에 0.02% - 0.098% (평균 0.06%) 존재하는데, 조사포닌을 함유한 배지에 병원균을 배양하였을 때 인삼의 뿌리썩음병을 일으키는 *Phytophthora cactorum*과 *Pythium irregulare*의 균총 무게가 증가되어 진세노사이드들은 근권에서 활물기생성 곰팡이들의 생장에 대하여 타감작용을 유도하는 자극제 (allelopathic stimulators)로서 작용하였다 (Nicol *et al.*, 2003).

타감작용 (allelopathy)은 식물의 뿌리에서 분비되는 화학물질이 직간접적으로 다른 작물에 유해하거나 유익한 작용을 하는 것인데, 옥수수, 밀, 사탕수수, 귀리 등이 재배된 토양에서 생육저해 물질인 ferulic acid, *p*-coumaric acid 등이 분리되었으며, 이러한 타감물질을 제거를 위해 교호재배를 하거나 관수 또는 토양배수를 양호하게 하여 이들 물질을 제거해야 한다고 하였다 (Suh and Lee, 1993).

인삼 조사포닌의 농도가 증가될수록 *F. solani*의 생장은 억제되었으나 인삼즙액의 농도가 증가할수록 *F. solani*의 생장은 증가되었으며, 인삼 조사포닌과 인삼즙액은 모두 세균성 뿌리썩음병원균인 *Erwinia carotovora*의 생장을 촉진시켰다 (Park and Ohh, 1981).

식물뿌리 분비물과 식물체의 부패중인 조직에서 유래되는 페놀화합물 (salicylic acid, cinnamic acid, benzoic acid)은 인삼 뿌리썩음병의 원인이 되는 *C. destructans*의 균사 생장을 억제하였으나 식물병원균 효소 (pectinase, cellulase)의 활성을 크게 촉진하였고 이로 인해 뿌리썩음병원균의 병원성이 강해져 연작장해 발생이 증가되었다 (Sun *et al.*, 2013).

인삼뿌리의 추출물은 *C. destructans*의 생육에 필요한 영양공급원이 되고 병원균 포자의 발아를 유도하는 신호로 작용하는 화학적 유인 물질을 함유하고 있어 인삼의 재배과정 중에 분비되는 아미노산, 페놀화합물 등은 인삼의 생육과 병 발생에 큰 영향을 미쳤다 (Xu *et al.*, 2016).

따라서 본 연구에서는 인삼 연작지 토양에서 과다한 무기양

분, 유기산, 병원균 등 생육 저해요인을 제거하기 위해 관수처리를 하고 관수 후 인삼 세균 분말을 토양에 혼화하여 토양 속에 존재하는 인삼뿌리 잔사물이 인삼의 생육 및 뿌리썩음병 발생에 미치는 영향을 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 시험토양

본시험은 충북 음성군의 국립원예특작과학원 인삼특작부 유리온실에서 수행하였다. 2015년 10월 하순에 6년근 인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer)을 수확한 포장 (암회갈색의 식양토, 지산통)에서 연작토양을 채취하였다. 20 cm 깊이 이내의 작토층을 채취하여 플라스틱 원형포트 (지름 30 cm, 높이 35 cm)에 담아 유리온실 안으로 옮긴 다음 뿌리썩음병이 발생한 묘삼을 포트당 20 주씩 이식하여 2016년 1월 30일까지 재배하면서 이병토양을 조성하였다.

2. 관수 및 인삼 세균 분말 토양혼화

인삼 연작토양을 담은 포트에 매일 1 회 2 l 의 지하수를 2016년 2월 1일에서 2월 29일까지 1 개월 동안 관수처리 하였다.

관수 후 인삼 세균 분말의 토양혼화 처리는 이병토양에 1 개월 동안 관수처리 후 6년근 인삼의 세균 분말을 20 포트당 g씩 토양에 골고루 혼합해 준 다음 1 개월간 보관하였다.

관수 후 세균 분말처리를 한 이유는 토양의 염류농도를 재배 적정범위로 낮추어 주고 연작장해 발생에 영향을 미칠 수 있는 물질들을 줄여 인삼 세균 분말의 효과만을 명확히 구명하기 위함이었다.

그리고 인삼뿌리 중 세균을 선택한 이유는, 6년근 인삼 수확 시 주근과 지근을 제외한 세균은 대부분 탈락되고 토양에 잔류하여 토양환경에 영향을 미치며, 세균은 주근과 지근에 비해 사포닌 함량이 높고 전분함량이 낮기 때문에 (Jang *et al.*, 1987) 세균을 시험재료로 이용하였다.

각각의 시험구는 총 20 포트를 처리하여 5 포트씩 4 반복으로 조사하였다.

3. 토양 이화학성 분석

묘삼을 정식하기 전인 2016년 4월 상순에 토양시료를 채취하였다. 토양시료를 풍건하여 분쇄 후 10 mesh (2 mm)체를 통과한 다음 유발에 미세하게 갈아 분석용으로 사용했다. 토양 화학성분 중 pH, EC, 유기물, 유효인산 및 치환성 양이온인 K, Ca, Mg는 농촌진흥청 토양화학분석법 (NIAST, 2000)에 준하였다.

시료 10 g을 100 ml 삼각플라스크에 평량하고 침출액 (0.1N HCl) 50 ml 첨가 후 항온 수조 30°C에서 1 시간 진탕 후

Toyo No. 5B로 여과하여 ICP-OES (Intergra XMP, GBC, Braeside, Australia)로 치환성 양이온을 측정했다. 유기물 분석은 토양시료 0.5 g을 취해 Automatic Carbon/Nitrogen Analyzer (Vario MAX CN, Elementar, Hanau, Germany)를 이용하여 900°C로 연소하여 총탄소량을 구한 다음 유기물 함량으로 환산하였다.

4. 토양미생물 다양성 분석

토양시료는 묘삼을 정식하기 전인 2016년 4월 상순에 채취하여 2 mm 체로 정선한 다음 미생물 다양성 분석에 이용하였다.

DNA 추출은 Soil DNA Isolation Kit (Mo Bio Laboratories, Sunnyvale, CA, USA)를 사용하여 제조사의 지침에 따라 수행하였다. 추출된 DNA는 분석까지 -20°C에서 보관하였다. 세균의 다양성을 분석하기 위해 Bacterial 16S rRNA 유전자의 V1 - V3 영역을 27F 및 518R primers를 사용하여 각 시료로부터 증폭하였다. 곰팡이의 다양성 분석을 위해 새롭게 만들어진 primer set, TFungi 18F (5-TYY GGR AGG, GGT, GTA, TTT-3) 및 TFungi 18R (5-CAG AWA TTT GAA TGA ASC AT-3)을 이용하여 18S rRNA 유전자의 5 영역을 증폭하였다.

PCR 반응은 이전에 기술된 방법 (Lim *et al.*, 2010)과 같이 수행하였다. DNA 염기서열 분석은 Roche/454 GS FLX Titanium platform을 사용하여 ChunLab (Seoul, Korea)에서 수행하였다.

5. 묘삼 정식 및 인삼 생육특성 조사

4월 상순에 자경종 묘삼 (0.77 ± 0.04 g/주)을 각각 처리된 포트에 포트당 20 주씩 정식하여 재배하였으며, 적정 토양수분 (18 - 20%)을 유지해 주기위해 1 주일 간격으로 포트당 1 l의 지하수를 관주해주었다. 6월 하순에 초장, 엽장, 엽폭 등 지상부 생육특성을 조사하였으며, 7월 상순에 수확하여 주당근중, 근장 등 지하부 생육특성과 뿌리썩음병 발생율을 조사하였다.

뿌리썩음병 발생정도는 0 (무발생), 1 (발병초기, 작은 반점형성), 2 (뿌리전체에서 부패 증상 50% 이하), 3 (뿌리전체에

서 부패 증상 70% 이하), 4 (완전 부패)로 구분하여 다음과 같은 방법 (Rahman and Punja, 2005)으로 조사하였다. 즉, 뿌리썩음병 발병지수 (disease severity index, DSI) 구하는 공식은 (X0 × 0) + (X1 × 1) + (X2 × 2) + (X3 × 3) + (X4 × 4) / (X0 + X1 + X2 + X3 + X4)이고, X0; 무병징, X1; 병반 면적 10% 이하, X2; 병반 면적 50% 이하, X3; 병반 면적 70% 이하, X4; 완전부패로 구분하였다.

6. 통계분석

통계프로그램 SAS (Version 9.2, SAS Institute Inc. Cary, NC, USA)을 이용하여 5% 유의수준에서 Duncan's Multiple Range Test (DMRT)로 처리 간 유의성 검정을 하였다 (p < 0.05).

결과 및 고찰

1. 관수 및 인삼 세근 분말 처리에 따른 토양이화학성의 변화

Table 1에서와 같이 6년근 인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer)을 수확한 연작지 토양에 관수처리 및 관수처리 후 인삼 세근 분말 토양혼화 처리가 토양이화학성에 미치는 영향을 조사하였다. 토양산도는 관수처리에 의해 뚜렷이 증가되었으며, 관수처리 후 인삼 세근 분말을 혼화처리하면 감소되었다.

Lee 등 (2016)에 의하면 토양산도는 인삼 이식 전에 비해 수확 후 감소되었으며, 이는 인삼뿌리에서 분비되거나 뿌리가 분해될 때 생기는 유기산 등 폐놀물질의 축적 때문이라고 하였는데, 본 시험에서도 인삼 세근 분말의 첨가에 의해 토양산도가 낮아져 비슷한 결과를 보였다.

염류농도는 관수처리하면 염류의 용탈에 의해 뚜렷이 감소하였으며, 인삼 세근 분말을 혼화처리하면 다시 유의적으로 증가하였다. 유기물 함량은 관수처리에 의해 감소되었으나 처리 간 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 인삼 세근 분말의 첨가에 의해서도 증가되지 않았다. 질산태 질소는 관수처리에 의해 뚜렷이 감소하였으며, 인삼 세근 분말을 혼화처리하면 다시 유의적으로 증가하였다. 염류농도는 질산태 질소와 가장 큰 정의상관 관계를 보이기 때문에 (Lee *et al.*, 2017) 질산태 질

Table 1. Change of soil chemical properties by irrigation treatment and incorporation of ginseng fine root powder into the soil infected with ginseng root rot pathogens.

Treatments	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. Cation (cmol ⁺ /kg)			
						K	Ca	Mg	Na
Control	5.82 ^c	3.50 ^a	39.87 ^a	348.30 ^a	325.70 ^a	0.73 ^a	7.51 ^a	2.90 ^a	0.45a*
OF ¹⁾	6.90 ^a	0.37 ^c	37.49 ^{ab}	14.30 ^c	293.10 ^b	0.32 ^c	6.79 ^b	1.88 ^b	0.14 ^b
OF + GP ²⁾	6.70 ^b	0.51 ^b	34.85 ^b	26.40 ^b	335.70 ^a	0.41 ^b	6.78 ^b	1.98 ^b	0.15 ^b

¹⁾Overhead flooding (OF); irrigation treatment of 2 l/20 l soil, once a day for one month, ²⁾Overhead flooding + ginseng powder (OF + GP); Incorporation of ginseng powder (fine root) in soil [20 g/20 l soil (ginseng powder contained 0.1% in soil)]. *Mean with same letters are not significantly different in Duncan's Multiple Range Test (p < 0.05).

소의 감소는 염류농도 감소에 가장 큰 영향을 미친 것으로 보인다.

유효인산은 관수처리에 의해 유의적으로 감소하였는데, 인삼 세근 분말을 혼화처리하면 유의적으로 증가하였다. 칼륨은 관수처리에 의해 뚜렷이 감소하였고 인삼 세근 분말 혼화처리에 의해 유의적으로 증가하였다. 칼슘, 마그네슘 및 나트륨은 관수처리에 의해 유의적으로 감소하였고 인삼 세근 분말 혼화처리에 의해 약간 증가되었으나 유의성이 없었다.

이와 같이 관수처리에 의해 질산태 질소 > 염류농도 > 나트륨 > 칼륨 > 마그네슘 ≥ 인산 순으로 감소하였으며, 유기물 함량은 유의적인 변화를 보이지 않았다. 인삼 세근 분말 혼화처리에 의해 질산태 질소 > 염류농도 > 칼륨 > 인산 순으로 증가하였으며, 유기물, 칼슘, 마그네슘, 나트륨 함량은 유의적인 변화를 보이지 않았다.

2. 관수 및 인삼 세근 분말 처리에 따른 토양의 미생물상 변화

Fig. 1에서와 같이 인삼 연작지 토양에서 관수처리에 따른 곰팡이 속 단위에서의 변화를 보면, *Trichoderma* 속은 38.7%에서 4.2%로 감소하였고 *Fusarium* 속은 11.8%에서 29.5%로, *Waitea* 속은 2.5%에서 9.9%로 증가하였다.

Fig. 2에서와 같이 관수처리에 따른 곰팡이 종 단위에서 변화양상을 보면, *Trichoderma* 속의 *Trichoderma crassum*은 37.5%에서 3.9%로 감소하였으며, *Fusarium* 속의 *Haematonectria haematococca*는 11.1%에서 28.3%로 증가하였다. 또한 *Pseudogymnoascus* 속의 *Geomyces pannorum*은 2.8%에서 7.6%로, *Waitea* 속의 *Waitea circinata*는 1.8%에서 5.9%로 증가하였다.

Trichoderma 속 곰팡이들은 토양에 널리 존재하고 식물병

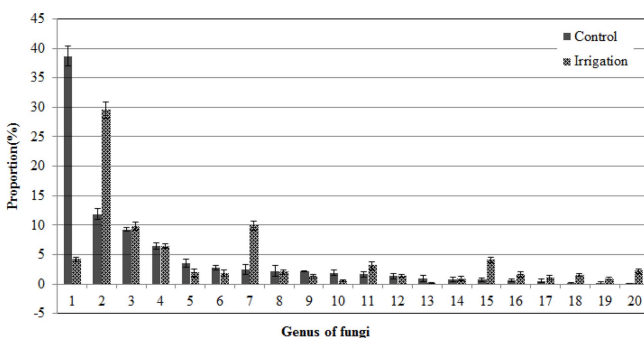


Fig. 1. Composition ratio of soil microbial communities in fungi genus by irrigation treatment in the soil infected with ginseng root rot pathogens. 1; *Trichoderma*, 2; *Fusarium*, 3; *Pseudogymnoascus*, 4; *Pseudallescheria*, 5; *Chaetomidium*, 6; *Scytalidium*, 7; *Waitea*, 8; *Humicola*, 9; *Mortierella*, 10; *Myrothecium*, 11; *Fungi_uc_g*, 12; *Podospora*, 13; *Guehomycetes*, 14; *Ascobolus*, 15; *Cladosporium*, 16; *Phialemonium*, 17; *Eukarya_uc_g*, 18; *Plectosphaerella*, 19; *Ascodesmidaceae_uc*, 20; *Onygenales_uc_g*.

방제를 위한 길항미생물로도 이용되는데, *T. crassum*은 *T. koningii*에 비해 시들음병 (verticillium wilt) 방제에 효과가 적다고 하였다 (Jamdar et al., 2013).

*H. haematococca*는 *Fusarium solani*의 완전세대형으로 인삼에서 주로 적변을 유발하며 병원성은 낮은 것으로 보고되었다 (Punja et al., 2007). *G. pannorum*은 토양에 널리 존재하는 부생균이며, *Rhizoctonia*에 의한 할록병 억제에 효과가 있다고 하여 (Nelson et al., 1983) *G. pannorum*의 증가는 인삼 연작장해 경감에 긍정적인 영향을 미친 것을 보인다.

*W. circinata*는 *Rhizoctonia oryzae*의 완전세대형으로 벼의 균핵병이나 보리, 밀의 뿌리썩음병을 일으키는 병원균으로 (Paulitz et al., 2003) 인삼의 병 발생과는 관련이 적을 것으로 생각된다.

인삼의 뿌리썩음병과 관련되는 *Cylindrocarpon* species는 전체 곰팡이에서 매우 낮은 비율로 존재하고 있는데, 관수처리에 의해 0.04%에서 0.02%로 감소하여 인삼 연작장해 경감에 긍정적인 영향을 미쳤다.

Fig. 3에서와 같이 인삼 세근 분말 토양혼화에 따른 곰팡이 속 단위에서의 변화를 보면, *Fusarium* 속은 29.5%에서 19.0%로 감소하였고 *Mortierella* 속은 1.3%에서 13.5%로, *Scytalidium* 속은 1.8%에서 11.3%로 증가하였다.

Fig. 4에서와 같이 관수 후 인삼 세근 분말 토양혼화에 따른 토양 미생물 종 곰팡이 종 단위에서의 변화양상을 보면, *H. haematococca*은 28.3%에서 17.7%로 감소하였고, *G. pannorum*도 7.6%에서 2.4%로, *Pseudallescheria fimeti*도 6.3%에서 2.9%로 감소하였다. 반면 *T. crassum*은 3.9%에서 7.6%로 증가하였고, *Scytalidium thermophilum*도 1.8%에서 11.3%로 증가하였으며, *Mortierella elongata*도 0.2%에서 4.9%로 증가하였다.

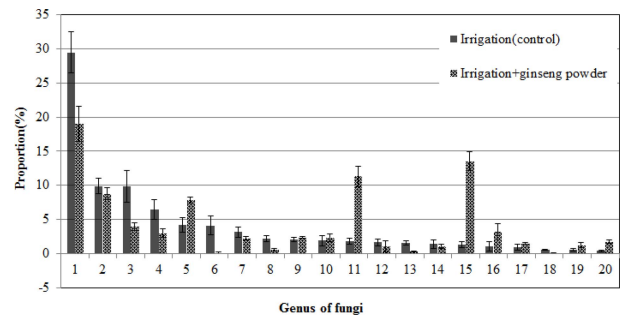


Fig. 2. Composition ratio of soil microbial communities in fungi genus by incorporation of ginseng fine root powder into the soil infected with ginseng root rot pathogens. 1; *Fusarium*, 2; *Waitea*, 3; *Pseudogymnoascus*, 4; *Pseudallescheria*, 5; *Trichoderma*, 6; *Cladosporium*, 7; *Fungi_uc_g*, 8; *Onygenales_uc_g*, 9; *Humicola*, 10; *Chaetomidium*, 11; *Scytalidium*, 12; *Phialemonium*, 13; *Plectosphaerella*, 14; *Podospora*, 15; *Mortierella*, 16; *Eukarya_uc_g*, 17; *Ascobolus*, 18; *Myrothecium*, 19; *Chaetomium*, 20; *Cryptococcus*.

*H. haematococca*의 감소는 토양에 첨가된 인삼세균 사포닌의 항균작용에 의한 영향으로 보이며 (Park and Ohh, 1981), *Rhizoctonia*에 의한 잘록병 억제에 효과가 있다고 알려진 *G. pannorum* (Nelson et al., 1983)의 감소는 인삼의 연작장해 발생 증가에 영향을 미친 것으로 생각된다. *S. thermophilum*은 glucose에 의해 생육이 촉진되는데 (Zanoela et al., 2004), *S. thermophilum*의 증가는 세균분말에 함유되어있는 glucose에 의해 영향을 받은 것으로 보인다.

인삼의 뿌리썩음병을 유발하는 *Cylindrocarpon* species는 관수 후 인삼 세균분말 토양혼화처리에 의해 0.02%에서 0.14%로 증가하였으며, *Fusarium* species는 0.21%에서 0.44%로 증가하여 인삼의 연작장해 발생에 영향을 미쳤다. *C. destructans*의 밀도는 인삼 재배기간에 따라 증가되어 인삼의 뿌리썩음병 발생이 증가되었다 (Lee et al., 2014). 금산 등 3개 지역에서 *Fusarium* spp.의 밀도와 *Fusarium* spp./total fungi의 비율은 초작지보다 재작지에서 더 높다고 하였으며 (Shin et al., 1986), 인삼즙액의 농도가 증가할수록 *F. solani*의 생장이 촉진되었다고 하여 (Park and Ohh, 1981) 인삼세균 잔사물은 이들 곰팡이의 성장 촉진에 영향을 미친 것으로 보인다.

Han 등 (1992)에 의하면 토양 중의 유기물은 분해되어 일부가 폐놀화합물로 되며, 이 화합물들은 계속해서 미생물들의 탄소원으로 이용되는데, 토양 중에 가해진 폐놀의 양이 많아 질수록 세균이나 방선균은 감소하거나 활동이 억제되는 반면 *Fusarium* spp.는 증가한다고 하였다.

이와 같이 *T. crassum*은 연작지 토양에 관수처리하면 크게

감소했다가 인삼 세균분말이 첨가되면 다시 증가되었으며, *H. haematococca*는 연작지 토양에 관수처리하면 크게 증가되었다가 인삼 세균분말이 첨가되면 다시 감소되는 특징을 보였다. 또한 인삼의 뿌리썩음병을 유발하는 *Cylindrocarpon* species와 *Fusarium* species는 인삼분말 첨가에 의해 증가되었다.

따라서 토양 서식 곰팡이의 다양성 측면에서 연작장해의 발생은 *T. crassum*의 증가와 *H. haematococca*, *Geomyces pannorum*의 감소, 그리고 인삼 뿌리썩음병과 직접 관련이 되

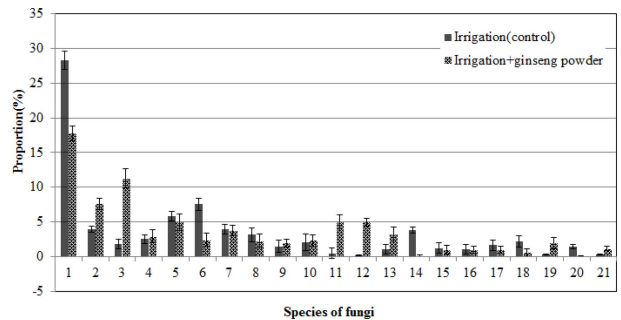


Fig. 4. Composition ratio of soil microbial communities in fungi species by incorporation of ginseng fine root powder into the soil infected with ginseng root rot pathogens. 1; *Haematonectria haematococca* 1, 2; *Trichoderma crassum* 2, 3; *Scytalidium thermophilum* 3, 4; *Pseudallescheria fimeti* 1, 5; *Waitea circinata* 30, 6; *Geomyces pannorum* 2, 7; *Waitea circinata* 4, 8; *Fungi_uc_s*, 9; *Chaetomidium* group, 10; *Humicola fuscoatra*, 11; *Mortierella_uc*, 12; *Mortierella elongata* 3, 13; *Eukarya_uc_s*, 14; *Cladosporium sphaerospermum* 1, 15; *Podospōra setosa*, 16; *Geomyces pannorum* 1, 17; *Taiifanglania inflata*, 18; *Onygenales_uc_s*, 19; *Mortierella elongata* 1, 20; *Monographella cucumerina* 1, 21; *Cryptococcus terricola*.

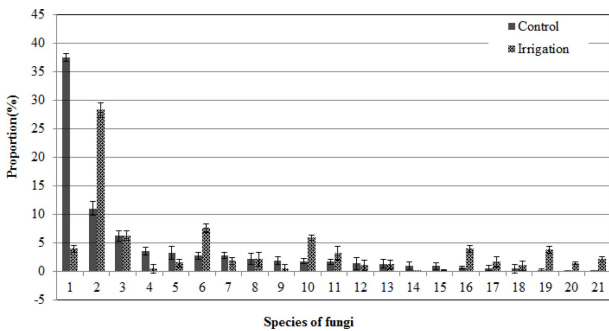


Fig. 3. Composition ratio of soil microbial communities in fungi species by irrigation treatment in the soil infected with ginseng root rot pathogens. 1; *Trichoderma crassum* 2, 2; *Haematonectria haematococca* 1, 3; *Pseudallescheria fimeti* 1, 4; *Pseudogymnoascus roseus* 1, 5; *Chaetomidium* group, 6; *Geomyces pannorum* 2, 7; *Scytalidium thermophilum* 3, 8; *Humicola fuscoatra*, 9; *Myrothecium verrucaria* 2, 10; *Waitea circinata* 30, 11; *Fungi_uc_s*, 12; *Geomyces pannorum* 1, 13; *Podospōra setosa*, 14; *Mortierella alpina* 2, 15; *Guehomyces pullulans*, 16; *Waitea circinata* 4, 17; *Taiifanglania inflata*, 18; *Eukarya_uc_s*, 19; *Cladosporium sphaerospermum* 1, 20; *Monographella cucumerina* 1, 21; *Onygenales_uc_s*.

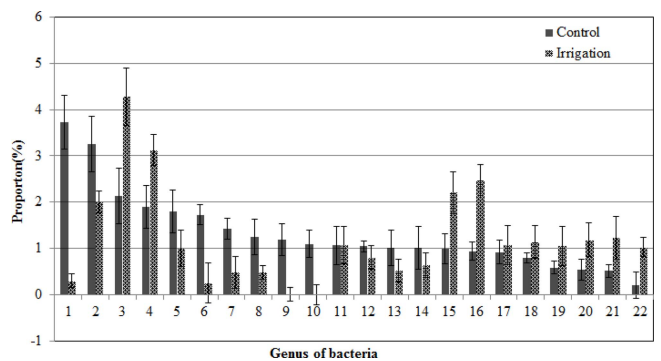


Fig. 5. Composition ratio of soil microbial communities in fungi genus by irrigation treatment in the soil infected with ginseng root rot pathogens. 1; FR749822_g, 2; *Streptomyces*, 3; DQ123621_g, 4; *Devosia*, 5; JF421159_f_uc, 6; *Nonomuraea*, 7; *Rhodanobacter*, 8; *Mycobacterium*, 9; 4P002119_g, 10; *Oxalicibacterium*, 11; *Pseudolabrys*, 12; GQ396871_g, 13; EU881211_g, 14; JF266448_g, 15; *Arthrobacter*, 16; *Bauldia*, 17; *Bacillus*, 18; *Sphingomonas*, 19; *Planctomycetaceae_uc*, 20; *Rhizomicrobium*, 21; *Gaiella*, 22; *Cytophagaceae_uc*.

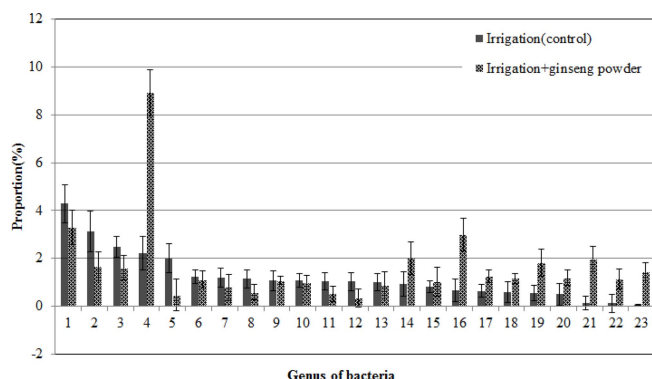


Fig. 6. Composition ratio of soil microbial communities in fungi genus by incorporation of ginseng fine root powder into the soil infected with ginseng root rot pathogens. 1; *DQ123621_g*, 2; *Devosia*, 3; *Bauldia*, 4; *Arthrobacter*, 5; *Streptomyces*, 6; *Gaiella*, 7; *Rhizomicrobium*, 8; *Sphingomonas*, 9; *Pseudolabrys*, 10; *Bacillus*, 11; *Planctomycetaceae uc*, 12; *Cytophagaceae uc*, 13; *JF421159 f uc*, 14; *Microbacterium*, 15; *GQ396871_g*, 16; *Rhizobium*, 17; *Nocardioides*, 18; *AB630582_g*, 19; *Mesorhizobium*, 20; *DQ404644_g*, 21; *Pseudomonas*, 22; *Spingobium*, 23; *AB096215_g*.

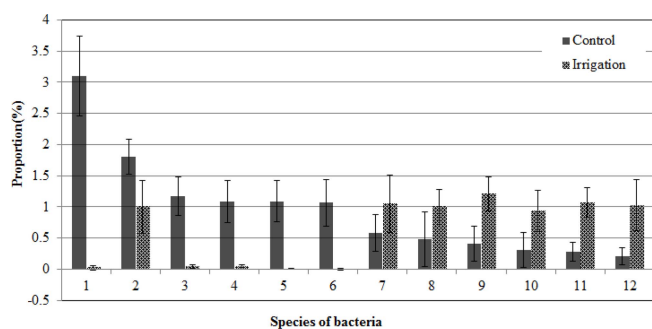


Fig. 7. Composition ratio of soil microbial communities in fungi species by irrigation treatment in the soil infected with ginseng root rot pathogens. 1; *GU444078_s*, 2; *JF421159 f uc_s*, 3; *Nonomuraea maritima*, 4; *Streptomyces glauciniger*, 5; *4P002119_s*, 6; *Oxalicibacterium solurbis*, 7; *Planctomycetaceae uc_s*, 8; *HQ119644_s*, 9; *EU881088_s*, 10; *Arthrobacter oryzae*, 11; *Streptomyces lavendulae* group, 12; *Cytophagaceae_uc_s*.

는 *Cylindrocarpon* species와 *Fusarium* species의 증가 등과 관련이 있을 것으로 생각된다.

Fig. 5에서와 같이 인삼 연작지 토양에서 관수처리에 따른 세균 속 단위에서의 변화를 보면, 곰팡이처럼 뚜렷하게 우점하는 속은 없었으나 *Devosia* 속은 1.9%에서 3.1%로, *Arthrobacter* 속은 1.0%에서 2.2%로, *Bauldia* 속은 0.9%에서 2.5%로 증가하였으며, *Streptomyces* 속은 3.2%에서 2.0%로 감소하였다.

Fig. 6에서와 같이 관수처리에 따른 세균 종 단위에서의 변화를 보면, *Nonomuraea maritima*, *Streptomyces glauciniger*, *Oxalicibacterium solurbis* 등은 뚜렷이 감소하였고 *Arthrobacter*

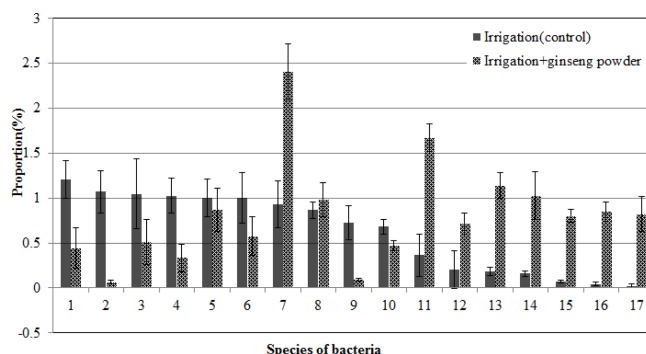


Fig. 8. Composition ratio of soil microbial communities in fungi species by incorporation of ginseng fine root powder into the soil infected with ginseng root rot pathogens. 1; *EU881088_s*, 2; *Streptomyces lavendulae* group, 3; *Planctomycetaceae_uc_s*, 4; *Cytophagaceae_uc_s*, 5; *JF421159 f uc_s*, 6; *HQ119644_s*, 7; *Arthrobacter oryzae*, 8; *EU801228_s*, 9; *AM697421_s*, 10; *FJ479524_s*, 11; *Arthrobacter pascens*, 12; *AB630582_g_uc*, 13; *Arthrobacter humicola*, 14; *Microbacterium trichothecenolyticum*, 15; *JN038769_s*, 16; *Rhizobium cauense*, 17; *Arthrobacter defluvii* group.

oryzae, *Streptomyces lavendulae* 등은 뚜렷이 증가하였다.

*Arthrobacter oryzae*는 주로 논토양에 존재하는 세균인데 (Kageyama *et al.*, 2008) 관수처리에 의해 증가된 것으로 보인다. *Streptomyces lavendulae*는 항균물질인 lavendamycin을 생산하는 곰팡이로 (Balitz *et al.*, 1982) 인삼의 연작장해 경감에 영향을 미친 것으로 보인다.

Fig. 7에서와 같이 인삼 세균 분말 토양혼화처리에 따른 세균의 속 단위에서 변화양상을 보면, *Devosia* 속은 3.1%에서 1.6%로, *Bauldia* 속은 2.5%에서 1.6%로, *Streptomyces* 속은 2.0%에서 0.5%로 뚜렷이 감소하였고 *Arthrobacter* 속은 2.2%에서 8.9%로, *Rhizobium* 속은 0.7%에서 3.0%로 뚜렷이 증가하였다.

Fig. 8에서와 같이 인삼 세균 분말 토양혼화처리에 따른 세균의 종 단위에서 변화양상을 보면, *Streptomyces lavendulae*는 뚜렷이 감소하였고 *Arthrobacter oryzae*, *Arthrobacter pascens*, *Arthrobacter humicola*, *Microbacterium trichothecenolyticum*, *Rhizobium cauense*, *Arthrobacter defluvii* 등은 뚜렷이 증가하였다.

항생물질을 생산하는 *S. lavendulae* (Balitz *et al.*, 1982)의 뚜렷한 감소는 인삼의 연작장해 발생 증가에 영향을 미쳤으며, *A. humicola*는 무의 발아와 생육을 억제하는 물질 (3-phenylpropionic acid)을 생산하기 때문에 (Chung *et al.*, 2010), *A. humicola*의 증가도 인삼의 연작장해 발생 증가에 영향을 미친 것으로 보인다.

*M. trichothecenolyticum*은 인삼의 진세노사이드 Rb1을 Rd, Rh2로 전환하는 세균으로 (Kim *et al.*, 2013) 토양에 혼화된 인삼 세균 분말에 의해 증가된 것으로 보이며, 인삼에 병을

Table 2. Growth characteristics of 2-years-old ginseng by irrigation treatment and incorporation of ginseng fine root powder into the soil infected with ginseng root rot pathogens.

Treatments	Plant height (cm)	Stem height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (mm)	Weight of aerial part (g/plant, FW)
Control	13.30 ^b	7.70 ^b	3.12 ^b	1.55 ^b	1.45 ^b	0.34 ^{b*}
OF ¹⁾	19.80 ^a	10.70 ^a	5.22 ^a	2.56 ^a	1.57 ^{ab}	0.83 ^a
OF + GP ²⁾	20.00 ^a	10.50 ^a	5.49 ^a	2.59 ^a	1.66 ^a	0.90 ^a

¹⁾Overhead flooding (OF); irrigation treatment of 2 ℓ/20 ℓ soil, once a day for one month, ²⁾Overhead flooding + ginseng powder (OF + GP); Incorporation of ginseng powder (fine root) in soil [20 g/20 ℓ soil (ginseng powder contained 0.1% in soil)]. Mean with same letters are not significantly different in Duncan's Multiple Range Test ($p < 0.05$).

Table 3. Yield and root disease ratio of 2-years-old ginseng by irrigation treatment and incorporation of ginseng fine root powder into the soil infected with ginseng root rot pathogens.

Treatments	Survived root ratio (%)	Root weight (g/plant)	Root length (cm)	Rate of disease-free root(%)	Incidence of root disease (0-4) ³⁾
Control	48.5 ^b	0.58 ^a	10.10 ^a	6.50 ^c	2.75 ^{a*}
OF ¹⁾	88.5 ^a	0.54 ^a	10.70 ^a	50.50 ^a	0.95 ^c
OF + GP ²⁾	83.8 ^a	0.56 ^a	10.20 ^a	21.90 ^b	1.40 ^b

¹⁾Overhead flooding (OF); irrigation treatment of 2 ℓ/20 ℓ soil, once a day for one month, ²⁾Overhead flooding + ginseng powder (OF + GP); Incorporation of ginseng powder (fine root) in soil [20 g/20 ℓ soil (ginseng powder contained 0.1% in soil)], ³⁾Incidence of root disease; (X0 × 0) + (X1 × 1) + (X2 × 2) + (X3 × 3) + (X4 × 4) / (X0 + X1 + X2 + X3 + X4), X0; no lesion, X1; rotted area below 10%, X2; rotted area below 50%, X3; rotted area below 70%, X4; completely rotted root. *Mean with same letters are not significantly different in Duncan's Multiple Range Test ($p < 0.05$).

일으키는 세균들은 진세노사이드를 전환할 수 있는 능력이 있다고 하였다 (Nguyen *et al.*, 2016).

Nguyen 등 (2016)에 의하면 식물병원성이 잠재된 세균 중 인삼 재배포장에서 *Sphingomonas*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas* 속이 자주 분리되며, 이들은 인삼의 진세노사이드를 전환하여 이용할 수 있다고 하였다. Park 과 Ohh (1981)에 의하면 인삼 사포닌과 즙액의 농도가 증가될수록 세균성 뿌리썩음병원균인 *Erwinia carotovora*의 생장이 촉진되었다고 하여 인삼 세균 잔사물은 연작장해 발생과 관련된 세균들의 생장에 영향을 미친 것으로 보인다.

이와 같이 연작지 토양에 관수처리하면 논토양에서 주로 발견되는 *A. oryzae* 및 항생물질을 생산하는 *S. lavendulae* 등이 증가하여 인삼의 연작장해 경감에 영향을 미쳤으며, 인삼 세균분말을 토양에 혼합해 주면 항생물질을 생산하는 *S. lavendulae*가 감소하고 식물생장 독소를 분비하는 *A. humicola*가 증가하며 진세노사이드를 전환할 수 있는 *M. trichothecenolyticum*이 증가하여 인삼의 연작장해 발생 증가에 영향을 미친 것으로 보인다.

3. 관수 및 인삼 세균 분말 처리에 따른 인삼의 지상부 생육특성

Table 2에서와 같이 인삼 연작지 토양에서 관수처리 및 관수

후 인삼 세균 분말 토양혼화 처리가 2년생 인삼의 지상부 생육에 미치는 영향을 조사한 결과는 다음과 같다. 초장, 경장, 엽폭, 엽장, 경직경 및 지상부중은 관수처리에 의해 뚜렷한 증가를 보였다. 관수처리 후 인삼 세균 분말 혼합처리는 경장을 제외한 초장, 엽폭, 엽장, 경직경 및 지상부중이 유의적인 변화가 없었으나 다소 증가되었다.

이와 같이 연작지에서 관수처리는 인삼의 지상부 생육을 촉진하는 효과가 있었는데, 이는 염류농도 및 나트륨 농도가 크게 감소되어 삼투압 작용 등에 영향을 미쳤기 때문으로 보인다. Kim 등 (2015)에 의하면 인삼의 재배에 적당한 염류농도는 0.5 - 1.0 dS/m 이며, 염류가 과다할 경우 생리장해가 발생한다고 보고하였다. 그리고 관수 후 인삼 세균 분말 혼합처리에 의해 인삼의 지상부 생육이 억제되지 않아 인삼 수확 후 세균 잔사물이 인삼 지상부 생육에 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

4. 관수 및 인삼 세균 분말 처리에 따른 인삼의 뿌리썩음병 발생 특성

Table 3에서와 같이 인삼 연작지 토양에서 관수처리 및 관수 후 인삼 세균 분말 토양혼화 처리가 2년생 인삼의 지하부 생육과 뿌리썩음병 발생에 미치는 영향을 조사한 결과는 다음과 같다. 지하부 생존율은 관수처리에 의해 뚜렷이 증가되었

는데, 이는 뿌리썩음병 발생이 억제되었기 때문으로 보인다. 인삼 세근 분말 혼화처리에 의해 지하부 생존율은 약간 감소되었는데, 이는 뿌리썩음병 발생이 증가되었기 때문으로 보인다.

인삼의 주당근중과 근장은 관수처리나 관수 후 인삼 세근 분말 혼화처리에 따라 유의적인 차이를 보이지 않아 관수처리나 인삼 세근 분말 혼화처리는 근중 증가에 영향을 미치지 못했는데, 4-6년근 인삼재배처럼 장기간 재배할 경우에는 관수 및 인삼 세근 분말 혼화처리가 인삼 근중 증가에 긍정적 또는 부정적 영향을 미칠 것으로 생각된다.

뿌리썩음병 발생정도 (disease severity index, DSI)는 관수 처리에 의해 유의적으로 감소하였으나 인삼 세근 분말 혼화처리에 의해 유의적으로 증가하였다. 따라서 관수처리는 인삼 뿌리썩음병 발생을 억제하는데 효과를 보였으며, 인삼 수확 시 토양에 남아있는 뿌리 잔사물은 인삼의 지상부 생육에는 유의적인 영향을 미치지 않으나 뿌리썩음병 발생 증가에 영향을 미칠 것으로 생각된다.

토양 염류농도가 높아지면 작물의 뿌리가 갈변되고 스트레스를 받아 병원균이 쉽게 침입하여 병 발생이 증가되며 (Yang et al., 2000), 토양염류농도는 인삼의 뿌리썩음병과 유의적인 부의 상관성이 있었다는 보고처럼 (Lee et al., 2017), 본 시험에서 관수처리에 의한 염류농도 저하는 뿌리썩음병 발생 억제에 영향을 미친 것으로 생각된다.

그리고 인삼 세근 분말 혼화처리로 인삼 뿌리썩음병 발생이 증가되었던 것은 Sun 등 (2013)의 보고처럼 인삼뿌리에서 분비되거나 뿌리 분해 시 발생하는 페놀화합물이 뿌리썩음병원균의 병원성을 증가시켜 뿌리썩음병 발생이 증가되었기 때문으로 생각된다.

본 실험결과를 종합해 보면 인삼 연작장해 발생은 관수처리에 의해 감소되고 인삼 세근 분말 토양혼화처리에 의해 증가되었는데, 관수처리에 의한 연작장해 경감은 토양염류농도의 감소, 토양전염성 병원균에 길항작용을 하는 곰팡이의 증가, 항생물질을 생산하는 세균의 증가, 그리고 식물생장을 억제하는 독소를 분비하는 세균의 감소 때문으로 생각된다.

인삼 세근 분말의 토양혼화처리에 의한 인삼 연작장해 발생 증가는 뿌리썩음병과 직접 관련이 있는 *Cylindrocarpon* species와 *Fusarium* species의 증가, 토양전염성 병원균에 길항작용을 하는 곰팡이의 감소, 항생물질을 생산하는 세균의 감소, 진세노사이드를 전환하는 능력을 가진 세균들의 증가, 그리고 식물생장을 억제하는 독소를 분비하는 세균의 증가 때문으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품기술기획평가원에서 주관하는 인삼 관행 해가림 방식에서의 연작장해 경감기술 개발(과제번호:

315095-04-HD050)의 연구비 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Balitz DM, Bush JA, Bradner WT, Doyle TW, O'herron FA and Nettleton DE. (1982). Isolation of lavendamycin a new antibiotic from *Streptomyces lavendulae*. Journal of Antibiotics. 35:259-265.
- Chung EJ, Park JH, Park TS, Ahn JW and Chung YR. (2010). Production of a phytotoxic compound, 3-phenylpropionic acid by a bacterial endophyte, *Arthrobacter humicola* YC6002 isolated from the root of *Zoysia japonica*. Plant Pathology Journal. 26:245-252.
- Han SG, Oh DH, Ryu J, Hwang NY, Na JS, Park KH and Choi BJ. (1992). Allelopathic effect of upland weeds on plant growth and properties in soils. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer. 25:263-269.
- Jamdar Z, Mohammadi AH and Mohammadi S. (2013). Study of antagonistic effects of *Trichoderma* species on growth of *Verticillium dahliae*, the causal agent of verticillium wilt of pistachio under laboratory condition. Journal of Nuts and Related Sciences. 4:53-56.
- Jang JG, Lee KS, Kwon DW and Oh HK. (1987). Chemical compositions of Korean ginseng with special reference to the part of ginseng plant. Korean Journal of Ginseng Science. 11:84-89.
- Jo JS, Kim CS and Won JY. (1996). Crop rotation of the Korean ginseng (*Panax ginseng* C. A. Meyer) and the rice in paddy field. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 4:19-26.
- Kageyama A, Morisaki K, Omura S and Takahashi Y. (2008). *Arthrobacter oryzae* sp. nov. and *Arthrobacter humicola* sp. nov. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 58:53-56.
- 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 HS, JH Kim, Lee PY, Bae KH, Cho SY, Park BC, Shin HS and Park SG. (2013). Ginsenoside Rb1 is transformed into Rd and Rh2 by *Microbacterium trichothecenolyticum*. Journal of Microbiology and Biotechnology. 23:1802-1805.
- Kim JU, Hyun DY, Kim YC, Lee JW, Jo IH, Kim DH, Kim KH and Shon JK. (2015). Effects of salt in soil condition on chlorophyll fluorescence and physiological disorder in *Panax ginseng* C. A. Meyer. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 23:446-453.
- Lee JS, Han KS, Lee SC, Soh JW and Kim DW. (2014). Environmental factors on the development of root rot on ginseng caused by *Cylindrocarpon destructans*. Research in Plant Disease. 20:87-94.
- Lee SW, Park KH, Lee SH, Jang IB and Jin ML. (2016). Crop rotation in paddy soil exhibiting crop failure following replanting: Effect on soil chemical properties, soil microbial community and growth characteristics of 2-year-old ginseng. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 24:294-302.

- Lee SW, Park KH, Lee SH, Jang IB and Jin ML.** (2017). Effect of green manure crop cultivation on soil chemical properties and root rot disease in continuous cropping field of ginseng. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 25:1-9.
- Lim YW, Kim BK, Kim CM, Jung HS, Kim BS, Lee JH and Chun JS.** (2010). Assessment of soil fungal communities using pyrosequencing. *The Journal of Microbiology*. 48:284-289.
- National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST).** (2000). Methods of soil chemical analysis. Rural Development Administration. Suwon, Korea. p.89-93.
- Nelson EB, Kuter GA and Hoitink HAJ.** (1983). Effects of fungal antagonists and compost age on suppression of *Rhizoctonia* damping-off in container media amended with composted hardwood bark. *Phytopathology*. 73:1457-1462.
- Nguyen NL, Kim YJ, Hoang VA, Subramaniam S, Kang JP, Kang CH and Yang DC.** (2016). Bacterial diversity and community structure in Korean ginseng field soil are shifted by cultivation time. *PLoS ONE* 11:e0155055. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155055> (cited by 2018 Aug 1).
- Nicol RW, Yousef L, Traquair JA and Bernards MA.** (2003). Ginsenosides stimulate the growth of soilborne pathogens of American ginseng. *Phytochemistry*. 64:257-264.
- Park CS and Ohh SH.** (1981). Effect of crude ginseng saponin and raw ginseng juice on the growth of ginseng root rot organism, *Fusarium solani* and *Erwinia cartovora*. *Korean Journal of Plant Protection*. 20:1-5.
- Park JH, Seo YJ, Choi SY, Zhang YS, Ha SK and Kim JE.** (2011). Soil physico-chemical properties and characteristics of microbial distribution in the continuous cropped field with *Paeonia lactiflora*. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 44:841-846.
- Paulitz TC, Smith JD and Kidwell KK.** (2003). Virulence of *Rhizoctonia oryzae* on wheat and barley cultivars from the pacific northwest. *Plant Disease*. 87:51-55.
- Punja ZK, Wan A, Goswami RS, Verma N, Rahman M, Barasubiye T, Seifert KA and Levesque CA.** (2007). Diversity of *Fusarium* species associated with discolored ginseng roots in British Columbia. *Canadian Journal Plant Pathology*. 29:340-353.
- Rahman M and Punja ZK.** (2005). Factors influencing development of root rot on ginseng caused by *Cylindrocarpon destructans*. *Phytopathology*. 95:1381-1390.
- Shin HS, Lee HH and Lee MW.** (1986). Studies on the distribution of fungal and *Fusarium* spp. propagules in ginseng field soil. *Korean Journal of Mycology*. 14:109-119.
- Suh 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.
- Sun JM, Fu JF, Zhou RJ and Yan XR.** (2013). Antibiotic effects of four exogenous phenolic acids on soilborne pathogen, *Cylindrocarpon destructans*. *Applied Mechanics and Materials*. 295-298:2294-2299.
- Xu YH, Chi K, Zhang AH, Lei FJ, Yang H, Zhao Y, Li K, Wang EH, Li Q, Kim JS, Lee SH and Kim YC.** (2016). Chemotactic response study of *Cylindrocarpon destructans* towards ginseng root exudates. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 24:360-369.
- Yang SS, Kim CH and Nam KW.** (2000). Effect of soil salinity on the root growth and Fusarium disease of tomato and cucumber. *Plant Disease Research*. 6:71-75.
- Zanoelo FF, Polizeli MLTM, Terenzi HF and Jorge JA.** (2004). β -Glucosidase activity from the thermophilic fungus *Scytalidium thermophilum* is stimulated by glucose and xylose. *Federation of European Microbiological Societies Microbiology Letters*. 240:137-143.