



인삼 논재배 연작지에서 윤작물 재배가 토양화학성, 토양 미생물상 및 2년생 인삼의 생육에 미치는 영향

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

농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부

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

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

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

ABSTRACT

Background: Crop rotation plays an important role in improving soil chemical properties, minimizing the presence of disease pathogens, and assists in neutralizing autotoxic effects associated with allelochemicals.

Methods and Results: Five rotation crops of sudan grass, soybean, peanut, sweet potato, and perilla were cultivated for one year with an aim to reduce yield losses caused by repeated cropping of ginseng. In 2-year-old ginseng grown in the same soil as a previous ginseng crop, stem length and leaf area were reduced by 30%, and root weight per plant was reduced by 56%. Crop rotation resulted in a significant decrease in electrical conductivity, NO₃, and P₂O₅ content of the soil, whereas organic matter, Ca, Mg, Fe, Cu, and Zn content remained-unchanged. Soil K content was increased following crop rotation with sudan grass and peanut only. Rotation with all alternate crops increased subsequent ginseng aerial plant biomass, whereas root weight per plant significantly increased following crop rotation with perilla only. A significant positive correlation was observed between root rot ration and soil K content, and a significant negative correlation was observed between ginseng root yield and the abundance of actinomycetes. Crop rotation affected the soil microbial community by increasing gram negative microbes, the ratio of aerobic microbes, and total microbial biomass whereas decreases were observed in actinomycetes and the ration of saturated fatty acids.

Conclusions: In soil exhibiting crop failure following replanting, crop rotation for one year promoted both soil microbial activity and subsequent ginseng aerial plant biomass, but did not ameliorate the occurrence of root rot disease.

Key Words: *Panax ginseng* C. A. Meyer, Replant Failure, Root Rot Disease, Rotation Crop, Soil Chemical Property

서 언

인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer)은 수확 후 10년이 경과된 포장에서도 연작하면 뿌리썩음병이 발생하여 연작장해가 심한 작물로 알려져 있는데 (Kang *et al.*, 2007), 이는 뿌리썩음병원균 (*Cylindrocarpon destructans*, *Fusarium solani*)이 단단한 후벽포자를 만들어 인삼을 재배하지 않는 토양에서도 10년 이상 생존할 수 있기 때문이다 (Cho *et al.*, 1998).

인삼의 연작장해는 주로 뿌리썩음병에 의한 결주 증가 때문에 일어나는데 (Kang *et al.*, 2007; Rahman and Punja, 2005), 연작함에 따라 염류축적 등 토양 이화학성이 악화되며, 토양미생물상의 단순화로 병원성 미생물이 증가되고 감자썩이 선충 등에 의한 피해가 증가되어 뿌리썩음병에 의한 결주가 늘어나게 된다 (Lee *et al.*, 1989; Shin *et al.*, 1986; Yang *et al.*, 2000). 또한 인삼 뿌리에서 분비되는 페놀화합물 (phenolic compound)이 뿌리썩음병원균의 병원성을 증가시키

[†]Corresponding author: (Phone) +82-43-871-5541 (E-mail) leesw@korea.kr

Received 2016 July 6 / 1st Revised 2016 July 25 / 2nd Revised 2016 August 5 / 3rd Revised 2016 August 9 / Accepted 2016 August 9

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.

거나 인삼의 생육을 억제하여 (autotoxicity) 연작장해 발생이 증가하게 된다 (Sun *et al.*, 2013).

Chung 등 (1989)에 의하면 고추, 참깨, 땅콩을 연작할수록 토양산도가 감소하고 토양경도나 가비중은 증가하여 토양환경이 불량해졌으며, 세균/사상균의 비율이 감소된다고 하였다. 작약을 연작할수록 토양의 세균과 방선균 밀도는 감소하고 사상균의 밀도는 증가되어 (Park *et al.*, 2011) 연작에 따라 토양 미생물상은 크게 변화되는 특징을 보인다.

그동안 인삼의 연작장해를 경감하기 위한 다양한 방법들이 개발되었다. 현재 일부 농가에서 훈증제를 이용한 토양소독, 작토층을 깎아내는 절토, 50 cm 정도의 복토, 표토와 심토를 뒤집는 심토반전 등이 이용되고 있다. 토양훈증 방법은 뿌리썩음병원균을 사멸시킬 수 있는 가장 확실한 방법이나 토양수분이 적으면 가스 발생이 적어지고 점질토양에서는 흙덩이 발생으로 완전한 살균이 어려운 단점이 있다 (Ahn *et al.*, 1982). 토양훈증, 절토, 복토 및 심토반전은 소규모 면적에서 활용할 수 있으나 대규모 면적에는 처리비용 부담과 작업 부주의로 인한 재오염 문제가 발생할 수 있어 널리 확대되지는 못하고 있는 실정이다.

연작장해를 경감하기 위한 경종적 방법으로는 4-5년간의 벼 재배와 10년 이상의 윤작물 재배 등이 있다. 4-5년간 벼 재배는 토양병원균의 밀도를 낮출 수 있어 효과적이거나 4년근 이상 재배하면 병 발생이 많아지는 단점이 있으며, 논토양은 배수 불량이나 벼 재배시 사용한 화학비료 등으로 생리장해 발생이 많아 재배면적 확대에는 한계가 있다 (Lee *et al.*, 2015c).

윤작에 의한 식물병해 억제 연구에서 인삼의 뿌리썩음병 감소에는 치커리, 열무, 네마장황, 파 재배가 효과적이었으며 (Lee *et al.*, 2015b), *Pythium ultimum*의 유주자낭 발아와 균사생장 억제에는 목단, 자리공, 대황의 추출물이 효과적이었다 (Park and Oh, 1990). Basil, cumin 및 rose geranium의 정유 성분은 *Fusarium* spp.에 의해 일어나는 cumin의 뿌리썩음병을 억제하였다 (Hashem *et al.*, 2010).

일반적으로 인삼을 재배하기 전 토양의 물리성과 화학성을 개선하기 위해 녹비작물을 재배하여 1-2년간 예정지관리를 한다. 이 때 수단그라스, 호밀과 같은 녹비작물을 재배하여 부족한 양분을 공급해주거나 과잉의 양분을 빼내기도 하며, 콩, 고구마 등과 같은 윤작물을 재배하여 부수적으로 농가소득을 올리는 경우도 있다. 그러나 윤작물 재배에 따른 토양의 이화학적 특성과 미생물상의 변화, 그리고 인삼의 수량성, 뿌리썩음병 억제 효과 등에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 6년근 인삼을 수확한 연작지에서 윤작물 1년 재배가 토양 이화학적 특성과 미생물상 및 인삼 생육과 뿌리썩음병 발생에 미치는 영향을 구명하기 위해 본 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

1. 시험토양 및 포장 관리

본 실험은 충북 음성에 위치한 국립원예특작과학원 인삼특작부 논재배 시험포장에서 2008년 3월부터 2014년 11월까지 수행되었다. 논토양의 토성은 사촌통이었고 배수등급은 인삼 재배가 가능한 ‘배수약간불량지’이었다. 계절별 지하수위는 여름 장마철에 평균 28 cm, 봄가을 갈수기에 평균 71 cm를 나타내어 장마철에는 지하수위가 상승하여 토양수분이 다소 많아지나 봄가을철에는 적절한 토양수분을 나타내는 포장이었다.

초작지 시험포장은 2006년까지 매년 벼를 재배한 포장이었으며, 2007년 5월 녹비작물로 수단그라스를 파종하여 예정지관리를 한 다음 2008년 3월 하순 자경종 묘삼을 7행 10열 (70주/3.3 m²)로 이식하였다. 토양화학성은 표 1과 같이 토양산도가 다소 낮고 유기물과 양이온이 약간 부족한 토양이었으나 인삼재배가 가능한 토양이었다.

해가림 방식은 A-1형이었고 해가림 피복물은 청색 차광지를 사용하였으며, 고온기에 흑색 2중직 차광망을 추가로 피복하여 고온장해를 예방하였다. 기타 관리방법은 인삼 표준경작법에 준하였다 (RDA, 2014).

2. 인삼 수확후 윤작물 재배

2012년 10월 하순 논재배 포장에서 6년근 인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer)을 수확한 다음 2013년에 수단그라스, 콩, 땅콩, 고구마, 들깨 등 5종의 윤작물을 1년간 재배하였다. 2014년 3월 하순 2년생 자경종 묘삼을 7행 10열로 이식하였다. 윤작물 재식밀도는 콩 (대원콩), 들깨 (다유들깨), 고구마 (올미)의 경우 조건 26 × 주간 30 cm 이었으며, 땅콩 (일평땅콩)의 경우 조건 15 × 주간 18 cm 이었다. 윤작물 파종은 수단그라스 5월 상순, 콩 5월 하순, 땅콩 4월 하순이었다. 고구마는 5월 하순 육묘한 순을 정식하였으며, 들깨는 5월 중순, 어린 묘를 정식하였다. 수단그라스는 8월 하순에 지상부 건물중을 조사하였고 콩, 땅콩, 들깨는 9월 상순에 조사하였다. 수단그라스는 재배 후 관행의 방법대로 모든 식물체를 토양에 환원했으며, 콩, 땅콩, 들깨, 고구마는 지상부와 지하부 모든 식물체를 수확하여 토양에 환원하지 않았다.

3. 인삼 생육특성 조사

초작지와 연작지에서 인삼의 생육특성을 조사하기 위해 2년생 인삼의 지상부 생육특성은 2008년 6월 하순에, 지하부 생육특성은 10월 하순에 조사하였으며, 연작지에서는 2013년 6월 하순과 10월 하순에 각각 조사하였다.

6년근 인삼을 수확한 연작지에서 윤작물을 1년 재배 후 인삼의 생육 및 뿌리썩음병 발생을 조사하기 위해 2년생 인삼의 지상부 생육은 2014년 6월 하순에, 지하부 생육은 2014년

10월 하순에 조사하였다. 인삼 지하부의 이병주율은 고사된 개체와 이병된 개체를 합하여 재식주수로 나누어 구했다. 시험구 배치는 난괴법 3반복이었고 시험구 면적은 반복당 6.6 m² 이었다.

4. 토양 이화학성 분석

인삼 재배 전과 수확 후의 토양이화학성을 분석하기 위해 재배 전 토양은 2008년 3월 하순에, 수확후 토양은 2012년 10월 하순에 각각 채취하였다. 토양화학성 분석을 위한 토양시료 채취는 윤작물을 수확하고 난 다음 10월 하순에 하였다. 토양화학성 분석방법은 토양시료를 풍건하여 분쇄 후 20 mesh (2 mm)체를 통과한 다음 유발에 미세하게 갈아 분석용으로 사용하였다. pH, EC, 유기물, 유효인산 및 K, Ca, Mg은 농촌진흥청 토양화학분석법 (NIAS, 2000)에 준하였다. 치환성 양이온 분석은 시료 10 g을 100 ml 삼각플라스크에 평량하고 침출액 (0.1 N HCl) 50 ml 을 첨가한 다음 항온 수조 30°C에서 1시간 진탕 후 Toyo No. 5B로 여과하여 ICP-OES (Intergra XMP, GBC Scientific Equipment, Braeside, Australia)로 측정했다.

5. 인지질 지방산 (Phospholipid fatty acid, PLFA) 분석

토양시료는 윤작물을 재배하고 난 다음 2013년 10월 하순에 채취하였다. 동결건조하여 냉동보관한 토양시료에서 인지질 지방산을 추출한 후 토양 미생물상을 분석하였다. 토양시료 4 g에 chloroform (4 ml), methanol (8 ml), buffer solution (3.2 ml, pH 7.4)을 혼합하여 지질을 추출한 다음 silicic acid column을 이용하여 neutral-lipid, glyco-lipid 및 phospho-lipid로 분리하였다. 이 중에서 인지질을 메틸화한 지방산에 fatty acid methyl ester 19:0를 내부표준물질로 넣은 다음 MIDI Sherlock Microbial Identification System (MIDI Inc., Newark, DE, USA)으로 지방산을 분석하였다. 각 인지질 지방산의 값은 150 ng/μl 농도를 내부표준물질을 각 시료당 50 μl 넣어 계산하였다. 전체 PLFA 중에서 주요 지표 지방산은 아래 지방산 분석 지표들을 이용하여 지방산을 분류하였다. 단불포화 지방산은 16:1 ω5c, 17:1 ω8c, 18:1 ω7c, 포화 지방산은 14:0, 15:0, 16:0, 17:0, 18 : 0, 20:0을 지표

지방산으로 이용하였다. 그람 음성균의 지표 지방산은 18:1 ω7c, 19:0cy ω8c, 17:1 ω8c, 그람 양성균은 i14:0, i15:0, a15:0, i16:0, i17:0, a17:0, 세균은 그람 음성균과 양성균에 대한 지표 지방산을 모두 이용하였다. 곰팡이는 18:1 ω9c, 18:2 ω6c를, 방선균은 10Me16:0, 10Me17:0, TBSA10 Me18:0를, 균근균은 16:1 ω5c를 이용하였다.

6. 통계분석

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

결과 및 고찰

1. 초작과 연작에 따른 토양 이화학성 및 2년생 인삼의 생육 특성 비교

논토양에서 인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer) 재배 전과 6년근 인삼 수확 후 토양의 이화학적 특성을 비교한 결과는 Table 1과 같다. 인삼 재배 후 토양산도는 약간 저하되었으나 유의적인 차이를 보이지 않았다. 일반적으로 배수가 불량한 환원조건 (벼 재배)에서 배수가 양호한 산화조건 (인삼재배)으로 토양환경이 바뀌면 수소이온 (H⁺)의 생성이 늘어나 pH가 감소한다 (Kim *et al.*, 1989; Ryu and Kim, 2000).

인삼 재배 후 질산태 질소는 91% 감소하여 가장 큰 감소폭을 보였고, 칼륨과 염류농도도 각각 48, 47% 감소하여 비교적 큰 감소폭을 보였다. 그 외 칼슘과 인산은 각각 18%, 11% 감소하여 약간 감소되는 특징을 보였으며, 유기물 함량은 변화가 없었고 마그네슘 함량도 5% 증가되는 수준에 그쳤다. 보통 6년근 재배 인삼의 10 a당 3요소 흡수량은 질소 14.27 kg, 인산 1.54 kg, 칼륨 11.81 kg으로 질소와 칼륨의 흡수량이 많은데 (Park *et al.*, 2012), 본 실험에서도 인삼 재배 후 질소와 칼륨은 뚜렷이 감소되었으나 인산은 크게 감소되지 않은 특징을 보였다. 따라서 인삼을 재작하고자 할 때에는 질소와 칼륨의 적절한 공급이 필요할 것으로 보인다.

논토양에서 초작 (쳐녀재배)과 6년근 인삼 수확 후 연작에

Table 1. Changes of soil chemical properties by pre-cultivation and post-cultivation of 6-year-old ginseng in paddy field.

Investigation stage	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
Pre-cultivation	4.92a	0.70a	11.1a	48.3a	85.9a	0.25a	2.92a	0.96a
Post-cultivation	4.73a	0.37b	11.1a	4.4b	76.8b	0.13b	2.40b	1.01a
IDR (%) ¹⁾	-3.9	-47.1	0.0	-90.9	-10.6	-48.0	-17.8	5.2

*Mean with same letters are not significantly different in DMRT (p < 0.05). ¹⁾IDR; Increase or decrease ratio. Collection date of soil sample; March 2008 and October 2012, respectively.

Table 2. Comparison of growth characteristics of 2-year-old ginseng cultivated at first planted field and replanted field in paddy soil.

Cultivation stage	Stem length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Ratio of survived aerial part (%)	Ratio of survived root (%)	Root length (cm)	Root weight (g/plant)	Root yield (g/3.3 m ²)
First planted field	5.6a	7.3a	3.5a	73.8a	90.5a	20.5a	3.64a	254.7a
Replanted field	3.8b	4.8b	2.6b	49.6b	57.1b	16.2b	1.59b	51.3b
IDR (%) ¹⁾	-32.1	-34.2	-25.7	-32.8	-36.9	-21.0	-56.3	-79.9

*Mean with same letters are not significantly different in DMRT ($p < 0.05$). ¹⁾IDR; Increase or decrease ratio. Investigation date; October 2008 and 2013, respectively.

따른 2년생 인삼의 생육과 수량성을 비교한 결과 (Table 2) 인삼을 연작함에 따라 지상부 및 지하부 생육은 크게 감소되었는데, 감소 정도를 보면 경장, 엽장, 엽폭 등 지상부 생육은 30% 내외로 감소되어 감소폭이 상대적으로 크지 않았으나 근수량성은 80% 감소되었고 주당근중은 56% 감소되어 큰 감소폭을 보였다. 지상부 생존율과 지하부 생존율은 각각 33%, 37% 감소되었고 근장도 21% 감소되었는데, 주당근중이나 근수량성의 감소폭 보다는 작았다. 이와 같이 연작지에서 수량이 감소되는 원인은 엽장, 엽폭 등 엽면적의 감소와 조기낙엽과 같은 지상부 생존을 저하로 광합성량이 감소되어 뿌리의 비대가 약해지고 뿌리썩음병으로 인한 결주로 지하부 생존율이 감소하여 수확주수가 크게 감소하였기 때문으로 보인다. 본 실험에서 6년근 인삼 수확후 연작할 때 유기물 시용 등 시비를 전혀 하지 않아 질소와 칼륨 등이 적정치보다 상당히 부족한 상태였는데 (Table 1), 이로 인해 경장, 엽장과 엽폭이 감소되었다고 볼 수도 있으나 다른 한편으로는 연작으로 페놀산 (phenolic acid)과 같은 생육억제물질이 축적되어 경장, 엽장과 엽폭이 감소되었다고 볼 수 있기 때문에 (Lee *et al.*, 2012; Suh and Lee, 1993), 향후 이에 대한 보완적 시험이 필요할 것으로 보인다.

2. 연작지에서 윤작물 재배에 의한 토양 이화학성의 변화

논토양에서 6년근 인삼 수확후 유기물이나 화학비료를 전혀 사용하지 않고 1년간 윤작물을 재배한 다음 토양이화학성의 변화를 조사한 결과는 Table 3과 같다. 수단그라스는 식물체 전체를 토양에 환원하였으며, 땅콩, 고구마는 지하부를 수확하고 콩, 들깨는 지상부를 수확하여 윤작물 모두 식물체를 토양에 환원하지 않았다.

토양산도는 윤작물 재배에 따라 약간 증가되는 경향을 보였으나 처리 간에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 염류농도는 윤작물 재배에 따라 뚜렷이 감소하였는데, 감소율은 땅콩 51%, 들깨 46%, 콩 38%, 수단그라스 27%, 고구마 19%로 땅콩의 감소폭이 가장 크고 고구마의 감소폭이 가장 적었다. Yang 등 (2011)도 시설재배지에서 네마장황, 콩, 수수, 하우스솔고 등 4종의 녹비작물을 재배하여 토양에 환원한 결과 토양

산도가 증가하였으며, 염류농도는 평균 44% 감소하였다고 하였다.

유기물 함량은 콩, 수단그라스의 경우 각각 10%, 8% 증가되었고 고구마, 땅콩, 들깨는 각각 7%, 5%, 2% 감소되어 큰 변화를 보이지 않았다. 질산태 질소는 식물체를 토양에 환원해준 수단그라스의 경우 318% 증가되었으며, 식물체를 토양에 환원해 주지 않은 윤작물의 경우 고구마는 70%, 콩은 57%, 땅콩은 7% 증가되었으나 들깨는 73% 감소되었는데, 수단그라스만 무처리와 유의적인 차이를 보였고 나머지 윤작물은 유의적인 차이를 보이지 않았다. Yang 등 (2011)은 4종의 녹비작물을 재배하여 토양에 환원한 결과 질산태질소는 42-76% 감소되었다고 하였다.

유효인산은 윤작물 재배에 따라 모두 감소되었는데, 콩 30%, 고구마 24%, 땅콩 23%, 들깨 19%, 수단그라스 14% 감소되어 콩의 감소폭이 가장 컸다.

칼륨의 경우 윤작물 재배에 따라 수단그라스는 31%, 땅콩은 15% 증가되었으나 고구마는 46%, 콩은 31%, 들깨는 23% 감소되어 칼륨의 탈비에는 고구마가 가장 효과적이었다. Yang 등 (2011)도 칼륨은 녹비작물에 따라 증가되거나 감소되어 일정한 경향을 보이지 않았다고 하였다.

질산태 질소, 인산, 칼륨은 전작물 (前作物) 재배시 가축분 퇴비나 화학비료를 과용했을 때 토양에 잔류하여 인삼에 염류장해 (황증, 적변 등)를 유발하는데 (Jang *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2015), 과잉의 양분을 탈비하기 위해서는 식물체를 토양에 환원하는 수단그라스 재배보다 콩, 고구마, 들깨 재배가 더 효과적이었다.

칼슘은 윤작물 재배에 따라 모두 약간씩 감소되었는데, 들깨는 12%, 수단그라스는 10%, 콩은 8%, 땅콩은 6%, 고구마는 3% 감소되어 그 감소폭은 작았으며, 윤작물 간에도 유의적인 차이를 보이지 않았다. 마그네슘의 경우 수단그라스는 25%, 고구마는 10% 증가되었고 콩은 26%, 들깨는 20%, 땅콩은 7% 감소되어 윤작물에 따라 서로 다른 양상을 보였다. Yang 등 (2011)도 칼슘과 마그네슘은 녹비작물의 종류에 따라 유의적인 차이를 보이지 않았다고 하였다.

철분의 경우 들깨는 6%, 콩은 5% 증가하였으나 통계적 유

Table 3. Changes of soil chemical properties by the cultivation of rotation crop for one year after harvest of 6-year-old ginseng in paddy soil.

Rotation crops	pH (1 : 5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	NO ₃ (mg/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. Cation (cmol ⁺ /kg)						
						(mg/kg)						
						K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Control	4.73a (100)	0.37a (100)	11.1ab (100)	4.4b (100)	76.8a (100)	0.13abc (100)	2.40a (100)	1.01ab (100)	180.0ab (100)	10.44a (100)	1.33ab (100)	1.01a (100)
Sudan grass	4.95a (105)	0.27ab (73)	12.0ab (108)	18.4a (418)	66.3ab (86)	0.17a (131)	2.17ab (90)	1.26a (125)	158.7ab (88)	8.17ab (78)	1.59ab (120)	0.95a (94)
Soybean	4.76a (101)	0.23b (62)	12.2a (110)	6.9b (157)	54.1c (70)	0.09bcd (69)	2.21ab (92)	0.75b (74)	189.4a (105)	10.68a (102)	2.07a (156)	1.07a (106)
Peanut	4.93a (104)	0.18b (49)	10.6ab (95)	4.7b (107)	59.1bc (77)	0.15ab (115)	2.26ab (94)	0.94ab (93)	149.4b (83)	6.57b (63)	1.35ab (102)	1.01a (100)
Sweet potato	4.80a (101)	0.30ab (81)	10.3b (93)	7.5b (170)	58.3bc (76)	0.07d (54)	2.33ab (97)	1.11ab (110)	172.3ab (96)	7.81b (75)	1.44ab (108)	1.01a (100)
Perilla	4.75a (100)	0.20b (54)	10.9ab (98)	1.2b (27)	62.3bc (81)	0.10cd (77)	2.10b (88)	0.81ab (80)	191.5a (106)	8.45ab (81)	1.04b (78)	0.98a (97)

*Mean with same letters are not significantly different in DMRT ($p < 0.05$). Collection date of soil sample; October 2013.

의성은 없었으며, 땅콩은 17%, 수단그라스는 12%, 고구마는 4% 감소되었으나 유의성은 없었다. 망간의 경우 콩을 제외하고 모두 감소되었는데, 땅콩은 37%, 고구마는 25%, 수단그라스는 22%, 들깨는 19% 감소되어 무처리와 유의적인 차이를 보였다. 구리의 경우 들깨는 22% 감소되고 나머지 윤작물은 증가되었는데, 무처리와 유의적인 차이가 없었다. 아연의 경우 윤작물에 따라 약간의 증감을 보였으나 유의적인 차이가 없었다.

윤작물별 무기양분의 증감정도를 종합해 보면 수단그라스 재배는 질산태 질소 318%, 칼륨 31%, 마그네슘 25% 증가되고 염류농도 27%, 유효인산 14%, 망간 22% 감소되는 효과를 보였다. 콩 재배는 질산태 질소 57% 증가되고 염류농도 38%, 유효인산 30%, 칼륨 31%, 마그네슘 26% 감소되는 효과를 보였다. 땅콩 재배는 칼륨 15% 증가되고 염류농도 51%, 유효인산 23%, 망간 37% 감소되는 효과를 보였다. 고구마 재배는 질산태 질소 70% 증가되고 유효인산 24%, 칼륨 46%, 망간 25% 감소되는 효과를 보였다. 들깨 재배는 유의적으로 증가되는 양분은 없었고 염류농도 46%, 질산태 질소 73%, 유

효인산 19%, 칼륨 23%, 마그네슘 20%, 망간 19%, 구리 22% 감소되는 효과를 보였다.

3. 연작지에서 윤작물 재배에 의한 토양 미생물상의 변화

6년근 인삼 수확후 1년간 윤작물을 재배한 다음 토양의 미생물 함량을 분석한 결과는 Table 4와 같다. 토양의 그램 음성균과 그램 양성균의 비율은 윤작물 재배구에서 모두 무처리보다 유의적으로 증가하였다. 그램 음성균은 신선 유기물이 투입된 토양에서 우세하고 분해가 진전됨에 따라 번성하는데 (Kramer and Gleixner, 2008), Kim과 Lee (2011)도 청보리 녹비투입으로 그램 음성균이 증가되었다고 하였다.

호기성/혐기성 미생물의 비율과 포화/불포화 지방산의 비율은 윤작물을 재배하면 모두 유의적으로 증가되었다. Bossio와 Scow (1998)에 의하면 토양에 유기물이 투입되면 불포화 지방산 함량이 증가된다고 하였는데, 본 시험에서도 윤작물을 재배함에 따라 불포화 지방산 함량이 증가되어 포화/불포화 지방산의 비율이 감소된 것으로 보인다. Kim과 Lee (2011)도 청보리 녹비투입으로 호기성/혐기성 미생물의 비율이 감소되

Table 4. Comparison of soil microbial communities by rotating crop cultivation after harvesting 6-year-old ginseng in paddy field.

Rotation crops	G-/ + ¹⁾				(pmol/soil g)					
	A/AA	S/US	F/B	F	B	A	VAM	TMB		
Control	0.487c	0.354b	4.357a	0.036c	227.6b	4,751ab	447.5a	328.8ab	10,558b	
Sudan grass	0.640ab	0.587a	3.044b	0.076ab	531.0a	6,992a	258.0d	435.1a	16,454a	
Soybean	0.631ab	0.553a	2.960b	0.040c	265.3b	6,692a	334.7c	436.3a	15,109ab	
Peanut	0.602ab	0.555a	3.172b	0.056bc	324.3b	5,719ab	398.6b	360.6ab	12,986ab	
Sweet potato	0.576b	0.591a	3.085b	0.049bc	322.1b	6,454a	224.5d	418.2ab	14,917ab	
Perilla	0.673a	0.581a	3.145b	0.098a	509.0a	4,652b	385.7b	302.1b	11,041b	

*Mean with same letters are not significantly different in DMRT ($p < 0.05$). ¹⁾G-/ +; Gram negative microbes/Gram positive microbes, A/AA; Aerobic microbes/Anaerobic microbes, S/US; Saturated fatty acids/Unsaturated fatty acids, F/B; Fungi/Bacteria, F; Fungi, B; Bacteria, A; Actinomycetes, VAM; Vascular arbuscular mycorrhiza, TMB; Total microbial biomass.

었다고 하였다.

곰팡이는 윤작물을 재배하면 모두 증가되었는데, 수단그라스와 들깨에서 유의적인 차이를 보였다. 세균은 윤작물을 재배하면 들깨를 제외하고 모두 증가되었는데, 수단그라스, 콩, 고구마에서 유의적인 차이를 보였다. 곰팡이/세균의 비율은 윤작물을 재배하면 모두 증가되었는데, 수단그라스와 들깨에서 유의적으로 증가하였으며, 이는 수단그라스와 들깨에서 곰팡이의 증가 정도가 컸기 때문이었다. 방선균은 윤작물을 재배하면 모두 유의적으로 감소되었다.

균근균은 윤작물을 재배하면 들깨 재배구를 제외하고 모두 증가되었으나 유의적인 차이는 없었다. Kim과 Lee (2011)는 녹비작물 재배구 모두 무처리보다 균근균의 구성비율이 증가되었다고 하였다. 총미생물 생체량은 윤작물을 재배하면 모두 증가되었으며, 수단그라스에서 가장 크게 증가되었는데, 이는 수단그라스 식물체를 토양에 환원해 주었기 때문으로 보인다.

위 결과를 요약해 보면 윤작물 재배에 의해 그램 음성균, 곰팡이, 세균, 총미생물 생체량, 호기성/혐기성 미생물의 비율이 증가되었으며, 방선균과 포화/불포화 지방산의 비율이 감소하였다.

4. 연작지에서 재배한 윤작물의 수량성

6년근 인삼 수확후 유기물이나 화학비료를 전혀 사용하지 않고 재배한 윤작물의 생육 및 수량성을 조사한 결과는 Table 5와 같다. 각 윤작물의 초장을 보면 수단그라스 230 cm, 콩 101 cm, 땅콩 52 cm, 들깨 128 cm로 정상적인 생육을 보였다. 개화기 무렵의 지상부 생육최정기에 10 a당 지상부 건물중은 수단그라스가 2,223 kg으로 가장 많았고 고구마, 들깨, 땅콩, 콩 순서로 작았다.

10 a당 콩 종실중은 232 kg으로 전국 11개 지역의 3년간 평

균 수량성 271 kg/10 a 보다 다소 적었다 (Kim *et al.*, 2014). 땅콩의 종실중은 540 kg/10 a으로 전국 6개 지역의 3년간 평균 수량성 447 kg/10 a 보다 다소 많았다 (Pae *et al.*, 2013). 들깨의 종실중은 183 kg/10 a으로 전국 5개 지역의 3년간 평균 수량성 144 kg/10 a 보다 다소 많았다 (Lee *et al.*, 2011). 고구마의 생체 괴근중은 1,681 kg으로 전국 5개 지역의 2년간 평균 수량성 1,630 kg/10 a과 비슷한 수량성을 보였다 (Lee *et al.*, 2015a). 이와 같이 콩은 전국 평균수량보다 약간 작았고 땅콩과 들깨는 다소 많았으며, 고구마는 비슷한 수량을 보였는데, 이는 논토양 특성상 발토양보다 비옥하고 토양수분이 적절해 한발의 영향이 적었기 때문으로 판단된다.

5. 연작지에서 윤작물 재배에 따른 2년생 인삼의 생육 및 뿌리썩음병 발생율

논토양에서 6년근 인삼 수확후 1년간 윤작물을 재배한 다음 재작한 2년생 인삼의 생육특성을 조사한 결과 (Table 6) 초장, 경장, 엽장, 엽폭 등 지상부 생육은 윤작물을 재배했을 때 무처리에 비해 모두 증가되는 결과를 보였는데, 엽장에서만 유의적인 차이가 인정되었다. 경직경은 콩, 땅콩 재배구가 가장 크고 고구마 재배구에서 가장 작았는데, 고구마 재배구에서만 무처리와 유의적인 차이를 보였다. 지상부 생존율은 콩 재배구에서 가장 높고 고구마 재배구에서 가장 낮았는데, 모두 무처리와 유의적인 차이는 없었다.

Table 2에서와 같이 인삼을 연작함에 따라 초작지보다 대체로 토양의 무기양분이 감소하였고 지상부 생육은 뚜렷이 억제되었다. 그러나 표 5에서와 같이 연작지에서 윤작물을 1년간 재배하면 대조구 (연작지 무처리) 보다 무기양분이 부족한 토양조건이 되어도 인삼의 지상부 생육은 억제되지 않고 오히려 증가되었다. Kang 등 (2007)도 인삼 연작지에서 수단그라스를 1년간 재배한 다음 인삼을 재배했을 때 토양의 무기성분은 다소 감소했지만 2년생 인삼의 초장, 엽장, 엽폭은 대조구보다 증가되었다고 하였다.

이와 같은 사실을 고려했을 때 작물을 연작하면 동종의 생육을 억제하는 물질 (alleochemicals)이 존재하며 (Lee *et al.*, 2012; Suh and Lee, 1993), 윤작물을 재배함에 따라 생육억제물질이 감소되거나 토양 미생물상이 개선되어 자가중독 (autotoxicity) 증상이 완화되는 것으로 보이는데 (Farooq *et al.*, 2011; Kang *et al.*, 2007), 향후 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

논 연작지에서 1년간 윤작물 재배에 따른 2년생 인삼의 지하부 생육 및 뿌리썩음병 발생율을 조사한 결과 (Table 7) 지하부 생존율은 고구마 재배구가 가장 높고 수단그라스 재배구가 가장 낮았는데, 무처리와 유의적인 차이를 보이지 않았다. 근장과 동체직경은 들깨 재배구가 가장 크고 땅콩 재배구가 가장 작았으나 무처리와 유의적인 차이를 보이지 않았다. 주

Table 5. Growth characteristics and yield of rotation crops cultivated after harvest of 6-year-old ginseng in paddy soil.

Rotation crops	Plant height (cm)	Stem diameter (cm)	Moisture contents of plant (%)	Dry weight of aerial part (kg/10 a)	Yield (kg/10a)
Sudan grass	230a	0.81b	64.9c	2,223a	-
Soybean	101c	1.02a	76.4a	251d	232c
Peanut	52d	0.46c	66.7c	268d	540b
Sweet potato	-	-	70.0b	658b	1,681a
Perilla	128b	1.11a	66.4c	422c	183d

*Mean with same letters are not significantly different in DMRT ($p < 0.05$). Variety of crops; soybean (Daewon), peanut (Ilpyeong), sweet potato (Yulmi), perilla (Dayu). Investigation date; sudan grass (Autumn 24), other crops (September 10). Yield; sweet potato (fresh tuber weight), other crops (seed weight).

Table 6. Growth characteristics of aerial part of 2-year-old ginseng replanted at paddy soil where cultivated rotation crops for one year after harvest of 6-year-old ginseng.

Rotation crops	Plant height (cm)	Stem length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (cm)	Ratio of survived aerial part (%)
Control	12.9a	3.8a	4.8b	2.6a	1.67a	49.6ab
Sudan grass	13.6a	4.1a	5.0ab	2.8a	1.62ab	53.9ab
Soybean	14.1a	4.5a	5.4a	2.8a	1.70a	66.2a
Peanut	14.4a	4.7a	5.3a	2.9a	1.70a	56.1ab
Sweet potato	13.2a	3.9a	5.1ab	2.8a	1.43b	47.1b
Perilla	14.2a	4.1a	5.3a	2.8a	1.61ab	57.4ab

*Mean with same letters are not significantly different in DMRT ($p < 0.05$).

당근중은 들깨 재배구가 무처리보다 유의적으로 뚜렷이 증가되었으며, 수단그라스와 콩 재배구는 증가되었고 땅콩과 고구

마 재배구는 감소되었으나 통계적 유의성은 없었다. 적변율은 윤작물 처리간에 유의적인 차이가 없었다. 수량성은 주당근중이 무거운 들깨 재배구에서 높았으나 무처리와 유의적인 차이를 보이지 않았다.

인삼뿌리의 이병주율은 고구마 재배에서 약간 감소되고 수단그라스, 땅콩, 들깨 재배에서 다소 증가되었는데, 윤작물 모두 무처리와 유의적인 차이를 보이지 않았다. 따라서 연작지에서 윤작물을 1년간 재배하여도 인삼뿌리썩음병 억제에는 유의적인 효과를 나타내지 않았다. Kang 등 (2007)도 인삼 수확 후 3 - 10년 경과된 포장에서 수단그라스를 1년간 재배하여 2년생 인삼의 뿌리썩음병 발생율을 조사한 결과 무처리와 유의적인 차이를 보이지 않았다고 하였다.

6. 연작지에서 토양 이화학성, 미생물상과 뿌리썩음병 발생율과의 상관관계

논토양에서 1년간 윤작물 재배 후 연작한 2년생 인삼의 뿌리썩음병 발생율과 토양이화학성과의 상관관계를 분석한 결과

Table 7. Root growth and root rot disease of 2-year-old ginseng replanted at paddy soil where cultivated rotation crops for one year after harvest of 6-year-old ginseng.

Rotation crops	Ratio of survived root (%)	Root length (cm)	Taproot diameter (mm)	Root weight (g/plant)	Ratio of rusty root (%)	Root yield (g/3.3 m ²)	Ratio of root rot (%)
Control	57.1ab	16.2ab	7.02ab	1.59b	67.7a	51.3a	44.8ab
Sudan grass	42.4b	15.4ab	7.22ab	1.90b	41.0a	53.1a	67.8a
Soybean	69.5ab	15.4ab	7.59a	1.77b	62.2a	67.4a	42.6ab
Peanut	46.8b	13.4b	6.05b	1.34b	73.6a	46.0a	57.2a
Sweet potato	81.8a	16.1ab	7.06ab	1.26b	57.8a	52.4a	22.6b
Perilla	54.2ab	16.4a	7.85a	2.62a	56.9a	82.3a	48.2ab

*Mean with same letters are not significantly different in DMRT ($p < 0.05$). Ratio of root rot; (withered plant+diseased plant) / planted number \times 100.

Table 8. Correlation coefficients between soil chemical properties and the ratio of root rot disease in 2-year-old ginseng replanted at paddy soil where cultivated rotation crops for one year after harvest of 6-year-old ginseng.

	RRD ¹⁾	pH	EC	OM	NO ₃	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
RRD ¹⁾	1.000												
pH	0.519	1.000											
EC	-0.193	-0.362	1.000										
OM	0.614	0.071	-0.012	1.000									
NO ₃	0.527	0.656	0.185	0.529	1.000								
P ₂ O ₅	0.328	-0.148	0.707	-0.029	0.057	1.000							
K	0.849*	0.716	-0.053	0.287	0.505	0.460	1.000						
Ca	-0.508	-0.220	0.738	-0.367	-0.126	0.425	-0.099	1.000					
Mg	0.248	0.576	0.475	-0.071	0.762*	0.403	0.467	0.260	1.000				
Fe	-0.284	-0.909**	0.150	0.211	-0.474	-0.020	-0.676	-0.165	-0.617	1.000			
Mn	-0.023	-0.713	0.495	0.583	-0.103	0.273	-0.274	0.195	-0.358	0.736	1.000		
Cu	0.014	0.059	0.017	0.714	0.433	-0.434	-0.105	0.034	-0.106	0.070	0.464	1.000	
Zn	-0.553	-0.486	-0.046	0.135	-0.432	-0.451	-0.559	0.311	-0.675	0.388	0.498	0.607	1.000

*. **Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. ¹⁾RRD; Ratio of root rot disease.

Table 9. Correlation coefficients between soil microbial community and the ratio of root rot disease in 2-year-old ginseng replanted at paddy soil where cultivated rotation crops for one year after harvest of 6-year-old ginseng.

	RRD ¹⁾	RY	G-/+	A/AA	S/US	F/B	F	B	A	VAM	TMB
RRD ¹⁾	1.000										
RY	0.042	1.000									
G-/+	0.353	0.617	1.000								
A/AA	0.020	0.274	0.847*	1.000							
S/US	-0.028	-0.276	-0.858*	-0.981**	1.000						
F/B	0.441	0.220	0.850*	0.870*	-0.812*	1.000					
F	0.479	0.054	0.752	0.833*	-0.781*	0.958**	1.000				
B	0.090	-0.314	0.282	0.545	-0.592	0.391	0.603	1.000			
A	0.073	-0.877**	-0.552	-0.222	0.312	-0.041	0.123	0.233	1.000		
VAM	0.011	-0.078	0.547	0.790*	-0.834*	0.580	0.709	0.935**	-0.005	1.000	
TMB	0.140	-0.255	0.367	0.619	-0.647	0.496	0.695	0.991**	0.227	0.948**	1.000

* **Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. ¹⁾RRD; Ratio of root rot disease, RY; Root yield.

(Table 8) 뿌리썩음병 발생율은 칼륨함량과 유의적인 정의상관을 보여 칼륨 함량이 높으면 뿌리썩음병 발생이 증가하는 경향을 보였다. 그리고 뿌리썩음병 발생율은 유기물, 질산태질소 함량과 정의상관을 보였고 아연함량과 부의 상관을 보였지만 통계적 유의성은 없었다. Oh 등 (2012)은 두과작물인 헤어리벳치를 재배하면 화분과 작물인 호밀에 비해 토양의 질소함량이 증가하고 병원성 곰팡이의 밀도가 높아져 뿌리썩음병 발생이 증가한다고 하였다. 금후 무기양분의 조절을 통한 뿌리썩음병 억제에 대해 자세한 연구가 필요할 것으로 보인다.

철 함량은 토양산도와 고도의 유의한 부의상관을 보여 토양산도가 높아지면 철 함량이 감소되는 특징을 보였다. Lee 등 (2015c)은 토양산도가 낮은 논토양에서 석회를 사용하여 토양산도를 올려주면 철의 불용화로 철 흡수가 억제되어 논재배에서 많이 발생하는 갈반형 황증의 발생이 감소된다고 하였다.

논토양에서 1년간 윤작물 재배 후 연작한 2년생 인삼의 뿌리썩음병 발생율과 토양 미생물상과의 상관관계를 분석한 결과 (Table 9) 곰팡이 밀도가 증가하거나 세균에 대한 곰팡이의 비율이 증가하면 뿌리썩음병 발생율은 증가되는 경향을 보였으나 유의성은 없었다. Chung 등 (1989)과 Park 등 (2011)은 참깨, 작약 등 연작장해가 심한 작물을 연작할수록 곰팡이의 밀도가 크게 증가된다고 하였다. 인삼뿌리의 수량성은 방선균과 고도로 유의한 부의 상관을 보여 방선균 밀도가 증가할수록 수량성은 감소되는 경향을 보였다. Moon 등 (2012)도 고추 재배에 키토산을 토양관주 처리한 결과 토양 중 세균과 방선균의 밀도는 증가하였으나 고추 수량은 감소하였다고 하였다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 인삼 연작장해 경감을 위한 기반기술

개발 및 실용화 연구 과제(과제번호: PJ00857602)의 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.

Bossio DA and Scow KM. (1998). Impacts of carbon and flooding on soil microbial communities: Phospholipid fatty acid profiles and substrate utilization patterns. Microbial Ecology. 35:265-278.

Cho DH, Yu YH, Ohh SH and Park JL. (1998). Production and isolation of chlamydospores in *Cylindrocarpum destructans* causing root rot of *Panax quinquefolium*. Journal of Ginseng Research. 22:304-309.

Chung CH, Jeon JH, Kim HK and Park KH. (1989). Effects of the continuous cultivating years of the hot-pepper, sesame and peanut on yields and soil microorganism. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer. 22:67-71.

Farooq M, Jabran K, Cheema ZA, Wahid A and Siddique KHM. (2011). The role of allelopathy in agricultural pest management. Pest Management Science. 67:493-506.

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.

Jang IB, Hyun DY, Lee SW, Kim YC, Kim JW, Park GC, Bang KH and Kim GH. (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 ES and Lee YH.** (2011). Response of soil microbial communities to applications of green manures in paddy at an early rice-growing stage. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 44:221-227.
- Kim HT, Ko JM, Baek IY, Jeon MK, Han WY, Park KY, Lee BW, Lee YH, Jung CS, Oh KW, Ha TJ, Moon JK, Yun HT, Lee JH, Choi JK, Jung JH, Lee SS, Jang YJ, Son CK and Kang DS.** (2014). Soybean cultivar for tofu, 'Saedanbaek' with disease resistance, and high protein content. *Korean Journal of Breeding Science*. 46:295-301.
- Kim HW, Kim YW and Kim KS.** (1989). Effects of water-logging on the chemical properties, microflora and biomass in continuous cropping of cucumber soils. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 22:146-155.
- Kim JU, Hyun DY, Kim YC, Lee JW, Jo IH, Kim DH, Kim KH and Sohn 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.
- Kramer C and Gleixner G.** (2008). Soil organic matter in soil depth profiles: Distinct carbon preferences of microbial groups during carbon transformation. *Soil Biology and Biochemistry*. 40:425-433.
- Lee HU, Chung MN, Lee JS, Song YS, Han SK, Kim JM, Ahn SH, Nam SS, Kim HS, Suh SJ and Park KG.** (2015a). A new sweet potato variety 'Dahomi' for table use. *Korean Journal of Breeding Science*. 47:324-329.
- Lee JC, Kim HJ and Oh SH.** (1989). Review of studies on ginseng replanting problems. *Korean Journal of Crop Science*. 1:115-120.
- 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 MH, Jung CS, Oh KW, Park CB, Kim DG, Choi JK and Nam SY.** (2011). A new perilla cultivar for edible seed 'Dayu' with high oil content. *Korean Journal of Breeding Science*. 43:616-619.
- Lee SW, Lee SH, Park KH, Jin ML, Jang IB and Kim KH.** (2015b). Inhibition effect on root rot disease of *Panax ginseng* by crop cultivation in soil occurring replant failure. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 23:223-230.
- Lee SW, Park KH, Lee SH, Jang IB, Jin ML and Kim KH.** (2015c). Effect of application level of calcium hydroxide on brown-leaf symptom and root yield of *Panax ginseng* cultivated in paddy soil. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 23:150-154.
- Moon YH, Lee JH, Ahn BK, Choi IY and Cheong SS.** (2012). Effects of chitosan on red pepper(*Capsicum annuum* L.) cultivation for eco-friendly agriculture. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 45:635-641.
- National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST).** (2000). Methods of soil chemical analysis. Rural Development Administration. Suwon, Korea. p.89-93.
- 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.
- Pae SB, Hwang CD, Lee MH, Ha TJ, Park CH, Cheong YK, Park KY and Baek IY.** (2013). A new short stem, erect plant type and high yielding peanut 'Ilpyeong'. *Korean Journal of Breeding Science*. 45:172-176.
- 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.
- Park SB and Oh YS.** (1990). Screening for antifungal medicinal plants controlling the soil borne pathogen, *Pythium ultimum*. *The Korean Journal of Mycobiology*. 18:102-108.
- Park SY, Lee GA, Heo SJ, Jeong HN and Song BH.** (2012). Comparative analysis on concentration and uptake amount of major mineral nutrients in plant tissues and years old of *Panax ginseng* C. A. Meyer. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 20:195-201.
- Rahman M and Punja ZK.** (2005). Factors influencing development of root rot on ginseng caused by *Cylindrocarpon destructans*. *Phytopathology*. 95:1381-1390.
- Rural Development Administration(RDA).** (2014). Standard cultural practice of ginseng. Rural Development Administration. Jeonju, Korea. p.140-165.
- Ryu SH and Kim GH.** (2000). Terminology dictionary for soil. Seoul National University Press. Seoul, Korea. p.336-337.
- 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.
- Shin HS, Lee HH and Lee MW.** (1986). Studies on the distribution of fungal and *Fusarium* spp. propagules in ginseng field soil. *The Korean Journal of Mycobiology*. 14:109-119.
- Sun J, 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.
- Yang SK, Seo YW, Lee YS, Kim HW, Ma KC, Lim KH, Kim HJ, Kim JG and Jung WJ.** (2011). Effects of green manure crops on red-pepper yields and soil physico-chemical properties in the vinyl house. *Korean Journal of Organic Agriculture*. 19:215-228.
- Yang SS, Kim CH and Nam KW.** (2000). Ecological studies on *Fusarium* diseases of fruit-vegetables under structure cultivation. III. Effect of soil salinity on the root growth and *Fusarium* disease of tomato and cucumber. *Research in Plant Disease*. 6:71-75.