



녹비작물 재배가 토양화학성 및 인삼뿌리썩음병 발생에 미치는 영향

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

농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부

Effect of Green Manure Crop Cultivation on Soil Chemical Properties and Root Rot Disease in Continuous Cropping Field of Ginseng

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

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

ABSTRACT

Background: Some plants have harmful effects on fungi and bacteria as well as other plants. Incorporating such plant into soil as green manure is effective in reducing population densities of soil pathogens.

Methods and Results: Twenty-three species of green manure crops were cultivated after the harvest of 6-year-old ginseng and then incorporated into the soil at the flowering stage. The following year, the root rot ratio of 2-year-old ginseng and soil chemical properties were investigated. In the absence of green manure addition, the NO₃ content, electric conductivity (EC), and K content decreased by 95%, 79% and 65%, respectively. In the presence of green manure addition, P₂O₅ and NO₃ contents reduced by 41% and 25%, respectively. The “survived root ratio” of 2-year-old ginseng significantly increased by 56.2%, 47.5%, and 47.3%, in the *Sorghum sudanense*, *Ricinus communis* and *Helianthus tuberosus* treatment, respectively. In addition, there was a significant increase in the “survived root ratio” in the *Secale cereale*, *Chrysanthemum morifolium*, *Atractylodes macrocephala*, and *Smallanthus sonchifolius* treatments. The “survived root ratio” of ginseng showed a significant positive correlation with the soil pH and a negative correlation with the NO₃ contents, and EC.

Conclusions: Cultivation of plant form the Chrysanthemum family as green manure, using mainly the rhizomes was effective for the control of root rot disease of ginseng.

Key Words: *Panax ginseng*, Green Manure Crop, Root Rot, Soil Chemical Property, Chrysanthemum Family

서 언

인삼은 같은 장소에서 3-5년간 재배하기 때문에 연작으로 인해 피해가 많이 발생한다. 연작장해로 인해 초작지가 부족하게 되고 초작지를 찾아 원거리를 이동하여 경작함으로써 인삼의 인력, 교통비, 제반 관리비용 등이 증가되어 경쟁력 약화의 원인이 되고 있다.

인삼의 연작장해는 주로 뿌리썩음병에 의한 결주 증가(Kang *et al.*, 2007), 양분의 과잉 축적·결핍 및 토양물리성의 악화(Lee *et al.*, 1989b), *Fusarium* spp.의 우점에 의한 토양미생물상의 단순화(Park *et al.*, 2011), 인삼뿌리에서 분비

되는 페놀화합물의 축적에 의한 인삼의 생육억제 (autotoxicity)와 뿌리썩음병원균의 병원성 증가(Sun *et al.*, 2013), 그리고 감자썩이선충과 같은 선충에 의한 피해 증가 때문이다(Ohh *et al.*, 1983).

인삼뿌리썩음병은 주로 *Cylindrocarpon destructans*와 *Fusarium solani* 등과 같은 토양전염성 병원균에 의해 발생하는데, 병원균의 후막포자가 10년 이상 생존할 수 있기 때문에 10년 이상 경과되어도 재작할 경우 병이 발생할 수 있다(Kang *et al.*, 2007).

연작장해를 경감하기 위한 경종적 방법으로는 4-5년간 벼 재배나 윤작물 재배 등이 있다. 벼 재배는 담수로 인해 병

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

Received 2017 February 7 / 1st Revised 2017 February 11 / 2nd Revised 2017 February 22 / 3rd Revised 2017 February 23 / Accepted 2017 February 23
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.

원균의 밀도를 낮출 수 있어 4년근 재배에는 적합하나 4년근 이상에서는 병원균 밀도가 증가하여 병 발생이 많아지는 단점이 있다.

식물추출물을 이용한 식물병해 억제 연구에서 모썽음병원균 *Pythium ultimum*의 유주자낭 발아와 균사생장 억제에는 목단, 자리공, 대황의 추출물이 효과적이었다 (Paik and Oh, 1990). 바질 (basil), 큐민 (cumin) 및 장미 제라늄 (rose geranium)의 정유 성분은 *Fusarium* spp.에 의해 일어나는 cumin의 뿌리썩음병을 억제하였다 (Hashem et al., 2010). 인삼의 뿌리에서 분비되는 진세노사이드가 뿌리썩음병원균 (*Pythium irregulare*)의 균사 생장을 촉진했으며 (Yousef and Bernards, 2006), 토양전염성 병원균인 역병 (*Phytophthora cactorum*)과 *Pythium irregulare*의 균사 생장을 증가시켰다 (Nicol et al., 2003).

윤작에 의한 식물병해 억제 연구에서 인삼 연작지에 치커리, 무, 상추 등을 재배하면 뿌리썩음병 억제에 효과가 있었으며 (Lee et al., 2015), 유채 및 수단그라스를 녹비작물로 이용하여 토양에 환원해주면 감자 시들음병원균의 밀도를 낮추는데 효과가 있었다 (Davis et al., 1996; Ochiai et al., 2007; Pinkerton et al., 2000).

보통 인삼 수확후에는 10년 이상 식량작물이나 원예작물을 윤작하다가 인삼 재작 1-2년 전에 수단그라스와 같은 화분과 녹비작물을 재배하여 토양을 관리해준 다음 인삼을 재작하게 되는데, 식물 추출물을 이용한 토양전염성 병원균의 항균활성 검정은 비교적 많이 연구되어 왔으나, 녹비작물을 이용한 뿌리썩음병 방제 연구는 상당히 적은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 6년근 인삼을 수확한 연작지 포장에서 23종의 녹비작물 (윤작물)을 1년간 재배한 다음 토양의 화학성 변화와 인삼의 뿌리썩음병 발생에 미치는 영향을 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 시험 토양

본 실험은 국립원예특작과학원 인삼특작부의 시험포장 (충북 음성 소재)에서 2015년 3월부터 2016년 11월까지 수행되었다. 시험토양은 사양토 (사촌통)인 논재배 포장의 연작지 토양을 이용하였는데, 2014년 10월 하순경 6년근 인삼을 수확한 포장이었으며, 이때 뿌리썩음병 발생율은 38.6%이었다.

2014년 11월 상순경 토양시료를 원형 플라스틱 포트 (직경 30 cm, 높이 40 cm)에 옮겨 담았다. 녹비작물을 파종하기 전에 인삼전용 유기질퇴비 (Samhyup Nongsan Co., Ltd., Goesan, Korea)를 포트당 1 l 씩 섞어주어 녹비작물이 잘 자랄 수 있도록 양분을 공급해 주었다. 시험토양의 이화학적 성분은 pH 5.45, EC 1.77 dS/m, OM 15.6 g/kg, NO₃ 137.6 mg/g, P₂O₅ 183 mg/g, K 0.38 cmol⁺/kg, Ca 4.47 cmol⁺/kg, Mg 1.38 cmol⁺/kg 이었다.

2. 녹비작물 종류

인삼 연작토양을 담은 포트에 녹비작물을 2015년 4월 중순에 파종하여 각 작물별 개화최성기까지 재배하였다. 녹비작물은 수단그라스 (*Sorghum sudanense* Staff), 걸보리 (*Hordeum vulgare* L.), 호밀 (*Secale cereale* subsp. *cereals*), 이탈리아 라이그라스 (*Lolium multiflorum* Lam.), 무 (*Raphanus sativus* L.), 썩갓 (*Chrysanthemum coronarium* L.), 해바라기 (*Helianthus annuus* L.), 아주까리 (*Ricinus communis* sp. L.), 네마장황 (*Crotalaria juncea* L.), 상추-1 (*Lactuca sativa* cv. Cheongchukmyon), 상추-2 (*Lactuca sativa* cv. Jeokchima), 상추-3 (*Lactuca sativa* cv. Jeokchukmyon), 상추-4 (*Lactuca sativa* cv. Cheongchima), 결명자 (*Cassia tora* L.), 땃판지 (*Helianthus tuberosus* L.), 썩국화 (*Tanacetum vulgare* L.), 청치커리 (*Cichorium intybus* L. var. *sativus*), 적치커리 (*Cichorium intybus* L. var. *foliosum* cv. *Rosaitaliana*), 국화 (*Chrysanthemum morifolium* Ram.), 작약 (*Paeonia lactiflora* Pall.), 강황 (*Curcuma longa* L.), 백출 (*Atractylodes macrocephala* Koidzumi), 야콘 (*Smallanthus sonchifolius* H. Robinson) 등 총 23종이었다. 수단그라스, 걸보리, 호밀, 이탈리아 라이그라스, 네마장황, 썩갓, 결명자, 치커리 등은 산과하였고 무, 해바라기, 아주까리 상추, 땃판지, 썩국화, 국화, 작약, 강황, 백출, 야콘 등은 점과한 다음 포트당 5주씩 재배하였는데, 작약, 강황, 백출, 야콘, 국화 등은 중근을 정식하였다.

3. 녹비작물 생육특성 조사

개화기는 40% 이상 개화했을 때를 기준으로 조사하였고 지상부 생체중은 개화기 때 지상부를 예취하여 조사하였으며, 지상부 건조중은 식물체 수분함량을 측정한 다음 생체중에서 건조중을 환산하여 조사하였다. 백출, 야콘, 강황, 작약 등은 뿌리를 굴취하여 지하부 생체중과 건물중을 조사하였다. 무는 지하부가 지상으로 노출되어 식물체 전체를 대상으로 생체중과 건물중을 조사하였다.

4. 녹비작물 토양환화

각각의 녹비작물 개화기에 식물체를 예취하여 3 cm 이하로 잘게 자른 다음 예취한 포트에 넣어 주어 토양 전체에 골고루 섞이도록 하였다. 적당량의 물을 관주한 다음 흑색 2중직 차광망으로 피복하여 토양이 건조되지 않도록 하였으며, 이듬해 3월 하순까지 보존하였다. 예외적으로 작약은 다른 작물보다 개화기가 빨라 다른 구근작물과 비슷하게 9월 중순경에 식물체를 토양에 환원시켜주었다.

5. 토양이화학성 분석

녹비작물을 토양에 환원하기 전과 후에 각각 토양시료를 채

취하여 녹비작물 환원전후의 변화양상을 분석하였다. 녹비작물 환원전에는 각각 녹비작물들의 개화기에 토양시료를 채취하였고, 녹비작물 환원후에는 묘삼 이식전인 2016년 3월 하순에 토양시료를 채취하였다. 토양시료를 풍건하여 분쇄 후 20 mesh (2 mm)체를 통과한 다음 유발에 미세하게 갈아 분석용으로 사용했다. 토양화학성분 중 pH, EC, 유기물, 유효인산 및 치환성 양이온인 K, Ca, Mg은 농촌진흥청 토양화학분석법 (NIAS, 2000)에 준하였다. 시료 10 g을 100 ml 삼각플라스크에 평량하고 침출액 (0.1 N HCl) 50 ml 첨가 후 항온 수조 30°C에서 1시간 진탕 후 Toyo No. 5B (Tokyo Rikakikai Co., Ltd., Tokyo, Japan)로 여과하여 ICP-OES (Intergra XMP, GBC Scientific Equipment, Braeside, Australia)로 치환성 양이온을 측정했다.

6. 인삼 생육특성 및 뿌리썩음병 발생률 조사

2016년 4월 상순에 2년생 묘삼을 포트에 이식하여 인삼의 생육 및 뿌리썩음병 발생율을 분석하였다. 개체중 0.77 g의 묘삼을 포트당 20주 이식하였다. 처리당 20포트를 재배하였으며, 5포트씩 총 4반복으로 조사하여 통계분석하였다.

2년생 인삼의 지상부 생육은 7월 하순경 초장, 경장, 엽장, 엽폭 등을 조사하였으며, 지하부 생육 및 뿌리썩음병 발생율은 10월 하순에 전체 수확하여 조사하였다. 이병주율은 뿌리썩음병에 이병된 개체의 비율로 나타내었고, 무병주율은 뿌리썩음병 발생이 전혀 없는 개체의 비율을 말하며, 무병주율/재식주수 × 100으로 계산하였다. 뿌리썩음병 발생정도는 0 (무발생), 1 (발병초기, 작은 반점 형성), 2 (뿌리전체에서 부패 증상 50% 이하), 3 (뿌리전체에서 부패 증상 70% 이하), 4 (완전 부패)로 구분하여 아래와 같은 방법으로 조사하였다. 즉, 뿌리썩음병 발병지수 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.

7. 통계처리

통계프로그램 (SAS 9.2 version, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 5% 유의수준에서 최소유의차검정 (least significant difference test, LSD)으로 처리간 유의차를 검정하였고 단순상관분석을 하였다. 지하부 생존율과 이병주율은 arcsin 값으로 변환한 다음 분산분석하고 원래의 평균값에 대하여 처리간 유의차 검정을 하였다.

결과 및 고찰

1. 녹비작물의 생육특성 및 건물 생산량

Table 1에서와 같이 비가림 하우스 시설에서 인삼 연작지

토양을 포트에 담은 다음 녹비작물을 재배하여 생육특성과 건물 생산량을 조사하였다. 녹비작물 재배후 지상부 식물체를 토양에 환원하여 녹비효과 (토양이화학성 및 미생물상 개선, 발효열에 의한 지온상승)를 높이기 위해서는 건물생산량이 많은 녹비작물의 선택이 필요하다 (Oh *et al.*, 2012; Yang *et al.*, 2009). 개화기에 조사한 생체중은 수단그라스, 무, 해바라기, 상추 (적치마), 뚱판지 등이 많았으며, 건물중은 수단그라스, 해바라기, 뚱판지 등이 많았다. 무는 생체중이 많으나 수분함량이 높아 건물중은 낮았다. 수단그라스와 해바라기는 개화기가 빨라 7월 중순까지는 개화하였고 이 때 지상부 생체중이 최고에 도달하므로 여름철 식물체를 토양에 환원시켜 태양열 소독을 할 경우에 유리할 것으로 보이는데 (Lee *et al.*, 2016a), 뚱판지는 건물생산량이 많아 과잉양분 흡착, 유기물 공급 등 토양개량에는 효과가 높을 것으로 보이나 생체중이 최고에 도달하는 개화기가 9월 상순으로 늦어 여름철 태양열 소독에 적용하기에는 다소 불리할 것으로 보인다.

2. 녹비작물 환원전의 토양이화학성 변화

Table 2에서와 같이 인삼 연작지에서 재배한 녹비작물을 토양에 넣어주기 전 토양이화학성의 변화정도를 조사한 결과는 다음과 같다. 인삼은 양분과다에 의해 염류장해 발생이 많으므로 예정지관리 때 토양에 축적된 과잉의 양분을 제거해주는 것이 좋다 (Hyun *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2015). 녹비작물 재배후 식물체를 수확하고 토양에 환원해주지 않으면 탈비에 효과적이므로 (Lee *et al.*, 2016a) 식물체 환원전의 토양이화학성 변화를 분석하여 탈비에 효과적인 작물의 선발이 필요하다. 토양산도는 녹비작물의 종류에 따라 증감되어 평균 4% 증가율을 보였는데, 야콘과 수단그라스의 증가율이 각각 14%, 12%로 가장 컸으며, 기타 녹비작물은 약간 증감되거나 큰 변화가 없었다.

염류농도는 모든 녹비작물에서 큰 폭으로 감소되어 평균 79%의 감소율을 보였는데, 강황의 감소율이 88%로 가장 크게 감소되었다. 유기물 함량을 보면 평균 10%의 감소율을 보였는데, 수단그라스, 갈보리, 뚱판지, 강황 등은 4-8%로 약간 증가되었으나 대다수 작물은 감소되었다. 질산태 질소는 모든 녹비작물에서 큰 폭으로 감소되어 평균 95%의 감소율을 보였으며, 모든 무기양분 중 감소폭이 가장 컸다. 유효인산은 강황을 제외하고 모든 녹비작물에서 감소되어 평균 23%의 감소율을 보였는데, 쑥국화의 감소율이 50%로 가장 컸다.

칼륨은 모든 녹비작물에서 크게 감소되어 평균 65%의 감소율을 보였는데, 해바라기의 감소폭이 89%로 가장 컸다. 칼륨은 양이온 중에서 가장 큰 감소폭을 보였다. 칼슘은 모든 녹비작물에서 감소되어 평균 27%의 감소율을 보였는데, 적축면상추의 감소율이 39%로 가장 컸다. 마그네슘은 모든 녹비작물에서 감소되어 평균 29%의 감소율을 보였는데, 청축면 상

Table 1. Growth characteristics and biomass of green manure crops cultivated in field harvested 6-year-old ginseng.

Green manure crops	Flowering date	Plant height (cm)	Moisture contents (%)	Fresh-weight of top part (kg/10 a)	Dry-weight of top part (kg/10 a)
1. <i>Sorghum sudanense</i> Staff	7.16	181.5	52.8	9,363(100)	4,419(100)
2. <i>Hordeum vulgare</i> L.	5.10	69.8	48.6	2,081(22)	1,069(24)
3. <i>Secale cereale</i> subsp. <i>cereals</i>	5.10	105.5	44.8	1,511(16)	834(19)
4. <i>Lolium multiflorum</i> Lam.	6.30	86.3	61.6	2,849(30)	1,094(25)
5. <i>Raphanus sativus</i> L. ¹⁾	6.15	151.8	84.0	15,902(170)	2,544(58)
6. <i>Chrysanthemum coronarium</i> L.	6.17	135.3	69.5	6,242(67)	1,904(43)
7. <i>Helianthus annuus</i> L.	7.1	164.3	66.9	10,007(107)	3,312(75)
8. <i>Ricinus communis</i> sp. L.	6.10	157.8	68.0	7,794(83)	2,494(56)
9. <i>Crotalaria juncea</i> L.	7.20	154.8	70.4	4,409(47)	1,305(30)
10. <i>Lactuca sativa</i> cv. Cheongchukmyon	7.22	107.5	70.2	7,926(85)	2,322(53)
11. <i>Lactuca sativa</i> cv. Jeokchima	7.22	108.0	68.7	9,115(97)	2,853(65)
12. <i>Lactuca sativa</i> cv. Jeokchukmyon	8.1	88.3	63.4	2,626(28)	961(22)
13. <i>Lactuca sativa</i> cv. Cheongchima	8.1	101.3	67.7	4,260(45)	1,376(31)
14. <i>Cassia tora</i> L.	7.22	177.0	66.1	5,152(55)	1,747(40)
15. <i>Helianthus tuberosus</i> L.	9.3	162.5	53.7	8,248(88)	3,819(86)
16. <i>Tanacetum vulgare</i> L.	8.11	119.8	55.9	5,648(60)	2,491(56)
17. <i>Cichorium intybus</i> L. var. <i>sativus</i>	7.10	17.5	69.2	3,220(34)	992(22)
18. <i>Cichorium intybus</i> L. var. <i>foliosum</i> cv. <i>Rosaitaliana</i>	7.14	48.9	65.8	5,152(55)	1,762(40)
19. <i>Chrysanthemum morifolium</i> Ram.	10.5	57.3	63.5	5,152(55)	1,881(43)
20. <i>Paeonia lactiflora</i> Pall. ²⁾	5.20	31.5	65.6	361(4)	185(4)
21. <i>Curcuma longa</i> L. ²⁾	9.16	120.8	74.4	5,350(62)	2,750(57)
22. <i>Atractylodes macrocephala</i> Koidzumi ²⁾	9.15	52.3	37.2	1412(16)	726(15)
23. <i>Smallanthus sonchifolius</i> H. Robinson ²⁾	9.16	71.5	64.9	4,682(54)	2,406(50)
LSD ³⁾ (5%)	–	13.65	3.84	4093.4	859.0

¹⁾Total weight of aboveground and underground part. ²⁾Fresh and dry weight of rhizome per 10 a were *Paeonia*; 1,604, 824, *Curcuma*; 5,078, 2,610, *Atractylodes*; 2,873, 1,477, *Smallanthus*; 6,145, 3,298 kg, respectively. ³⁾LSD; Least significant difference test.

추의 감소율이 40%로 가장 컸다. 나트륨은 녹비작물 종류에 따라 증감되었는데, 백출, 아주까리의 증가율이 각각 63%, 47%로 가장 높았으며, 적치커리의 감소율이 53%로 가장 높았다.

이와 같이 녹비작물을 재배하고 식물체를 토양에 환원해주지 않으면 질산태 질소 > 염류농도 > 칼륨 > 마그네슘 > 칼슘 > 인산 > 유기물 > 나트륨 함량 순으로 감소되었는데, Lee 등 (2016b)도 들깨 재배에 의해 질산태 질소, 염류농도, 칼륨 순으로 가장 크게 감소되었다고 하였다. 양분이 과잉 축적된 포장에서는 식물체를 환원해주지 않는 방법이 생리장해 발생 억제에 효과가 있을 것으로 생각된다.

3. 녹비작물 환원후의 토양이화학성 변화

Table 3에서와 같이 인삼 연작지에 녹비작물을 재배한 다음 개화성기에 식물체를 예취하여 토양에 넣어주고 묘삼 정식전인 이듬해 3월 하순경 토양화학성의 변화정도를 분석한 결과는 다음과 같다. 대조구 (무처리) 토양은 녹비작물 재배구와 비

슷한 토양환경을 조성하고 토양수분을 유지하기 위해 월 2회 각각 3 l 씩 관수하여 주었다.

토양산도는 녹비작물에 따라 약간의 증감이 있었으나 큰 변화는 없었다. 염류농도는 녹비작물에 따라 뚜렷한 변화를 보였으며, 평균 9%의 증가율을 보였는데, 무, 쑥국화, 네마장황은 각각 144%, 83%, 68% 증가되어 가장 큰 증가율을 보였으며, 백출, 강황, 야콘은 각각 55%, 52%, 45% 감소되어 가장 큰 감소율을 보였다. 인삼은 염류에 약한 작물이므로 (Kim et al., 2015) 예정지 토양의 염류제거를 위해서는 이와 같은 구근류 작물의 도입이 필요할 것으로 생각된다.

유기물 함량은 거의 대부분 감소되어 평균 11%의 감소율을 보였다. 야콘과 수단그라스의 증가율은 각각 17%, 8%로 가장 큰 증가율을 보였는데, 나머지 대부분은 변화가 없거나 감소하였다. Oh (1978)에 의하면 밭토양에 1톤의 볏짚을 사용했을 때 3년까지 유기물 함량의 변화는 없고 4년차부터 서서히 증가되어 유기물의 생성에는 오랜 시간이 걸린다고 하였다.

질산태 질소는 일부 작물을 제외하고 대부분 감소되어 평균

녹비작물에 의한 인삼 연작장애 경감효과

Table 2. Changes of soil chemical properties by the cultivation of green manure crops before incorporating the plants into soil in field harvested 6-year-old ginseng.

Green manure 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	5.45(100)	1.77(100)	15.6(100)	137.6(100)	183(100)	0.38(100)	4.47(100)	1.38(100)	0.19(100)
1 ¹⁾	6.08(112)	0.28(16)	17.0(109)	00.7(1)	123.6(68)	0.07(18)	3.68(82)	1.02(74)	0.24(126)
2	5.97(110)	0.73(41)	16.8(108)	12.7(9)	169(92)	0.19(50)	4.00(89)	1.14(83)	0.25(132)
3	5.88(108)	0.58(33)	14.9(96)	6.4(5)	181.6(99)	0.25(66)	3.47(78)	1.04(75)	0.21(111)
4	5.83(107)	0.30(17)	15.8(101)	0.89(1)	139.0(76)	0.10(26)	3.38(76)	1.09(79)	0.17(89)
5	5.35(98)	0.53(30)	13.7(88)	34.3(25)	104.9(57)	0.18(47)	3.07(69)	0.96(70)	0.14(74)
6	5.34(98)	0.38(21)	13.1(84)	9.9(7)	143.1(78)	0.11(29)	2.93(66)	0.89(64)	0.10(53)
7	5.82(107)	0.30(17)	14.7(94)	1.4(1)	112.8(62)	0.04(11)	3.12(70)	0.92(67)	0.21(111)
8	6.06(111)	0.30(17)	14.8(95)	0.8(1)	111.8(61)	0.10(26)	3.46(77)	1.06(77)	0.28(147)
9	5.60(103)	0.36(20)	15.13(97)	4.3(3)	143.9(79)	0.14(37)	2.98(67)	0.85(62)	0.19(100)
10	5.32(98)	0.26(15)	12.1(78)	3.2(2)	108.6(59)	0.09(24)	2.83(63)	0.83(60)	0.12(63)
11	5.40(99)	0.32(18)	13.0(83)	3.0(2)	151.0(83)	0.09(24)	2.94(66)	0.88(64)	0.14(74)
12	5.18(95)	0.37(21)	13.9(89)	7.5(5)	114.3(62)	0.10(26)	2.74(61)	0.85(62)	0.13(68)
13	5.40(99)	0.35(20)	14.1(90)	4.7(3)	119.7(65)	0.11(29)	3.08(69)	0.91(66)	0.14(74)
14	5.77(106)	0.32(18)	15.8(101)	2.2(2)	150.8(82)	0.17(45)	3.31(74)	0.94(68)	0.21(111)
15	5.92(109)	0.27(15)	16.6(106)	1.0(1)	176.7(97)	0.09(24)	3.45(77)	1.08(78)	0.22(116)
16	5.40(99)	0.78(44)	12.6(81)	29.7(22)	92.1(50)	0.07(18)	3.33(74)	1.08(78)	0.24(126)
17	5.33(98)	0.29(16)	11.3(72)	7.5(5)	145.2(79)	0.18(47)	2.89(65)	0.88(64)	0.11(58)
18	5.45(100)	0.26(15)	9.9(63)	4.3(3)	113.5(62)	0.09(24)	3.01(67)	0.94(68)	0.09(47)
19	5.82(107)	0.25(14)	11.37(73)	1.1(1)	137.5(75)	0.09(24)	3.16(71)	1.03(75)	0.19(100)
20	5.43(100)	0.35(20)	12.5(80)	9.7(7)	150.9(82)	0.28(74)	3.07(69)	1.05(76)	0.15(79)
21	6.05(111)	0.22(12)	16.24(104)	0.66(0)	204.8(112)	0.13(34)	3.53(79)	0.91(66)	0.15(79)
22	6.01(110)	0.51(29)	14.24(91)	2.60(2)	162.4(89)	0.17(45)	3.85(86)	1.17(85)	0.31(163)
23	6.23(114)	0.30(17)	13.07(84)	0.96(1)	163.3(89)	0.22(58)	3.48(78)	1.03(75)	0.20(105)
Average	5.68(104)	0.37(21)	14.03(90)	6.50(5)	14.02(77)	0.13(35)	3.25(73)	0.98(71)	0.19(96)
LSD ²⁾ (5%)	0.22	0.22	1.09	0.81	3.30	0.21	0.82	0.26	0.21

¹⁾The name of the tested crops are shown in Table 1. ²⁾LSD; Least significant difference test.

25%의 감소율을 보였다. 무, 네마장황, 쑥국화는 각각 153%, 60%, 46% 증가되어 가장 큰 증가율을 보였으며, 강황, 백출, 땃판지는 각각 92%, 90%, 89% 감소되어 가장 큰 감소율을 보였다.

유효인산은 모든 녹비작물에서 감소되었으며, 평균 41% 감소율을 보였는데, 녹비작물의 종류에 따라 감소율의 변이가 크지 않았다.

칼륨은 녹비작물에 따라 증감되었는데, 무, 상추 (청치마), 땃판지, 적치커리는 각각 140%, 45%, 33%, 33% 증가되어 가장 큰 증가율을 보였으며, 백출과 강황은 각각 38%, 24% 감소되어 가장 큰 감소율을 보였다.

칼슘은 거의 대부분 약간씩 감소되었으며, 평균 10%의 감소율을 보였다. 마그네슘은 무, 땃판지, 야콘에서 증가되고 나머지 작물은 변화가 적거나 약간 감소되는 특징을 보였다. 나트륨은 모든 녹비작물에서 크게 증가되었는데 (평균 110% 증가), 토양무기성분 중 가장 큰 증가율을 보였다.

이와 같이 다양한 작물을 녹비로 이용하여 토양에 환원하면 유효인산과 질산태 질소의 감소가 상대적으로 커 인산과 질산태 질소의 과잉에 의해 생기는 생리장애 억제에 유리할 수 있으나 (Hyun *et al.*, 2009) 유기물 함량이 오히려 감소하고 나트륨 농도가 크게 증가하여 인삼생육에 불리할 수 있다 (Kim *et al.*, 2015). 인삼재배에 적합한 유기물 함량은 2-3% 수준으로 토양수분 유지와 근수량 증가에 중요한 역할을 하는데 (Park *et al.*, 1982), 대부분의 농가에서는 유기물이 부족한 실정이므로 화분과 작물의 재배와 벧짚 시용 등과 같은 추가적인 조치가 필요하다. 나트륨 허용범위는 0.15 - 0.20 cmol⁺/kg로 그 이상에서는 염류장애 발생이 우려되는데 (Kim *et al.*, 2015), 가축분 과다 시용 등으로 나트륨 농도가 높은 포장에서는 녹비작물 선정과 재배에 주의할 필요가 있다.

4. 녹비작물 환원후 인삼 생육 및 뿌리썩음병 발생특성

Table 4에서와 같이 인삼 연작지에서 녹비작물을 토양에 환

Table 3. Changes of soil chemical properties by the cultivation of green manure crops after incorporating the plants into soil in field harvested 6-year-old ginseng.

Green manure 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	6.17(100)	0.71(100)	19.66(100)	57.8(100)	257.2(100)	0.42(100)	4.63(100)	1.28(100)	0.11(100)
1 ¹⁾	6.64(93)	0.61(86)	21.51(109)	6.3(11)	133.7(52)	0.35(83)	4.80(104)	1.22(95)	0.23(209)
2	6.11(101)	0.73(103)	16.79(85)	38.9(67)	130.1(51)	0.32(76)	4.43(96)	1.37(107)	0.24(218)
3	6.37(97)	0.63(89)	12.49(64)	29.3(51)	180.2(70)	0.40(95)	3.81(82)	1.20(94)	0.20(182)
4	5.96(104)	0.87(123)	19.83(101)	53.6(93)	149.4(58)	0.27(64)	4.04(87)	1.16(91)	0.25(227)
5	5.96(104)	1.73(244)	19.31(98)	146.1(253)	198.3(77)	1.01(240)	4.52(98)	1.45(113)	0.33(300)
6	5.92(104)	0.88(124)	15.27(78)	43.9(76)	166.1(65)	0.50(119)	3.81(82)	1.25(98)	0.28(255)
7	6.24(99)	0.70(99)	17.79(90)	32.7(57)	131.4(51)	0.45(107)	4.04(87)	1.21(95)	0.25(227)
8	6.25(99)	0.85(120)	19.44(99)	49.7(86)	139.2(54)	0.34(81)	4.58(99)	1.35(105)	0.24(218)
9	5.83(106)	1.19(168)	16.30(83)	92.6(160)	136.9(53)	0.47(112)	4.18(90)	1.26(98)	0.23(209)
10	6.02(102)	0.78(110)	15.84(81)	43.3(75)	161.8(63)	0.53(126)	4.19(90)	1.33(104)	0.21(191)
11	5.87(105)	0.76(107)	16.21(82)	42.0(73)	160.9(63)	0.43(102)	3.93(85)	1.20(94)	0.19(173)
12	5.97(103)	0.73(103)	16.43(84)	42.9(74)	141.6(55)	0.41(98)	3.92(85)	1.28(100)	0.22(200)
13	5.93(104)	0.94(132)	17.75(90)	62.9(109)	166.1(65)	0.61(145)	4.01(87)	1.26(98)	0.24(218)
14	6.10(101)	0.90(127)	19.96(102)	64.3(111)	133.7(52)	0.41(98)	4.73(102)	1.38(108)	0.25(227)
15	6.44(96)	0.57(80)	19.70(100)	6.1(11)	148.7(58)	0.56(133)	4.30(93)	1.60(125)	0.23(209)
16	6.11(101)	1.30(183)	14.63(74)	84.5(146)	156.9(62)	0.46(110)	4.45(96)	1.39(109)	0.30(273)
17	6.32(98)	0.83(117)	15.88(81)	43.9(76)	159.9(62)	0.50(119)	3.93(85)	1.24(97)	0.23(209)
18	6.27(98)	0.71(100)	16.28(83)	47.0(81)	133.9(52)	0.56(133)	3.91(84)	1.17(91)	0.23(209)
19	6.09(101)	0.63(89)	15.61(79)	30.9(53)	135.1(53)	0.35(83)	3.95(85)	1.34(105)	0.23(209)
20	6.34(97)	0.40(56)	18.69(95)	10.5(18)	143.3(56)	0.31(74)	3.80(82)	1.36(106)	0.19(173)
21	6.49(95)	0.34(48)	15.56(79)	4.5(8)	156.4(61)	0.32(76)	3.78(82)	1.04(81)	0.18(164)
22	6.72(92)	0.32(45)	17.36(88)	5.9(10)	130.6(51)	0.26(62)	4.12(89)	1.20(94)	0.18(164)
23	6.67(93)	0.39(55)	23.00(117)	12.6(22)	177.5(69)	0.50(119)	4.60(99)	1.62(127)	0.19(173)
Average	6.20(101)	0.77(109)	17.46(89)	43.2(75)	150.96(59)	0.45(107)	4.17(90)	1.30(101)	0.23(210)
LSD ²⁾ (5%)	0.23	0.24	1.35	1.91	3.33	0.23	0.91	0.31	0.28

¹⁾The name of the tested crops are shown in Table 1. ²⁾LSD; Least significant difference test.

원한 다음 묘삼을 정식하여 7월 하순경 지상부 생육특성을 비교한 결과는 다음과 같다. 초장은 이탈리아안라이그라스, 아주까리, 호밀, 상추 (청치마) 등이 양호하였으며, 경장은 강황, 뽕판지, 이탈리아안라이그라스, 호밀 등이 양호하였다. 엽장은 이탈리아안라이그라스, 아주까리, 호밀 등이 양호하였고 엽폭은 수단그라스, 이탈리아안라이그라스, 호밀 등이 양호하였다. 이와 같이 전반적으로 지상부 생육은 이탈리아안라이그라스, 아주까리, 호밀 등이 양호한 특성을 보였다. 입모율은 아주까리, 결명자, 국화, 강황, 호밀, 해바라기 등이 양호하였다.

Table 5에서와 같이 인삼 연작지에서 녹비작물 재배후 토양에 환원한 다음 2년생 인삼의 지하부 생육과 뿌리썩음병 발생율을 조사한 결과는 다음과 같다. 주당근중은 강황과 수단그라스에서 각각 66%, 42%로 뿌릿이 증가되었고 호밀, 뽕판지, 해바라기 등에서 유의적인 증가를 보였다. 수량성은 수단그라스와 강황에서 각각 273%, 187%로 뿌릿이 증가되었고 뽕판지, 아주까리, 호밀, 야콘 등에서 유의적인 증가를 보였다.

지하부 생존율은 수단그라스, 아주까리, 뽕판지에서 각각 56.2%, 47.5%, 47.3%로 뿌릿이 증가되었으며, 그 외 결명자, 호밀, 해바라기, 국화, 강황, 백출, 야콘 등도 무처리에 비해 유의적으로 증가되었다. 무, 쑥갓, 상추, 치커리, 네마장황, 작약, 이탈리아안라이그라스 등은 지하부 생존율 향상에 효과가 없었다. 이병주율은 수단그라스, 뽕판지, 아주까리에서 뿌릿이 감소하였고 나머지 작물은 무처리와 유의적인 차이를 보이지 않았다. 뿌리썩음병 발병정도는 수단그라스, 아주까리, 뽕판지에서 뿌릿한 감소를 보였고 백출, 야콘, 국화, 호밀 등에서 유의적인 감소를 보였다.

이와 같이 지하부 생존율 증가나 뿌리썩음병 억제에는 수단그라스와 호밀 같은 화본과 식물과 뽕판지, 백출, 야콘처럼 뿌리를 주로 이용하는 국화과 식물에서 유의적인 효과를 보였으며, 쑥갓, 상추, 치커리처럼 채소로 이용되는 국화과 식물은 효과가 없었다. 무에는 glucosinolates라는 배당체 성분이 들어있어 가수분해시 isothiocyante라는 가스를 방출하여 항균, 살충

Table 4. Growth characteristics of aerial part of 2-year-old ginseng by incorporating of green manure crops into soil in field harvested 6-year-old ginseng.

Green manure crops	Plant height (cm)	Stem height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf diameter (cm)	Ratio of survived aerial part (%)
Control	17.51	6.92	6.34	3.12	73.3
1 ¹⁾	16.15	6.15	5.86	2.96	89.3
2	16.92	6.78	6.03	3.00	89.0
3	19.38	8.09	6.77	3.43	92.0
4	20.85	8.39	7.12	3.56	84.7
5	17.16	6.93	6.06	3.12	76.8
6	16.16	6.89	5.76	2.77	80.0
7	19.49	7.85	6.44	3.42	91.0
8	20.11	7.80	6.88	3.50	93.3
9	18.35	7.99	6.14	3.05	85.3
10	15.52	6.02	5.47	2.75	89.3
11	18.54	7.66	6.46	3.22	80.3
12	18.33	7.42	6.45	3.19	89.8
13	19.23	7.65	6.58	3.20	86.3
14	17.30	6.92	6.38	3.14	92.5
15	17.98	6.63	6.43	3.21	87.0
16	16.18	6.91	5.74	2.68	85.8
17	15.29	6.19	5.58	2.66	77.9
18	18.16	7.92	6.21	3.08	83.3
19	16.24	6.51	5.92	3.16	92.5
20	18.34	7.81	6.61	3.27	85.3
21	17.47	7.50	6.16	2.93	92.3
22	15.38	6.65	5.63	2.73	83.0
23	18.31	7.69	6.12	3.11	82.5
Average	17.69(101)	7.50(108)	6.21(98)	3.16(101)	86.49(118)
LSD ²⁾ (5%)	1.72	1.12	0.72	0.38	7.77

¹⁾The name of the tested crops are shown in Table 1. ²⁾LSD; Least significant difference test.

작용을 나타내기 때문에 토양소독에 이용되기도 하는데 (Cohen *et al.*, 2005), 본 시험에서는 무 식물체 토양환원시 염류농도 및 무기양분 함량이 크게 증가되어 뿌리썩음병 억제 효과가 떨어진 것으로 판단된다.

네마장황은 두과작물로 염류농도와 질소함량이 너무 높아 뿌리썩음병 억제효과가 떨어진 것으로 보이는데, Lee 등 (2015)에 의하면 두과작물인 콩, 황기, 감초, 땅콩재배는 인삼 뿌리썩음병 발생을 증가시켰다고 하였으며, Larkin과 Honeycutt (2006)은 유채, 보리, 옥수수 3년간 재배는 감자에서 *Rhizoctonia solani*에 의한 갈록병 발생을 억제하였으나 클로버, 콩 재배는 병 발생을 증가시켰다고 하였다. Oh 등 (2012)도 두과작물인 헤어리벳치를 재배하면 화분과 작물인 호밀에 비해 토양의 질소함량이 증가하고 병원성 곰팡이 밀도가

높아져 뿌리썩음병 발생이 증가된다고 하였다.

작약은 인삼뿌리썩음병 (*Cylindrocarpon destructans*)의 기주 식물로 알려져 있어 뿌리썩음병 억제효과가 떨어진 것으로 보인다 (Choi *et al.*, 2004). 대부분의 농가에서는 수단그라스를 재배하여 7-8월에 토양에 환원해주고 있는데, 본 시험에서 대부분의 녹비작물은 8월 중순 이전에 토양에 환원하였으나 개화기가 늦은 일부 작물은 9월 중순경에 토양에 환원하여 식물체의 미부숙으로 인한 장애가 발생할 수 있으므로 가급적 8월 이전에 환원하고 여러 번 경운하여 부숙을 촉진시켜야 한다. Yang 등 (2000a)은 미부숙 퇴비는 분해과정 중 가스가 발생하여 뿌리에 피해를 줄 수 있으며, 부숙퇴비에 비해 사상균과

Table 5. Root growth and root rot disease of 2-year-old ginseng by incorporating of green manure crops into soil in field harvested 6-year-old ginseng.

Green manure crops	Ratio of survived root (%)	Root weight (g/plant)	Root yield (kg/10 a)	Ratio of root rot ²⁾ (%)	Root rot index ³⁾ (0 - 4)
Control	18.4	1.09	69.5	98.0	3.52
1 ¹⁾	56.2	1.55	259.8	75.8	1.60
2	32.7	1.15	115.7	96.0	3.11
3	37.2	1.30	152.8	96.7	3.03
4	14.7	1.06	52.4	100	3.68
5	17.8	1.18	67.4	96.3	3.39
6	16.7	0.96	48.5	98.7	3.58
7	31.2	1.28	118.7	97.7	3.14
8	47.5	1.10	159.0	85.7	2.15
9	22.8	0.90	65.2	97.3	3.40
10	25.0	1.17	89.6	98.8	3.42
11	18.0	0.90	48.2	99.3	3.58
12	24.3	0.83	62.6	97.5	3.33
13	19.5	0.82	53.3	97.3	3.45
14	23.8	1.05	81.2	98.7	3.34
15	47.3	1.30	185.9	83.8	2.16
16	24.8	0.85	69.3	97.3	3.24
17	10.1	0.75	23.6	99.4	3.79
18	22.5	0.88	61.1	98.5	3.42
19	34.7	1.15	121.4	95.3	2.99
20	16.7	0.84	47.0	98.0	3.59
21	35.5	1.81	200.0	97.5	3.12
22	40.3	1.15	144.0	92.7	2.65
23	37.8	1.23	142.7	92.5	2.75
Average	28.57(155)	1.10(101)	103.02(148)	95.25(97)	3.13(89)
LSD ⁴⁾ (5%)	6.69	0.27	51.40	8.16	0.42

¹⁾The name of the tested crops are shown in Table 1. ²⁾Ratio of root rot; (withered plant+diseased plant)/planted number×100. ³⁾Root rot index; (X0 × 0) + (X1 × 1) + (X2 × 2) + (X3 × 3) + (X4 × 4)/(X0 + X1 + X2 + X3 + X4), X0; on lesion, X1; rotted area below 10%, X2; rotted area below 50%, X3; rotted area below 70%, X4; completely rotted root. ⁴⁾LSD; Least significant difference test.

Table 6. Correlation coefficients between soil chemical properties and the ratio of survived root by the cultivation of green manure crops in 2-year-old ginseng.

n = 25	pH	EC	OM	NO ₃	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na	RSR
pH	1.000									
EC	-0.665**	1.000								
OM	0.326	-0.094	1.000							
NO ₃	-0.685**	0.960**	-0.080	1.000						
P ₂ O ₅	-0.116	0.216	0.082	0.313	1.000					
K	-0.310	0.684**	0.061	0.670**	0.394	1.000				
Ca	0.185	0.266	0.671	0.243	0.173	0.147	1.000			
Mg	0.175	0.119	0.530**	0.063	0.069	0.328	0.579**	1.000		
Na	-0.380	0.731**	-0.054	0.580	-0.274	0.520**	0.126	0.205	1.000	
RSR ¹⁾	0.652**	-0.419*	0.262	-0.521**	-0.307	-0.289	0.381	0.264	-0.134	1.000

***Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. ¹⁾Ratio of survived root (%).

*Fusarium oxysporum*의 밀도가 높고 방선균과 세균의 밀도가 낮아 오이의 뿌리썩음병 발생이 더 많다고 하였다.

5. 토양화학성과 인삼뿌리썩음병 발생과의 상관관계

Table 6에서와 같이 연작지에서 23종의 녹비작물을 재배한 다음 묘삼을 정식하여 토양화학성과 뿌리썩음병 발생율과의 상관관계를 분석한 결과는 다음과 같다. 인삼의 지하부 생존율은 토양산도와 고도의 유의한 정의상관을 보이고 질산태질소와는 고도의 유의한 부의상관을 보였으며, 토양염류농도와도 유의한 부의상관을 보였다. 즉, 지하부 생존율은 토양산도가 올라갈수록 증가하였으나 질산태질소가 증가할수록 지하부 생존율은 감소하였다. 또한 염류농도가 증가할수록 지하부 생존율도 감소하였다. 따라서 토양산도가 올라갈수록 뿌리썩음병 발생이 적어지며, 질산태질소와 염류농도가 높아질수록 뿌리썩음병 발생이 많아지는 특성을 보였다.

Rahman과 Punja (2005)에 의하면 인삼뿌리썩음병 (*C. destructans*) 균사체의 생장은 pH 5.0보다 pH 7.0에서 유의적으로 낮았으며, 병징은 pH 7.0과 비교하여 pH 5.0에서 유의적으로 커 뿌리썩음병 발생은 pH에 따라 차이를 보인다고 하였다. Lee 등 (1985)에 의하면 질산태질소는 인삼의 결주율을 증가시켰고 Lee 등 (1989a)도 인삼 결주율과 질소함량은 부의상관을 보인다고 하였으며, 염류농도의 증가는 작물의 양분흡수를 억제하고 뿌리의 갈변과 상처를 유발하여 뿌리썩음병 발생을 촉진시킨다고 하였다 (Uhm et al., 2001; Yang et al., 2000b).

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청에서 주관하는 윤작물을 이용한 인삼 연작장해 경감 작부체계 개발 과제(과제번호: PJ01271101)의 연구비 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

Choi SY, Park KS, Kim KJ and Kim JC. (2004). Occurrence and control of black root rot of peony(*Paeonia lactiflora*) on continuous cropping. *Research in Plant Disease*. 10:268-271.

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.

Davis JR, Huisman OC, Westermann DT, Hafez SL, Everson DO, Sorensen LH and Schneider AT. (1996). Effects of green manures on *Verticillium* wilt of potato. *Phytopathology*. 86:444-453.

Hashem M, Moharam AM, Zaied AA and Saleh FEM. (2010). Efficacy of essential oils 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, Hyeon 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 Medicinal Crop Science*. 17:439-444.

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 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.

Larkin RP and Honeycutt CW. (2006). Effects of different 3-year cropping systems on soil microbial communities and rhizoctonia diseases of potato. *Phytopathology*. 96:68-79.

Lee IH, Park CS and Song KJ. (1989a). Growth of *Panax ginseng* affected by the annual change in physico-chemical properties of ginseng cultivated soil. *Journal of Ginseng Research*. 13:84-91.

Lee IH, Park H and Yuk CS. (1989b). Yield and missing plant rate of ginseng affected by the annual changes in physico-chemical properties of ginseng cultivated soil. *Journal of*

- Korean Society of Soil Science and Fertilizer. 22:18-24.
- Lee IH, Park CS, Park HS 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. *Journal of Ginseng Research*. 9:36-41.
- Lee SW, Lee SH, Jin ML, Park KH, Jang IB and Kim KH.** (2016a). Control of soil-borne pathogens in ginseng cultivation through the use of cultured green manure crop and solarization in greenhouse facilities. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 24:136-142.
- Lee SW, Lee SH, Park KH, Jin ML, Jang IB and Kim KH.** (2015). 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 and Jin ML.** (2016b). 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.
- National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST).** (2000). Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology. Rural Development Administration. Suwon, Korea. p.89-93.
- Nicol RW, Yousef L, Traquair JA and Bernards MA.** (2003). Ginsenosides stimulate the growth of soilborne pathogens of American ginseng. *Phytochemistry*. 64:257-264.
- Ochiai N, Powelson ML, Dick RP and Crowe FJ.** (2007). Effects of green manure type and amendment rate on *Verticillium* wilt severity and yield of Russet Burbank potato. *Plant Disease*. 91:400-406.
- Ohh SH, Lee SK, Lee JH and Han SC.** (1983). New root rot disease of *Panax ginseng* due to *Ditylenchus destructor* Thorne. *Korean Journal of Applied Entomology*. 22:181-185.
- Oh WK.** (1978). Effects of organic materials on soil chemical properties. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 11:161-174.
- 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.
- Park H, Mok SK and Kim KS.** (1982). Relationship between soil moisture, organic matter and plant growth in ginseng plantations. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 15:156-161.
- 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.
- Paik SB and Oh YS.** (1990). Screening for antifungal medicinal plants controlling the soil borne pathogen, *Pythium ultimum*. *The Korean Journal of Mycology*. 18:102-108.
- Pinkerton JN, Ivors KL, Miller ML and Moore LW.** (2000). Effect of soil solarization and cover crops on populations of selected soilborne plant pathogens in western Oregon. *Plant Disease*. 84:952-960.
- Rahman M and Punja ZK.** (2005). Factors influencing development of root rot on ginseng caused by *Cylindrocarpon destructans*. *Phytopathology*. 95:1381-1390.
- 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*. 295:2294-2299.
- 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.
- Yang CH, Ryu JH, Kim TK, Lee SB, Kim JD, Baek NH, Kim S, Choi WY and Kim SJ.** (2009). Effect of green manure crops incorporation with rice cultivation on soil fertility improvement in paddy field. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 42:371-378.
- Yang SS, Kim CH and Nam KW.** (2000a). Ecological studies on *Fusarium* diseases of fruit-vegetables under structure cultivation: 2. Effect of kind and amount of organic matters on the occurrence of *Fusarium* diseases of fruit-vegetables and soil microorganism under structure. *Research in Plant Disease*. 6:65-70.
- Yang SS, Kim CH and Nam KW.** (2000b). Ecological studies on *Fusarium* diseases of fruit-vegetables under structure cultivation: 3. Effect of soil salinity on the root growth and *Fusarium* disease of tomato and cucumber. *Research in Plant Disease*. 6:71-75.
- Yousef LF and Bernards MA.** (2006). *In vitro* metabolism of ginsenosides by the ginseng root pathogen *Pythium irregulare*. *Phytochemistry*. 67:1740-1749.