



토양 훈증 및 녹비작물 재배가 인삼의 연작장해 경감에 미치는 영향

이성우[†] · 이승호 · 서문원 · 장인복 · 장인배 · 유 진 · 문지원 · 서수정

농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부

Effect of Soil Fumigation and Maize Cultivation on Reduction of Replant Failure in Ginseng

Sung Woo Lee[†], Seung Ho Lee, Moon Won Seo, In Bok Jang, In Bae Jang, Jin Yu, Ji Won Moon and Soo Jung Suh

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

ABSTRACT

Background: Dazomet are widely used as soil fumigant to solve soilborne problems, and the degradation intermediates are toxic to nematodes, fungi, bacteria, insects and weeds.

Methods and Results: The effects of cultivation of green manure crop, maize before and after soil fumigation on the control of ginseng root rot disease were compared using soil where 6-years-old ginseng was harvested. Fumigant (dazomet) were used for soil fumigation in May and September, respectively. Maize was grown for soil management before and after soil fumigation. After May fumigation, the sowing date of maize was delayed by 15 days and thus its dry weight was decreased significantly. Maize cultivation after May fumigation increased pH but decreased EC, NO₃, P₂O₅, and K significantly. Maize cultivation after May fumigation decreased fungi population and the ratio of fungi and bacteria. Growth of 2-years-old ginseng was improved and the incidence of ginseng root rot was significantly decreased by maize cultivation after May fumigation. After harvesting 2-years-old ginseng, the population of *Cylindrocarpon destructans* was not different between treatment of May and September, but *Fusarium solani* showed a significant increase in September fumigation after maize cultivation.

Conclusions: Maize cultivation after soil fumigation was effective in inhibiting ginseng root rot by the amendment of mineral composition and microorganism in fumigated soil.

Key Words: *Panax ginseng* C. A. Meyer, Maize Cultivation, Replant Failure, Soil Fumigation, Soil Microorganism

서 언

인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer)은 오천년 전부터 한약 재료 이용되어 올 만큼 오랜 역사를 가진 약용작물이며, 우리나라를 대표하는 특산물로 세계적으로 명성이 높다. 그러나 연작장해로 인하여 초작지 부족, 임차료 증가, 원거리 경작 등으로 경영비가 늘어나 경쟁력이 점차 약화되고 있는 실정이다.

인삼의 연작장해는 주로 *Cylindrocarpon destructans*와 *Fusarium solani* 등과 같은 토양진염성 병원균에 의한 뿌리썩음병 때문에 발생한다고 보고하였다 (Rahman and Punja, 2005; Kang *et al.*, 2007). 인삼뿌리에서 분비되는 페놀화합물이 축적되어 인삼의 생육이 억제되고 (autotoxicity) 뿌리썩음

병원균의 병원성도 강해져 연작장해 발생이 증가하게 된다고 보고하였다 (Sun *et al.*, 2013).

인삼뿌리에서 토양으로 분비되는 물질은 *C. destructans*의 생육에 필요한 영양공급원이 되고 병원균 포자의 발아를 유도하는 신호로 작용하는 화학적 유인 물질을 함유하고 있다고 보고하였다 (Xu *et al.*, 2016). 또한 인삼을 연작하게 되면 양분의 과잉 축적과 결핍이 발생하고 토양물리성이 악화된다고 하였으며 (Lee *et al.*, 1989), *Fusarium spp.*의 우점에 의해 토양미생물상이 단순하게 되어 연작장해 발생이 늘어난다고 하였으며 (Park *et al.*, 2011), 감자썩이선충과 같은 선충에 의한 피해도 연작장해 발생을 증가시킨다고 하였다 (Ohh *et al.*, 1983).

[†]Corresponding author: (Phone) +82-43-871-5505 (E-mail) yokozawa@leesw@korea.kr

Received 2018 February 28 / 1st Revised 2018 March 19 / 2nd Revised 2018 April 10 / 3rd Revised 2018 March 14 / Accepted 2018 March 24

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.

인삼의 연작장해를 경감하기 위해 토양훈증제를 이용한 소독방법이 활용되고 있다. 과거 많이 사용되어왔던 메틸 브로마이드 (methyl bromide)는 할로젠 가스를 방출하여 오존층을 파괴하기 때문에 사용이 금지되어 metam-sodium (sodium N-methyl dithiocarbamate)이나 다조메 [dazomet, (tetrahydro-3,5-dimethyl-2H-1,3,5-thiadiazine-2-thione)]로 대체되었다.

다조메 입제는 포유동물에 대한 독성이 비교적 적으며 환경에 대한 영향도 낮아 이스라엘과 전 세계에서 널리 사용되고 있다 (Fritsch and Huber, 1995). 다조메 입제를 토양에 섞어 주면 토양수분과 반응하여 MITC (methyl-isothiocyanate), CS₂ 및 기타 휘발성 물질로 분해된다. 분해 중간산물인 MITC는 선충류, 균류, 박테리아, 곤충 및 잡초에 독성을 나타낸다. 습기가 적절한 호기성 토양에서 다조메의 반감기는 24 시간 미만이고 중탄산염, 질산염 및 황산염으로 최종 분해되어 식물의 영양물질로 이용되는데, MITC는 토양수분이 많을 경우 완전히 휘발되지 않고 토양 속에 남아 있다가 작물을 재배했을 때 피해를 줄 수 있다고 하였다 (Frick et al., 1998; Fu et al., 2012).

토양병은 대부분의 생활환을 토양에서 보내는 토양 서식 병원균 또는 생활환의 일부를 토양에서 보내는 토양 침입 병원균에 의하여 발생하는데, 토양 병을 일으키는 대표적인 병원균은 역병균 (*Phytophthora*), 질록병균 (*Pythium*, *Rhizoctonia*), 뿌리썩음병균 (*Fusarium*, *Cylindrocarpon*), 흑색썩음균핵병균 (*Sclerotium*) 등이 있으며, 세균으로는 무름병균 (*Erwinia*)이 있다. 이들은 내구체 (후막포자)를 만들거나 토양 속에 남아있는 식물체 조직 속에서 장기간 생존이 가능하며, 대부분 여러 작물에 침해할 수 있는 다범성 병원균들이고 작물을 연작하면 해마다 병원균이 토양에 누적되어 병 발생이 점점 더 심해진다.

토양훈증제로 토양소독을 할 경우 토양 병을 일으키는 병원균 뿐 만 아니라 토양 생태계 유지에 도움이 되는 유익한 미생물까지 사멸되어 토양훈증을 한 다음에는 토양 미생물상을 복원하는 기술이 필요하다고 하였으며 (Bonanomi et al., 2008), 토양훈증제가 분해되고 남은 각종 산물 (식물 영양물질)이 인삼 생육에 영향을 미칠 수 있다고 하였다 (Frick et al., 1998).

따라서 본 연구에서는 다조메 입제로 토양훈증을 한 다음 녹비작물 (사료용 옥수수)을 재배하여 토양의 이화학적과 미생물상을 개선하고 이를 통해 인삼의 연작장해 경감효과를 구명하기 위해 실시하였다.

재료 및 방법

1. 시험토양

본 시험은 2016년 5월부터 2017년 10월까지 국립원예특작

과학원 인삼특작부 시험포장에서 수행하였다. 시험토양은 2015년 10월 중순에 6년근 인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer)을 수확한 연작지 토양을 이용하였는데, 2016년 4월 상순에 20 cm 깊이 이내의 작토층을 채취하여 지름 30 cm, 높이 35 cm의 플라스틱 원형포트 (Namyang Plastic Co., Gunpo, Korea)에 담아 비닐하우스 시설 안으로 옮긴 다음 시험재료로 사용하였다.

시험토양은 사양토 (지산통)이었으며, 토양의 이화학적은 pH; 6.20, EC; 0.77 dS/m, OM; 17.46 g/kg, P₂O₅; 150.9 mg/g, K; 0.45 cmol⁺/kg, Ca; 4.17 cmol⁺/kg, Mg; 1.30 cmol⁺/kg 로 재배에 적합한 토양이었다.

2. 토양훈증

토양 훈증처리 후 녹비작물 재배와 녹비작물 재배 후 토양 훈증처리에 따른 인삼의 연작장해 경감효과를 구명하기 위해 5월과 9월에 각각 훈증처리를 하였다. 5월 훈증처리구는 5월 상순에 토양을 훈증처리한 다음 녹비작물로 사료용 옥수수를 재배하여 예정지를 관리하였으며, 9월 훈증처리구는 5월에 사료용 옥수수를 재배하여 예정지관리를 한 다음 9월 상순에 토양을 훈증처리 하였다.

훈증제는 다조메 (dazomet) 입제 (basamid, Farm Hannong Co., Ltd., Seoul, Korea)를 이용하였는데, Fu 등 (2012)의 방법에 따라 다조메 입제가 토양에서 토양수분과 반응하여 가스로 잘 분해될 수 있도록 관수하여 토양수분을 18% 내외로 조정된 다음 다조메 입제를 10 a당 60 kg의 비율로 토양에 혼합하였다. 그리고 토양 표면에 0.15 mm 두께의 PE 투명비닐 (Ihshin Chemical Co., Ltd., Ansan, Korea)을 피복하여 가스가 공기 중으로 방출되는 것을 막았다.

2주간 피복하여 훈증 처리한 다음 비닐을 벗기고 2일 간격으로 3회 흙을 뒤집어 잔류 가스를 빼주었다. 훈증처리 시 지하 10 cm 깊이의 평균지온은 5월이 20.4°C, 9월이 24.8°C로 가스발생 최소온도인 15°C를 상회하여 가스발생 조건을 충족하였다.

3. 녹비작물 재배

토양 훈증처리 전후에 녹비작물을 재배하기 위해 사료용 옥수수 품종인 광평옥을 이용하였다.

5월 상순 훈증 처리구는 5월 하순에 옥수수 종자를 포트당 2립씩 점파하여 9월 하순까지 재배한 다음 식물체를 5 cm 크기로 절단하여 토양에 환원하였다.

9월 상순 훈증 처리구는 5월 상순에 옥수수 종자를 포트당 2립씩 점파하여 8월 하순까지 재배한 다음 식물체를 5 cm 크기로 절단하여 토양에 환원하였다. 관수는 토양수분이 18-20% 내외로 유지될 수 있도록 적절히 조절하였으며, 옥수수 재배를 위해 시비는 별도로 하지 않았다.

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

토양을 훈증처리 한 다음, 묘삼을 정식하기 전인 2017년 4월 상순에 토양시료를 채취하여 인지질 지방산을 추출한 후 토양 미생물상을 분석하였다.

토양시료 4g에 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.

그람음성균의 지표 지방산은 18:1 ω7c, 19:0cy ω8c, 17:1 ω8c, 그람양성균은 i14:0, i15:0, a15:0, i16:0, i17:0, a17:0, 세균은 그람음성균과 그람양성균에 대한 지표 지방산을 모두 이용하였다. 곰팡이는 18:1 ω9c, 18:2 ω6c를, 방선균은 10Me 16:0, 10Me 17:0, TBSA 10Me 18:0를, 균근균은 16:1 ω5c를 이용하였다.

5. 토양 이화학성 분석

토양을 훈증처리 한 다음, 묘삼을 정식하기 전인 2017년 4월 상순에 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 10g을 100 ml 삼각플라스크에 평량하고 침출액 (0.1N HCl) 50 ml 첨가 후 항온 수조 30°C에서 1시간 진탕 후 Toyo No. 5B로 여과하여 ICP-OES (Intergra XMP, GBC Scientific Equipment, Braeside, Australia)로 치환성 양이온을 측정했다.

6. 인삼 재배관리

2017년 4월 상순에 개체 중 0.75 g 내외의 묘삼을 포트당 20 주씩 이식하여 2년생 인삼의 생육특성 및 뿌리썩음병 발생을 조사하였다. 시험포트는 처리당 5 포트씩 4 반복으로 배치하여 조사하였다. 재배시설은 폭 3.5 m, 높이 2.5 m의 비닐하우스이었으며, 차광을 위해 차광율 70%의 2 중직 흑색 차광망으로 피복하였다. 기타 재배관리는 인삼표준경작법에 준하여 관리하였다.

7. 인삼뿌리썩음병원균 밀도 분석

2017년 10월 하순경 2년생 인삼을 수확한 다음 토양시료를 채취하여 *C. destructans*와 *F. solani*의 밀도를 분석하였다.

토양시료 5g과 radicicol (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) 50 mg/l 를 첨가한 minimal mineral broth 5 ml 을 50 ml falcon tube에 넣고, 48 시간 동안 20°C 조건에서 정치배양 하였다. 정치배양을 한 falcon tube를 1 분간, 5,000 rpm 으로 원심분리한 후, 상등액 1 ml 을 멸균수를 이용하여 100 배로 희석하였다. 희석액 400 μl 를 radicicol 50 mg/l 이 첨가된 minimal mineral agar 배지에 도말하였다.

20°C 조건에서 7 일간 배양 후 병원균의 DNA를 추출한 다음 DNA 시료와 인삼뿌리썩음병원균 동정용 primer를 포함하는 혼합액으로 RT-PCR (CFX96 real-time system, Bio-Rad, Hercules, CA, USA)을 수행하고 그 결과를 병원균 밀도 정량 곡선에 대입하여 토양내 병원균의 밀도를 측정하였다.

8. 인삼 생육특성 및 뿌리썩음병 발생량 조사

2년생 인삼을 대상으로 지상부 생육은 7월 하순경 초장, 경장, 엽장, 엽폭 등을 조사하였으며, 지하부 생육 및 뿌리썩음병 발생율은 10월 하순에 수확하여 조사하였다.

이병주율은 뿌리썩음병에 이병된 개체의 비율로 나타내었고, 무병주율은 뿌리썩음병 발생이 전혀 없는 개체의 비율이었는데, 무병주율(재식주수 × 100)으로 계산하였다. 뿌리썩음병 발생 정도는 0 (무발생), 1 (발병초기, 작은 반점 형성), 2 (뿌리 전체에서 부패 증상 50% 이하), 3 (뿌리전체에서 부패 증상 70% 이하), 4 (완전 부패)로 구분하여 다음과 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.

9. 통계분석

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

결과 및 고찰

1. 녹비작물 옥수수 생육특성

토양훈증 처리전후 예정지 관리용 녹비작물로 재배한 사료용 옥수수의 생육특성 및 건물중은 Table 1과 같다.

5월 훈증 후 옥수수 재배 처리는 옥수수 재배 후 9월 훈증 처리보다 파종기가 15 일 지연되어 초장, 경태가 약간 감소되고 생체중과 건조중이 유의적으로 감소하였다. 보통 인삼

Table 1. Growth characteristics of green manure crop, forage maize cultivated before and after soil fumigation.

| Treatment | Plant height (cm) | Stem diameter (mm) | Fresh weight (kg/10a) | Dry weight (kg/10a) |
|--------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|
| MCAF ¹⁾ | 182.80a | 22.05a | 3,527.00b | 2,783.00b |
| SFAM ²⁾ | 204.20a | 22.76a | 4,752.00a | 3,749.00a |

¹⁾Maize cultivation after fumigation in May (date of sowing; May 24), ²⁾September fumigation after Maize cultivation (date of sowing; May 8). *Means with same letters are not significantly different in Duncan's Multiple Range Test ($p < 0.05$). Corn variety; Gwangpyeongok, Fumigant usage; dazomet 60 kg/10a.

(*Panax ginseng* C. A. Meyer) 예정지 관리용으로 많이 재배되고 있는 수단그라스의 건물중은 10 a당 2,223 kg 이라고 보고하였는데 (Lee *et al.*, 2016), 본 시험에서 5월 훈증 후 옥수수를 재배하여 파종기가 다소 지연되어도 옥수수 건물중은 수단그라스보다 많았다.

따라서 옥수수를 이용하면 파종기가 다소 지연되어도 녹비작물의 역할은 충분히 할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 토양 이화학성의 변화

Table 2에서와 같이 5월에 훈증처리를 하고 사료용 옥수수를 재배하여 예정지관리를 해주면 옥수수 재배 후 9월 훈증 처리보다 pH는 증가하나 EC, NO₃, P₂O₅, K은 유의적으로 감소되어 인삼을 재배하기에 적절한 토양환경이 조성되었다.

Lee 등 (2017b)과 Youn 등 (2017)도 윤작물이나 녹비작물을 재배하여 토양에 환원하면 토양 pH가 증가하고 염류농도가 감소된다고 하였다. 일반적으로 다조메 입제를 이용하여 토양을 훈증처리 하면 다조메가 최종 분해되어 중탄산염, 질산염 및 황산염으로 토양에 축적되어 양분의 과잉 장해를 일으킬 수 있다고 보고하였다 (Frick *et al.*, 1998). Bonanomi 등

(2008)은 다조메 처리로 총질소와 암모니아태 질소가 증가된다고 하였다.

따라서 훈증처리를 하면 질소성분이나 염류농도가 재배 적정치 이상으로 증가될 수 있기 때문에 토양 이화학적 개선을 위해 벧짚 시용이나 녹비작물 재배와 같은 조치가 필요할 것으로 생각된다.

3. 토양 미생물상의 변화

Table 3에서와 같이 5월 에 훈증처리를 하고 사료용 옥수수를 재배한 처리는 옥수수 재배 후 9월 훈증 처리보다 그람양성세균이 증가하고 그람음성세균이 감소되었는데, 옥수수 재배 후 식물체를 토양에 혼화해주고 곧이어 토양훈증을 하면 옥수수가 완전히 부숙되지 못해 혐기성 세균인 그람음성균의 밀도가 높아졌기 때문으로 보인다.

그람음성세균/그람양성세균의 비율은 5월 훈증후 옥수수 재배 처리구가 높았는데, Kramer과 Gleixner (2008), Kim과 Lee (2011) 및 Lee 등 (2016)도 신선한 녹비를 투입하거나 윤작물을 재배하면 그람음성세균의 비율이 증가된다고 보고하였다.

총 세균은 처리 간에 차이가 없었으나 곰팡이 및 곰팡이/세균의 비율은 5월 훈증 후 옥수수 재배 처리에서 감소되었다. Chung 등 (1989)은 고추, 참깨, 땅콩을 연작하면 세균의 밀도가 감소하고 곰팡이의 밀도가 증가하며, 곰팡이/세균의 비율이 증가된다고 보고하였는데, 본 시험에서도 곰팡이의 감소에는 5월 훈증후 옥수수를 재배한 처리에서 더 컸다.

4. 인삼의 생육특성 및 뿌리썩음병 발생률

토양 훈증처리 전후에 사료용 옥수수를 재배하여 예정지 관리를 한 다음 묘삼을 정식하여 2 년생 인삼 의 지상부 생육 특성을 조사한 결과는 Table 4와 같다.

5월 훈증 후 옥수수를 재배하여 예정지를 관리한 처리에서

Table 2. Changes of soil chemical properties by forage maize cultivation before and after soil fumigation.

| Treatment | 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 |
| MCAF ¹⁾ | 7.19a | 0.84b | 56.90a | 33.70b | 203.10b | 0.59b | 9.83a | 2.04a | 0.16a |
| SFAM ²⁾ | 6.86b | 2.58a | 65.40a | 162.30a | 241.70a | 1.00a | 10.50a | 2.34a | 0.16a |

¹⁾Maize cultivation after fumigation in May, ²⁾September fumigation after Maize cultivation. *Means with same letters are not significantly different in Duncan's Multiple Range Test ($p < 0.05$). Fumigant usage; dazomet 60 kg/10a.

Table 3. Comparison of soil microbial communities by forage maize cultivation before and after soil fumigation (p_{mol}/soil g).

| Treatment | G+ bacteria | G- bacteria | Total bacteria | Fungi | Actinomycetes | G-/G+ (%) | F/B (%) |
|--------------------|-------------|-------------|----------------|--------|---------------|-----------|---------|
| MCAF ¹⁾ | 9.91a | 27.34b | 37.26a | 5.32b | 0.86a | 0.36a | 0.14b |
| SFAM ²⁾ | 5.65b | 46.96a | 36.18a | 15.85a | 0.73a | 0.26b | 0.24a |

¹⁾Maize cultivation after fumigation in May, ²⁾September fumigation after Maize cultivation. G+; gram positive, G-; gram negative, F; fungi, B; bacteria. *Means with same letters are not significantly different in Duncan's Multiple Range Test ($p < 0.05$).

Table 4. Growth characteristics of aerial part of 2-years-old ginseng by forage maize cultivation before and after soil fumigation.

| Treatment | Plant height (cm) | Stem length (cm) | leaf length (cm) | Leaf width (cm) |
|--------------------|-------------------|------------------|------------------|-----------------|
| MCAF ¹⁾ | 16.00a | 5.98a | 5.63a | 2.87a |
| SFAM ²⁾ | 13.30b | 4.47b | 5.33a | 2.69a |

¹⁾Maize cultivation after fumigation in May, ²⁾September fumigation after Maize cultivation. *Means with same letters are not significantly different in Duncan's Multiple Range Test ($p < 0.05$). Fumigant usage; dazomet 60 kg/10a.

초장, 경장 등 지상부 생육이 더 양호하였는데, 이는 Table 2에서와 같이 토양의 염류농도 등 무기성분이 5월 훈증 후 옥수수 재배 처리에서는 낮고 옥수수 재배 후 9월 훈증처리에서는 매우 높아 인삼 생육이 억제되었기 때문으로 보인다. 인삼의 재배에 적당한 염류농도는 0.5 - 1.0 dS/m 이며, 염류가 과다할 경우 생리장해가 발생한다고 보고하였다 (Kim *et al.*, 2015).

토양 훈증처리 전후에 사료용 옥수수를 재배하여 예정지 관리를 한 다음 묘삼을 정식하여 2 년생 인삼의 지하부 생육과 뿌리썩음병 발생율을 조사한 결과는 Table 5와 같다. 5월 훈증 후 옥수수 재배 처리에서 지하부 생존율, 근장이 더 양호하고 뿌리썩음병 발생율도 현저히 낮았다.

본시험에서 주당근중이 1.38 g으로 상대적으로 낮은 이유는 뿌리썩음병 검정을 위해 포트에 밀식하여 재배하였기 때문으로 보인다. 다조메를 이용한 토양훈증 후에도 뿌리썩음병원균의 후막포자는 완전히 사멸되지 않는다고 보고하였으며 (Tian *et al.*, 2014), 염류농도가 높은 토양에서는 뿌리썩음병원균이 조금만 존재하여도 뿌리썩음병 발생이 급격히 증가된다는 보고가 있기 때문에 (Yang *et al.*, 2000; Uhm *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2017a), 본 시험에서도 염류농도가 높은 처리에서 뿌리썩음병 발생이 현저히 많아진 것으로 보인다.

미 부속 유기물을 사용할 때에는 가스가 발생하거나 중간분해산물 (폐놀산 등)이 인삼뿌리에 영향을 미쳐 생리장해 (적변)가 발생되는데, 녹비작물로 토양에 사용한 옥수수 식물체가 완전히 분해되지 못하여 인삼 뿌리썩음병 발생에도 일부 영향을 미친 것으로 생각된다.

Ahn 등 (1982)에 의하면 6 년근 인삼 수확후 3월 상순에 다조메 입제 38 kg/10a을 사용하여 토양을 훈증처리 한 다음 이듬해 4월 상순에 묘삼을 이식하여 생물검정을 한 결과 2 년생 인삼의 뿌리썩음병 발생율은 42%로 매우 높아 처리효과를 높이기 위해서는 훈증제 사용량, 훈증시기, 토양수분, 토양이 화학성의 조절 등에 대한 검토가 필요하다고 하였다.

Table 5. Root growth and root rot disease of 2-years-old ginseng by forage maize cultivation before and after soil fumigation.

| Treatment | Ratio of survived root (%) | Root weight (g/plant) | Root length (cm) | Ratio of disease-free root (%) | Root rot index ³⁾ (0 - 4) |
|--------------------|----------------------------|-----------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| MCAF ¹⁾ | 87.60a | 1.38a | 16.70a | 86.90a | 0.54b |
| SFAM ²⁾ | 61.70b | 1.22a | 12.30b | 58.70b | 1.63a |

¹⁾Maize cultivation after fumigation in May, ²⁾September fumigation after Maize cultivation, ³⁾Root rot index; $(X0 \times 0) + (X1 \times 1) + (X2 \times 2) + (X3 \times 3) + (X4 \times 4) / (X0 + X1 + X2 + X3 + X4)$, X0; on lesion, X1; rotted-area below 10%, X2; rotted-area below 50%, X3; rotted-area below 70%, X4: completely rotted root. *Means with same letters are not significantly different in Duncan's Multiple Range Test ($p < 0.05$). Fumigant usage; dazomet 60 kg/10a.

Table 6. Comparison of pathogen density of 2-years-old ginseng root rot by forage maize cultivation before and after soil fumigation.

| Treatment | Cylindrocarpou destructans | Fusarium solani |
|--------------------|----------------------------|-----------------|
| MCAF ¹⁾ | 85.3±11.9 | 653.4±39.6 |
| SFAM ²⁾ | 78.2±14.2 | 1,437.7±155.8 |

¹⁾Maize cultivation after fumigation in May, ²⁾September fumigation after Maize cultivation. Fumigant usage; dazomet 60 kg/10a. Date of soil samples; October 25, 2017 (Samples after harvest of 2-years-old ginseng).

5. 인삼뿌리썩음병원균의 밀도 변화

Table 5에서와 같이 토양훈증 처리 후 2 년생 인삼을 수확한 다음 토양을 채취하여 인삼 뿌리썩음병원균의 밀도를 조사한 결과 *C. destructans* 밀도는 초작지 수준의 밀도를 보였으며, 처리 간에 차이가 없었으나 *F. solani* 밀도는 처리 간에 뚜렷한 차이를 보였는데, 옥수수 재배 후 9월 훈증 처리에서 뚜렷한 증가를 보였다 (Table 6).

*F. solani*는 대부분 인삼재배 토양에 존재하며 병원성이 약하나 증식이 빠른 편이라고 보고하였는데 (Lee, 2004), 토양이나 묘삼 표면에 일부 존재하는 *F. solani*가 옥수수 재배 후 9월 훈증 처리처럼 염류농도가 높았을 때 생긴 인삼뿌리의 상처를 통해 침투하여 병을 일으켰기 때문으로 생각된다. Yang 등 (2000)도 토양의 염류농도가 높을 때 오이 뿌리의 상처로 인해 *F. solani*에 의한 병 발생이 증가된다고 하였다.

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

- 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.
- Bonanomi G, Chiurazzi M, Caporaso S, Sorbi GD, Moschetti G and Felice S.** (2008). Soil solarization with biodegradable materials and its impact on soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry* 40:1989-1998.
- 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.
- Frick A, Zebarth BJ and Szeto SY.** (1998). Behavior of the soil fumigant methyl isothiocyanate in repacked soil columns. *Journal of Environmental Quality.* 27:1158-1169.
- Fritsch HJ and Huber R.** (1995). Basamid granular-a halogen free soil disinfectant. *Acta Horticulturae.* 382:76-85.
- Fu CH, Hu BY, Chang TT, Hsueh KL and Hsu WT.** (2012). Evaluation of dazomet as fumigant for the control of brown root rot disease. *Pest Management Science.* 68:959-962.
- 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 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.
- 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 IH, Park H and Yuk CS.** (1989). Yield and missing plant rate of *Panax ginseng* affected by the annual changes in physico-chemical properties of ginseng cultivated soil. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer.* 22:18-24.
- Lee SG.** (2004). *Fusarium* species associated with ginseng(*Panax ginseng*) and their role in the root-rot of ginseng plant. *Research in Plant Disease.* 10:248-259.
- Lee SW, Lee SH, Park KH, Jang IB, Jin ML and Seo MW.** (2017a). Effect of crop rotation system on soil chemical properties and ginseng root rot after harvesting ginseng. *Korean Journal of Medicinal Crop Science.* 25:244-251.
- 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.** (2017b). 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.
- National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST).** (2000). Methods of soil chemical analysis. Rural Development Administration. Suwon, Korea. p.89-93.
- 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 Plant Protection.* 22:181-185.
- 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.
- Rahman M and Punja ZK.** (2005). Factors influencing development of root rot on ginseng caused by *Cylindrocarpon destructans*. *Phytopathology.* 95:1381-1390.
- Sun J, Fu J, Zhou R and Yan X.** (2013). Antibiotic effects of four exogenous phenolic acids on soilborne pathogen, *Cylindrocarpon destructans*. *Applied Mechanics and Materials.* 295-298:2294-2299.
- Tian T, Li SD and Sun MH.** (2014). Synergistic effect of dazomet soil fumigation and *Clonostachys rosea* against cucumber fusarium wilt. *Phytopathology.* 104:1314-1321.
- 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.
- Xu Y, Chi K, Zhang A, Lei F, Yang H, Zhao Y, Li K, Wang E, 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). Ecological studies on *Fusarium* diseases of fruit-vegetables under structure cultivation: Part 2. Effect of kind and amount of organic matters on the occurrence of *Fusarium* diseases of fruit-vegetables and soil microorganisms under structure. *Plant Disease Research.* 6:65-70.
- Youn CK, Kim KH, Kim IJ, Hong ST, Hong EY and Kim YK.** (2017). Effects of incorporation of green manure crops on growth and quality in *Cynanchum wilfordii* Hemsley. *Korean Journal of Medicinal Crop Science.* 25:115-120.