



비닐하우스에서 녹비작물 토양환원과 태양열 소독에 의한 인삼뿌리썩음병 억제

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

농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부

Control of Soil-Borne Pathogens in Ginseng Cultivation through the Use of Cultured Green Manure Crop and Solarization in Greenhouse Facilities

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

Ginseng Research Division, Department of Herbal Crop Research, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Eumseong 27709, Korea.

ABSTRACT

Background: Root diseases caused by *Cylindrocarpon destructans* and *Fusarium solani* decrease the yield and quality of ginseng. *Cylindrocarpon* root rot is a major disease caused by replant failure in ginseng fields.

Methods and Results: Solarization of infested greenhouse soil was carried out during the summer season after applying green manure (Sudan grass) and Calcium Cyanamide (CC) on the soil. Mycelium and conidia of *C. destructans* died at 40°C after 15 h, but they did not die at 35°C after 15 h. They also died after keeping the soil at 40°C for 2 h daily for 9 days, and at 45°C for 8 days, but they did not die at 38°C for 9 days. Maximum soil temperature was 55.4°C at 5 cm depth, 48.7°C at 10 cm, 44.7°C at 15 cm, 42.5°C at 20 cm, and 31.9°C at 30 cm by incorporating green manure into the soil and using solarization. Solarization using green manure mixed with CC was the most effective in decreasing soil-borne pathogens of 2-year-old ginseng. However, the addition of CC decreased the root weight due to the increase in EC and NO₃-N.

Conclusions: Soil disinfection using green manure and solarization in a greenhouse environment was effective in inhibiting root rot, however, it did not completely kill the soil-borne pathogens.

Key Words: *Panax ginseng*, *Cylindrocarpon destructans*, Calcium Cyanamide, Green Manure, Root Rot, Solarization

서 언

인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer)은 제주도를 제외한 한반도 전역과 중국 동북3성 및 시베리아 지역에서 자생하고 있는 다년생 약용작물이며, 생육적온은 20°C 내외로 반그늘에서 잘 자란다. 인삼은 장마철 잦은 강우나 높은 습도에 의해 잎이 오랜 동안 젖어 있으면 점무늬병, 탄저병 등의 발생이 증가하며, 이로 인해 농약 방제횟수가 늘어나고 농약잔류의 위험도 커진다 (Jung *et al.*, 2014; Kim and Park, 2013). 그러나 비닐하우스에서 인삼을 재배하면 강우가 차단되어 점무늬병, 탄저병 등 지상부 병해 발생이 현저히 줄어들기 때문에

친환경재배가 가능해지고 잎을 가을까지 정상적으로 유지할 수 있어 수량도 증가된다 (Kim *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2011; Mo *et al.*, 2015). 또한 농작업도 편리하기 때문에 시설비가 많이 소요되더라도 불구하고 산간 고랭지를 중심으로 비닐하우스에서 인삼을 재배하는 농가가 점점 늘어나고 있다. 그러나 비닐하우스에서 인삼을 수확하고 난 다음 재작하기 위해서는 새 흙을 작토층에 덮어주는 성토를 하거나 작토층을 파내고 새 흙을 채워주는 환토작업이 필요하다. 보통 토양전염성 병원균은 지하 50 cm 이내의 작토층에 대부분 존재하므로 성토는 50 cm 이상을 해야 안전하며 (Jun *et al.*, 2002), 토양이 화학성을 조절하기 위해 1년 이상의 예정지관리가 필요한데, 적

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

Received 2016 January 29 / 1st Revised 2016 February 18 / 2nd Revised 2016 March 14 / 3rd Revised 2016 March 21 / 4th Revised 2016 March 28 / Accepted 2016 March 29

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.

당한 흙을 구하기 어려울 뿐 아니라 작토층도 높아져 하우스 높이가 낮아지는 단점이 있다. 환토도 비닐하우스 내에서 흙을 밖으로 파내는 작업이 곤란하여 실용화에 한계가 있는 실정이다.

답수하여 토양전염성 병해를 억제하는 방법이 있는데, 인삼 수확 후 벼를 4-5년 재배하면 염류농도도 감소하고 인삼뿌리 썩음병원균의 밀도도 현저히 줄어들어 4년근 인삼재배가 가능하다 (Park *et al.*, 1997). 그러나 5년생부터는 인삼뿌리썩음병원균의 밀도가 증가되어 결주가 크게 늘어나 5-6년근 인삼재배는 곤란한 실정이다.

다조메 입제 등 훈증제를 이용하여 토양을 소독하는 방법은 연작장해를 극복하기 위한 가장 효과적인 방법인데, 토양수분이 적절하고 지온이 최소 15°C 이상 되어야 가스 발생량이 많아 살균효과가 높아진다. 그러나 심토층에 훈증제를 집어넣기 곤란하여 심토층의 소독이 불완전해지고 식양질 토양에서처럼 딱딱하게 굳어진 흩덩이가 생길 경우 그 속으로 가스 침투가 어려워져 실패하는 경우가 많아 널리 보급되지 못하고 있다 (Ahn *et al.*, 1982).

비닐하우스에서 태양열을 이용하여 지온을 상승시켜 토양병원균을 멸균하는 방법은 친환경적이고 경제적인 토양소독방법이다 (Kyu and Kim, 1985). 이 때 벚지, 쌀겨, 또는 녹비작물 재배하여 토양에 환원하고 요소, 석회질소 등을 섞어주면 유기물이 부숙될 때 나오는 열에 의해 지온이 상승하여 살균효과가 높아진다 (Simmons *et al.*, 2013). 또한 유기물이 분해될 때 산소가 소모되고 이산화탄소가 생성되어 토양이 환원상태로 되면 대부분 호기성 곰팡이인 토양병원균이 더 빨리 사멸하게 된다 (Blok *et al.*, 2000; Klein *et al.*, 2007). 온도 상승에 따른 토양전염성 병원균의 치사율에 관한 보고에서 토마토 시들음병을 유발하는 *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae*는 45°C에서 7일이면 사멸되었고 (Nam *et al.*, 2011), 각종 식물에서 모잘록병을 유발하는 *Rhizoctonia solani*는 37°C에서 14일, 50°C에서 10분 만에 사멸된다고 하였다 (Pullman *et al.*, 1981).

대부분 *Fusarium*속 토양전염성 병원균을 대상으로 태양열을 이용한 지온상승을 통해 병을 방제하고자 하는 연구가 이루어졌는데, 여름철 고온기에 하우스나 노지조건에서 유기물이나 녹비작물을 토양에 투입하고 투명비닐을 피복하여 지온을 상승시키면 대부분 지하 20 cm 이내의 작토층에서는 병원균이 사멸되나 (Tamietti and Valentino, 2006), 병원균 종류 및 토양깊이에 따라 사멸율은 차이를 보였고 (Eshel *et al.*, 2000; Klein *et al.*, 2007), 유기물의 투입량이나 녹비작물의 종류 (Blok *et al.*, 2000; Gamliel and Stapleton, 1993; Stapleton and Duncan, 1998) 및 처리년도 (Tamietti and Valentino, 2006)에 따라 병원균의 사멸율은 조금씩 다른 양상을 보여 인삼 재작지에서 토양병해를 억제하기 위해서는 다양

한 토양소독방법을 적용해야한다.

따라서 본 연구에서는 비닐하우스 내의 인삼 연작지 토양에서 녹비작물을 재배하여 토양에 환원하고 석회질소, 요소 등을 혼합한 후 태양열 소독을 하여 연작장해의 주원인인 토양전염성 병해를 친환경적으로 방제하고자 하였다.

재료 및 방법

본 실험은 충북 음성에 위치한 국립원예특작과학원 인삼특작부의 시험포장에서 2014년 5월부터 2015년 10월까지 수행되었다. 발토양의 토성은 사양토 (사촌통)이고 토양이화학성은 Table 4에서의 무처리 조건과 같이 염류농도가 적정범위보다 다소 높았으나 pH, 유기물, 인산, 칼륨, 마그네슘은 인삼재배 적정범위 내에 있었고 질산태 질소, 칼슘, 나트륨 등은 적정범위보다 약간 높은 특성을 보였다 (Table 4).

이병토양을 조성하기 위해 2013년 10월 하순경 연작장해 발생이 심하여 4년생 인삼재배를 중도에 포기한 농가포장 (3년생 인삼)에서 토양을 옮겨와 10 cm 높이로 성토하여 재작지와 비슷한 토양환경의 시험포장을 조성하였다. 인삼을 재배하기 위한 비닐하우스는 연동하우스로 규격은 폭 12 m, 높이 4.5 m, 길이 50 m이었다.

토양소독을 위한 처리내용은 1) 무처리 + 태양열 소독, 2) 석회질소 + 태양열 소독, 3) 수단그라스 재배 후 토양환원 + 태양열 소독, 4) 수단그라스 재배 후 토양환원 + 석회질소 + 태양열 소독, 5) 수단그라스 재배 후 토양환원 + 요소 + 태양열 소독 등 총 5처리이었다. 석회질소, 요소 사용량은 각각 60 kg/10 a 수준이었으며, 시험구 배치는 난괴법 3반복이었고 시험구 면적은 구당 16.5 m²이었다.

2014년 4월 상순에 인삼전용 유기질퇴비 (Samhyupnongsan, Goesan, Korea)를 10 a당 3,000 kg 사용하고 경운한 다음 5월 상순에 시험구에 수단그라스를 10 a당 6 kg 산파하였다. 토양혼화 직전 수단그라스의 생육정도를 보면 초장 199 cm, 지상부 생체중 3,933 kg/10 a, 지상부 건물중 664 kg/10 a이었다. 7월 24일 수단그라스를 5 cm 길이로 잘게 자른 다음 석회질소 (CaCN₂, Chobi, Seoul, Korea), 요소비료[(NH₂)₂CO, Namhea chemical, Yeosu, Korea]를 각각 토양에 뿌리고 섞어주었다. 0.1 mm 두께의 투명비닐을 피복하고 비닐하우스 출입문을 닫아 하우스 전체를 밀폐하여 8월 31일까지 태양열 소독을 하였다. 이 때 비닐하우스 내부의 온도는 최고 66.2°C까지 상승하였으며, 최저기온은 17.9°C, 평균기온은 30.7°C를 나타냈다. 처리기간 동안 하우스 외부의 최고기온은 평균 29.0°C이었으며, 평균기온은 24.3°C이었다. 9월 1일에 비닐하우스 문을 열고 토양에 피복한 투명비닐을 제거한 다음 가스제거와 유기물의 분해를 돕기 위해 11월 상순까지 3회 경운하였다.

토양소독 처리에 따른 인삼의 토양병해 발생특성을 조사하

기 위해 2015년 3월 하순경 2년생 자경종 묘삼을 재식밀도 150주/3.3 m² 간격 (10월 15행)으로 정식하였다. 비닐하우스 내의 투광율을 조절하기 위해 50% 차광율의 알루미늄 커튼을 2중 (30 cm 간격)으로 설치하였으며, 이때 하우스 내 투광율은 10% 내외 이었다.

인삼뿌리썩음병원균 (*Cylindrocarpon destructans*)의 치사온도를 구명하기 위해 PDA 배지에서 2주간 배양한 병원균 균사체를 35°C, 40°C, 45°C 항온조건에서 3 - 12시간 보관한 후 20°C 배양실로 옮긴 다음 균사체의 일부를 PDA 배지에 치상하여 병원균의 생존여부를 조사하였다. 또한 태양열 소독시 지온이 변화되는 양상과 같은 변온조건 (Arora *et al.*, 1996)에서 병원균의 치사온도를 구명하기 위해 PDA 배지에서 2주간 배양한 병원균 균사체를 38°C, 40°C, 45°C에서 매일 2시간씩 보관한 다음 나머지 시간은 20°C 조건으로 옮겨 보관한 후 변온에 따른 병원균의 생존여부를 조사하였다.

토양화학적 성분은 2015년 3월 하순경 묘삼을 이식하기 전에 토양시료를 채취하여 분석하였다. 토양시료를 풍건하여 분쇄 후 20 mesh (2 mm)체를 통과한 다음 유발에 미세하게 갈아 분석용으로 사용했다. 토양화학적 성분 중 pH, EC, 유기물, 유효인산 및 치환성 양이온인 K, Ca, Mg은 농촌진흥청 토양화학분석법 (NIAST, 2000)에 준하였다. 시료 10 g을 100 ml 삼각플라스틱에 평량하고 침출액 (0.1 N HCl) 50 ml 첨가 후 항온 수조 30°C에서 1시간 진탕 후 Toyo No. 5B로 여과하여 ICP-OES (Integra XMP, GBC Scientific equipment, Braeside, Australia)로 치환성 양이온을 측정했다.

2년생 인삼의 지상부 생존율은 7월 상순에 조사하였으며, 지하부 생육 및 생존율은 10월 하순에 조사하였다. 인삼뿌리에 병 발생이 전혀 없는 건전주율은 무병주율/재식주수 × 100으로 계산하였으며, 뿌리썩음병 발생정도는 0 (무발생), 1 (발병초기, 작은 반점 형성), 2 (뿌리전체에서 부패 증상 1/3 이상 진전), 3 (뿌리전체에서 부패 증상 1/2 이상 진전), 4 (완전 부패)로 구분하여 조사하였다. 통계프로그램 (Statistical Analysis System 9.2 SAS Institute Inc., NC, USA)을 이용하여 5% 유의수준에서 Duncan's Multiple Range Test (DMRT)로 유의성 검정을 하였다.

결과 및 고찰

1. 인삼뿌리썩음병원균 (*C. destructans*)의 치사온도

인삼뿌리썩음병원균 (*C. destructans*)의 치사온도를 구명하기 위해 항온조건과 변온조건으로 나누어 조사하였다 (Table 1). 35°C, 40°C, 45°C에서 균사체를 3 - 15시간 동안 각각 보관한 다음 20°C 조건으로 옮겨 생존여부를 확인하였다. 35°C에서는 15시간 경과하여도 생존하였으나 40°C에서는 15시간 경과하면 사멸하였고 45°C에서는 5시간 경과하면 사멸되어 온도가 높아

Table 1. Lethal temperature of mycelium and conidia of *Cylindrocarpon destructans* in constant thermal condition.

Temperature (°C)	Elapsed time					
	3 h	5 h	7 h	9 h	12 h	15 h
35	○ ¹⁾	○	○	○	○	○
40	○	○	○	○	○	○
45	○	x ²⁾	x	x	x	x

¹⁾Survival, ²⁾Death.

질수록 사멸시간이 짧아지는 특징을 보였다.

일반적으로 토양병원균의 반치사온도 (sublethal heating)는 38°C 내외로 알려져 있는데 (Freeman and Katan, 1988), 40°C의 경우 병원균이 사멸되는데 비교적 오랜 시간이 걸리나 45°C의 고온에서는 짧은 시간에 사멸되었다. 그런데 기존의 보고를 보면 토마토 시들음병원균 (*Fusarium oxysporum*)은 45°C에서 7일이면 사멸되었고 (Nam *et al.*, 2011), 모잘록병원균 (*Rhizoctonia solani*)은 37°C에서 14일이면 사멸되어 (Pullman *et al.*, 1981) 사멸 소요시간은 병원균 종류에 따라 서로 다른 양상을 보였다.

비닐하우스를 밀폐하여 태양열 소독을 하면 지온은 한낮에 최고를 보이고 밤에 최저를 나타내는 일변화를 보이기 때문에 변온조건에서 병원균의 사멸정도를 조사하는 것이 필요하다. 병원균의 균사체를 38°C, 40°C, 45°C 조건에서 매일 2시간 보관한 다음 나머지 22시간은 20°C 조건으로 옮겨 보관한 후 생존여부를 조사하였다 (Table 2). 매일 2시간 38°C 처리는 9일이 경과되어도 사멸되지 않았으나 매일 2시간 40°C 처리는 9일 만에 사멸되었고 매일 2시간 45°C 처리는 8일 만에 사멸되었다.

Gamliel 과 Stapleton (1993)은 양배추를 토양에 환원하고 태양열 소독을 했을 때 토양전염성 병원균인 *Pythium ultimum* 과 *Sclerotium rolfii*는 7일 후에 사멸되었으며, Tamietti와 Valentino (2006)는 태양열 소독으로 시들음병 (*Fusarium wilt*) 발생을 90% 억제하기 위해서는 42°C에서 11일이 필요하다고 하여 병원균의 종류와 환경조건에 따라 치사온도와 치사시간은 달라졌다.

본 실험에서 항온조건에서는 40°C에서 15시간 만에 사멸되었고 45°C에서는 5시간 만에 사멸되어 온도가 높아지면 사멸 시간이 뚜렷이 단축되었는데 (Table 1), 변온조건에서는 40°C에서 18시간이 누적되어야만 사멸되었고 45°C에서는 16시간이 누적되어야만 사멸되어 하루 2시간의 고온조건에서는 온도가 높아져도 사멸시간이 크게 단축되지 않았다 (Table 2). Shlevin 등 (2003)에 의하면 하우스 내의 변온조건 (주간 60°C, 야간 23°C)에서 *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*은 25일 후 사멸하고 *Sclerotium rolfii*는 20일 후 사멸되었는데, 44.0°C 항온조건에서 *F. oxysporum*은 8일 경과후 치사되었고

Table 2. Lethal temperature of mycelium and conidia of *Cylindrocarpon destructans* in the thermal condition of daily periodic change.

Temperature (°C)	Number of elapsed day					
	3	5	6	7	8	9
38	○ ¹⁾	○	○	○	○	○
40	○	○	○	○	○	○
45	○	○	○	○	x ²⁾	x

¹⁾Survival, ²⁾Death. Mycelium and conidia were kept for 2 hours in 38, 40, and 45°C, respectively, and then stored for the rest of time, 22 hours in 20°C every day.

*S. rolfssii*는 5일 경과 후 치사되어 변온조건에서 병원균 사멸은 항온조건보다 더 오랜 시간이 필요하다고 하였다.

2. 녹비작물의 토양환원과 태양열에 의한 지온 상승효과

유기물이 썩을 때 발생하는 열을 이용하여 지온을 올리고자 수단그라스를 재배한 다음 토양에 환원하고 하우스를 밀폐하여 태양열 소독을 하였다. 수단그라스를 토양에 환원하고 하우스를 밀폐한 다음 토양깊이별 지온을 조사한 결과 (Table 3) 표토에서 20 cm 깊이까지는 지온이 40°C 이상 상승하여 뿌리썩음병원균을 사멸시킬 수 있는 온도에 도달하였으나 30 cm

Table 3. Changes of soil temperature by putting green manure (Sudan grass) into soil and solarization for summer season in greenhouse.

	Underground depth (cm)				
	5	10	15	20	30
Soil temperature (°C)	55.4 ± 0.3	48.7 ± 0.4	44.7 ± 0.4	42.5 ± 0.3	31.9 ± 0.4

Duration of solarization; July 24 - August 31, 2014. Fresh weight of Sudan grass; 3,933 kg/10 a (dry weight : 664 kg/10 a).

Table 4. Increase of soil temperature at 15 cm and 30 cm depth by putting green manure into soil and solarization for summer season in greenhouse.

Treatment	Average (°C)		Maximum (°C)		Time elapsed above 35°C (h)		Time elapsed above 40°C (h)	
	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm
	Control + S ¹⁾	30.1c	28.5c	37.1d	31.4c	49.2e	0.0	0.0c
Calcium cyanamide + S	30.3c	28.8c	38.7c	31.9c	84.0d	0.0	0.0c	0.0
Sudan grass + S	33.3a	30.8a	44.7a	34.7a	265.4a	0.0	65.3a	0.0
Sudan grass + calcium cyanamide + S	31.7b	29.7b	40.9b	33.5b	175.7c	0.0	12.5b	0.0
Sudan grass + urea + S	33.1a	30.3ab	45.3a	34.0ab	245.2b	0.0	71.7a	0.0

*Mean with same letters are not significantly different in DMRT ($p < 0.05$). ¹⁾S; Solarization. Duration of solarization : July 24 - August 31, 2014. Usage of calcium cyanamide and urea fertilizer were 60 kg per 10 a, respectively. Air temperature was average 30.7°C, maximum 66.2°C, minimum 17.9°C in the inside of greenhouse installed at width 12 m and high 4.5 m. Fresh weight of Sudan grass; 3,933 kg/10 a (dry weight : 664 kg/10 a).

깊이에서는 병원균 사멸온도에 도달하지 못하였다. 따라서 지하 20 cm 깊이까지는 병원균의 사멸이 가능하나 지하 20 cm 이하의 심토층에서 지온상승에 의한 병원균 사멸을 기대하기 어려울 것으로 판단된다.

지하 15 cm 깊이에서 처리별 지온 상승효과를 보면 석회질소 처리는 무처리 대비 평균지온이 0.2°C 상승하고 최고지온이 1.6°C 상승하였다. 수단그라스 토양환원 처리는 무처리 대비 평균지온 3.2°C 상승하고 최고지온 7.6°C 상승되었다. 수단그라스 토양환원 + 석회질소 처리는 무처리 대비 평균지온이 1.6°C 상승하고 최고지온이 3.8°C 상승하였으며, 수단그라스 토양환원 + 요소 처리는 평균지온이 3.0°C 상승하고 최고지온이 8.2°C 상승하였다 (Table 4). 따라서 지온 상승에 가장 효과적인 처리는 수단그라스 토양환원 + 요소 + 태양열 처리이었으며, 수단그라스 토양환원 + 태양열 처리보다 최고지온이 0.6°C 더 높았다. Simmons 등 (2013)에 의하면 유기물 혼합토양 (토양 87%, 퇴비 8%, 밀겨 5%)을 투명비닐로 피복하여 태양열 소독할 경우 지온이 2-4°C 더 상승한다고 하였으며, 토양소독 후 22일이 경과되면 유기탄소의 85%는 없어진다고 하였다.

지하 15 cm 깊이에서 40°C 이상 경과된 누적시간을 보면 수단그라스 토양환원 단독처리와 수단그라스 토양환원 + 요소 처리가 각각 65.3시간, 71.7시간으로 지온상승에 효과적이었으며, 수단그라스 토양환원 + 석회질소 처리는 12.5시간으로 지온 상승효과가 떨어져 Nam 등 (2011)의 보고와 상반되는 결과를 보였다. 수단그라스 토양환원 후 요소를 첨가해주면 질소원이 추가되어 미생물에 의한 부패가 빨리 진행되어 열 발생이 많은 것으로 보인다. 석회질소 (CaCN₂) 첨가는 물이산화탄소의 작용에 의하여 dicyandiamide (CNNH₂)₂태 질소로 분해되어 미생물에 독성을 나타내고 이로 인해 미생물의 활성이 떨어져 열 발생이 적었던 것으로 보인다.

Table 2에서와 같이 변온조건에서는 40°C에서 하루 2시간씩 보관하여 18시간 경과되면 뿌리썩음병원균이 사멸되었기 때문

Table 5. Change of soil chemical properties by putting green manure into soil and solarization for summer season in greenhouse.

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
Control + S ¹⁾	6.21ab	1.57d	17.6b	129.6d	124.5b	0.21c	7.40a	2.16a	0.21a
CC ²⁾ + S	5.83c	2.25ab	16.1b	179.3c	109.4c	0.22c	6.82b	1.89b	0.20a
SG ³⁾ + S	6.17ab	1.83c	21.7a	120.8d	144.4a	0.31bc	7.26a	2.23a	0.19ab
SG + CC + S	6.23ab	2.16b	22.8a	203.8b	149.6a	0.41ab	7.41a	2.20a	0.18bc
SG + urea + S	6.30a	2.34a	17.2b	227.9a	119.5bc	0.47a	5.43c	1.75b	0.16c

*Mean with same letters are not significantly different in DMRT ($p < 0.05$). ¹⁾S; Solarization, ²⁾CC; Calcium Cyanamide, ³⁾SG; Sudan Grass.

에 지온 상승 측면에서 보면 수단그라스 토양환원 단독처리나 수단그라스 토양환원 + 요소 처리는 뿌리썩음병원균을 사멸시킬 수 있는 온도조건이 되었으나 수단그라스 토양환원 + 석회질소 처리는 지온 상승에 의한 뿌리썩음병원균의 사멸을 기대하기 어려울 것으로 보인다.

3. 녹비작물의 토양환원과 태양열 소독에 따른 토양이화학성의 변화

수단그라스 토양환원과 석회질소, 요소 첨가 후 태양열 소독에 의한 토양이화학성의 변화를 보면 (Table 5) 석회질소 단독처리와 염류농도, 질산태질소가 증가되었으나 pH, 유기물, 인산, 칼슘, 마그네슘 등은 감소하였고 칼륨과 나트륨은 큰 변화가 없었다. 수단그라스 토양환원 처리는 염류농도, 유기물, 인산, 칼륨, 마그네슘 등이 증가되었고 pH, 질산태질소, 나트륨은 감소되었다. 수단그라스 토양환원 + 석회질소 처리는 pH, 염류농도, 유기물, 질산태질소, 인산, 칼륨, 마그네슘 등 대부분의 무기성분이 증가되었고 나트륨은 약간 감소되었다. 수단그라스 토양환원 + 요소 처리는 염류농도, 유기물, 질산태질소, 인산, 칼륨, 마그네슘 등이 증가되었고 나트륨은 약간 감소되었으며, pH와 칼슘 함량은 큰 변화가 없었다.

이와 같이 수단그라스 토양환원 처리는 염류농도 증가가 적고 질산태질소도 증가되지 않아 인삼 생육에 피해가 적을 것으로 생각되며, 수단그라스 + 석회질소, 수단그라스 + 요소, 석

회질소 단독처리와 염류농도와 질산태질소를 크게 증가시켜 인삼 생육에 피해를 줄 것으로 생각된다. 다만 염류농도가 높지 않은 척박한 토양에서는 수단그라스 토양환원 후 석회질소나 요소처리를 하면 비옥도가 높아져 인삼생육에 효과가 있을 것으로 생각된다. Stapleton 등 (1985)에 의하면 태양열 소독에 의해 질산태질소와 암모니아태 질소는 6배 증가되고 P, Ca, Mg, EC는 약간 증가되나 K, Fe, Mn, Zn, Cu, pH, 총 유기물 함량은 규칙적인 변화를 보이지 않았다고 하였다. 또한 Grmzweig 등 (1999)에 의하면 태양열 소독에 의해 토양속 N, K, Ca, Mg, Na 농도는 증가되었으나 P는 변화가 없었고 pH, Cl, Mn, Zn, Fe, Cu는 감소되었다고 하였으며, Ahn 등 (2010)에 의하면 수박 시설재배 연작지에 유기물로 생분퇴질을 5-10톤/10a 사용하면 유기물은 증가하고 pH, EC, NO₃, Ca, Mg, Cl 등은 뚜렷이 감소된다고 하였다.

4. 녹비작물의 토양환원과 태양열 소독에 의한 2년생 인삼의 토양병해 억제효과

인삼 연작지 토양에서 녹비작물의 토양환원 후 태양열 소독 처리를 한 다음 2년생 인삼을 재배하여 지상부 생육특성을 조사한 결과 (Table 6), 초장, 경장, 엽장은 수단그라스 + 요소, 수단그라스 + 석회질소, 수단그라스 단독처리에서 무처리보다 유의적으로 증가되었고 석회질소 단독처리와 무처리와 유의적인 차이를 보이지 않았다. 엽폭 및 경태는 모든 처리 간에 유

Table 6. Growth characteristics of 2-year-old ginseng in the soil fumigated by putting green manure into soil and solarization for summer season in greenhouse.

Treatment	Plant height (cm)	Stem height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (mm)	Survival rate of aerial part (%)
Control + S ¹⁾	19.8b	8.3c	6.8b	3.2a	1.94a	52.7d
CC ²⁾ + S	19.2b	8.7bc	6.8b	3.2a	1.92a	72.1c
SG ³⁾ + S	22.9a	9.5ab	7.9a	3.6a	1.92a	89.0a
SG + CC + S	23.3a	10.4a	7.9a	3.5a	1.96a	82.6a
SG + urea + S	23.8a	10.1a	8.3a	3.7a	2.08a	66.3c

*Mean with same letters are not significantly different in DMRT ($p < 0.05$). ¹⁾S; Solarization, ²⁾CC; Calcium Cyanamide, ³⁾SG; Sudan Grass. Investigated date; July 3, 2014.

Table 7. Yield and root disease ratio of 2-year-old ginseng in the soil fumigated by putting green manure into soil and solarization for summer season in greenhouse.

Treatment	Root weight (g/plant)	Root yield (g/3.3 m ²)	Survived root ratio (%)	Rate of disease-free root (%)	Incidence of root disease (0-4)
Control + S ¹⁾	1.20d	12.5e	8.9d	1.9d	3.81a
CC ²⁾ + S	1.45c	125.4d	72.2b	25.6c	1.93b
SG ³⁾ + S	2.96a	284.4a	80.8a	47.5a	1.30c
SG + CC + S	2.71b	256.8b	78.6ab	49.4a	1.19c
SG + urea + S	2.76b	209.4c	57.5c	41.9b	1.86b

*Mean with same letters are not significantly different in DMRT ($p < 0.05$). ¹⁾S; Solarization, ²⁾CC; Calcium Cyanamide, ³⁾SG; Sudan Grass. Rate of disease-free root; number of disease-free root/total planted number $\times 100$. Incidence of root disease : (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%, 4; completely rotted root.

의적인 차이를 보이지 않았다. 지상부 생존율은 수단그라스 단독처리와 수단그라스 + 석회질소 처리에서 가장 높아 잎이 오랫동안 정상적으로 유지되었으나, 석회질소 단독처리나 수단그라스 + 요소 처리는 무처리보다 지상부 생존율이 다소 증가되었으나 그 효과는 뚜렷하지 않아 잎이 비교적 일찍 고사되었다.

보통 인삼은 점무늬병, 탄저병과 같은 지상부 병해나 뿌리썩음병과 같은 지하부 병해 때문에 잎이 일찍 고사되고 고 (Jung *et al.*, 2014), 높은 염류농도에 의해 염류피해가 생기거나 수분부족에 의한 고온피해가 발생하면 잎이 마르고 지상부가 일찍 고사되기도 한다 (Lee *et al.*, 2015). 본 실험에서 수단그라스 단독처리에서 지상부 생존율이 가장 높았던 이유는 토양염류농도와 질산태질소 함량이 가장 낮았고 (Table 5) 뿌리썩음병 발생율도 비교적 적었기 때문으로 생각된다 (Table 7). 실제로 Hyun 등 (2009)의 보고에서도 토양염류농도 증가는 질산태질소와 관계가 깊으며, 염류농도와 질산태질소가 많을 경우 생리장해 (황증) 발생이 증가하여 잎이 조기에 낙엽진다고 하였다.

인삼 연작지 토양에서 녹비작물 토양환원과 태양열 소독처리를 한 다음 2년생 인삼을 재배하여 지하부 생육 및 뿌리썩음병 발생정도를 조사한 결과 (Table 7), 주당근중의 증가에는 수단그라스 단독처리가 가장 좋았으며, 그 다음은 수단그라스 + 석회질소 또는 수단그라스 + 요소 처리 순이었다. 수단그라스 단독처리에서 주당근중이 가장 무거웠던 원인은 지상부 생존율과 지하부 생존율이 가장 높았기 때문으로 보인다. 지하부 생존율과 지하부 무병주율은 수단그라스 단독처리와 수단그라스 + 석회질소 처리에서 가장 높아 토양소독에 효과가 이었다. 석회질소 단독처리나 수단그라스 + 요소 처리도 지하부 생존율과 지하부 무병주율 증가에 효과가 있었지만 수단그라스 단독처리나 수단그라스 + 석회질소 처리에 비해 효과가 다소 떨어졌다.

인삼 뿌리썩음병 발생정도를 고려했을 때 수단그라스 + 석회질소 + 태양열 처리가 가장 효과적이었는데, 수단그라스에 석회질소를 첨가하면 뿌리썩음병 발생이 더 억제되지만 염류

농도와 질산태질소 함량 등이 증가하여 인삼의 생육에 피해를 주므로 (Table 5) 인삼 예정지 관리시 적정 염류농도 범위인 0.5 - 1.0 dS/m를 초과하는 경우에는 석회질소 혼합처리 여부를 신중히 고려해야 할 것으로 생각된다.

수단그라스 + 태양열 소독처리를 하면 지하부 생존율은 80.8%로 매우 높았으나 지하부 무병주율은 47.5%로 낮았는데, 이는 인삼 표면에 뿌리썩음병을 유발하는 작은 크기 (직경 2 mm 내외)의 갈색 반점이 생긴 개체가 많았기 때문이며 (Lee *et al.*, 2014), 인삼의 연생이 증가할수록 작은 병반이 얼마나 크게 진전되는지 대해서는 앞으로 지속적인 관찰이 필요할 것으로 보인다. 또한, 초작지 관행재배의 2년생 지하부 생존율은 보통 90% 수준인데 (Lee *et al.*, 2015), 본 실험에서 지하부 생존율과 무병주율이 관행보다 낮았던 원인을 보면 토양소독시 지하 20 cm 이하에서는 지온이 40°C 이상 올라가지 않아 토양전염성 병원균이 사멸되지 않았고 비록 지온이 40°C 이상 상승한다고 해도 40°C 이상의 지온에서도 병원균의 후막포자는 일부 살아남을 수 있기 때문으로 생각된다 (Freeman and Katan, 1988). 따라서 40°C 내외의 지온에서는 병원균이 완전히 사멸되지 않을 수 있기 때문에 병원균의 완전한 사멸을 위해서는 7-8월 태양열 소독후 9월경 훈증제를 이용한 2차 토양소독을 하거나 (Eshel *et al.*, 2000), 심토층을 지면으로 끌어올려 다음해 여름에 2차 소독을 하는 방법을 고려해야 할 것으로 생각된다.

본 연구결과를 요약하면, 인삼 연작지에서 수단그라스를 재배하여 식물체를 토양에 혼합해 주고 투명비닐을 피복한 다음 하우스를 밀폐하여 7월 중순부터 8월 하순까지 태양열 소독처리를 하면 지온이 40°C 이상 상승하여 인삼뿌리썩음병 발생이 크게 억제되었다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청에서 주관하는 인삼 연작장해 경감을 위한 기반기술 개발 및 실용화 연구 과제(세부과제번호:

PJ00857601)의 연구비 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Ahn BY, Lee YH and Lee JH.** (2010). Fertilizer management practices with rice straw application for improving soil quality in watermelon monoculture greenhouse plots. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 43:75-82.
- 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.
- Arora DK, Pandey AK and Srivastva AK.** (1996). Effects of heat stress on loss of C, germination and pathogenicity from chlamydo spores of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceri*. *Soil Biology and Biochemistry*. 28:399-407.
- Blok WJ, Lamers JG, Termorshuizen AJ and Bollen GJ.** (2000). Control of soilborne plant pathogens by incorporating fresh organic amendments followed by tarping. *Phytopathology*. 90:253-259.
- Eshel D, Gamliel A, Grinstein A, Di primo P and Katan J.** (2000). Combined soil treatments and sequence of application in improving the control of soilborne pathogens. *Phytopathology*. 90:751-757.
- Freeman S and Katan J.** (1988). Weakening effect on propagules of *Fusarium* by sublethal heating. *Phytopathology*. 78:1656-1661.
- Gamliel A and Stapleton JJ.** (1993). Characterization of antifungal volatile compounds evolved from solarized soil amended with cabbage residues. *Phytopathology*. 83:899-905.
- Grnzweig JM, Katan J, Bental Y and Rabinowitch HD.** (1999). The role of mineral nutrients in the increased growth response of tomato plants in solarized soil. *Plant and Soil*. 206:21-27.
- Hyun DY, Yeon BY, Lee SW, Kang SW, Hyun GS, Kim YC, Lee KW and Kim SM.** (2009). Analysis of occurrence type of physiological disorder to soil chemical components in ginseng cultivated field. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 17:439-444.
- Jun HS, Park WC and Jung JS.** (2002). Effects of soil addition and subsoil plowing on the change of soil chemical properties and the reduction of root-knot nematode in continuous cropping field of oriental melon (*Cucumis melo* L.). *Korean Journal of Environmental Agriculture*. 21:1-6.
- Jung WK, Ahn DJ, Choi JK, Ryu TS, Jang MH and Kwon TR.** (2014). Effect of concentration and time of lime-bordeaux mixture on growth and disease of four and five year old ginseng (*Panax ginseng* C. A. Meyer). *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 22:483-488.
- Kim DW, Kim JY, Yu DH, Kim CS, Kim HJ, Park JS, Kim JM, Choi DC and Oh NK.** (2014). Effect of cultivation using plastic-film house on yield and quality of ginseng in paddy field. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 22:210-216.
- Kim WS and Park JS.** (2013). Selection and control effect of environmental friendly organic materials for controlling the ginseng *Alternaria* blight. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 21:388-393.
- Klein E, Katan J, Austerweil M and Gamliel A.** (2007). Controlled laboratory system to study soil solarization and organic amendment effects on plant pathogens. *Phytopathology*. 97:1476-1483.
- Kye UK and Kim KC.** (1985). Possibility of soil solarization in Korea. *Korean Journal of Plant Protection*. 24:107-114.
- 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, Kim GS, Hyun DY, Kim YB, Kim JW, Kang SW and Cha SW.** (2011). Comparison of growth characteristics and ginsenoside content of ginseng (*Panax ginseng* C. A. Meyer) cultivated with greenhouse and traditional shade facility. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 19:157-161.
- Lee SW, Lee SH, Jang IB, Lan JM, Park KH and Kim KH.** (2015). Effect of ridge height on growth characteristics and yield of 6-year-old *Panax ginseng* in cultivation of paddy soil. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 23:351-356.
- Mo HS, Park HW, Jang IB, Yu J, Park KC, Hyun DY, Kim KH and Seo TC.** (2015). Effect of seed density, number of seeds sown per hole and thinning treatment on growth characteristics and disease occurrence in greenhouse-cultivated ginseng. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 23:198-206.
- Nam MH, Kim HS and Kim HG.** (2011). Control of *Fusarium* wilt of the strawberry caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* of solarization with compost and calcium cyanamide application. *Research in Plant Disease*. 17:32-37.
- National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST).** (2000). Methods of soil chemical analysis. Rural Development Administration. Suwon, Korea. p.89-93.
- Park KJ, Yu YH and Ohh SH.** (1997). Population variations of *Cylindrocarpon destructans* causing root rot of ginseng and soil microbes in the soil with various moisture contents. *Korean Journal of Plant Pathology*. 13:100-104.
- Pullman GS, Devay JE and Garber RH.** (1981). Soil solarization and thermal death: A logarithmic relationship between time and temperature for four soilborne plant pathogens. *Phytopathology*. 71:959-964.
- Shlevin E, Saguy IS, Mahrer Y and Katan J.** (2003). Modeling the survival of two soilborne pathogens under dry structural solarization. *Phytopathology*. 93:1247-1257.
- Simmons CW, Guo H, Claypool JT, Marshall MN, Perano KM, Stapleton JJ and VanderGheynst JS.** (2013). Managing compost stability and amendment to soil to enhance soil heating during soil solarization. *Waste Management*. 33:1090-1096.
- Stapleton JJ and Duncan RD.** (1998). Soil disinfection with cruciferous amendments and sublethal heating: Effects on *Meloidogyne incognita*, *Sclerotium rolfsii* and *Pythium ultimum*. *Plant Pathology*. 47:737-742.
- Stapleton JJ, Quick J and Devay JE.** (1985). Soil solarization: Effects on soil properties, crop fertilization and plant growth. *Soil Biology and Biochemistry*. 17:369-373.
- Tamietti G and Valentino D.** (2006). Soil solarization as an ecological method for the control of *Fusarium* wilt of melon in Italy. *Crop Protection*. 25:389-397.