



지황 ‘토강’의 연작 시 근경 잔사물과 토양 훈증처리가 생장, 뿌리썩음병 및 수량에 미치는 영향

권아름^{1,2} · 김선익³ · 성봉재⁴ · 곽성희^{5*}

Effect of Rhizome Residues and Soil Fumigation on Growth, Root Rot, and Yield of *Rehmannia glutinosa* ‘Togang’ in Successive Cropping

A Reum Kwon^{1,2}, Sun Ick Kim³, Bong Jae Seong⁴, Sunghye Guak^{5*}

ABSTRACT

Received: 2023 October 9

1st Revised: 2023 October 31

2nd Revised: 2023 November 13

3rd Revised: 2023 November 29

Accepted: 2023 November 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.

Background: The study aimed to explore the impact of rhizome residues and soil fumigation on the growth, root rot incidence and yield of *Rehmannia glutinosa* ‘Togang’ during successive cropping.

Methods and Results: In mid May 2019, two types of rhizome residues, healthy and diseased, were incorporated as a powder into fresh soil in plastic containers at different concentrations, including 0, 400, 800 or 1,600 g / 200 ℓ soil. Additionally, the soil was fumigated with dazomet at 0, 30, 40 and 50 kg per 10 a before planting. For both experiments, the effects on shoot growth, rhizome yield and root rot incidence were evaluated. The results show that the presence of rhizome residues in the field, particularly diseased ones, substantially reduced the shoot growth and rhizome yield in *R. glutinosa* ‘Togang’, along with a slight increase in root rot incidences, with the effect being greater with an increasing amount of the residues incorporated. Soil fumigation with dazomet was able to effectively increase shoot growth and rhizome yield but decrease root rot in ‘Togang’ under successive cropping. The recommended application rate was found to be 40 kg per 10 a, where rhizome yield was substantially increased by about 61%.

Conclusion: Soil fumigation with dazomet was quite effective in alleviating the negative effect of successive cropping on shoot growth, yield and root rot in *R. glutinosa* ‘Togang’, especially when applied at the rate of 40 kg per 10 a.

Key Words: *Rehmannia glutinosa* (Gaertn.) Libosch. ex Steud., Replant Failure, Rhizome Residue, Root Rot Disease, Soil Fumigation, Successive Cropping



서 언

연작장해란 같은 종류의 작물을 동일 장소에서 연속으로 재배하여 작물의 생육, 수량과 품질이 떨어지는 현상을 말한다 (Blakley, 1966; Griebel and Owens, 1972; Gries, 1943). 지황은 연작장해가 심한 대표적인 약용작물이기 때문에 동일 필지에 재 경작할 경우 전염성 토양 병원균에 의한 피해가 심각하다. 연작을 하면 뿌리썩음병에 의해 상품성이 하락하고, 썩은 부위를 제거하기 위한 노동력의 추가로 경영비가 증가된다. 또한 많은 농가에서 연작장해를 회피하기 위해 초작지를 찾아

이동 경작을 하므로 경영비 부담이 가중된다. 그러나 초작지가 부족하고, 임차료의 증가, 원거리 경작 등으로 경영비가 늘어나 경쟁력이 점차 약화되고있는 실정이지만 연작 시 그에 대한 피해와 증상, 그리고 발생 과정 등에 관한 연구는 일부만 이루어졌을 뿐이다.

지황의 연작장해에 관한 보고에서 Wu 등 (2018)은 지황의 연작 년수가 경과함에 따라 생육이 저하되고 생근중이 1년 재배 시 79.7 g일 때 2년 연작 시 27.2 g으로 크게 감소하였으며, 약 40%가 시들음병에 의해 고사하였다고 보고하였다. 따라서 지황을 연작하면 수량이 감소하기 때문에 지황 재

*Corresponding author: (Phone) +82-63-270-2575 (E-mail) guaks@jbnu.ac.kr

¹충청남도농업기술원 인삼약초연구소 팀원 / Researcher, Ginseng and Medicinal Plant Research Institute, CNARES, Geumsan 32723, Korea.

²전북대학교 원예학과 박사과정생 / Ph. D. student, Department of Horticulture, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Korea.

³충청남도농업기술원 인삼약초연구소 팀장 / Research Team Leader, Ginseng and Medicinal Plant Research Institute, CNARES, Geumsan 32723, Korea.

⁴충청남도농업기술원 인삼약초연구소 연구소장 / Director of Research Institute, Ginseng and Medicinal Plant Research Institute, CNARES, Geumsan 32723, Korea.

⁵전북대학교 원예학과 교수 / Professor, Department of Horticulture, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Korea.

배에 있어서 윤작의 실시는 작부체계에서 매우 중요한 요소가 되었다.

식물 뿌리의 분비물과 식물체의 부패 조직에서 유래되는 펙틴 화합물이 pectinase나 cellulase와 같은 식물 병원균 효소의 활성을 촉진하여 뿌리썩음병균의 병원성이 강해지고, 이는 연작장애 발생의 증가로 이어졌다는 보고가 있다 (Sun *et al.*, 2013). 지황의 수확 시 6 mm 이하의 근경이 주로 탈락되고 토양에 잔류하게 되는데, 수확 후 잔류하는 근경이 연작 재배 시 감모율과 뿌리썩음병 발생에 미치는 영향 등에 관한 연구나, 연작장애의 구체적인 해결 방안에 관한 연구는 미비한 실정이다.

다양한 작물에서 연작장애의 경감은 발생 원인에 따라 다양하게 이뤄지고 있다. 객토, 심경 및 관수 (Lee *et al.*, 2018b), 녹비작물 재배 (Kim *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2018b; Heo, 2020), 토양 소독 (Dangi *et al.*, 2017; Huang *et al.*, 2020; Wang, 2017), 유용미생물 (Madhavi and Bhattiprolu, 2011), 태양열 소독 (Domínguez *et al.*, 2014) 등 여러 방법들이 활용되고 있다.

다조멧 (dazomet) 입제는 곰팡이, 해충 및 잡초를 효율적으로 방제하기 위한 토양 훈증 소독제 중 하나이다 (Moreno-Velandia *et al.*, 2019). 과거 많이 사용되어왔던 메틸 브로마이드 (methyl bromide)는 할로젠 가스를 방출하여 오존층을 파괴하는 이유로 지금은 사용이 금지되어 메탐 소듐 (metam sodium, sodium N-methyl dithiocarbamate)이나 dazomet (tetrahydro-3,5-dimethyl-2H-1,3,5-thiadiazine-2-thione)로 대체되었다 (Lee *et al.*, 2018b). 이러한 대체 약제들은 포유동물에 대한 독성이 비교적 적고 환경에 대한 영향이 낮아 전 세계에서 널리 사용되고 있어 (Fritsch and Huber, 1995) 작약의 검은뿌리썩음병 (Choi *et al.*, 2004)과 생강의 시들음병 (Mao *et al.*, 2017) 방제에 효과적으로 작용하였고, 인삼의 뿌리썩음병 관련 연작장애를 경감하는 약제로 이용되고 있다 (Lee *et al.*, 2018b).

본 연구는 지황 품종 ‘토강’을 연구재료로 이용하였으며, 수확 후 토양에 남은 근경 잔사물이 생육과 뿌리썩음병 발생에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 토양 훈증제 다조멧 입제 처리를 통한 지황의 뿌리썩음병 방제 효과와 토양 훈증처리에 의한 지황의 연작 가능성을 제시하고자 실시되었다.

재료 및 방법

1. 근경 잔류물의 혼화

본 연구는 충청남도농업기술원 인삼약초연구소의 폴리에틸렌 (polyethylene, PE) 플라스틱 온실에서 가로 90 cm × 세로 90 cm × 높이 30 cm의 플라스틱 박스를 사용하여 실시하였다. 지황의 근경 수확 후 토양에 남게 되는 근경 잔류물이

지황의 연작에 미치는 영향을 조사하기 위하여 수확 시 토양에 잔류하는 6 mm 이하의 근경을 믹서기에 곱게 분쇄한 후 토양에 투입하였다. 근경 잔류물은 육안으로 건전한 근경과 뿌리썩음병이 발생한 근경으로 구분하고, 각각을 신선한 토양에 분쇄된 근경을 400 g, 800 g, 1,600 g의 수준으로 첨가한 후 혼합하였다.

박스에 투입된 토양은 지황을 재배하지 않았던 초작지 토양으로, 토양 살균을 위해 토양을 PP 마대자루에 담아 고압 증기멸균기 (LAC-5060SD, DAIHAN LABTECH Co., Ltd., Namyangju, Korea)로 121°C에서 1 시간 동안 멸균한 후 박스 당 200 ℓ 를 투입하였다.

5월 12일에 종근을 2 cm 길이로 절단하여 처리구 당 18 개씩 그리고 식재 간격은 30 cm × 15 cm으로 박스에 식재하였고, 실험구는 난괴법 (randomized block design) 3 반복으로 배치하였다. 토양 수분은 점적 관수시설을 이용하여 수분함량이 15%가 되도록 관리하였고, 기타 재배관리는 농촌진흥청 약용작물 농업기술길잡이에 준하여 실시하였다 (RDA, 2019).

2. 토양 훈증처리

전년에 지황을 재배하였던 연작지를 시험장소로 사용하였으며, 훈증을 위한 약제는 다조멧 입제 (basamid, Farm Hannong Co., Ltd., Seoul, Korea)로써 2019년 5월 상순에 Fu 등 (2012)의 방법에 따라 처리하였다.

특히 토양 수분을 18% 내외가 되도록 관수하여 다조멧 입제가 토양에서 수분과 반응하여 가스로 분해가 될 수 있도록 하였다. 다조멧 입제를 10 a 당 0 kg, 30 kg, 40 kg, 50 kg의 비율로 토양에 혼합하고, 토양 표면에 0.15 mm 두께의 PE 투명 비닐 (Ilshin Chemical Co. Ltd., Ansan, Korea)을 2 주간 피복하여 가스가 휘산되지 않도록 하였다.

2 주간의 피복 후 비닐을 제거하고 2 일 간격으로 3 회 경운하여 잔류가스를 빼주었다. 훈증처리 시 평균 지온은 19.6°C로 가스 발생 최소 온도인 15°C를 상회하여 가스 발생 조건을 충족하였다. 실험구는 난괴법 (RCBD) 3 반복으로 배치하였고, 2 cm로 절단된 종근을 처리 구 당 30 cm × 15 cm 간격으로 총 399 개를 식재하였다. 기타 재배관리는 위 실험과 동일하게 수행하였다.

3. 생육, 수량성 및 병 발생 특성 조사

지상부 생육은 출아율과 초장, 엽수, 엽장, 엽폭, 생체중, 시들음 증상 발생률 등을 조사하였고, 지하부 생육, 수량성 및 뿌리썩음병 발생률은 재식 후 180 일이 경과하였을 때 수확하여 조사하였다. 근경의 굵기가 12 mm 이상은 상근, 6 mm - 12 mm는 종근으로 구분하였다.

뿌리썩음병 발생률은 이병된 부위를 절단하여 개체당 무게의 비율로 나타내었으며 방제기는 지상부 시들음 증상이 발생

된 개체수를 계수하여 전체 주수의 비율로 나타내었다.

4. 통계분석

통계분석은 SAS EG (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 프로그램을 이용하여 분산분석 (ANOVA)을 실시하였다. 각 측정군의 평균을 산출하고, 평균 간 유의성 비교는 5% 수준에서 Duncan's Multiple Range Test (DMRT)로 실행하였다 ($p \leq 0.05$).

결과 및 고찰

1. 지황 근경 첨가에 의한 생육 및 병 발생 특성

지황 '토강'의 건전한 근경과 뿌리썩음병이 발생하여 부패한 근경을 각각 분쇄하여 멸균 토양에 혼합한 후 생육 180 일차 지상부 생육 특성을 조사한 결과, 건전 근경을 첨가하였을 때 초장은 평균 33.9 cm로 이병 근경 첨가구인 25.1 cm보다 유의하게 길었으며, 건전 근경 처리구내에서는 처리량이 증가할수록 초장이 작아지는 경향을 보였다 (Table 1).

이병 근경 첨가구 내에서 처리량 간에 유의한 차이를 보여 1,600 g 첨가시 23.6 cm로 생육이 크게 억제되었으며, 무처리구에 비하여 12.2 cm가 작아졌다. 엽수는 건전한 근경 처리구가 33.3 개/주로 이병 근경 처리구 23.1 개/주보다 10.2 개/주 많았다. 건전 근경 첨가 시에도 첨가량이 증가할수록 엽수가 유의하게 감소하였는데 ($p \leq 0.05$), 이러한 감소는 Xu 등 (2016)의 연구에서 인삼 뿌리 추출물은 *Cylindrocarpon destructans* 균의 영양 공급원이 되고 병원균 포자 발아를 유도하는 화학적 유인 물질을 함유하고 있어 재배 과정 중에 분비된 아미노산, 페놀 화합물이 생육과 병 발생에 큰 영향을 미쳤다는 보고와 같이 본 실험에서도 지황의 잔사물이 지상부

생육에 영향을 미친 것으로 판단된다.

엽장은 건전 근경 첨가구는 평균 28.9 cm로 이병 근경 첨가구인 21.9 cm보다 길었으나 유의성은 보이지 않았다. 엽폭도 이병 근경 첨가 처리가 무처리구보다 2.5 cm 정도 작았으나 첨가량에 따른 유의적 차이는 관찰되지 않았다.

근경의 수는 건전 근경 첨가 시 평균 7.3 개, 이병 근경 첨가 시 평균 6.5 개로 두 처리 모두 근경 무처리구의 8.8 개보다 유의하게 감소하였고, 특히 이병 근경의 첨가량이 증가할수록 감소하여 1,600 g 처리 시 주당 6.1 개로 가장 적었다 (Table 2).

근장 역시 유사한 경향으로 이병 근경 첨가량이 1,600 g으로 하였을 경우, 31.1 cm로 가장 짧았는데, 무처리구의 40.9 cm보다 9.8 cm가 짧았다. 건전한 근경 첨가 시에 근장은 평균 36.8 cm로 무처리구 대비 감소하는 경향을 보였다. 근경의 굵기는 이병 근경 첨가 시에 평균 굵기가 13.3 mm로 무처리구 대비 약 6.5 mm 감소하였고, 첨가량이 증가할수록 감소의 폭은 더 커졌다.

생근중은 이병 근경 첨가 시에 상당히 감소하였는데, 예를 들면 1,600 g 첨가 시 근중은 주 당 86.8 g으로 무처리의 약 1/4 수준으로 감소하였다. 건전 근경 첨가 시에도 유의하게 감소하였는데, 특히 1,600 g 첨가 시 생근중은 주당 206.9 g으로 무처리구 대비 약 12.5% 감소하였다 ($p \leq 0.05$).

부패근의 중량과 수를 조사했을 때 건전 근경 처리구에서는 처리량과 상관없이 부패근이 발생하지 않았지만, 이병 근경 처리 시 처리량에 비례해서 부패근의 중량과 수는 유의적으로 증가하였다. 예를 들어 이병 근경을 1,600 g 첨가 시 부패근의 생근중은 수확된 총 생근중의 58.8%를 차지하였다. 이러한 결과는 수확 후 남겨진 근경 잔사물이, 특히 뿌리썩음병이 존재하는 이병 종근일 경우, 당해 연도 지황의 종근 생산에 매

Table 1. Shoot growth characteristics of *Rehmannia glutinosa* 'Togang' affected by the incorporation of healthy or diseased rhizomes into the cultivation soil, determined 180 days after planting.

Treatment	Rhizome residues ¹⁾ (g.FW)	Plant height (cm)	No. of leaves (per plant)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	SPAD value
Control (C)	0	35.8±1.0 ^{a5}	37.4±2.2 ^a	30.1±1.4 ^a	8.3±1.5 ^a	49.9±6.5
	400	35.0±1.4 ^{ab}	34.9±1.6 ^{ab}	29.8±2.3 ^a	8.2±1.0 ^a	47.7±6.6
Healthy (H)	800	34.1±0.4 ^{ab}	33.2±1.9 ^{ab}	28.6±1.9 ^a	7.9±1.0 ^a	47.4±5.6
	1,600	32.7±0.3 ^b	31.8±0.6 ^b	28.4±1.9 ^a	7.8±0.4 ^a	46.2±5.5
Disease (D)	400	27.4±1.0 ^c	23.8±1.0 ^c	24.4±2.8 ^b	6.5±1.2 ^b	46.8±4.6
	800	24.5±0.6 ^d	22.8±1.3 ^c	21.9±2.5 ^c	5.5±1.1 ^b	46.6±5.6
	1,600	23.6±1.1 ^d	22.7±1.0 ^c	19.4±2.1 ^c	5.4±0.8 ^b	44.1±7.8
Significance						
C × H		NS	*	NS	NS	NS
H × D		***	***	***	***	NS

¹⁾Amounts of rhizome residues incorporated into soil. ⁵⁾Different letters are significantly different at 5% by Duncan's Multiple Range Test (DMRT, $p \leq 0.05$). NS, ****Nonsignificant or significant at $p \leq 0.05$ and 0.001, respectively.

Table 2. Effect of the rhizome residues (healthy or diseased) incorporated into the soil on the rhizome growth and root rot in *Rehmannia glutinosa* 'Togang'.

Treatment	Rhizome residues ¹⁾ (g FW)	No. of rhizome (per plant)	Rhizome length (cm)	Rhizome diameter (mm)	Rhizome weight (kg.FW/plant)	Rhizome with root rot	
						No. per plant	Fresh weight (g/plant)
Control (C)	0	8.8±0.6 ^{a5}	40.9±0.5 ^a	19.8±0.6 ^a	236.5±8.9 ^a	0 ^d	0 ^d
	400	7.5±0.7 ^{ab}	39.2±0.6 ^{ab}	19.0±1.2 ^a	232.5±5.1 ^a	0 ^d	0 ^d
	800	7.2±0.4 ^{ab}	36.4±2.3 ^{abc}	19.0±0.9 ^a	207.8±6.1 ^{ab}	0 ^d	0 ^d
Healthy residue (H)	1,600	7.1±1.1 ^{ab}	34.8±1.3 ^{abc}	19.0±0.6 ^a	206.9±9.3 ^{ab}	0 ^d	0 ^d
	400	6.9±0.2 ^{ab}	34.5±0.8 ^{abc}	15.7±0.7 ^b	140.4±5.3 ^b	0.8±0.0 ^c	12.4±1.2 ^c
	800	6.4±0.4 ^b	33.6±0.3 ^{bc}	12.3±0.5 ^c	130.6±8.3 ^b	1.8±0.1 ^b	29.2±2.1 ^b
Diseased residue (D)	1,600	6.1±0.5 ^b	31.1±0.2 ^c	11.8±0.3 ^c	86.8±5.1 ^c	2.6±0.3 ^a	51.0±1.5 ^a
	Significance						
C × H		NS	*	NS	*	NS	NS
H × D		NS	*	***	***	***	***

¹⁾Amounts of rhizome residues incorporated into soil. ⁵Different letters are significantly different at 5% by Duncan's Multiple Range Test (DMRT, $p \leq 0.05$). ^{NS,*,***}Nonsignificant or significant at $p \leq 0.05$ and 0.001 , respectively.

우 심각한 부정적 영향을 초래할 수 있다는 것을 보여준다. 지황을 연속 재배할 경우 축적된 독성물질이 증가하여 근경의 부패가 증가하는 것으로 알려져 있다 (Li *et al.*, 2017). Li 등 (2012)은 지황의 근경 삼출물 첨가 시 자가독성 화합물에 의해 근경의 생육이 억제되었다고 보고하였다. 인삼에서도 세균 분말을 연작지 토양에 혼화처리 시 지하부 생존율이 감소하고 뿌리썩음병이 유의적으로 증가되었다 (Lee *et al.*, 2018b).

결론적으로 본 실험에서 지황 '토강'의 잔사물 중 건전한 근경을 첨가하였을 때 지상부 및 지하부의 생육은 처리량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였는데, 이는 근경 분해시 발생하는 페놀화합물에 의해 생육이 저하된 것으로 보인다.

이병 근경을 첨가 시에 식물의 생육은 지상부와 지하부 모두에서 유의적으로 큰 폭으로 감소되었는데, 첨가량이 증가할수록 감소폭은 증가하였다. 또한 이병 근경 첨가구에서 뿌리썩음병의 발생도 유의적으로 증가하였는데, 이는 투입된 근경에서 유래한 높은 밀도의 병원균이 원인으로 추정되며, 또한

지황 근경 분해 시 발생하는 페놀 화합물이 뿌리썩음병균의 병원성을 증가시켜 (Sun *et al.*, 2013) 뿌리썩음병 발생이 증가된 것으로 판단된다.

이와 같은 결과로 지황 수확 시 토양에 남아 있는 근경 잔사물은 지황의 생육에 부정적인 영향을 미치고 뿌리썩음병을 유발하여 수량이 감소하고, 결국 소득 감소로 이어지게 되므로 잔사물은 수확 시 최대한 제거할 수 있도록 하여야 한다.

2. 지황 연작지 토양 혼증처리 효과

연작지 토양에 다조맷 입제로 혼증 처리 후 '토강' 중근을 재식하여 120 일차에 지상부 생육 특성을 조사하였다 (Table 3).

무처리구에 비하여 혼증 처리시 지상부 생육이 양호하였는데, 재식 후 40 일차 출아율은 무처리 시 연작 피해로 인해 83.2%로 가장 낮게 나타났다. 혼증제 처리시 처리량이 많을수록 출아율도 높아지는 경향을 보여 50 kg 처리구가 98.3%로 가장 높았다. 초장도 무처리구의 21.8 cm에 비하여 혼증제 처

Table 3. Effect of soil fumigation on the sprouting rate and shoot growth of *Rehmannia glutinosa* 'Togang' determined 40 and 120 days after planting for sprouting rate and other variables, respectively.

Dazomet treatment ¹⁾ (kg/10a)	Sprouting rate (%)	Plant height (cm)	No. of leaves (per plant)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Fresh weight (g/plant)	SPAD value
Control	83.2±0.6 ^{c5}	21.5±0.3 ^b	22.7±0.2 ^b	20.2±0.7 ^b	5.4±0.1 ^b	52.4±0.4 ^c	44.7±0.8
30	93.7±0.8 ^b	26.9±1.1 ^a	25.9±0.2 ^a	23.1±0.4 ^a	5.9±0.1 ^b	63.7±0.1 ^b	46.4±0.6
40	94.8±1.1 ^b	27.2±0.7 ^a	26.1±0.5 ^a	23.3±0.3 ^a	6.2±0.0 ^{ab}	64.3±0.2 ^b	47.3±0.2
50	98.3±1.3 ^a	27.8±0.5 ^a	26.8±0.5 ^a	23.2±0.6 ^a	6.5±0.0 ^a	68.7±0.6 ^a	46.3±0.4
Significance	***	**	**	***	***	***	NS

¹⁾Soil was fumigated with dazomet in the second year of successive cropping. ⁵Different letters are significantly different at 5% by Duncan's Multiple Range Test (DMRT, $p \leq 0.05$). ^{NS,*,***}Nonsignificant or significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.001$, respectively.

Table 4. Effect of soil fumigation on rhizome growth and root rot of *Rehmannia glutinosa* 'Togang'.

Dazomet treatment ¹⁾ (kg/10 a)	No. of rhizome (per plant)	Rhizome length (cm)	Rhizome diameter (mm)	Rhizome weight (g.FW/plant)	Rhizomes with root rot	
					No. per plant	Fresh weight (g/plant)
Control	7.8±0.1 ^{c5}	26.5±0.5 ^c	16.0±1.4 ^c	136.7±3.2 ^c	4.4±0.2 ^a	43.1±2.6 ^a
30	8.8±0.0 ^b	30.7±0.1 ^b	17.1±0.9 ^b	153.3±6.1 ^b	1.0±0.0 ^b	11.7±0.2 ^b
40	9.3±0.1 ^a	32.8±0.4 ^a	18.4±1.4 ^a	220.0±3.4 ^a	0.4±0.1 ^c	7.6±0.4 ^c
50	9.2±0.0 ^a	32.8±1.3 ^a	18.2±0.9 ^a	214.7±0.9 ^a	0.1±0.0 ^c	0.1±0.0 ^d
Significance	***	*	*	***	***	***

¹⁾Soil was fumigated with dazomet in the second year of successive cropping. ⁵Different letters are significantly different at 5% by Duncan's Multiple Range Test (DMRT, $p \leq 0.05$). ***,**Significant at $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.001$, respectively.

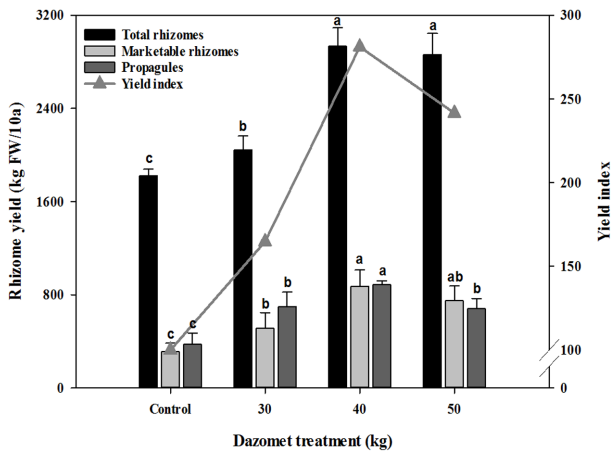


Fig. 1. Yield characteristics as a function of soil fumigation treatment in *Rehmannia glutinosa* 'Togang'. Vertical bars represent standard deviation of the means ($n = 3$). Yield index means total rhizome yield of treatments versus total yield of control.

리 시 약 5.1 cm - 6.0 cm 가량 증가하였고 처리량 간에는 유의한 차이는 없었다. 엽수와 엽장, 엽폭의 생육도 훈증제를 처리하였을 때 증가하였고 처리량이 증가할수록 생육은 소폭 증가하는 경향을 보였다. 지상부 생체중은 무처리구에서 주당 52.4 g일 때, 훈증제 처리는 11.3 g - 16.4 g 가량 증가시켰다. 그러나 재식 90 일차에 조사하였을 때 지상부 생육에는 훈증제 처리가 크게 영향을 미치지 않았는데 (data not shown) 이는 연작지에서 시들음병 발생 시기가 8 월 중순부터 시작되기 때문으로 생각된다.

토양 훈증제 처리량별 수확기 지하부 생육 특성을 조사한 결과 (Table 4) 근경의 수는 무처리 7.8 개에 비해 40 kg - 50 kg 훈증제 처리구에서 약 9.2 개로 가장 높았다. 근경의 길이는 무처리보다 훈증제 처리구가 4.2 cm - 6.3 cm 가량 길었고, 처리량이 증가할수록 근경의 길이도 증가하는 경향이었으며 특히 40 kg 이상 처리 시 32.8 cm로 가장 길었다. 무처리 시 근경의 굵기는 16.0 mm로 가장 작았고, 10 a 당 40 kg 처리하였을 때 18.4 mm로 가장 굵었다. 생근중도 처리 간

Table 5. Effect of soil fumigation treatment on the incidence of root rot disease in *Rehmannia glutinosa* 'Togang'

Dazomet treatment ¹⁾ (kg/10 a)	Disease incidence (%)	Disease reduction (%)
Control	26.7±2.0 ⁵	-
30	7.6±0.6 ^b	71.5±2.1 ^c
40	3.1±1.1 ^c	88.4±4.2 ^b
50	1.1±0.1 ^d	95.9±0.3 ^a

¹⁾Soil was fumigated with dazomet in the second year of successive cropping. ⁵Different letters are significantly different at 5% by Duncan's Multiple Range Test (DMRT, $p \leq 0.05$).

차가 크게 나타나 무처리는 주당 136.7 g이었던 반면 훈증제 처리구에서는 30 kg 처리 시, 153.3 g, 50 kg을 처리한 경우, 214.7 g, 40 kg을 처리한 경우, 220.0 g의 순으로 나타나 40 kg 이상 처리 시 주당 생근 수량은 크게 증가하였다. 근경에 발생된 뿌리썩음병 발생률은 무처리 시 56.4%로 높았지만 훈증제 30, 40, 50 kg 처리 시 각각 11.4, 4.3, 1.1%로 현저히 낮아졌다.

연작장애의 주요 원인 중 하나는 단일 작물 재배에 따른 병해충에 의한 피해 증가인데 이를 해결하기 위한 방법으로 토양 훈증이 사용되고 있다. Hwang 등 (2017)은 배추 무사마귀 병과 유식물체 갈록병 방제에 다조멧 입제를 10 a 당 40 kg 사용 시 생육 및 병 방제에 효과적이라고 보고하였다. 또한 다조멧은 딸기 재배 시 선충, 토양 병해, 잡초 등을 방제하기 위해 39 년 장기간 사용되고 있으며 (Dangi et al., 2017), 다조멧 훈증처리는 인산 성분을 광물화시켜 작물의 흡수를 촉진시킨다는 보고도 있다 (Huang et al., 2020). 따라서 본 실험의 결과는 지황 뿌리썩음병의 방제에 다조멧 입제가 효율적으로 사용될 수 있음을 보여준다.

지황 연작지 토양 훈증제 처리량에 따른 뿌리썩음병 발생률은 무처리 시 26.7% 발생하였으나, 훈증 시 모든 처리구에서 뿌리썩음병이 감소하여 30 kg 처리 시 7.6%, 40 kg 처리 시 3.1%로 낮아졌고 50 kg 처리 시 1.1%로 가장 낮은 이병 주율을 보였다 (Table 5). 뿌리썩음병 방제가는 훈증제 30 kg

처리 시 71.5%, 40 kg 처리시 88.4 %로 높아졌으며, 50 kg 을 처리한 경우, 95.9%로 가장 높은 방제가를 보였다.

따라서 지황 연작지에서 토양 훈증제 처리가 뿌리썩음병 방제에 효과적이며, 경제성을 고려한 적정 처리량은 10 a에 다조멧 입제 40 kg이 적합한 것으로 나타났다. 또한 토양 훈증제 처리 시 토양 병해 뿐만 아니라 선충, 잡초까지 방제가 가능하여 (Hamm *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2018a; Boz, 2009) 지황 재배에 유용하게 사용될 것으로 생각된다.

지황의 건전한 근경과 병든 근경을 멸균된 토양에 첨가 후 재배 시 무처리 대비 근경 첨가 시 생육과 수량이 감소하였고, 특히 이병 근경을 1,600 g 첨가하였을 때 수량이 63.3% 감소하였다. 또한 첨가량이 많을수록 뿌리썩음병 발생이 58.8%로 증가하였다. 지황 연작지 토양훈증제 다조멧 입제 처리시 시들음병을 방제할 수 있었으며 10 a 당 40 kg 이상 처리시 88% 이상의 방제 효과를 보였다.

따라서 지황 연작장애 원인균을 동정하고 뿌리썩음병 발생 조건에 따른 생장, 근경 수량과 토양 훈증 처리 효과를 고려했을 때, 지황 ‘토강’ 연작재배지 다조멧 입제의 적정 처리량은 40 kg/10a로 판단된다.

REFERENCES

- Blakley ER.** (1966). Gas chromatography of phenolic acid. *Analytical Biochemistry*. 15:350-354.
- Boz Ö.** (2009). Effects of olive processing waste, chicken manure and Dazomet on weeds with or without soil solarisation. *African Journal of Biotechnology*. 8:4946-4952.
- 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.
- Dangi SR, Tirado-Corbalá R, Gerik J and Hanson BD.** (2017). Effect of long-term continuous fumigation on soil microbial communities. *Agronomy*. 7:37. <https://www.mdpi.com/2073-4395/7/2/37> (cited by 2023 August 30).
- Domínguez, P, Miranda L, Soria C, de los Santos B, Chamorro M, Romero F, Daugovish O, López-Aranda JM and Medina JJ.** (2014). Soil biosolarization for sustainable strawberry production. *Agronomy for Sustainable Development*. 34:821-829.
- 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.
- Griebel GE and Owens LD.** (1972). Nature of the transient activation of soil microorganisms by ethanol of acetaldehyde. *Soil Biology and Biochemistry*. 4:1-8.
- Gries GA.** (1943). The effect of plant decomposition products on root diseases. *Phytopath*. 33:1111-1112.
- Hamm PB, Ingham RE, Jaeger JR, Swanson WH and Volker KC.** (2003). Soil fumigant effects on three genera of potential soilborne pathogenic fungi and their effect on potato yield in the Columbia Basin of Oregon. *Plant Disease*. 87:1449-1456.
- Heo HJ.** (2020). Effect of soil disinfection after green manure crop cultivation on reduction of replant failure in ginseng. Master Thesis. Chungbuk National University. p.21-22.
- Huang B, Yan D, Wang Q, Fang W, Song Z, Cheng H, Li Y, Ouyang C, Han Q, Jin X and Cao A.** (2020). Effects of dazomet fumigation on soil phosphorus and the composition of *phoD*-harboring microbial communities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 68:5049-5058.
- Hwang SF, Ahmed Hu, Strelkov SE, Zhou Q, Gossen BD, McDonald MR, Peng G and Turnbull GD.** (2017). Suppression of clubroot by dazomet fumigant. *Canadian Journal of Plant Science*. 98:172-182.
- Kim SH, Seo DC, Park JH, Lee ST, Lee SW, Kim HC, Cho JS and Heo JS.** (2013). Effects of green manure crops on growth and yield of carrot for reduction of continuous cropping injury of carrot through crop rotation. *Korean Journal of Environmental Agriculture*. 32:279-286.
- Lee JK, Ko HR and Lee DW.** (2018a). Efficacy of some nematicides against clover cyst nematode, *Heterodera trifolii* in Chinese cabbage field of highland area. *Korean Journal of Pesticide Science*. 22:69-77.
- Lee SW, Lee SH, Seo MW, Park KH and Jang IB.** (2018b). Effects of irrigation and ginseng root residue on root rot disease of 2-years-old ginseng and soil microbial community in the continuous cropping soil of ginseng. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 26:345-353.
- Li M, Yang Y, Feng F, Zhang B, Chen S, Yang C, Gu L, Wang F, Zhang J, Chen A, Lin W, Chen X, and Zhang Z.** (2017). Differential proteomic analysis of replanted *Rehmannia glutinosa* roots by iTRAQ reveals molecular mechanisms for formation of replant disease. *BMC Plant Biology*. 17:116. <https://bmcpantbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12870-017-1060-0> (cited by 2023 August 30).
- Li ZF, Yang YQ, Xie DF, Zhu LF, Zhang ZG, Lin WX.** (2012). Identification of autotoxic compounds in fibrous roots of *Rehmannia glutinosa* Libosch. *PLOS ONE*. 7:e28806. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0028806> (cited by 2023 August 30).
- Madhavi GB and Bhattiprolu SL.** (2011). Evaluation of fungicides, soil amendment practices and bioagents against *Fusarium solani*-causal agent of wilt disease in chilli. *Journal of Horticultural Sciences*. 6:141-144.
- Mao L, Jiang H, Wang Q, Yan D and Cao, A.** (2017). Efficacy of soil fumigation with dazomet for controlling ginger bacterial wilt(*Ralstonia solanacearum*) in China. *Crop Protection*. 100: 111-116.
- Moreno-Velandia CA, Izquierdo-García LF, Ongena M, Kloepper JW and Cotes AM.** (2019). Soil sterilization, pathogen and antagonist concentration affect biological control of *Fusarium* wilt of cape gooseberry by *Bacillus velezensis* Bs006. *Plant and Soil*. 435:39-55.
- Rural Development Administration(RDA).** (2019). Medicinal crops. Rural Development Administration. Jeonju. Korea. p.175-182.
- 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.
- Wang X.** (2017). Study on continuous cropping obstacle and control strategy of medicinal plants. Advances in Social Science, Education and Humanities Research. 119:839-842.
- Wu L, Wang J, Wu H, Chen J, Xiao Z, Qin X, Zhang Z and Lin W.** (2018). Comparative metagenomic analysis of rhizosphere microbial community composition and functional potentials under *Rehmannia glutinosa* consecutive monoculture. International Journal of Molecular Science. 19:2394. <https://www.mdpi.com/1422-0067/19/8/2394> (cited by 2023 August 30).
- Xu YH, Chi K, Zhang AH, Lei FJ, Yang H, Zhao Y, Li K, Wang EH, Li Q, Kim JS, Lee SH and Kim YC.** (2016). Chemotactic response study of *Cylindrocarpon destructans* towards ginseng root exudates. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 24:360-369.