

## Effects of Vermicompost Application on the Growth and Ginsenoside Content of *Panax ginseng* in a Reclaimed Field

Jinu Eo\*, Kee-Choon Park<sup>1</sup>, Jin-Soo Lim<sup>1</sup>, Myung-Hyun Kim, Soon-Kun Choi, and Young-Eun Na

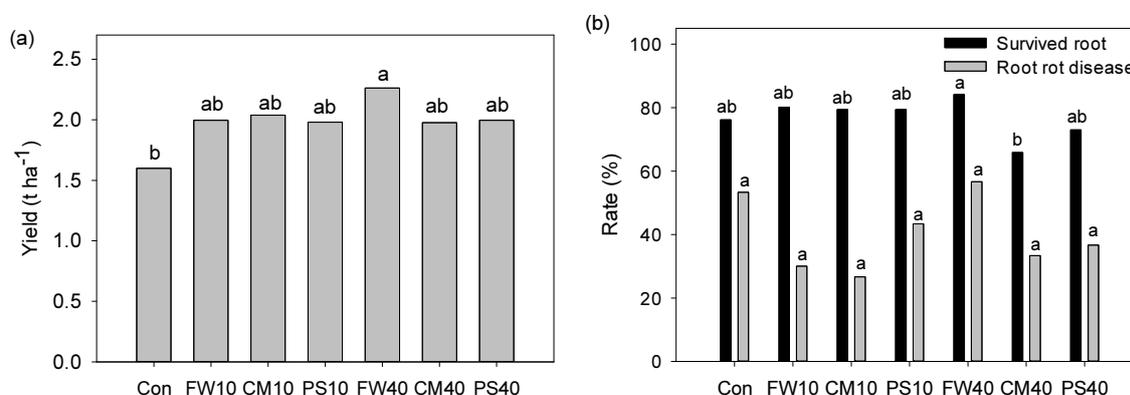
Climate Change & Agroecology Division, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

<sup>1</sup>National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

(Received: March 1 2016, Revised: April 20 2016, Accepted: April 25 2016)

The objective of this study was to evaluate the effects of the application of vermicomposts on the growth parameters and ginsenoside content of ginseng roots. Food waste vermicompost (FW), cow manure vermicompost (CM), and paper sludge vermicompost (PS) were applied at 10 and 40 t ha<sup>-1</sup>, respectively. One-year-old seedlings were transplanted and 4-year-old roots were harvested. Soil nitrate and phosphate concentrations were increased in the plots applied with FW and CM at 40 t ha<sup>-1</sup>. Soil pH and exchangeable Ca concentrations were higher at FW 40 t ha<sup>-1</sup> than at CM 40 t ha<sup>-1</sup>. Root yield increased when treated with FW 40 t ha<sup>-1</sup> in comparison to the yield for the control. The incidences of root rot disease and ginsenoside content were not significantly affected by the treatments. The results suggested that application of vermicompost might not show a relationship between root biomass and ginsenoside content. It further showed that proper use of vermicompost can promote root yield without a reduction in root quality or an increase in the incidence of root rot disease in reclaimed fields.

**Key words:** Nutrient, Root rot disease, Organic amendment, Ginseng



Effects of vermicomposts on root yield (a), rate of survived root and root rot disease (b). Con, control; FW, food waste vermicompost; CM, cow manure vermicompost; PS, paper sludge vermicompost. Means of each parameter with different letters are significantly different at  $P < 0.05$  according to Duncan's multiple range test.

\*Corresponding author: Phone: +82632382507, Fax: +82632383823, E-mail: eojin@rda.go.kr

§Acknowledgement: This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ010013)", National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

## Introduction

인삼은 해가림 시설에서 다년간 재배를 통해 생산되며 주로 뿌리를 식용이나 약용으로 이용하는 작물이다. 일반적으로 예정지 관리시기에 토양에 투입되는 퇴비나 부엽토 등의 유기물은 안정적인 양분 공급과 인삼 생육 증진에 효과가 있다고 보고되었다 (Kim et al., 2010; Lee et al., 2003; Nam et al., 2002; Park et al., 1982) 농업 및 가정에서 배출되는 다양한 유기성 폐기물은 적절한 가공을 거쳐 비료로 활용할 수 있으며, 인삼생산을 위한 토양 개량에 이용할 수 있다. 일반적으로 퇴비를 생산하기 위해서는 부숙화가 필요하며, 지렁이와 토양미생물의 활동으로 생산되는 분변토는 토양의 양분이나 물리성 개선을 통해 생산성을 증대시키는 효과가 있다 (Arancon et al., 2005; Atiyeh et al., 2001).

인삼재배에서 수량을 감소시키는 요인 중의 하나가 근부병에 의한 피해이다. 근부병에 관여하는 *Cylindrocarpon destructans*나 *Fusarium solani* 등의 병원성 곰팡이는 부생성이기 때문에 유기물 시용에 의해 이들의 밀도가 높아져 근부병 발생이 증가할 우려가 있다 (Eo and Park, 2013). 또한, 연작으로 인해 근부병의 피해가 증가할 수 있기 때문에 농가에서는 미경작지를 개간하거나 복토를 해서 인삼을 재배하는 사례가 증가하고 있다. 하지만 개간한 토양의 경우 양분이 매우 적어 인삼 재배에 불리하기 때문에 적절한 유기물 관리가 필요하며 근부병 억제 방법에 대한 고려도 필요하다.

진세노사이드는 triterpenoidic saponin으로 약 30여종의 다양한 사포닌이 인삼의 뿌리, 잎, 열매에서 발견되는데 (Chuang and Sheu, 1994), 요즘 인삼의 품질평가에서 뿌리의 무게나 형태 이외에 진세노사이드를 기준으로 하려는 시도가 일어날 정도로 그 중요성이 부각되고 있다 (Roy et al., 2003). 우리나라에서는 건강기능식품법 (식품의약품안전처)으로 홍삼에 대해 진세노사이드 Rb1, Rg1, Rg3의 농도를 표시하도록 규정하고 있다. 진세노사이드 함량은 양분, 수분, 온도 등의 환경요소에 의해 영향을 받으며 (Fournier et al., 2003; Jochum et al., 2007; Lee and Mudge, 2013b; Lim et al., 2006; Yu et al., 2005), 식물은 다양한 이차대사산물을 환경요소에 대한 방어시스템에 이용한다 (Devi et al., 2012; Neilson et al., 2013). 따라서 시비에 따른 토양환경변화에 의해 식물생장과 진세노사이드 생산 과정에서 물질분배 차이가 유발될 수 있으며, 인삼의 품질에 영향을 미칠 가능성이 있다.

인삼 재배에서 안정적인 수량과 품질을 유지하기 위해서는 유기물 시비에 의한 인삼의 생육, 근부병 발생 및 진세노사이드 함량의 관계를 동시에 검토할 필요가 있다. 본 연구의 목적은 분변토 시용에 의한 토양환경 화학성 변화를 알아보고, 이에 따른 인삼의 생육 및 진세노사이드 함량 변화

와 두 요소간에 상관관계에 미치는 영향을 구명하는 것이다.

## Materials and Methods

**실험장소 및 처리방법** 충청북도 음성군에 위치한 국립원예특작과학원의 실험포장에서 연구를 수행하였다. 실험포장은 마사토로 성토하여 조성하였으며, 분변토는 상업적으로 판매하는 제품을 구입하여 각각 10 및 40 t ha<sup>-1</sup>으로 처리하였다. 분변토는 음식물 쓰레기 분변토 (food waste vermicompost, FW), 우분 분변토 (cow manure vermicompost, CM), 제지 슬러지 분변토 (paper sludge vermicompost, PS) 3종류를 처리하였으며, 화학적조성은 Table 1에 나타내었다. 분변토를 투입하지 않은 무처리구를 대조구로 하였다. 실험구 배치는 각 처리구의 크기를 0.9 m × 3.6 m로 하여, 난괴법 3반복으로 배치하였다. 묘삼의 정식은 2009년 3월 17일에서 30일 사이에 기계로 실시하였으며, 재래종 1년생 묘삼을 줄 간격 20 cm로 하여 1줄에 7주씩 정식하였다. 해가림 시설은 2009년 3월 23일에서 4월 11일 사이에 설치하였다.

**토양 및 생육조사** 토양시료는 2011년 7월 3일에 각 처리구별로 0-10 cm 깊이의 토양을 오거를 이용하여 4-5 곳에서 채취하여 골고루 혼합하여 분석용 시료로 사용하였다. 인삼의 지상부 생육은 초장, 엽장, 엽폭에 대하여 2010년 9월에 조사하였다. 엽록소의 함량은 SPAD-502 (Konica Minolta, Osaka, Japan)으로 측정하여 SPAD 값으로 표시하였다. 인삼의 뿌리는 2011년 10월 12일에 수확하여 수량, 생존율, 근부병 발생율을 조사하였다.

**토양화학성 분석** 상온 건조한 토양 시료를 이용하여 pH, EC, 유효태 인산, 질산태 질소, 치환성 양이온을 분석하였다. pH와 EC는 초자전극법으로 측정하였고, 유효인산 함량은 Lancaster법으로 측정하였다 (RDA, 1988). 질산태 질소는 2 M KCl로 추출후 켈달분석법에 의해 질소분석기 (K-314, Büchi, Switzerland)로 분석하였다. 치환성 양이온함량은 1 N NH<sub>4</sub>OAc (pH 7.0)으로 침출한 후 그 여과액을 ICP (Integra XL DUAL, GBC Scientific Equipment, USA)를 사용하여 분석하였다.

**Table 1. Chemical composition of the vermicomposts.**

	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Moisture
	----- % -----					
FW	1.26	3.5	0.41	9.48	0.35	35
CM	0.8	1.9	1.68	2.68	1.29	51
PS	1.01	0.58	0.2	2.98	3.17	34

FW, food waste vermicompost; CM, cow manure vermicompost; PS, paper sludge vermicompost.

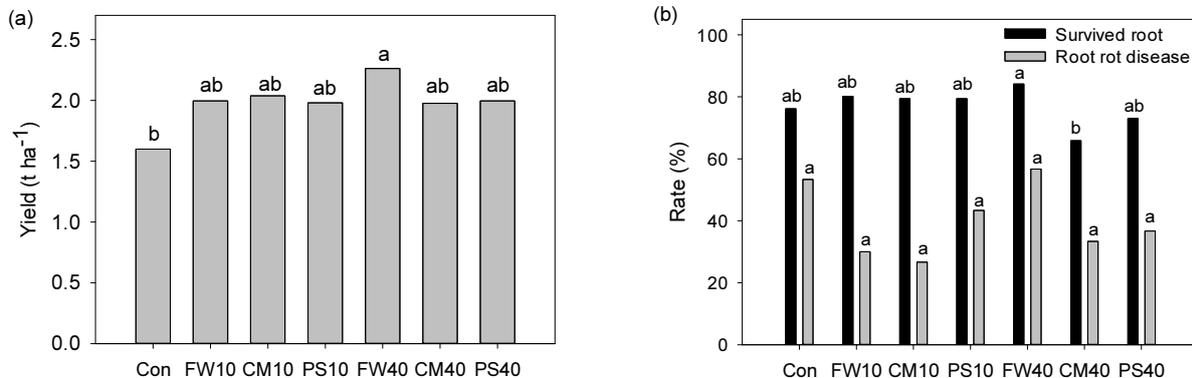
**진세노사이드 분석** 수확한 인삼뿌리를 동결건조한 다음 Kim et al. (2012)와 같은 방법으로 진세노사이드를 분석하였다. 먼저 분쇄한 0.2 g의 분말시료를 70% MeOH를 이용하여 추출하였다. 상층액은 50°C에서 30분간 초음파 처리 후 13,000 rpm에서 15분간 원심분리한 다음 상층액을 Sep-Pak cartridge (Waters Corp. Milford, MA, USA)로 여과하여, LC-1000 system (Agilent, Walbronn, Germany)에서 분석하였다.

**통계분석** 분변토 투입에 의한 처리간 토양화학적, 뿌리 생육, 진세노사이드 함량 차이는 분산분석과 Duncan 검정법으로 분석하였다. 진세노사이드 함량과 뿌리 생육요소 간의 관계를 알아보기 위해, Pearson correlation coefficient를 분석하였다. 모든 분석은 SAS v9.1 (SAS Institute Inc., USA)를 이용하여 수행하였다.

## Results and Discussion

**인삼생육 및 토양화학적** 인삼뿌리의 수량은 대조구보다 음식물 쓰레기 분변토 40 t ha<sup>-1</sup>에서 증가하였으며 (Fig. 1). 지상부의 초장이나 엽장은 유의적 차이가 없었지

만, SPAD 값은 이 두 처리구에서 증가했기 때문에 생육에 미치는 영향이 부분적으로 확인되었다 (Table 2). 토양화학적 중 pH는 음식물 쓰레기 분변토 40 t ha<sup>-1</sup>와 제지 슬러지 분변토 40 t ha<sup>-1</sup>에서 증가하였다 (Table 3). 그러나 이것은 음식물 쓰레기 분변토 40 t ha<sup>-1</sup>만의 생육증진 효과를 설명하기는 어려우며, Lee et al. (1980)도 인삼 수량과 토양 pH 간에 유의적 상관관계가 없었다고 하였다. 음식물 쓰레기 분변토 40 t ha<sup>-1</sup>과 우분 분변토 40 t ha<sup>-1</sup>처리에서 질산태 질소와 유효태 인산의 농도가 증가하였기 때문에 양분공급 효과가 있었을 것으로 판단된다. 하지만 수량증가 효과는 음식물 쓰레기 분변토 40 t ha<sup>-1</sup>에서만 있었으며, 우분 분변토 40 t ha<sup>-1</sup>처리에 의한 유의적 효과는 보이지 않았다. 우분 분변토 40 t ha<sup>-1</sup>처리는 SPAD 값 증가로 볼 때 지상부 생육을 증진시키는 효과가 있지만, 뿌리의 고사율이 높아져 전체 수량은 늘지 않은 것으로 보인다. 토양화학적 중 치환성 칼슘 농도만이 음식물 쓰레기 분변토 40 t ha<sup>-1</sup>처리에서 가장 높았다는 점은 특이할 만하다. 질소, 인, 칼륨 시비가 생육에 미치는 효과는 일부 연구되었으나 (Park et al., 1986), 칼슘의 시비 효과에 대한 연구는 적은 실정이다. 인삼재배지에서 토양의 칼슘 농도와 인삼수량 사이에 유의적 상관관계는 없었다고 보고되었다 (Lee et al., 1980; Lee et al.,



**Fig. 1.** Effects of vermicomposts on root yield (a), rate of survived root and root rot disease (b). Con, control; FW, food waste vermicompost; CM, cow manure vermicompost; PS, paper sludge vermicompost. Means of each parameter with different letters are significantly different at  $P < 0.05$  according to Duncan's multiple range test.

**Table 2.** Aboveground growth of ginseng plant resulting from vermicompost application.

	Shoot length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	SPAD
Control	4.8a	7.7a	3.5a	22.5b
FW10	5.3a	8.4a	3.8a	23.1b
CM10	5.5a	8.6a	3.9a	26.2ab
PS10	5.2a	7.8a	3.5a	21.4b
FW40	4.7a	7.9a	3.5a	30.9a
CM40	4.9a	8.4a	3.7a	31.4a
PS40	4.1a	7.6a	3.5a	29.6ab

FW, food waste vermicompost; CM, cow manure vermicompost; PS, paper sludge vermicompost. Means of each parameter with different letters are significantly different at  $P < 0.05$  according to Duncan's multiple range test.

**Table 3. Soil chemical properties resulting from vermicompost application.**

	pH	EC	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K	Mg	Ca
	(1:5)	dS m <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	-----	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	-----
Control	6.5cd	0.2c	11.9b	72.0c	0.1a	1.1cd	4.3b
FW10	6.9bc	0.3bc	13.9b	65.1c	0.1a	1.1d	4.6b
CM10	6.4d	0.4bc	13.0b	97.0bc	0.1a	1.2bc	4.3b
PS10	6.8bc	0.3bc	11.8b	64.8c	0.1a	1.3bc	4.3b
FW40	7.5a	0.5ab	28.7a	137.5ab	0.1a	1.0d	5.5a
CM40	6.5cd	0.7a	28.7a	171.1a	0.1a	1.3bc	4.5b
PS40	7.2ab	0.5ab	19.4ab	70.4c	0.1a	1.6a	4.5b

FW, food waste vermicompost; CM, cow manure vermicompost; PS, paper sludge vermicompost. Means of each parameter with different letters are significantly different at  $P < 0.05$  according to Duncan's multiple range test.

**Table 4. Ginsenoside content in root resulting from vermicompost application.**

	Rg1	Re	Rf	Rb1	Rc	Rg2	Rh1	Rb2	Rd	Rg3	Rg5	Rh2	Total
	----- g kg <sup>-1</sup> -----												
Control	6.3a	9.7a	2.5a	11.9a	7.2a	1.0a	0.2a	5.8a	1.8a	0.2a	1.7a	0.4a	48.6a
FW10	6.1a	8.8a	2.4a	11.1a	7.4a	0.8a	0.3a	5.3a	1.7a	0.2a	1.3a	0.4a	45.6a
CM10	6.3a	9.2a	2.3a	11.6a	7.5a	0.7a	0.2a	5.2a	1.8a	0.2a	1.3a	0.4a	46.6a
PS10	6.4a	8.9a	2.4a	11.5a	7.6a	0.7a	0.2a	5.1a	1.8a	0.2a	1.1a	0.4a	46.5a
FW40	6.2a	8.9a	2.4a	11.2a	7.3a	0.7a	0.2a	5.3a	1.6a	0.2a	1.2a	0.5a	45.6a
CM40	6.8a	10.0a	2.5a	13.2a	7.7a	0.9a	0.2a	6.0a	1.8a	0.2a	1.5a	0.7a	51.6a
PS40	5.8a	9.0a	2.1a	11.4a	7.1a	0.7a	0.2a	5.3a	1.7a	0.2a	1.3a	0.5a	45.1a

FW, food waste vermicompost; CM, cow manure vermicompost; PS, paper sludge vermicompost. Means of each parameter with different letters are significantly different at  $P < 0.05$  according to Duncan's multiple range test.

1989). 황산칼슘을 통한 칼슘 공급은 전칠삼 (*P. notoginseng*)의 수량을 증가시켰으나 (Xia et al., 2016), 칼슘이 주성분인 석고를 다량으로 시용할 경우 미국삼 (*P. unguifolius*)에서는 뿌리생육에 부정적인 효과가 있었다 (Lee and Mudge, 2013a). 한편, 뿌리생육에 처리간 차이가 나타난 것은 토양 양분뿐만 아니라 다른 요인이 작용할 수 있다. Arancon et al. (2005)은 본 연구에 사용된 세 종류의 분변토가 양분공급 이외에도 휴믹물질을 생산하여 작물의 생육을 증진시키는 효과가 있다고 하였다. Atiyeh et al. (2001)도 분변토에 의한 작물의 생육증진에는 양분이나 물리성 개선 이외에 식물생장을 촉진하는 물질을 공급하는 효과도 있을 것으로 추측하였다. 따라서 인삼의 뿌리생육에 미치는 분변토의 효과를 밝히기 위해서는 토양의 다양한 요소를 종합적으로 고려할 필요가 있다.

**뿌리생존율 및 근부병 발생** 뿌리 생존율은 대조구와 비교할 때 분변토의 처리에 의해 유의적인 차이는 나타나지 않았으나, 음식물 쓰레기 분변토 40 t ha<sup>-1</sup> 처리가 우분 분변토 40 t ha<sup>-1</sup> 처리보다 높았다 (Fig. 1). 근부병 발생율은 처리간에 유의적 차이가 없었기 때문에 이러한 결과에 영향을 미쳤다고 해석하기에는 어려운 점이 있으나, 재배 초기의 묘삼 생존율에 영향을 미쳤을 가능성은 있다. 음식물 쓰

레기 분변토 처리에서 이러한 부정적 효과가 없었다는 것은 인삼재배 측면에서 유리한 장점을 갖는다. 토양에 투입된 유기물은 병원균의 밀도 증가를 통해 근부병 발생을 증가시킬 수 있으나, 분변토는 병원성 곰팡이를 억제하거나 식물의 비타민 C, 페놀, 플라보노이드와 같은 항산화물질과 대사물질의 함량을 높이는 효과도 있다 (Eo and Park, 2013; Ersahin et al., 2009; Wang et al., 2010). 또한, 음식물 분변토 처리에서 토양 치환성칼슘 농도가 높았는데, Lee et al. (1989)은 토양 칼슘농도와 생존율 사이에 양의 상관관계가 있다고 하였다. 따라서, 생존율과 관련하여 분변토가 근부병 병원균 및 발병율에 미치는 기작에 대해 추가적으로 연구할 필요가 있다.

**진세노사이드 함량** 진세노사이드 함량은 분변토 종류나 처리량에 상관 없이 대조구와 비교하여 유의적 차이가 없었으며 (Table 4), Rh2만이 질산태 질소 및 유효태 인산과 유의적 상관관계가 있었다 (Table 5). 화학비료는 인삼 생육과 진세노사이드를 모두 증진시키거나, 생육만 증진시킨다는 보고가 있다 (Park et al., 1986; Xia et al., 2016). 한편, Park et al. (2015)은 유기물 시용이 종류와 양에 따라 인삼의 생육과 진세노사이드 함량에 미치는 효과가 다르다

**Table 5. Pearson correlation coefficients between ginsenoside contents and soil chemical properties.**

	Rg1	Re	Rf	Rb1	Rc	Rg2	Rh1	Rb2	Rd	Rg3	Rg5	Rh2	Total
pH	-0.11	-0.21	-0.14	-0.19	-0.11	-0.23	0.21	-0.11	-0.22	-0.21	-0.39	-0.07	-0.18
EC	0.04	0.09	-0.01	0.10	0.00	-0.01	0.02	-0.02	-0.22	0.04	0.12	0.39	0.05
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.13	0.11	0.76	0.15	0.04	0.11	0.03	0.12	-0.14	-0.14	-0.02	0.51*	0.11
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.23	0.20	0.20	0.28	0.09	0.12	0.13	0.20	-0.01	-0.16	0.04	0.52*	0.22
K	0.25	0.36	0.14	0.35	0.35	-0.01	0.09	0.20	0.32	0.09	0.15	0.18	0.31
Ca	0.25	0.36	0.14	0.35	0.35	-0.01	0.09	0.20	0.32	0.09	0.15	0.18	0.31

\* Correlation is significant at the level of 0.05 ( $P < 0.05$ )

고 하였다. Reelder et al. (2000)은 재식밀도를 높이면 근중은 감소하지만 진세노사이드 함량은 변화가 없었다고 하였으며, 이것은 진세노사이드 함량이 식물간의 양분경쟁에 영향을 받지 않는다는 것을 시사한다. 칼슘과 마그네슘은 뿌리의 진세노사이드를 증진시킨다는 보고가 있다 (Konsler, 1990; Xia et al., 2016). 하지만 음식물 쓰레기 분변토와 제지 슬러지 분변토 처리에 의하여 두 성분의 농도가 각각 증가하였음에도 진세노사이드 함량은 유의적 차이를 보이지는 않았다.

**진세노사이드 함량과 뿌리생육과의 관계** 본 연구에서 진세노사이드 함량과 뿌리 생육 사이에 유의적 상관관계는 없었다. 진세노사이드 생산은 활성산소, 에틸렌, 자스모네이트와 같은 식물의 방어물질 생산에 의해 촉진된다 (Tewari et al., 2007; Wang et al., 2005; Xu et al., 2005). 식물의 방어체제에서 생육과 진세노사이드 생산에 있어서의 물질 분배 관계에 대한 다양한 의견이 있다. 진세노사이드는 mevalonic acid와 methylerythritol phosphate pathways를 거쳐 합성되는 pyrophosphate이 전구체이며, 이 물질은 유용한 질소에 대해 생장과 경쟁을 하지 않는다는 보고가 있다 (Dubey et al., 2003; Haukioja et al., 1998; Hampel et al., 2007). 하지만 Massad et al. (2012)는 사포닌 생산은 광합성과 질소에 대한 경쟁을 한다고 하였다. 또한, 질소질 비료 사용은 질소함량이 높은 화합물 생성을 유도하고, 질소가야 상태에서는 질소를 함유하지 않는 terpenoid나 phenolics의 생산을 유도할 수 있다 (Ibrahim et al., 2013). 본 연구와 같은 시비수준으로 개간지 토양에 분변토를 처리한 경우, 환경스트레스를 나타낼 정도의 토양화학성 변화가 일어나지 않기 때문에 방어기작을 위한 진세노사이드 생산 증가는 없었던 것으로 추측된다.

## Conclusion

본 연구에서 음식물쓰레기분변토 40 t ha<sup>-1</sup>처리는 토양의 질산태질소, 유효인산, 치환성칼슘 등의 양분 증가를 통해 인삼의 수량을 증진시키는 효과가 있었다. 이에 비해 우분분변토 40 t ha<sup>-1</sup>처리도 양분을 증가시키는 효과는 있었지만 뿌리 고사율이 높아져 전체 수량을 증가시키지는 않았던

것으로 보인다. 분변토의 효과는 재료나 토양종류에 따라 달라질 수 있으므로, 현장에 적용하기 위해서는 추가적인 시험이 필요할 것으로 생각된다. 양분이 적은 개간지에서는 본 연구와 같은 시비량으로 분변토를 투입할 경우 토양환경 스트레스 유발에 의한 진세노사이드 함량변화는 적을 것으로 추측된다. 또한, 음식물쓰레기분변토는 근부병발생을 증가시키는 부정적 작용은 없었기 때문에 개간지의 안정적인 인삼 재배를 위한 활용가능성이 크다고 할 수 있다.

## References

- Arancon, N.Q., C.A. Edwards, P. Bierman, J.D. Metzger, and C. Lucht. 2005. Effects of vermicompost produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiologia* 49:297-306.
- Atiyeh, R.M., C.A. Edwards, S. Subler, and J.D. Metzger. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresour. Technol.* 78:11-20.
- Chuang, W.C. and S.J. Sheu. 1994. Determination of ginsenosides in ginseng crude extracts by high-performance liquid chromatography. *J. Chromatogr.* 685:243-251.
- Devi, B.S.R., Y.J. Kim, S.K. Selvi, S. Gayathri, K. Altanzul, S. Parvin, D.U. Yang, O.R. Lee, S. Lee, and D.C. Yang. 2012. Influence of Potassium Nitrate on Antioxidant Level and Secondary Metabolite Genes under Cold stress in *Panax ginseng*. *Russ. J. Plant Physiol.* 59:318-325.
- Dubey, V.S., R. Bhalla, and R. Luthra. 2003. An overview of the nonmevalonate pathway for terpenoid biosynthesis in plants. *J. Biosci.* 28:637-646.
- EO, J. and K.C. Park. 2013. Effects of manure composts on soil biota and root-rot disease incidence of ginseng (*Panax ginseng*). *Appl. Soil Ecol.* 71:58-64.
- Ersahin, Y.S., K. Haktanir, and Y. Yanar. 2009. Vermicompost suppresses *Rhizoctonia solani* Kuhn in cucumber seedlings. *J. Plant Dis. Protect.* 116:182-188.
- Fournier, A. R., J. T. A. Proctor, L. Gauthier, S. Khanizadeh, A. Belanger, A. Gosselin, and M. Dorais. 2003. Understory light and root ginsenosides in forest-grown *Panax quinquefolius*. *Phytochemistry* 63:777-782.

- Hampel, D., A. Swatski, A. Mosandl, and M. Wust. 2007. Biosynthesis of monoterpenes and norisoprenoids in raspberry fruits (*Rubus idaeus* L.): the role of cytosolic mevalonate and plastidial methylerythritol phosphate pathway. *J. Agric. Food Chem.* 55:9296-9304.
- Haukioja, E., V. Ossipov, J. Koricheva, T. Honkanen, S. Larsson, and K. Lempa. 1998. Biosynthetic origin of carbon-based secondary compounds: cause of variable responses of woody plants to fertilization? *Chemoecology* 8:133-139.
- Ibrahim, M.H., H.Z.E. Jaafar, E. Karimi, and A. Ghasemzadeh. 2013. Impact of organic and inorganic fertilization on the phytochemical and antioxidant activity of kacip Fatimah (*Labisia pumila* Benth). *Molecules* 18:10973-10988.
- Jochum, G.M., K.W. Mudge, and R.B. Thomas. 2007. Elevated temperatures increase leaf senescence and root secondary metabolite concentrations in the understory herb *Panax quinquefolius* (Araliaceae). *Amer. J. Bot.* 94:819-826.
- Kim, D.W., H.J. Kim, J.S. Park, D.H. Kim, S.S. Cheong, and J. Ryu. 2010. Selection of suitable organic matter for To-jik nursery in *Panax ginseng* C.A. Meyer. *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 18:74-78.
- Kim, G.S., S.E. Lee, H.J. Noh, H. Kwon, S.W. Lee, S.Y. Kim, and Y.B. Kim. 2012. Effects of natural bioactive products on the growth and ginsenoside contents of *Panax ginseng* cultured in an aeroponic system. *J. Ginseng Res.* 36:430-441.
- Konsler, T.R., S.W. Zito, J.E. Shelton, and E.J. Staba. 1990. Lime and phosphorus effects on American ginseng: II. Root and leaf ginsenoside content and their relationship. *J. Am. Hortic. Soc.* 115:575-580.
- Lee, G.S., S.S. Lee, and J.D. Chung. 2003. Effects of several kinds of composts on root yield of ginseng seedlings. *J. Ginseng Res.* 27:32-36.
- Lee, I.H., C.S. Park, and K.J. Song. 1989. Growth of *Panax ginseng* affected by the annual change in physic-chemical properties of ginseng cultivated soil. *Korean J. Ginseng Sci.* 13:84-91.
- Lee, I.H., C.S. Yuk, K.W. Han, K.Y. Nam, H.W. Bae. 1980. Influences of soil chemical properties in ginseng field on the growth and the yield of ginseng. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 13:99-105.
- Lee, J. and K.W. Mudge. 2013a. Gypsum effects on plant growth, nutrients, ginsenosides, and their relationship in American ginseng. *Hort. Environ. Biotechnol.* 54:228-235.
- Lee, J. and K.W. Mudge. 2013b. Water deficit affects plant and soil water status, plant growth, and ginsenoside contents in American ginseng. *Hort. Environ. Biotechnol.* 54:475-483.
- Lim, W.S., K.W. Mudge, and J.W. Lee. 2006. Effect of water stress on ginsenoside production and growth of American ginseng. *HortTechnology* 16:517-522.
- Massad, T.J., L.A. Dyer, and C.G. Vega. 2012. Costs of defense and a test of the carbon-nutrient balance and growth-differentiation balance hypotheses for two co-occurring classes of plant defense. *PLoS ONE* 7:e47554.
- Nam, Y.K., J.I. Lee, and K.H. Han. 2002. Production of organic compost to exclusive use in a Ginseng. *J. KOWREC.* 10:139-147.
- Neilson, E.H., J.Q.D. Goodger, I.E. Woodrow, and B.L. Moller. 2013. Plant chemical defense: at what cost?. *Trends Plant. Sci.* 18:250-258.
- Park, H., M.K. Lee, and C.H. Lee. 1986. Effect of nitrogen phosphorus and potassium on ginsenoside composition of *Panax Ginseng* root grown with nutrient solution. *J. Korean Agr. Chem. Soc.* 29:78-82.
- Park, H., S.K. Mok, and K.S. Kim. 1982. Relationship between soil moisture, organic matter and plant growth in ginseng plantations. *J. Korean Soc. Soil Fert.* 15:156-161.
- Park, H.W., H.S. Mo, I.B. Jang, J. Yu, Y.S. Lee, Y.C. Kim, K.C. Park, E.H. Lee, K.H. Kim, and D.Y. Hyun. 2015. Emergence rate and growth characteristics of ginseng affected by different types of organic matters in greenhouse of direct-sowing culture. *Korean. J. Med. Crop Sci.* 23:27-36.
- Rural Development Administration (RDA). 1988. Method of soil chemical properties. RDA. Korea.
- Reeleder, R.D., B. Capell, J. Hendel, and A. Starratt. 2000. Influence of plant density on yield and ginsenoside levels of *Panax quinquefolius* L. *J. Herb Spices Med. Plants* 7:65-76.
- Roy, R.C., R. Grohs, and R.D. Reeleder. 2003. A method for the classification by shape of dried roots of ginseng (*Panax quinquefolius* L.). *Can. J. Plant Sci.* 83:955-958.
- Tewari, R.K., S.Y. Lee, E.J. Hahn, and K.Y. Paek. 2007. Temporal changes in the growth, saponin content and antioxidant defense in the adventitious roots of *Panax ginseng* subjected to nitric acid elicitation. *Plant Biotechnol. Rep.* 1:227-235.
- Wang, D., Q. Shi, X. Wang, M. Wei, J. Hu, J. Liu, and F. Yang. 2010. Influence of cow manure vermicompost on the growth, metabolite contents, and antioxidant activities of Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *Chinensis*). *Biol. Fertil. Soils* 46:689-696.
- Wang, W., Z.Y. Zhang, and J.J. Zhong. 2005. Enhancement of ginsenoside biosynthesis in high-density cultivation of *Panax notoginseng* cells by various strategies of methyl jasmonate elicitation. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 67:752-758.
- Xia, P., H. Guo, H. Zhao, J. Jiao, M.K. Keyholos, X. Yan, Y. Liu, and Z. Liang. 2016. Optimal fertilizer application for *Panax notoginseng* and effect of soil water on root rot disease and saponin contents. *J. Ginseng Res.* 40:38-46.
- Xu, X., X. Hu, S.J. Neill, J. Fang, and W. Cai. 2005. Fungal elicitor induces singlet oxygen generation, ethylene release and saponin synthesis in cultured cells of *Panax ginseng* C. A. Meyer. *Plant Cell Physiol.* 46:947-954.
- Yu, K.W., H.N. Murthy, E.J. Hahn, and K.Y. Paek. 2005. Ginsenoside production by hairy root cultures of *Panax ginseng*: influence of temperature and light quality. *Biochem. Eng. J.* 23:53-56.