

인삼 논재배에서 석회 시용에 따른 갈반형 황증 발생 억제 효과

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

농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부

Effect of Application Level of Calcium Hydroxide on Brown-Leaf Symptom and Root Yield of *Panax ginseng* Cultivated in Paddy Soil

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

Ginseng Research Division, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 369-873, Korea.

ABSTRACT : Physiological disorders such as symptoms in leaf colored with brown spots are so many occurred in ginseng garden cultivated with paddy soil. This study was carried out to inhibit the symptoms of brown-colored leaf in 3-year-old ginseng by fertilizing calcium hydroxide [Ca(OH)₂] of 100 ~ 400 kg per 10a on paddy soil before transplant of seedling. Soil pH was rapidly increased, while Fe was decreased in soil by the increase of application level of calcium hydroxide. Soil pH was increased from 4.53 to 6.18 when calcium hydroxide was fertilized at level of 100kg per 10a. The content of Fe in ginseng leaf was decreased more than the control by fertilizing calcium hydroxide in soil. Ratio of brown-colored leaf and plant height and leaf area were decreased by the increase of calcium hydroxide. Ratio of survived root and yield of root showed the peak at the application level of 100 kg per 10a, and both of them were gradually decreased by the increase of calcium hydroxide. The decrease of missing plant rate above the application level of 200 kg per 10a had a negative effect on the decrease of yield of root.

Key Words : Calcium Hydroxide, Iron, Leaf Discoloration, *Panax ginseng*, Paddy Soil

서 언

인삼은 뿌리썩음병 (*Cylindrocarpon destructans*)에 의한 연작장해 발생 때문에 수확 후 보통 10년 이상이 경과되어야 재작이 가능하지만 (Kang *et al.*, 2007), 벼를 재배하면 담수로 인해 뿌리썩음 병원균의 밀도가 크게 낮아져 (Park *et al.*, 1997) 인삼 수확 후 4~5년 뒤에는 재작이 가능하다. 이로 인해 금산, 풍기, 진안 등지에서는 논토양을 이용한 인삼 재배로 초작지 부족 문제를 어느 정도 해결하고 있으며, 전국적으로 논재배 면적은 2010년 5,220 ha로 전체의 27.5%를 차지하고 있다.

그런데, 논토양에서 인삼을 재배하면 지대가 낮은 곳에서는 배수불량으로 습해가 발생하기 쉽고 담수배수조건의 반복으로 인한 산화환원반응의 결과로 용출된 철이 과잉 흡수되어 갈반형 황증이 생기기 쉽다 (Lee *et al.*, 2012, 2013b, 2014).

또한, 벼 재배시 사용한 비료성분이 토양에 잔존하고 미부속 퇴비를 과용할 경우 적변삼 등 생리장해가 발생하기 쉬운 단점이 있다 (Jang *et al.*, 2013). 일에 갈반형 황증이 생기면 초기에 낙엽이 저 수량이 크게 감소되며 (Lee *et al.*, 2009), 뿌리에 적변이 발생하면 수량이 감소될 뿐만 아니라 품질도 크게 떨어진다 (Lee *et al.*, 2013a).

인삼 일에 나타나는 황증은 기온이 상승하고 토양이 건조해지는 5월 하순 ~6월 상순부터 생기는데, 처음에는 황색 반점이나 갈색 반점이 생기기 시작하다가 잎 전체로 퍼지고 심해지면 7~8월에 일찍 낙엽이 저 수량감소의 주요한 원인이 된다. 황색 반점이 생기는 황반형 황증 또는 갈색 반점이 생기는 갈반형 황증은 토양의 염류농도, 질산태질소, 유효인산, 나트륨 함량이 높으면 발생이 많은데 (Hyun *et al.*, 2009), 논토양에서 주로 발생하는 갈반형 황증은 토양의 철분 함량이 높을 경우 발생이 많으며, 황증이 발생한 인삼 잎에서 철분함

[†]Corresponding author: (Phone) +82-43-781-5541 (E-mail) leesw@korea.kr

Received 2015 January 9 / 1st Revised 2015 February 6 / 2nd Revised 2015 February 23 / 3rd Revised 2015 March 5 / Accepted 2015 March 5

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.

량이 매우 높게 검출되었다 (Lee *et al.*, 2013b).

논토양에서는 벼 재배로 인한 담수와 배수의 반복으로 산화와 환원반응이 일어나 토양입자로부터 산화형 철이온 (Fe^{3+})과 환원형 철이온(Fe^{2+})이 쉽게 유리되어 토양에 다량 존재하게 되며, 이로 인해 식물체에 철 과잉 독성이 일어날 수 있다 (Ryu, 2000). 환원형 철은 용해도가 높아 식물체에 쉽게 흡수되며 (Ishimaru *et al.*, 2006), 산화형 철은 용해도가 낮아 식물체의 흡수가 용이하지 않으나 토양 pH가 낮을 경우 산화철의 용해도가 증가하여 식물체로의 흡수가 용이하게 되므로 철분의 과잉 장애가 나타난다 (Olsen *et al.*, 1981). 또한 산화형 철과 환원형 철의 관주처리가 인삼 뿌리의 적변에 미치는 영향을 조사한 결과 산화형 철이 환원형 철보다 뿌리에서 적변 발생을 증가시켰다 (Lee *et al.*, 2011)

한편, 논토양에 가축분, 미숙 유기물을 다량 사용하면 분해 과정에서 중간산물인 유기산, 산화질소 (NO) 등이 생성되어 철분과 킬레이트 결합을 함으로서 철분의 과잉 흡수를 조장하여 황증 발생이 심해진다 (Magdalena and Lorenzo, 2005). 이와 같이 논토양은 밭토양보다 철분 함량이 많아 황증 발생 위험이 높은데, 특히 배수가 불량한 논토양에서 토양 pH가 낮으면 산화철의 용해도 증가하여 철의 과잉흡수가 일어나기 때문에 황증발생 위험이 높아지므로 석회 등을 이용한 토양산도 조절을 통해 철의 과잉흡수를 막기 위한 조치가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 토양의 pH가 낮고 배수가 약간 불량한 논재배 조건 (배수등급: 약간불량)에서 토양산도 조절을 통해 인삼의 갈반형 황증 억제기술을 개발하기 위해 실시하였다.

재료 및 방법

본 실험은 충북 음성에 위치한 국립원예특작과학원 인삼특작부 시험포장에서 2013년 3월부터 10월까지 수행되었다. 논토양에서 많이 발생하는 갈반형 황증의 경감기술을 개발하기 위해 갈반형 황증이 많이 발생될 것으로 예상되는 논토양을 선정하였다. 시험포장의 토양이화학성은 Table 1과 같은데, 토양의 pH가 4.53으로 매우 낮고 염류농도가 2.07 dS/m로 약간 높아 생리장해가 발생되기 쉬운 포장이었다. 논토양의 토성은 사양토 (사춘통)이고 배수등급은 약간불량으로 봄, 가을철에는 배수가 비교적 양호하나 장마철에는 과습피해가 우려되는 포장이었다. 논토양의 배수등급을 결정하는 중요한 지표가 되는 계절별 지하수위는 전보 (Lee *et al.*, 2012)와 같이 장마철에

는 28 cm, 봄·가을 갈수기에는 71 cm의 변동을 보여 실제 인삼재배가 가능한 배수조건이었다.

인삼을 이식하기 전인 2013년 3월 18일에 소석회 [수산화칼슘, $Ca(OH)_2$]를 10a당 100, 200, 300, 400 kg 살포하여 토양에 섞어 주었다. 본 실험에 사용한 인삼품종은 자경종으로 2010년 11월 상순경 모밭에 개갑종자를 파종하여 2013년 2월 까지 재배한 2년근 묘삼 (제목이 묘삼)이었으며, 2013년 3월 하순경 수확하여 냉장고에 저장하였다가 4월 상순경에 재식묘도 7행 10열 (70주/3.3 m²)로 이식하였다.

시험구 배치는 난괴법 3반복이었고 시험구 면적은 구당 9.9 m²이었다. 해가림 유형은 A형이었고 해가림 피복재료는 논토양에서 인삼 생육에 양호한 결과를 보인 청색 차광지를 사용하였다 (Lee *et al.*, 2013b). 고온장애를 예방하기위해 6월 상순부터 9월 중순까지 흑색 2중직 차광망을 해가림 위에 추가로 피복하여 차광율을 조절하였다.

토양과 식물체 (잎) 시료의 채취는 갈반형 황증 발생이 가장 뚜렷이 나타나는 6월 24일에 실시하였는데, 표토를 걷어내고 지하 5~15 cm 지점의 토양을 채취하였다. 인삼 잎은 채취한 다음 80°C에서 48시간 열풍건조 후 마쇄하여 식물체 분석 시료로 이용하였다. 토양화학성분 중 pH, EC, 유기물, 유효인산 및 치환성 양이온은 농촌진흥청 토양화학분석법 (NIAST, 2000)에 따랐는데, 이 중 Fe, Mn, Zn 및 Cu의 분석은 DTPA-TEA 분석법을 이용하였다. 식물체 잎의 무기성분 분석을 위하여 건조된 시료 0.3 g을 평량하여 100 ml volumetric flask에 넣고 H_2SO_4 -Salicylic acid 3.3 ml로 습식 분해하여 여과 (Whatman No. 6)한 다음 증류수로 10배 희석하였다. 질소는 CFA (Auto analyzer 3, Norderstedt, Germany)을 이용하여 665 nm에서 흡광도를 측정하였고, 인산은 UV-Spectrometer (Hitachi, Japan)를 이용하여 880 nm에서 흡광도를 측정하였다. K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn 및 Zn의 함량은 ICP-OES (Intergra XMP, GBC, Braeside, Australia)를 이용하여 측정하였다.

황증 발생을 및 지상부 생육특성은 6월 하순에 조사하였는데, 갈반형 황증이 뚜렷이 발생한 개체를 조사하여 백분율로 나타냈다. 지하부 생육 및 수량성은 수확적기인 10월 중순에 조사하였으며, SAS (Statistical Analysis System 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 통계프로그램을 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 소석회 사용량에 따른 토양화학성의 변화

인삼 논재배에서 많이 발생하는 갈반형 황증 발생을 억제하기 위해 묘삼 이식전 소석회(수산화칼슘)를 10a당 100~400 kg 까지 수준별로 사용하고 토양화학성의 변화를 조사한 결과는

Table 1. Soil chemical properties in the experiment field.

pH (1 : 5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. Cation (cmol ⁺ /kg)		
				K	Ca	Mg
4.53	2.07	15.8	87.8	0.33	3.05	1.17

Table 2. Changes of soil chemical properties by application level of calcium hydroxide in paddy soil investigated at June 24, 2013.

Calcium hydroxide (kg/10a)	pH (1 : 5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. Cation(cmol ⁺ /kg)			Fe	Mn	Zn	Cu
					K	Ca	Mg				
Control	4.53 ^d	2.07 ^b	15.8 ^a	87.8 ^b	0.33 ^a	3.05 ^e	1.17 ^d	199.0 ^a	13.64 ^a	1.26 ^a	1.05 ^{a*}
100	6.18 ^c	2.03 ^b	17.0 ^a	99.8 ^{ab}	0.27 ^a	5.70 ^d	3.05 ^c	124.3 ^b	6.50 ^b	0.77 ^b	0.92 ^{ab}
200	7.18 ^b	2.37 ^a	17.0 ^a	98.3 ^{ab}	0.26 ^a	8.76 ^c	4.84 ^b	81.4 ^c	4.82 ^{bc}	0.72 ^b	1.03 ^a
300	7.50 ^a	2.32 ^a	18.0 ^a	107.6 ^a	0.26 ^a	11.01 ^b	5.76 ^{ab}	79.6 ^c	3.74 ^c	0.69 ^b	0.83 ^b
400	7.71 ^a	2.40 ^a	19.2 ^a	109.0 ^a	0.29 ^a	13.20 ^a	6.51 ^a	66.3 ^c	3.80 ^c	0.65 ^b	0.79 ^b

*Mean with same letters are not significantly different in DMRT ($p < 0.05$).

Table 3. Aerial growth characteristics of 3-year-old ginseng by application level of calcium hydroxide in paddy soil investigated at June 25, 2013.

Calcium hydroxide (kg/10a)	Ratio of LD (%)**	Chlorophyll content (mg/g, FW)	Plant height (cm)	Stem length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (mm)
Control	64.8 ^a	1.82 ^c	40.0 ^a	24.0 ^a	10.3 ^a	4.7 ^a	4.75 ^{c*}
100	30.6 ^b	2.04 ^b	39.9 ^a	23.4 ^a	10.2 ^a	4.4 ^{ab}	5.46 ^a
200	30.9 ^b	2.09 ^b	36.9 ^b	22.3 ^{ab}	9.9 ^{ab}	4.2 ^b	5.02 ^b
300	18.2 ^c	2.25 ^a	36.0 ^b	22.5 ^{ab}	9.7 ^{ab}	4.1 ^{bc}	5.22 ^{ab}
400	18.4 ^c	2.22 ^a	35.5 ^b	21.6 ^b	9.2 ^b	3.9 ^c	5.46 ^a

*Mean with same letters are not significantly different in DMRT ($p < 0.05$).

**LD; leaf discoloration.

Table 2와 같다. 토양의 pH는 소석회 시용량이 늘어날수록 증가되었다. 일반적으로 pH 5.5 이하의 강산성 토양에서 철의 용해도 증가로 철 과잉흡수에 의한 장애가 나타날 수 있는데 (Kim and Guerinot, 2007; Magdalena and Lorenzo, 2005), 소석회를 10a당 100 kg 시용했을 때 pH가 4.53에서 6.18로 상승하여 황증 발생이 억제되는 수준에 도달되었다. Lee 등 (2013a)에 의하면 논토양에서 황증이 발생한 농가의 토양산도는 평균 5.51이었으나 정상 토양의 pH는 평균 6.42를 나타내어 갈반형 황증 발생과 토양산도와는 깊은 관계가 있음을 보고하였다. 토양염류농도는 소석회 100 kg을 시용했을 때 큰 변화는 없었고 200 kg 이상을 시용했을 때 뚜렷이 증가되어 소석회를 과용하면 EC 증가로 염류장해 발생이 우려되었다. 유기물 함량은 소석회 시용량에 따라 차이가 없었고 인산 함량은 소석회 시용량에 따라 약간 증가되는 특징을 보였다.

칼륨 함량은 소석회 시용량에 따라 차이가 없었으나 칼슘과 마그네슘 함량은 뚜렷이 증가되었는데, 이는 소석회 비료에 주 성분인 칼슘 이외에 부성분으로 마그네슘이 첨가되어 있기 때문으로 보인다. 철 함량은 소석회 시용량이 증가할수록 뚜렷이 감소되었으며, 망간, 아연, 구리 함량도 소석회 시용에 따라 감소하는 경향을 보였다. 따라서 소석회 시용량이 증가할수록 토양의 pH가 증가하여 토양의 유효 철 함량이 감소되어 철 과잉 흡수가 억제된 것으로 판단된다 (Olsen *et al.*, 1981; Ryu, 2000).

2. 소석회 시용량에 따른 인삼 생육 및 수량성

갈반형 황증이 발생하기 쉬운 논토양에서 소석회 시용량에 따른 인삼 생육특성을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 갈반형 황증 발생율은 소석회 시용량의 증가에 따라 감소하였는데, 100~200 kg 처리 간, 그리고 300~400 kg 처리 간에서 유의적인 차이가 없었다. 엽록소 함량은 소석회 시용량에 따라 무처리보다 증가되었는데, 황증 발생율과 마찬가지로 100~200 kg 처리 간, 그리고 300~400 kg 처리 간에서 유의적인 차이가 없었다. 초장, 경장, 엽장, 엽폭 등 지상부 생육은 대체로 소석회 처리에 따라 감소되었으나 경직경은 증가되는 경향을 보였는데, 이는 초장, 경장 등 길이 생장이 감소함에 따라 경직경이 증가된 것으로 보인다. 소석회 처리로 황증 발생율이 감소되었던 것은 Table 2에서와 같이 토양산도의 증가로 인하여 철의 흡수가 억제되었기 때문으로 보이는데, Olsen 등 (1981)과 Ryu (2000)는 pH가 상승하여 토양이 염기성으로 되면 토양용액에 존재하는 3가철이온 (Fe³⁺)은 3가철염 [(Fe(OH)₃]으로 침전되어 철 흡수가 억제되고 pH가 1 감소하면 산화철은 1,000배 더 녹기 쉽게 되어 식물에서 철 과잉 흡수장애가 나타난다고 하였다.

갈반형 황증을 예방하기 위해 소석회 시용량에 따른 인삼의 지하부 생육 및 수량성을 조사한 결과는 Table 4와 같다. 지하부 생존율은 소석회 100 kg 처리구에서 가장 높았고 소석회 시용량이 증가할수록 점차 감소되었다. 인삼재배에 적합한 pH는 5.0~6.0인데 (RDA, 2009), Table 2에서와 같이 소석회를

Table 4. Characteristics of underground growth and root yield of 3-year-old ginseng by application level of calcium hydroxide in paddy soil investigated at October 14, 2013.

Calcium hydroxide (kg/10a)	Ratio of Survived root (%)	Taproot length (cm)	Taproot diameter (mm)	Root length (cm)	Root weight (g/plant)	Ratio of rusty root (%)	Root yield (g/3.3 m ²)
Control	41.0 ^c	7.2 ^{ab}	12.9 ^{bc}	19.3 ^c	7.87 ^b	53.8 ^b	244.1 ^{d*}
100	61.2 ^a	7.6 ^a	15.8 ^a	23.4 ^a	11.89 ^a	75.5 ^a	480.1 ^a
200	56.2 ^b	7.4 ^a	15.4 ^a	21.7 ^b	11.52 ^a	79.6 ^a	403.5 ^b
300	42.9 ^c	7.0 ^b	15.8 ^a	22.5 ^{ab}	11.77 ^a	74.0 ^a	370.9 ^c
400	37.7 ^d	6.4 ^c	14.3 ^b	18.3 ^c	8.91 ^b	53.9 ^b	262.2 ^d

*Mean with same letters are not significantly different in DMRT ($p < 0.05$).

Table 5. Changes of inorganic contents in leaf of 3-year-old ginseng by application level of calcium hydroxide in paddy soil investigated at June 24, 2013.

Calcium hydroxide (kg/10a)	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (%) -----					----- (mg/kg) -----			
Control	2.13 ^c	0.147 ^a	1.874 ^a	0.685 ^a	0.386 ^b	454.8 ^a	83.8 ^a	17.6 ^a	7.6 ^{a*}
100	2.30 ^b	0.136 ^a	1.704 ^a	0.753 ^a	0.383 ^b	401.0 ^b	83.5 ^a	15.7 ^a	7.4 ^a
200	2.48 ^b	0.137 ^a	1.709 ^a	0.796 ^a	0.468 ^a	399.9 ^b	81.7 ^a	18.1 ^a	8.9 ^a
300	2.85 ^a	0.143 ^a	1.754 ^a	0.696 ^a	0.404 ^b	414.5 ^b	75.4 ^a	16.4 ^a	7.3 ^a
400	2.91 ^a	0.131 ^a	1.592 ^b	0.743 ^a	0.451 ^a	359.6 ^c	82.6 ^a	15.6 ^a	7.3 ^a

*Mean with same letters are not significantly different in DMRT ($p < 0.05$).

200 kg 이상 사용하면 pH가 7.2 이상으로 올라가 인삼 생육에 장애가 발생한 것으로 판단된다. 동체장, 동체직경, 근장 및 주당근중은 소석회 사용에 따라 증가되었으나 400 kg 처리처럼 투입량이 지나치게 많아지면 감소되었다. 적변 발생은 소석회 100~300 kg 처리에서 가장 많았고 400 kg 처리에서는 무처리와 비슷한 수준으로 감소하였다. 인삼 수량성은 소석회 100 kg 수준에서 가장 높았으며, 소석회 사용량이 증가할수록 점차 감소되었는데, 이는 소석회 사용량이 증가할수록 황증 발생은 억제되거나 결주율이 증가되었기 때문으로 보인다.

3. 소석회 사용량에 따른 인삼 잎의 무기성분 함량

Table 5에서와 같이 소석회 사용량에 따른 인삼 잎의 무기성분 함량 특성을 조사한 결과 전질소 함량은 소석회 사용량이 증가할수록 점진적으로 증가하는 특징을 보였다. 인산 함량은 소석회 사용량에 따라 유의적인 차이를 보이지 않았으나 소석회를 사용하면 무처리보다 인산 함량이 약간 낮아지는 경향을 보였다. 칼륨 함량은 소석회를 사용하면 무처리보다 낮아지는 경향을 보였는데, 300 kg 수준까지는 유의적인 차이가 없었으나 400 kg 수준에서는 뚜렷이 낮아졌다. Lee 등 (2013b)에 의하면 황증이 발생한 인삼 잎의 칼륨 함량은 대조구에 비해 매우 높았다고 하였는데, 칼륨 흡수량의 감소는 황증 발생 억제에 어느 정도 기여한 것으로 보인다. 칼슘 함량

은 소석회를 처리하면 무처리보다 약간 증가되었으나 처리 간에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 마그네슘 함량은 소석회 100 kg 사용 시 무처리와 차이를 보이지 않았으나 소석회 200 kg 이상 사용 시 다소 증가되었는데, 사용량의 증가에 따라 일정한 경향을 보이지 않았다.

철 함량은 소석회를 처리하면 무처리에 비해 뚜렷이 감소하였는데, 100~300 kg 수준에서는 처리 간에 유의적인 차이가 없었으나 400 kg 수준에서는 크게 감소되었으며, 망간, 아연, 구리의 함량은 소석회 사용량별 유의적인 차이를 보이지 않았다. 소석회 사용량이 400 kg 일 때에는 Table 2와 같이 토양 산도가 7.71로 매우 높아져 철 흡수가 억제된 것으로 생각되는데, Olsen 등 (1981)과 Takahashi 등 (2001)은 토양이 염기성으로 되면 철의 흡수가 억제된다고 하였다. Lee 등 (2013b)는 황증이 발생한 논토양에서 인삼 잎의 무기성분 함량을 분석한 결과 황증이 발생한 인삼은 인산, 칼슘, 마그네슘 함량이 다소 낮고 칼륨과 철 함량이 뚜렷이 높은 특징을 보였다고 하였는데, 본 실험에서도 황증 발생이 심한 무처리의 경우 칼륨과 철 함량이 소석회 처리구보다 매우 높은 특징을 보였다. 발토양에서 3년생 인삼 잎의 철 함량은 498 mg/kg으로 본 실험의 무처리보다 상당히 높았으나 황증이 발생되지 않았으며, 황증 발생이 없었던 발토양의 3년생 인삼에서 칼슘과 망간 함량은 본 실험의 무처리 보다 뚜렷이 높았다 (Park *et al.*,

2013). 이와 같은 결과를 고려했을 때 칼슘이나 망간은 황증 발생을 억제하는데 상당히 기여한 것으로 생각된다.

이상의 결과를 종합해보면 pH가 낮아 갈반형 황증이 발생하기 쉬운 논토양에서는 예정지관리 때 소석회를 100 kg/10a 정도 시용하면 토양의 pH가 1.5 정도 올라가 토양의 유효철 함량이 감소하고 이로 인해 인삼의 철 흡수가 억제되어 철 과잉으로 인한 황증 발생을 막을 수 있었으나 소석회를 다량시용하게 되면 pH가 급격히 상승하여 결주률이 증가되어 수량 감소를 초래하였다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청에서 주관하는 인삼 연작장해 경감을 위한 기반기술 개발 및 실용화 연구 과제(과제번호: PJ 00857601)의 연구비 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- 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 Crop Science*. 17:439-444.
- Ishimaru Y, Suzuki M, Tsukamoto T, Suzuki K, Nakazono M, Kobayashi T, Wada Y, Watanabe S, Matsuhashi S, Takahashi M, Nakanishi H, Mori S and Nishizawa NK.** (2006). Rice plants take up iron as an Fe³⁺-phytosiderophore and as Fe²⁺. *Plant Journal*. 45:335-346.
- Jang IB, Hyun DY, Lee SW, Kim YC, Kim JW, Park KC, Bang KH and Kim KH.** (2013). Analysis of growth characteristics and physiological disorder of Korean ginseng affected by application of manure in paddy-converted field. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 21:380-387.
- 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 AS and Mary LG.** (2007). Mining iron : Iron uptake and transport in plants. *Federation of European Biochemical Societies Letters* 581:2273-2280.
- Lee SW, Kim GS, Yeon BY, Hyun DY, Kim YB, Kang SW and Kim YC.** (2009). Comparison of growth characteristics and ginsenoside contents by drainage classes and varieties in 3-year-old ginseng(*Panax ginseng* C. A. Meyer). *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 17:346-351.
- Lee CY, Kim KY, Lee JE, Kim SH, Ryu DK, Choi JE and An GH.** (2011). Enzymes hydrolyzing structural components and ferrous ion cause rusty-root symptom on ginseng(*Panax ginseng*). *Journal of Microbiology & Biotechnology*. 2011. 21:192-196.
- Lee SW, Park JM, Kim GS, Park KC, Jang IB, Lee SH, Kang SW and Cha SW.** (2012). Comparison of growth characteristics and ginsenosides content of 6-year-old ginseng(*Panax ginseng* C. A. Meyer) by drainage class in paddy field. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 20:177-183.
- Lee SW, Park KC, Lee SH, Jang IB, Park KH, Jin ML, Park JM and Kim KH.** (2014). Effect of ferric and ferrous iron irrigation on brown-colored symptom of leaf in *Panax ginseng* C. A. Meyer. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 22:32-37.
- Lee SW, Park KC, Lee SH, Kim GS, Jang IB, Kim YB and Cha SW.** (2013a). Growth characteristics and ginsenoside contents of 6-year-old ginseng(*Panax ginseng* C. A. Meyer) by shade materials in paddy field. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 21:118-123.
- Lee SW, Park KC, Lee SH, Park JM, Jang IB and Kim KH.** (2013b). Soil chemical property and leaf mineral nutrient of ginseng cultivated in paddy field occurring leaf discoloration. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 21:289-295.
- Magdalena G. and Lorenzo L.** (2005). Nitric oxide and iron in plants: an emerging and converging story. *Trends in Plant Science* 10:4-8.
- National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAT).** (2000). Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology. Rural Development Administration. Suwon, Korea. p.26-200.
- Olsen RA, Clark RB and Bennet JH.** (1981). The enhancement of soil fertility by plant roots. *American Scientist*. 69:378-384.
- Park KJ, Yu YH and Oh SH.** (1997). Population variations of *Cylindrocarpon destructans* causing root rot of ginseng and soil microbes in the soil with various moisture contents. *Research in Plant Disease*. 13:100-104.
- Park SY, Lee GA, Heo SJ, Jeong HN and Song BH.** (2012). Comparative analysis on concentration and uptake amount of major mineral nutrients in plant tissues and years old of *Panax ginseng* C. A. Meyer. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 20:195-201.
- Rural Development Administration(RDA).** (2009). Ginseng Standard Cultivation Textbook(Revised Edition). Rural Development Administration. Suwon, Korea. p.94.
- Ryu SH.** (2000). Terminology dictionary for soil. Seoul National University. Seoul, Korea. p.336-337.
- Takahashi M, Nakanish H, Kawasaki S, Nishizawa NK and Mori S.** (2001). Enhanced tolerance of rice to low iron availability in alkaline soils using barley nicotianamine aminotransferase genes. *Nature Biotechnology*. 19:466-469.