

인삼 논재배에서 황증이 발생한 토양과 식물체의 무기성분 함량 특성

이성우*[†], 박기춘*, 이승호*, 박진면**, 장인복*, 김기홍*

* 농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부, **농촌진흥청 국립원예특작과학원 원예특작환경과

Soil Chemical Property and Leaf Mineral Nutrient of Ginseng Cultivated in Paddy Field Occurring Leaf Discoloration

Sung Woo Lee*[†], Kee Choon Park*, Seung Ho Lee*, Jin Myeon Park**, In Bok Jang* and Ki Hong Kim*

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

**Horticultural and Herbal Crop Environment Division, NIHHS, RDA, Suwon, 440-706, Korea.

ABSTRACT : This study was carried out to investigate the cause of leaf discoloration occurring frequently in paddy cultivation. Chemical property of soil and inorganic nutrient component of leaf were analyzed on abnormal fields of 7 regions where leaf discoloration occurred severely and normal fields of 7 regions among ginseng garden. The pH of abnormal fields was strong acidic condition (pH 5.51) compare to normal fields of slightly acid condition (pH 6.42). Calcium and magnesium content in abnormal fields were lower distinctly than that of normal fields, while EC, organic matter, phosphate, and potassium content showed not distinct difference between abnormal and normal fields. Whereas calcium and magnesium content were distinctly high in normal fields, both of potassium and iron content of ginseng leaf were distinctly high in abnormal fields. In particular, iron content of abnormal fields was more 1.94 times in soil, and 3.03 times in leaf than that of normal fields. In soil chemical property, there were significant negative correlation between leaf discoloration ratio and soil pH, and there were also significant positive correlation between leaf discoloration ratio and iron content. In ginseng leaf, there were highly significant negative correlation between leaf discoloration ratio and calcium content, and there were also highly significant positive correlation between leaf discoloration ratio and iron content.

Key Words: *Panax ginseng*, Paddy Field, Leaf Discoloration, Soil Chemical Property, Inorganic Nutrient, Correlation

서 언

인삼은 연작장해가 심한 작물로 알려져 있으며, 연작장해의 주원인은 토양전염성 병원균인 *Cylindrocarpon destructans*에 의한 뿌리썩음병 때문이다. *C. destructans*는 후막포자를 만들어 토양에서 수년간 생존할 수 있기 때문에 인삼 수확 후 보통 10년 이상이 경과되어야 재작이 가능하지만 (Kang *et al.*, 2007), 논토양을 이용하면 4~5년 후 다시 인삼을 재배할 수 있다. 논토양에서는 벼 재배를 통하여 담수조건을 만들 수 있으므로 인삼 수확 후 4~5년간 벼를 재배하면 뿌리썩음 병원균의 밀도를 크게 낮출 수 있다. 그러나 5~6년근에서 뿌리썩음 병원균의 밀도 증가로 결주률이 크게 증가되기 때문에 논

재배 농가에서는 대부분 4년근을 목적으로 재배하는 경우가 많다 (Jo *et al.*, 1996). 실제로 인삼 주산지인 금산, 풍기, 음성 등지에서는 논토양을 이용하여 대부분 4년근을 재배하고 있으며, 이를 통해 어느 정도 초작지 부족을 해결하고 주산지의 명성도 계속 유지해가고 있다.

논토양에서 인삼을 재배하면 토양수분 과다와 비료성분 축적으로 인해 황증, 적변 등 생리장해 발생이 많은 단점이 있다. 논은 대체로 지대가 낮은 곳에 위치하여 습해를 받기 쉬우며, 벼를 재배하기 위해 사용한 화학비료의 일부가 토양표면에 흡착되어 있거나 토양 하부로 용탈되어 있다가 해가림 설치 후 상면의 표토가 건조해지면 모세관 작용으로 하층부의 비료성분이 다시 상층부로 올라와 염류장해를 일으키는 경우

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

Received 2013 July 7 / 1st Revised 2013 July 22 / 2nd Revised 2013 August 4 / 3rd Revised 2013 August 7 / Accepted 2013 Revised August 7

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.

가 많다 (Lee *et al.*, 2012b).

논토양에서는 인삼 잎에 많이 발생하는 황증은 철분의 과잉 흡수로 인해 생기는 갈반형 황증이 대부분인데, 논토양에서는 밭토양보다 대부분 pH가 낮아 산화철 (Fe³⁺)의 용해도가 증가 되므로 토양용액 속에 가용성 철 함량이 높아진다 (Lee *et al.*, 2012b). 또한, 벼 재배시 담수와 배수불량은 토양환원을 촉진 시켜 토양용액 속에 환원철 (Fe²⁺) 함량이 높아지므로 철이 과잉 흡수되기 쉽다 (Ryu, 2000).

철은 보통 토양 속에 2% 정도 존재하며, 산소가 풍부한 밭 토양에서는 대부분 산화철의 수산화물 [Fe(OH)₃] 형태로 존재 하는데, 이 산화철은 pH가 1 감소하면 1,000배 더 녹기 쉽게 되고 이로 인해 철의 흡수가 촉진되어 철 과잉장애가 우려된다. 그러나 pH가 올라가 염기성으로 되면 통기조건이 좋을 때와 마찬가지로 3가철염 [Fe(OH)₃]으로 침전되어 철의 과잉흡수가 억제된다 (Olsen *et al.*, 1981). 담수조건과 같은 혐기상태의 토양에서는 환원반응이 일어나 철의 수산화물은 2가철로 환원되고 이 과정에서 H⁺의 소모가 동반되므로 pH는 올라간다. 그러나 통기가 좋은 산화상태의 토양에서는 철이 산화되어 침전되고 H⁺의 생성이 늘어나 pH는 내려가게 된다 (Ryu, 2000). 따라서 밭토양처럼 물빠짐이 좋거나 pH가 다소 높은 곳에서는 갈반형 황증이 잘 생기지 않는다. 그러나 논토양처럼 물빠짐이 불량하고 pH가 낮은 곳에서는 갈반형 황증발생이 많아질 것으로 예상되나 이에 대한 구체적 연구결과는 부족한 실정이다.

또한, 황증과 같은 생리장해가 발생한 인삼은 칼륨의 흡수가 증가되고 마그네슘의 흡수가 억제되어 K/Mg비가 높아지는 특징을 보여 무기양분의 함량에 불균형을 초래하므로 (Hyun *et al.*, 2009) 생리장해 발생정도와 무기양분 함량과의 관계를

구명하는 것도 생리장해 억제방법 개발에 반드시 필요할 것으로 보인다.

따라서 본 연구는 황증이 발생된 농가포장과 황증이 발생되지 않은 농가포장에서 토양과 식물체 (잎) 시료를 채취하여 토양화학성과 식물체 무기성분 함량을 상호 비교함으로써 황증 발생 환경과 원인을 구명하기 위해 수행하였다.

재료 및 방법

인삼 잎에 생기는 생리장해의 일종인 황증의 발생 원인을 구명하기 위해 비교적 황증이 심하게 발생한 논재배 농가포장 7개소 (황증 발생 포장)와 황증 발생이 거의 없는 정상적인 논재배 농가포장 7개소 (건전 포장)를 선정하여 토양화학성 및 식물체 잎의 무기성분 함량 특성을 비교 분석하였다.

Table 1과 같이 황증이 발생된 논재배 농가포장과 인삼의 연령은 남원 1 (6년생), 예천 2 (4년생), 괴산 3 (3년생), 충주 4 (3년생), 충주 5 (3년생), 음성 2 (6년생), 음성 3 (6년생) 이었으며, 황증 발생률은 50~90%로 매우 심하였다. 황증 발생이 거의 없는 정상적인 논재배 농가포장과 인삼의 연령은 괴산 1 (5년생), 괴산 2 (6년생), 음성 1 (4년생), 예천 1 (5년생), 충주 1 (3년생), 충주 2 (2년생), 충주 3 (2년생) 이었으며, 황증 발생률은 0~2.0%로 황증 발생이 전혀 없거나 매우 낮은 수준이었다.

본 실험을 위해 선정한 논재배 농가포장의 토성, 토양통 및 배수등급은 인터넷상의 ‘흙도람’에서 해당 농가포장의 지반수로 검색한 다음 이를 참조하여 표기하였다.

토양과 식물체 (잎) 시료의 채취는 2012년 7~8월 사이에 실시하였는데, 표토를 걷어내고 지하 5~15 cm 지점의 토양을

Table 1. Ginseng age and soil texture of ginseng farm investigated for this study.

Region	RLD [†] (%)	Ginseng age	Soil series	Soil texture		
				Surface soil	Subsoil	Drainage class
Goesan 1	1.0	5	Gangseo (Gt)	Loamy sand	Sandy loam (brown)	Moderately well drained soils
Goesan 2	1.0	6	"	"	"	"
Eumsung 1	0.0	4	Jisan (JiB)	Loam	Clay loam (grayish brown)	Imperfectly drained soils
Yecheon 1	0.5	5	Yecheon (YdB)	"	Sandy loam (gray)	Poorly drained soils
Chungju 1	1.5	3	Deog-pyeong (DyB)	Silt loam	Clay loam (grayish brown)	Moderately well drained soils
Chungju 2	2.0	2	Seogcheon (SE)	Loam	Sandy loam (gray)	Imperfectly drained soils
Chungju 3	0.5	3	"	"	"	"
Namwon 1	85.0	6	Sachon (SfB)	Loam	Sandy loam (grayish brown)	Imperfectly drained soils
Yecheon 2	70.5	4	Haenggog (HM)	"	Clay loam (brown)	Moderately well drained soils
Goesan 3	90.0	3	Gangseo (Gt)	Loamy sand	Sandy loam (brown)	"
Chungju 4	50.0	3	Seogcheon (SE)	Loam	Sandy loam (gray)	Imperfectly drained soils
Chungju 5	50.0	3	"	"	"	"
Eumsung 2	85.0	6	Jisan (JiB)	"	Clay loam (grayish brown)	"
Eumsung 3	82.5	6	"	"	"	"

[†]RLD ; Ratio of leaf discoloration.

채취하였다. 인삼 잎은 채취한 다음 80°C에서 48시간 열풍건조 후 마쇄하여 식물체 분석시료로 이용하였다.

토양화학성분 중 pH, EC, 유기물, 유효인산 및 치환성 양이온인 K, Ca, Mg은 농촌진흥청 토양화학분석법 (National Institute of Agricultural Science and Technology, NIAST, 2000)에 따랐으며, Fe, Mn, Zn 및 Cu의 분석방법은 다음과 같다. 토양시료를 풍건하여 분쇄 후 20 mesh (2 mm)체를 통과한 다음 유발에 미세하게 갈아 분석용으로 사용했다. 시료 10 g을 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, Australia)로 측정했다.

식물체 잎의 무기성분 분석을 위하여 건조된 시료 0.3 g을 평량하여 100 ml volumetric flask에 넣고 H₂SO₄-Salicylic acid 3.3 ml로 습식 분해하여 여과 (Whatman No. 6)한 다음 증류수로 10배 희석하였다. 질소는 CFA (Auto analyzer 3, Germany)을 이용하여 665nm에서 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, Australia)를 이용하여 측정하였다.

황증 발생률은 단위면적당 황증이 발생한 주를 조사하여 백분율로 나타냈다. 토양과 식물체 시료는 3반복으로 채취하여 분석하였으며, SAS (9.2 version) 통계프로그램을 이용하여 통계 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 황증이 발생한 논토양의 화학적 특성

Table 2에서와 같이 인삼 논재배 농가포장에서 황증 발생이 심한 포장 (황증 발생 포장)과 황증 발생이 거의 없는 정상적인 포장 (건전 포장)을 선택하여 토양의 화학성을 비교분석한 결과는 다음과 같다. 토양 pH는 황증 발생 포장이 5.51 (강한 산성토양)로 건전 포장의 6.42 (미산성 토양)보다 매우 낮았는데, 건전 포장의 pH는 ‘음성 1’ 포장을 제외하고 모두 6.0 이상으로 미산성 토양이었다. 일반적으로 산성 토양에서는 철 과잉 증상이 나타나고 알카리성 토양에서는 철 결핍 증상이 나타나기 쉬운데 (Takahashi *et al.*, 2001), pH가 1 떨어지면 Fe³⁺은 용해도가 증가하여 1,000배 더 녹기 쉽게 되므로 (Olsen *et al.*, 1981) 산성 토양에서는 토양입자에 존재하는 산화철 (FeO₃)로부터 철 이온 (Fe³⁺)이 쉽게 용해되어 나와 철 과잉 장애가 나타난다 (Kim and Guerinot, 2007).

Table 2. Comparison of soil chemical properties between ginseng garden occurring leaf discoloration and normal ginseng garden made of paddy soil.

Division by leaf discoloration	Region	pH (1 : 5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. Cation (cmol ⁺ /kg)			----- (mg/kg) -----			
						K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
Normal fields ¹	Goesan 1	6.36	1.50	1.94	107.2	0.54	5.86	2.54	77.72	44.11	2.12	22.61
	Goesan 2	7.15	2.03	1.86	368.8	0.13	8.49	2.69	71.96	24.46	2.44	3.22
	Eumsung 1	4.64	0.83	1.45	44.8	0.15	2.47	0.86	227.76	15.36	1.12	1.25
	Yecheon 1	6.94	0.58	1.33	156.7	0.12	9.31	3.51	49.43	13.57	0.51	1.38
	Chungju 1	7.20	1.13	1.68	205.9	0.61	5.78	1.87	47.38	14.99	1.47	3.47
	Chungju 2	6.01	0.88	2.34	23.7	0.42	4.93	1.41	103.76	22.29	3.19	2.51
	Chungju 3	6.61	0.76	1.93	18.3	0.32	5.17	1.82	67.54	36.63	2.94	1.92
	Average	6.42	1.10	1.79	132.2	0.33	6.00	2.10	92.22	24.49	1.97	5.19
	C. V.	13.9	45.9	18.9	95.2	62.0	38.2	42.0	68.0	48.0	49.8	148.8
Abnormal fields ²	Namwon 1	4.49	1.25	1.77	52.0	0.30	2.44	0.76	216.80	13.70	0.89	2.15
	Yecheon 2	6.15	1.67	1.04	94.9	0.13	6.30	1.83	86.06	17.59	0.57	21.89
	Goesan 3	5.82	1.74	1.53	57.4	0.28	4.50	1.98	69.15	59.97	5.05	2.79
	Chungju 4	5.71	1.66	2.39	215.0	0.88	4.75	1.75	155.63	18.44	1.83	4.28
	Chungju 5	6.54	0.82	1.67	136.7	0.57	3.92	1.53	76.98	16.29	0.78	2.77
	Eumsung 2	4.58	2.10	1.45	97.3	0.21	7.30	1.35	321.6	13.1	1.36	1.44
	Eumsung 3	5.25	0.54	1.15	76.9	0.12	7.82	0.94	324.8	25.5	1.58	1.92
	Average	5.51	1.40	1.57	104.3	0.36	5.29	1.45	178.72	23.51	1.72	5.32
	C. V.	14.0	39.7	28.4	54.1	77.6	36.5	31.7	62.4	70.5	89.1	138.4
LSD (0.05)		0.77	0.28	0.07	12.81	0.03	0.42	0.25	14.87	1.52	0.19	0.52

¹ Normal field ; leaf discoloration was not occurred.

² Abnormal field ; leaf discoloration was occurred severely.

토양염류농도 (EC)는 황증 발생 포장이 1.40 dS/m로 건전 포장의 1.10보다 다소 높았으나 그 차이는 뚜렷하지 않았다. 보통 EC가 1.0 이상이면 황증, 뿌리적변과 같은 생리장해가 유발되기 쉬운데 (Hyun *et al.*, 2009), 특이하게 ‘괴산 2’ 포장처럼 EC가 2.0인 곳에서도 황증이 거의 발생되지 않았으나 ‘음성 3’ 포장처럼 EC가 0.54인 곳에서도 황증이 심하게 발생한 것을 고려해 보면 단순한 EC 농도 보다는 EC 농도 증가에 영향을 미치는 다른 무기성분들이 황증 발생에 더 관여하는 것으로 생각된다.

유기물 함량은 황증 발생 포장이 1.57 g/kg로 건전 포장의 1.79보다 다소 낮았으며, 인산 함량도 황증 발생 포장이 104.3 mg/kg으로 건전 포장의 132.2보다 다소 낮았다. 일반적으로 pH가 낮거나 유기물 함량이 적을 때 인산의 고정량이 증가하여 결핍증상을 보일수 있는데 (Lee *et al.*, 1012a), 본 시험에서 황증 발생 포장의 인산함량이 건전 포장보다 낮았던 원인은 황증 발생 포장의 pH와 유기물 함량이 건전 포장보다 낮았기 때문으로 보인다.

칼륨 함량은 황증 발생 포장이 0.36 cmol⁺/kg으로 건전 포장의 0.33과 비교할 때 약간 높았으나 그 차이는 매우 적었다. 칼슘 함량은 황증 발생 포장이 5.29 cmol⁺/kg으로 건전 포장의 6.00 보다 낮았으며, 마그네슘 함량도 황증 발생 토양이

1.45(cmol⁺/kg)로 무발생 토양 2.10 보다 뚜렷이 낮았다.

식물에 필요한 미량금속 이온의 함량을 비교해 보면 황증 발생 포장은 철과 구리의 함량이 높고 망간과 아연의 함량이 낮았는데, 특히 철 함량은 황증 발생 포장이 178.7 mg/kg으로 건전 포장의 92.2 mg/kg 보다 뚜렷이 높은 특징을 보였다. 논 토양과 같은 배수불량조건에서는 토양의 산소결핍으로 인해 철의 환원 (Fe³⁺ → Fe²⁺)이 일어나 용해도가 증가하므로 철 과잉 장애가 쉽게 나타나는데 (Ryu, 2000; Ishimaru *et al.*, 2006), 특히 pH 4.5 ~ 5.5의 강산성 토양에서는 배수조건이 나쁜 질산태 질소가 환원될 때 생기는 중간생성물인 산화질소 (Nitric Oxide)는 철의 흡수를 도와준다 (Magdalena and Lorenzo, 2005). 그러므로 논토양에서는 산화질소의 생성시키는 가축분 등의 사용을 억제하고 배수조건을 개선하여 토양을 산화상태로 만들어야 황증 발생을 막을 수 있다고 판단된다. Kim 등 (2012)에 의하면 pH 5.3의 강산성 토양에서 활성 칼슘제를 입모전에 관주하면 pH 상승으로 철의 불활성화가 촉진되므로 철의 과잉흡수가 억제되어 생리장해 (적변) 발생이 줄어들고 수량이 향상되었다고 보고하였다.

이상의 결과를 종합해 보면 인삼 논재배 토양은 pH, 유기물, 인산, 칼슘, 마그네슘, 망간 및 아연 함량이 낮고 EC, 칼륨, 철 및 구리 함량이 높은 경우 황증이 발생하는 것으로 생각된다. 따

Table 3. Comparison of mineral nutrients of leaf between ginseng garden occurring leaf discoloration and normal ginseng garden made of paddy soil.

Division by leaf discoloration	Region	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		----- (%) -----						----- (mg/kg) -----		
Normal fields ¹	Goesan 1	3.32	0.173	2.395	0.927	0.216	175.6	982.1	90.7	14.0
	Goesan 2	2.57	0.240	0.929	1.314	0.426	188.3	869.8	76.9	8.2
	Eumsung 1	2.72	0.164	1.639	1.288	0.329	242.0	254.0	15.7	8.4
	Yecheon 1	2.69	0.185	0.992	1.450	0.392	335.0	528.6	47.9	7.9
	Chungju 1	2.90	0.159	1.939	1.829	0.229	134.4	118.9	176.8	1284.5
	Chungju 2	2.74	0.138	2.112	1.272	0.224	166.9	132.0	231.4	1408.5
	Chungju 3	2.15	0.178	1.230	1.807	0.403	165.5	203.4	26.3	12.9
	Average ¹	2.73	0.177	1.605	1.412	0.317	201.1	441.3	95.1	392.1
	C. V.	12.9	18.0	35.7	22.6	29.3	33.5	81.4	84.6	166.6
Abnormal fields ²	Namwon 1	2.83	0.152	2.132	0.895	0.201	487.7	855.6	77.4	11.7
	Yecheon 2	2.85	0.149	1.276	1.294	0.357	558.9	205.5	26.5	5.2
	Goesan 3	2.48	0.142	3.271	1.019	0.143	491.1	189.9	263.5	1553.7
	Chungju 4	2.52	0.132	2.744	1.196	0.221	833.9	268.4	276.6	1097.1
	Chungju 5	2.59	0.144	1.724	0.955	0.228	337.7	865.4	92.9	5.7
	Eumsung 2	3.17	0.214	2.313	0.617	0.286	841.2	185.7	30.3	6.7
	Eumsung 3	3.08	0.211	2.683	0.732	0.271	722.5	221.6	25.1	5.8
	Average ²	2.79	0.168	2.306	0.958	0.244	610.4	398.9	113.2	383.6
	C. V.	9.7	20.9	29.1	25.0	28.1	31.5	79.4	97.5	171.2
LSD (0.05)	0.42	0.15	0.33	0.20	0.06	40.65	17.56	13.68	69.92	

¹ Normal field ; leaf discoloration was not occurred.
² Abnormal field ; leaf discoloration was occurred severely.

라서 예정지 관리시 pH가 5.5 이하로 낮을 경우 황증 발생이 우려되므로 토양산도 교정과 칼슘 공급을 목적으로 석회 등을 사용하여 pH를 6.5 정도로 올려주는 것이 필요하다고 생각된다.

2. 황증이 발생한 인삼 잎의 무기성분 함량 특성

Table 3에서와 같이 인삼 논재배 농가포장에서 황증 발생 포장과 황증 발생이 거의 없는 건전 포장에서 재배되고 있는 인삼 잎의 무기성분 함량을 비교한 결과는 다음과 같다. 전질소 함량은 황증 발생 인삼이 2.79%로 건전 인삼의 2.73% 보다 약간 더 높았으나 그 차이는 뚜렷하지 않았다. 인산 함량은 황증 발생 인삼이 0.17%로 건전 인삼의 0.18%보다 약간 낮았으나 전질소와 마찬가지로 그 차이는 뚜렷하지 않았다.

칼륨 함량은 황증 발생 인삼이 2.31%로 건전 인삼 0.18% 보다 높았으나 칼슘 함량은 황증 발생 인삼이 0.96%로 건전 인삼의 1.41% 보다 낮았다. 마그네슘 함량은 황증 발생 인삼이 0.24%로 건전 인삼의 0.32% 보다 다소 낮아 칼슘의 경우와 비슷한 결과를 보였다. Ko 등 (1996)에 의하면 건전한 6년생 인삼 잎의 무기성분 함량은 N>K>P>Ca>Mg 순으로 본 실험의 결과와 비슷하였다.

인삼 잎의 미량금속 이온 함량을 보면 황증 발생 인삼은 건전 인삼보다 철과 아연의 함량이 높고 망간과 구리의 함량이 낮았는데, 특히 철 함량은 황증 발생 인삼이 610 mg/kg으로 건전 인삼의 201 mg/kg 보다 현저히 높은 특징을 보여 철 과잉 흡수가 황증 발생의 주요 원인이 되었다고 생각한다 (Halliwell and Gutteride, 1992). 본 실험에서 조사한 인삼 잎은 2~6년생으로 연생이 다양하여 동일한 연생에서 철 함량을 비교하지 못한 아쉬움이 있다. 그러나 Park 등 (2012)에 보고에 의하면 1~6년생 인삼 잎의 철 함량을 분석한 결과 1년생이 961 mg/kg으로 가장 높고 4년생이 292 mg/kg으로 가장 낮았는데, 2, 3, 5, 6년생들 중에서는 400~500 mg/kg 수준으

로 연생 간 유의적인 차이를 보이지 않았다고 하였다. 본 실험에서는 철 함량이 현저히 높았던 1년생 잎이 포함되어 있지 않기 때문에 연생이 약간 다를지라도 황증 발생 잎과 미 발생 잎의 철 함량 차이를 비교한 것은 황증의 원인을 구명하는데 의미가 있다고 생각한다.

이상의 결과를 종합해 보면 논토양에서 황증 발생이 심한 인삼 잎은 건전한 잎보다 칼륨과 철의 흡수가 현저히 많았고 칼슘, 마그네슘 및 망간의 흡수가 상대적으로 적은 특징을 보였다. 따라서 칼륨과 철의 과잉흡수와 이로 인한 칼슘, 마그네슘 및 망간의 흡수 억제가 황증 발생의 주요한 원인이 된 것으로 생각된다. Park 등 (2012)도 칼륨함량은 건물중과 고도의 유의한 부의상관을 보여 칼륨흡수가 많으면 생육이 불량해진다고 하였다.

3. 토양 및 식물체 (잎) 무기성분들 간의 상관관계

Table 4에서와 같이 인삼 논재배 농가포장에서 황증 발생 정도와 토양화학성분들 간의 상관관계를 분석한 결과는 다음과 같다. 먼저 황증 발생률과 토양화학성들 간의 상관을 보면 황증 발생률은 토양 pH와 유의한 부의 상관을 보였으며, 철 함량과 유의한 정의 상관을 보였다. 따라서 황증 발생은 토양 pH가 낮을수록 증가하고 토양의 철 함량이 많을수록 증가하였다. Kim과 Guerinot (2007)에 의하면 식물은 그 종류에 따라 산화철과 환원철 형태의 철을 흡수하는데, 완두콩, 오이, 토마토 등과 같은 작물은 뿌리로부터 양성자 (H⁺) 방출 (proton-ATPases), 3가철 킬레이트 환원효소 [Fe(III) chelate reductase]의 활성화, 2가철 수송 유전자 [Fe(II) transport gene]를 통해 토양으로부터 철을 흡수한다. 옥수수, 밀, 벼와 같은 화분과 작물은 식물분비철흡수물질 (phytosiderophores)를 뿌리에서 방출하여 토양에서 Fe(III)-phytosiderophores complexes를 만든 후 철을 흡수하며, 벼에서는 추가적으로 OsIRT 유전

Table 4. Correlation coefficients among leaf discoloration ratio and soil chemical properties in several ginseng garden of paddy soil.

	RLD ¹	pH	EC	OM	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
RLD	1.00											
pH	-0.588*	1.00										
EC	0.317	-0.088	1.00									
OM	-0.384	0.156	0.110	1.00								
P	-0.248	0.534*	0.419	0.146	1.00							
K	-0.123	0.195	0.069	0.705**	0.168	1.00						
Ca	-0.129	0.458	0.110	-0.305	0.484	-0.364	1.00					
Mg	-0.467	0.760**	0.129	0.026	0.518*	-0.028	0.652**	1.00				
Fe	0.532*	-0.853**	0.021	-0.266	-0.285	-0.266	-0.065	-0.684**	1.00			
Mn	0.063	0.158	0.179	0.120	-0.213	0.022	-0.053	0.212	-0.307	1.00		
Zn	0.004	0.115	0.232	0.385	-0.145	0.086	-0.099	0.071	-0.249	0.837**	1.00	
Cu	-0.022	0.182	0.308	-0.128	-0.008	0.097	0.077	0.247	-0.278	0.229	-0.134	1.00

*, ** ; Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.
¹RLD ; Ratio of leaf discoloration.

Table 5. Correlation coefficients among leaf discoloration ratio and leaf mineral nutrients in several ginseng garden of paddy soil.

	RLD [↓]	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
RLD	1.00									
T-N	0.190	1.00								
P	-0.102	0.244	1.00							
K	0.531	0.279	-0.331	1.00						
Ca	-0.662**	-0.556*	-0.157	-0.549*	1.00					
Mg	-0.390	-0.268	0.597*	-0.863**	0.430	1.00				
Fe	0.820**	0.222	0.031	0.496	-0.626*	-0.222	1.00			
Mn	-0.179	0.156	0.185	-0.229	-0.277	0.014	-0.262	1.00		
Zn	0.028	-0.240	-0.581*	0.579*	0.092	-0.655**	0.042	-0.209	1.00	
Cu	0.002	-0.215	-0.543*	0.539*	0.238	-0.592*	-0.042	-0.489	0.924**	1.00

*, ** ; Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.
[↓]RLD ; Ratio of leaf discoloration.

자를 이용하여 환원철을 직접 흡수하기도 한다. 위의 보고를 고려해 보았을 때 인삼은 완두콩, 오이, 토마토 등 쌍자엽식물과 같은 철 흡수 기작을 보일 것으로 예상되는데, 이중 pH가 철 흡수에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 생각된다.

토양 pH는 인산과 유의한 정의상관이 있었고 마그네슘과 고도로 유의한 정의 상관이 있으며, 철과는 고도로 유의한 부의 상관이 있었다. 따라서 pH가 높아지면 인산과 마그네슘의 함량이 높아지고 철 함량은 감소하였다. Lee 등 (2010)과 Farhoodi 와 Coventry (2008)도 토양 pH와 철, 망간은 고도의 유의한 부의상관을 보였다고 하였다.

유기물 함량은 칼륨 함량과 고도로 유의한 정의 상관을 보였으며, 인산은 마그네슘 함량과 유의한 정의 상관을 보였다. 칼슘은 마그네슘과 고도로 유의한 정의 상관을 보였고 마그네슘은 철과 고도로 유의한 부의 상관을 보였다. 망간은 아연과 고도로 유의한 정의 상관을 보였다.

이상의 결과를 종합해 보면 황증 발생이 심한 토양일수록 pH가 낮고 철 함량이 많은 특징을 보였는데, pH가 낮아질수록 마그네슘 함량이 낮아지고 철 함량이 높아져 이로 인한 마그네슘 결핍과 철 과잉 흡수로 황증 발생이 촉진되었다고 생각된다.

Table 5에서와 같이 인삼 논재배 농가포장에서 황증 발생 정도와 인삼 잎의 무기성분들 간의 상관관계를 분석한 결과는 다음과 같다. 먼저 황증 발생률과 잎의 무기성분들 간 상관관계를 보면 황증 발생률은 칼슘과 고도로 유의한 부의 상관을 보였으며, 철 함량과 고도로 유의한 정의 상관을 보였다. 따라서 인삼 잎의 황증 발생률이 증가될수록 칼슘의 함량이 감소하고 철의 함량이 증가되었다. Olsen 등 (1981)은 토양의 칼슘이 감소하면 pH가 감소하여 철의 흡수가 촉진된다고 하였으며, Kim 등 (2012)은 칼슘의 시비는 철의 흡수를 억제하여 적변 등 생리장애의 발생을 줄였다고 하였다.

질소는 칼슘과 유의한 부의 상관을 보였고, 인산은 마그네슘과 유의한 정의 상관을, 아연, 구리와 유의한 부의 상관을

보였다. 칼륨은 칼슘과 유의한 부의 상관을, 마그네슘과 고도로 유의한 부의 상관을 보였으며, 아연, 구리와 유의한 정의 상관을 보였다.

칼슘은 철과 유의한 부의 상관을 보였고 마그네슘은 아연과 고도로 유의한 정의 상관을, 구리와 유의한 부의 상관을 보였다. 아연은 구리와 고도로 유의한 정의 상관을 보였다. Lee 등 (2012c)에 의하면 수경재배한 2년생 인삼 잎에서 철과 칼슘은 고도의 유의한 부의상관을 보였다고 하여 본 실험과 다른 결과를 보였는데, 이는 수경재배를 통해 정상적으로 생육한 개체들을 대상으로 분석하였기 때문으로 판단된다.

무기성분들 간에 길항관계를 보면 칼슘은 질소, 칼륨, 철과 상호 흡수를 억제하는 길항작용이 인정되었다.

이상의 결과를 종합해 보면 황증 발생이 심해질수록 칼슘 흡수가 적어지고 철 흡수가 많아지는 특징을 보였는데, 질소, 칼륨 및 철 흡수가 많아지면 칼슘의 흡수가 억제되어 철 과잉과 칼슘 결핍으로 황증 발생이 촉진되었다고 생각된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청에서 주관하는 친환경 인삼생산을 위한 하우스 시설재배기술 개발 과제(과제번호 PJ907010)의 연구비 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

LITERATURE CITED

Farhoodi A and Coventry DR. (2008). Field crop responses to lime in the mid-north region of South Australis. *Field Crops Research*. 108:45-53.

Halliwell B and Gutteridge JMC. (1992). Biologically relevant metal ion-dependent hydroxyl radical generation. *Federation of European Biochemical Societies Letter*. 307:108-112.

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.
- Jo JS, Kim CS and Won JY.** (1996). Crop rotation of the Korean ginseng(*Panax ginseng* C. A. Meyer) and the rice in paddy field. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 4:19-26.
- 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.
- Kim DW, Kim JY, You DH, Kim CS, Kim HJ, Parkk JS, Kim JM and Lee KS.** (2012). The effect of activated ion calcium for production of *Panax ginseng* seedling in paddy field. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 20:124-128.
- Ko SR, Choi KJ, Kim HK and Han KW.** (1996). Comparison of proximate composition, mineral nutrient, amino acid and free sugar contents of several *Panax* species. Journal Ginseng Research. 20:36-41.
- Lee KK, Mok IK, Yoon MH, Kim HJ and Chung DY.** (2012a). Mechanisms of phosphate solubilization by PSB(Phosphate-solubilizing Bacteria) in soil. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer. 45:169-176.
- Lee SW, Park JM, Kim GS, Park KC, Jang IB, Lee SH, Kang SW and Cha SW.** (2012b). 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 GA, Chang YK, Parrk SY, Kim GA, Kim SH, Park KC, Kim YB, Cha SW and Song BH.** (2012c). Comparative analysis on concentration and uptake amount of mineral nutrients in different growth stages and temperatures of *Panax ginseng* C. A. Meyer grown with hydroponic culture. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 20:251-258.
- Lee YH, Choi St, Lee ST, Hong KP, Song WD, Lee JH and Cho JS.** (2010). Changes in Fe, and Mn content and lime requirement based on soil pH testing in sweet persimmon fields. Korean Journal of Soil Science Fertilizer. 43:584-589.
- 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 (NIAST).** (2000). Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology. RDA. Suwon, Korea. p.103-130.
- Olsen RA, Clark RB and Bennet JH.** (1981). The enhancement of soil fertility by plant roots. American Scientist 69:378-384.
- 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.
- 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.