



수경재배 양액조건이 2년생 인삼의 생육 및 진세노사이드 함량에 미치는 영향

유 진[†] · 장인배 · 서수정 · 권기범
농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부

Effects of Nutrient Solution on Growth and Amount of Ginsenoside of Two Year Old Ginseng Grown under Hydroponic Culture

Jin Yu[†], In Bae Jang, Soo Jung Suh and Ki Bum Kweon
Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

ABSTRACT

Background: Electrical conductivity (EC) and pH are important features of nutrient solution, affecting both growth and quality of crops by altering nutrient uptake.

Methods and Results: The pH values of nutrient solutions were controlled at 5.0, 5.5, 6.0, 6.5 and EC values were controlled at 0.68, 0.84, 1.23, 1.41 dS/m. Ginseng root weights were higher during the initial growth period when the plants were treated with low pH and low EC nutrient solutions. However, the higher pH and EC levels, the greater the increase in the rate of root weight between the initial and middle growth periods. The highest ginsenoside amount changed during growth period. The total ginsenoside amount was highest in the root, and the lowest in leaves at 45 and 90 days after treatment, respectively, with solution at a pH of 6.0. After 135 days of treatment, the highest total ginsenoside amount was detected in root treated with solution with EC values of 1.23 dS/m.

Conclusions: For the cultivation of ginseng using a nutrient culture system, the pH and EC values of nutrient solutions should be controlled based on the stage of growth and targeted plant organ (root or leaves).

Key Words: *Panax Ginseng*, Electrical Conductivity, Ginsenoside, Nutrient Solution, Potential of Hydrogen

서 언

인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer)은 산형목 오갈피나물과 (Araliaceae) 인삼속 (*Panax*)에 속하는 다년생 초본 작물로서 예로부터 면역 기능, 자양강장, 원기 회복 등의 효능이 인정되어 널리 이용되고 있다 (Hu, 1976). 그러나 인삼은 긴 생육기간 동안 동일한 위치에서 자라기 때문에 토양 및 재배환경에 영향을 많이 받고, 연작장해가 심하기 때문에 휴작기간이 10년 이상으로 타 작물에 비하여 토지 생산성이 매우 낮은 작물이다 (Kang *et al.*, 2007; Jin *et al.*, 2009).

이와 같은 기존 인삼 재배법의 단점을 극복하기 위한 방안으로 인삼 양액재배가 시도되고 있다 (Park *et al.*, 2002; Li, 2005). 인삼 양액재배는 외부 생육환경 조절이 용이하고 인삼

생육에 필요한 무기양분의 공급을 조절하여 생육과 품질을 향상시킬 수 있다 (Lee *et al.*, 2012). 또한 생육기간을 단축할 수 있어 연중 생산이 가능하고 단위 면적당 생산량을 높일 수 있으며, 화학 농약을 사용하지 않고 생산이 가능하기 때문에 잎을 포함한 식물체 전체를 이용할 수 있다 (Lee, 2014). 안전한 농산물에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있고 한약재 또는 건강 기능성식품 원료, 짬 채소와 같은 신선채소로의 이용이 가능하다는 점에서 양액재배 인삼에 대한 관심이 고조되고 있다 (Kim *et al.*, 2010).

양액재배 인삼의 뿌리, 잎, 줄기 등 부위별 진세노사이드 함량과 조성을 분석한 결과 양액재배 인삼의 잎에는 다년근 수삼에서 거의 검출되지 않는 Rh1 성분이 0.15 - 0.25% 함유되었을 뿐만 아니라 인삼 뿌리와는 다르게 Rd 성분이 다량으로

[†]Corresponding author: (Phone) +82-43-871-5540 (E-mail) yujin8603@korea.kr

Received 2016 February 25 / 1st Revised 2016 March 10 / 2nd Revised 2016 April 18 / 3rd Revised 2016 May 2 / Accepted 2016 May 3

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.

함유되어 있다 (Kim *et al.*, 2010). 또한 양액재배된 인삼 잎에는 페놀릭 화합물인 *p*-coumaric acid의 함량이 956.9 $\mu\text{g/g}$ 로 과실 247.8 $\mu\text{g/g}$, 뿌리 14.8 $\mu\text{g/g}$ 에 비해 다량으로 함유되어 있다고 보고되는 등 (Choi *et al.*, 2012) 양액재배 인삼의 부위별 성분 함량과 조성에 관한 연구가 많이 진행되어지고 있다.

Park 등 (2002)이 최적의 배지를 선발하기 위하여 다양한 배지를 단독 및 혼합처리구로 사용한 결과 재활용 압면 배지에서 인삼 뿌리의 생체중 및 건물중이 가장 높았다고 하였고, Lee 등 (2012)은 온도조건이 다른 양액재배 인삼의 경우 저온 (14 - 20°C)에서 재배된 것이 고온 (18 - 23°C)보다 잎, 줄기 및 뿌리를 모두 합산한 수량이 더 많았다고 하였다.

양액 내 pH와 전기전도도 (electrical conductivity, EC)의 변화는 작물의 영양소 흡수에 영향을 주어 생육뿐만 아니라 품질에 영향을 미칠 수 있다 (Trejo-Tellez and Gomez-Merino, 2012). 그러나 인삼 양액재배에 사용하는 양액에 관한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구는 인삼의 양액재배를 통해 양액의 pH 및 EC 농도가 2년생 인삼의 생육특성 및 진세노사이드 함량에 미치는 영향을 조사 분석하여 인삼의 생산성과 품질을 향상시킬 수 있는 정밀한 양액관리에 필요한 기초 자료를 얻고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료 및 처리

본 실험은 2014년 9월부터 2015년 2월까지 농촌진흥청 인삼작부 유리온실에서 실시하였다. 시설 내부 온도관리는 지열 냉난방 시스템 (Turboenergy, Jeungpyeong, Korea)를 이용하여 15 - 20°C 범위를 목표로 관리하였고 내부온도가 30°C 이상 되었을 때에는 상부 차광커튼과 하부 보온커튼을 알맞게 조절하여 광량을 낮추고 일사량 유입을 줄였다. 후색 차광막을 설치하여 광 투과율을 10 - 15%로 조절하였다. 길이 50 cm, 폭 38 cm 그리고 높이 25 cm의 스티로폼 포트에 피트모스 69.0%, 펄라이트 30.0% 및 퇴비 0.1%의 조성을 갖는 상토 (Nongkyung, Jincheon, Korea)를 시중에서 구입하여 넣었고, 3월에 채굴하여 0.8 - 1.0 g의 무게로 선별한 후 6개월간 저장한 자경종 묘삼을 재식거리 8 cm × 8 cm로 9월 12일에 이식하여 처리당 5반복으로 수행하였다.

양액의 pH 및 EC실험을 위해 본 실험에서는 다량원소는 N 6.0, P 1.5, K 4.0, Ca 2.0, Mg 1.0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 미량원소는 Fe-EDTA 3.0, B 3.0, Mn 2.0, Zn 0.1 Cu 0.05, Mo 0.02 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 으로 조제하여 사용하였다. 양액의 pH는 pH meter (Mettler Toledo, Schwerzenbach, Zürich, Switzerland)를 사용하여 pH 5.0, 5.5, 6.0, 6.5로 조절하였으며 이때의 EC는

0.8 dS/m으로 유지하였다. EC는 EC meter (Mettler Toledo, Schwerzenbach, Zürich, Switzerland)를 사용하여 0.68, 0.84, 1.23, 1.41 dS/m 조절하였는데, 이 값은 조제한 양액의 EC 농도인 2.1 ± 0.1 dS/m에 약 33, 44, 55, 66%에 해당하는 농도이다. 이때의 pH는 5.5 ± 0.5 로 유지하였다. 처리별 배양액은 포트당 200 ml 씩 주1회 관주하였다.

인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer)의 생육특성은 양액 처리 약 45일 후인 10월 28일, 약 90일 후인 12월 11일 그리고 약 135일 후인 2015년 1월 23일에 지상부와 지하부로 나누어 처리별 10개체씩 3반복으로 조사하였다. 지상부 특성 중 경장은 너두 바로 위부터 잎자루 착생부까지의 길이를 측정하였고 엽장과 엽폭은 각 개체당 가장 큰 잎의 길이와 폭을 측정하였다. SPAD 값은 엽색계 (Konica Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였고 지상부 생체중은 잎과 줄기의 무게를 측정하였다. 지하부 특성 중 근장은 너두 바로 아래부터 가장 긴 뿌리 끝까지의 길이를 측정하였고 근직경은 개체당 가장 굵은 부분을 버니어캘리퍼스 (Mitutoyo, Kawasaki, Japan)로 측정하였으며, 근중은 주근과 지근을 모두 포함한 생체 무게를 측정하였다.

2. 상토 화학성 분석

상토 화학성 분석을 양액 처리 45일과 90일 후의 상토를 채취한 후 농촌진흥청 농업과학기술원 토양화학 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여, pH, EC, $\text{NO}_3\text{-N}$, 유기물, 유효인산, 치환성양이온 K, Ca, Mg, Na 등을 분석하였다. 상토 pH와 EC는 초차전극법을 이용하여 측정하였고, $\text{NO}_3\text{-N}$ 분석은 풍건 상토 20 ml을 100 ml 삼각플라스크에 넣고 2 M KCl 50 ml를 가하여 30분간 진탕한 후 No. 2 여과지로 여과한 후 Auto analyzer (Bran Luebbe, Norderstedt, Germany)로 자동비색 정량하였으며, 유기물 분석은 Tyurin법 (Tyurin, 1931)으로 측정하였다. 유효인산함량은 Lancaster법으로 측정하였고, 치환성 양이온 (K, Ca, Mg, Na)은 토양 5 g에 1 N- NH_4OAc (pH 7.0) 완충용액 50 ml를 넣고 30분간 진탕한 후 침출 및 여과하여 ICP OES (GBC Scientific, Braeside, Australia)로 측정하였다.

3. 식물체 분석

식물체 분석은 양액 처리 90일 후에 분석하였다. 시료 전처리를 위해 Microwave digestion system (CEM, Matthews, NC, USA)을 사용하였다. microwave vessel에 분말시료 0.25 g을 칭량한 다음 60% 질산 (Junsei, Tokyo, Japan) 10 ml를 가한 후 용기를 밀폐하고 15분간 180°C까지 상승시킨 후 5분간 온도 유지, 10분간 240°C까지 상승시킨 후 분해하였다. 분해가 완료되면 vessel을 실온까지 냉각하여 식힌 다음, 50 ml 메스플라스크에 깔때기와 No. 6 여과지로 여과한 후 ICP OES (GBC

Scientific, Braeside, Australia)를 이용하여 무기성분 함량을 측정하였다.

4. Ginsenoside 분석

양액 처리 45일, 90일 그리고 135일 후 묘삼의 지상부 및 지하부를 채취하여 10종의 진세노사이드를 분석하였다. 진세노사이드 표준품 10종은 Re, Rg1, Rf, Rb1, Rg2, Rh1, Rc, Rb2, Rb3, Rd (Chroma Dex, Santa Anna, CA, USA)를 사용하였다. 진세노사이드 분석을 위해 인삼 분말시료 0.2 g과 70% MeOH 2 ml를 넣고 잘 혼합한 후 50°C에서 30분 동안 초음파 추출한 뒤 4°C, 13,000 rpm에서 15분 동안 원심분리하여 얻은 상등액을 2 ml tube에 취한 다음 1 ml를 Sep-Pak C18 cartridge를 이용하여 정제한 후 추출액을 0.45 µm membrane filter로 여과하여 분석시료로 사용하였다 (Kim *et al.*, 2008). 진세노사이드 함량은 Agilent 1100 series HPLC system (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)을 이용하여 측정하였고 이동상의 유속은 0.5 - 0.8 ml/min, 칼럼온도는 50°C, UV 검출기의 파장은 203 nm였다. 분석을 위한 column은 Halo RP-amide column (4.6 × 150 mm, 2.7 µm, Wilmington, DE, USA)을 사용하였다.

5. 통계처리

모든 분석은 Statistical analysis system (SAS v9.2 SAS Institute inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 분산분석 (ANOVA)을 실시한 후 Duncan's Multiple Range Test (DMRT)로 유의성을 $p < 0.05$ 수준에서 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 배양액의 pH에 따른 인삼의 지상부 및 지하부 생육특성

양액 수준에 따른 인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer)의 생육특성을 시기별로 조사한 결과는 Table 1과 같다. 처리 45일 후에는 처리한 양액의 pH가 5.0에서 6.5로 높아질수록 경장 및 지상부 생체중이 감소하는 경향을 보였다. 특히 지상부 생체중은 양액의 pH가 5.0일 때 1.90 g으로 가장 높았고 pH 6.5일 때 1.48 g으로 가장 낮았다.

뿌리 세포의 효소 활성이 H⁺의 농도에 영향을 받고 pH가 높고 낮음에 따라 가시적인 장애를 나타내지는 않아도 생육에 영향을 미치며, pH가 낮아짐에 따라 옥신이나 사이토키닌의 활성이 낮아져 발근이나 뿌리신장이 나쁘다고 보고되었으나 (Taro, 1982) 본 실험에서는 처리한 양액의 pH 수준에 따른 근장의 증가 및 감소에 대한 일관된 경향은 없었다. 근중은 pH 5.5 처리일 때 1.87 g으로 가장 높았으며, pH 6.5 처리일 때 1.26 g으로 가장 낮았다. 처리 90일 후에는 pH 5.5 처리일 때 지상부 생체중 및 근중이 1.88, 3.92 g으로 가장 높았으며 pH 5.0 처리일 때 1.65, 3.04 g으로 가장 낮았다. 그러나 생육이 초기 (처리 45일 후)에서 중기 (처리 90일 후)로 진행되었을 때 근중의 증감률은 pH 6.5 처리에서 165%, pH 6.0에서 138%, pH 5.5에서 110%, pH 5.0에서 92%로서 처리한 양액의 pH가 높을수록 컸다.

지상부 생체중 또한 pH 6.5 처리에서 17%로 가장 큰 증가율을 보였으나 pH 5.0 처리에서는 도리어 13% 감소하였다. 양액 내 pH의 변화는 작물의 영양소 흡수에 큰 영향을 준다.

Table 1. Growth characteristics of 2 year old *Panax ginseng* grown for 45, 90 and 135 DAT with different levels.

DAT ¹⁾	pH	SL ²⁾ (cm)	LL ³⁾ (cm)	LW ⁴⁾ (cm)	SPAD Value	RL ⁵⁾ (cm)	RD ⁶⁾ (mm)	RW ⁷⁾ (g)	AW ⁸⁾ (g)
45	5.0	11.2a	8.3a	3.4ab	35.1a	15.2a	5.73ab	1.58ab	1.90a*
	5.5	10.5ab	8.1a	3.6a	37.2a	16.8a	6.02a	1.87a	1.87a
	6.0	10.2ab	6.2b	2.7b	35.1a	15.7a	6.07a	1.44bc	1.75ab
	6.5	9.6b	7.3ab	3.1ab	35.5a	16.5a	5.07b	1.26c	1.48b
	Mean	10.4	7.5	3.2	35.7	16.1	5.72	1.54	1.75
90	5.0	10.1b	10.7a	3.4a	33.1a	17.8a	8.12b	3.04b	1.65b
	5.5	11.1a	8.5a	3.5a	33.5a	17.2a	9.20a	3.92a	1.88a
	6.0	10.7ab	8.0a	3.9a	32.6a	16.8a	8.56ab	3.42b	1.81ab
	6.5	11.0ab	7.7a	3.3a	33.6a	17.0a	8.84a	3.34b	1.73ab
	Mean	10.7	8.7	3.5	33.2	17.2	8.68	3.43	1.77
135	5.0	-	-	-	-	16.5a	10.45a	4.26a	-
	5.5	-	-	-	-	16.8a	9.15b	4.28a	-
	6.0	-	-	-	-	17.7a	9.54ab	4.78a	-
	6.5	-	-	-	-	17.4a	9.39ab	4.79a	-
	Mean	-	-	-	-	17.1	9.63	4.53	-

*Mean within a column followed by the same letters are not significantly different based on the DMRT ($p < 0.05$). ¹⁾DAT; Days after treatment, ²⁾SL; Stem length, ³⁾LL; Leaf length, ⁴⁾LW; Leaf width, ⁵⁾RL; Root length, ⁶⁾RD; Root diameter, ⁷⁾RW; Root weight, ⁸⁾AW; Aerial weight.

인삼의 생육 및 품질에 영향을 미치는 양액 조건 구명

Table 2. Growth characteristics of 2 year old *Panax ginseng* grown for 45, 90 and 135 DAT with different EC levels.

DAT ¹⁾	EC (dS/m)	SL ²⁾ (cm)	LL ³⁾ (cm)	LW ⁴⁾ (cm)	SPAD Value	RL ⁵⁾ (cm)	RD ⁶⁾ (mm)	RW ⁷⁾ (g)	AW ⁸⁾ (g)
45	0.68	11.2a	7.9a	3.2a	33.8bc	15.6a	5.92a	1.62a	1.78a*
	0.84	11.0a	7.9a	3.4a	35.4ab	16.9a	5.63a	1.62a	1.90a
	1.23	10.8a	7.2a	3.2a	33.3c	13.6a	5.72a	1.40a	1.74a
	1.41	10.5a	6.9a	3.0a	35.9a	15.7a	5.42a	1.42a	1.56a
	Mean	10.9	7.5	3.2	34.6	15.5	5.67	1.52	1.75
90	0.68	9.8b	7.7a	3.4a	32.8a	16.9ab	8.15ab	3.10ab	1.65a
	0.84	10.2ab	7.0b	3.1b	33.5a	17.0ab	7.70b	2.73b	1.45b
	1.23	10.5ab	7.8a	3.2ab	32.4a	17.5a	8.30ab	3.14a	1.66a
	1.41	10.9a	8.0a	3.3ab	33.6a	15.8b	8.63a	3.39a	1.82a
	Mean	10.3	7.6	3.2	33.1	16.8	8.20	3.09	1.65
135	0.68	-	-	-	-	14.3b	8.82a	3.52b	-
	0.84	-	-	-	-	14.5b	9.34a	3.41b	-
	1.23	-	-	-	-	15.5ab	9.47a	4.23ab	-
	1.41	-	-	-	-	16.7a	10.12a	4.84a	-
	Mean	-	-	-	-	15.2	9.44	4.00	-

*Mean within a column followed by the same letters are not significantly different based on the DMRT ($p < 0.05$). ¹⁾DAT; Days after treatment, ²⁾SL; Stem length, ³⁾LL; Leaf length, ⁴⁾LW; Leaf width, ⁵⁾RL; Root length, ⁶⁾RD; Root diameter, ⁷⁾RW; Root weight, ⁸⁾AW; Aerial weight.

Table 3. Chemical properties of before and after treatment of bed soil.

DAT ¹⁾	pH	pH (1 : 5)	EC (dS/m)	NO ₃ (mg/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	OM (g/kg)	K Ca Mg Na			
							----- Ex. Cation (cmol ⁺ /kg) -----			
45	Before	6.50	0.09	17.89	29.70	274.40	0.13	2.44	2.55	0.21
	5.0	6.23ab	0.09c	34.78c	38.37b	380.13a	0.20b	4.47a	4.40a	0.39a*
	5.5	6.20b	0.13a	43.33ab	40.91b	369.18a	0.25a	3.90b	4.02a	0.39a
	6.0	6.27a	0.12a	41.02b	47.27a	318.84b	0.18b	2.93c	2.84b	0.25b
	6.5	6.28a	0.11b	45.54a	42.30b	381.30a	0.17b	3.08c	3.13b	0.30b
Mean	6.25	0.11	41.17	42.21	362.36	0.20	3.60	3.60	0.33	
90	5.0	6.37b	0.12b	32.33b	55.25a	303.57b	0.19b	2.70c	2.77b	0.31b
	5.5	6.47a	0.11c	24.33c	32.35c	354.73a	0.28a	4.10a	3.97ab	0.36ab
	6.0	6.54a	0.12b	30.35b	38.63b	351.29a	0.28a	3.31b	3.37bc	0.39a
	6.5	6.21c	0.15a	47.08a	39.07b	319.28ab	0.31a	4.05a	4.14a	0.39a
	Mean	6.40	0.13	33.52	41.33	332.22	0.27	3.54	3.56	0.36

*Mean within a column followed by the same letters are not significantly different based on the DMRT ($p < 0.05$). ¹⁾DAT; Days after treatment.

수용액 중에 P는 pH 변화에 따라 H₂PO₄⁻나 HPO₄⁻² 등의 형태를 띠는데 pH가 낮아지면 H₂PO₄⁻가 대부분을 차지하고 pH가 높아지면 HPO₄⁻²의 비율이 증가한다. 작물이 주로 흡수하는 형태는 H₂PO₄⁻이며 pH 5에서는 H₂PO₄⁻가 100%이나 pH 7.3부터 형태가 바뀌게 되고 pH 10이 되면 HPO₄⁻²로 전환된다. K, Ca 그리고 Mg는 식물이 흡수 및 이용 가능한 범위는 비교적 넓고 pH 5.0 이하일 때는 흡수가 특히 저하된다 (Trejo-Tellez and Gomez-Merino, 2012).

처리 90일 후 양액 pH 수준이 지상부와 지하부 생육에 미치는 영향을 알아보기 위하여 무기성분 함량을 Table 5와 같이 분석한 결과 총 질산태질소 함량은 양액 pH 수준 간 유의

성은 없었으나 pH 5.0 처리에서 잎과 뿌리에서 함량이 높게 나타났다. 뿌리의 인산 함량의 경우 pH 6.5 처리에서 유의하게 높았는데, 근권부의 pH가 높아질수록 Ca 또는 Mg의 가용화가 촉진되고 이들과 결합하여 불용화되는 인산량이 증가함으로써 식물체 흡수량 저하의 원인이 되었다는 Lee 등 (2015)의 결과와는 일치하지 않았다. Ca 및 Mg 함량은 근권부의 pH가 낮아질수록 불용화되어 흡수량이 저하된다고 알려져 있는데 본 연구에서는 일정한 경향을 찾을 수 없었다. pH 수준에 상관없이 미량원소는 잎에 더 많이 함유되어 있었는데, 이는 구리를 제외하고는 Park 등 (2012)의 결과와 일치했다.

인삼 재배에 적합한 pH는 5.0 - 6.0으로 (RDA, 2009) 본

Table 4. Chemical properties of before and after EC treatment of bed soil.

DAT ¹⁾	EC (dS/m)	pH (1 : 5)	EC (dS/m)	NO ₃ (C)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	OM (g/kg)	Ex. Cation (cmol ⁺ /kg)			
							K	Ca	Mg	Na
	Before	6.50	0.09	17.89	29.70	274.40	0.13	2.44	2.55	0.21
45	0.68	6.26a	0.11c	44.49b	49.30b	328.85a	0.23b	3.46a	3.41b	0.34b*
	0.84	6.30a	0.12c	36.37c	38.00c	327.08a	0.22b	3.07b	3.12bc	0.33b
	1.23	6.21b	0.13b	46.38b	61.77a	317.41a	0.29a	3.78a	3.82a	0.38a
	1.41	6.13c	0.16a	56.45a	46.71b	319.06a	0.20b	2.90b	2.85c	0.22c
	Mean	6.23	0.13	45.92	48.95	323.10	0.24	3.30	3.30	0.32
90	0.68	6.51a	0.10c	28.98d	43.12bc	349.75a	0.37a	3.93a	3.79a	0.36a
	0.84	6.31b	0.20a	54.40c	46.99b	317.61b	0.32a	3.06b	3.06b	0.36a
	1.23	6.07d	0.20a	66.63b	42.38c	306.97c	0.22b	2.84b	2.83b	0.22b
	1.41	6.14c	0.19b	75.94a	55.14a	298.65d	0.17b	2.19c	2.23c	0.24b
	Mean	6.26	0.17	56.49	46.91	318.25	0.27	3.01	2.98	0.30

*Mean within a column followed by the same letters are not significantly different based on the DMRT ($p < 0.05$). ¹⁾DAT; Days after treatment.

Table 5. Concentration of mineral nutrients in the aerial and root of 2 year old *Panax ginseng* grown for 90 days after treatment with different levels.

Part	pH	T-N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
		%							mg/kg		
Leaf	5.0	2.18a	1.38a	2.25b	1.60bc	1.08b	1.22b	204.64b	20.92b	18.75a	12.50a*
	5.5	1.99a	1.29b	2.26b	1.64ab	1.14a	1.19b	210.01ab	21.17b	19.36a	12.31a
	6.0	1.94a	1.28b	2.64a	1.54c	0.99c	1.34a	225.64a	35.38a	20.32a	11.51a
	6.5	1.99a	1.32b	2.01c	1.70a	1.12ab	1.39a	198.62b	21.85b	19.97a	11.47a
	Mean	2.03	1.32	2.29	1.62	1.08	1.29	209.73	24.83	19.60	11.95
Root	5.0	2.13a	1.17b	2.14b	0.19b	0.47a	0.16ab	108.35b	17.45c	14.74ab	7.22b
	5.5	2.09a	1.13b	2.25a	0.19b	0.44b	0.14c	129.76a	15.69d	14.18ab	8.13b
	6.0	1.70b	1.13b	2.11b	0.21a	0.49a	0.16b	91.19c	18.83b	13.64b	9.87a
	6.5	1.95a	1.26a	2.30a	0.22a	0.47a	0.17a	117.57ab	20.50a	15.31a	7.47b
	Mean	1.97	1.17	2.20	0.20	0.47	0.16	111.72	18.12	14.47	8.17

*Mean within a column followed by the same letters are not significantly different based on the DMRT ($p < 0.05$).

시험에서 처리한 pH 수준은 재배 적합 범위에 포함되어 있을 뿐만 아니라 처리 후 상토의 pH도 Table 3에 나타난 것과 같이 인삼 재배 허용범위 (pH는 6.0 - 6.5)에 포함되어 있어 처리에 따른 큰 차이는 발견할 수 없었는데, 보다 다양한 결과를 얻기 위해 처리 양액의 pH 수준 차이를 크게 둔 연구가 추후 필요할 것으로 보인다. 처리 135일 후에는 pH가 5.0에서 6.5로 높아질수록 근중이 4.26, 4.28, 4.78, 4.79 g으로 증가하였으나 유의한 차이는 없었다. 이 시기에는 근중에 대한 양액 pH의 영향이 적다고 생각된다. 생육 초기에는 pH 5.0 처리에서 인삼의 생육 특성이 대체로 우수했지만 생육 후기로 진행되면서 pH 5.5 - 6.5 처리 인삼의 생육이 우수했는데 이는 배지경 양액재배 시 근권부의 pH가 약 5.5 - 6.5를 유지할 경우 일반적으로 작물의 생육이 우수하다는 결과 (Lee *et al.*, 2015)와 일치했다. 경과일수에 따른 지상부 생육 특성의 평균치를 보면, 처리 90일 후에는 SPAD 값을 제외한 경장 등 모

든 특성이 처리 45일 후에 비해 근소하게나마 증가하였다. 지하부 생육 특성의 평균치 또한 처리 후 경과일수에 따라 대부분이 증가하였는데 처리 135일 후 근직경이 9.63 mm, 근중이 4.53 g으로 가장 큰 값을 나타냈으나 근장은 처리 90일 후 평균 17.2 cm 이었던 값이 평균 17.1 cm로 감소하였다.

인삼에서 염류농도 (EC)에 가장 직접적이고 민감하게 반응하는 부위는 뿌리이다 (Volkmar *et al.*, 1998). 처리 45일 후 양액 농도에 따른 인삼의 근중은 처리간 유의한 차이를 나타내지 않았다. 그러나 처리한 양액의 EC가 0.68 및 0.84 dS/m에서 근중은 1.62 g으로 높게 나타난 반면 EC 1.23 및 1.41 dS/m에서는 1.40, 1.42 g으로 낮게 나타났다. 근중 외에 경장, 엽장 그리고 지상부 생체중 또한 EC 0.68 및 0.84 dS/m에서 높게 나타났는데, 양액재배 인삼의 경우 전엽 후 생육 초기에는 비교적 낮은 농도의 EC에서 양수분 흡수가 원활히 이루어져 생육이 왕성히 이루어진 것으로 생각된다. 그러나

Table 6. Concentration of mineral nutrients in the aerial and root of 2 year old *Panax ginseng* grown for 90 days after treatment with different EC levels.

Part	EC (dS/m)	T-N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na				
		%							mg/kg		
Leaf	0.68	1.95b	1.22ab	2.29b	1.62a	1.01b	1.38a	220.88a	19.11a	21.48a	8.58a*
	0.84	1.93b	1.14b	2.57a	1.42b	0.88c	1.37a	195.36c	17.15b	26.60a	8.43a
	1.23	1.93b	1.13b	2.26b	1.61a	1.01b	1.13c	209.44ab	18.64a	21.63a	9.23a
	1.41	2.37a	1.28a	2.21b	1.65a	1.08a	1.24b	202.08b	19.84a	19.05a	8.15a
	Mean	2.05	1.19	2.33	1.58	1.00	1.28	206.94	18.69	22.19	8.60
Root	0.68	1.77b	1.16b	2.30b	0.21ab	0.49a	0.16a	96.80a	14.30c	15.04a	9.76b
	0.84	1.62b	1.15b	2.47a	0.20b	0.48a	0.15b	100.72a	16.64b	14.29a	13.03a
	1.23	1.81b	1.26a	2.20b	0.21ab	0.50a	0.16a	104.61a	19.23a	13.91a	11.20ab
	1.41	2.28a	1.32a	2.26b	0.21a	0.47a	0.15b	105.61a	20.15a	16.09a	12.07ab
	Mean	1.87	1.22	2.31	0.21	0.49	0.16	101.94	17.58	14.83	11.52

*Mean within a column followed by the same letters are not significantly different based on the DMRT ($p < 0.05$).

처리 90일 후에는 초기와 달리 EC 1.23 및 1.41 dS/m 처리에서 근중을 포함한 대부분의 생육이 좋게 나타났다. 또한 근중의 증감률도 EC 0.68 dS/m 처리일 때 91%, EC 0.84 dS/m일 때 69%, EC 1.23 dS/m일 때 124%, EC 1.41 dS/m일 때 139%로 EC 1.41 > EC 1.23 > EC 0.68 > EC 0.84 dS/m 처리 순이었다. 지상부 생체중은 EC 1.41 dS/m 처리일 때 17% 증가한 것을 제외하고는 나머지 처리에서는 모두 감소하였다.

처리 90일 후 양액 EC 농도가 지상부와 지하부 생육에 미치는 영향을 알아보기 위하여 잎 과 뿌리의 무기성분 함량을 분석하였다 (Table 6). 총 질산태질소, 인산 그리고 칼슘 함량은 잎과 뿌리 모두 EC 1.41 dS/m 처리에서, 칼륨은 EC 0.84 dS/m 처리에서 가장 높게 나타났다. 마그네슘의 경우 잎에서는 EC 1.41 dS/m 처리에서 높았던 반면 뿌리에서는 EC 1.23 dS/m 처리에서 높게 나타났다. 생육이 왕성하면 식물체의 무기양분 함량도 높다는 것이 일반적이다 (Lee *et al.*, 1996). 본 연구에서도 전반적으로 90일 경 EC 1.41 dS/m 처리에서 칼륨, 칼슘 및 나트륨을 제외한 무기성분의 함량이 타 처리구에 비해 높은 것으로 나타나 생육과 무기양분 함량과의 관계가 정상적으로 유지되었음을 알 수 있다.

일반적으로 무기성분의 흡수는 양액 내 무기성분 농도에 비례하는데 (Adams, 1992) 본 연구에서도 뿌리에서 아연을 제외한 미량원소 함량이 EC 1.41 dS/m 처리에서 높게 나타났다. 처리 135일 후 근중은 EC 1.41 > 1.23 > 0.84 > 0.68 dS/m인 양액 처리구 순으로 높았으며 유의한 차이를 나타냈다. 나트륨 이온과 질산태질소는 EC 증가에 깊이 관여하는 성분이며 보통 토양의 EC가 높을수록 생리장해를 일으켜 인삼 뿌리의 생육을 급격히 감소시킨다 (Kim *et al.*, 2015). 본 연구에서는 고농도의 양액 처리 후에도 상토의 나트륨 이온과 질산태질소 증가의 영향이 적었고, 처리 후 EC가 생리장해가 발생할 정

도로 높지 않았기 때문에 근중이 증가한 것으로 생각된다. 경과일수에 따른 지상부 생육 특성의 평균치는 앞선 pH 결과와는 달리 경장, SPAD 값 그리고 지상부 생체중이 처리 45일 후보다 처리 90일 후에 감소하였다. 반면 지하부 생육 특성의 평균치는 근장을 제외한 근직경과 근중이 경과일수에 따라 증가하여 처리 135일 후 근직경이 9.44 mm, 근중이 4.00 g이었다 (Table 2).

앞의 실험 결과로 보아 인삼 양액재배 시 생육초기에는 저농도로 재배하다가 생육이 진점됨에 따라 농도를 높여가며 재배하는 것이 양액재배 시 인삼의 지하부 및 지상부 생체중을 증가시키는 효과적인 방법이라 생각된다.

2. 배양액의 pH, EC에 따른 인삼의 진세노사이드 함량 특성

진세노사이드는 품종 (Ahn *et al.*, 2008), 연근 (Lim, 2005), 광 등의 환경 요인 및 재배방법 (Lee *et al.*, 2005) 등에 영향을 받아 함량 변화가 크다. pH 처리에 따른 잎의 총 진세노사이드 함량은 처리 45일 후 평균 2.90%에서 처리 90일 후 5.96%로 증가하였다. 4년생 인삼 잎의 조사포닌 함량은 7월에 채취한 잎이 17.17%, 8월 채취한 잎이 16.67%, 9월 채취한 잎이 15.58%로서 채엽 시기가 늦어짐에 따라 점차 감소하였다는 Chang (1998)의 결과와는 일치하지 않았다.

Li 등 (2009)은 진세노사이드 함량은 뿌리의 중심부보다 피층이 차지하는 비율이 클수록 많다고 하였는데 뿌리의 직경이 클수록 목질부의 비율이 피층의 비율보다 크기 때문에 뿌리 직경과 사포닌 함량은 부로 작용한다고 하였다. 그러나 처리 45일 후 pH 6.0 양액 처리구의 직경은 6.70 mm로 다른 처리구에 비해 가장 컸으나 이때 뿌리의 총 진세노사이드 함량은 0.96%로 가장 높았다. 반대로 잎의 총 진세노사이드 함량은 1.72%로 가장 낮았는데 본 연구에서는 대체로 생육이 진행되며 pH 처리구의 잎의 총 진세노사이드 함량이 높았을 때에는

Table 7. Amount of ginsenoside of 2 year old *Panax ginseng* grown for 45, 90 and 135 DAT with different levels (w/w%).

DAT ¹⁾	Parts	pH	Panaxadiol (PD)					Panaxatriol (PT)				Total	PD/PT
			Rb1	Rb2	Rb3	Rc	Rd	Re	Rf	Rg1	Rg2		
45	Leaf	5.0	0.04a	0.26b	0.04b	0.31b	0.80a	1.28a	0.01a	0.49a	0.03ab	3.26a	0.81b*
		5.5	0.04a	0.31a	0.05a	0.38a	0.78a	1.25a	0.01a	0.56a	0.03a	3.41a	0.84a
		6.0	0.02b	0.10c	0.02c	0.12c	0.34b	0.82b	0.01b	0.28b	0.02b	1.72b	0.53d
		6.5	0.04a	0.23b	0.04b	0.28b	0.74a	1.37a	0.01ab	0.47a	0.03a	3.21a	0.70c
		Mean	0.04	0.23	0.04	0.27	0.67	1.18	0.01	0.45	0.03	2.90	0.72
	Root	5.0	0.16b	0.09a	0.02a	0.14a	0.07a	0.23b	0.04bc	0.07a	0.03b	0.85b	1.31a
		5.5	0.13c	0.07b	0.01b	0.12b	0.05b	0.20c	0.03c	0.05b	0.03b	0.68c	1.19a
		6.0	0.20a	0.09a	0.02a	0.16a	0.06a	0.27a	0.05a	0.07a	0.03a	0.96a	1.27a
		6.5	0.18ab	0.09a	0.02a	0.15a	0.06a	0.26ab	0.04b	0.05b	0.03a	0.87b	1.26a
		Mean	0.17	0.09	0.02	0.14	0.06	0.24	0.04	0.06	0.03	0.84	1.26
90	Leaf	5.0	0.26a	0.59a	0.14a	0.87a	1.42a	2.10a	0.06a	1.03a	0.08a	6.56a	1.00c
		5.5	0.27a	0.54b	0.13c	0.80b	1.37a	1.97b	0.06b	0.92c	0.07b	6.14b	1.03a
		6.0	0.24b	0.47c	0.14a	0.70c	1.09b	1.89c	0.06b	0.97b	0.07b	5.64c	0.89c
		6.5	0.24b	0.44d	0.13c	0.66d	1.07b	1.96bc	0.05c	0.85d	0.08b	5.48c	0.86d
		Mean	0.25	0.51	0.14	0.76	1.24	1.98	0.06	0.94	0.08	5.96	0.95
	Root	5.0	0.17c	0.06c	0.02ab	0.11c	0.06c	0.14c	0.08b	0.10b	0.03c	0.76b	1.16c
		5.5	0.16c	0.06bc	0.02c	0.11c	0.05d	0.12d	0.07c	0.10b	0.03d	0.72c	1.22b
		6.0	0.19b	0.06ab	0.02ab	0.12b	0.06b	0.16a	0.09a	0.12a	0.03b	0.85a	1.14c
		6.5	0.20a	0.06a	0.02a	0.13a	0.07a	0.15b	0.08b	0.09c	0.04a	0.83a	1.34a
		Mean	0.18	0.06	0.02	0.12	0.06	0.14	0.08	0.10	0.03	0.79	1.22
135	Root	5.0	0.10a	0.03b	0.02ab	0.06a	0.03a	0.13a	0.17a	0.09a	0.03a	0.65a	0.55c
		5.5	0.08c	0.03c	0.01c	0.06a	0.03b	0.13a	0.12c	0.07b	0.03b	0.55b	0.58b
		6.0	0.09b	0.03b	0.01b	0.06a	0.02c	0.10c	0.11c	0.07b	0.03c	0.53b	0.68a
		6.5	0.10a	0.03a	0.02a	0.06a	0.03ab	0.12b	0.15b	0.09a	0.03b	0.62a	0.61b
		Mean	0.09	0.03	0.02	0.06	0.03	0.12	0.14	0.08	0.03	0.59	0.61

*Mean within a column followed by the same letters are not significantly different based on the DMRT ($p < 0.05$). ¹⁾Days after treatment.

뿌리의 총 진세노사이드 함량이 낮은 경향을 보였던 것을 가장 잘 방증하였다.

처리 90일 후 잎의 총 진세노사이드 함량은 처리한 양액의 pH가 낮을수록 높았으며 뿌리의 총 진세노사이드 함량은 처리한 양액의 pH가 6.0 이상일 때가 pH 5.0과 5.5보다 높았다. 처리 135일 후 양액의 pH와 뿌리의 총 진세노사이드 함량에 관한 경향은 찾을 수 없었다. 그러나 Rb3를 제외한 panaxadiol (PD) 계열의 진세노사이드인 Rb1, Rb2, Rc, Rd 함량이 줄고 panaxatriol (PT) 계열 중 Rf 함량이 늘어 PD/PT 비율이 0.5-0.6로 나타났는데 배지에 1년생 묘삼을 4개월간 수경재배한 인삼 뿌리의 PD/PT 비율이 0.5-0.6인 Kim 등 (2010)의 결과와 일치하였다.

생육 경과일수에 따른 뿌리의 총 진세노사이드 함량은 처리 45일 후 0.84%, 처리 90일 후 0.79%, 처리 135일 후 0.59%로 감소하였다. 인삼의 동체 중심 및 동체 주피의 진세노사이드 함량은 출아 후 25일경 가장 높고 그 후 급격히 감소되며 수확기에 가까워질수록 더욱 감소하였다는 결과 (KGTRI, 1984)와 유사하였다 (Table 7).

EC에 따른 총 진세노사이드 함량을 보면 처리 45일 후 잎에서는 처리한 양액의 EC 농도가 낮을수록 총 진세노사이드 함량이 높았고 뿌리에서는 EC 0.68 dS/m과 EC 1.41 dS/m 처리구에서 총 진세노사이드 함량이 0.95%, 0.94%로 높았다. 처리 90일 후 잎의 총 진세노사이드 함량은 EC 1.23 dS/m 처리에서 5.85%로 가장 높게 나타났다. 반면 뿌리의 경우 총 진세노사이드 함량은 처리 45일과 90일 후 EC 0.68 dS/m 처리에서 0.95%, 0.82%로 가장 높았다. 처리 135일 후에는 EC 1.23 dS/m 처리에서 0.67%로 가장 높았지만 EC 0.84 dS/m 처리의 0.65%와 유의한 차이는 없었다. 경과일수에 따른 잎의 총 진세노사이드 함량 역시 처리 45일 후에 3.57%에서 처리 90일 후 5.66%로 증가하였고, 뿌리의 총 진세노사이드 함량은 감소하였다. 진세노사이드 중 Rf는 서양삼에는 존재하지 않는 고려인삼의 특이성분인데 (Ando *et al.*, 1971), 모든 양액 처리구의 뿌리에서 Rf 함량이 생육기간이 진행됨에 따라 증가하는 경향을 보였다. 근권 온도와 광량의 차이에 의해 뿌리의 Rf를 포함한 진세노사이드 함량이 차이나는 것으로 미루어 보아 (Lee, 2014) 생육기간에 따른 환경의 변화 역시 Rf 함량

Table 8. Amount of ginsenoside of 2 year old *Panax ginseng* grown for 45, 90 and 135 DAT with different EC levels (w/w%).

DAT ¹⁾	Parts	EC (dS/m)	Panaxadiol (PD)					Panaxatriol (PT)				Total	PD/PT
			Rb1	Rb2	Rb3	Rc	Rd	Re	Rf	Rg1	Rg2		
45	Leaf	0.68	0.04a*	0.36a	0.06a	0.42a	1.06a	1.52a	0.01c	0.45b	0.03a	3.95a	0.97a
		0.84	0.05a	0.32b	0.05b	0.39b	0.94b	1.34b	0.01a	0.51a	0.03b	3.65b	0.93b
		1.23	0.03b	0.25c	0.04c	0.29c	0.81c	1.14c	0.01a	0.46b	0.03c	3.06c	0.87d
		1.41	0.05a	0.32b	0.05b	0.38b	0.92b	1.35b	0.01b	0.53a	0.03a	3.63b	0.89c
		Mean	0.04	0.31	0.05	0.37	0.93	1.34	0.01	0.49	0.03	3.57	0.92
	Root	0.68	0.21a	0.10a	0.02a	0.16a	0.06b	0.26ab	0.04ab	0.07ab	0.03a	0.95a	1.36a
		0.84	0.17c	0.08c	0.01b	0.14b	0.06b	0.24b	0.04bc	0.06bc	0.03b	0.85b	1.28ab
		1.23	0.19b	0.09c	0.01b	0.15b	0.05c	0.25ab	0.05a	0.07a	0.03ab	0.89b	1.23b
		1.41	0.18b	0.09b	0.02a	0.17a	0.09a	0.26a	0.04c	0.06c	0.03ab	0.94a	1.36a
		Mean	0.19	0.09	0.02	0.16	0.07	0.25	0.04	0.07	0.03	0.91	1.31
90	Leaf	0.68	0.24a	0.47ab	0.14b	0.71ab	1.18a	1.92a	0.06b	0.97b	0.07a	5.75a	0.91b
		0.84	0.18b	0.43c	0.16a	0.62c	1.15a	1.67b	0.06a	1.07a	0.06b	5.41b	0.89c
		1.23	0.24a	0.49a	0.12c	0.73a	1.22a	1.99a	0.06b	0.93b	0.08a	5.85a	0.92a
		1.41	0.23a	0.46b	0.12c	0.68b	1.16a	1.96a	0.05b	0.86c	0.07a	5.61ab	0.90b
		Mean	0.22	0.46	0.14	0.69	1.18	1.89	0.06	0.96	0.07	5.66	0.91
	Root	0.68	0.19a	0.06a	0.02ab	0.11a	0.06a	0.14a	0.09a	0.11a	0.03a	0.82a	1.20b
		0.84	0.18ab	0.06a	0.02a	0.11a	0.05b	0.13b	0.07b	0.09b	0.03c	0.75b	1.32a
		1.23	0.17b	0.06b	0.02b	0.10ab	0.05b	0.13b	0.07b	0.09bc	0.03ab	0.71b	1.23b
		1.41	0.17b	0.06ab	0.02ab	0.11b	0.05b	0.12b	0.07c	0.08c	0.03bc	0.71b	1.34a
		Mean	0.18	0.06	0.02	0.11	0.05	0.13	0.08	0.09	0.03	0.75	1.27
135	Root	0.68	0.09a	0.03a	0.01a	0.06b	0.03c	0.12ab	0.15b	0.08b	0.03ab	0.60b	0.58a
		0.84	0.10a	0.03a	0.01b	0.05c	0.02d	0.13a	0.18a	0.09b	0.03a	0.65a	0.50b
		1.23	0.09a	0.03a	0.01b	0.06a	0.03a	0.13a	0.18a	0.10a	0.03a	0.67a	0.52b
		1.41	0.09a	0.03a	0.01b	0.06b	0.03b	0.11b	0.15b	0.09b	0.03b	0.60b	0.60a
		Mean	0.09	0.03	0.01	0.06	0.03	0.12	0.17	0.09	0.03	0.63	0.55

*Mean within a column followed by the same letters are not significantly different based on the DMRT ($p < 0.05$). ¹⁾Days after treatment.

에 영향을 준 것으로 판단된다 (Table 8).

이상의 결과에서 생육초기에는 pH의 경우 5.0 및 5.5일 때, EC의 경우 0.68 및 0.84 dS/m와 같이 저농도로 재배하는 것이 유리하지만 생육이 진행될수록 pH와 EC의 농도를 높여 재배하는 것이 지상부와 뿌리의 무게를 증가시키는데 효과적이라 할 수 있겠다. 본 연구결과는 양액재배 인삼의 재배기간 또는 사용하려는 부위에 초점을 맞추어 양액을 관리할 때에 필요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 인삼 필수원소 과잉 및 결핍 증상 구명에 관한 연구과제(과제번호: PJ01097801)의 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

Adams P. (1992). Crop nutrition in hydroponics. Acta Horticulturae.

323:289-305.
 Ahn IO, Lee SS, Lee JH, Lee MJ and Jo BG. (2008). Comparison of ginsenoside contents and pattern similarity between root parts of new cultivars in *Panax ginseng* C. A. Meyer. Journal of Ginseng Research. 32:15-18.
 Ando T, Tanaka O and Shibata S. (1971). Chemical studies on the Oriental plant drugs. XXV: Comparative studies on the saponins and sapogenins of ginseng and related crude drugs. The Japanese Journal of Pharmacognosy. 25:28-32.
 Chang HK. (1998). Changes of saponin contents in *Panax ginseng* leaves by different harvesting months. The Korean Journal of Food and Nutrition. 11:82-86.
 Choi SY, Cho CW, Lee YM, Kim SS, Lee SH and Kim KT. (2012). Comparison of ginsenoside and phenolic ingredient contents in hydroponically-cultivated ginseng leaves, fruits, and roots. Journal of Ginseng Research. 36:425-429.
 Hu SY. (1976). The genus *Panax*(ginseng) in Chinese medicine. Economic Botany. 30:11-28.
 Jin HO, Kim UJ and Yang DC. (2009). Effect of nutritional environment in ginseng field on the plant growth of ginseng (*Panax ginseng* C. A. Meyer). Journal of Ginseng Research. 33:234-239.

- 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 GS, Hyun DY, Kim YO, Lee SE, Kim YC, Lee SE, Son YD, Lee MJ, Park CB, Park HK, Cha SW and Song KS.** (2008). Extraction and preprocessing methods for ginsenosides analysis of *Panax ginseng* C. A. Meyer. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 16:446-454.
- Kim GS, Hyun DY, Kim YO, Lee SE, Kwon H, Cha SW, Park CB and Kim YB.** (2010). Investigation of ginsenosides in different parts of *Panax ginseng* cultured by hydroponics. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*. 28:216-226.
- Kim JY, Hyun DY, Kim YC, Lee JY, Jo IH, Kim DH, Kim KH and Sohn JK.** (2015). Effects of salt in soil condition on chlorophyll fluorescence and physiological disorder in *Panax ginseng* C. A. Meyer. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 23:446-453.
- Korea Ginseng and Tobacco Research Institute(KGTRI).** (1984). Effects of cultivation condition on inside cavity and white of ginseng. *Korea Ginseng and Tobacco Research Institute*. Daejeon, Korea. p.144-150.
- Lee EH, Lee JW, Kwon JS, Nam YI, Cho IH and Kwon YS.** (1996). Effect of substrates on growth and yield of hydroponically grown cucumber in bag culture. *Journal of Bio-Environment Control*. 5:15-22.
- Lee GA, Jang YG, Park SY, Kim GA, Kim SH, Park KC, Kim YB, Cha SW and Song BH.** (2012). 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 HS, Jang HH, Choi JM and Kim DY.** (2015). Influence of fertilizer type on physiological responses during vegetative growth in 'Seolhyang' strawberry. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*. 33:39-46.
- Lee SW, Cha SW, Hyun DY, Kim YC, Kang SW and Seong NS.** (2005). Comparison of growth characteristics and extract and crude saponin contents in 4 year old ginseng cultured by direct seeding and transplanting cultivation. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 13:241-244.
- Lee YS.** (2014). Variation of growth and ginsenoside contents of *Panax ginseng* C. A. Meyer by hydroponics in different root zone temperature and light quantity. Master Thesis. Korea National Open University. p.1-7.
- Li TSC.** (2005). Hydroponic and organically grown American ginseng. *Journal of Ginseng Research*. 29:182-184.
- Li X, Kang SJ, Han JS, Kim JS and Choi JE.** (2009). Effects of root diameter within different root parts on ginsenoside composition of Yunpoong cultivar in *Panax ginseng* C. A. Meyer. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 17:452-457.
- Lim WS.** (2005). Effects of interactions among age, cultivation method(location) and population on ginsenoside content of wild *Panax quinquefolium* L. one year after transplanting from wild. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 13:254-261.
- National Institute of Agricultural Sciences and Technology (NIAST).** (2000). Methods of soil chemical analysis. Rural Development Administration. Suwon, Korea. p.108-149.
- Park KW, Yang DS and Lee GP.** (2002). Effect of substrate on the production of Korean ginseng(*Panax ginseng* C. A. Meyer) in nutrient culture. *Journal of Bio-Environment Control*. 11:199-204.
- 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 tissue 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.94-100.
- Taro IH.** (1982). Several problems of hydroponic culture system 5 pH management of mineral solution. *Agriculture and Horticulture*. 57:327-331.
- Trejo-Tellez LI and Gomez-Merino FC.** (2012). Nutrient solutions for hydroponic systems. In *Hydroponics: A standard methodology for plant biological researches*. Intech. Rijeka, Croatia. p.1-22.
- Tyurin IV.** (1931). A new modification of the volumetric method of determining soil organic matter by means of chromic acid. *Pochvovedenie*. 26:36-47.
- Volkmar KM, Hu Y and Steppuhn H.** (1998). Physiological responses of plant to salinity: A review. *Canadian Journal of Plant Science*. 78:19-27.