

인위적인 습해 유발조건에서 2년생 인삼 품종의 생육특성

김장욱 · 이정우 · 조익현 · 김동휘 · 김기홍 · 김영창 *

농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 인삼과

Growth characteristics of 2-year-old cultivars in Korean ginseng (*Panax ginseng* C. A. Meyer) conditioned artificial wet injury

Jang-Uk Kim, Jung-Woo Lee, Ick-Hyun Jo, Dong-Hwi Kim, Kee-Hong Kim, Young-Chang Kim*

Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseng 27709, Korea

Received on 15 September 2015, revised on 20 October 2015, accepted on 28 October 2015

Abstract : This study was conducted to investigate growth characteristics to develop the technique to select resistant cultivar by wet injury at an early stage through the automatic irrigation maintaining 30, 20, 10 kPa respectively using native variety, Chunpoong, Yunpoong, Gumpoong and Sunun. The aerial growth was decreased at 10 kPa compared to 30 kPa. In addition, the survival rate was decreased by 66.6%, 62.3%, 33.8% at 30, 20, 10 kPa, respectively. The survival rate of Chunpoong and Gumpoong were higher than others at 10 kPa. While root growth characteristics such as root length, root weight, number of lateral root and side root were tended to decrease, root diam was no significant or increased. And the more humid condition is, the more the incidence rate of rusty root and rough skin were tended to increase. The epidermal thickness of Chunpoong and Gumpoong was increased but the figures of native variety, Yunpoong and Sunun were decreased at 10 kPa compared to 30 kPa. But, the tissue stiffness of root was decreased at 10 kPa compared to 30 kPa.

Key words : Ginseng, Wet injury, Cultivar, *Panax ginseng*

I. 서론

강수량은 작물의 생육에 영향을 미치는 주요한 기상요소 중 하나이다. 우리나라는 몬순(계절풍) 기후대에 속하고 있어, 그 특성상 여름철(6월 - 8월) 강수량이 연 강수량의 40 - 60%를 차지하며, 집중호우로 인해 매년 과습 피해를 받고 있다(Kwon et al., 1982).

일반적으로 발작물의 최적토양함수량은 최대용수량의 70 - 80% 정도이며, 최대용수량 이상의 수분상태가 유지 되면 습해가 생기게 된다(Lee et al., 1989). 습해는 주로 뿌리에서 나타나며, 수분 과잉이 지속됨에 따라 뿌리에서 산소부족과 환원성 유해물질 등이 집적되고(Park et al., 1999), 이것이 뿌리의 호흡을 저해하여 수분이나 양분의 흡수 및 이동을 억제하고 결국 양분 부족 등의 이유로 작물

체의 생장량이 감소된다(Boru et al., 2003).

인삼(*Panax ginseng* C. A. Meyer)은 반음지성 작물로 해가림 시설 내에서 재배되기 때문에 강우시 직접적으로 비를 맞지 않는다. 그러나 해가림 시설 내부 미세 환경 조건에 따라서 생육의 차이가 심하게 나타나며(Kim et al., 2013), 재배학상 한 세대가 4년으로(Kwon et al., 1998), 4 - 6년간 동일한 위치에서 재배되기 때문에 다른 작물에 비하여 토양 환경에 대한 영향을 많이 받을 뿐 아니라(Jin et al., 2009), 그 중에서도 특히 토양수분이 가장 수량에 중요한 영향을 미치게 된다(Park et al., 2008).

한편, 소득수준이 개선되고 건강에 대한 관심이 증가하면서 인삼의 소비는 지속적으로 늘어나, 우리나라 인삼 재배면적은 2000년 12,455 ha에 불과하던 것이 2009년에는 19,702 ha로 늘어났으나(MAFRA, 2015), 2009년 이후 연작장애 회피를 위한 초작지 부족은 신규 재배면적 감소를 야기하였고, 이로 인해 2014년에는 14,652 ha까지 감소하

*Corresponding author: Tel: +82-43-871-5532

E-mail address: ycpiano@korea.kr

Table 1. Soil chemical properties in the experimental field.

pH (1:5)	EC (dS/m)	NO ₃ (mg/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex.cation (cmol ⁺ /kg)				OM (g/kg)
				K	Mg	Na	Ca	
6.34	0.32	30.41	110.93	0.18	1.69	0.11	5.17	9.74

였다(Jang et al., 2013). 그 결과 연작장해 회피(Jo et al., 1996)와 초작지 부족의 문제를 해결하기 위해, 배수불량에 따른 습해로 인한 황증, 적변 등 생리장해 발생이 많은 단점이 있음에도 불구하고(Lee et al., 2013), 점차적으로 인삼 논 재배 면적은 늘어나는 추세에 있으며(Lee et al., 2009), 습해 저항성 품종 개발 요구도는 점차 증가하고 있다.

토양수분이 인삼 생육에 미치는 영향에 관한 연구는 활발하게 진행되어 인삼의 위조수분 한계가 토양수분의 13%인 것이 밝혀졌고(Park et al., 2008), 포장용수량의 60%에서 지상부 생육이 좋은 반면 30 - 40%에서 뿌리 신장이 억제되었으며, 인삼의 최적수분함량이 절대수분함량으로 17 - 21%라고 보고된 바 있으며(Park, 1982), 포장용수량의 65.5%(절대수분 22.1%) 수준에서 2년생 인삼의 생육이 양호하였고, 포장용수량의 31.5%(절대수분 10.7%)에서는 생육이 정지한다고 보고되었다(Mork et al., 1981). 인삼 생육에 적합한 토양수분함량과 관련된 보고는 다양하나, 과습에 의한 인삼의 생리적인 특성에 관한 연구와 습해 저항성 인삼 품종 육성 연구는 다소 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 집중강우로 인해 매년 대두되고 있는 습해에 대해 인삼 품종별로 생육특성의 차이를 비교 분석하여 새로이 증가되고 있는 인삼 논 재배법의 개선, 적합한 품종의 선발, 습해 저항성 개체의 조기 선발 및 인삼 내습성 품종 육성의 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 공시 재료

본 실험에 사용된 공시 재료는 농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 인삼과에서 2012년 11월 파종하여 2014년 3월 중순에 생산된 천풍, 연풍, 금풍, 선운 등 4품종과 재래종 묘삼을 3월 하순에 이식하였다.

2. 포장 재배법

본 연구는 2013년 5월 상순경 수단그라스를 파종하고

출수기에 예취, 경운하여 예정지 관리를 실시하였다. 2014년 3월 중순에 두둑 폭 90 cm, 고랑 폭 90 cm, 두둑 높이 35 cm로 두둑을 형성하였고, 3.3 m² 당 63주씩 정식하였다. 해가림구조는 비가림하우스를 이용하였으며, 4월 하순부터 흑색 2중직 차광망을 하우스 구조위에 설치하여 투광량 85%를 유지하였다. 기타 재배관리는 농촌진흥청 GAP 표준재배지침서(RDA, 2009)의 기준에 준하였다. 시험포장의 토양이화학성은 Table 1과 같은데, 칼륨과 유기물함량이 다소 낮았으나, pH, EC, 질산태질소, 유효인산, 마그네슘, 칼슘 등은 적정범위 내에 있었다.

3. 습해 유발 처리

처리구를 3개로 나누어 전엽이 완료되는 5월 상순까지 수분관리는 GAP 표준재배지침서(RDA, 2009)의 기준에 준하여 관리하다가, 인위적인 과습 처리를 위해 5월 중순부터 수분장력이 각각 10 kPa, 20 kPa, 30 kPa 처리구를 단구제로 배치하고, 각 처리구에 토양수분포텐셜 측정센서(Irrometer)를 인삼과 인삼 사이의 지하 20 cm 깊이에 설치하고, 각 처리구의 수분포텐셜에 따라 자동관수가 이루어지도록 관수자동제어기(Solenoid irrigation control system)를 설치하여, 자동관수를 실시하였다.

4. 생육조사

각각의 처리구에 대해 생존한 식물체에 대해서 특성 조사를 실시하였다. 지상부는 2014년 7월 상순(습해처리 후 60일)에 실시하였고, 경장, 경직경, 엽병장, 엽장, 엽폭, 생존율 등을 조사하였다. 지하부는 2014년 10월 상순(습해처리 후 150일)에 조사하였으며, 근장, 근직경, 근중 등의 특성과 적변, 은피 등 지하부 생리장해 발생정도 등을 조사하였다.

5. 지하부 표피조직 검경 및 경도 조사

처리별로 수확된 인삼 뿌리를 세척 후 뇌두부위 약 5 mm 아래 부분을 얇게 잘라 거름종이위에 놓고 인삼뿌리의 표

피조직을 광학현미경(Olympus no. sz61, tokyo, Japan)으로 검경하였다. 또한 처리별 인삼 뿌리의 조직 경도를 측정하기 위해 품종별로 뇌두부터 약 5 mm 아래 부분을 5 mm 두께로 절단하여 식물조직경도계(KHT-40N, Fujiwara, Japan)를 이용하여 조직경도를 측정하였다.

6. 통계처리

실험결과는 2회 반복 측정하여 나타내었고, 각 그룹간의 유의성은 SAS v9.2 (SAS Institute inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 Duncan's multiple range test를 실시하여 95% ($p > 0.05$) 신뢰구간에서 유의성 검정을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 습해처리구별 인삼 품종의 지상부 생육특성 및 생존율

인위적인 습해 처리 60일 경과 후 처리구별 인삼 품종의 지상부 생육 및 생존율을 조사한 결과는 Table 2와 같다. 재래종과 천풍의 경우 지상부 생육 특성이 유의한 차이를 보이지 않았으나, 연풍은 경장과 엽병장에서 유의한 차이

를 보였다. 연풍의 경장은 습할수록 짧아지는 경향이었으나, 엽병장은 30 kPa과 10 kPa 처리구에 비해 20 kPa 처리구에서 5.8 cm 로 가장 길었다. 금풍과 선운은 지상부 생육 특성에서 모두 유의한 차이를 보였는데, 30 kPa 처리구가 10 kPa 처리구에 비해 생육이 좋았다. Bishnoi와 Krichnamoorthy (1992)는 영양생장기에 습해를 받으면 엽면적이 감소한다고 보고하였는데, 본 실험에서도 과습 처리구일수록 엽장 및 엽폭이 줄어드는 경향을 보였다. 생존율은 30 kPa 처리구에서 재래종이 65.3%, 천풍이 63.2%, 연풍이 64.3%, 금풍이 78.6%, 선운이 61.4%였고, 20 kPa 처리구에서는 각각 57.2%, 57.2%, 57.2%, 71.4%, 68.6%, 10 kPa 처리구에서는 각각 22.5%, 46.9%, 35.7%, 42.9%, 21.4%로 습할수록 생존율이 떨어지는 경향이었으나, 천풍과 금풍이 10 kPa 처리구에서도 비교적 높은 생존율을 보였다.

2. 습해처리구별 인삼 품종의 뿌리 생육특성

인위적인 습해 처리 150일 경과 후 처리구별 인삼 품종의 뿌리 생육을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 재래종, 천풍 및 연풍은 30 kPa 처리구에 비해 10 kPa 처리구가 근직경을 제외하고 근장, 근중, 지근수 및 측근수 모두에서 감소하는 경향이었으나 유의한 차이를 보이지는 않았다. 금풍은 30

Table 2. Growth characteristics of aerial parts in Korean ginseng cultivar by level of moisture tension.

Cultivar	Treatment (kPa)	Stem length (cm)	Stem diameter (mm)	Petiole length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Survival rate (%)
Native variety	30	3.5a ¹⁾	1.86a	5.8a	5.8a	2.9a	65.3
	20	4.0a	2.01a	5.1a	5.0a	2.7a	57.2
	10	3.4a	2.08a	4.9a	4.8a	2.6a	22.5
Chunpoong	30	3.4a	1.95a	4.4a	4.8a	2.4a	63.2
	20	3.6a	1.99a	4.7a	4.5a	2.7a	57.2
	10	3.6a	1.93a	4.0a	4.6a	2.5a	46.9
Yunpoong	30	3.9a	1.95a	4.9b	4.9a	2.6a	64.3
	20	2.7b	1.85a	5.8a	4.3a	2.4a	57.2
	10	2.4b	1.88a	4.6b	4.1a	2.4a	35.7
Gumpoong	30	4.5a	2.29a	5.8a	6.6a	3.4a	78.6
	20	3.5b	2.15a	5.7a	5.9a	3.2a	71.4
	10	2.0c	1.70b	5.8a	3.9b	2.2b	42.9
Sunun	30	4.0a	2.29a	6.1a	6.4a	3.2a	61.4
	20	3.3a	2.10a	5.7a	5.8b	3.1a	68.6
	10	3.2a	2.19a	4.5b	4.5c	2.2b	21.4

¹⁾Mean with same letters are not significantly different in DMRT ($p < 0.05$).

Table 3. Growth characteristics of roots in Korean ginseng cultivars by level of moisture tension.

Cultivar	Treatment (kPa)	Root length (cm)	Root diameter (mm)	Root weight (g/plant)	lateral root count (unit)	side root count (unit)	physiological disorder ²⁾	
							Rusty root	rough skin
Native variety	30	15.5a ¹⁾	9.06a	3.8a	2.2a	9.2a	0	1
	20	14.2ab	9.49a	3.6a	2.0a	8.2a	1	1
	10	13.1b	9.81a	3.3a	2.4a	5.9b	2	1
Chunpoong	30	16.5a	7.68a	3.1a	2.4a	3.6a	1	0
	20	15.5a	7.43a	2.6a	2.1ab	3.4a	0	1
	10	14.9a	6.79a	2.2a	1.7b	2.7a	2	1
Yunpoong	30	14.0a	5.98a	1.5a	1.8a	2.8a	1	1
	20	12.6a	5.93a	1.4a	2.0a	3.8a	1	0
	10	12.2a	6.69a	1.5a	3.0a	2.7a	1	3
Gumpoong	30	17.0a	11.47a	4.5a	2.6a	2.6ab	1	0
	20	16.8a	10.56a	4.6a	2.2a	4.3a	2	0
	10	4.3b	5.78b	0.6b	0.9b	0.3b	4	0
Sunun	30	19.1a	8.90ab	4.0b	2.4ab	5.9b	1	2
	20	19.8a	10.23a	5.6a	2.7a	11.6a	2	3
	10	13.4b	8.13b	2.9c	1.7b	3.0b	2	3

¹⁾Mean with same letters are not significantly different in DMRT ($p < 0.05$).

²⁾0 : 0%, 1 : 1~10%, 2 : 11~30%, 3 : 31~50%, 4 : 51~70%, 5 : 71~100%.

kPa 처리구와 20 kPa 처리구에서는 근장이 각각 17.0 cm, 16.8 cm, 근직경이 각각 11.47 mm, 10.56 mm, 근중이 4.5 g, 4.6 g, 지근수가 2.6개, 2.2개, 측근수가 2.6개, 4.3개로 유의한 경향을 나타내지 않았으나, 10 kPa 처리구에서는 근장이 4.3 cm, 근직경이 5.78 mm, 근중이 0.6 g, 지근수가 0.9개, 측근수가 0.3개로 감소하였다. 선운도, 30 kPa 처리구와 20 kPa 처리구에서 유의한 차이를 보이지 않았으나, 10 kPa 처리구에서는 뿌리 부패로 인해 생육이 저조하였다. 뿌리 표피가 적갈색으로 변하는 적변삼은 토양이 과습하거나(KT&G, 1996), 배수가 불량한 곳(KT&G, 1995)에서 많이 발생한다고 하였는데, 본 연구결과에서도 30 kPa 처리구에서 0 - 10%정도 발생한 반면 20 kPa 처리구에서는 0 - 30%정도 발생하였으며, 10 kPa 처리구에서는 70%까지

발생하였다. 한편 표면이 울퉁불퉁해지는 은피는 투수성 과다에 의해 토양이 건조하거나 양분 침투 및 유실에 의해 척박한 경우와 붕소 등 미량요소 결핍 등의 원인에 의해서 발생하는데(RDA, 2009), 본 연구결과에서는 30 kPa 처리구에서 약 0 - 30%, 20 kPa 처리구와 10 kPa 처리구에서는 0 - 50%까지 발생하였다. 이것은 뿌리의 호흡이 과습으로 인해 저해되어 수분이나 양분의 흡수 및 이동이 억제되어 양분이 부족하거나(Boru et al., 2003), 과도한 수분 공급으로 인해 토양내 양분 유실로 인한 결과로 생각된다.

3. 습해에 따른 인삼 품종별 뿌리 표피 두께 비교

습해 처리구별 인삼 품종의 뿌리 표피 두께는 Table 4와

Table 4. Comparison of epidermal thickness by roots of ginseng cultivar.

Treatment	Native variety	Chunpoong	Yunpoong (nm)	Gumpoong	Sunun
30 kPa	202.04a *	157.16a	171.50a	167.14a	148.01a
20 kPa	162.63b	158.44a	163.66a	169.65a	129.14b
10 kPa	167.31b	169.54a	158.42a	178.59a	120.46b

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

Table 5. Comparison of hardness of tissue by roots of ginseng cultivar.

Treatment	Native variety	Chunpoong	Yunpoong (kgf/cm ²)	Gumpoong	Sunun
30 kPa	4.845a ¹⁾	4.901a	3.960a	4.669a	4.398b
20 kPa	4.948a	4.729a	3.518a	4.783a	4.923a
10 kPa	4.935a	4.159a	3.503a	2.825b	4.306b

¹⁾Mean with same letters are not significantly different in DMRT ($p < 0.05$).

같다. 30 kPa 처리구에서 재래종은 202.04 nm, 천풍은 157.16 nm, 연풍은 171.50 nm, 금풍은 164.14 nm, 선운은 148.01 nm 이었고, 20 kPa 처리구에서는 각각 162.63 nm, 158.44 nm, 163.66 nm, 169.65 nm, 129.14 nm 이었으며, 10 kPa 처리구에서는 167.31 nm, 169.54 nm, 158.42 nm, 178.59 nm, 120.46 nm 이었다. 재래종, 연풍, 선운은 과습 처리구일수록 표피 두께가 감소하는 경향이었으나, 천풍과 금풍은 유의하지는 않았으나 과습 처리구일수록 표피 두께가 증가하는 경향이였다.

4. 습해에 따른 인삼 뿌리 경도 비교

습해 처리구별 인삼 품종의 뿌리 경도는 Table 5와 같다. 30 kPa 처리구에서 재래종은 4,845 kgf/cm², 천풍은 4,901 kgf/cm², 연풍은 3,960 kgf/cm², 금풍은 4,669 kgf/cm², 선운은 4,398 kgf/cm²이었고, 20 kPa 처리구에서는 각각 4,948 kgf/cm², 4,729 kgf/cm², 3,518 kgf/cm², 4,783 kgf/cm², 4,923 kgf/cm²이었으며, 10 kPa 처리구에서는 4,935 kgf/cm², 4,159 kgf/cm², 3,503 kgf/cm², 2,825 kgf/cm², 4,306 kgf/cm²이었다. 재래종, 연풍, 선운은 과습 처리구일수록 표피 두께가 감소하는 경향이었으나, 천풍과 금풍은 유의하지는 않았으나 과습 처리구일수록 표피 두께가 증가하는 경향이였다.

Lee 등(2010)은 과습 상태에서 뿌리는 산소가 부족하게 되어 길이는 짧고 연약해지며, 굵기가 굵어지고, 껍질 조직이 두꺼워진다고 하였는데, 본 실험에서도 30 kPa 처리구에 비해 10 kPa 처리구에서 근장은 감소되었고, 근직경은 증가하거나 유의한 차이를 보이지 않았으며(Table 3), 조직의 경도는 약해졌다(Table 5). 천풍과 금풍에서 표피 조직이 두꺼워지는 경향이었는데, 이것은 연풍 및 선운과는 다른 결과를 보였다(Table 4). 이 결과로 미루어 뿌리의 생육 상태가 습해 저항성의 지표로 활용될 수 있을 것으로 생각되며, 품종간에 차이를 보였던 과습 처리구에서의 생

존률과 표피두께는 품종간 습해 저항성의 정도를 나타낼 수 있는 지표로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

IV. 결론

본 연구는 습해 저항성 인삼을 조기에 선발하기 위한 방법을 개발하기 위해 재래종과 천풍, 연풍, 금풍, 선운 등의 품종을 3개의 처리구로 나누어 자동관수를 통해 30 kPa, 20 kPa, 10 kPa를 유지하여 지상부, 뿌리 및 조직경도와 표피 두께 등의 생육 특성을 조사하였다. 지상부 생육은 30 kPa 에 비해 10 kPa에서 감소하는 경향이였으며, 생존율 역시 30 kPa 에서 평균 66.6%로 가장 높았고, 20 kPa 에서 62.3%, 10 kPa 에서 33.8%로 가장 낮게 나타났다. 천풍과 금풍이 10 kPa 에서 각각 46.9%, 42.9%로 생존율이 다른 품종에 비해 높았다. 뿌리는 근장, 근중, 지근 및 측근수는 과습할수록 감소하는 경향이였으나, 근직경은 유의한 차이가 없거나 증가하였으며, 적변과 은피 발생을 또한 과습할수록 증가하는 경향이였다. 뿌리 표피 두께는 30 kPa에서 재래종 202.04 nm, 천풍 157.16 nm, 연풍 171.50 nm, 금풍 167.14 nm, 선운 148.01 nm 이었으나, 10 kPa 에서는 각각 167.31 nm, 169.54 nm, 158.42 nm, 178.59 nm, 120.46 nm 로, 천풍과 금풍은 증가하였으나, 재래종, 연풍 및 선운은 감소하였다. 뿌리 조직의 경도 역시 30 kPa에서 재래종, 천풍, 연풍, 금풍, 선운이 각각 4,845 kgf/cm², 4,901 kgf/cm², 3,960 kgf/cm², 4,669 kgf/cm², 4,398 kgf/cm² 였고 10 kPa에서 각각 4,935 kgf/cm², 4,159 kgf/cm², 3,503 kgf/cm², 2,825 kgf/cm², 4,306 kgf/cm² 으로 감소하는 경향이였다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청에서 주관하는 인삼 내습성 검정기술 개발 및 선발지표 개발(과제번호 : PJ00866002)의 연

구비 지원으로 수행된 결과로 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- Bishnoi NR, Krishnamoorthy HN. 1992. Effect of waterlogging and gibberellic acid on leaf gas exchange in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Plant Physiology* 139(4):503-505.
- Boru G, Vantoai T, Alves J, Hua D, Knee M. 2003. Response of soybean to oxygen deficiency and elevated root-zone carbon dioxide concentration. *Annals of Botany* 91(4): 447-453.
- Jang IB, Hyun DY, Lee SW, Kim YC, Kim JU, Park GC, Bang KH, 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(5):380-387. [in Korean]
- Jin HO, Kim UJ, 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(3):234-239. [in Korean]
- Jo JS, Kim CS, 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(1):19-26. [in Korean]
- Kim YC, Park HW, Kim OT, Bang KH, Kim JU, Hyun DY, Kim DH, Cha SW, Choi JE. 2013. Soil acclimatization of regenerated plants by gibberellic acid treatments of *Panax ginseng* C. A. Meyer. *Korean Journal of Plant Resources* 26(1):84-89. [in Korean]
- KT & G (Korea Tobacco and Ginseng). 1995. Annual report of ginseng-culture part. p.51 [in Korean]
- KT & G (Korea Tobacco and Ginseng). 1996. Annual report of ginseng-culture part. p.84 [in Korean]
- Kwon SH, Lee SH, Hong EH. 1982. Meteorological constraints and countermeasures in major summer crop production. *Korean Journal of Crop Science* 27(4):398-410.
- Kwon WS, Chung CM, Kim YT, Lee MG, Choi KT. 1998. Breeding process and characteristics of KG101, a superior of line *Panax ginseng* C. A. Meyer. *Journal of Ginseng Research* 21(1):11-17. [in Korean]
- Lee JE, Kim HS, Kwon YU, Jung GH, Lee CK, Yun HT, Kim CK. 2010. Responses of root growth characters to waterlogging in soybean [*Glycine max* (L.) Merril]. *Korean Journal of Crop science* 55(1):1-7. [in Korean]
- Lee SW, Kim GS, Yeon BY, Hyun DY, Kim YB, Kang SW, 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(5):346-351. [in Korean]
- Lee SW, Park KC, Lee SH, Park JM, Jang IB, Kim KH. 2013. Soil chemical property and leaf mineral nutrient of ginseng cultivated in paddy field occurring leaf discoloration. *Korean Journal of Medicinal Crop Science* 21(4):289-295. [in Korean]
- Lee YH, Kim SD, Hong EH. 1989. Environmental stresses during culture of food legumes. *Korean Journal of Crop Science (Special issue)*:81-95. [in Korean]
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2015. Statistical Sourcebook of Ginseng 2014. pp. 2-3. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Sejong, Korea. [in Korean]
- Mork SK, Son SY, Park H. 1981. Root and top growth of *Panax ginseng* at various soil moisture regime. *Korean Journal of Crop Science* 26(1):115-120. [in Korean]
- Park CS, Kang JY, Lee DY, Ahn DJ. 2008. Effects of furrow irrigation on the growth and quality of *Panax ginseng* plant in a loam. *Journal of Ginseng Research* 32(4):279-282. [in Korean]
- Park H. 1982. Water Physiology of *Panax ginseng* III. Soil moisture, physiological disorder, diseases, insects and quality. *Journal of Ginseng Research* 6(2):168-203. [in Korean]
- Park SG, Kang DK, Chung SH, Choi BS. 1999. Field survey of moisture injury in *Peucedanum japonicum* Thunbert and *Rehmannia glutinosa* Liboschitz. *Korean Journal of Medicinal Crop Science* 7(3):162-166. [in Korean]
- RDA (Rural Development Administration). 2009. Standard Cultivation Guidebook for Good Agricultural Practice of ginseng. pp. 82-107. [in Korean]