



토양 염류 농도가 인삼 잎의 엽록소 형광반응 및 생리장해 발생에 미치는 영향

김장욱*[†] · 현동윤** · 김영창* · 이정우* · 조익현* · 김동휘* · 김기홍* · 손재근***

*농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부, **농촌진흥청 국립원예특작과학원 기획조정과,
***경북대학교 농업생명과학대학 응용생명과학부

Effects of Salt in Soil Condition on Chlorophyll Fluorescence and Physiological Disorder in *Panax ginseng* C. A. Meyer

Jang Uk Kim*[†], Dong Yun Hyun**, Young Chang Kim*, Jung Woo Lee*, Ick Hyun Jo*,
Dong Hwi Kim*, Kee Hong Kim* and Jae Keun Sohn***

*Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

**Planning and Coordination Division, NIHHS, RDA, Wanju 55365, Korea.

***School of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea.

ABSTRACT

Background : Excessively high concentration of sodium ion caused nutrient deficiency and significantly decrease growth. This study was carried out to determine the limiting concentration range of sodium ion in the soil of ginseng field.

Methods and Results : The growth of the ginseng cultivar Chunpoong reduced with increase in salinity, and the rate of growth reduction was higher in shoots than that of roots. Particularly, ginseng plants cultivated at high level of nitrate nitrogen or sodium may suffer delayed development and stunted growth. Chlorophyll damage occurred on the leaves of ginseng planted in relatively high levels (> 0.2 cmol⁺/kg) of sodium ion, as determined by the fluorescence reaction. The incidence of physiological disorder in ginseng cultivated at 249 sites was correlated with the concentration of sodium ion in the soils. About 74% of ginseng fields in which physiological disorders occurred had concentrations of sodium ion in soil greater than 0.2 cmol⁺/kg. In contrast, the concentration of sodium ions at 51 of 85 sites where no damage occurred was relatively (0.05 cmol⁺/kg - 0.15 cmol⁺/kg).

Conclusions : The concentration of sodium ion in soil of ginseng fields can be classified into three levels optimum (≤ 0.15), permissible allowance (0.15 - 0.2) and excessive (> 0.2).

Key Words : *Panax ginseng*, Chlorophyll Fluorescence, Optimum Concentration, Physiological Disorder, Sodium Ion

서 언

고려인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer)은 산형목 두릅나 무과 (Araliaceae) 인삼속 (*Panax*)에 속하는 다년생 식물로, 국내에서는 한반도 전역에서 자생하고 있다. 현재 제주도 및 도서지역을 제외한 지역에서 시설재배 되고 있으며, 세계적으로 중국의 동북 3성 및 러시아 연해주 지역 등 북위 34 - 48° 사이의 동북아시아 지역에서 자생한다 (Woo *et al.*, 2004). 인삼은 다른 식물과 달리 반음지 호냉성 식물로서 생육 최적온

도가 18 - 22°C로 고온을 싫어하고, 10°C 이하에서 100일 이상 지속되어야만 인삼 너두의 휴면이 타파되며, 고광 조건을 선호하지 않아 70 - 80% 정도의 그늘을 필요로 할 뿐만 아니라 (RDA, 2009a), 보통 3 - 5년의 긴 생육기간 동안 동일한 장소에서 자라기 때문에 타 작물에 비하여 특히 토양 특성에 따른 영향을 더 많이 받는다 (Kang *et al.*, 2007; Jin *et al.*, 2009).

우리나라 인삼 재배면적은 1996년 8,940 ha 이후 재배면적이 지속적으로 증가하여, 2000년에는 12,445 ha, 2009년에는

[†]Corresponding author: (Phone) +82-43-871-5546 (E-mail) k2korea@korea.kr

Received 2015 September 10 / 1st Revised 2015 September 18 / 2nd Revised 2015 October 2 / 3rd Revised 2015 October 14 / Accepted 2015 October 15

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.

19,702 ha에 이르렀다. 그러나 2009년 이후 신규재배면적이 감소되면서 2014년에는 14,652 ha까지 감소하였다 (MAFRA, 2015). 그 결과 초작지 부족으로 인해 화학비료를 다량 연용한 다비작물 재배지가 예정지로 선정되는가 하면, 청초만 기비로 사용하던 과거 재배방식과 달리 농후사료를 먹인 각종 가축분뇨를 다량 시용함에 따라 토양 염류집적 문제가 심각하게 대두되고 있다 (Yoo *et al.*, 1999). 특히 최근에는 나트륨 (Na^+)이 다량 함유된 음식물 쓰레기를 이용한 퇴비나 그것을 먹인 가축 분뇨의 시용으로 인한 토양 내 나트륨 이온 집적 피해가 새로운 문제로 대두되고 있다.

일반적으로 토양염류 피해는 봄철 해동된 후부터 토양표면에 염류가 집적되면서 나타나다가 장마기 때 완화되나, 여름철 고온기가 되면 다시 피해가 심해진다. 이것은 인삼이 생육 중에 염분 스트레스에 노출될 가능성을 높이고, 식물체의 생장 (Banzai *et al.*, 2002) 및 발달 (Amitai-Zeigersona *et al.*, 1995)을 저해할 뿐 아니라, 염분으로 인한 수분결핍, 이온 독성 및 산화 스트레스 등이 결합된 복합 스트레스를 받아 생리장애를 유발하고 (Munns and Tester, 2008), 심하면 인삼이 고사하기 때문에, 예로부터 인삼의 재배적지 선정이 가장 중요한 요인으로 인식되고 있다 (Jin *et al.*, 2009).

인삼 생리장애 연구 중 토양 화학성과 관련된 연구를 보면 1980년대부터 주로 토양 이화학성이 인삼 생육 및 수량에 미치는 영향을 해석하고자 많이 시도되어왔고 (Lee *et al.*, 1980a, 1980b, 1984, 1989a; Park *et al.*, 1982), 이후 단편적 유형의 생리장애 (Park, 1982; Chung *et al.*, 1985; Lee *et al.*, 1989b, 1995; Kang *et al.*, 2007)복합적 유형의 생리장애 (Hyun *et al.*, 2009), 그리고 토양요인 간의 복합적인 상호관계 (Jin *et al.*, 2009), 염분 스트레스 하에서 단백질 발현변화와 관련된 연구 (Kim *et al.*, 2008) 및 식물성 유기물 퇴비나 가축분뇨 시용이 인삼 생육에 미치는 영향 (Jang *et al.*, 2013, 2014)등이 진행되어 왔다. 그 결과 농촌진흥청 표준 인삼재배법에 토양산도 (pH), 전기전도도 (EC), 질산태질소 ($\text{NH}_3\text{-N}$), 유기물 (OM), 유효인산 (P_2O_5) 및 치환성양이온 (K, Ca, Mg)의 적정범위는 명시되었으나 (RDA, 2009a), 복합적 유형의 생리장애 발생시 인삼 잎의 황증과, 뿌리의 적면에 나트륨이 크게 관여한다는 보고 (Hyun *et al.*, 2009)만 있을 뿐 토양의 치환성 양이온 중 나트륨 함량과 생리장애와의 관계, 나트륨 이온의 적정 농도범위 등에 관한 연구결과는 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 새로이 대두되고 있는 염류 스트레스의 원인과 대책을 강구하고자 인삼의 잎과 뿌리에서의 반응을 분석하는 생리적 접근방식을 사용하여, 포트시험을 통해 생육특성 및 엽록소 형광반응 분석을 수행하였고, 이를 인삼 재배지 생리장애 토양의 화학성 조사결과와 비교하여 인삼 재배지 적정 나트륨 이온 농도를 구명하고, 나아가 내염성 인삼 육종의

기초 자료를 제공하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 염류 농도별 인삼의 생육특성 분석

2010년 10월 인삼특작부 시험포장에 ‘천풍’ 종자를 파종하여 2011년 3월에 채굴한 무게 0.8 - 1.0 g, 길이 13 - 15 cm의 1년생 묘삼을 사용하였으며, 5 cm × 5 cm 간격으로 포트당 24 주씩, 20 cm의 깊이로 이식하였다.

본 시험에서는 염류가 집적된 토양에 사양토와 부엽토를 섞어서 염류 농도를 7수준 (0.45 - 4.50 dS/m)으로 조절하고 크기가 40 cm (길이) × 30 cm (너비) × 30 cm (높이)인 포트에 염분 농도별로 3포트씩 만들어, 5반복 시험하였다.

염류집적 토양은 충북 음성군 농촌진흥청 인삼특작부 인근 비닐하우스 재배농가에서 채취하였으며, 평균적으로 점토 16.4%, 모래 67.6%, 유기물 (OM, Organic matter) 0.65 g/kg을 함유하였고, 염류농도 (EC)는 7.05 dS/m를 나타냈다.

인삼을 이식하기 전에 농촌진흥청 인삼특작부의 포장에서 채취한 사양토 [pH 5.2, EC 0.4 dS/m, 질산태질소 ($\text{NO}_3\text{-N}$) 20.9 mg/kg, 인산 (P_2O_5) 77.0 mg/kg, K^+ 0.3 cmol⁺/kg, Mg^{2+} 2.3 cmol⁺/kg, Na^+ 0.10 cmol⁺/kg, Ca^{2+} 2.3 cmol⁺/kg, 유기물 (OM) 7 g/kg]와 부엽토 [pH 5.0, EC 3.2 dS/m, 질산태질소 ($\text{NO}_3\text{-N}$) 478.1 mg/kg, 인산 (P_2O_5) 719.6 mg/kg, K^+ 1.4 cmol⁺/kg, Mg^{2+} 2.9 cmol⁺/kg, Na^+ 0.07 cmol⁺/kg, Ca^{2+} 7.6 cmol⁺/kg, 유기물 (OM) 35 g/kg]를 2 kg씩 섞어서 염류 농도를 조절하였다.

인삼의 생육특성은 지상부와 지하부로 나누어 처리별 10개 체씩 3반복 조사하였다. 지상부 특성으로는 초장, 엽장 및 엽폭을 조사하였고, 지하부는 근장, 근중, 동체 길이와 두께를 조사하였다. 생리장애는 토양 나트륨 (Na^+)과 밀접한 관련이 있는 잎의 황증과 뿌리의 적면 정도를 조사하였다 (Hyun *et al.*, 2009).

본 시험은 2011년 4월-10월까지 농촌진흥청 인삼특작부 비닐하우스 포장에서 인삼 GAP 표준재배지침서 (RDA, 2009b)에 준하여 수행하였다.

2. 토양 염류농도별 엽록소 형광반응 분석

인삼의 광합성 효율은 포트실험 재료로 포화펄스방식 (Quick and Horton, 1984; Dietz *et al.*, 1985; Schreiber *et al.*, 1986)에 의한 엽록소 형광반응 이미지 분석으로 실시하였으며, Nedbal 등 (2000)과 Park 등 (2010)의 방법에 따라 Image Fluorometer (Handy FluorCam, Photo System Instruments, Drasov, Czech)를 이용하여 인삼 잎의 엽록소 형광반응을 측정하였다 (Fig. 1).

먼저 형광반응을 분석하기위해 염류농도별로 재배된 인삼을 1시간 동안 광을 차단하여 암적응 시켰다. 그리고 측정광

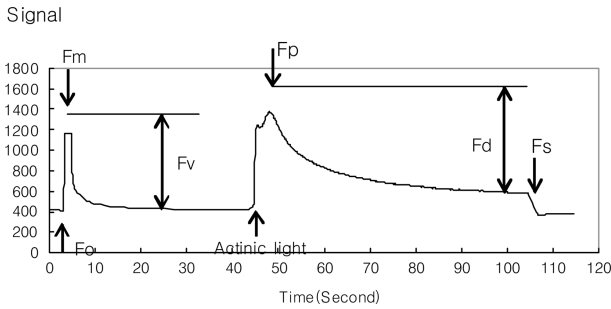


Fig. 1. Measurement of chlorophyll fluorescence from a ginseng leaf by the saturation pulse method using a Image Fluorometer. Fo; Initial fluorescence intensity, Fm; Maximum fluorescence, Fp; Maximum intensity during the rise of the fluorescence at the beginning, Fs; Final steady-state value. $F_v = F_m - F_o$, $F_d = F_p - F_s$.

(measuring light)을 비춰 Fo를 측정한 다음, 암적응된 잎에 포화 플래시 ($2,000 \text{ mol/m}^2/\text{s}$)를 비추어 최대 형광 값인 Fm을 측정하였다. 이후 actinic light ($2,000 \text{ mol/m}^2/\text{s}$)를 조사하여 Fp를 측정하였고, 형광이 계속 감소하여 평형상태에 도달하는 Fs를 측정하였다. 광합성계에서 흡수한 빛 중에서 광계 반응 중심 (reaction center)으로 전달되는 빛의 양을 $F_p - F_s$ (F_d)로 계산하였고, PSII의 광화효율은 전자 전달의 양자수율 (F_d/F_p)로 계산하였다.

3. 인삼 재배지 생리장해 조사

인삼 재배지 생리장해 조사는 강원도 15개소, 경기도 57개소, 충청북도 47개소, 충청남도 30개소, 전라북도 21개소, 경상북도 31개소, 총 6개 도 17개 시군 재배농가의 4년근 포지 249개소를 대상으로 실시하였고, 생리장해 조사는 농촌진흥청의 농업과학기술 연구 조사 분석 기준 (NIAST, 2003)에 준하여 토양 나트륨 (Na^+)과 밀접한 관련이 있는 잎의 황증과 뿌리의 적변을 대상으로 조사하였다 (Hyun *et al.*, 2009).

토양 나트륨 이온 농도가 인삼생리장해에 미치는 영향을 구

명하기 위하여 SAS v9.2 (SAS Institute inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 분산분석, 상관 및 회귀분석 등을 계산하였다.

4. 토양 화학성 분석

토양화학성 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법(NIAST, 2000)에 준하여, pH, EC, $\text{NO}_3\text{-N}$, 유기물, 유효인산, 치환성양이온 K, Ca, Mg, Na 등을 분석하였다. 토양 pH와 EC는 초자전극법을 이용하여 측정하였고, $\text{NO}_3\text{-N}$ 분석은 풍건토양 10 g을 100 ml 삼각플라스크에 넣고 2 M KCl 50 ml를 가하여 30분간 진탕한 후 NO_3^- 2 여과지로 여과한 후 원소자동분석기 (Autoanalyzer3, Bran + Luebbe, Hamburg, Germany)로 자동비색 정량하였으며, 유기물 분석은 Tyurin법으로, 유효인산함량은 Lancaster법으로 측정하였고 (NIAST, 2000), 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, 여과하여 유도결합플라즈마 발광광도계 (ICP, GBC Integra XMP, Braeside, Australia)로 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 토양 염류농도별 인삼 생육특성 변화

염류가 집적된 토양에 사양토와 부엽토를 섞은 7수준의 염류농도별 토양 화학성은 Table 1과 같다. 인삼재배지 선정에 있어 토양화학성의 적합범위 (허용범위)는 pH 5.0 - 6.0 (6.0 - 6.5)이고, 질산태질소 50 mg/kg 이하 (50 - 100), 유효인산 $100 - 250 \text{ mg/kg}$ (250 - 400), 유기물 $10 - 20 \text{ g/kg}$ (20 - 30), 칼륨 $0.30 - 0.70 \text{ cmol}^+/\text{kg}$ (0.70 - 1.00), 칼슘 $3.0 - 5.0 \text{ cmol}^+/\text{kg}$ (5.0 - 6.5), 마그네슘 $1.0 - 2.0 \text{ cmol}^+/\text{kg}$ (2.0 - 4.0)로 되어있다 (RDA, 2009a). 본 연구에 이용된 토양의 경우 염류농도가 적정치보다 매우 높은 3.23, 3.98 및 4.50 dS/m 포트에서만 질산태질소와 칼슘의 함량이 허용범위보다 약간 높았을 뿐 다른 처리에서는 대부분이 허용범위에 포함되었다.

이식 60일 후에 조사한 토양 염류농도별 2년생 ‘천풍’의

Table 1. Chemical components of soil with different levels of salinity.

EC ¹⁾ level (dS/m)	pH	NO ₃ (mg/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	OM (g/kg)	K	Ca	Mg	Na
					Ex. cmol^+/kg			
0.45 ²⁾	5.06	32.2	165.1	10.2	0.32	2.58	0.90	0.12
0.86	5.09	37.7	165.4	10.3	0.26	3.22	1.25	0.21
1.42	5.21	59.5	162.1	10.1	0.32	4.78	1.78	0.40
2.41	5.79	80.5	166.8	10.6	0.54	6.84	2.85	0.70
3.23	5.67	139.8	163.9	10.5	0.58	6.85	3.21	0.84
3.98	5.93	159.0	169.0	10.3	0.62	7.44	3.50	0.93
4.50	6.46	191.0	169.0	10.9	0.70	9.11	4.66	1.40

¹⁾EC; Electric conductivity. ²⁾Control.

인삼 생육에 적합한 토양 나트륨 이온(Na⁺) 농도 구명

Table 2. Leaf characteristics and plant height of 2 year old ginseng on 60 days after transplanting in soil with different salinity levels.

EC ¹⁾ level (dS/m)	Plant height (cm)	Mid leaf Length (cm)	Mid leaf width (cm)
0.45 ²⁾	14.1.4 ^a	7.0.0 ^a	3.6.6 ^{a*}
0.86	13.3.1 ^{ab}	6.8.8 ^a	3.3.5 ^{ab}
1.42	12.0.2 ^b	6.3.8 ^a	3.5.5 ^{ab}
2.41	11.9.5 ^b	6.3.0 ^a	3.1.4 ^{bc}
3.23	10.1.1 ^c	5.2.0 ^b	2.8.6 ^c
3.98	8.8.5 ^c	4.8.9 ^b	2.6.5 ^c
4.50	-	-	-

¹⁾EC; Electric conductivity. ²⁾Control. *Value in a column with a different letter are significantly different using DMRT ($p < 0.05$).

Table 3. Root and taproot characteristics of 2 year old ginseng on 120 days after transplanting in soil with different salinity levels.

EC ¹⁾ level (dS/m)	Root length (cm)	Taproot length (cm)	Taproot diameter (mm)	Root weight (g)
0.45 ²⁾	18.2.1 ^a	8.9.3 ^a	8.2.9 ^a	4.2.8 ^{a*}
0.86	15.4.4 ^a	9.4.3 ^a	6.3.1 ^b	2.9.5 ^b
1.42	15.1.2 ^a	9.8.9 ^a	5.9.1 ^b	2.2.8 ^c
2.41	17.0.3 ^a	10.8.7 ^a	6.2.0 ^b	2.4.8 ^c
3.23	16.3.0 ^a	-	4.5.5 ^c	1.0.3 ^d
3.98	17.5.5 ^a	-	4.4.7 ^c	1.2.6 ^d
4.50	-	-	-	-

¹⁾EC; Electric conductivity. ²⁾Control. *Value in a column with a different letter are significantly different using DMRT ($p < 0.05$).

주요 지상부 생육 특성은 염류농도가 높을수록 유의하게 감소하였으며, 4.0 dS/m 이상의 염류농도에서는 모두 고사하였다 (Table 2). 초장의 경우 대조구 (0.45 dS/m) 14.1 cm 에 비해 염류농도 3.98 dS/m 에서 8.8 cm로 37.6% 감소하였고, 엽장과 엽폭은 7.0 cm 에서 4.8 cm, 3.6 cm 에서 2.6 cm 로 각각 18%씩 감소하였다. 이식 후 120일 경 조사한 토양 염류농도별 2년생 ‘천풍’의 주요 지하부 생육 특성은 Table. 3과 같다. 근장과 뇌두부터 지근까지의 길이를 나타내는 동체장은 대조구 (0.45 dS/m)에 비해 염류농도에 따른 변화를 보이지 않았고, 3.23 dS/m 처리구에서는 지근 발생이 없어 동체장을 측정하지 못했다. 근직경과 근중은 대조구 (0.45 dS/m) 에서 각각 8.2 mm, 4.2 g이던 것이 염류농도 3.98 dS/m 에서 4.4 mm, 1.2 g 으로 각각 46.3%, 71.4%씩 감소하였다. 토양의 염류농도 (EC)에 대하여 인삼이 가장 직접적이고 민감하게 반응하는 부위는 뿌리로 알려져 있는데 (Zeidan *et al.*, 1990; Baligar *et al.*, 1998; Volkmar *et al.*, 1998), 본 연구에서는 염류 농도가 증가할수록 완만하게 생육이 감소되는 지상부와 달리 (Table 2),

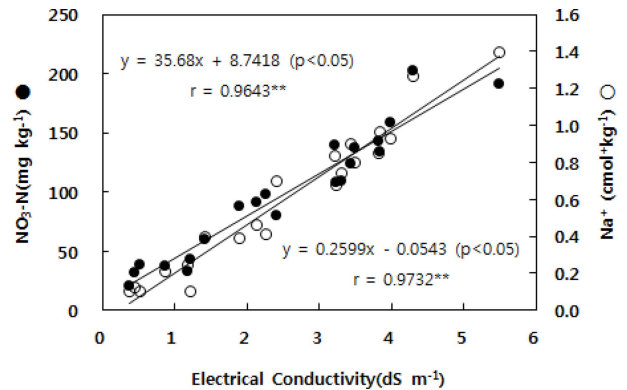


Fig. 2. Relationship between electrical conductivity and nitrate nitrogen (NH₃-N) or sodium (Na⁺) concentration in sandy loam soil. **significant at 1% level.

뿌리의 생육은 급격하게 감소하는 경향을 보였다 (Table. 3). Hanan (1997)은 질소 과잉 시 초기에는 식물체가 진녹색을 띠고 잎이 아래쪽으로 오그라들면서 뒤틀리고 생장이 감소하며, 과잉증상이 심해지면 잎은 황화되고 줄기는 가늘어지고 분지수도 적어진다고 하였다. 인삼에서도 염류농도는 잎의 황증과 뿌리의 적변에 크게 관여한다고 하였고 (Hyun *et al.*, 2009), 질산태질소의 함량과 결주율은 정의 상관관계가 있다고 하였다 (RDA, 2009a). 나트륨 과다는 식물 체내 나트륨 이온 (Na⁺) 농도를 증가시키고, 팽압을 증가시켜 다른 영양분 흡수를 저해함으로써 (Leidi and Saiz, 1997), 양분결핍 현상을 야기하고, 식물체 엽면적 및 건물중을 크게 감소시키는 것으로 알려져 있다 (Kwon *et al.*, 1999).

본 시험에서도 질산태질소 함량이 높은 경우, 생육이 진전되면서 잎의 황증과 뿌리 적변의 발생률이 높아지고, 근장과 근경 등 지하부 생육도 감소하였다. 나트륨의 함량도 높은 경우 뿌리의 생육이 나빠지면서 황증과 적변이 동시에 발생하는 데, 지상부에서는 초장의 감소를 비롯하여 엽장과 엽폭이 줄어 엽면적이 감소하였으며 (Table 2), 지하부 생육에서도 근직경과 근중이 감소되는 경향을 보였다 (Table 3). 또한, 염류농도 (EC)와 질산태질소 (NO₃-N) 및 나트륨 이온 농도 간의 관계를 분석한 상관계수의 값이 질산태질소와는 0.964, 나트륨 이온과는 0.973으로 각각 고도의 유의한 정의 상관인 인정되었고, 나트륨 이온이 질산태질소에 비해 염류농도 증가에 더 깊게 관여하는 것으로 분석되었다 (Fig. 2). 이것은 토양화학 성분 중 잎의 황증에 영향을 미치는 성분은 나트륨, 질산태질소, 염류농도 순이고, 뿌리의 적변 발생률에 영향을 미치는 성분은 염류농도, 질산태질소, 나트륨 순으로 기여한다는 Hyun 등 (2009)의 결과와 일치한다.

2. 토양 염류농도별 인삼의 광합성 효율 분석

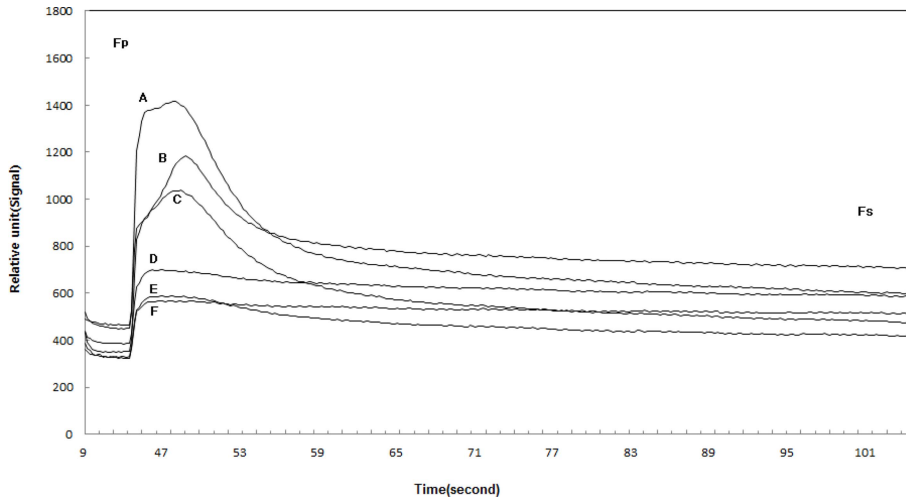


Fig. 3. Chlorophyll fluorescence from a ginseng leaf grown under different levels of soil salinity. Measurement of chlorophyll fluorescence from a ginseng leaf by the saturation pulse method using a Image Fluorometer. Fp; Maximum intensity during the rise of the fluorescence at the beginning, Fs; Final steady-state value. Fd = Fp - Fs. Level of sodium ion concentration, A; 0.12 cmol⁺/kg, B; 0.21 cmol⁺/kg, C; 0.40 cmol⁺/kg, D; 0.70 cmol⁺/kg, E; 0.84 cmol⁺/kg, F; 0.93 cmol⁺/kg.

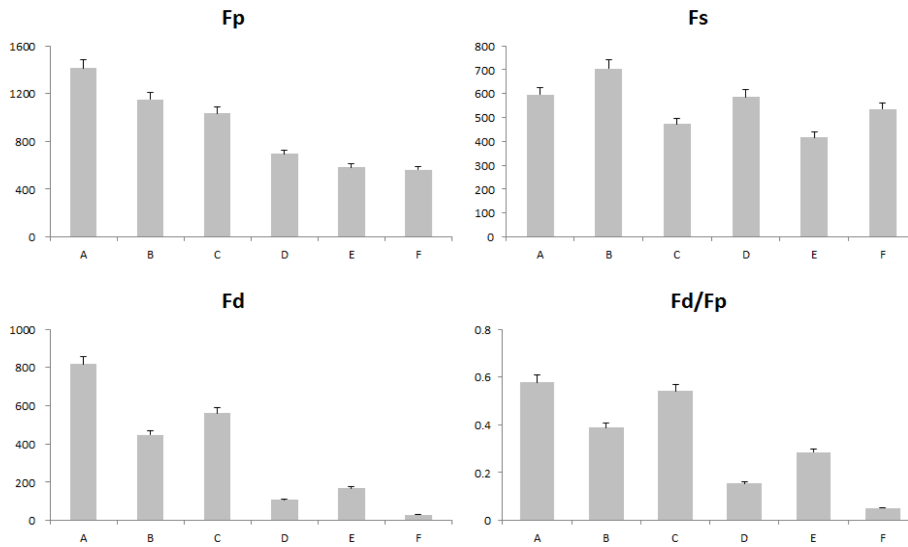


Fig. 4. Changes in Fp, Fs, Fd and Fd/Fp at different sodium concentration using actinic light (2,000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Fp; Maximum intensity during the rise of the fluorescence at the beginning, Fs; Final steady-state value. Fd = Fp - Fs. Level of sodium ion concentration, A; 0.12 cmol⁺/kg, B; 0.21 cmol⁺/kg, C; 0.40 cmol⁺/kg, D; 0.70 cmol⁺/kg, E; 0.84 cmol⁺/kg, F; 0.93 cmol⁺/kg.

염류 농도별로 생육한 인삼 잎의 엽록소 형광반응의 결과는 Fig. 3과 같다. 일반적인 양지식물과 달리 인삼의 경우 반응지 식물로 측정광 및 포화플래시에 의한 Fo, Fm, Fv 값의 오차가 너무 컸다. Won 등 (2008)에 의하면, Fo는 광계 반응 중심 (reaction center)으로 빛 에너지를 전달할 수 없는 엽록소 분자들에 의해 발생하는 형광 반응이고, Fm은 광계II (PhotosystemII, PSII)의 QA (PSII의 최초의 전자 수용체)를

완전히 환원시킬 수 있는 포화광을 조사했을 때 유도되는 최대 형광이나, 이들 두 값은 엽록소의 함량이 많으면 큰 값을 나타내고 잎의 두께나 나이에 따라 값에 차이가 있으므로 두 값의 비, 즉 Fm/Fo를 스트레스 지표로 사용하고, Fv/Fm은 광이 억제된 잎에서 PSII의 기능을 간단하게 측정할 수 있는 지표로 사용한다고 하였다.

그러나 음지식물의 경우 주어진 환경에 적응한 잎이 형성되

어 (Boardman, 1977), 낮은 광량에도 효율적으로 광합성을 할 수 있도록 생리적 및 형태적 특성이 변화되어 있고 (Chazdon and Kaufmann, 1993), 양지식물의 잎에 비해 수광량과 빛의 흡수·이용효율이 높도록 엽면적이 넓으며, 엽록소함량이 높다 (Adams *et al.*, 1990). 특히 PSII의 LHCII (Light harvesting chl-protein complex II)의 함량과 상관성이 높은 엽록소b의 함량이 높아, 엽록소 a/b가 낮으며 (Evans, 1989; Terashima and Hikosaka, 1995), PSII의 2차전자수용체 (P), cytochrome 및 RuBisCO 등의 함량이 낮아 광합성속도가 느리다 (Boardman, 1977). 반음지 식물인 인삼의 경우에도 옥수수나 콩에 비해 PSII에 관여하는 lutein의 함량이 높고, chl a/b 비가 낮다 (Lim and Lee, 1986). 따라서 인삼 잎의 엽록소 활성화반응에서 Fo, Fm, Fv에 오차가 큰 이유는 광합성과 관련된 PSII의 2차전자수용체 (P), cytochrome 및 RuBisCO 등이 측정광 및 포화플래시에 대한 반응이 느리거나, 또는 식물이 광 스트레스를 받으면 Fo가 증가하고 (Lee *et al.*, 1980c) Fm이 감소 (Genty *et al.*, 1989) 한다는 보고처럼, 암적응 상태의 인삼이 포화플래시로 인한 광 스트레스 증가로 Fo와 Fm의 격차가 줄어들어 오차가 커지는 것으로 생각된다.

따라서 본 시험에서는 염류 농도별로 생육한 인삼 잎에 포화플래시를 조사하여 얻은 Fo, Fm, Fv 대신, actinic light ($2,000 \text{ mol/m}^2/\text{s}$)를 조사하여 얻은 Fp, Fs, Fd 및 Fd/Fp 값을 사용하였으며, 그 값을 상대적으로 나타낸 것은 Fig. 4에서 보는 바와 같다.

염류 농도별 인삼 잎의 엽록소 형광 반응 결과 Fp (Elapse time : 47.88s)는 각각 $0.12 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 에서 1,414.4, $0.21 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 에서 1,151.7, $0.40 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 에서 1,034.6, $0.70 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 에서 694.4, $0.84 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 에서 584.3으로 나타났으며, Fs값 (Elapse time : 104.68s)은 각각 $0.12 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 에서 596.5, $0.21 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 에서 704.9, $0.40 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 에서 473.7, $0.70 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 에서 586.6, $0.84 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 에서 417.2로 나타났다 (Fig. 4). 광합성계에서 흡수한 빛 중 광계 반응중심 (reaction center)으로 전달되는 빛의 양을 계산한 Fd의 값은 각각 $0.12 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 에서 817.9, $0.21 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 에서 446.8, $0.40 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 에서 560.9, $0.70 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 에서 107.8, $0.84 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 에서 167.1로 나트륨 이온 농도가 $0.40 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 까지는 유의하게 감소하다가 그 이상의 농도에서는 고도로 유의하게 감소하는 것을 알 수 있다.

PSII의 광화학효율을 보면 전자전달의 양자수율로 계산한 Fd/Fp는 각각 $0.12 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 에서 0.58, $0.21 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 에서 0.39, $0.40 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 에서 0.54, $0.70 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 에서 0.16, $0.84 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 에서 0.29로서, 광화학효율 역시 나트륨 이온 농도가 $0.40 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 까지는 유의하게 감소하다가 그 이상의 농도에서는 급격하게 감소하는 것으로 나타났다. 높은 염류 농도 조건 하에서 자란 식물의 경우 엽록체 내에 thylakoid 및 grana의 수가 감소한다고 하였으며 (Hajibagheri and Flower, 1985;

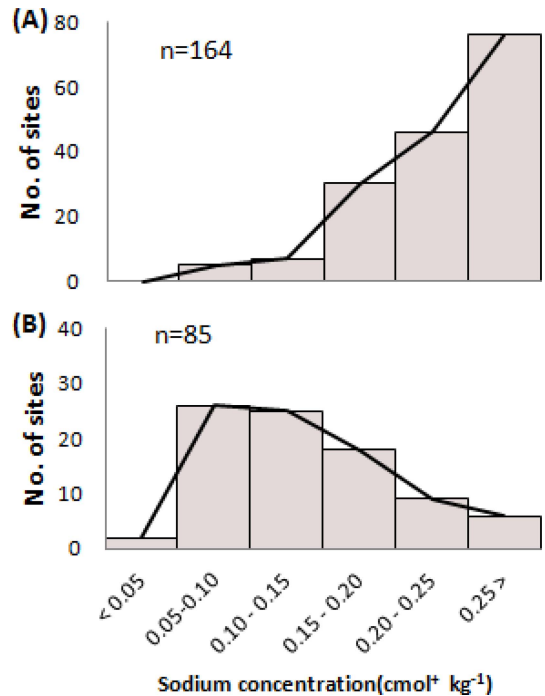


Fig. 5. Relationship between level of sodium concentration and number of sites occurred and non-occurred physiological disorder (leaf discoloration or rusty root) in ginseng fields. (A); Occurred physiological disorder in ginseng fields, (B); Non-occurred physiological disorder in ginseng fields.

Keiper *et al.*, 1998; Chung and Choi, 2003), grana의 미발달은 광합성을 감소시켜 잎과 식물체의 성장을 저해시킨다고 하였다 (Keiper *et al.*, 1998; Chung and Choi, 2003). 본 시험 결과에서 인삼은 나트륨 이온 농도 $0.21 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 부터 엽록체의 손상이 일어나기 시작하고, $0.70 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 부터는 손상이 진행되어 grana의 감소 또는 미발달을 야기해 빛 이용 효율이 현저하게 떨어지는 것으로 생각된다. 따라서 포트 내 적정 나트륨 이온 농도는 $0.21 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 이내일 것으로 보이며, 이 결과는 인삼 측근 발달에 영향을 미치는 나트륨 이온의 농도 ($0.20 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$)와 거의 일치하였다.

3. 인삼 재배지의 생리장해 발생에 따른 토양 나트륨 농도의 분포

전국 총 6개 도, 17개 시군 재배농가 [강원도 15개소, 경기도 57개소, 충청북도 47개소, 충청남도 30개소, 전라북도 21개소, 경상북도 31개소]의 4년근 포지 249개소를 대상으로 생리장해 미발생 및 발생 포지 각각의 나트륨 농도 분포를 조사한 결과는 Fig. 5와 같다.

생리장해가 발생되지 않은 포지에서 나트륨 이온 농도는 조사된 재배농가(85개소)의 60.0% 가 $0.05 - 0.15 \text{ cmol}^+/ \text{kg}$ 범위에

해당되며 생리장해가 발생된 포지에서 나트륨 농도는 조사된 재배농가 (164개소)의 73.9%가 0.2 cmol⁺/kg 이상의 범위에 해당되었으며, 이것은 측근 발생에 영향을 미치는 나트륨 농도 및 광합성 형광반응 실험 결과와 거의 일치한다. Heimann (1966)은 저염류농도 조건에서 Na⁺와 K⁺의 길항작용이 있어 저염류농도 조건에서는 식물의 생육이 대조구보다 더 촉진되나 고염도에서는 양자간에 길항작용이 있어 생육 저해를 받는다고 하였다. 본 시험에서 생리장해가 발생하지 않은 포장 85개소 중 52개소 (61.2%)가 해당된 0.15 cmol⁺/kg 이하의 범위는 K⁺와의 길항작용으로 생육이 촉진되는 적정 범위이고, 뿌리에는 다소 영향을 주지만 잎에는 거의 영향을 미치지 않는 0.15 - 0.2 cmol⁺/kg 범위는 허용범위이며, 생리장해가 발생된 포지 164개소의 73.8% (121개소)가 해당된 0.2 cmol⁺/kg 이상의 범위는 생육 저해를 받는 Na⁺ 과잉 범위라 할 수 있다.

이상의 결과에서 토양 나트륨 이온 함량 기준을 적합, 허용 및 과다로 구분하였을 경우 적합한 0.15 cmol⁺/kg 이하, 허용은 0.15 - 0.2 cmol⁺/kg, 과다는 0.2 cmol⁺/kg 이상으로 추천할 수 있다. 설정된 토양 나트륨 이온 함량 기준은 농촌진흥청 인삼 예정지관리 표준지침 및 표준인삼재배법에 적정 나트륨 농도 설정 기준으로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청에서 주관하는 인삼 품종별 작물학적 특성의 연차별 안정성에 관한 연구(과제번호: PJ00849902)의 연구비 지원으로 수행된 결과로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Adams WW, Winter K, Schreiber U and Schramel P. (1990). Photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics in relationship to changes in pigment and element composition of leaves of *Platanus occidentalis* L. during autumnal leaf senescence. *Plant Physiology*. 92:1184-1190.
- Amitai-Zeigersona H, Scolnik PA and Bar-Zvi D. (1995). Tomato *Asr1* mRNA and protein are transiently expressed following salt stress, osmotic stress and treatment with abscisic acid. *Plant Science*. 110:205-213.
- Baligar VC, Fageria NK and Elrashidi MA. (1998). Toxicity and nutrient constraints on root growth. *HortScience*. 33:960-965.
- Banzai T, Hershkovits G, Katcoff DJ, Hanagata N, Dubinsky Z and Karube I. (2002). Identification and characterization of mRNA transcripts differentially expressed in response to high salinity by means of differential display in the mangrove, *Bruguiera gymnorrhiza*. *Plant Science*. 162:499-505.
- Boardman NK. (1977). Comparative photosynthesis of sun and shade plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 28:355-377.
- Chazdon RL and Kaufmann S. (1993). Plasticity of leaf anatomy of two rain forest shrubs in relation to photosynthetic light acclimation. *Functional Ecology*. 7:385-394.
- Chung HD and Choi YJ. (2003). Ultrastructural changes in leaves of chinese cabbage(*Brassica campestris* ssp. pekinensis) and radicle tissues of radish(*Raphanus sativus*) grown in high soil EC. *Horticulture Environment and Biotechnology*. 44:582-587.
- Chung YR, Ohh SH, Lee IH and Park CS. (1985). Studies on the biological and chemical properties of rusty ginseng root and its causal mechanism. *Korean Journal of Ginseng Science*. 9:24-35.
- Dietz KJ, Schreiber U and Heber U. (1985). The relationship between the redox state of QA and photosynthesis in leaves at various carbon dioxide, oxygen and light regimes. *Planta*. 166:219-226.
- Evans JR. (1989). Partitioning of nitrogen between and within leaves grown under different irradiances. *Australian Journal of Plant Physiology*. 16:533-548.
- Genty B, Briantais JM and Baker NR. (1989). The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta*. 990:87-92.
- Hajibagheri MA and Flower TJ. (1985). Salt tolerance in the halophyte *Suaeda maritima*(L.) Dum. the influence of the salinity of the culture solution on leaf starch and phosphate content. *Plant Cell and Environment*. 8:261-267.
- Hanan JJ. (1997). Greenhouses: Advanced technology for protected horticulture. CRC Press. Boca Raton. FL, USA. p.420-427.
- Heimann H. (1966). Plant growth under saline conditions and the balance of the ionic environment. *In* Boyko H.(ed.). Salinity and aridity. Springer Netherlands. Heidelberg, Germany. p.201-213.
- 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 Medicinal Crop Science*. 17:439-444.
- Jang IB, Hyun DY, Lee SW, Kim YC, Kim JU, Park GC, 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.
- Jang IB, Hyun DY, Lee EH, Park KC, Yu J, Park HW, Lee SW and Kim KH. (2014). Analysis of growth characteristics and physiological disorder of Korean ginseng affected by application of decomposing plant residues in paddy converted field. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 22:140-146.
- 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, Hyun 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.
- Keiper FJ, Chen DM and De Filippis LF. (1998). Respiratory,

- photosynthetic, and ultrastructural change accompanying salt adaptation in culture of *Eucalyptus microcorys*. *Journal of Plant Physiology*. 152:564-573.
- Kim ST, Bae DW, Lee KH, Hwang JE, Bang KH, Kim YC, Kim OT, Yoo NH, Kang KY, Hyun DY and Lim CO.** (2008). Proteomic analysis of Korean ginseng(*Panax ginseng* C. A. Meyer) following exposure to salt stress. *Journal of Plant Biotechnology*. 35:185-193.
- Kwon TR, Harris PJC and Bourne WF.** (1999). Partitioning of Na^+ , K^+ , proline, and total soluble sugar in relation to the salinity tolerance of *Brassica juncea* and *Brassica rapa*. *Journal of the Korean Society for Horticultural Science*. 40:425-430.
- Lee IH, Yuk CS and Park H.** (1989a). Yield and missing plant rate of *Panax ginseng* affected by the annual change in physico-chemical properties of ginseng cultivated soil. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 22:18-24.
- Lee IH, Yuk CS, Han KW, Park CS, Park HS and Nam KY.** (1980a). Influence of various soil characteristics in ginseng field on the growth and the yield of ginseng(*Panax ginseng* C. A. Meyer). *Korean Journal of Ginseng Science*. 4:175-185.
- Lee IH, Yuk CS, Han KW, Nam KY and Bae HW.** (1980b). Influence of soil chemical properties in ginseng field on the growth and the yield of ginseng. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 13:99-105.
- Lee JC, Lee IH and Hahn WS.** (1984). Statistic model by soil physico-chemical properties for prediction of ginseng root yield. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 17:371-374.
- Lee JC, Cheon SK, Kim YT and Jo JS.** (1980c). Studies on the effect of shading materials on the temperature, light intensity, photosynthesis and the root growth of the Korean ginseng (*Panax ginseng* C. A. Meyer). *Korean Journal of Crop Science*. 25:91-98.
- Lee TS, Kim MS and Hong SK.** (1989b). Studies on the marginal leaf chlorosis of ginseng plant. I. The effect of excess manganese uptake on the occurrence of marginal leaf chlorosis. *Korean Journal of Ginseng Science*. 13:105-113.
- Lee TS, Mok SK, Cheon SK, Choi KJ and Choi J.** (1995). Chemical components of rusty root of ginseng. *Journal of Ginseng Research*. 19:77-83.
- Leidi EO and Saiz JF.** (1997). Is salinity tolerance related to Na accumulation in upland cotton(*Gossypium hirsutum*) seedlings? *Plant and Soil*. 190:67-75.
- Lim SU and Lee MK.** (1986). Comparative study on the leaf pigment compositions of Korean ginseng(*Panax ginseng* C. A. Meyer) as shade plant. *Journal of the Korean Agricultural Chemical Society*. 29:219-226.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA).** (2015). Statistical sourcebook of ginseng 2014. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Sejong, Korea. p.2-3.
- Munns R and Tester M.** (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59:651-681.
- Nedbal L, Soukupov J, Kaftan D, Whitmarsh J and Trtlek M.** (2000). Kinetic imaging of chlorophyll fluorescence using modulated light. *Photosynthesis Research*. 66:3-12.
- National Institute of Agricultural Sciences and Technology (NIAST).** (2000). Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Sciences and Technology. Rural Development Administration. Suwon, Korea p.108-149.
- National Institute of Agricultural Sciences and Technology (NIAST).** (2003). Monitoring project on agri-environment quality in Korea. National Institute of Agricultural Sciences and Technology, Rural Development Administration. Suwon, Korea. p.7-55.
- Park H.** (1982). Water physiology of *Panax ginseng* III. Soil moisture, physiological disorder, diseases, insects and quality. *Korean Journal of Ginseng Science*. 6:168-203.
- Park H, Mok SK and Kim KS.** (1982). Relationship between soil moisture, organic matter and plant growth in ginseng plantations. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 15:156-162.
- Park SJ, Kim DY, Yoo SY, Kim HH, Ko TS, Shim MY, Park SH, Yang JA, Eom KC, Hong SH and Kim TW.** (2010). Response of leaf pigment and chlorophyll fluorescence to light quality in soybean(*Glycine max* Merr. var. *Seoritae*). *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 43:400-406.
- Quick WP and Horton P.** (1984). Studies on the induction of chlorophyll fluorescence in barley protoplasts. II. Resolution of fluorescence quenching by redox state and transthylakoid pH gradient. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*. 220:371-382.
- Rural Development Administration(RDA).** (2009a). Ginseng cultivation standard farming textbook(Revised ed.). Rural Development Administration. Suwon, Korea. p.31-37.
- Rural Development Administration(RDA).** (2009b). Good agricultural practice of ginseng(Revised ed.). Rural Development Administration. Suwon, Korea. p.70-147.
- Schreiber U, Schliwa U and Bilger W.** (1986). Continuous recording of photochemical and non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulation fluorometer. *Photosynthesis Research*. 10:51-62.
- Terashima I and Hikosaka K.** (1995). Comparative ecophysiology of leaf and canopy photosynthesis. *Plant Cell and Environment*. 18:1111-1128.
- Volkmar KM, Hu Y and Steppuhn H.** (1998). Physiological responses of plant to salinity: A review. *Canadian Journal of Plant Science*. 78:19-27.
- Won JY, Lee CY, Oh DJ and Kim SM.** (2008). Changes of chlorophyll fluorescence and photosynthesis under different shade materials in Korean ginseng(*Panax ginseng* C. A. Meyer). *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 16:416-420.
- Woo SY, Lee DS and Kim PG.** (2004). Growth and Eco-physiological characteristics of *Panax ginseng* grown under three different forest type. *Journal of Plant Biology*. 47:230-235.
- Yoo SH, Choi WJ and Han GH.** (1999). An investigation of the sources of nitrate contamination in the Kyonggi province groundwater by isotope ratios analysis of nitrogen. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 32:47-56.
- Zeidan I, Azaizeh H and Newmann PM.** (1990). Does salinity reduce growth in maize root epidermal cells by inhibiting their capacity for cell wall acidification? *Plant Physiology*. 93:7-11.