

인삼의 생육시기와 재식위치에 따른 엽록소 형광반응 및 광합성 특성

오동주* · 이충열*[†] · 김성만* · 이관영* · 이수지* · 황대연* · 손흥주* · 원준연**

*부산대학교 생명자원과학대학, **중부대학교 한방건강관리학과

Effects of Chlorophyll Fluorescence and Photosynthesis Characteristics by Planting Positions and Growth Stage in *Panax ginseng* C. A. Meyer

Dong Joo Oh*, Chung Yeol Lee*[†], Seong man Kim*, Guan Ying Li*, Su Ji Lee*, Dae Yon Hwang*, Hong Joo Son* and Jun Yeon Won**

*Natural Resources & Life Science, Pusan National University, Miryang 627-906, Korea.

**Department of Oriental Health Care, Joongbu University, Kumsan 312-702, Korea.

ABSTRACT : As cool-season plant, *Panax ginseng* C. A. Meyer is planted under shade-installation with tall front and low rear. However, at different planting positions, distinct differences come out because ginseng grows at the same position within 3~5 years and the growth circumstance changes a lot by the shade-installation. So, in this study, changes of temperature, photosynthesis and chlorophyll fluorescence with varieties of shading material and planting position were investigated. Light transmittances by polyethylene shade net and silver-coated shading plate as planting materials were measured according to different planting positions. Photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence were measured by LI-6400-40 (Li-Cor). According to different planting positions, light intensity was higher in silver-coated shading plate than in polyethylene shade net, and higher at front than rear. Also, photosynthetic rate showed the same tendency, which had a positive correlation to light intensity. But this treatment caused a lower Fo compared with polyethylene shade net because of the stress by light and temperature. Also, Fv/Fm and ETR were higher in silver-coated shading plate. Fo was similar at front and rear according to silver-coated shading plate and ETR was higher at front.

Key Words : *Panax ginseng*, Planting Positions, Chlorophyll Fluorescence, Photosynthesis Characteristics, Growth Stage

서 언

인삼은 일반식물과 달리 반음지 호냉성 식물로서 고온 및 고광 조건을 선호하지 않아 인위적으로 해가림 시설을 설치하여 재배하는 작물로 인삼에 있어서는 해가림 시설이 매우 중요하다.

현재 널리 사용하고 있는 인삼의 해가림 구조를 살펴보면, 전주가 높고 후주가 낮아서 해가림의 경사도에 따라 유입되는 광량이 인삼의 재식 위치 즉 전주와 후주에 따라 차이가 있고 (Kim *et al.*, 1982; Lee *et al.*, 1987), 해가림 시설의 방향과 그 자재에 따라서도 인삼의 생육에 큰 영향을 받는다고 보고 되어 있다 (Lee 2007a; Lee 2007b; Won *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2009).

인삼의 수확량을 높이기 위해서는 가능한 한 건전한 잎을 오랫동안 지속시켜 생육후기까지 광합성작용을 계속 유지할

수 있도록 최적의 환경조건을 만들어 물질생산을 증대시켜야 한다. Park 등 (1986)은 일반적으로 해가림 내의 광량이 3,000 lux 이하로 낮을 경우에는 근의 비대가 현저히 떨어지며, 반대로 광량이 최적 상태보다 과다하면 엽록소의 파괴로 잎의 기능이 저하되고 조기낙엽이 유도되어 수량감소를 가져온다고 하였고, Lee 등 (1982)은 인삼 해가림 내에서 광량이 많은 전주부근에서 성장한 인삼 잎은 광포화점이 10,000 lux인데 반하여, 광량이 부족한 후주부근에서 성장한 인삼 잎은 광포화점이 4,000 lux로, 전·후주 위치에 따라 서로 다른 광 조건에서 생육한 인삼 잎의 광합성능력은 차이를 보인다고 보고한 바 있다. 또한, Lee 등 (2007)은 봄철 저온기에서 여름철 고온기로 환경이 변화하는 과정에서 인삼의 생육이 진행됨에 따라 광합성능력이 감소하는 경향이 있다고 보고 하였으며, 이러한 원인은 인삼 잎이 여름철의 고온기에 받는 스트레스에 기인하는 것 (Lee *et al.*, 1987)이라고 보고한 바 있으나, 그 원인에

[†]Corresponding author: (Phone) +82-55-350-5503 (E-mail) cylee@pusan.ac.kr

Received 2010 March 9 / 1st Revised 2010 April 5 / 2nd Revised 2010 April 12 / Accepted 2010 April 18

대하여는 구체적으로 구명되어 있지 않다.

인삼에 있어서 광은 광합성을 위한 에너지원으로서 필수적인 요소이나 과다할 경우 광합성작용에 손상을 미칠 수 있고 (Aro *et al.*, 1993; Chown, 1994; Long *et al.*, 1994) 광량이 많아짐에 따라 인삼 잎은 많은 손상을 입어 광화학 반응계가 저해된다 (Baker, 1991)는 보고가 있으나, 인삼의 엽록소형광 반응과 이에 관련된 광합성 등에 관한 연구는 많이 이루어지지 않았다.

따라서, 본 연구에서는 인삼의 생육시기별로 재식위치에 따라 엽록소 형광반응과 광합성속도 및 기공전도도 등을 조사하여 인삼의 광스트레스에 대한 생리적 특성을 구명하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 시험재료 및 재배관리

본 실험은 2008년 1년생 묘삼 (자경종)을 인삼재배 독농가로부터 분양을 받아서 부산대학교 부속농장에 이식하였다. 재배방법으로서, 예정지 관리는 잘 썩은 퇴비 (청초 70%+ 톱밥 20%+ 축분 10%)를 2,000 kg/10a의 수준으로 전면에서 고루 뿌린 다음, 로터리로 잘 뒤섞은 후 두둑과 이랑을 만들었다. 두둑과 이랑은 두둑높이 25 cm, 폭 90 cm, 이랑 폭 90 cm로 만든 다음 묘삼 이식기를 이용하여 조간 15 cm 간격으로 칸 (180 × 180 cm)당 6행 9열, 54주를 이식하였다. 포장에 인삼을 이식한 후 상토의 상면을 벅짚으로 덮어 잡초의 발생 및 수분의 증발을 방지하였다. 해가림 재료는 비누수 광반사 차광판을 이용하였으며, 해가림 구조는 후주연결식으로 전주높이는 180 cm, 후주높이는 100 cm로 설치하였다. 기타 재배관리는 농촌진흥청 인삼표준재배법에 준하여 실시하였다.

2. 엽록소 형광반응 및 광합성속도 측정

생육조사는 정상적으로 생육하고 있는 3년생 인삼 잎을 대상으로 엽록소 형광반응, 광합성속도, 기공전도도, 엽록소 함량 및 광량을 생육시기별로 조사하였다. 광량의 측정은 Li-Cor사의 LI-2000을 이용하여 재식위치를 전주, 중주, 후주로 구분하여 인삼 잎의 위치에서 광량을 측정하였고, 광합성속도는 Li-Cor사 (USA)의 LI-6400-40을 이용하였는데, 정상적으로 생육한 개체에서 완전히 전개한 인삼 잎을 측정 대상으로 하여 전 생육 기간 동안 동일한 잎을 3반복으로 측정하였다. 측정 조건으로서 Flow rate는 500, CO₂농도는 350으로 고정하였으며, 인공광선은 0, 50, 150, 200, 400, 600, 800, 1000 μmol²s⁻¹의 광량을 인위적으로 조사하여 측정하였다. 엽록소 형광반응은 Li-Cor사의 LI-6400-40을 이용하여 측정하였는데, 측정 전 인삼의 잎을 일정한 시간 동안 암처리하여 암에 적응된 잎에 광을 조사하여 PS II 형광에 대한 양자수율을 측정하고,

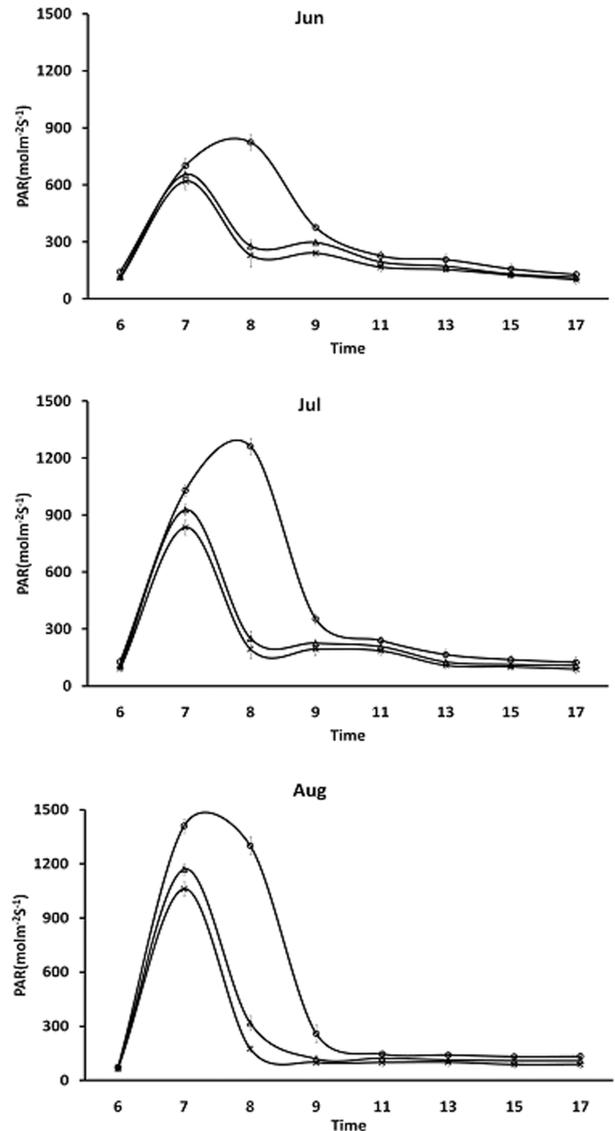


Fig. 1. Changes of PAR(photosynthetic active radiation) according to different planting positions and growth stages (○: Front, △: Center, ×: Rear).

바로 이어서 최적 광을 일정한 시간 동안 인삼의 잎에 조사하여 광의 강도에 적응시킨 후 PS II의 흡수 광에 대한 광화학 효율을 측정하였다. 광합성속도 및 엽록소 형광반응의 측정이 종료된 후, 인삼 잎의 엽록소 함량을 미놀타 SPAD 502로 조사하여 SPAD 값으로 표기하였다.

결과 및 고찰

1. 재식위치별 광량의 일변화

재식위치에 따라 해가림의 광 환경을 조사하기 위하여 생육 시기별로 광량을 측정된 결과는 Fig. 1에서 보는 바와 같다.

인삼의 재식위치별 엽록소형광과 광합성

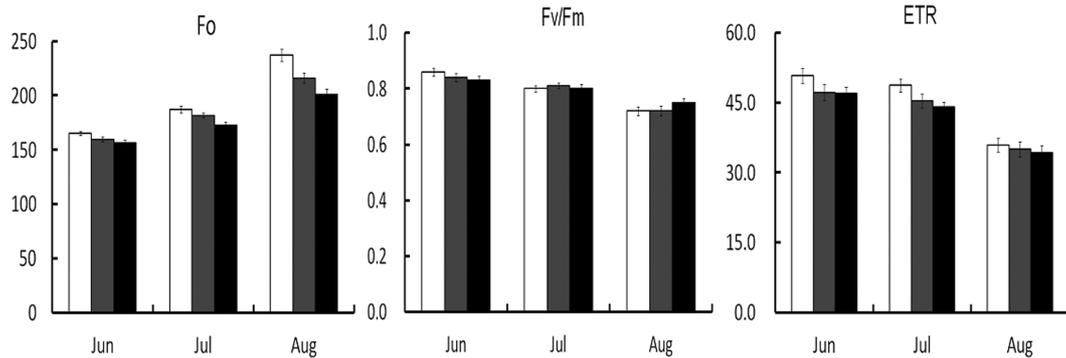


Fig. 2. Changes of chlorophyll fluorescence according to different planting positions and growth stages (□: Front, ■: Center, ■: Rear).

재식위치별로 입사광량을 살펴보면, 아침 일사량이 먼저 차단되는 후주가 가장 적은 경향을 보였으며, 전주는 아침 일사량이 늦게까지 들어옴으로서 광량이 가장 많았고, 중주는 그 중간을 나타내었으나 후주에 가까운 광량을 보였다. 광량의 차이는 인삼의 근수량에도 영향을 미쳐, 후주보다 전주부근의 인삼 개체중이 큰 것으로 알려져 있다 (Jo *et al.*, 1998). 생육시기별로는 6월에서 8월로 갈수록 광량이 높은 경향이었는데, 8월의 평균 광량은 PAR (Photosynthetic active radiation) $1,500 \mu\text{mol}^{-2}\text{s}^{-1}$ 을 나타낸 반면에 6월의 PAR은 $900 \mu\text{mol}^{-2}\text{s}^{-1}$ 정도를 나타내고 있다. 일중 시간대별로 조사된 광량은 6월과 7월 및 8월 모두에서 오전 8시를 정점으로 감소하는 경향을 보이고 있는데, 이는 관행 및 개량해가림의 광합성 일반화와 유사한 경향이나 감소폭에는 다소 차이가 있다 (Jo *et al.*, 1998).

2. 재식위치별 엽록소 형광반응의 차이

생육시기에 따라 재식위치별 인삼 잎의 엽록소 형광반응은 Fo (ground fluorescence, 용기 (隆起)된 상태의 광화학계 II (PS II)의 형광수율), Fv (maximum variable fluorescence)/Fm (maximum variable fluorescence)비 및 ETR (Electron transport rate)로 표기하여 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 재식위치에 따른 Fo는 후주위치의 인삼보다는 전주위치의 인삼이 높은 경향이였으며, 생육시기가 진행될수록 Fo값이 증가하는 경향을 보여 고온과 고광에 의한 스트레스를 많이 받는 것으로 나타났다. 후주위치의 인삼은 상대적으로 낮은 수치를 보임으로서 고온과 고광에 대한 스트레스를 적게 받는 경향이었는데, 이는 Lee 등 (1980)의 결과와 일치하였다. 생육시기별 조사에서는 6월에는 전주, 중주, 후주의 Fo값이 비슷하였으나, 생육이 진행됨에 따라 차이를 나타내어 8월에는 전주의 Fo값이 큰 폭으로 증가하였는데, 이는 인삼이 6월 저온시기에는 광에 대한 스트레스가 적어 전주, 중주, 후주간의 큰 차이가 발생하지 않았지만, 생육이 진행 할수록 8월의 고온시기에는 고광에 의한 스트레스를 많이 받는 것으로 사료된다. 또한, 6월 저온시기에는 엽록소 함량이 높고 잎의

생육이 왕성하지만 고온시기에 고광을 받은 전주의 경우, 엽록소 함량이 낮아지고 잎이 쇠약해져 여러 병 장애를 받을 뿐만 아니라 생육도 저해되는 경향이 있어 고온시기에는 고광에 대한 잎의 스트레스를 줄이는 기술이 필요할 것으로 생각하며, Cheon 등 (2004) 생육시기별 광량 조절과 농가에서 봄, 가을 보다 여름철에 차광을 두껍게 하여 재배 할 때 생육이 더 좋은 경우도 광에 의해 잎에 스트레스를 적게 받기 때문이라고 밝힌 바 있다.

Fv/Fm 값은 광이 억제된 잎에서 광계 II의 기능을 측정할 수 있는 지표로서, 식물은 높은 광량보다 낮은 광량에서 생장되었을 때에 광 억제에 더욱 민감하다 (Demming and Bjorkman, 1987). 낮은 광량에서 적응된 식물이 높은 광량에 노출되었을 때 광 억제가 민감한 이유는 광계 II에서, 낮은 광량에서 자란 식물의 안테나 크기가 높은 광량에서 자란 식물보다 크고, 광합성율이 낮으며, 크산토펜 회로에 의한 zeaxanthin 형성 능력의 저하로 D1 단백질의 수전율이 감소하기 때문이라는 보고 (Powles, 1894; Tyystjarvi *et al.*, 1991)도 있다.

본 실험에서 Fv/Fm 값을 조사하였던 바, 생육시기가 진행될수록 Fv/Fm 값이 감소하는 경향이었고, 재식위치별로는 일정한 경향은 없었으나 전주의 경우, 생육시기가 진행될수록 Fv/Fm 값이 감소하는 경향이였다.

Gent *et al.* (1989)이 제시한 방법으로 chlorophyll 형광으로부터 전자전달속도 즉 ETR (Electron transport rate)을 추정하여 보았던 바, 재식위치별로 조사된 ETR은 광량이 높은 전주가 후주보다 높은 경향이였으며, 생육시기가 진행될수록 전자전달속도도 감소하였다. 이는 6월 저온시기에 잎이 고광을 받아 전자전달 속도가 높아지는 경향이 있으며, 생육시기가 진행 할수록 8월에는 고온, 고광에 대한 스트레스가 높아져 잎의 생육이 저해를 받아 전자전달 속도도 감소하는 경향이 있다. 그러므로, 봄철에 인삼의 생육이 왕성하였다가, 여름철이후 ETR 값이 적어져 생육이 낮아지는 요인으로 분석 된다.

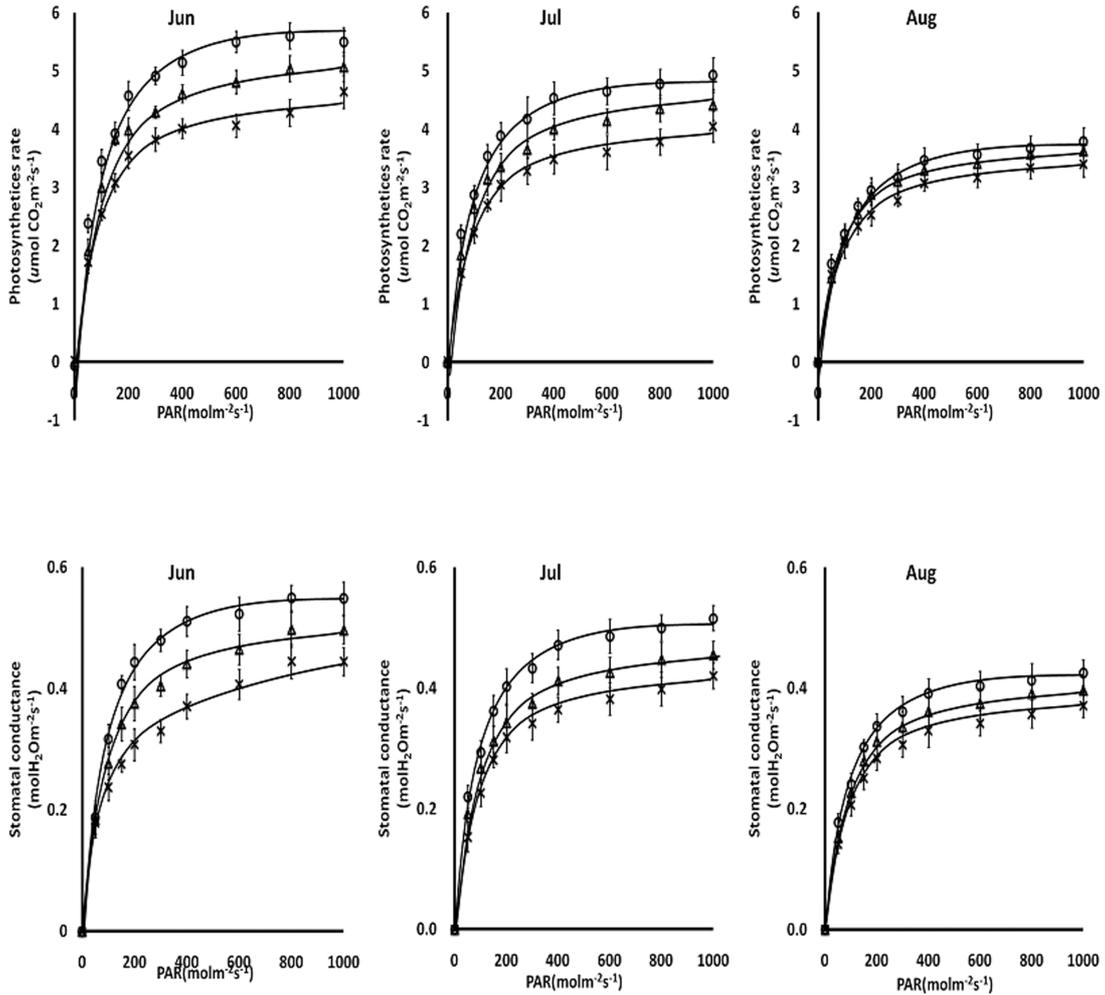


Fig. 3. Changes of photosynthetic rate and stomatal conductance according to different planting positions and growth stages in different light intensities (○: Front, △: Center, ×: Rear).

3. 광 강도별 광합성속도 및 기공전도도의 변화

인삼의 생육시기에 따라 재식위치별로 광합성속도 및 기공전도도를 측정된 결과, Fig. 3에서 보는 바와 같다. 인삼의 광합성은 모든 재식위치에서 광의 강도가 증가함에 따라 광합성속도도 증가하는 경향이었는데, PAR 200~400 $\mu\text{mol}^{-2}\text{s}^{-1}$ 부근에서 최고치를 보였으며 그 이후의 광량에는 큰 변화없이 일정한 경향을 보였고, 광량을 많이 받는 전주에서 광합성속도가 더 증가하는 경향을 보였다. 생육시기가 진행될수록 광합성속도는 감소하는 경향이었는데, 6월에는 전주, 중주, 후주에 따라 인삼의 광합성속도가 큰 폭의 차이를 보였으나, 8월에는 재식위치별로 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 이와 같은 결과는 생육초기 비교적 저온시기의 경우, 광량이 많을수록 광합성속도가 증가하고, 생육후기의 고온기에는 광량이 많을 경우 광합성속도가 감소하며 전주, 중주, 후주별 광합성속도의 차이는 8월보다 6월에서 크게 나타난 바, 인삼 잎은 저온시기에 동일

광량에 대하여 광합성 효율이 높아지는 것으로 사료된다.

기공전도도는 기공개도의 척도를 측정하는 중요한 요소로서 광합성과 매우 중요한 관련형질이다. 따라서 생육시기별 재식 위치에 따라 기공전도도를 측정된 결과를 동일 그림에서 살펴보면, 광의 강도가 증가할수록 광합성과 같이 증가하는 경향이었는데, PAR이 200~400 $\mu\text{mol}^{-2}\text{s}^{-1}$ 까지 증가한 후에는 거의 일정한 경향을 보였는데, 이는 Won 등 (2008)의 보고와도 일치하였다. 재식위치별로는 후주보다 전주의 위치에서 기공전도도가 더욱 증가하는 경향을 보였고, 생육시기가 진행될수록 기공전도도는 감소하는 경향을 보이고 있는데, 이는 잎의 노화가 진행되고 엽록소 함량이 감소함에 따라 기공저항이 증가한 결과로 판단된다. 이상의 결과에 검토한 바와 같이 인삼은 광 환경에 따라 광합성과 기공에 매우 민감한 반응을 보이며 엽록소 형광반응과 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 부산대학교 자유과제 학술연구비에 의하여 연구되었기에 이에 감사드립니다.

LITERATURE CITED

- Aro Em, Virvin I and Andersson B.** (1993). Photoinhibition of photosystem II. Inactivation, protein damage and turnover. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1143:113-134.
- Baker NR.** (1991). A possible role for photosynthesis II. In environmental perturbations of photosynthesis. *Physiologia Plantarum*. 81:563-570.
- Cheon SK, Lee TS, Yoon JH, Lee SS and Mok SK.** (2004). Effect of light transmittance control on the root yield and quality during the growing season of *Panax ginseng*. *Korean Journal Ginseng Science*. 28:196-200.
- Chowm WS.** (1994). Photoprotection and photoinhibitory damage. *Molecular Cell Biology*. 10:151-196.
- Demming B and Bjorkman O.** (1987). Comparison of the effect of excessive light of chlorophyll fluorescence(77k) and photon yield of O₂ evolution in leaves of higher plants. *Planta*. 171:171-184.
- Gent 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.
- Jo JS, Mor SK and Won JY.** (1998). *New ginseng cultivation*. Seon Jin Cultural History Press, Seoul, Korea. pp. 186-187.
- Kim JM, Lee SS, Cheon SR and Cheon SK.** (1982). Relationship between environmental conditions and the growth of ginseng plant in field I. Productive structures as affected by planting positions and ages. *Korean Journal Crop Science*. 27:94-98.
- Kim MJ, Li XG, Han JS, Lee SE and Choi JE.** (2009). Effect of blue and red LED irradiation on growth characteristics and saponin contents in *Panax ginseng* C. A. Meyer. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 17:187-191.
- Lee CY.** (2007a). Effects of shading material of rain shelter on growth and quality in *Panax ginseng* C. A. Meyer. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 15:291-295.
- Lee CY.** (2007b). Characteristics of photosynthesis with growing stages by different shading materials in *Panax ginseng* C. A. Meyer. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 15:276-284.
- Lee JC, Cheon SK, Kim YT and Jo JS.** (1980). 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 SS, Cheon CK and Mok SK.** (1987). Relationship between environment conditions and growth of ginseng (*Panax ginseng* C. A Meyer). *Korean Journal of Crop Science*. 32:256-267.
- Lee SS, Kim JM, Cheon SK and Kim YT.** (1982). Relationship between environmental conditions and the growth of ginseng plant in field II. Light intensity under shading materials and photosynthesis. *Korean Journal Crop Science*. 27:169-174.
- Long SP, Humphries S and Faljowski PG.** (1994). Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Annual Review of Plant Physiology*. 45:633-662.
- Lee SW, Kim GS, Lee MJ, Hyun DY, Park CG, Park HK and Cha SW.** (2007). Effect of blue and yellow polyethylene shading net on growth characteristics and ginsenoside contents in *Panax ginseng* C. A. Meyer. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 15:194-198.
- Park H, Lee MG and Lee JR.** (1986). Photosynthesis and respiration of ginseng leaf and root in relation to senescence of aerial part. *Korean Journal Ginseng Science*. 10:180-186.
- Powles SB.** (1984). Photoinhibition of photosynthesis induced by visible light. *Annual Review of Plant Physiology*. 35:15-44.
- Tyystjarvi E, Koivuniemi A, Kettinen R and Aro EM.** (1991). Small light-harvesting antenna does not protect from photoinhibition. *Plant Physiology*. 97:477-483.
- 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.