

해가림자재에 따른 인삼의 엽록소 형광 반응 및 광합성 변화

원준연* · 이충열**† · 오동주** · 김성만**

*중부대학교 한방건강관리학과, **부산대학교 생명자원과학대학

Changes of Chlorophyll Fluorescence and Photosynthesis under Different Shade Materials in Korean Ginseng(*Panax ginseng* C. A. Meyer)

Jun Yeon Won*, Chung Yeol Lee**†, Dong Joo Oh**, and Sung Man Kim**

*Dept. of Oriental Health Care, Joongbu Univ. Kumsan 312-702, Korea.

**School of Bio-Resources, Pusan Natl. Univ. Miryang 627-906, Korea.

ABSTRACT : This study was conducted to investigate the influence of shading material on the chlorophyll fluorescence, photosynthesis, transpiration, stomatal conductance and its any correlations in *Panax ginseng* C.A.Meyer. Fo was higher in polyethylene shade net than in silver-coated shading plate, but this treatment caused a lower Fm in comparison with silver-coated shading plate. Also, Fv/Fm and PhiPS2 showed higher in silver-coated shading plate than in polyethylene shade net. The relationship between net photosynthetic rate and transpiration, stomatal conductance were increased as the PAR (Photosynthetic active radiation) was increased and reached maximum at the 200-400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ of PAR in all of leaves, and the higher in silver-coated shading plate than in polyethylene shade net. A linear equation was obtained between net photosynthetic rate and transpiration, net photosynthetic rate and stomatal conductance. SPAD was higher in silver-coated shading plate than in polyethylene shade net.

Key Words : Chlorophyll fluorescence, Photosynthesis, Transpiration, *Panax ginseng*, Shade Material

서 언

인삼은 일반식물과는 달리 서늘한 기후와 약광을 선호하는 반음지성 식물로서 태양광선을 받으면 photobleaching process 현상이 일어나 인위적으로 해가림 시설을 하여 재배를 하고 있다.

인삼의 해가림 시설은 해가림 방향과 자재에 따라 시설내 미기상에 큰 영향을 미친다. 해가림 방향은 많은 연구가 이루어져 표준화 되어 있으나 (Lee et al., 2006), 해가림 자재는 과거에는 볏짚을 많이 이용하여 왔으나 볏짚 해가림은 설치하는데 많은 노동력을 필요로 하고 내구성이 약하며 또한 볏짚이 조사료로 이용되어 구입이 용이하지 못한 바, 근래에는 4중직 폴리에틸렌 차광망을 많이 사용하는 경향이 있다 (Mok et al., 1994). 그러나, 차광망은 망 사이로 유입되는 누수로 인하여 인삼의 뿌리에 근부병 등을 발생시키는 문제점을 가지고 있고, 고온과 고광 및 누수 등의 복합적인 요인에 의하여 조기 낙엽을 유발시킴으로서 수량의 감소와 품질의 저하를 초래하고 있다. 최근에는 각 독농가에서 체계적인 연구가 이루어

어지지 않은 차광지 및 은박차광판 등의 다양한 해가림 자재를 이용하고 있어서 이에 대한 체계적인 연구의 수행이 시급히 요청되고 있는 실정이다.

한편 인삼 해가림 자재 및 환경이 광합성에 미치는 영향은, 해가림 자재는 투광량에 영향을 미치는데 특히 여름철 고온기에는 인삼의 생육에 고온 stress를 주고 (Lee et al., 1987), 인삼의 해가림 자재는 인삼의 수량 증가에도 영향을 미치며 (Park et al., 1980), 빛은 광합성을 위한 에너지원으로서 필수적인 요소이나 과다해질 경우 광합성작용에 손상을 미칠 수 있다 (Aro et al., 1993; Chown, 1994; Long et al., 1994)고 하였다. 또한 인삼은 고온의 stress에 의해서 가장 많은 손상을 입는 식물로서 광화학반응계가 저해된다고 하였고 (Baker, 1991), 인삼 잎의 엽록소 함량은 광량이 증가할수록 감소한다고 한다고 보고한 바 있다 (Lee, 2007).

이상에서 살펴 본 바와 같이, 인삼에 있어서 광은 인삼의 생육 및 수량에 매우 중요한 영향을 미치는 바, 광의 투과를 좌우하는 해가림의 자재는 인삼 재배에서 대단히 중요하다. 특히 새로운 해가림 자재의 광 환경에 따른 인삼의 광

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

Received September 16, 2008 / Revised October 15, 2008 / Accepted December 7, 2008

합성에 대한 연구는 진보 (Lee, 2007)에서 밝힌 바 있으나, 인삼 잎의 엽록소 형광과 관련연관성에 관해서는 연구된 바 없다.

따라서, 본 연구에서는 서로 다른 해가림 자재 하에서 생육한 인삼 잎의 엽록소 형광 반응과 광합성과의 관계를 구명하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 공시재료 및 재배 방법

본 실험은 2004년 1년생 묘삼 (자경종)을 인삼재배 독농가에서 분양받아 이식하였다. 재배 방법으로서, 예정지 관리는 잘 썩은 퇴비 (청초 70% + 톱밥 20% + 축분10%)를 2,000 kg/10a의 수준으로 전면에 고루 뿌린 다음, 로터리로 잘 뒤섞은 뒤에 두둑과 이랑을 만들었다. 두둑과 이랑은 상토높이 25 cm, 폭 90 cm, 이랑 폭 90 cm로 만든 다음에, 인삼 이식기를 이용하여 15 cm 간격으로 묘삼을 이식하였고, 포장에 인삼을 이식한 후 상토의 상면을 벚짚으로 덮어 잡초의 발생 및 수분의 증발을 방지하였으며 기타 재배방법은 농촌진흥청 인삼표준재배법에 준하였다.

2. 해가림재료

해가림 재료는 기 보고된 방법 (Lee, 2007)과 같이 관행구로 4중직 차광망과 실험구로 은박차광판의 2가지로 하였다. 해가림 구조는 후주연결식으로 차광망은 전주높이 180 cm, 후주높이 100 cm로 하였고, 은박차광판은 전주높이 160 cm, 후주높이 100 cm로 하였다.

3. 조사방법

생육조사는 4년생 인삼 (2007년)을 대상으로 엽록소 형광 반응, 광합성속도, 증산작용, 기공전도도 및 엽록소 함량 등을 측정하였다. 측정 대상 잎은 정상적으로 생육한 개체를 선별하여 완전히 전개한 잎을 이용하여 전 생육기간 동안 동일한 잎을 추적, 3반복으로 조사하였다. 측정 방법으로는 엽록소 형광, 광합성속도, 증산작용, 기공전도도, 세포간극내 이산화탄소는 LI-6400 휴대용 광합성 측정 장치를 이용하여 측정하였고, 광량에 따른 광합성속도의 변화는 LI 6400-02 LED의 인공광선을 이용하여 0, 100, 300, 500, 700, 1000, $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 광량을 인위적으로 조절하여 측정하였다. 엽록소 형광반응은 LI-6400-40 (Li-Cor사)을 이용하여 잎을 일정한 시간 동안 암처리 후, 포화광을 조사하여 Fo값을 측정하였고 다시 일정한 시간 동안 명처리후에 포화광을 조사하여 Fm값을 측정하였으며 Fo와 Fm의 값에서 Fv를 구하였다. 광합성속도의 측정이 종료되면 잎의 엽록소 함량을 미놀타 SPAD 502를 이용하여 SPAD 값을 3반복으로 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 엽록소 형광 반응

해가림 자재가 다른 조건에서 생육한 인삼 잎의 엽록소 형광 반응을 측정하여 Fo, Fv, Fv/Fm 비 및 PhiPS2를 상대적으로 나타낸 것은 Fig. 1에서 보는 바와 같다.

Fo는 용기 (隆起)된 에너지가 광계 II (photosystem II ; PS II) 반응 중심으로 이동하기 전 광계 II 안테나의 용기된 엽록소 분자들에 의하여 발생하는 형광 반응이다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 은박차광판이 차광망에 비하여 감소하는 비율이 낮은 경향을 보였는데, Harris and Heber (1993)은 Fo가 감소하는 원인은 광계 II 반응 중심의 색소에서 흡수한 에너지가 광계 반응 중심으로 전달되지 않고 열로 소모되는 경로가 확대될 때 일어난다고 하였다. 또 Lee *et al.*, (1980)은 식물에서 광 스트레스를 받을 경우 Fo 값이 증가하는 것으로 보고 한 바 있는데, 본 실험에서도 차광망이 은박차광판에 비하여 광량이 높아 Fo 값이 증가한 것으로 사료된다.

Fm은 Q_A 를 완전히 환원시킬 수 있는 포화광을 조사했을 때 유도되는 최대 형광을 말하는 것인데, 차광망의 Fm은 749이고, 은박차광판의 Fm은 987로서 차광망에 비하여 은박차광판의 Fm이 높은 경향으로 나타났다. 광 스트레스를 받은 식물에서는 보통 Fm이 감소한다 (Genty *et al.*, 1989)고 알려져 있는데, 본 실험에서도 동일한 결과를 나타내었다.

Fv/Fm 값은 광이 억제된 잎에서 광계 II의 기능을 간단하게 측정할 수 있는 지표로 사용되는데, 높은 광량보다 낮은 광량에서 식물이 생장되었을 때 광 억제에 보다 민감하다 (Demming and Bjorkman, 1987)고 하였다. 낮은 광량에 적응된 식물이 높은 광량에 노출되었을 때 광 억제에 민감한 원인은 광계 II의 안테나 크기가 낮은 광량에서 자란 식물이 높은 광량에서 자란 식물보다 크고, 크산토펜 회로에 의한 zeaxanthin 형성 능력의 저하로 인하여 D1 단백질의 수전율이 감소하기 때문이라는 보문 (Powles, S.B., 1984; Tyystjarvi *et al.*, 1991)도 있다. 본 실험에서 Fv/Fm 값을 조사하였던 바, 차광망에서는 0.779, 은박차광판에서는 0.810으로 은박차광판보다는 차광망의 값이 낮았는데, 이는 차광망이 은박차광판보다 광의 피해를 좀 더 받은 것으로 사료된다.

PhiPS2는 광계 II의 양자수량 또는 광계 II의 유효 양자수율이라고 하는데, 이는 광합성을 하고 있을 때의 유효 양자수율, 즉 화학에너지 생산에 사용된 광 에너지의 전광 에너지에 대한 비율을 뜻한다. 본 실험에서 PhiPS2는 차광망에서는 0.263을, 은박차광판에서는 0.311을 보였는데, 이는 광계 II로부터 광계 I (photosystem I; PS I)으로의 전자전달 감소를 억제하는 부분이 은박차광판이 더 효율적임을 의미하는 것이다.

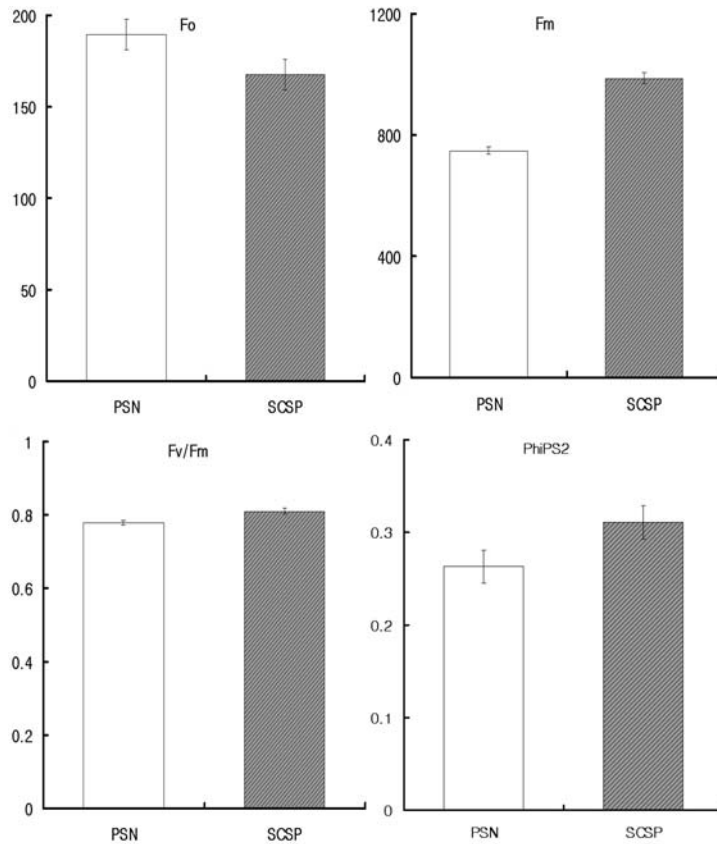


Fig. 1. Changes in Fo, Fm, Fv/Fm and PhiPS2 at different shading material. (PSN : Polyethylene shade net, SCSP : Silver-coated shading plate).

2. 광 강도별 광합성속도 및 기공전도도의 변화

앞에서 검토한 바와 같이 은박차광판에서 엽록소 형광에 좋은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과가 광합성 및 관련형질에도 동일한 영향을 미치는가를 알아보기 위하여 서로 다른 해가림 자재 하에서 생육한 인삼의 잎을 대상으로 광량에 따른 광합성속도 및 기공전도도를 조사하였던 바는 Fig 2와 3에서 보는 바와 같다. 광의 강도가 증가함에 따라 광합성속도도 증가하는 경향이었는데, PAR (Photosynthetic active radiation) 200-400 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상에서는 거의 일정한 경향을 보였으며, 차광망보다는 은박차광판에서 높게 나오는 경향을 보였다 (Fig. 2). 기공전도도도 광의 강도가 증가 할수록 증가하는 경향이었는데, 은박차광판이 차광망에 비하여 더 높은 경향이 있었다 (Fig. 3). 이는 차광망에 비하여 은박차광판의 광량이 낮아 은박차광판에서 생육한 인삼 잎이 엽록소 함량도 높고, 엽록소 형광 저해가 낮기 때문인 것으로 사료되는데 (Fig. 4), 이는 앞서 보고된 연구와 동일한 결과이다 (Lee, 2007). 인삼의 엽록체가 강광에 노출되었을 때 singlet oxygen ($^1\text{O}_2$)이 다량 생성되는 원인은 광합성의 전자전달계 활성화와 매우 밀접한 관계가 있다 (Yang, *et al.*, 1989)고 한 보문도 있

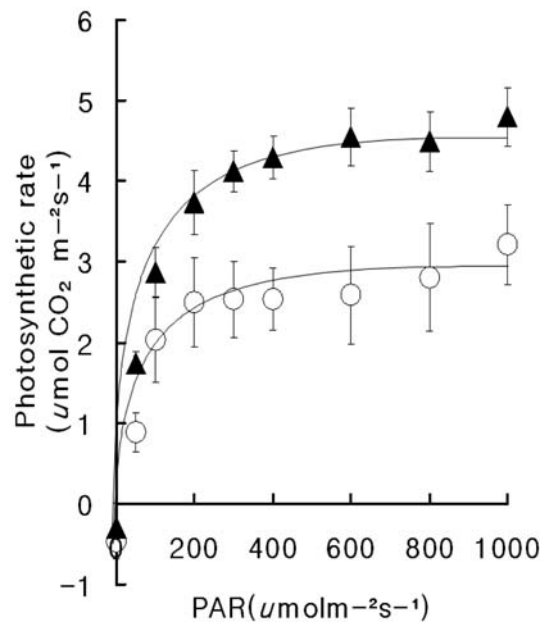


Fig. 2. Changes of net photosynthetic rate according to PAR. PAR: Photosynthetic active radiation (O: Polyethylene shade net, ▲: Silver-coated shading plate).

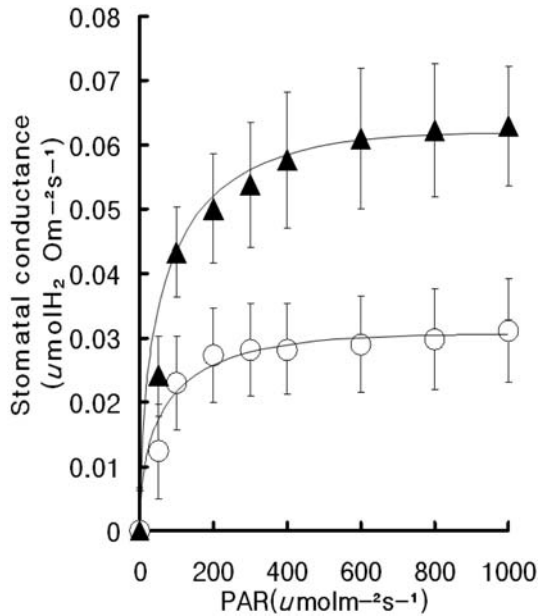


Fig. 3. Changes of stomatal conductance according to PAR. PAR:Photosynthetic active radiation. (○:Polyethylene shade net, ▲: Silver-coated shading plate).

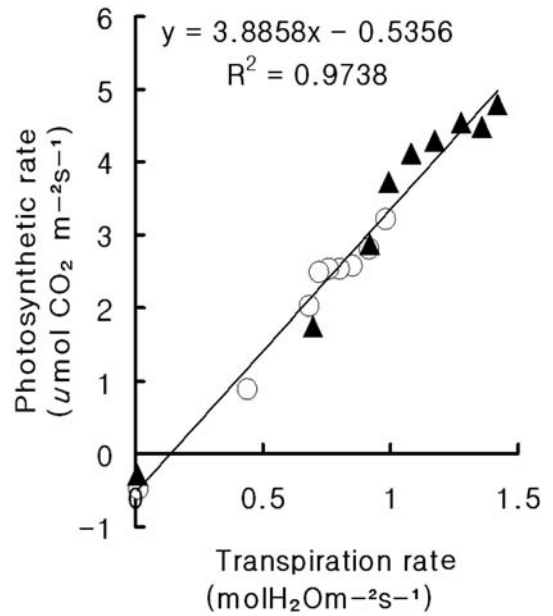


Fig. 5. Relationship between net photosynthetic rate and transpiration rate. (○:Polyethylene shade net, ▲: Silver-coated shading plate).

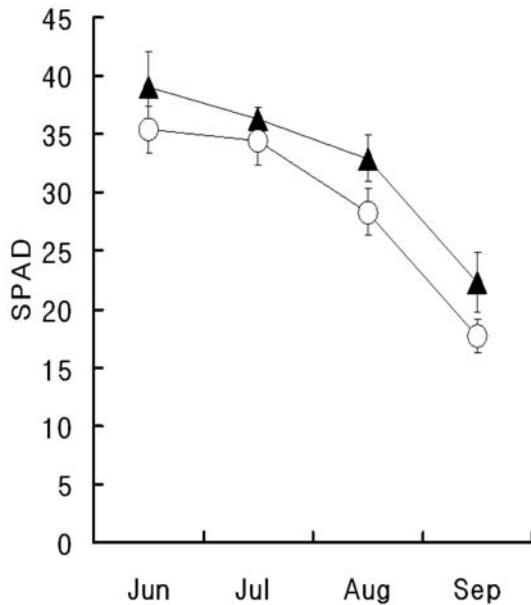


Fig. 4. Changes of SPAD according to growth stage at different shading material. (○:Polyethylene shade net, ▲: Silver-coated shading plate).

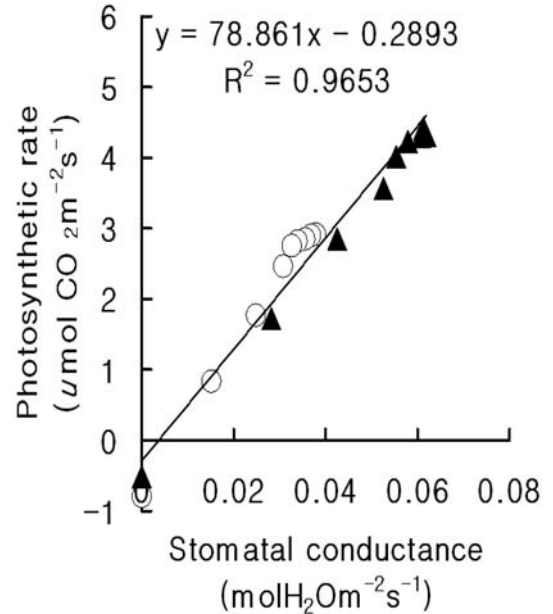


Fig. 6. Relationship between net photosynthetic rate and stomatal conductance. (○:Polyethylene shade net, ▲: Silver-coated shading plate).

으며 기타의 작물에서도 보고 (Lee, *et al.*, 2006; Lee and Won, 2007)된 바 있다.

3. 광합성속도, 증산작용 및 기공전도도의 상호연관성

인삼 잎의 광합성속도와 증산작용, 광합성속도와 기공전도

도의 관계를 조사한 결과는 Fig. 5와 6에서 보는 바와 같은데, 두 처리구 모두 정(正)의 상관관계가 인정되었다. 이는 맥문동에서 나타난 결과와도 일치하는 것이다 (Won and Lee, 2002). 특히 광합성속도와 기공전도도의 관계는, 차광망에 비하여 은박차광판의 값이 1차회귀선의 윗쪽에 분포하고 있어

은박차광판 하에서 자란 인삼의 기공전도도가 향상되어 광합성속도도 상승시키는 것으로 사료된다.

이상에서 살펴 본 바와 같이, 인삼집의 자재로 차광망보다 은박차광판을 사용하였을 때 해가림 내의 미기상 조건을 인삼 생육에 유리하게 만드는 것으로 사료되는데, 예컨대 엽록소의 함량을 향상시킴으로서 엽록소의 형광 반응을 양호하게 하고, 기공전도도와 CO₂의 엽육 저항을 감소시켜 광합성속도를 향상시키는 것 등이다.

감사의 말

이 논문은 2007년 중부대학교 학술연구개발비 지원에 의하여 수행되었습니다. 감사합니다.

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 photosystem II in environmental perturbations of photosynthesis. *Physiologia Plantarum* 81:563-570.
- Chowm WS.** (1994). Photoprotection and photoinhibitory damage. *Molecular Cell Biology*. 10:151-196.
- Demmig 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.
- 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.
- Harris GC and Heber U.** (1993). Effects of anaerobiosis chlorophyll fluorescence yields in spinach (*Spinacia oleracea*) leaf disc. *Plant Physiology*. 101:1169-1173.
- Lee CH, Shin CH, Kim KS and Choi MS.**(2006) Effects of light intensity on photosynthesis and growth in seedling of *Kalopanax pictus* Nakai. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 14:244-249.
- Lee CY.** (2002). Main factors affecting on photosynthesis under shading condition of *Codonopsis lanceolata* Trautv. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 10:409-414.
- Lee CY.** (2007). 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 and Won JY.** (2007). Effects of shading treatment on photosynthetic rate and growth in *Codonopsis lanceolata* Trautv. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 15:152-156.
- 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 KC 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 SW, Cha SW, Hyun DY, Kim YS, Kang SW and Seong SW.** (2006). Effects of furrow directions on growth and yield in *Panax ginseng* C.A Meyer. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 14:221-224.
- Mok SK, Cheon KC, Lee SS and Lee TS.** (1994). Effect of shading net colors on the growth and saponin content of korean ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer). *Korean Journal of Ginseng Science*. 18:182-186.
- Long SP, Humphries S and Falkowski PG.** (1994). Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Annual Review of Plant Physiology*. 45:633-662.
- Park H.**(1979) Light environment and physiological response of *Panax ginseng* L. Experience on light in natural habitat, through cultivation under forest and artificial shade, and change of light control technique. *Korean Journal of Ginseng Science*. 3:156-167.
- 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 and Lee CY.** (2002). Characteristics of photosynthesis and dry matter production of *Liriope platyphylla* Wang et Tang. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 10:82-87.
- Yang DC, Lee ST, Lee SJ, Kim YH and Kang YH.** (1989). Characteristics of light harvesting chlorophyll-protein complex and singlet oxygen (¹O₂) quenching in leaf-burning disease from *Panax ginseng* C. A. Meyer. *Korean Journal of Ginseng Reseach*. 13:158-164.