

인삼의 청색광의존성 엽록체재배치(Chloroplast rearrangement)

양덕조·김명원*·이성종·윤길영

충북대학교 자연과학대학 생물학과, *연세대학교 이과대학 생물학과
(1993년 7월 27일 접수)

Blue-Light Dependent Chloroplast Rearrangement in *Panax ginseng* C.A. Meyer

Deok-Cho Yang, Myong-Won Kim*, Sung-Jong Lee and Kil-Young Yun

Department of Biology, College of Natural Science, Chungbuk National University, Cheongju 360-763, Korea

*Department of Biology, College of Science, Yonsei University, Wonju 220-701, Korea

(Received July 27, 1993)

Abstract□ We studied the chloroplast rearrangement, short-term regulation depending on the light conditions in plants, and the characteristic of photosynthetic rate as affected by in *Panax ginseng* C.A. Meyer. The chloroplast rearrangement of ginseng mesophyll cell was induced with the irradiation of blue light (400~500 nm) and through this process the rate of leaf transmittance increased 5~7.5%. The time to reach the maximum value of photosynthesis was shorter above 20 minutes with the blue light irradiation than that of the red light.

Key words□ Chloroplast rearrangement, blue light, leaf transmittance, photosynthesis.

서 론

식물의 광합성기구가 광환경변화에 적응하는 자기 조절 메카니즘으로는 LHCP II의 인산화, 엽록체재배치(chloroplast translocation)을 통한 단기적조절(short-term regulation) 과정과 엽록소 a/b 비율, 광계 II/I 비율 그리고 틸라코이드의 stacking 등을 변화시키는 장기적조절(long-term regulation) 과정이 있다.^{1,2)} 식물은 이러한 조절과정을 통해서 정상적인 생육조건보다 높은 광량에 노출되었을때 발생하는 광억제(photoinhibition)와 광합성계의 산화로부터 보호받을 수 있으며, 강광하에서도 적정상태의 광합성율이 유지될 수 있는 조건을 제공해 준다.^{3,4)} 이 중에서도 엽록세포내의 엽록체를 재배치(rearrangement)시켜 광흡수기구가 흡수하게 되는 광량을 감소

본 연구는 1992년도 교육부 기초과학육성연구비 지원에 의한 것임(BSRI-91-416).

시켜 주는 엽록체재배치 현상은 청색광이나 근자의 광을 흡수하는 광수용체에 의해서 조절된다고 알려져 있다.^{5,6)}

근래에 와서 인삼의 근생산성 및 내병성을 향상시키려는 목적으로 재배광량을 증가시키려는 연구가 일복개선 및 내광성품종 육성 측면에서 진행되고 있다. 이에 관련하여 여러 연구자들은 인삼재배시 일복의 광투과율을 최대 20%까지 증가시킬 수 있고, 청색일복자재하에서 재배된 인삼은 엽면적, 경장, 수분함량 및 엽록소의 함량은 감소되지만 엽비중은 증가하여 인삼근의 생산성이 향상된다고 보고한 바 있다.⁷⁻¹¹⁾

그러나, 광량변화에 따른 인삼잎의 광조절 메카니즘에 대한 연구는 양 등¹²⁾이 보고한 LHCP II 인산화(state I/II transition) 이외에는 거의 알려지지 않았으며, 인삼엽은 책상조직(palisade parenchyma)이 거의 발달되어 있지 않고, 엽육세포내 엽록체의 밀도가

양식식물에 비해 현저히 낮기 때문에^{13,14)} 엽조직 수준에서의 광조절 기작이 결여되어 있거나 또는 그 기능이 미약할 것으로 생각되었다. 그러나, 강광에서 인삼엽의 광합성율을 측정하던 중, 광량 및 광질과 같은 광조건 변화에 따른 단기적인 조절과정인 엽록체배치에 대한 결과를 획득하였기에 보고하는 바이다.

재료 및 방법

1. 광처리 및 *in vivo* 흡수스펙트럼 측정

실험에 사용된 인삼은 묘삼(생체중; 1.5 g)을 일반 관행법¹⁵⁾으로 재배하였다. 광처리는 xenon 램프(150 w, Xenophot HLX, Germany)를 광원으로 하는 projector를 이용해 조사하였으며, 광량(flucence rate)은 광합성 측정장치(Portable infrared carbon dioxide analyzer, ADC Ltd, England)의 leaf chamber[PLC (B)]에 부착되어 있는 PAR monitor를 이용하여 $\mu\text{mol photon}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 단위로 조절하였다. 광량은 광원으로부터의 거리를 조정하여 조절하였으며, 광질별 처리는 본 측정장치의 leaf chamber의 투명아크릴판과 cuvette 사이에 청색 및 적색필터를 끼워 광을 조사하였다. 광처리는 온전한 식물체(intact plant)의 잎을 동일한 chamber내에서 각 광질별로 30분간 처리한 후 즉시 사진촬영을 실시하고, 이 인삼잎을 절단하여 holder에 끼운 다음 spectrophotometer(Hitachi U-3400, Japan)로 흡수스펙트럼의 변화양상을 조사하였다.

2. 광합성 측정

광합성율은 동일한 개체의 소엽을 택하여 3분 간격으로 광질별로 각각 CO_2 흡수율을 측정하였으며, 같은 방법으로 10개체를 조사하였다. 광합성율 측정 조건은 $25\sim 28^\circ\text{C}$ 온도범위의 2.5 cm^2 cuvette에 $150\text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ 의 유속으로, 그리고 광량은 $2700\text{ }\mu\text{mol photon}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 조절하였다.

3. 엽록체 배열조사

동일한 인삼개체의 소엽을 $2700\text{ }\mu\text{mol photon}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 광량에서 각각 청색, 적색 및 백색광으로 20분간 광처리한 후에 곧바로 5% glutaldehyde가 함유된 0.1 M phosphate buffer(pH 7.0)에 넣어 고정하였다. 이어서 전자현미경 시료제조 과정인 고정, 탈수 후에 Spurr's resin을 포매하고, ultramicrotome(LKB,

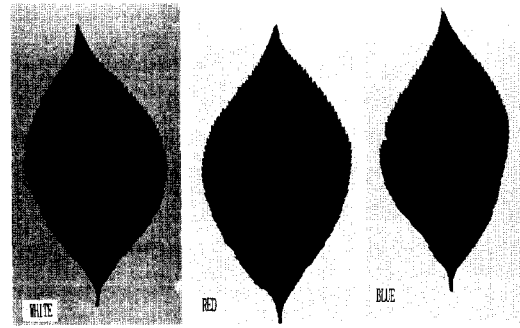


Fig. 1. Effects of white, red and blue light on the ginseng leaf transmittance at the same fluence rate ($2700\text{ }\mu\text{mol photon}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).

Sweden)으로 절편을 제작하여 관찰하였다.

투광율을 조사하기 위해서 동일한 fluence rate($1,200\text{ }\mu\text{mol photon}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)로 청색광과 적색광으로 분광하고 Quantum/photometer(LI-185B)로 측정하였다.

결과 및 고찰

인삼의 잎에 $2700\text{ }\mu\text{mol photon}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 백색광을 조사(照射)하면 조사된 부위에서 Fig.1과 같이 엽록소의 회색효과가 관찰된다. 또한, 동일한 fluence rate로 청색(400~500 nm)과 적색광(600~700 nm)으로 분광하여 광처리하면 적색광에서는 잎의 변화가 전혀 없는 반면에 청색광에서는 백색광과 같은 엽록소 회색효과가 나타난다(Fig. 1). 이러한 현상은 광을 조사한 후에 다시 낮은 광량조건에 방치하면 곧 원상태로 회복된다. 대조구와 광을 처리한 잎과의 *in vivo* 흡수스펙트럼을 측정한 결과는 Fig.2와 같다. 백색광과 청색광이 조사된 인삼잎은 엽록소의 *in vivo* 흡수스펙트럼의 최대치를 나타내는 450 nm와 670 nm 근처의 광흡수율이 현저히 감소됨을 알 수 있다. 따라서, 이러한 회색효과와 흡수스펙트럼상의 변화는 인삼 엽육세포내 엽록체의 배치상태가 광조건에 따라서 변화됨을 나타내 주고 있다.

실제로 인삼잎을 백색광과 청색 및 적색광으로 분광하여 동일한 광량으로 처리한 후, 즉시 고정하여 엽조직의 내부구조를 관찰한 결과(Fig. 3), 백색광과 청색광을 처리한 엽조직은 엽록체가 잎의 표면에 대수직으로 배열되는 엽록체배치 현상을 관찰할 수 있

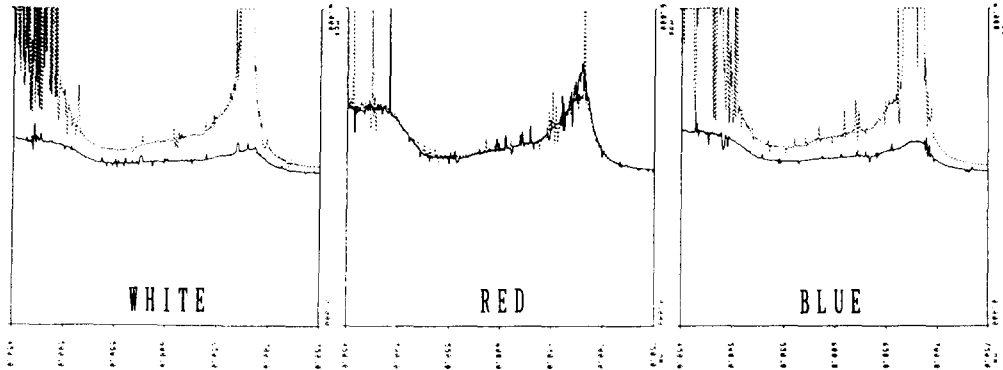


Fig. 2. Differences of absorption spectra of ginseng leaf irradiated with the same fluence rate ($850 \mu\text{mol photon} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) of white, red, and blue light in leaf chamber (\square shape). After the irradiation for 5 min to whole plant, the leaf was excised, inserted to holder, and measured.

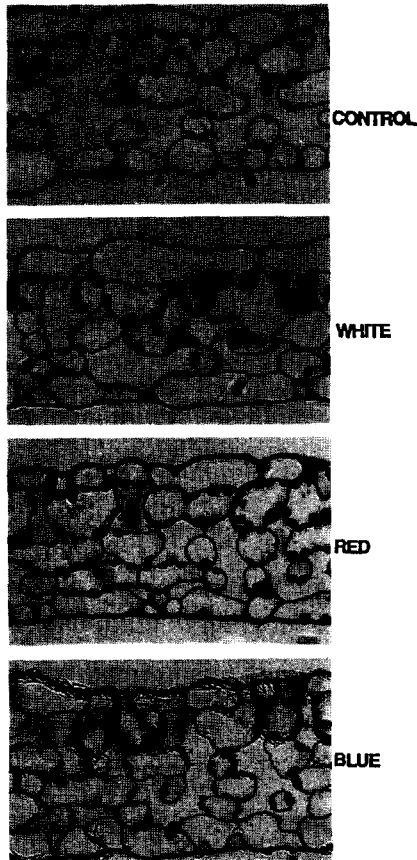


Fig. 3. Chloroplast rearrangement induced by different light quality in the same fluence rate ($2700 \mu\text{M photon} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) in leaf of ginseng. After irradiation the leaf samples were fixed in 5% glutaldehyde and 1% osmium tetroxide.

Table 1. Relative transmittance rates of various qualities of light in ginseng leaf at the same fluence rate ($1200 \mu\text{mol}$)

	Control	White	Red	Blue
Transmittance (%)	20	27.5	20	25

었으나, 적색광이 처리된 엽조직에서는 대조구와 동일하게 엽록체가 잎표면과 수평인 배열상태를 유지하고 있었다.

강광과 청색광에 의해 유도되는 엽록체재배치에 의해서 변화되는 인삼잎의 투광율의 변화정도를 알아보기 위하여 광처리구별 잎의 투광율을 조사한 결과는 Table 1과 같다. 일반적으로 식물잎의 광투과율은 1~5%인데 반해서 2년생 인삼잎의 광투과율은 20% 정도로 측정되었으며, 엽록체가 재배치된 후의 광투과율은 25~27.5%로 증가되었다.

이와 같은 현상은 인삼 틸라코이드의 LHCP II 인산화(state I/II transition)에 대한 보고¹²⁾와 같이 인삼에서도 증가된 광량조건에서 엽록체가 흡수하는 광의 양을 줄이기 위해 엽록체의 배열상태를 변화시키기 위한 엽록체재배치(chloroplast rearrangement), 즉 광에 대한 단기적 조절과정이 효율적으로 진행되고 있음을 제시해 주고 있으며, 이 과정은 양식식물의 책상조직에서 관찰되는 광량의존성 엽록체재배치^{4,5)}과 동일한 것으로 판단된다.

엽록체재배치는 결과적으로 광합성율에 영향을 미칠 것으로 생각되어 엽록체재배치시에 동일한 광조

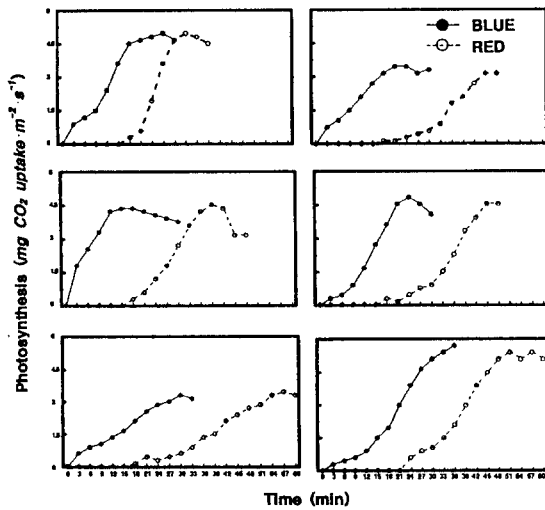


Fig. 4. Photosynthetic rates of the several ginseng plants with irradiations of red and blue light at the same fluence rate ($2700 \mu\text{mol photon} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

건에서 인삼의 초기 광합성율의 변화를 조사하였다 (Fig. 4). 동일한 광량($2700 \mu\text{mol photon} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 조건하에서 청색광은 적색광보다 초기 광합성율의 증가율이 현저히 높았으며, 청색광처리시 최대 광합성율에 도달하는 시간이 적색광에 비해 20분 이상 단축되는 효과를 나타내었다.

따라서, 지금까지 보고된 인삼의 광질별 광합성율 및 근생산성을 측정된 결과들^{7,9,10,16}도 엽록체재배치 측면에서 이해될 수 있을 것으로 생각된다. 재배조건과 거의 동일하거나 또는 낮은 광량조건에서는 적색광 처리구의 엽조직이 청색광처리 보다 많은 광을 흡수할 수 있는 엽록체배열 상태를 유지하여 높은 광합성율을 나타내게 되고, 재배조건 보다 높은 광량하에서는 청색광이 신속히 엽록체재배치를 유도하므로써 강광에 의한 광억제(photoinhibition) 현상을 방지하여 적색광처리구 보다 높은 광합성율을 유지하는 것으로 판단된다.

요 약

광조건 변화에 따른 단기적조절(short-term regulation) 과정인 엽록체재배치(chloroplast rearrangement)와 이에 따른 광합성 특성을 조사하였다. 인삼의

엽록체재배치는 청색광(400~500 nm)에 의해 유도되었으며, 이 과정을 통해서 인삼잎의 조사(照射)광에 대한 투광율을 5~7.5% 정도까지 증가되었다. 인삼은 동일한 광량($2700 \mu\text{mol photon} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 조건하에서 청색광이 적색광처리시 보다 초기광합성율에 대한 증가율이 현저히 높았으며, 청색광처리시 최대광합성율에 도달하는 시간이 적색광에 비해 20분 이상 단축되는 효과를 나타내었다.

인 용 문 헌

1. Terashima, I., Sakaguchi, S. and Hara, N. : *Plant Cell Physiol.*, **27**, 1023 (1986).
2. Kyle, D.J., Steahelin, L.A. and Arntzen, C.J. : *Arch. Biochem. Biophys.*, **222**, 527 (1983).
3. Gabrys, H., Walczak, T. and Zurzycki, J. : *Planta* **152**, 553 (1981).
4. Zeiger, E. : In, Sanger, H. (ed.) *Blue Light Effects in Biological Systems*, Springer, New York, p. 484 (1984).
5. Walczak, T., Zurzycki, J. and Gabrys, H. : In, Sanger, H. (ed.) *Blue Light Effects in Biological Systems*, Springer, New York, p. 444 (1984).
6. Inoue, Y. and Shibata, K. : *Planta* **114**, 341 (1973).
7. Park, H., Lee, M.K. and Ahn, S.D. : *Korean J. Ginseng Sci.*, **13**(2), 165 (1989).
8. Lee, J.H. : *Korean J. Ginseng Sci.*, **12**(1), 11 (1988).
9. Cheon, S.K., Mok, S.K., Lee, S.S. and Shin, D.Y. : *Korean J. Ginseng Sci.*, **15**(1), 21 (1991).
10. Cheon, S.K., Mok, S.K. and Lee, S.S. : *Korean J. Ginseng Sci.*, **15**(2), 144 (1991).
11. Kim, Y.H., Yu, Y.H., Lee, J.H., Park, C.S. and Ohh, S.H. : *Korean J. Ginseng Sci.*, **14**(1), 36 (1990).
12. Yang, D.C., Kim, M.W., Lee, S.J. and Yun, K.Y. : *Korean J. Ginseng Sci.*, **16**(2), 124 (1992).
13. Park, H. : *Proc. 3rd Intl. Ginseng Sym.*, p. 151 (1980).
14. Yang, D.C., Kim, M.W., Lee, S.J. and Yun, K.Y. : *Korean J. Ginseng Sci.*, **14**(3), 416 (1990).
15. 김득중 : 고려인삼재배, 일한출판사, 서울, p. 47 (1974).
16. Lee, J.C. and Proctor, J.T.A. : *Korean J. Ginseng Sci.*, **12**(1), 87 (1988).