

인삼의 광억제(Photoinhibition)에 대한 항산화제의 처리효과

양덕조·김명원*·이성종·윤길영

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

Effects of Antioxidants on the Photoinhibition 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 investigated the effect of antioxidants (ascorbate, glutathione, and sodium azide), which effectively inhibited the chlorophyll bleaching of *Panax ginseng* C.A. Meyer under the high light intensity, treated by foliar wiping on the early stage of photosynthesis and transpiration of ginseng in the 5000 $\mu\text{mol photon}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Ascorbate and glutathione, endogenous antioxidant, completely recovered ginseng from the photoinhibition, but sodium azide, synthetic quencher, showed negative effect. We assumed that endogenous antioxidants could be available to the protection of the leaf-burning phenomenon of ginseng.

Key words□ Photoinhibition, antioxidants, photosynthesis, ginseng.

서 론

인삼이 강광에 노출되면 먼저 광합성율이 급격히 감소하고, 시간이 경과됨에 따라 엽록소가 파괴되는 엽소(葉燒; leaf-burning)현상이 유발된다.¹⁻³⁾ 엽소현상의 초기단계는 엽록소의 함량변화가 없는 광억제(photoinhibition) 현상⁴⁾으로 볼 수 있고, 그후의 단계는 PS II에서 생성되는 singlet oxygen($^1\text{O}_2$)에 의한 광산화(photooxidation) 과정으로 나눌 수 있다.^{5,6)} 광억제의 대표적인 특징은 quantum yeild의 감소와 광합성능의 감소이며, PS II가 직접적으로 관계되어 있다고 알려져 있다.^{7,8)} 광억제에 대한 연구는 주로 음지에 적응(acclimation)시킨 양지식물(sun plant)과

본 연구는 1992년도 교육부 기초과학육성연구비 지원에 의한 것임(BSRI-92-416).

일부 음지식물(shade plant)을 강광에 노출시킴으로써 나타나는 현상들을 연구하여 왔으며, 그 피해를 최소화 시키기 위한 방안들을 찾기 위한 연구가 진행되고 있다.^{9, 11)}

인삼의 엽소현상중에 나타나는 엽록소표백화(chlorophyll bleaching) 현상은 외부에서 활성화산소, 특히 $^1\text{O}_2$ 에 대한 항산화제(antioxidants)들을 처리하여 효과적으로 억제할 수 있음이 보고된 바 있다.^{5, 12, 13)} 그러나, 항산화제들은 광합성기구의 광화학적 반응과 산화/환원 반응들을 저해할 수 있기 때문에 인삼 광합성의 초기에너지 생산과 탄수화물 대사 및 사포닌 대사에 영향을 미칠 가능성을 배제할 수 없다.

따라서, 본 연구에서는 인삼 엽록소의 광산화를 효과적으로 억제하였던 가용성 항산화제인 ascorbate, glutathione 및 sodium azide(NaN_3)를 대상으로 인

삼의 온전한 식물체(whole plant)의 잎에 도말(foliar wiping)하는 방법으로 처리한 다음, 광억제 현상이 유발되는 조건에서 이들 항산화제가 인삼의 초기 광합성능에 어떠한 영향을 미치는가를 조사하였다.

재료 및 방법

1. 식물재료

본 실험에 사용된 인삼은 묘삼(생체 중 : 1.5 g)을 1포트당 1개체씩 일반관행법¹⁴⁾으로 재배하여, 잎의 형태와 재배조건에서 최대 광합성율이 유사한 개체들을 선발하였다.

2. 광처리와 광합성 및 증산율 측정

광원은 할로겐램프(200 W, Phoenix Electric Co. Ltd, Japan)가 부착된 slide projector를 사용하였으며, 광원으로부터의 거리를 조정하여 광량(fluence rate)을 $\mu\text{mol photon}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 단위로 조절하였다. 광합성율과 증산율은 광합성측정장치(Portable infrared CO₂ analyzer, ADC Ltd, England)를 이용하여 인삼의 소엽(leaflet)을 대상으로 CO₂ 흡수율 및 증산율을 측정하였다. 광합성 측정조건은 25~28°C 온도범위의 2.5 cm² cuvette에 150 ml·min⁻¹의 유속으로 조절하였다.

3. 광조건 및 ¹O₂ quencher(ascorbate, glutathione 및 NaN₃) 처리

광조건은 최대 광합성율을 나타내는 광량을 대조구로하여 초기 1시간 동안의 광합성율이 50% 이상 감소되는 광량을 선택하여 강광에 의한 광억제처리로 하였다. 대조구와 광억제 처리구는 동일한 인삼 개체내에서 외관상으로 유사한 소엽을 대상으로 하였다. ¹O₂ quencher 처리 실험도 대조구와 처리구는 동일한 개체내에서 수행되었으며, ¹O₂ quencher 처리는 광합성 및 증산율을 측정하기 3시간 전에 ascorbate와 glutathione은 30 mM, 그리고 NaN₃는 5 mM 농도의 수용액을 인삼잎의 이면에 도말(wiping)하였다.

결과 및 고찰

본 실험조건에 적당한 광량조건, 즉 단시간내에 인삼 광합성의 광억제를 유발시킬 수 있는 광조건을 알아보기 위하여 $1400 \mu\text{mol photon}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (약 10

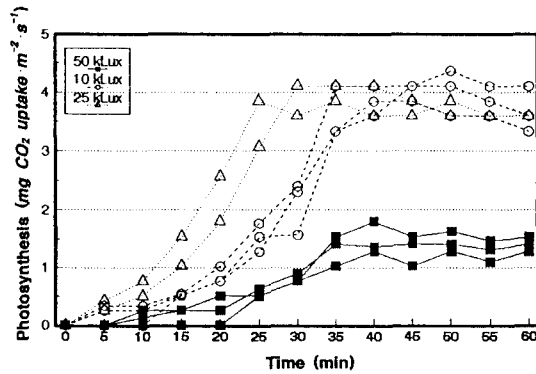


Fig. 1. Changes of the photosynthetic rates of ginseng in different intensities of light.

klux)을 대조구로 하여 광량을 각각 3000(약 25 klux), 5000 $\mu\text{mol photon}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (약 50 klux)로 증가시키면서 광합성율 및 증산율을 측정하였다(Fig. 1). 광량이 3000 $\mu\text{mol photon}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 일 때 인삼의 광합성 양상은 초기 30분 동안에는 약 30~40%의 감소율을 나타내지만, 30분 이후의 평균 CO₂ 고정율은 $4 \text{ mg}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{dm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 로써 대조구와 유의차를 나타내지 않았다. 그러나 5000 $\mu\text{mol photon}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광량에서는 초기부터 1시간 후까지의 광합성율이 대조구의 30~40% 정도로써 광억제 현상이 유도되었다. 따라서, 항산화제의 처리효과는 인삼의 광억제가 유도되는 광량인 5000 $\mu\text{mol photon}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 조사하였다.

Ascorbate와 glutathione(GSH)은 엽록체내의 대표적인 항산화물질(antioxidant)로써 관련효소와 상호작용으로 광흡수기구에서 생성되는 활성화산소(¹O₂, O₂⁻, H₂O₂ 등)로부터 광합성기구를 보호해 주는 역할을 담당하고 있다.^{15,16)} 인삼의 엽소현상 중에서 ascorbate는 엽록체현탁액 및 엽절편(leaf disc)을 이용한 실험에서 엽록소의 표백화를 효과적으로 억제하였다고 보고되었다.^{5,12)} 광억제현상이 유발되는 광량에서 ascorbate가 처리된 인삼은 처리되지 않은 인삼에 비하여 광억제율이 현저히 감소되었으며, 초기 30분 동안은 오히려 $1400 \mu\text{mol photon}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 대조구보다도 높은 광합성율을 나타내었다(Fig. 2A). 증산율에 있어서도 ascorbate의 효과는 광합성율과 유사한 경향으로써 강광에 의한 증산율, 즉 기공개도를 촉진시켜주는 효과를 나타내었다(Fig. 3A). Glutathione도 ascorbate 처리구와 유사하게 강광하에서 억제된 광합성율 및 증산율을 현저히 회복시켜 주는 효과를

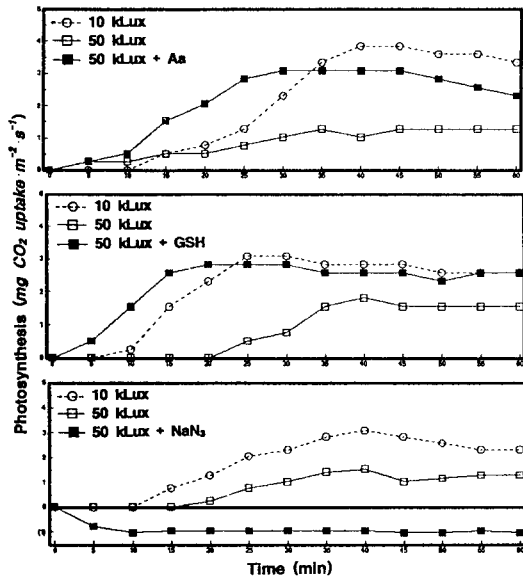


Fig. 2. Protective effects of ascorbate (Aa), glutathione (GSH), and sodium azide (NaN₃) on the photoinhibition induced by high-light intensity in the intact ginseng. Quenchers/scavengers were applied to the leaf by foliar wiping 3 hours before the expose to the light.

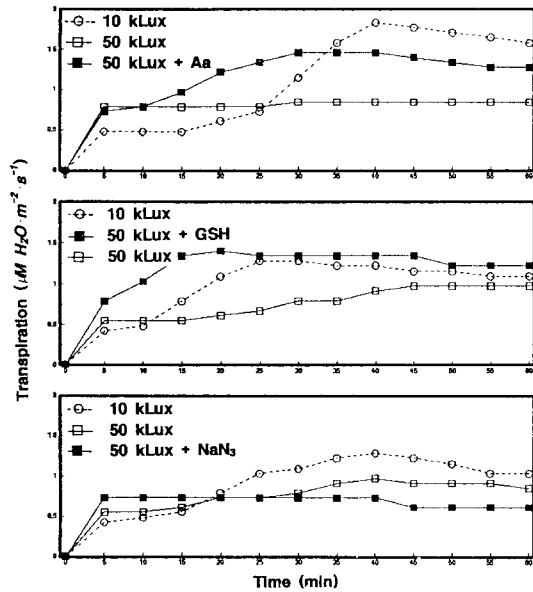


Fig. 3. Protective effects of ascorbate (Aa), glutathione (GSH), and sodium azide (NaN₃) on the rates of transpiration (stomatal closing) by high-light intensity in the intact ginseng. Quenchers/scavengers were applied to the leaf by foliar wiping 3 hours before the expose to the light.

보여주었다(Fig. 2B과 Fig. 3B). Ascorbate나 glutathione의 효과는 엽소현상의 원인이 ¹O₂임을 감안해 볼때,^{5,17)} 이들 항산화제가 조직내 ¹O₂을 직접 제거한다기 보다는 인삼 엽록체의 순화적 항산화능(antioxidative and detoxifying system)을 회복시켜 틸라코이드상의 xanthophyll cycle 또는 α-tocopherol, β-carotene 등이 ¹O₂을 효율적으로 제거함으로써 나타나는 결과로 해석된다.

그러나, 내성 항산화제와는 달리 합성 ¹O₂ quencher인 NaN₃은 인삼의 광합성을 현저하게 차단시키는 부작용을 나타냈으며, 증산율은 5000 μmol photon·m⁻²·s⁻¹의 대조구와 비교해 볼 때 광조사 30분 이후에 차이를 나타내었다(Fig. 2C과 Fig. 3C). 이와 같은 효과는 NaN₃가 인삼의 광합성 및 광신호전달의 광화학반응에 직접 영향을 주어 나타나는 역효과로 유추된다.

인삼의 광억제에 대한 각 항산화제의 효과를 광합성율 및 증산율에 대한 회복율로 환산하면 Table 1과 같다. Ascorbate와 GSH는 5000 μmol photon·m⁻²·s⁻¹에서 유도되는 광조사 초기의 광억제와 증산율 감

Table 1. Wiping effects of ascorbic acid (Aa), glutathione (GSH), and NaN₃ on the photosynthetic CO₂ uptake and transpiration in the leaves of whole ginseng plants in high-light intensity

	Photosynthesis (%)	Transpiration (%)
10 klux	100	100
50 klux	41(10 ^a /57 ^b)	74
50 klux + Aa	107(133/95)	119
50 klux + GSH	106(134/91)	118
50 klux + NaN ₃	-43(-103/-29)	70

^a 0~30 min after the illumination.

^b 30~60 min after the illumination.

소현상을 100%이상 회복시켜 주었다. 그러나 NaN₃ 경우는 CO₂가 오히려 방출되어 광합성율이 마이너스 값을 나타내었으며 증산율도 대조구의 70%로써 강광처리구의 74%보다 다소 감소되는 경향이였다.

이러한 결과들은 가용성 내성항산화제인 ascorbate와 GSH를 외부에서 처리하는 방법이 엽록소표백화 현상에 대한 억제효과^{5,17)}와 마찬가지로 인삼의

초기 광역제현상을 효과적으로 차단할 수 있는 방안을 나타내 주고 있다. 따라서, 이들 항산화물질의 처리가 인삼잎의 물질대사(탄수화물 또는 사포닌 대사)에 영향을 미치지 않는다는 전제하에서 항산화제에 대한 처리매개체(surfactant, humectant) 등이 보완된다면 인삼의 염소현상에 대한 방제방안으로써의 활용가능성이 있음을 제시해 준다.

요 약

인삼의 엽록소표백화(chlorophyll bleaching)에 대한 억제효과를 나타내는 항산화제(ascorbate, glutathione, 그리고 sodium azide)를 인삼잎에 도말(wiping)하여 강광($5000 \mu\text{mol photon} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)하에서의 초기 광합성 및 증산율에 대한 영향을 조사하였다. 내성항산화제인 ascorbate와 glutathione은 인삼의 광역제현상을 거의 완벽하게 회복시켜 주는 효과를 나타냈으나, 합성 quencher인 sodium azide는 오히려 인삼의 광합성을 완전히 차단시키고 증산율도 감소되는 억제효과를 나타내었다. 그러므로, 인삼 염소(leaf-burning)현상에 대한 방제방안으로써 가용성 내성항산화제의 활용성이 기대된다.

인 용 문 헌

1. 양덕조, 채 례 : 전자과 복사선이 인삼엽조직 파괴 현상과 광합수기구의 생화학적 반응에 미치는 영향, 산학협동보고서 (1983).
2. Yang, D.C., Yu, H.S. and Yoon, J.J. : *Korean J. Ginseng Sci.*, **11**(2), 92 (1987).
3. Yang, D.C., Yu, H.S. and Yoon, J.J. : *Korean J. Ginseng Sci.*, **11**(2), 101 (1987).
4. Johns, N.W. and Koh, B. : *Plant Physiol.*, **41**, 1044 (1966).
5. Yang, D.C., Chae, Q., Lee, S.J., Kim, Y.H. and Kang, Y.H. : *Korean J. Ginseng Sci.*, **14**(1), 57 (1990).
6. Yang, D.C., Lee, S.J., Yun, K.Y. and Kang, Y.H. : *Korean J. Ginseng Sci.*, **15**(2), 139 (1991).
7. Anderson, J.M. and Osmond, C.B. : In, Kyle, D.J. et al. (ed.) *Photoinhibition*, Topics in Photosynthesis Vol. 9, Elsevier, New York, p.1 (1987).
8. Kyle, D.J., Ohad, I. and Arntzen, C.J. : *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **80**, 987 (1983).
9. Boardman, N.K. : *Annu. Rev. Plant Physiol.*, **28**, 355 (1985).
10. Baker, N.R. and Horton, P. : In, Kyle, D.J. et al. (ed.) *Photoinhibition*, Topics in Photosynthesis Vol. 9, Elsevier, New York, p.145 (1987).
11. Terashima, I. and Enoue, Y. : *Plant Cell Physiol.*, **26**, 781 (1985).
12. Yang, D.C., Kim, M.W., Chae, Q. and Kim, M.S. : *Korean J. Ginseng Sci.*, **13**(1), 98 (1989).
13. Yang, D.C. : *Korean J. Ginseng Sci.*, **14**(2), 135 (1990).
14. 김득중 : 고려인삼재배, 일한출판사, 서울, p.47 (1974).
15. Elstner, E.F. : *Annu. Rev. Plant Physiol.*, **33**, 73 (1982).
16. Demmig-Adams, B. and Adams, III, W.W. : *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, **43**, 599 (1992).
17. Yang, D.C., Lee, S.T., Lee, S.J., Kim, Y.H. and Kang, Y.H. : *Korean J. Ginseng Sci.*, **13**(2), 158 (1989).