

고려인삼에서 광반응 및 호흡에 미치는 잎온도의 영향

현 동 윤* · 유 남 희**

Effect of Leaf Temperature on Light Response and Respiration in *Panax ginseng* C. A. Meyer

Dong Yun Hyun* and Nam Hee Yoo**

ABSTRACT: This study was conducted to investigate effect of leaf temperature on light response and respiration during short-term exposure to a sequence of PPFD cycle ($100-200-300-400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) under increasing leaf temperature sequence up to 30°C and in dark condition, increasing up to 46°C with step size (1°C) in *Panax ginseng* C. A. Meyer.

When leaflet exposed to low light intensity and temperature, Rubisco activity was higher than remained activity in high condition.

Leaves adapted to $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD had a peak response similar to that of $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ at 18°C , but in above PPFD cycle ($300, 400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) it represented at 17°C and 16°C , respectively.

CO_2 evolution in dark condition increased rapidly when leaf temperature was increased up to 28°C and then "dipped" below steady-state level from above 40°C .

Thus, *Panax ginseng* is able to take advantage of irradiance increase and decrease of CO_2 evolution in dark condition to control leaf temperature.

Key words: *Panax ginseng* C. A. Meyer, Light response, Leaf temperature, Respiration, Rubisco.

식물의 생장은 유전적 특성과 환경요인과의 상호작용에 의하여 좌우되는데, 특히 광합성에서도 다수의 요인들이 관련되어 있기 때문에^{1,3,4,5)} 환경 변화에 따른 광합성 능력을 조사하는 것은 매우 중요하다.

고려인삼은 엽록체 발달과 엽록소-단백질 복합체 생성이 다른 식물보다 비교적 느리고 빛에너지를 이용한 환원력 및 엽록체내의 Rubisco 활성이 낮아 탄소고정에 적합한 광도 및 온도가 낮다^{8,9,11)}.

탄소고정율은 광도가 $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 인 조건 (자연광의 12.5%)에서 잎온도가 18°C 일 때 최대에 달하나⁶⁾, 이는 광도와 잎온도의 상호간의 조건에 따라 그 반응이 달라질 수 있을 것으로 생각된다.

또한 호흡은 에너지대사와 관련이 있으나¹²⁾ CO_2 방출이 증가되기 시작하는 온도와 잎기능이 정지되는 온도에 관하여 알려진 바가 없다.

이와 같이 고려인삼의 생육환경 및 탄소동화능이 낮은 원인규명에 관하여는 잘 알려져 있으나

* 호남농업시험장 (National Honam Agricultural Experiment Station, R.D.A., Iksan 570-080, Korea)

** 전북대학교 농과대학 농학과 (Dept. of Agronomy, Chonbuk National University, Chonju 560-756, Korea)

〈'96. 9. 16 接受〉

잎온도의 변화에 따른 광반응 특성과 호흡과의 관계는 잘 알려져 있지 않다.

따라서 이들 관계가 재배시 중요한 정보로 활용할 수 있을 것으로 판단되어 본 실험을 실시하였다.

材料 및 方法

3년생 고려인삼을 인삼재배 농가에서 맹아전에 채굴하여 직경 35cm, 높이 30cm의 원통 플라스틱 포트에 증기살균한 상토를 넣고 포트에 3주를 정식한 후 자연광의 13% 정도로 일복 가설하였다.

광도 및 잎온도는 동화상에 부착된 광 및 온도 sensor (Li-6000, U. S. A.)를 한국표준연구원서 표준치로 조절한 다음 측정하였으며 광도는 PPFD(photosynthetic photon flux density)로 하였다.

생장상의 광도 및 온도는 광도를 $100\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 $400\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 까지 $100 \pm 11\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 간격으로 온도는 잎온도를 기준으로 하여 8°C 에서 30°C 까지 1°C 간격으로 조절되었다.

Rubisco 활성은 Peterson 등¹⁰⁾의 방법을 참고로 광도와 온도 수준별로 활성이 equilibrium에 도달하는 시기(약 1시간)에 11.3cm^2 생엽시료를 액화질소에 저장한 후, 4ml의 효소 추출용액(50 mM HEPES, 0.2% PVP-40, 20mM 2-mercaptoethanol, 1mM Na_2EDTA , 10mM MgCl_2 , 5mM ascorbate, pH 7.8)에 넣어 4°C 의 저온에서 마쇄, 추출한 후 15,000g로 30분간 원심분리시켜 상등액을 효소액으로 이용하였다. 효소반응은 $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ 와 RuBP를 효소기질로 이용하여 RuBP와 결합된 $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ 을 cellulose nitrate membrane(pore size: $0.45\mu\text{m}$, Diameter 25 mm)으로 거른 다음, cocktail solution에 넣어 유기시킴 후 liquid scintillation counter(Pacard, U. S. A.)로 측정하였다.

호흡량은 암조건에서 18°C 에서부터 46°C 까지 1°C 간격으로 평형상태에 도달할 때 적외선 가스 분석기(Infra-red gas analyzer, LCA2, U. K.)

로 측정하였는데, 동화상을 개방계로 설치한 후 대기중의 공기를 분당 115ml의 속도로 흐르게 한 다음 대기중의 CO_2 농도와 동화상의 CO_2 농도의 차이로 하였다. 온도조절에 따른 CO_2 방출량은 steady-state CO_2 level이 될 때 측정되었으며 측정치는 data logger(Delta-T, U. K.)와 computer(serial port com1)로 전송한 후 분당 평균 값을 본 실험의 자료로 이용하였고, CO_2 방출량 계산법은 biophysical model⁶⁾를 참고하였다.

結果 및 考察

인삼의 광반응특성이 온도변화에 따라 그 양상이 어떠한가를 단기적(short term)인 조절 조건 하에서 Rubisco 활성변화로 알아본 결과 그림 1과 같았다.

광도가 증가할수록 적정온도 수준은 낮아지는 경향을 보였는데, 잎온도가 18°C 에서 최고 Rubisco 활성이 나타나는 광도수준은 $100, 200\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었으며, $300\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 과 $400\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서는 각각 17°C 와 16°C 로 낮은 잎온도 조건에서 활성이 높은 것으로 나타나 온도 수준이 낮아질수록 광이용효율이 높음을 알 수 있었다. 즉, 엽록체내에 존재하는 Rubisco 효소는 large subunit(58KD)에 해당되는데 합성시 온도보다는 광에 의존적이며(그림 2), large subunit가 small subunit와 결합하여 활성이 이루어질 때 광도의 영향은 온도의 수준에 따라서 그 반응이 다르게 나타날 수 있음을 시사한다.

반면, 암조건에서 잎온도의 증가는 호흡의 증가를 의미하는데(그림 3), 단기적인 조절조건 하에서 호흡량이 현저히 증가되기 시작하는 온도는 28°C 부터에서 40°C 까지이며 그 이상에서는 급속히 감소됨을 보였다. 따라서 호흡량이 증가되기 시작하는 온도와 잎기능이 정지되기 시작하는 온도 범위가 양지식물에 비하여 낮다고 생각된다.

이상의 결과를 보면 낮은 광 및 온도조건에서 Rubisco활성이 높으나, 광도가 높아지면 적정온도 수준이 낮아져 온도수준에 따라 광이용효율이 달라지고, 또한 암조건에서 온도의 증가는 호흡량

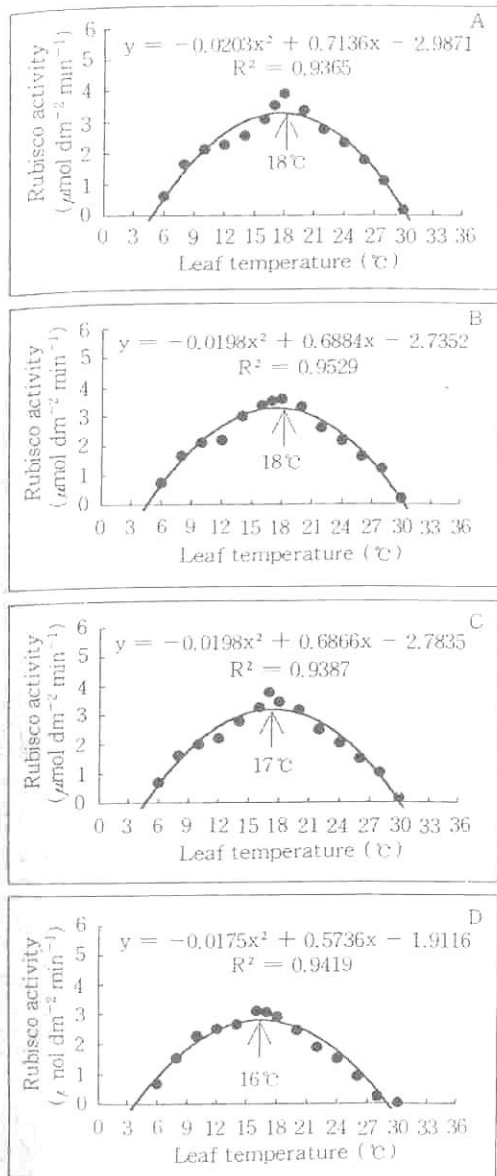


Fig. 1. Rubisco activity of *Panax ginseng*. leaflet exposed to changes of light intensity under increasing leaf temperatures sequence up to 30°C . Symbols represent means of five leaves. A: $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, B: $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, C: $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, D: $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

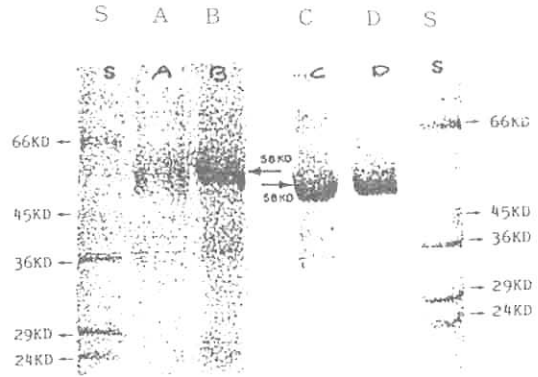


Fig. 2. Rubisco (large subunit) of chloroplast by percoll gradient and DEAE-Sephadex chromatography. leaflet exposed to different light intensity and leaf temperature for throughout greening. S: standard protein, A: $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, B: $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, C: 18°C , D: 30°C .

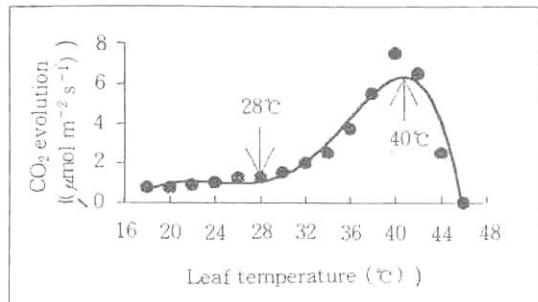


Fig. 3. CO_2 evolution of *Panax ginseng*. leaflet exposed to dark under increasing leaf temperatures sequence up to 46°C . Symbols represent means of six leaves.

증가의 의미를 가져오나 양지식물에 비하여 낮은 온도에서 증가됨을 알 수 있었다.

摘 要

고려인삼의 광반응과 호흡에 미치는 잎온도의 영향을 알아보기 위하여 단기적(short term)으로 조절된 광도에서 조건별로 온도를 1℃간격으로 30℃까지, 암조건에서는 46℃까지 증가시켜 그 반응을 살펴 보았다.

고려인삼의 Rubisco활성은 낮은 광도와 잎온도 조건에서 높은 경향을 보였는데, 광도가 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서는 18℃의 잎온도에서 최고의 활성을 보였으며 이는 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 광도에서도 같은 경향으로 나타났다. 그러나 300, 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서는 잎온도 수준이 각각 17℃와 16℃에서 최고 반응을 보여 광도증가에 따라 적정온도 수준이 감소하는 것으로 나타났다. 반면, 암조건에서는 28℃부터 40℃까지 호흡량이 급속히 증가하다가 40℃ 이후부터는 급속히 감소함을 보였다.

이상의 결과는 잎온도 조절에 따라 광이용효율을 높일 수 있으며 암조건에서의 CO₂ 발생량을 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

引用文獻

1. Bassham, J. A. 1977. Increasing crop production through more controlled photosynthesis. *Science*. 197:630-638.
2. Cline, K., J. Andrews, E. Mersey, H. Newcomb and K. Keegstra. 1981. Separation and characterization of inner and outer envelope membranes of pea chloroplasts. *Proc. Natn. Acad. Sci. U. S. A.* 78:3595-3599.
3. Crookston, R. K., J. O'Toole, and J. L. Ozbun. 1974. Characterization of the bean pod as a photosynthetic organ. *Crop Sci.* 14:708-712.
4. Gifford, R. M., J. H. Thorne, W. D. Hitz and R. T. Giaquinta. 1984. Crop productivity and photoassimilate partitioning. *Science*. 225:801-808.
5. Huber, S. C., T. W. Rufty, and P. S. Kerr. 1984. Effect of photoperiod on photosynthate partitioning and diurnal rhythms in sucrose phosphate synthase activity in leaves of soybean(*Glycine max* L. [Merr.]) and tobacco(*Nicotiana tabacum* L.). *Plant Physiol.* 75:1080-1084.
6. 현동윤, 황종규, 최선영, 조재성. 1993. 고려인삼의 광합성 특성 I. 광도와 잎온도의 변화에 따른 광합성 반응. *고려인삼학회지*. 17(3):240-245.
7. Keegstra, K. and K. Cline. 1982. Evidence that envelope and thylakoid membranes from pea chloroplasts lack glycoproteins. *Plant Physiol.* 70:232-237.
8. 이인철, 노근호, 이순희. 1982. 인삼잎의 CO₂ 고정능과 광호흡에 관한 연구. *한국식물학회지*. 25(3):105-111.
9. 이순희, 조영동, 홍영남, 권영명. 1982. 인삼엽의 엽록체발달과 CO₂ 고정양상에 관한 연구. *한국생화학학회지*. 15(2):141-150.
10. Peterson, L. W., G. E. Kleinkope, and R. C. Huffaker. 1973. Evidence for lack of turnover of rubulose 1,5-diphosphate carboxylase in barley leaves. *Plant Physiol.* 51:1042-1045.
11. 박인호, 홍영남, 권영명, 이순희, 조영동. 1982. 암처리한 인삼엽의 greening 과정에서 chlorophyll-protein complex 형성에 대한 연구. *한국생화학학회지*. 15(1):65-73.
12. Sharpe, P. J. H. 1983. Response of photosynthesis and dark respiration. *Annual of Botany*. 53:325-343.