

고려인삼의 광합성 특성

I. 광도와 잎온도의 변화에 따른 광합성 반응

현동윤·황종규·최선영·조재성*

전북대학교 농과대학 농학과, *충남대학교 농과대학 농학과

(1993년 7월 13일 접수)

Photosynthetic Characteristics of *Panax ginseng* C.A. Meyer

I. Photosynthetic Response to Changes of Light Intensity and Leaf Temperature

Dong-Yun Hyun, Jong-Kyu Hwang, Sun-Young Choi and Jae-Seong Jo*

Department of Agronomy, Chonbuk National University, Chonju 560-756, Korea

*Department of Agronomy, Chungnam National University, Taejeon 305-764, Korea

(Received July 13, 1993)

Abstract—This study was conducted with ginseng plants to investigate photosynthetic response to changes of light intensity and leaf temperature. CO_2 uptake in diurnal course was highest in the first phase (8:00~8:30 Am.) on May 30, 1992. In CO_2 uptake related to stomatal conductance, these relationship was synchronized in diurnal course, but relationship between CO_2 uptake and intercellular CO_2 concentration in diurnal course was synchronized oppositely. Leaf temperature and light intensity at the highest CO_2 uptake were in the range of $23\sim 24^\circ\text{C}$ and $95\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, respectively. In response to an increasing light intensity under a constant leaf temperature (18°C), CO_2 uptake was increased throughout the light intensity sequence up to $250\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. When CO_2 uptake was measured with a series of leaf temperature under a constant light intensity ($250\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), CO_2 uptake was highest at 18°C as a $4.1\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Similar changes were also observed in stomatal conductance and intercellular CO_2 concentration. Evidences from several approaches indicate that synchronization of CO_2 uptake, stomatal conductance and intercellular CO_2 concentration were closely inter-related and changes of leaf temperature influenced the photo-response in photosynthetic processes.

Key words—*Panax ginseng* C.A. Meyer, diurnal courses, CO_2 uptake, stomatal conductance, intercellular CO_2 concentration.

서 론

식물의 생장은 유전적 특성과 환경요인과의 상호 작용에 의하여 좌우되는데, 특히 광합성에서도 다수의 요인들이 관련되어 있기 때문에^{1, 8, 14, 17)} 환경변화에 따라 광합성 능력을 조사하는 것은 매우 중요하다.

일반적으로 인삼은 C_3 식물중 음지식물로서 CO_2 gas 교환량이 매우 낮고 또한 생육에 적합한 광도 및 온도의 범위도 $8\sim 21\ \text{klux}$, $18\sim 20^\circ\text{C}$ 로^{7, 19, 27, 28, 33)} 양

지식물(C_3 , C_4)보다 낮다.

CO_2 gas 교환량이 낮은 원인은 CO_2 gas 교환과 관계가 깊은 기공이 잎표면에는 없고 이면에 분화, 발달되어 있으며 그 수가 매우 적다는 점과 또한 엽록체 발달과 엽록소-단백질 복합체생성이 다른 식물보다 비교적 느리고 빛에너지를 이용한 환원력 및 엽록체내의 Rubisco 활성이 낮기 때문이라고 하였다.^{26, 29, 32, 35)}

이와 같이 형태적, 생화학적으로 원인규명이 인정

되어 있으나 이기능면에서는 밝혀진 바가 없어 더 깊은 연구가 필요하다.

인삼포 해가림내 환경조절에 관하여, 광도의 조절은 어느 정도 가능하다는 보고^{7, 19, 32)}는 있으나 광도를 적정수준으로 유지하면서 기온을 안정화 할 수 있는 방안에 대해서는 찾아 보기가 힘들다.

따라서 본 연구자는 광도와 잎온도의 변화에 따른 인삼의 광합성 반응을 CO₂ 흡수, 기공전도율, 세포간극내 CO₂ 농도의 변화로 조사하여 인삼생육에 적합한 광도와 온도를 찾고자 실시 하였다.

재료 및 방법

1. 재 료

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

2. 방 법

광도와 잎온도의 측정 및 조절: 광도 및 잎온도는 동화상에 부착된 광 및 온도 sensor를 한국표준연구소에서 표준치로 고정한 다음 측정하였으며 광도는 PPFD(photosynthetic photon flux density)로 하였으며 온도는 잎온도를 기준으로 하였다.

생장상의 광도 및 온도는 광도를 10 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ 에서 250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ 까지 10 ± 4 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ 간격으로 온도는 잎온도를 기준으로 하여 8°C에서 30°C 까지 1°C 간격으로 조절되었다.

CO₂ 흡수, 기공전도율 및 세포간극내 CO₂ 농도 측정: CO₂ 흡수량은 적외선 가스 분석기(Infra-red gas analyzer, 225-MK3, LCA2, U.K.)로 측정하였는데, 동화상을 개방제로 설치한 후 대기중의 CO₂ gas를 분당 115 ml의 속도로 흐르게 한 다음 대기중의 CO₂ 농도와 동화상의 CO₂ 농도의 차이로 하였다. 광도와 온도 조절에 따른 CO₂ 흡수량 측정은 steady-state CO₂ assimilation이 될 때 진행되었으며 측정치는 data logger(Delta-T, U.K.)와 16bit computer(serial port com1)로 전송한 후 분당 평균값을 본 실험의 자료로 이용하였고, CO₂ 흡수 및 기공전도율 그리고 세포간극내 CO₂ 농도 계산법은 다음과 같이 biophy-

sical model³⁶⁾에 준하였다.

$$-\text{CO}_2 \text{ uptake} = (C_i - (C_o/(P - E_o))) \times W$$

C_i: CO₂ partial pressure in air entering cuvette (μbar)

C_c: Error maximum=2.0

E_o: Vapour pressure of water of air in cuvette (bar)

P: Atmospheric pressure (bar)

W: Mass flow of dry air per unit leaf area (115 ml/min)

$$-\text{Stomatal conductance} = 1/R_s$$

$$R_s = (E_1/E_o - 1)/W - R_b$$

E₁: Saturated vapour pressure at leaf temperature (bar)

E_o: Vapour pressure of water of air in cuvette (bar)

W: Mass flow of dry air per unit leaf area ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

$$((V \times P)/((273 + t_a)a) \times 120.311 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$$

V: Volume flow rate of dry air into cuvette ($\text{cm}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}$)

P: Atmospheric pressure (bar)

t_a: Air temperature (°C)

a: Projected leaf area (cm^2)

R_b: Boundary layer resistance to water vapour ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

$$-\text{Intercellular CO}_2 \text{ conc.} = (g_c - E/2) \times (C_c - A)/(g_c + E/2)$$

Where $1/g_c = 1.6/g_s + 1.37/g_b$

g_c: Total conductance to CO₂ transfer ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

C_c: Error maximum=2.0

$$E = (E_o/P - E_o) \times W \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$$

E_o: Vapour pressure of water of air in cuvette (bar)

P: Atmospheric pressure (bar)

W: Mass flow of dry air per unit leaf area (115 ml/min)

결과 및 고찰

하루 중 광도와 잎온도의 변화에 따른 반응을 CO_2 흡수, 기공전도율 및 세포간극내 CO_2 농도의 변화로

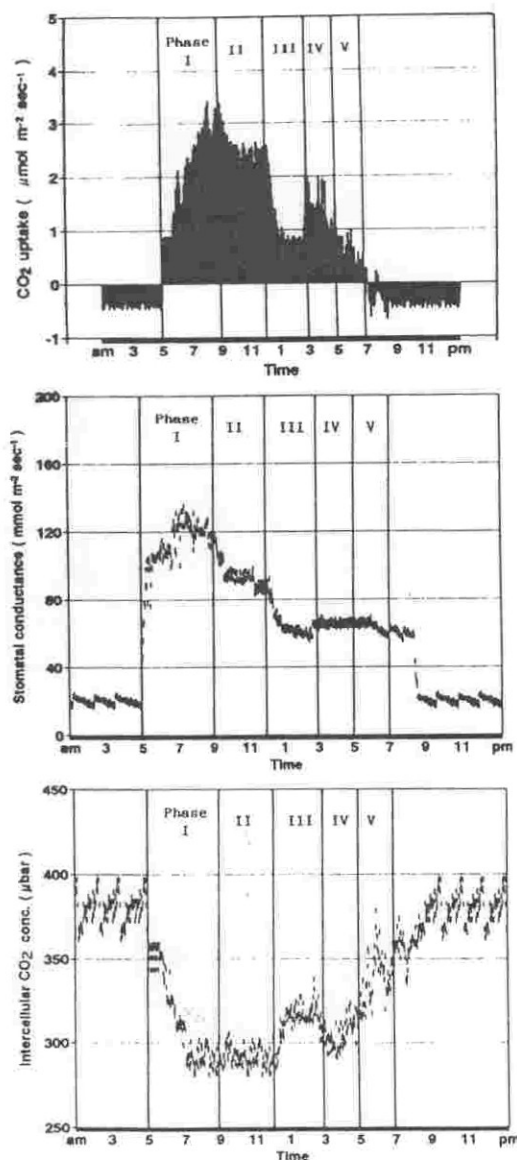


Fig. 1. Diurnal courses of CO_2 uptake, stomatal conductance and intercellular CO_2 concentration in *Panax ginseng* leaflet exposed to changing climatic condition on May 30, 1992. The data shown are from a single plant, but are representative of data from two other plants.

알아 본 결과(Fig. 1), 크게 5단계로 구분할 수 있는데 CO_2 흡수가 가장 높았을 경우는 1단계로 오전 8시와 8시 반 사이에 나타났다. 이와 같은 현상은 기공전도율의 변화에서도 찾아볼 수 있으며, 또한 세포간극내 CO_2 농도와도 밀접한 관계가 있음을 제시하여 준다.

이들의 반응은 광도가 $95 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 일 때 잎온도는 $23 \sim 24^\circ\text{C}$ 에 달할 때까지 증가하였으며(Fig. 2), 그 이상의 수준에서는 감소하는 경향이었으나 광도 및 잎온도가 떨어지는 3시경(4단계)부터 다시 약간의 증가를 보였는데 그 시점에서의 광도는 최고반응을 나타내는 광도와 비슷하였으나 잎온도는 30°C 정도로 상당히 높은 수준이었다. 따라서 광도가 최고반응을 나타내는 범위일지라도 일단 상승된 잎온도가 감소하기 까지는 어느 정도 시간이 소요되기 때문에 이 시점에서의 광합성반응은 온도에 의하여 크게 영향을 받았을 것으로 추측된다.

1단계에서 CO_2 흡수능력이 높았던 이유는 기공전도율의 증가와 세포간극내 CO_2 농도의 감소로 생각된다. 즉, 기공전도율의 증가는 수분확산, CO_2 확산 그리고 기공개도의 증가와 관련이 있으며^{11-13, 15, 16, 18, 22, 23, 30, 31, 34, 37} 세포간극내 CO_2 농도의 감소는 CO_2 고정에 의한 감소로 유추할 수 있다.^{3, 6, 25}

이와 같은 반응은 기공전도율과 세포간극내 CO_2 농도에서도 같은 경향으로 나타나(Fig. 4, 5) 고려인삼의 광합성반응은 잎온도의 변화에 따라 광반응 특성이 달라질 수 있음을 시사한다.

이상에서 알 수 있는 것은 광도의 증감에 따라

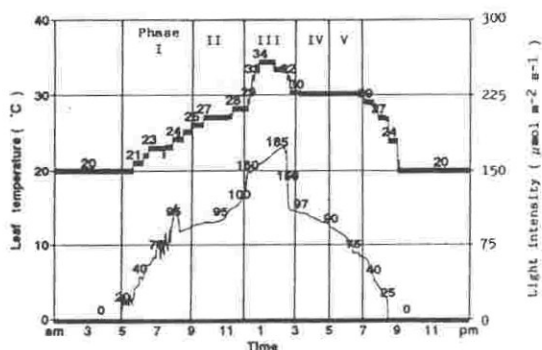


Fig. 2. Diurnal courses of light intensity and leaf temperature measured shading condition of *Panax ginseng* on May 30, 1992.

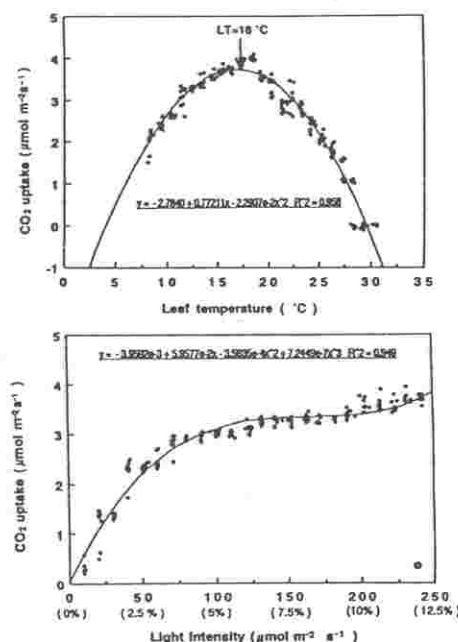


Fig. 3. CO₂ uptake of *Panax ginseng* leaflet exposed to changes of leaf temperature under a constant light intensity (250 μmol·m⁻²·sec⁻¹) and light intensity under a constant leaf temperature (18°C). Symbols represent means of three leaves. () is relative light intensity of full sun light.

온도가 변화되기 때문에 광도와 온도는 이들 광합성 능에 parallelism으로 관여하고 있음을 제시하는 것 같다. 따라서 광도와 잎온도의 변화에 따른 이들 반응특성을 보다 정확히 규명할 필요성이 있어 광도를 250 μmol·m⁻²·sec⁻¹으로 고정한 다음 온도에 대한 반응을 조사한 결과 잎온도가 비교적 낮은 18°C 부근에서 최대의 CO₂ 흡수를 보였으며 그 이상에서는 감소하는 경향을 나타내었다. 그 다음 광도에 대한 반응을 알아보기 위하여 잎온도를 18°C로 고정한 후 광도를 높였을 경우, CO₂ 흡수는 광도가 250 μmol·m⁻²·sec⁻¹에 달할 때까지 증가하였으며 특히 100 μmol·m⁻²·sec⁻¹ 부근까지는 급속히 증가하다가 그 이상에서는 완만하게 증가하였다(Fig. 3). 이와 같은 반응은 기공전도율과 세포간극내 CO₂ 농도에서도 같은 경향으로 나타나(Fig. 4, 5) 고려인삼의 광합성 반응은 잎온도의 변화에 따라 광반응특성이 달라질 수 있음을 시사한다.

이상의 결과에서 CO₂ 흡수의 변화는 기공의 생리적

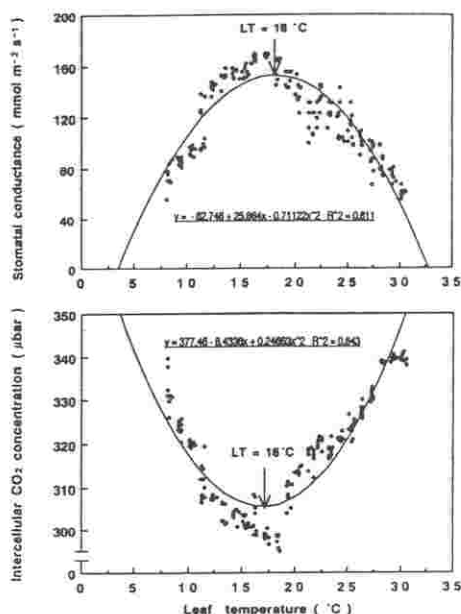


Fig. 4. Stomatal conductance and intercellular CO₂ concentration *Panax ginseng* leaflet exposed to changes of leaf temperature under a constant light intensity (250 μmol·m⁻²·sec⁻¹). Symbols represent means of three leaves.

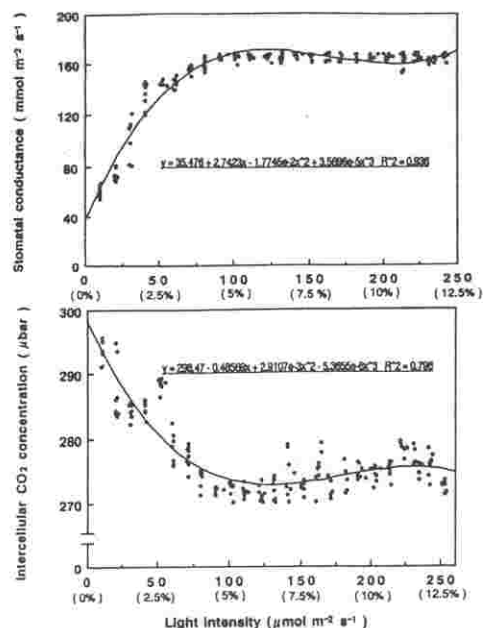


Fig. 5. Stomatal conductance and intercellular CO₂ concentration of *Panax ginseng* leaflet exposed to changes of light intensity under a constant leaf temperature (18°C). Symbols represent means of three leaves. () is relative light intensity of full sun light.

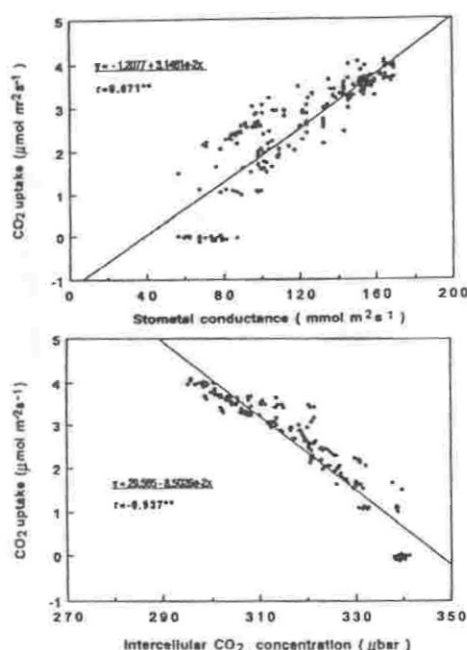


Fig. 6. Relationships among CO_2 uptake, stomatal conductance and intercellular CO_2 concentration at changes of leaf temperature.

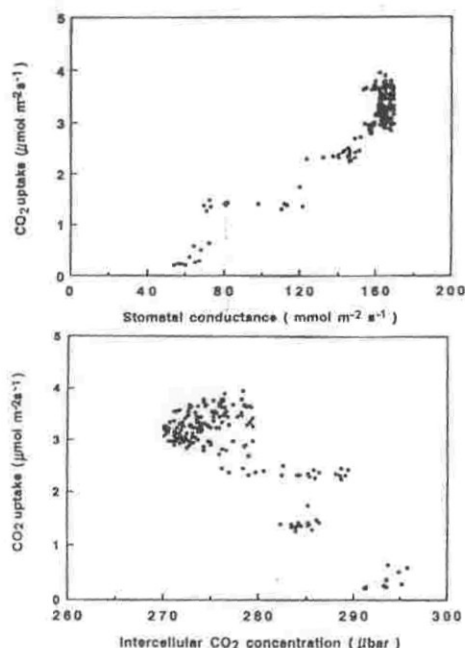


Fig. 7. Relationships among CO_2 uptake, stomatal conductance and intercellular CO_2 concentration at changes of light intensity.

기능과 관계가 있는 기공전도율과 세포간극내 CO_2 농도와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다(Fig. 6, 7). 또한 광도 및 온도에 대한 반응특성은 양지식물과는 상이한 결과¹⁰⁾이었으나 양지식물이 음지에서 생장되었을 경우^{4,5,9)}와 음지식물의 광도 및 온도의 반응특성에서 나타난 결과²⁾와는 비슷한 현상이었다.

요 약

본 연구는 광도와 잎온도의 변화에 따른 고려인삼의 광합성반응을 알아보기 위하여 진행되었다.

하루 중 CO_2 흡수는 1단계인 오전 8시에서 8시 반 사이에 가장 높게 나타났으며, CO_2 흡수와 밀접한 기공전도율도 CO_2 흡수가 높은 시점에서 높았다. 그러나 세포간극내 CO_2 농도는 CO_2 흡수가 증가할 때 감소하는 현상이었다. CO_2 흡수가 높은 시점에서의 잎온도와 광도는 각각 $23\sim 24^\circ\text{C}$ 와 $95\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 범위이었다.

잎온도를 18°C 일정하게 유지한 다음 광도의 변화에 따른 CO_2 흡수를 조사한 바, CO_2 흡수는 $250\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에 달할 때까지 증가하였다. 반면, 광도를 $250\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 일정하게 유지한 다음 잎온도의 변화에 따른 CO_2 흡수는 잎온도가 18°C 에 이르러서 가장 높았다.

이와 같은 현상은 기공전도율과 세포간극내 CO_2 농도에서도 같은 경향으로 나타났다.

이상에서 CO_2 흡수, 기공전도율 및 세포간극내 CO_2 농도의 일치는 매우 밀접한 관계가 있음을 시사하며, 잎온도의 변화에 따라 광반응 특성이 달라질 수 있음을 시사한다.

인 용 문 헌

1. Bassham, J.A. : *Science*, **197**, 630 (1977).
2. Bjorkman, O. and Holmgren, P. : *Physiol. Plant*, **19**, 854 (1966).
3. Blank Jr, C.C. : *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **24**, 253 (1973).
4. Boardman, N.K. : *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **28**, 355 (1977).
5. Burnside, C.A. and Bohning, R.H. : *Plant Physiol.*, **32**, 61 (1957).
6. Caemmerer, S.V. and Farquhar, G.D. : *Planta*, **153**,

- 376 (1981).
7. 천성기, 목성균, 이성식, 신동양 : *고려인삼학회지*, **15** (1), 21 (1991).
8. Crookston, R.K., O'Toole, J. and Ozbun, J.L. : *Crop. Science*, **14**, 708 (1974).
9. Crookston, R.K., Treharne, K.J., Ludford, P. and Ozbun, J.L. : *Crop. Science*, **15**, 412 (1975).
10. Downes, R.W. : *Photosynthesis and Photorespiration*, ed. M.D. Hatch, C.B. Osmond, R.O. Slatyer, pp. 57-62, New York: Wiley-Interscience (1971).
11. Farquhar, G.D., Caemmerer, S.V. and Berry, J.A. : *Planta*, **149**, 78 (1980).
12. Farquhar, G.D. and Sharkey, T.D. : *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **33**, 317 (1982).
13. Frank, A.B. : *Agron. J.*, **73**, 70 (1981).
14. Gifford, R.M., Thorne, J.H., Hitz, W.D. and Giaquinta, R.T. : *Science*, **225**, 801 (1984).
15. Grantz, D.A. : *Field Crops Research*, **22**, 143 (1989).
16. 한홍전, 유종원 : *한국초지학회지*, **6**(1), 53 (1986).
17. Huber, S.C., Rufty, T.W. and Kerr, P.S. : *Plant Physiol.*, **75**, 1080 (1984).
18. Israel Zelitch : *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **20**, 329 (1969).
19. 조재성, 원윤연, 목성균 : *한국작물학회지*, **31**(4), 408 (1986).
20. Johan, M.H.S., Peet, M.M., Willits, D.H. and Nelson, P.V. : *Plant Physiol.*, **94**, 46 (1990).
21. Johan, M.H., Willits, D.H., Peet, M.M. and Nelson, P.V. : *Plant Physiol.*, **96**, 529 (1991).
22. Katrina, C., Radin, J.W., Turcotte, E.L., Lu, Z. and Zeiger, E. : *Plant Physiol.*, **97**, 484 (1991).
23. Kaufmann, M.R. : *Plant Physiol.*, **69**, 1018 (1982).
24. Kobza, J. and Seemann, J.R. : *Plant Physiol.*, **89**, 918 (1989).
25. Laing, W.A., Ogren, W.L. and Hageman, R.H. : *Plant Physiol.*, **54**, 678 (1974).
26. 이인철, 노근호, 이순희 : *한국식물학회지*, **25**(3), 105 (1982).
27. 이종철, 최진호, 천성기, 이종채, 조재성 : *한국작물학회지*, **28**(4), 497 (1983).
28. 이성식, 천성기, 목성균 : *한국작물학회지*, **32**(3), 256 (1987).
29. 이순희, 조영동, 홍영남, 권영명 : *한국생화학학회지*, **15** (2), 141 (1982).
30. Mansfield, T.A., Hetherington, A.M. and Atkinson, C.J. : *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, **41**, 55 (1990).
31. Moss, D.N., Musgrave, R.B. and Lemon, E.R. : *Crop Science*, **1** 83 (1961).
32. Park, H. : *J. Korean Soc. Soil Sci.*, **12**(1), 159 (1979).
33. 박 훈, 윤태현, 배효원 : *J. Korean Soc. Soil Sci.*, **12** (2), 77 (1979).
34. Parkhurst, D.F. : *Can. J. Bot.*, **62**, 163 (1984).
35. 박인호, 홍영남, 권영명, 이순희, 조영동 : *한국생화학학회지*, **15**(1), 65 (1982).
36. Parkinson, K.J. : *Prometry in S.E.B. Symposium on Instrumentation for Environmental Physiology*. Cambridge University Press (1983).
37. Wong, S.C., Cowan, I.R. and Farquhar, G.D. : *Plant Physiol.*, **78**, 826 (1985).
38. Wiley, K.T., Phillip, S.K., Usuda, H. and Steven, C.H. : *Plant Physiol.*, **83**, 283 (1987).