

동화상내 공기유입속도의 변화에 따른 벼의 광합성반응

玄東允* · 崔京求** · 金鎮淇**

Photosynthetic Response of Rice Plant to Changes of Air Influx Rate into Photosynthetic Chamber

Dong Yun Hyun* · Kyeong Gu Choi** and Jin Key Kim**

ABSTRACT : This study was conducted to investigate photosynthetic response to four sequential air influx rate with rice(*Oryza sativa* L.) plants moved from a natural condition to constant condition with automatic regulation selected environmental variables on 13th~15th days after anthesis.

In time course of photosynthetic response to increasing air influx rate(200-280-360-440 ml/min.), stomatal conductance decreased rapidly at the beginning after treatment and then oscillated with a free-running period of a approximately 1 hour to 1 hour 30 minutes until reached up to steady-state condition. Similar change was also observed CO₂ assimilation rate. Stomatal conductance decreased throughout the air influx rate sequence, but the rate of decrease was similar to the decrease in CO₂ assimilation rate observed under continuous air influx rate conditions.

In starch granules during grain filling period under air influx rate(440 ml/min.), compound starch granules were loosening and a number of hollows were observed in surface of single starch granules.

Evidences from several approaches indicate that synchronization of stomatal conductance and CO₂ assimilation rate was closely inter-related under increase of air influx rate and increase of air influx rate influenced the CO₂ uptake in photosynthetic processes and compound starch granule, as "end products" of photosynthesis.

Key word : *Oryza sativa* L., Air influx rate, CO₂ assimilation rate, Stomatal conductance, Starch granule

대기상태에서 공기흐름은 작물에 있어서 그리 중요한 생태적 문제가 되지 않으나 주의깊게 살펴보면 흥미있는 면들이 있다. 즉, 공기흐름이 식물체에 영향을 미치는 경우는 air boundary layer와 식물체 주위의 aerial surfaces에 의존하는데⁵⁾, 이

는 증산을 증가시키기도 하고 한편으로는 감소시킨다는 보고가 있다³⁾.

광도가 낮고 잎온도가 대기온도보다 낮았을 때 그리고 잎저항이 낮으면 공기흐름의 증가에 의하여 증산이 증가되는 경향이 있으나 광도가 높고 잎

* 호남작물시험장(Honam Crop Experiment station, R. D. A., Iri 570-080, Korea)

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

〈'94. 7. 18 接受〉

온도가 대기온도보다 높았을 때 그리고 잎저항이 높으면 공기흐름의 증가는 증산을 감소시킨다고 하였다⁷⁾. 증산의 감소는 잎온도와 잎의 수분 potential이 감소되기 때문이며³⁾ 이는 대기환경 중 공기흐름과 매우 밀접하다는 사실을 알 수 있다⁷⁾. 이러한 사실로 미루어 볼 때 공기흐름의 증가는 아열대 작물의 기공전도율 및 CO₂ 동화율에 영향을 미칠 것으로 생각되나 이에 관하여 밝혀진 바가 없다. 따라서 본 연구는 아열대작물 중 벼를 선택하여 동화상내 공기유입속도는 증가에 따른 광합성 반응을 조사하여 작물생육에 관한 기초정보로 활용하고자 실시 하였다.

材料 및 方法

본실험은 동진벼를 1993년 5월 1일에 육묘상자에 파종 육묘하여 5월 24일 포트당 3주씩 이앙하였으며 시비량 및 재배관리는 농촌진흥청 벼 표준재배법에 준하였다.

광도 및 온도는 동화상(1050 cm³)에 부착된 광도 및 온도 sensor(Li-6000, U.S.A.)를 한국 표준연구소에서 표준치로 교정한 다음 측정하였으며 광도는 PPFD(photosynthetic photon flux density)로 하였다. 생장상(192,000 cm³)의 광도는 1390 ± 8 μmol m⁻² s⁻¹으로 온도는 27 ± 0.3℃로 유지하였으며 수증기압은 18 millibar로 하였다. 동화상내의 CO₂ 농도는 gas diluter(GD 600-7474, ADC, U. K.)를 이용하여 측정시 일정한 수준(350 ± 0.7 μbar)으로 유지 될 수 있게 하였다. 동화상 및 생장상내의 공기유입속도는 다음과 같이 Poiseuille's equation¹⁾을 참고로 하여 분당 120ml를 대조구로 한 후 440ml까지 80ml 간격으로 조절하였다.

$$V = \frac{\pi r^4 \cdot p \cdot t}{8 \eta l}$$

V = volume of flow(mm³)

r = radius of tube(mm)

p = pressure activating the flow(N m⁻²)

t = time(second)

η = dynamic viscosity of the gas(N s m⁻²)

l = length of tube(mm)

탄소동화율 측정은 출수 후 13일 부터 지엽을 대상으로 적외선 가스 분석기(Infra-red gas analyzer, LCA2, U. K.)로 측정하였는데, 동화상을 개방계로 설치한 후 대기중의 CO₂ gas를 공기유입속도에 준하여 동화상내로 흐르게 한 다음 대기중의 CO₂농도와 동화상내의 CO₂농도의 차이로 하였다. 공기유입속도 조절에 따른 탄소동화율 측정은 측정치를 data logger에 저장한 후 IBM personal computer 486DX (serial port com1)에 data 전송 프로그램을 이용하여 전송한 후 분당 값을 본 실험의 자료로 이용하였고, 탄소동화율과 기공전도율의 계산법은 다음과 같이 biophysical model⁶⁾에 준 하였다.

$$CO_2 \text{ assimilation rate} = \{Ci - [Cc / (P - Eo)]\}$$

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

Cc>Error maximum = 2.0

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

P:Atmospheric pressure(bar)

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

R_s = (E₁ / E₀ - 1) / W - R_b

E₁:Saturated vapour pressure at leaf temperature(bar)

E₀:Vapour pressure of water of air in cuvette (bar)

W:Mass flow of dry air per unit leaf area(mol m⁻² s⁻¹)

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

V:Volume flow rate of dry air into cuvette (cm³ s⁻¹)

P:Atmospheric pressure(bar)

t_a:Air temperature(℃)

a:Projected leaf area(cm²)

R_b:Boundary layer resistance to water vapour (mol m⁻² s⁻¹)

전분결정구조:개화 후 13일 부터 40일간 생장상의 환경조건에서 낮의 길이와 밤의 길이를 9:15로 조절하였으며 공기유입속도는 120ml를 대조구로 하고 440ml를 처리구로 하였다. 등숙 후 쌀알의 횡단면을 Au/Pd(60:40)으로 진공 증착한 후 호분층 안쪽의 일정부분을 scanning electron microscope(SEM, Hitachi, Japan)로 2000배 확대하여 검정 조사하였다.

結果 및 考察

자연환경조건에서 재배된 벼를 개화 후 10일에 일정한 환경조건(그림 1)으로 옮긴 다음 공기유입 속도에 따른 벼의 기공전도율과 탄소동화율의 반응을 알아보기 위하여 공기유입속도를 분당 120

ml를 기준으로 하여 80 ml 간격으로 440 ml까지 증가하였을 경우(그림 2), 기공전도율은 각각의 처리 후 초기에 급속히 감소하였으나 시간이 경과함에 따라 변화의 폭이 일정한 수준으로 유지되는 현상을 보였으며 이와 같은 현상은 탄소동화율에서도 찾아 볼 수 있었다. 따라서 처리에 의한 광합

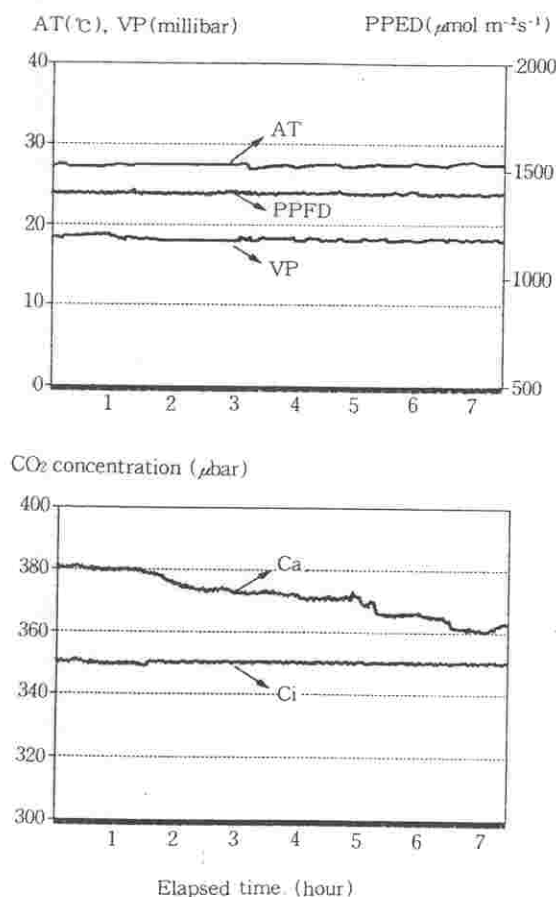


Fig. 1. Time course of light intensity, air temperature, vapour pressure, and CO₂ partial pressure in a plasticcovered chamber. All data were obtained with a sensor connected to a computer data acquisition system which recorded the signal at 1-min. intervals. PPFD, Photosynthetic photon flux density; AT, Air temperature; VP, Vapour pressure in air condition; Ca, CO₂ concentration in air condition; Ci, CO₂ partial pressure in air entering cuvette.

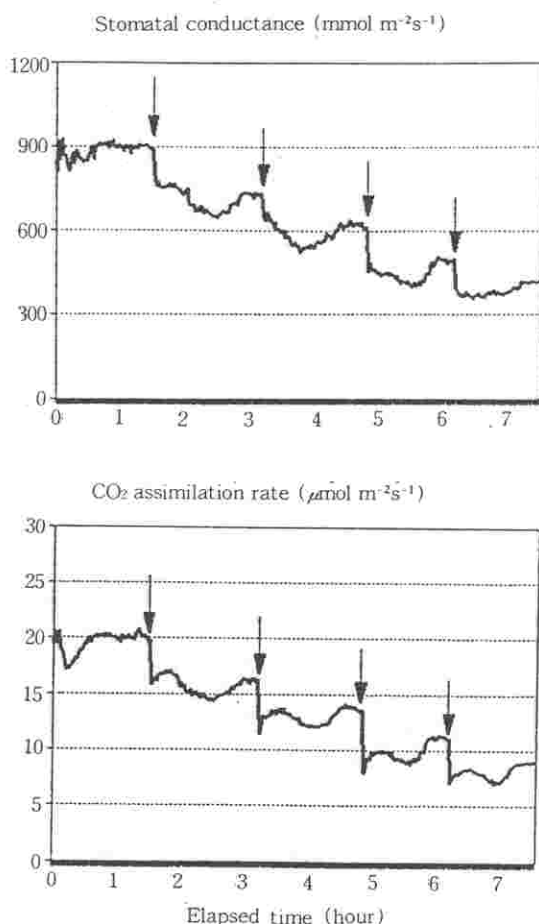


Fig. 2. Time course of stomatal conductance and CO₂ assimilation rate of leaf exposed to a sequence of air influx rate from 120 ml/min. to 440 ml/min. under constant light intensity ($1390 \pm 11 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), leaf temperature ($27 \pm 0.3^\circ\text{C}$), and vapor pressure (18 millibar). The data shown are from a single plant, but are representative of data from six other plants. Arrows indicate the time when air influx rate was increased (200-280-360-440).

Table 1. Stomatal conductance and CO₂ assimilation rate of *Oryza sativa* L. in changes of air influx rate under constant condition shown graphically in figure 1

Air influx rate (ml/min.)	Stomatal conductance (mmol m ⁻² s ⁻¹)	CO ₂ assimilation rate (mol m ⁻² s ⁻¹)
120 (Control)	906.2 a	20.2 a
200	731.7 b	17.2 b
280	617.5 c	13.7 c
360	495.4 d	11.9 d
440	402.3 e	8.9 e

Data were derived from the steady-state stomatal conductance and CO₂ assimilation rate shown graphically in figure 2

The same letter are not significantly different at the 0.05 level(n=10)

성 반응은 일정시간이 지나야 equilibrium상태로 도달 하는데 기공전도율과 탄소동화율이 평형상태에 도달하는 시간은 약 1시간에서 1시간 반 정도임을 알 수 있었다.

처리에 따른 차이를 볼 때(표 1), 분당 440ml 처리시 기공전도율과 탄소동화율은 120ml 처리 보다 2.3배나 감소하는 경향을 나타내어 감소정도가 급함을 알 수 있었다(표 2). 이러한 결과는 공기유입속도가 증가하면 증산이 감소하게 되고 또한 잎 저항이 높아져 기공이 폐공되는 현상으로 나타나 기공전도율이 낮아지게 되어 결국 탄소동화율의 감소를 초래한 것으로 생각된다(표 3). 이와 같은 변화는 단기적(short-term) 조절과정과 장기적(long-term) 조절과정으로 구분하여 해석할 수 있는데^{2,4)}, 공기유입속도의 변화에 따른 광합성의 경시적 변화는 단기적 조절과정으로 해석하는 것이 타당하나 처리조건이 장기화 되었을 경우는 광합성과 관련된 형질중 sink에 해당하는 부분이 영향을 받을 가능성이 높을 것으로 추측되어 수정 후 13일 부터 40일간 분당 440 ml를 처리 하였을 경우 전분덩어리들 간의 결합구조가 느슨하게 나타나며 전분덩어리를 횡단 하였을 경우 미세한 구멍이 발생함을 알 수 있어(그림 3) 광합성 산물의 분배, 전류과정이 억제됨을 시사한다.

Table 2. Correlation coefficient between air influx rate and photosynthetic factors

Photosynthetic factors	Air influx rate
Stomatal conductance	-0.987**
CO ₂ assimilation rate	-0.981**

** : 1% level of significance

Table 3. Correlation coefficient between stomatal conductance and CO₂ assimilation rate

Photosynthetic factor	Stomatal conductance
CO ₂ assimilation rate	0.926**

** : 1% level of significance

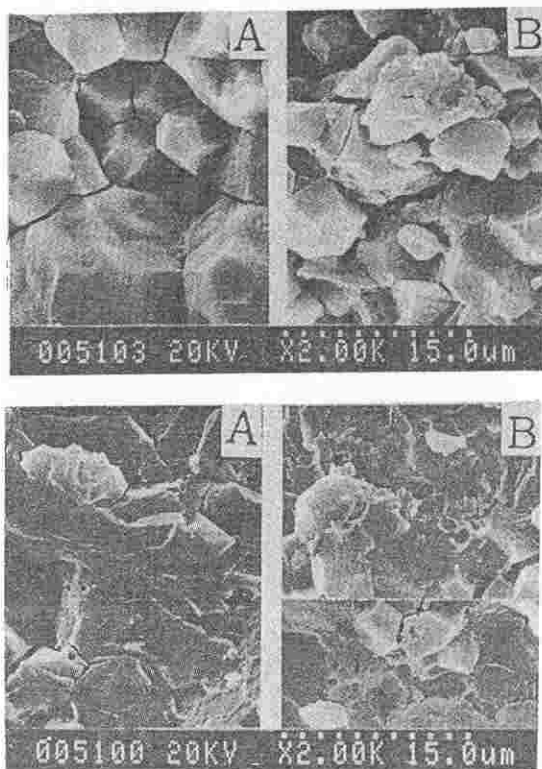


Fig. 3. Effect of air influx rate on starch granules during grain filling period after anthesis. Upper: Compound starch granules. Lower: Surface of single starch granules. A, 120 ml/min.; B, 440 ml/min. Arrows indicate microspores.

본 연구는 자연조건에서 생육된 벼를 수정 후 13 일에서 15일에 일정한 환경조건으로 옮긴 다음 공기 유입속도의 변화(200-280-360-440 ml/min.)에 따른 벼의 광합성 반응을 알아보기 위하여 진행되었다.

공기유입속도의 변화에 따른 경시적인 광합성 반응에서, 기공전도율은 처리 후 초기에 급속히 감소한 다음 일정시간동안 동요되다가 약 1시간에서 1시간 30분후에 평형상태에 도달되었다. 이와 유사한 변화는 탄소동화율에서도 찾아 볼 수 있었다.

기공전도율은 공기유입속도가 증가함에 따라 감소하였는데, 그 감소율은 탄소동화율에서 나타나는 감소율과 일치되는 경향이였다. 공기의 흐름을 분당 440 ml로 하여 전분이 축적되는 기간동안 처리 하였을 경우, 전분덩어리들 간의 결합구조가 느슨하며 전분덩어리를 횡단하였을 경우에는 미세한 구멍이 발생됨을 관찰할 수 있었다.

이상에서 알 수 있는 것은 공기유입속도의 증가에 따른 기공전도율과 탄소동화율은 상호간 관계가 밀접함을 알 수 있으며 공기유입속도의 증가는 광합성과정에서 CO₂ 흡수 및 광합성의 최종산물인 전분구조에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다.

1. Burton, W.G. 1982. Post-harvest physiology of food crops. Longman press. pp.69-96.
2. Caemmerer, S.V. and G.D. Farquhar. 1981. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchanges of leaves. *Planta* 153: 376-387.
3. Devlin, R.M. and F.H. Witham. 1983. Plant physiology. Willard Grant Press. pp.88-91.
4. Johan, M.H. Stoop, M.M. Peet, D.H. Wil-lits, and P.V. Nelson. 1990. Photosynthetic dynamics in Chrysanthemum in response to single step increases and decreases in photon flux density. *Plant physiol.* 94:46-53.
5. Nobel, P.S. 1983. Biophysical plant physiology and ecology. W.H. Freeman Press. pp.356-357.
6. Parkinson, K.J. 1983. Prometry in S.E.B. symposium on instrumentation for environmental physiology. Cambridge University Press.
7. Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1985. Plant physiology. Wadsworth Press. pp.73-74.