

플러그묘 個體群의 純光合成速度 測定

Measurement of net photosynthetic rate in the plug stand

김용현* 古在豊樹**

정희원

Y.H. Kim T. Kozai

1. 서론

식물생산 시스템에서 환경제어의 목적은 식물의 광합성 능력을 최대로 유지시키면서 식물생산에 적합하도록 물리, 화학 또는 생물학적 환경요소를 적절하게 조성하는 데 있다. 식물의 광합성속도를 측정해보면 광합성속도가 단순히 광강도만에 의해서 결정되는 것이 아니고, 대기중의 CO₂ 농도, 기류속도, 상대습도 등 광이외의 환경요소에 의해서도 크게 변화된다. 대기중의 CO₂ 농도가 엽내의 엽록체(chloroplast)로 확산되는 현상으로서 광합성을 해석하려면 기류속도, 기온, 상대습도, CO₂ 농도 등과 같은 미기상 환경요소가 CO₂ 확산에 미치는 영향이 먼저 구명되어야 한다. 최근들어 묘생산의 省力化가 용이한 플러그묘의 이용이 계속 증가하고 있는 가운데 품질이 균일한 묘를 생산하는 데 있어서 적정 환경제어기술의 확립에 대한 관심이 증대되고 있다. 플러그묘의 생장을 제어하여 품질이 균일한 묘를 생산하려면 플러그묘 個體群(이하 '묘개체군'이라 칭함)에 대한 성장해석이 시도되어야 한다. 이제까지 單葉의 광합성 또는 호흡속도를 측정하기 위한 시도는 오래전부터 이루어져 왔으나, 플러그묘와 같이 초장이 작은 식물개체군의 광합성속도를 측정하기 위한 시도는 전무한 실정이다. 미기상 환경요소가 묘개체군의 생장에 미치는 효과 분석에 선행하여 시도된 본 연구에서는 플러그묘 육성용 풍동내의 기류속도 및 CO₂ 농도 분포에 기초한 묘개체군의 純光合成速度 측정법에 대해서 보고한다.

2. 재료 및 방법

가. 광합성 측정

식물의 乾物生長 즉 乾物重의 증가는 광합성산물의 축적에 의해서 이루어진다. CO₂ 교환은 광합성 또는 호흡에 의해서 大氣와 植物葉內의 사이에 이루어진다. 單葉 또는 식물 개체군의 CO₂ 교환속도를 측정할 때 여러가지 방법이 사용될 수 있으나, 실험목적 또는 대상 식물체의 종류에 따라 적절한 측정법을 선택하는 것이 중요하다. 식물 개체군의 광합성 또는 호흡속도를 결정할 때 개체별로 측정된 광합성 또는 호흡속도를 사용하면 이 과정에 커다란 측정오차가 포함될 수 있다. 식물개체군은 식물개체에 의해서 구성되나 개체군의 성질

* 전북대학교 농과대학 농업기계공학과

** 日本 千葉大學 園藝學部 生物生産科學科 環境調節工學研究室

또는 기능은 개체의 그것과 전혀 다른 성질을 갖게 된다. 즉 식물이 집단 상태를 이루어 개체군을 형성할 경우 개체군내의 온도, 광, CO₂ 농도 등과 같은 환경조건은 개체군 외부에서의 환경조건과 다르게 된다. 그러므로 식물개체군을 하나의 개체로 다루어 광합성속도를 측정하는 것이 바람직하다. 식물개체군의 광합성속도를 同化箱法으로 측정하려면 개체군 형성에 적지않는 시간이 소요될 뿐만 아니라 개체군을 수용할만한 커다란 설비가 요구되므로 측정에 많은 어려움이 따르게 된다. 본 연구에서 묘개체군의 순광합성속도 측정에 金등¹⁾과 Kim등³⁾이 제작한 플러그육성용 풍동내에서 배지표면 위의 높이별로 측정된 기류속도 및 CO₂ 농도 분포를 이용하여 묘개체군의 순광합성속도를 결정한 積算法과 묘개체군 위에서의 확산계수를 이용하여 순광합성속도를 결정한 擴散係數 利用法이 적용되었다.

1) 적산법

氣流의 진행방향을 따라 CO₂ 농도가 감소되므로 묘개체군에 의해서 감소된 CO₂ 농도가 모두 흡수되는 가정하에 다음 식을 사용하여 광합성속도를 결정하였다.

$$P_n = k_1 \sum_{i=1}^n \frac{(C_{in}-C_{out})_i}{A} V_i \frac{273.15}{273.15+t} \frac{P}{1013} \quad (1)$$

여기서, P_n : 순광합성속도(mgCO₂ dm⁻² hr⁻¹), k₁ : 단위환산계수, C_{in} : 입구측의 CO₂ 농도(μmol mol⁻¹), C_{out} : 출구측의 CO₂ 농도(μmol mol⁻¹), V : 풍량(cm³ sec⁻¹), A : 육묘상자의 면적(cm²), t : 기온(°C), P : 기압(mb)이다. 식(1)에서 단위환산계수 k₁은 0°C, 1기압에서 0.0446의 값을 갖는다. i는 배지표면으로부터 시작되는 기류속도 및 CO₂ 농도 측정지점에 해당된다.

2) 확산계수 이용법

대기로부터 묘개체군내로 CO₂의 확산이 이루어질 때 광합성속도는 다음과 같이 표시된다.

$$P_n = k_2 D_{CO_2} \frac{dC_{CO_2}}{dh} \quad (2)$$

여기서, k₂ : 단위환산계수(=7071.4), D_{CO₂} : CO₂ 분자의 확산계수(m² s⁻¹), C_{CO₂} : 임의의 측정높이에서의 CO₂ 농도(μmol mol⁻¹), h : 측정높이(cm)이다. 식(2)에서 CO₂ 분자의 확산계수를 묘개체군 위에서 공기의 확산계수와 동일한 것으로 가정하였으며, 이 때 金등¹⁾과 Kim등³⁾이 제시한 확산계수가 적용되었다. 한편, 임의의 측정높이에서 CO₂ 농도 기울기에 해당되는 dC_{CO₂}/dh 대신에 묘개체군 내외에서 CO₂ 농도차가 최대로 나타나는 경우의 평균 기울기가 사용되었으며, 묘개체군에 의한 CO₂ 흡수는 수직방향으로 이루어지는 것으로 가정하여 광합성속도가 결정되었다.

나. 측정항목 및 방법

기류제어 및 개체군의 공기역학적 특성에 관한 실험은 실내온도와 상대습도가 각각 22 ± 0.5°C, 65 ± 5%로 유지되는 대형 growth chamber 내에서 이루어졌다. 공시식물로서 사용된

가지(*Solanum melongna* L.)의 플러그묘는 播種後 15일간의 육묘기간 동안 2매의 本葉을 갖는 플러그묘로 육성되었다. 실험개시일에 플러그묘의 평균초장과 엽면적지수는 각각 52mm 및 0.5 이었다. 실험기간 동안 배지표면에서 光合成光量子束密度(photosynthetic photon flux density)의 평균값은 $300 \pm 8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 나타났으며, 明期와 暗期는 각각 16시간 및 8시간 이었다.

기류속도는 육묘상자의 배지 표면으로부터 18cm 떨어진 높이에서 0.3, 0.5, 0.7 및 0.9m s^{-1} 의 4수준으로 설정된 가운데 열선풍속계(Kanomax, 6071)에 의해서 측정되었다. 기류속도의 측정 부위는 정류장치의 출구로부터 각각 0.3, 0.8 및 1.3m 떨어진 지점에서 배지 표면위 3cm 부터 27cm 까지 3cm 간격의 높이에 해당된다. CO_2 농도는 실험개시후 0, 5, 10일째에 明期 시작후 각각 0, 4, 8, 12시간에 정류장치의 출구로부터 각각 0.8 및 1.3m 떨어진 지점으로서 배지 표면위 3cm 부터 12cm 까지 3cm 간격의 높이에서 측정되었다. 또한 정류장치의 출구로부터 0.3m 떨어진 지점의 배지 표면위 15cm 높이에서 생육실의 입구측 CO_2 농도가 측정되었다. 각각의 측정 높이에 설치된 직경 2mm의 알루미늄 파이프와 실리콘튜브로서 sampling된 공기의 CO_2 농도는 3방향 전자밸브를 통하여 광합성측정시스템(LI-COR, LI-6200) 내의 적외선 분석기에 의해서 측정되었다(그림 1).

3. 결과 및 고찰

그림 2는 플러그묘의 생육단계에 따라 측정된 기류속도 분포이다. 그림에서 0.5, 1.4 및 2.6의 엽면적지수(Leaf area index, LAI)는 각각 실험개시후 0, 5 및 10일째의 플러그묘에 해당되는 생육지수이다. 플러그묘의 생육이 이루어짐에 따라 개체군내의 기류속도는 초장 및 엽면적에 의한 저항을 크게 받아, 기류속도가 현저히 감소하는 것으로 나타났다. 묘개체군 위 근처의 기류속도는 엽면적지수의 증가와 따라 급속히 감소하는 것으로 나타났다. 그림 3은 기류속도가 0.5m s^{-1} 일 때 플러그묘의 생육단계에 따라 각각의 측정높이에서의 CO_2 농도와 기준 높이에 해당되는 배지 표면위 12cm 높이에서의 CO_2 농도차를 나타낸 것이다. 생육지수의 증가와 함께 평균초장 부근에서 나타난 CO_2 농도의 최저치는 기준 높이에서의 농도보다 $8 \sim 12 \mu\text{mol mol}^{-1}$ 정도 낮게 나타났다.

실험개시후 5일째에 식(1)과 식(2)에 의해서 결정된 묘개체군의 순광합성속도가 그림 4에 실려 있다. 그림 4의 순광합성속도는 明期 개시후 4회 측정한 광합성속도의 평균치에 해당된다. 확산계수를 이용하여 결정된 순광합성속도는 적산법으로 결정된 순광합성속도의 28~45% 정도인 것으로 나타났다. 이와같은 차이는 氣流의 진행방향을 따라 CO_2 가 흡수되는 적산법과 CO_2 흡수가 수직방향으로 이루어지는 것으로 가정하여 결정된 확산계수 이용법에 기인된 것으로 판단된다. 그림 5는 적산법으로 결정된 순광합성속에 미치는 기류속도의 효과를 나타낸 것이다. 기류속도가 0.7m s^{-1} 에 이르기까지 기류속도의 증가에 따라 순광합성속도가 증가하였는데, 이것은 기류속도의 증가에 따라 확산저항이 감소되어 CO_2 확산이 보다 용이하게 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다. 생육실의 위치에 따른 순광합성속도가 그림

6에 실려 있다. 생육실 後部에서의 순광합성속도는 前部の 경우에 비해서 24~51% 작게 나타났다. 그림 7은 CO₂ 施用이 이루어지지 않으며 기류속도가 0.7m s⁻¹일 때 明期 개시후 경과된 시간에 따라 생육실 중앙부의 배지표면 위 6cm 높이에서 측정된 CO₂ 농도의 경시 변화를 나타낸 것이다. 明期 개시와 더불어 CO₂ 농도는 급격하게 감소되면서 4 시간 경과후 대기 수준의 CO₂ 농도를 나타내었다. 이후 CO₂ 농도가 지속적으로 감소되는 가운데 12 시간 경과후에는 160~190 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ 의 낮은 수준에 도달하였는 바, 플러그묘의 성장 촉진에 CO₂ 施用이 유효할 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

플러그묘 개체군의 광합성속도를 결정하고자 묘개체군 내외에서의 기류속도 및 CO₂ 농도를 측정하였다. 묘개체군 위의 확산계수를 이용하여 결정된 순광합성속도는 적산법에 의해서 결정된 순광합성속도의 28~45% 정도인 것으로 나타났다. 이와같은 차이는 氣流의 진행방향을 따라 CO₂가 흡수되는 적산법과 CO₂ 흡수가 수직방향으로 이루어지는 것으로 가정하여 결정된 확산계수 이용법에 기인된 것으로 판단된다. 기류속도가 순광합성속에 미치는 효과로서 0.7m s⁻¹에 이르기까지 기류속도의 증가에 따라 순광합성속도가 증가하였는 데, 이것은 기류속도의 증가에 따라 확산저항이 감소되어 CO₂ 확산이 보다 용이하게 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다. 생육실 後部에서의 순광합성속도는 前部の 경우에 비해서 24~51% 작게 나타났다. 明期 개시와 더불어 생육실내의 CO₂ 농도는 급격하게 감소되면서 160~190 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ 의 낮은 수준에 도달하였는 바, 플러그묘의 성장 촉진에 CO₂ 施用이 유효할 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 金容顯, 古在豊樹, 久保田智惠利, 北宅善昭. 1996. 人工光下におけるセル成型苗生産のための風洞設計. 日本植物工場學會平成8年度大會 學術講演要旨集 pp.29-30.
2. 牛島忠廣, 古川昭雄, 米山忠克. 1981. 植物生産過程測定法. 共立出版株式會社 pp.100-126.
3. Kim, Y.H., T. Kozai, Y. Kitaya and C. Kubota. 1996. Design of a wind tunnel for plug seedlings production under artificial lighting. Acta. Hort. 440:153-158.
4. Kim, Y.H., T. Kozai, Y. Kitaya and C. Kubota. 1996. Effects of air current speeds on the microclimate of plug stand under artificial lighting. Acta. Hort. 440:354-359.

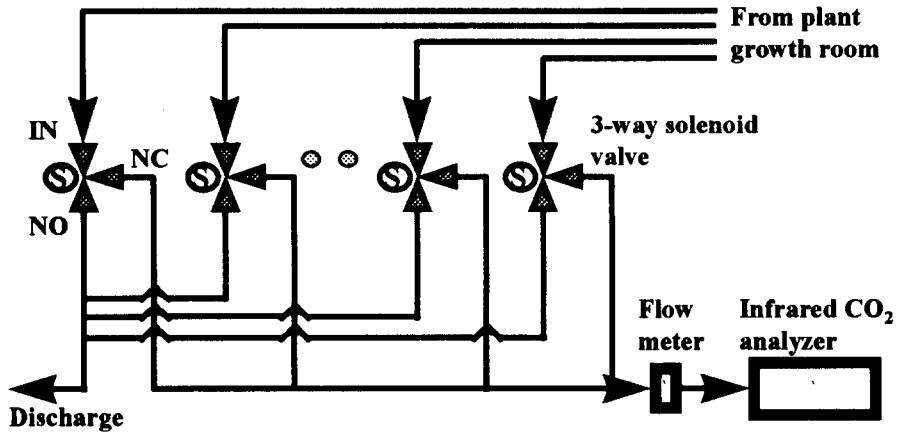


Fig. 1. Schematic diagram for the measurement of CO₂ concentration in the plug stand.

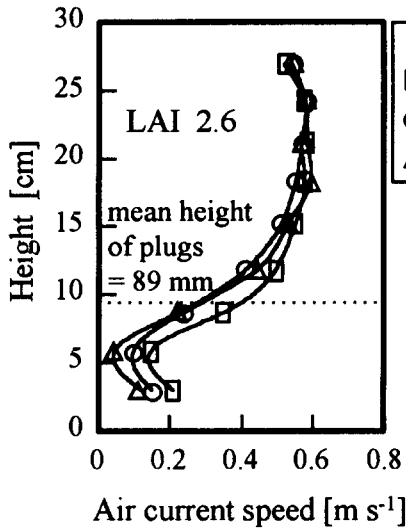


Fig. 2. Profiles of air current speed inside and over the plug stand at the average air speed of 0.5 m s⁻¹, as affected by the distance from the exit of the main air flow conditioner (D).

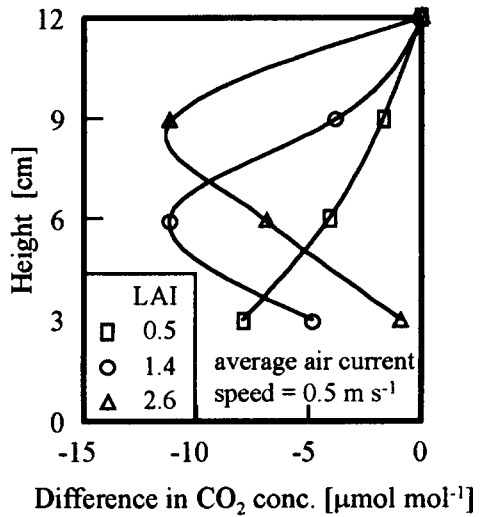


Fig. 3. Profiles of CO₂ difference at a distance of 0.8 m from the exit of the main air flow conditioner as affected by the growth stages of plug seedlings (their leaf area index, LAI).

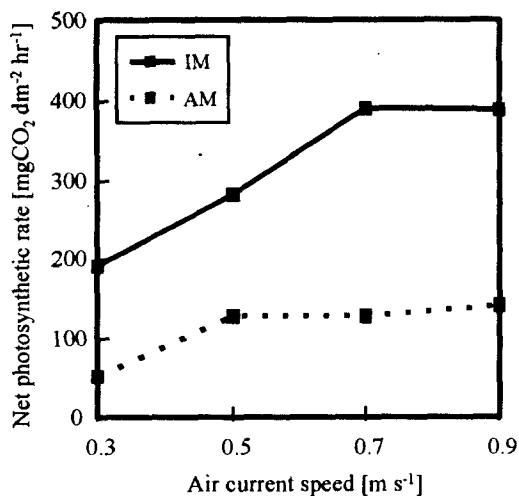


Fig. 4. Comparison of the net photosynthetic rates determined by the integration method(IM) and aerodynamic method(AM) at LAI of 1.4.

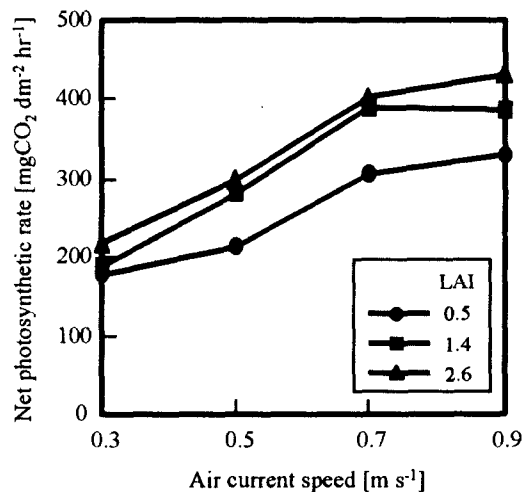


Fig. 5. Net photosynthetic rates determined by the integration method as affected by the air current speed and the growth stages of plug stand (their leaf area index, LAI).

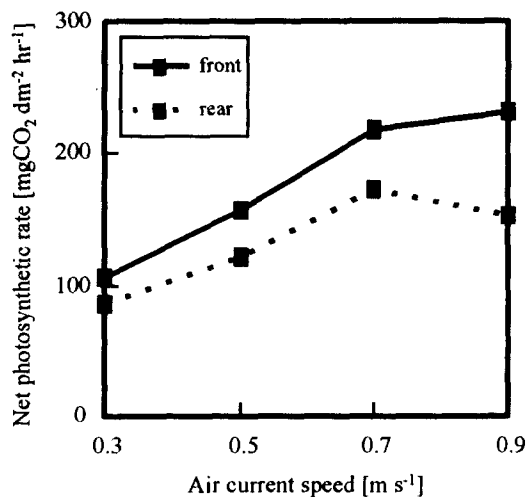


Fig. 6. Comparison of the net photosynthetic rates as affected by the air current speed at the front and rear region in the plant growth room at LAI of 1.4.

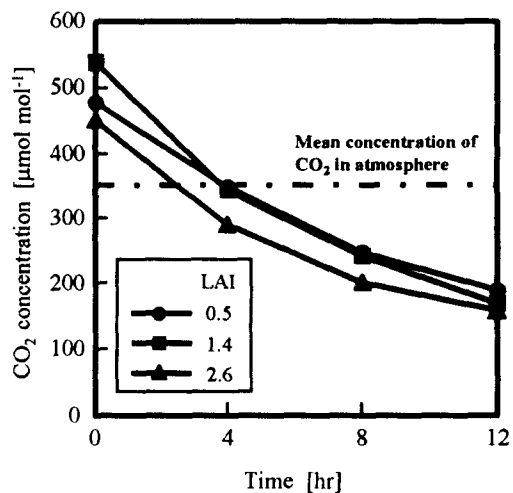


Fig. 7. Typical variation of carbon dioxide concentration as affected by the elapsed time after photoperiod and the plant growth stages (their leaf area index, LAI) at a height of 6 cm above the medium surface.