

일사량, 온도, 탄산가스 농도 및 엽중 질소농도가
양액재배 오이엽의 광합성율에 미치는 영향
Effects of Photosynthetic rate of Hydroponically Grown
Cucumber Plants as Affected by Light Intensity, Temperature,
Carbon Dioxide and Leaf Nitrogen Content

임준택* · 김학진 · 정순주¹⁾ · 이범선¹⁾

순천대학교 농과대학 자원식물학과

전남대학교 농과대학 응용식물학부 원예생산학교실¹⁾

Lim, Jun Taeg · Kim, Hak Jin · Chung, Soon Ju¹⁾ · Lee, Beom Seon¹⁾

Dept. of Resource Plant, Col. of Agri., Sunchon Nat'l Univ.

Fac. of Applied Science, Col. of Agri., Chonnam Nat'l Univ.¹⁾

서 언

식물의 호흡에 영향을 미치는 환경요인은 총 광합성율에 영향을 미치는 모든 요인을 들 수 있으며 뿌리의 호흡에는 근권환경요인 및 질소 흡수량과 같은 영양요인도 들 수 있다. 환경요인의 변화에 따른 식물의 생장 및 수량을 예측하는 식물생장모형의 개발은 식물의 생장이 광합성과 호흡에 의해 좌우되므로 환경요인의 변이에 따른 생육모형개발이 우선적이라 할 수 있다.

따라서 본 연구는 오이의 시설재배시 시설내 환경조절을 위한 최적환경조건의 탐색을 목적으로 상이한 환경조건 및 상호작용과 엽중 질소농도에 따른 오이의 광합성 및 생체리듬의 변화를 추적하고자 수행하였다.

재료 및 방법

본 실험에서는 식물의 광합성에 관여하는 제 조건의 기상환경, 즉 광량이나 기온, 대기의 CO₂ 농도 등과 이 조건들 상호간의 조합이 오이 생육의 변화에 미치는 영향에 대해서 연구하였다. 본 연구는 Gas Exchange Measuring Station(Heinz Walz GmbH Co, Germany)을 이용하여, 환경요인의 변이를 다양하게 조절하였는데 우선 단일작용으로서의 광량을 보면, 매우 낮은 광량수준에서부터 상당히 높은 광량수준까지 점차적으로 광의 세기를 조절하였고, 기온에 대한 오이의 광합성 반응을 보기 위해 오이의 생육 최저기온인 12℃부터 32℃까지 4℃간격으로 변온을 주어 총광합성율을 측정하였으며, CO₂농도에 대한 광합성 반응을 알기 위해 CO₂농도를 20ppm에서 부터 1200ppm 이상까지 변화를 주었다. 또한 상호작용으로서 광량과 온도조합에 의한 광합성율의 변화를 알아보기 위해 기온 12℃부터 32℃까지 4℃간격으로 변온을 주면서 광량을 증가시켰고, 광량과 CO₂농도의 상호작용에 의한 광합성율 측정에서는 광량과 CO₂농도를 여러 수준으로 달리하여 오이 잎의 총 광합성율 변화를, 그리고 광량과 CO₂농도, 기온의 상호작용에 의한 총광합성율의 변화를 측정하였고, 생체리듬 및 엽령에 따른 순광합성율 측정에서는 연속적으로 44시간 동안 광

을 조사하면서 오이의 생체리듬의 변화를 살펴보았다.

결과 및 고찰

가. 광량의 차이에 의한 광합성율의 변화 : 광과장증 가시광선 영역에 들어가는 광량이 단위시간당 단위 면적을 통과하는 수를 PPF(photosynthetic photon flux)라 하는데 PPF를 달리하여 총 광합성율 (gross photosynthetic rate, GPR)을 조사하였던 바 전형적인 Michaelis-Menten식을 보였다. 즉, $GPR = 21.4513 \text{ PPF} / (287.784 + \text{PPF})$ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)를 얻었다 (Fig. 1). 오이의 광량에 대한 반응은 개체에 따라 다소 변이는 보였지만 광 보상점이 $10 \sim 20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 정도로 낮았으며 광 포화점은 $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 이상인 것을 알 수 있었다. 이는 오이가 매우 낮은 광량에서도 광합성을 할 수 있을 뿐 아니라 상당히 높은 광량에서도 지속적인 광합성율의 증가를 보이고 있음을 알 수 있었다.

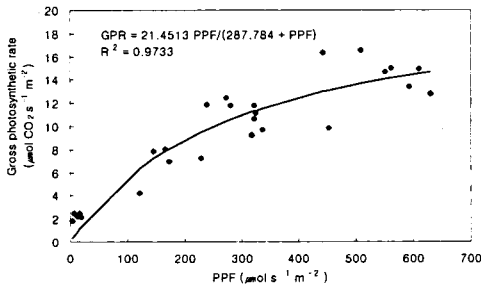


Fig. 1. Comparison of observed values of gross photosynthetic rate with predicted values by the growth model

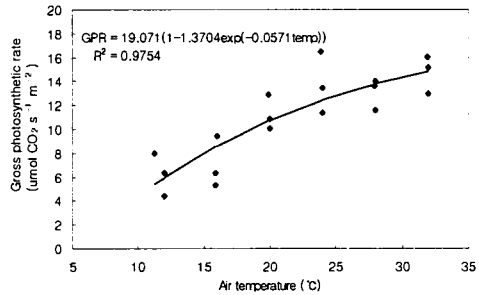


Fig. 2. Responses of gross photosynthetic rate due to the variations of air temperature

나. 기온에 대한 광합성 반응 : 오이의 생육 최저 기온은 12°C 로 알려져 있다. 12°C 부터 32°C 까지 4°C 간격으로 변온을 주어 총 광합성율을 측정된 결과 $GPR = 19.071(1 - 1.3704 \exp(-0.0571T))$ 을 얻었으며, 이때 T는 섭씨 온도이다 (Fig. 2). 오이의 총 광합성율은 온도의 상승에 따라 지속적인 증가를 보였다. Acock 등 (1990)에 의하면 멜론에서의 순 광합성율은 20°C 에서 40°C 로 증가할수록 유의하게 증가하였으며 Kitroongruang 등(1992)은 50°C 정도의 높은 온도에서야 heat stress를 받아 광합성율이 떨어지는 것으로 보고하였다. 온도에 대한 반응이 $24^\circ\text{C} \sim 32^\circ\text{C}$ 사이에서는 큰 차이를 보이지 않아 이 사이가 오이 생육에 적정온도범위라 할 수 있다.

다. 대기의 CO_2 농도에 대한 광합성 반응 : 식물체의 92%정도가 대기의 CO_2 를 동화하여 만들어진 탄수화물로 구성되었음을 고려할 때 대기 중 CO_2 농도의 중요성은 간과할 수 없다. 겨울철 보온을 위해 밀폐된 유리온실이나 비닐하우스에서 CO_2 발생기를 통해 CO_2 를 공급하는 것을 권장하고 있는 만큼 잎의 CO_2 농도에 대한 광합성 반응을 살펴보는 것은 적정 CO_2 공급에 중요하다 할 것이다. CO_2 농도에 대한 총 광합성율의 변화는 negative exponential 식에 의해 잘 설명되었던 바 $GPR = 15.5554(1 - 0.9636 \exp(-0.0024 \text{ CO}_2))$ 의 모형을 얻었는데 (Fig. 3), 이때 CO_2 는 대기의 CO_2 농도를 ppm단위로 나타낸 것이다. 측정 결과 CO_2 보상점은 $20 \sim 40\text{ppm}$ 사이에 위치하는 것으로 나타났으며, CO_2 포화점은

1200~1300ppm사이에 위치하였다.

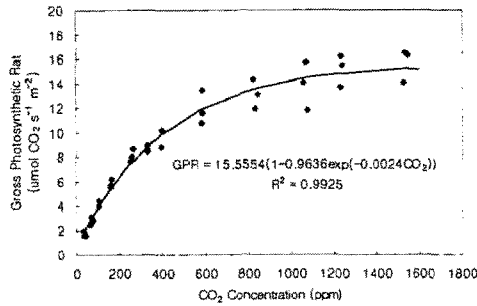


Fig. 3. Responses of gross photosynthetic rate under various CO₂ concentration

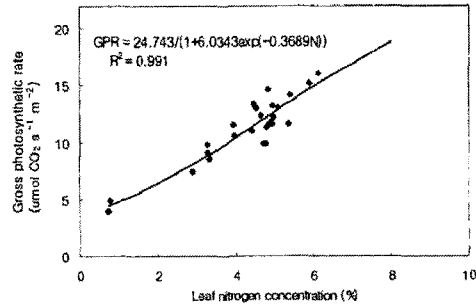


Fig. 4. Responses of gross photosynthetic rate due to various content of leaf nitrogen

라. **엽중 질소 함량과 광합성율** : C3작물의 광합성 작용에 맨 처음 촉매작용을 하는 효소는 RUBP Carboxylase로서 이 함량은 엽중 질소함량에 비례하여 증가한다. 또한 광합성 작용이 직접 이루어지는 엽록소도 질소가 구성성분이고 보면 엽중 질소함량의 증가에 따라 광합성율의 증가는 당연하다. 본 연구에서 엽중 질소함량에 따른 잎의 광합성율의 변화는 logistic curve에 의해 비교적 잘 설명되었다. 즉, $GPR = 24.743/(1 + 6.0343 \exp(-0.3689N))$ 의 모형을 얻었는데 (Fig. 4) 이때 N은 엽중 질소 함량(%)이다. 엽중 질소함량에 따른 총 광합성율의 반응은 유사한 형태임이 많은 연구자들에 의해 밝혀진 바 있다 (Tolley-Henry and Raper, 1986; Boote et al., 1978; Lugg and Sinclair, 1981).

마. **광량과 온도의 상호작용에 의한 광합성율** : 기온 12℃부터 32℃까지 4℃간격으로 변온을 주면서 광량을 증가시켜 주었던 바 기온이 증가할수록 접근하는 최대 총광합성율은 증가하는 경향이였다 (Fig. 5). 12℃에서는 광 포화점이 $600 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 이고 최대 광합성율이 $9.41 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 인 반면 온도의 상승에 따라 이들 값들이 점점 증가하다가 32℃에서는 광 포화점이 $1100 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 이상이었고 최대 광합성율도 $16.16 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 로 증가하였는데 이는 광량의 상승에 대한 총광합성율의 증가가 기온의 상승에 의해 보다 효과적임을 말해 준다. 이들의 반응을 이용하여 통합한 식, 즉 광량과 기온의 상호작용을 고려하여 이들의 변이에 따른 총광합성율의 변화를 설명한 식은 다음과 같다 (Fig. 6). $GPR = 14.1485 (1 - 40.9673 \exp(-0.4552T))(1 - 0.8493 \exp(-0.0027 PPF))$, 이때 T와 PPF는 각각 기온(℃)과 광량이다.

바. **광량과 CO₂농도의 상호작용에 의한 광합성율** : 광량과 CO₂농도를 여러 수준으로 달리하여 오이 잎의 총 광합성율을 측정했던 바 광량과 CO₂농도도 총광합성율에 상승작용을 보였으며, 광량에 대한 광합성율의 반응식과 CO₂농도에 대한 반응식을 곱하여 모수들을 다시 추정하였던 바 다음의 모형 식을 얻었다(Fig. 7).

$$GPR = 32.9352(1 - 0.952\exp(-0.0022PPF))(1 - 0.8093\exp(-0.017CO_2)) \text{-----(1)}$$

사. **광량, CO₂농도, 그리고 기온의 상호작용에 의한 총 광합성율의 변화** : 기온에 대한 총 광합성율의 변이를 Michaelis-Menten식으로 하여 식 (1)을 곱한 다음 기온, 광량,

그리고 CO₂농도를 달리하여 측정한 자료를 이용하여 비선형회귀모형의 모수추정법을 (SAS의 Nlin의 DUD법) 이용하여 모수를 추정하였던 바

$$GPR = 33.562T / (7.3775 + T)(1 - 0.853 \exp(-0.0026PPF))(1 - 0.888 \exp(-0.0018 CO_2)),$$

의 모형식을 얻었다(Fig. 8).

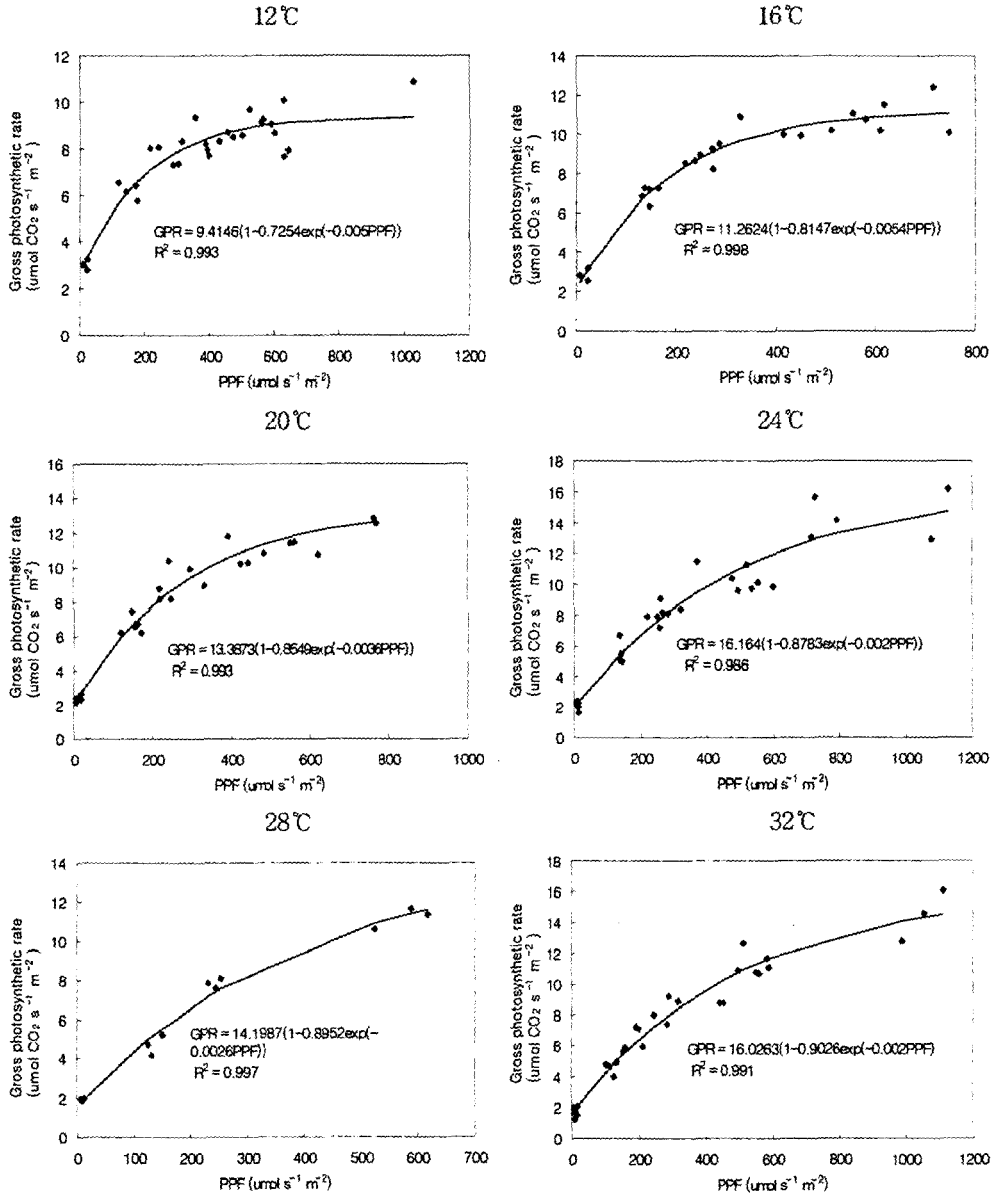


Fig. 5. Responses of gross photosynthetic rate of cucumber leaves to the different PPFD and air temperature

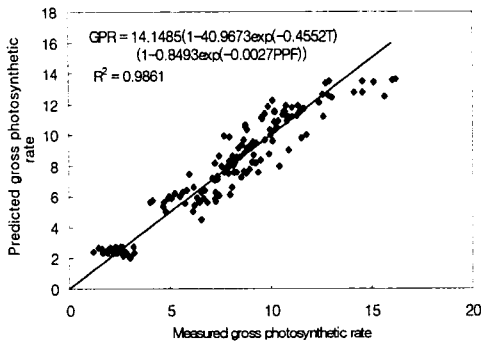


Fig. 6. Comparisons of observed value of leaf gross photosynthetic rate with predicted values by the equation

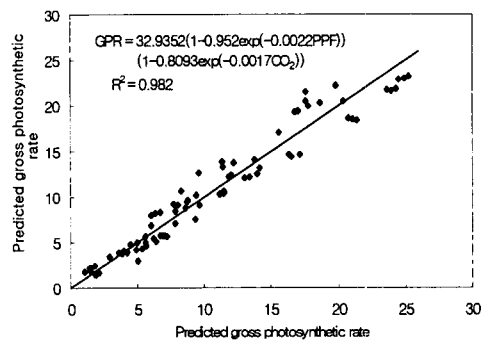


Fig. 7. Comparisons of values of leaf gross photosynthetic rate with predicted values by the equation

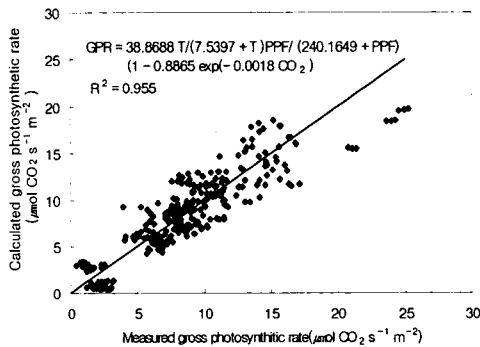


Fig. 8. Comparison of observed value of leaf gross photosynthetic rate with predicted values by the equation

인용문헌

1. Boote, K.J., R.N. Fallaher, W.K. Robertson, K. Hinson, and L.C. Hammond. 1978. Effect foliar fertilization on photosynthesis, leaf nutrition, and yield of soybeans. *Agron. J.* 70:787-791.
2. Lambers, H., R.T. Simson, V.C. Beilharz, and M.J.Dalling. 1982. Growth and translocation of C and N in wheat (*Triticum aestivum*) grown with a split root system. *Physiol. Plant.* 65:421-429.
3. Lugg, D.G. and T.R. Sinclair. 1981. Seasonal changes in photosynthesis of field-grown soybean leaflets. 2. Relation to nitrogen content. *Photosynthetica* 15:138-144.
4. McCree, K.J. 1970. An equation for the rate of dark respiration of white clover and grain sorghum as function of dry weight, photosynthetic rate and temperature. *Crop Sci.* 14:509-514.
5. Szaniawski, R.K. and M. Kielkiewicz. 1982. Maintenance and growth respiration in shoot and roots of sunflower plants grown at different root temperatures. *Physiol. Plant.* 54:500-505.
6. Thornley, J.H.M. 1970. Respiration, growth and maintenance in plants. *Nature* 227:304-305.