

## Mathematical Models of Respiration Rate of Cucumber Plants under Varying Environmental Conditions

Lim, June Taeg · Jeong, Hyun Hee · Baek, Sun Young · Hyun, Kyu Hawn · Kwon, Byung Sun  
Kim, Hak Jin · Chung, Soon Ju<sup>1</sup> · Lee, Beom Seon<sup>1</sup>

Dept. of Resource Plant, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea  
<sup>1</sup>Faculty of Applied Plant Science, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

### Abstract

This study was conducted to develop mathematical model of respiration rate of cucumber plants under varying environmental conditions. 8.55% of gross photosynthesis of individual cucumber plant was used as respiration. Growth respiration coefficient was estimated as 0.0935. Maintenance respiration rate was estimated as  $0.00158 \text{ g CH}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  at 24°C of air temperature and it increased exponentially as air temperature became higher. Respiration rate decreased proportionally as content of storage carbohydrate became lower. Ion uptake respiration rate of roots was estimated as  $0.6648 \text{ g CH}_2\text{O} \cdot (\text{g N})^{-1}$ .

**Key words:** *Cucumis sativus* L., gross photosynthetic rate, maintenance respiration, growth respiration, ion uptake respiration, mathematical model of respiration rate

This study was supported by SGRP-HTDP (High-Technology Development Project for Agriculture and Forestry) in 1996.

### 서 론

식물의 생장은 식물의 총광합성량에서 총호흡량을 뺀 것으로 이루어진다. 환경조건에 따른 식물생육의 변이는 그 조건에 따른 식물의 광합성속도와 호흡속도의 변이를 살펴봄으로써 설명할 수 있다. 환경요인의 변이에 따른 식물의 생장 및 수량을 예측하는 식물생장모형의 개발은 식물의 생장이 광합성과 호흡에 의해 좌우되므로 환경요인의 변이에 따른 이들의 변이에 관한 모형개발이 우선적이라 할 수 있다.

Thornley(1970)는 식물의 호흡을 개념상으로 유지호흡(maintenance respiration)과 생장호흡(growth respiration)으로 나눴다. 유지호흡은 식물이 생존을 유지할 때 이용되는 에너지량이고 생장호흡은 식물이 생장할 때 이용되는 에너지량이다. Szaniawski and Kielkiewicz(1982)에 의하면 유지호흡속도는 온도에 비례하여 증가하며 식물체 크기에 비례한다. 생장호흡속도는 식물의 총광합성속도에 비례하는 것으로 밝혀졌고 이러한 결과를 종합하여 McCree(1970)는 식물의 총호흡속도 R에 대해

$$R = \alpha P_g + \beta W,$$

의 모형을 제시하였는데 이때  $P_g$ 는 식물의 총광합성속도이고  $W$ 는 식물의 총건물중이며  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 비례상수이다. Thornley(1970)는 McCree의 모형을 분석하여

$$R = Gr \frac{dw}{dt} + \beta W,$$

의 모형을 제시하였는데 이때  $\frac{dw}{dt}$ 는 식물의 건물증가율이고  $Gr$ 는 생장호흡계수이며  $\beta$ 는 유지호흡속도이다. 위 두 모형은

$$Gr = \alpha / (1 - \alpha),$$

의 관계로 연계성을 갖는다.

Szaniawski and Kielkiewicz(1982)는 뿌리의 호흡속도가 줄기나 잎의 호흡속도보다 높음을 보고하였고 Veen(1981)은 옥수수의 뿌리호흡량을 측정하고 뿌리생장량, 뿌리의 용적, 그리고 이온흡수량을 독립변수로 한 중회귀분석을 통하여 뿌리호흡을 세가지 구성성분, 즉 생장, 유지, 그리고 이온흡수에 관한 성분으로 나뉘며 이온흡수에 소모된 에너지의 90% 이상이 질소흡

수에 소모된 에너지임을 보고하였다. Lambers et al.(1983)은 뿌리의 호흡에는 이온흡수, 특히 질소흡수 에너지를 더해야 함을 제안하여 뿌리의 호흡(Rr)은

$$Rr = Gr \frac{dWr}{dt} + m Wr + e \frac{dN}{dt},$$

의 모형을 제시하였는데 이때 e는 질소흡수호흡계수이다. 이상의 연구들을 살펴보면 식물의 호흡에 영향하는 환경요인은 온도와 총광합성속도에 영향하는 모든 요인을 들 수 있으며 뿌리의 호흡에는 질소흡수량도 들 수 있다.

Azcon-Bieto and Osmond(1983)에 의하면 식물의 호흡속도는 또한 식물의 호흡기질 농도에 의존한다. 이들에 의하면 식물의 호흡에 가장 크게 영향하는 호흡기질은 Free glucose + fructose 함량이었고 다음이 starch 함량이었으며 가장 영향이 적은 것이 invertase sugars 함량이었는데 이들 탄수화물의 함량이 증가할수록 호흡속도는 증가하였다.

본 연구의 목적은 온도, 총광합성속도, 질소흡수를 그리고 탄수화물 농도에 따른 호흡속도의 변화를 살피고 이들의 변화에 따른 호흡속도의 변화에 대한 수리적 모형을 제시하여 차후 환경변화에 따른 오이의 생장모형 개발이나 더 나아가 전문가시스템의 개발에 필요한 기초 자료를 제공하는데 있다.

## 재료 및 방법

본 실험은 겨우살이청장오이를 공시품종으로 하여 포트에 파종하여 육묘한 후 파종 20일에 growth chamber (CONVIRON, CG108)내 Hoagland액으로 채운 48 l의 container에 정식하였다. 생장상의 생육 환경조건은 09:00에 광이 켜지고 18:00에 꺼지도록 하고 주/야간 온도는 26/14°C, 광량은 400~500  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 하였다. 오이 엽의 순광합성속도와 호흡속도는 본엽이 3매에서 7매 되었을 때 측정하였다. 엽의 순광합성속도는 Gas Exchange Measuring Station(Heinz walz GmbH Co, Germany)을 사용하여 측정하였고 호흡속도는 광합성측정기를 이용하여 광을 소등하고 암막장치를 한 후 측정하였다(Lim et al., 2000). 엽의 총광합성속도는 순광합성속도에 엽의 호흡속도를 합산하여 추정하였다. 기온과 호흡속도의 관계를 측정하기 위하여 기온을 7.5°C부터 33°C까지 상승

적으로 달리한 후 호흡속도를 측정하였다.

식물체내 glucose나 전분 함량에 따른 야간의 호흡속도의 변화를 알아보기 위하여 광을 소등한 18:00, 21:00, 23:00, 익일 06:00, 및 08:00에 임의 표본을 채취하여 엽내 glucose와 전분 함량을 측정하였고 동일 조건에서 성장하는 개체를 이용하여 야간의 호흡속도를 측정하였다. Glucose와 전분 함량은 Anthrone 시약을 사용하여 발색 후 분광광기에 의한 방법으로 측정하였다(Yoshida et al., 1976).

질소흡수에 따른 뿌리의 호흡속도의 변이를 측정하기 위하여, 주/야간 온도 26/26°C의 생장상에 수경액의 N 농도가 3, 6 및 11 mmol 수준에서 생장시킨 식물체를 09:00시에 각 처리당 12주의 표본을 채취하여 잎, 줄기, 뿌리의 건물중과 기관 별 전질소 함량을 측정하였고 3주의 표본을 통해 뿌리의 호흡속도를 측정하였다. 뿌리의 호흡속도는 YSI Model 5300(Yellow Springs Instrument Co, USA)을 이용하여 측정하였는데 50 ml 용적의 cuvette에 일정량의 뿌리를 넣고 산소가 포화된 수경액으로 가득 채운 다음 O<sub>2</sub> electrode를 삽입하고 밀봉한 후 Isotemp Refrigerated Circulators로 항온을 유지하며 잘 저어주면서 수경액 내 용존산소의 시간에 따른 감소량을 통하여 측정하였다. 전질소 함량은 Kjeldahl 소화법에 의해 측정하였다(Yoshida et al., 1976).

## 결과 및 고찰

### 1. 온도, 총광합성속도 및 건물중에 의한 호흡속도의 변화

온도(T, °C)를 달리하여 호흡속도(RESP)를 측정된 결과는 Table 1과 같다. 개체에 따라 변이는 보였지만 10.1°C의 최저 0.00721에서 33°C의 최대 0.05682  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  사이의 범위를 보였으며 온도의 상승에 따라 지속적인 증가를 보였다. Challa(1976)에 의하면 25°C, CO<sub>2</sub> 농도 300  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  조건에서 떡잎에서 5엽까지 엽위별 호흡속도를 측정했을 때 겨울 작형 오이에서는 0.50~3.05  $\text{mg CO}_2 \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 을, 봄 작형 오이에서는 1엽에서 5엽까지 25~56  $\text{mg CO}_2 \cdot \text{dm}^{-2} \cdot 14 \text{h}^{-1}$ 의 결과를 얻었는데 이를 엽중으로 환산하여 계산하면 겨울 작형에서는 0.0376  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , 봄 작형에서는 0.0491  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 에 해당

환경 변화에 따른 오이의 호흡속도에 관한 수리적 모형

**Table 1.** Variations of shoot respiration rate due to variations of air temperature.

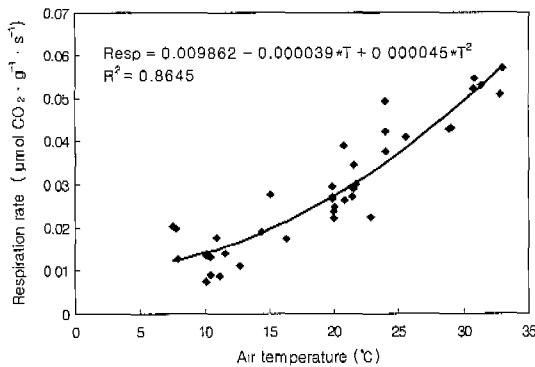
Temp. (°C)	Respiration rate ( $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Temp. (°C)	Respiration rate ( $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Temp. (°C)	Respiration rate ( $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )
7.5	.02026	16.3	.02765	21.7	.02977
7.8	.01962	19.9	.01732	22.9	.02217
7.9	.01262	19.9	.02642	24.0	.03740
10.1	.00721	19.9	.02709	24.0	.04229
10.1	.01347	20.0	.02942	24.0	.04939
10.5	.00902	20.0	.02199	25.6	.04081
10.5	.01308	20.0	.02206	28.9	.04283
10.9	.01747	20.1	.02350	29.1	.04290
11.2	.00878	20.8	.02456	30.7	.05229
11.6	.01397	20.9	.03880	30.8	.05461
12.7	.01113	21.5	.02623	31.3	.05299
14.4	.01896	21.6	.02705	32.8	.05094
15.1	.02765	21.6	.02877	33.0	.05682

하며 이는 본 실험의 결과와 잘 일치하였다. 온도의 변화에 따른 호흡속도의 관계식을 추정하였던 바

$$\text{RESP} = 0.009862 - 0.000039 \cdot T + 0.000045 \cdot T^2, \quad (\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$$

의 모형을 얻었다(Fig. 1). 호흡속도는 온도의 상승에 따라 급격히 증가함을 알 수 있었는데 Szaniawski and Kielkiewicz(1982)의 보고에 의하면 이러한 증가는 유지호흡속도의 증가에 기인한다.

온도  $24 \pm 3^\circ\text{C}$  조건에서 광량과  $\text{CO}_2$  농도를 달리 하여 지상부 총광합성속도를 측정 후 지상부 호흡을 측정 한 결과는 Table 2에 나타내었다. 호흡속도(RESPI)를 종속변수로 하고 총광합성속도(GPR)과 지상부 건물중(W)을 회귀변수로 하여 회귀분석을 실시하였던 바



**Fig. 1.** Variations in shoot respiration rate due to variations in air temperature.

$$\text{RESP} = 0.0855 \cdot \text{GPR} + 52.8813 \cdot W, \quad (\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{plant}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}) \quad (R^2 = 0.9867, \text{ df} = 49)$$

의 모형을 얻었다(Fig. 2). 이 식에 의하면 총광합성속도의 8.55%와 1g의 지상부 건물중당 52.8813  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{h}^{-1}$ 가 호흡으로 소모되는 것을 의미한다. Heiman et al.(1977)에 의하면 콩에서 총광합성속도의 26%가 소모된다고 한다. 즉

$$\text{RESP} = 0.26 \cdot \text{GPR} + 4.46$$

의 결과를 얻었는데 본 연구의 오이에서는 이 보다 훨씬 낮은 값을 얻었다. 위의 모형을 Thornley(1970)의 모형으로 표현하면,

$$\text{Gr} = 0.0855 / (1 - 0.0855) = 0.0935$$

로서

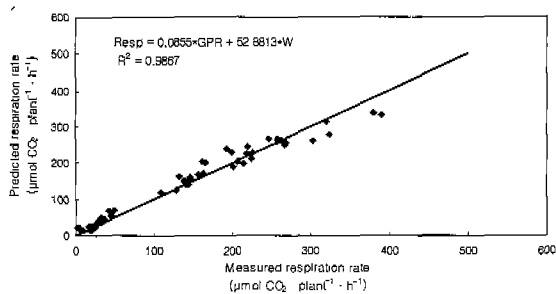
$$\text{RESP} = 0.0935 \text{ dW/dt} + 52.8813 \cdot W$$

가 되는데 Hesketh et al.(1971)은 목화에서 Gr 값으로 0.36~0.38를 보고하였고 Szaniawski and Kielkiewicz(1982)는 해바라기에서 0.32~0.34를 보고하였는데 이와 비교하면 매우 낮은 값에 해당한다. 온도  $24^\circ\text{C}$ 에서의 유지호흡속도는  $52.8813 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 이며 이것은  $0.00158 \text{ g CH}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 가 되는데 Szaniawski and Kielkiewicz(1982)가 해바라기에서 유지호흡속도로서 보고한  $0.000625 \sim 0.00121 \text{ g CH}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  보다는 약간 높은 값을 보이고 있다. Challa

**Table 2.** Variations of shoot respiration rate in accordance with the variations of air temperature, shoot dry weight and shoot gross photosynthetic rate.

T	SDW	GPR	RR	T	SDW	GPR	RR
23.8	.981	832.140	128.304	24.0	.933	814.860	109.188
23.9	.223	117.612	2.700	24.0	1.191	892.728	143.748
23.9	.191	126.684	24.408	24.0	.996	1021.356	140.292
23.9	.261	327.132	35.208	24.0	1.395	1033.020	131.652
23.9	.567	461.376	48.600	24.0	1.481	1065.528	161.892
23.9	1.199	995.544	137.700	24.0	1.335	1152.252	155.628
23.9	.985	1166.076	138.348	24.0	.857	1272.780	146.340
23.9	1.830	1538.028	225.612	24.0	1.761	1277.856	160.704
23.9	2.088	1780.812	257.040	24.0	1.691	1291.572	165.240
23.9	2.025	1865.376	246.240	24.0	.884	1313.820	145.908
23.9	2.129	1935.576	323.892	24.0	1.734	1397.520	223.884
23.9	2.127	2355.588	319.248	24.0	1.976	1758.672	267.948
24.0	.200	40.284	8.532	24.0	2.074	1765.260	302.292
24.0	.216	47.412	4.536	24.0	1.608	1871.316	218.484
24.0	.212	49.680	4.752	24.0	1.695	1874.124	265.572
24.0	.192	51.948	18.576	24.0	1.465	1882.116	192.240
24.0	.238	83.700	4.752	24.0	1.807	2005.452	256.716
24.0	.218	143.208	16.092	24.0	2.536	2319.192	390.528
24.0	.220	145.584	20.196	24.0	2.472	2421.468	380.052
24.0	.505	258.120	31.428	24.3	1.183	1474.632	200.664
24.0	.254	261.036	31.752	24.3	1.248	1542.888	213.300
24.0	.196	285.228	27.324	24.3	1.316	1553.796	205.956
24.0	.252	353.808	30.132	24.3	1.690	1586.952	217.512
24.0	.300	355.320	35.964	24.3	1.563	1748.520	197.964
24.0	.660	403.272	41.904	24.3	1.893	1885.032	262.872
24.0	.321	433.728	45.144				

T : Air temperature (°C), SDW : Shoot dry weight (g), GPR : Gross photosynthetic rate of plant ( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{plant}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )  
 RR : Respiration rate of plant ( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{plant}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )



**Fig. 2.** Comparison of measured respiration rate at air temperature of 24°C with predicted respiration rate by the model equation.

1976)에 의하면 오이 뿌리에서 생장호흡과 유지호흡을 조사해 본 결과 생장호흡은 겨울 재배와 봄 재배에서 각각 유지호흡의 14%와 25%에 불과하다고 하였는데 이러한 보고에 미루어 보아 오이의 생장호흡은 매우 낮은 것으로 판단된다.

총광합성속도에 대한 호흡속도의 비율을 살펴보면

본 계산에 이용된 총광합성속도의 평균은  $898.54 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{plant}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 이었고 호흡속도의 평균은  $131.38 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{plant}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 로서 총광합성속도에 대한 호흡속도의 비율은 14.6%이었다. Challa(1976)의 25°C,  $\text{CO}_2$  농도  $300 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  조건에서 떡잎에서 5엽까지 엽 위별 순광합성속도와 호흡속도를 측정된 자료를 통해 총광합성속도에 대한 호흡속도의 비율을 계산해 본 결과 겨울 재배 오이에서는 0.074(7.4%)이었고 봄 재배 오이에서는 0.156(15.6%)으로 본 연구의 팽조건이 봄 재배와 비슷하다고 볼 때 이는 본 연구 결과와 매우 유사하였으며 비록 조직은 다르지만 Marcelis(1994)가 과실의 총광합성과 호흡에서 추정된 비율 13~15%와 잘 일치하였다.

온도, 총광합성속도 그리고 지상부 건물중과 호흡속도의 변화를 살펴보기 위하여 온도를 11.3~32.0°C의 범위에서 변화를 주고 총광합성속도(GPR)과 호흡속도(RESP)을 측정한 결과

환경 변화에 따른 오이의 호흡속도에 관한 수리적 모형

$$RESP = 0.0684 * GPR + 7.6618 * \exp(0.093 * T) * W,$$

의 모형식을 얻었는데 이때 T는 온도(°C)이다(Fig. 3). 이 식에 의하면 유지호흡속도는 온도의 상승에 따라 지수적으로 증가함을 알 수 있었다.

2. 야간의 호흡속도

식물의 호흡은 호흡기질의 다소에 영향받는다. glucose나 sugar 또는 전분함량이 높아질수록 호흡량도 많아지는 것으로 알려져 있다(Salisbury and Ross, 1992). 야간에는 저장탄수화물을 이용해 성장과 호흡이 이루어지므로 밤이 길어질수록 저장탄수화물의 함량은 낮아질 것이고 따라서 오이의 호흡속도도 밤이 지속될수록 낮아질 것으로 기대된다. 18:00에 밤이 시작되고 이때부터 다음날 06:30분까지 측정된 호흡속도의 변이는 Fig. 4와 같다. 야간의 호흡속도는 측정시간에 따라 다소의 변화는 있었지만 밤이 지속될수록 꾸준히 감소하는 경향이었다. 야간의 식물체내 glucose와 전분 함량의 변이를 알아보기 위하여 광을 소등한 18:00, 21:00, 23:00, 익일 06:00, 그리고 08:00에 샘플을 채취하여 잎에서의 이들 함량을 측정한 결과 엽중

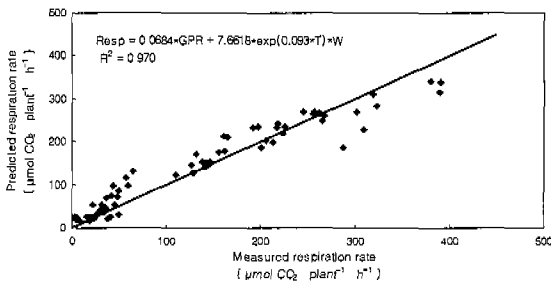


Fig. 4. Variations of shoot respiration of cucumber in dark period starting at 18:00.

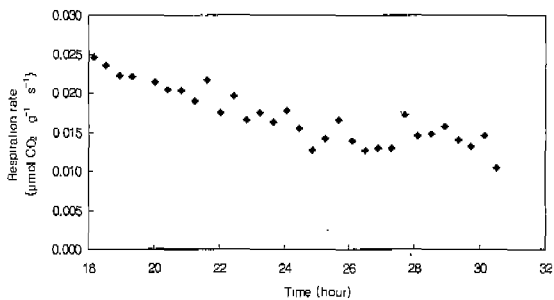


Fig. 3. Comparisons of measured values of shoot respiration rate with predicted values by the equation.

glucose 함량은 각각 2.6, 3.2, 2.9, 7.7 그리고 5.1%로 밤 시간이 지속될수록 큰 차이가 없거나 오히려 증가하는 반면 잎의 전분함량은 19.3, 19.2, 20.0, 16.7, 15.7%로 시간이 흐름에 따라 감소하는 경향을 보였다. 따라서 본 연구의 결과 기관의 호흡은 기관의 전분 함량에 영향을 받는 것으로 사료되었다.

3. 질소흡수와 뿌리의 호흡속도

수경액의 N 농도에 따른 오이의 잎, 줄기, 뿌리의 건물중과 각 부위의 전질소함량은 Table 3에 나타내었다. 양액의 N 농도가 6 mmol일 때 가장 생장이 양호했으며 11 mmol에서는 오히려 생장이 저조하였다. 각 기관의 건물중에 그 기관의 전질소 함량을 곱하여 합하면 개체의 전질소량이 된다(Table 4). 개체의 전질소량의 시간에 따른 변화를 이용하여 수경액의 N 농도 별로 N의 흡수를  $dN/dt(g\ N \cdot plant^{-1} \cdot d^{-1})$ 을 계산할 수 있는데 Lim et al.(1990)의 경우와 같이 N의 초기값 N(0)가 주어질 경우

$$dN/dt = r * N$$

의 모형으로 잘 추정할 수 있었으며(Table 5) 이때 r은 질소의 상대축적율(relative accumulation rate of nitrogen)이고 t는 경과일수(day)이다.

주간에 시작점에서 측정된 뿌리의 호흡속도는  $0.01048 \sim 0.02854 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 범위에서 변이를 보였으며 평균  $0.0170 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 를 보였다(Table 4). 야간이 시작되는 19:00에 오이의 지상부 호흡속도는 최대  $0.025 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 를 보여(Fig. 4) 주간에 시작점 09:00에 측정된 뿌리의 호흡속도 평균보다 높은 값을 보였는데 이는 지상부 식물체의 동화산물의 농도가 뿌리의 그것보다 월등히 높음에 기인하는 것으로 사료된다. 그러나 주간이 시작되는 시점에서의 지상부 호흡속도는 대략  $0.010 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 로서(Fig. 4) 이는 같은 시점에 측정된 뿌리의 호흡속도보다 낮은 값이었다. 뿌리의 호흡속도는 뿌리의 유지호흡속도, 뿌리의 성장호흡속도 그리고 뿌리의 이온흡수호흡속도에 의해 결정되는 것으로 알려져 있다(Veen, 1981). Veen(1981)에 의하면 뿌리의 이온흡수호흡속도의 대부분은 질소흡수에 따른 호흡속도에 의해 결정된다고 하였으며 따라서 뿌리의 이온흡수호흡속도는 사실상 뿌리의 질소흡수호흡속도에 의해

**Table 3.** Variations of dry weight of organs, total nitrogen contents and root respiration rates due to the variations of N concentration in nutrient solution.

Date	N conc. in medium (mmol)	Dry Weight (g)			Total N content (%)		
		Leaves	Stem	Roots	Leaves	Stem	Roots
Jan. 23	3	3.035	.758	.515	3.72	3.28	3.71
	6	3.391	.794	.543	4.23	3.35	3.57
	11	1.791	.445	.198	4.91	3.96	4.46
Jan. 26	3	5.153	1.635	.693	4.18	3.40	3.89
	6	5.339	1.682	.663	5.25	4.35	3.20
	11	3.349	1.019	.415	6.02	4.75	4.65
Jan. 29	3	6.367	2.493	.802	4.20	3.76	3.82
	6	8.325	3.152	1.053	4.88	4.17	4.07
	11	4.421	1.602	.482	5.08	5.03	4.24
Feb. 1	3	8.166	3.449	1.135	4.28	3.16	4.23
	6	11.222	4.207	1.449	3.82	3.25	3.04
	11	6.101	2.363	.678	4.06	3.79	3.63
Feb. 4	3	12.590	5.017	2.273	4.62	3.57	4.35
	6	15.665	5.964	3.625	4.85	3.54	4.13
	11	8.469	3.128	.963	5.50	4.71	4.65

**Table 4.** Variations of total nitrogen contents of plant, dN/dt, root respiration rate and estimated value of ion uptake respiration rate due to the variations of N concentration in nutrient solution.

Date	N conc. in medium (mmol)	Total N (g · plant <sup>-1</sup> )	dN/dt (g N · plant <sup>-1</sup> · d <sup>-1</sup> )	Root respiration (μmol CO <sub>2</sub> · g <sup>-1</sup> · s <sup>-1</sup> )	IUR*
Jan. 23	3	0.157	0.02273	0.01867	0.38578
	6	0.189	0.02940	0.01898	0.42130
	11	0.114	0.01771	0.01657	0.11239
Jan. 26	3	0.298	0.03369	0.01265	0.15867
	6	0.375	0.04406	0.01048	0.02750
	11	0.269	0.02591	0.01449	0.16099
Jan. 29	3	0.392	0.04992	0.01599	0.41506
	6	0.580	0.06604	0.01373	0.33935
	11	0.326	0.03791	0.01379	0.15783
Feb. 4	3	0.860	0.10962	0.02854	3.64102
	6	1.121	0.14836	0.02485	4.65102
	11	0.658	0.08112	0.01521	0.43349

\* IUR : estimated values of ion uptake respiration rate (mmol CO<sub>2</sub> · plant<sup>-1</sup> · d<sup>-1</sup>)

**Table 5.** Estimated values of parameters and goodness of fit with model of dN/dt = r\*N.

N conc. in medium (mmol)	N(0)	r	df	R <sup>2</sup>
3	0.1734	0.1311	3	0.9718
6	0.2179	0.1349	3	0.9411
9	0.2318	0.1218	3	0.9476

추정할 수 있다고 한다. Penning de Vries(1975)에 의하면 뿌리의 생장이나 유지호흡속도는 지상부 식물체(shoot)의 그것들과 같았고, 따라서 뿌리의 이온흡수에 따른 호흡속도는 같은 시점에 측정된 지상부 호흡속도와 뿌리의 호흡속도 차이와 뿌리의 질소흡수율을 비교함으로써 구할 수 있다. 주간이 시작되는 시점에서

## 환경 변화에 따른 오이의 호흡속도에 관한 수리적 모형

의 뿌리호흡속도에서 동시점의 지상부호흡속도 0.010을 빼 것을 뿌리의 이온흡수에 소모된 호흡으로 보고 이 값에 뿌리의 건물중을 곱하여 추정된 이온흡수호흡속도(IUR)과  $dN/dt$ 는 Table 4에 주어져 있다. 이온흡수 호흡속도를 종속변수로 하고  $dN/dt$ 를 독립변수로 하여 회귀분석을 실시한 결과는

$$IUR = 22.2179 \, dN/dt, (R^2 = 0.7947^{**})$$

로 고도로 유의한 관계식을 얻었다. 이는 단위시간 당 1g의 N을 흡수하는데 22.2179 mmol의  $CO_2$ 가 발생함을 의미하는데 이는  $0.6648 \, g \, CH_2O \cdot (g \, N)^{-1}$ 에 해당하며 이것이 뿌리의 질소흡수 호흡이 된다. Veen (1981)에 의하면 옥수수의 질소흡수 호흡으로 36.8 mg  $O_2$  per meq  $NO_3^-$ 을 보고하였는데 이는  $2.458 \, g \, CH_2O \cdot (g \, N)^{-1}$ 에 해당한다. Johnson(1983)은 Szaniawski and Kielkiewicz(1982)의 자료를 이용하여 해바라기에서  $2 \, kg \, CO_2 \cdot (kg \, N)^{-1}$ 의 호흡속도를 추정하였는데 이는  $1.36 \, g \, CH_2O \cdot (g \, N)^{-1}$ 에 해당하며 본 연구의 추정치 보다는 대체로 높은 값이었다.

### Literature cited

1. Azcon-Bieto J. and C. B. Osmond. 1983. Relationship between photosynthesis and respiration. The effect of carbohydrate status on the rate of  $CO_2$  production by respiration in darkened and illuminated wheat leaves. *Plant physiol.* 71:574-581.
2. Challa, H. 1976. An analysis of the diurnal course of growth, carbon dioxide exchange and carbohydrate reserve content of cucumber. *Agric. Res. Report* 861. Wageningen.
3. Heiman, J. L., E. T. Kanemasu and G. M. Paulsen. 1977. Estimating dry matter accumulation in soybean. *Can. J. Bot.* 55:2196-2201.
4. Hesketh, J. D., D. W. Baker and D. W. Duncan. 1971. Simulation of growth and yield in cotton: respiration and the carbon balance. *Crop Sci.* 11:394-398.
5. Johnson, I. R. 1983. Nitrate uptake and respiration in roots and shoots : A model. *Physiol. Plant.* 58:145-147.
6. Lambers, H., R. K. Szaniawski and Rise de Visser. 1983. Respiration for growth, maintenance and ion uptake. An evaluation of concepts, methods, values and their significance. *Physiol. Plant.* 58:556-563.
7. Lim, J. T., G. G. Wilkerson, C. David Raper, Jr. and H. J. Gold. 1990. A dynamic growth model of vegetative soyabean plants : Model structure and behaviour under varying root temperature and nitrogen concentration. *J. Exp. Bot.*, 41:229-241.
8. Lim, J. T., S. Y. Baek, H. H. Jeong, K. H. Hyun, B. S. Kwon, H. J. Kim, S. J. Chung and B. S. Lee. 2000. Mathematical models of photosynthetic rate of hydroponically grown cucumber plants as affected by light intensity, air temperature, carbon dioxide and leaf nitrogen content. *J. Bio-environment Control* 9(3): 171-178 (in Korean).
9. Marcelis, L. F. M. 1994. Effects of fruit growth, temperature and irradiance on biomass allocation to the vegetative parts of cucumber. *Neth. J. Agri. Sci.* 42: 115-123.
10. McCree, K. J. 1970. An equation for the rate of respiration of white clover plants grown under controlled conditions. In : *Prediction and Measurement of Photosynthetic Productivity.* (ed. I. Setlik). Proceeding of IBD/PP Technical meeting, Trebon, 1969, pp. 221-230, PUDOC, Wageningen.
11. Penning de Vries, F. W. T. 1975. Use of assimilates in higher plants. In: *Photosynthesis and Productivity in different environments.* (ed. J. Copper), pp. 459-480. Cambridge University Press.
12. Salisbury, F. B. and C. W. Ross. 1992. *Plant Physiology.* 4th Ed., Wadsworth Publishing Company.
13. Szaniawski, R. k. and M. Kielkiewicz. 1982. Maintenance and growth respiration in shoots and roots of sunflower plants grown at different root temperatures. *Physiol. Plant.* 54:500-504.
14. Thornley, J. H. M. 1970. Respiration, growth and maintenance in plants. *Nature.* 227:304-305.
15. Vecn, B. W. 1981. Relation between root respiration and root activity. *Plant Soil.* 63:73-76.
16. Yoshida, S., D. A. Forno, J. H. Cock and K. A. Gomez. 1976. *Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice.* Third Edition. IRRI, Philippines.

입준택 · 정현희 · 백선영 · 현규환 · 권병선 · 김학진 · 정순주 · 이범선

## 환경 변화에 따른 오이의 호흡속도에 관한 수리적 모형

입준택\* · 정현희 · 백선영 · 현규환 · 권병선 · 김학진 · 정순주<sup>1</sup> · 이범선<sup>1</sup>

순천대학교 자원식물개발학과 · 전남대학교 응용식물학부 시설원예학교실<sup>1</sup>

### 적 요

본 연구는 시설내 다양한 환경조건하에서 오이의 호흡속도에 관한 수리적 모형을 개발하고자 실시하였다. 개개 오이 식물에 대한 총광합성속도의 8.55%가 호흡에 사용되었다. 성장호흡계수는 0.0935로 추정되었고 유지호흡속도는 24°C 온도에서  $0.00158 \text{ g CH}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 로 추정되었다. 그리고 그것은 온도상승에 따라 지수적으로 증가하였다. 호흡속도는 저장 탄수화물함량이 낮아짐에 따라 비례적으로 감소했고 뿌리의 이온흡수호흡속도는  $0.6648 \text{ g CH}_2\text{O} \cdot (\text{g N})^{-1}$ 로 추정되었다.

---

**주제어** : *Cucumis sativus* L., 총광합성속도, 유지호흡, 성장호흡, 이온흡수 호흡, 호흡속도의 수리적 모형