

## 果実周囲の相対湿度がキュウリ果実の成長、蒸散速度、呼吸速度に及ぼす影響

誌名	植物環境工学
ISSN	18802028
著者	田附, 明夫
巻/号	21巻3号
掲載ページ	p. 123-127
発行年月	2009年9月

## 果実周囲の相対湿度がキュウリ果実の成長、蒸散速度、呼吸速度に及ぼす影響

田附明夫

茨城大学農学部 300-0393 茨城県稲敷郡阿見町中央 3-21-1

Effect of Relative Humidity on the Growth, Transpiration  
Rate and Respiration Rate of Cucumber Fruit

Akio TAZUKE

College of Agriculture, Ibaraki University, Ami, Ibaraki 300-0393, Japan

## Abstract

Young cucumber (*Cucumis sativus* L.) 'Tokiwa Hikari 3 A' fruit on the vine were put into a dark chamber kept at 25°C, which was aerated by decarbonated air with a relative humidity (RH) of 28, 55, 75, or 100%. The relative growth and specific respiration rates of fruit were lower at a reduced RH: about 30% lower at RH 28% compared to RH 100%. The relationship between volumetric growth and respiration was not significantly affected by the RH surrounding the fruit. The amount of water transpired by the fruit was estimated to be up to 22% of the net water influx. The fruit respiration rate seemed to respond rapidly to changes in the relative humidity.

**Keywords:** fruit water economy, growth estimation

に関する成長速度を  $GR$  ( $g\ h^{-1}$ ) とすると、

はじめに

$$GR \approx A = F - T \quad (1)$$

既報<sup>1)</sup>においてガラス室内で土耕したキュウリ植物体に果実を1果だけ着果させた条件で晴天日に果実周囲の温度を制御した実験の結果、果実の相対成長率 (RGR) の日平均値の  $Q_{10}$  は約 2 だった。このことは植物体の光合成産物供給量が十分な条件下では果実成長速度は温度に依存して変化することを示している。しかし、果実の成長をより短期的にみると、果実温度を制御した条件下でも果実の RGR は顕著な日内変動を示す (著者未発表データ)。これは RGR の変化が温度の影響のみでは説明できず、未制御の要因に影響されている可能性を示す。

果実への水の流入速度を  $F$  ( $g\ h^{-1}$ )、果実の蒸散速度を  $T$  ( $g\ h^{-1}$ )、果実への水の蓄積速度を  $A$  ( $g\ h^{-1}$ )、果実の新鮮重

となる。果実からの蒸散速度は果実周囲の湿度と果実の気孔抵抗ならびにクチクラ抵抗によって決定される。したがって、果実周囲の相対湿度は果実の水収支、ひいては果実成長に影響する可能性がある。

果実の成長速度<sup>1-4)</sup>や蒸散速度<sup>5-10)</sup>を個別に測定した例は多いが、植物体に着果した状態のキュウリ果実に適用しう報告は少ない。蒸散速度の測定法に関しては多くの報告は Lang ら<sup>9-10)</sup>の方法に従って収穫果の蒸散速度の測定値を着果状態での蒸散速度の推定値としている。この方法はキュウリ果実のように急速に成長しているものには適用しにくい。また、果実の成長速度と蒸散速度を同時に測定した例はリンゴ果実<sup>11)</sup>やマンゴー果実<sup>6)</sup>などで若干見られるものの少なく、さらに果実周囲の相対湿度を制御して果実の成長速度と蒸散速度を同時に測定した例はほとんどない。

著者らは既報<sup>12)</sup>において果実周囲の相対湿度を 100% とした条件でキュウリ果実の呼吸量は果実体積の増加量と相

2008 年 6 月 30 日受付

2009 年 5 月 18 日受理

Corresponding author: Akio Tazuke

(tazuke@mx.ibaraki.ac.jp)

関が高いことを示し、呼吸速度を果実の成長速度の非破壊の評価に用いる可能性を示唆した。果実周囲の相対湿度は果実の蒸散速度への影響を通じて体積成長速度に影響する可能性があるだけでなく、体積成長速度と呼吸速度の関係にも影響する可能性があるため、呼吸速度による成長速度推定のためには、相対湿度の影響を評価しておく必要がある。

そこで、本実験では、キュウリの果実周囲の相対湿度が果実の成長速度、蒸散速度、呼吸速度に及ぼす影響を調べ、果実の水収支に及ぼす相対湿度の影響を評価し、呼吸速度をもとに相対湿度が果実成長速度に及ぼす短時間の影響を評価した。

### 材料および方法

1986年春にキュウリ (*Cucumis sativus* L.) 'とさわ光3号A型' をガラス室内で既報<sup>12,13)</sup>と同様に栽培した。毎朝開花した雌花を調べ授粉した。全ての実験は晴天日に植物体に果実を1果のみ着果させ、光合成産物の供給が果実成長を制限しない条件で行った。ガラス室内の最高気温は約30℃、最低気温は約20℃だった。

植物体に着果した状態での個々の果実について、果実周囲の温度と相対湿度の制御および果実の呼吸速度の測定は既報<sup>12-13)</sup>を一部改変して行った。植物体に着果した状態の果実を25℃に保った内部が暗黒の果実チェンバー(内径6cm、長さ30cmの二重チェンバー)に入れた。果実チェンバーへは、ソーダーライムを通してCO<sub>2</sub>を除去し、5、10、20、25℃で水蒸気を飽和させた空気を通気した。流速はサーマル・マスフロー・コントローラー(上島製作所)を用いて2.0 L min<sup>-1</sup>とした。これらは25℃における相対湿度で28、55、75、100%に相当する。チェンバーを通過した空気を流速1 L min<sup>-1</sup>で吸引し、その25℃における相対湿度を25℃の水槽に入れたガラス瓶中に入れた湿度センサー(Vaisala Humicap)で測定した。これから果実の蒸散速度を求めた。更にその空気を除湿して赤外線ガスアナライザー(島津製作所)でCO<sub>2</sub>濃度を測定した。

実験1では、果実周囲の相対湿度が果実の1日間の成長、呼吸、蒸散に及ぼす影響を調べた。長さ約9cmの着果した状態の果実をチェンバーに入れ、呼吸速度と蒸散速度を1時間毎に測定した。果実の体積(V; cm<sup>3</sup>)および新鮮重(FW; g)は果実長(L; mm)と3箇所周囲長(a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>; mm)を1日に2回測定し、これから既報<sup>2)</sup>に従って推定した。すなわち、体積指数(FVI)を

$$FVI = L \times (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2) \times 10^{-6}$$

として求め、VとFWを

$$V = 22.61 \times FVI \quad (r > 0.999)$$

$$FW = 22.42 \times FVI \quad (r > 0.999)$$

により非破壊的に推定した。果実の表面積は果実表面積指数(FSI)

$$FSI = L \times (a_1 + a_2 + a_3) \times 10^{-4}$$

から推定した。予備実験で長さ9~20cmの果実を収穫し、中心軸に垂直な面で数個の断片に切り、断面のフォトコピーをとった。断面の周囲長をパーソナルコンピューターに接続したデジタイザーで測定した。各切片の表面積を、それらの切片をくぼみなく広げて円錐台にしたとして計算し、果実表面積(S; cm<sup>2</sup>)を求めてFSIとの関係を調べたところ、次式の関係があったので、FSIによりSを推定した。

$$S = 30.91 \times FSI \quad (r > 0.999)$$

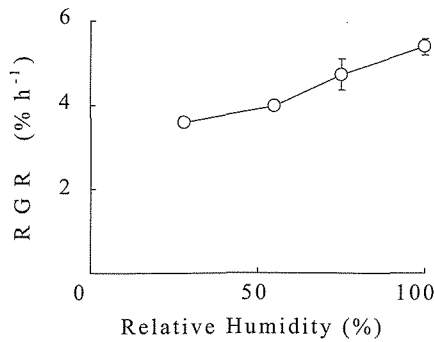
実験2では果実周囲の相対湿度の変化が果実の呼吸速度の短期的変化に及ぼす影響を調べた。果実温制御および呼吸の測定系は実験1と同じものを用いた。長さ15~20cmの果実を15時10分までにチェンバーに入れ、直ちに果実の呼吸速度の30分毎の測定を開始し、通気の露点を20℃として2時間おいた。次に17時10分に通気の露点を5℃に変え、2時間後の19時10分に再び通気の露点を20℃にした。

### 結果および考察

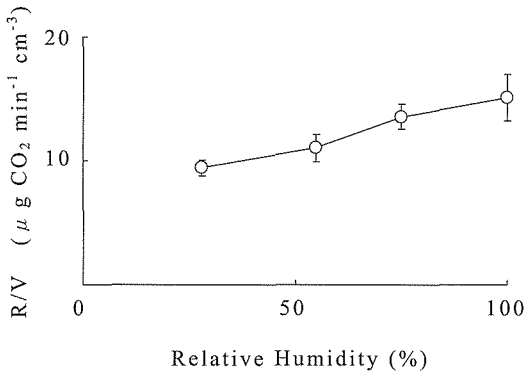
#### 実験1

チェンバーに入れて1日間の果実体積の相対成長率(RGR)と体積当りの呼吸速度(R/V)の平均値を測定したところ、どちらも相対湿度が低い区ほど低かった。RGRとR/Vの日平均値は相対湿度28%では相対湿度100%に対して約30%低かった(Fig. 1, 2)。この相対湿度の効果は既報<sup>2)</sup>のガラス室内の土耕栽培で果実温を制御しなかったときの幼果のRGRの日内変動の大きさとほぼ等しいので、RGRの日内変動に相対湿度が関与している可能性がある。

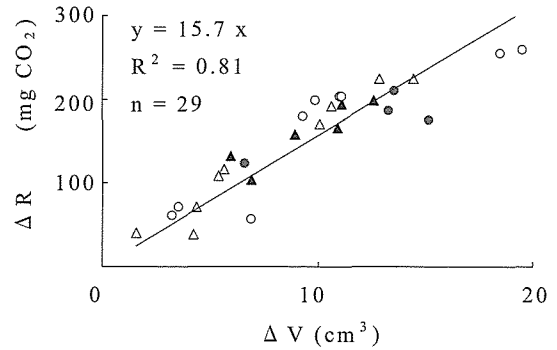
果実体積の増加量(ΔV)とその間のCO<sub>2</sub>排出量(ΔR)との関係は相対湿度によらず同一の回帰直線で表すことができた(Fig. 3)。回帰直線の傾きは15.7だった。既報<sup>12)</sup>の飽和水蒸気条件で果実温を15、20、25、30℃一定として測定したときは体積成長量に対する呼吸量の回帰直線の傾きは果実温度によらずほぼ一定で、全果実温度のデータを合わせて求めた値は13.2だったが、これは本実験の値とほぼ同じである。本実験で回帰直線の傾きが相対湿度によらなかったこと



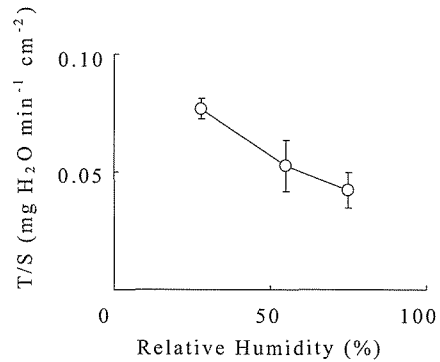
**Fig. 1** The effect of relative humidity on the relative growth rate (RGR) of cucumber fruit. About 9-cm-long fruit were used. The average RGR for 1 day of treatment is shown. The fruit temperature was 25°C. Vertical bars are the SE of means.



**Fig. 2** The effect of relative humidity on the respiration rate per fruit volume (R/V) of cucumber fruit. About 9-cm-long fruit were used. The average R/V for 1 day of treatment is shown. The fruit temperature was 25°C. Vertical bars are the SE of means.



**Fig. 3** The relationship between volumetric fruit growth ( $\Delta V$ ) and  $\text{CO}_2$  respired ( $\Delta R$ ) in cucumber fruit grown at different relative humidities. The fruit volume was measured in the morning and evening. The volumetric growth and  $\text{CO}_2$  respired are shown. The relative humidities were  $\blacktriangle$ : 28%,  $\bullet$ : 55%,  $\triangle$ : 75%,  $\circ$ : 100%.



**Fig. 4** The effect of relative humidity on the transpiration rate per fruit surface (T/S) of cucumber fruit. About 9-cm-long fruit were used. The average T/S for 1 day of treatment is shown. The fruit temperature was 25°C. Vertical bars are the SE of means.

は、果実温度および果実周囲の相対湿度に関わらず呼吸速度を用いて体積成長速度を推定しうることを示している。

チェンバーに入れて1日間の果実の表面積当りの蒸散速度 (T/S) は周囲の相対湿度が低いほど大きかった (Fig. 4)。一方、チェンバーに入れて1日間の果実の蒸散速度を新鮮重当りで表示すると相対湿度が低いほど大きい傾向があり、 $0.1 \sim 0.2 \text{ mg g}^{-1} \text{ min}^{-1}$  の範囲だったが、これから1時間当りの新鮮重当りの蒸散速度 (T/FW;  $\text{g g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) を求めると  $0.006 \sim 0.012 \text{ g g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  となった。

以上の成長速度および蒸散速度のデータをもとに、以下のように果実の水収支の解析を行った。

相対湿度 100% では蒸散速度が 0 であると考えられる。そ

こで、このときの新鮮重に関する RGR ( $\text{RGR}_0$ ) は果実への新鮮重あたりの水の流入速度 (F/FW;  $\text{g g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) にはほぼ等しいことになる。Ehret と Ho<sup>3)</sup> はトマトにおいて果実周囲の湿度は果実への水の流入速度を変化させないが、果実への水の蓄積と蒸散への分配比を変化させるとしている。キュウリ果実にもこれが当てはまるとすると、より低い露点における果実の RGR は (1) 式の両辺を FW で割って、

$$\text{RGR} = \text{GR}/\text{FW} \approx \text{F}/\text{FW} - \text{T}/\text{FW} \approx \text{RGR}_0 - \text{T}/\text{FW} \quad (2)$$

となる。ここで、 $\text{RGR}_0$  の値として Fig. 1 の相対湿度 100% における RGR の平均値  $0.054 \text{ (g g}^{-1} \text{ h}^{-1})$  を使い、T/FW の

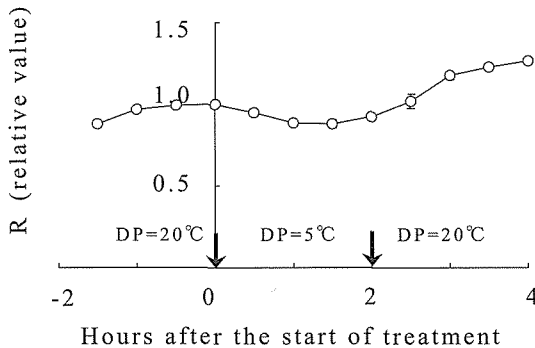


Fig. 5 Effects of the change in dew points on the respiration rate of cucumber fruit.

The fruit temperature was 25°C. The dew point was initially 20°C, then it was changed to 5°C, and then to 20°C. The dew point was changed at the times shown by arrows. Each symbol represents the average of 5 fruit. Vertical bars are the SE of means.

上限として  $0.012 \text{ (g g}^{-1} \text{ h}^{-1})$  を用いると, (2) 式で計算される RGR の値は  $0.042 \text{ (g g}^{-1} \text{ h}^{-1})$  となり, RGR<sub>0</sub> より 22% 低く, 相対湿度 28% における RGR の低下 (30%) とほぼ一致する. このことは, キュウリ果実は流入した水の最大約 30% を蒸散し, それが成長速度の低下を導くことを示唆する.

#### 実験 2

露点を制御する水槽の温度を 20°C から 5°C に低下させ, 再び 20°C とする処理を行うと, 果実の呼吸速度は露点が低下すると直ちに低下したが, 再び露点を上げると直ちに元に戻った (Fig. 5). 呼吸速度の変化が蒸散の増加により気化熱が奪われて果実温が低下したためである可能性を検討するため, 収穫果をチェンバーに入れて熱電対を果皮に差し込んだところ, 相対湿度の変化により果実温度はほとんど変わらなかったこの可能性は排除しようと思われた (データ示さず). 呼吸速度と成長速度の比例関係を考慮すると, 果実の成長速度が相対湿度の変化にすばやく反応している可能性が示唆される. エンドウ果実では果実長の連続測定によって, 相対湿度の変化を伴うと思われる明暗の変化に対して果実の成長速度がすばやく反応することが示されている<sup>4)</sup>.

以上より, キュウリ幼果の蒸散量は果実への水の流入量の最大約 30% に達して果実の水収支を大きく左右することが示された. 果実の相対成長率は果実周囲の相対湿度が低いほど低く, 相対湿度 28% では相対湿度 100% と比較して約 30% 低かった. また, 短時間における果実の体積成長速度は果実温度や果実周囲の相対湿度に関わらず果実の呼吸速度によって非破壊的に推定しようことが示唆された. キュウリは高めの相対湿度で (日中は相対湿度 65 ~ 85% を目標に)

栽培管理される<sup>14)</sup>が, これは果実の成長速度を高める点からも合理性がある.

#### 摘 要

キュウリ (*Cucumis sativus* L.) 品種 'ときわ光 3 号 A 型' の幼果を植物体に着果した状態で 25°C に制御し内部を暗黒とした果実チェンバーに入れ, チェンバーへの通気の相対湿度を 28, 55, 75 および 100% とする処理を行った. 果実の相対成長率と体積当りの呼吸速度は相対湿度が低いほど低く, 相対湿度 28% のとき相対湿度 100% のときの値より約 30% 低かった. 果実の体積成長量と呼吸量の関係は相対湿度に大きくは影響されなかった. 果実からの水の蒸散量は果実への正味の水の流入の 11 ~ 22% と推定された. キュウリの呼吸速度は果実周囲の相対湿度にすばやく反応して変化すると思われた.

#### 引用文献

- 1) Tazuke A, Sakiyama R. Effect of fruit temperature on the growth of cucumber fruits. J. Jpn. Soc. Hortic. Sci. 55(1): 62-68. 1986.
- 2) 田附明夫, 崎山亮三. 着果状態におけるキュウリ果実の体積推定と生長解析. 園芸学会雑誌 53(1): 30-37. 1984.
- 3) Ehret DL, Ho LC. Effects of osmotic potential in nutrient solution on diurnal growth of tomato fruit. J. Exp. Bot. 37(9): 1294-1302. 1986.
- 4) Hole CC, Scott PA. Pea fruit extension rate: I. Effect of light, dark and temperature in controlled environment. J. Exp. Bot. 35(6): 790-802. 1984.
- 5) Gibert C, Lescourret G, Genard M, Vercambre G, Pastor AP. Modeling the effect of fruit growth on surface conductance to water vapor diffusion. Ann. Bot. 95(4): 673-683. 2005.
- 6) Higuchi H, Sakuratani T. Water dynamics in mango (*Mangifera indica* L.) fruit during the young and mature fruit season as measured by stem heat balance method. J. Jpn. Soc. Hortic. Sci. 75(1): 11-19. 2006.
- 7) Knoche M, Peschel S, Hinz M, Bukovac MJ. Studies on water transport through the sweet cherry fruit surface. II. Conductance of the cuticle in relation to fruit development. Planta 213(6): 927-936. 2001.
- 8) Pate JS, Peoples MB, Van Bel AJE, Kuo J, Atkins CA. Diurnal water balance of cowpea fruit. Plant Physiol. 77(1): 148-156. 1985.
- 9) Lang A. Xylem, phloem and transpiration flows in developing apple fruits. J. Exp. Bot. 41(6): 645-651. 1990.
- 10) Lang A, Thorpe MR. Xylem, phloem and transpiration flows in a grape: Application of a technique for measuring

- the volume of attached fruits to high resolution using Archimedes' principle. J. Exp. Bot. 40(10):1069-1078. 1989.
- 11) Jones HG, Higgs H. Surface conductance and water balance of developing apple (*Malus pumila* Mill.) fruits. J. Exp. Bot. 33(1):67-77. 1982.
- 12) Tazuke A, Sakiyama R. Relationships between growth in volume and respiration of cucumber fruit attached on the vine. J. Jpn. Soc. Hortic. Sci. 59(4):745-750. 1991.
- 13) Tazuke A. Relationships between growth in volume and respiration of cucumber fruit after heat-girdling the peduncle. J. Jpn. Soc. Hortic. Sci. 62(1):135-142. 1993.
- 14) 白木己歳. キュウリの作業便利帳. 良品多収のポイント 126. 農文協, 東京. 120-123. 2003.