

キュウリの吸水量に対する風速の影響について

宮 川 秀 夫

I 緒 言

植物の主要な生理作用である光合作用や蒸散作用は、大気環境から見るとそれらは物質拡散現象として促えることができる。即ち光合成については大気中から葉緑体への炭酸ガス拡散であり、蒸散については植物葉面から大気中への水蒸気拡散である。さらに光合成量および蒸散量は炭酸ガスフラックスおよび水蒸気フラックスとして求められる。それぞれのフラックスは、電気的モデルによって大気中と植物体内との2点間における拡散物質の濃度差を、拡散抵抗で除することによって求められる。

$$\text{炭酸ガス flux} = \frac{\phi_a - \phi_c}{r_a + r_b + \frac{r_s \cdot r_c}{r_s + r_c} + r_m}$$

$$\text{水蒸気 flux} = \frac{x_s - x_a}{r_a + r_b + \frac{r_s \cdot r_c}{r_s + r_c}}$$

- 但し ϕ_a : 乱流大気中の炭酸ガス濃度 r_b : 葉面境界層抵抗
 ϕ_c : 葉緑体中の炭酸ガス濃度 r_s : 気孔抵抗
 x_a : 乱流大気中の水蒸気濃度 r_c : 表皮抵抗
 x_s : 気孔中の水蒸気濃度 r_m : 葉肉抵抗
 r_a : 乱流大気抵抗

この場合、抵抗値がどのくらいであるかが問題になり拡散抵抗を外部抵抗と内部抵抗とに区別し、多くの研究者によって求められてきた。筆者は以前、風速と光合成に関する研究において外部抵抗を乱流大気抵抗と葉面境界層抵抗とに区別し、シュリーレン法によって境界層抵抗を求め、炭酸ガス拡散における葉面境界層の重要性を示唆した⁽¹⁾。そこで以上の事項を図示したのが第1図である。しかしその後風速と光合成の関係を究明するためには蒸散および吸水の影響も問題になることが判明したので、本実験では吸水に対する風速の影響について解明することにした。

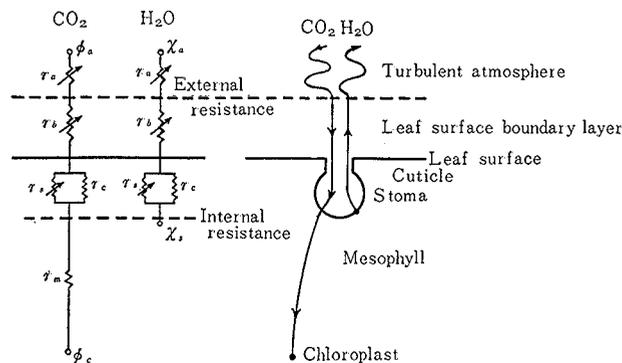


Fig. 1. Electrical analog of gas exchange and diffusive pathway

吸水作用はいうまでもなく根より水分を吸収する作用であり、これが大気環境要因である風速によっていかなる影響をうけるかについて次のように考えた。即ち上記のように蒸散作用は植物葉面より葉面境界層を通じての水蒸気拡散であり、これは風速の大小による境界層厚さの変化に応じて大きく影響をうける。従って水蒸気拡散量が変化すれ

ば蒸散流が変化し、間接的に風速の影響をうけることになる。以上のような見地から実験を行ない、吸水量に対する風速の影響について基礎的な結果を得たのでここに報告する。

なお本実験の遂行にあたり種々の御指導を載した香川大学農学部教授上原勝樹博士に対し、感謝の意を表する次第である。また本実験は昭和46年度奨励研究補助金によって行なわれたものである。

II 測定装置

測定装置の概要を示すと第2図のようである。即ち風洞とアクリル製チャンバーとを用い扇風機で風を送った。風洞はトタン板で作成し、吸込口 45 cm×45 cm、吹出口 35 cm×35 cm で長さ 90 cm の大きさとした。吹出口には 3.5 cm 間隔の整流格子を設け、風洞内部には寒冷沙を張り、できうる限り層流になるよう心掛けた。チャンバーは 3 mm 厚のアクリル板で作成し、高さ 40 cm、幅 35 cm、長さ 80 cm とし、上部に熱線吸収用の深さ 5 cm の水槽を取り付け、照射中は常に水を流した。また光源には 250 W の東芝陽光ランプを1灯用いた。

吸水計はゴム栓を施した広口瓶にガラス製の吸水管を取り付けたものである。また吸水管は外径 5 mm、内径 2 mm、長さ 95 cm のL字型で、かつ管壁面に目盛を刻んだものである。そして容量は 2.5 cc で最小目盛は 0.01 cc である。

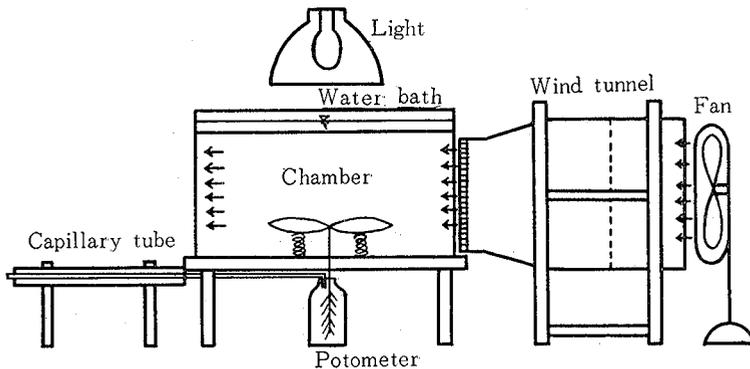


Fig. 2. Experimental system for measurement of water absorption

III 実験材料および方法

供試植物としてキュウリ (F₁ 久留米落合 H 型) を用いた。そして種子は礫を入れた 5000 分の 1 アールのワグナーポットに播種し、9 月～12 月の間温床線を用いて温室内で栽培した。栽培法は礫耕法で、培養液には HOAGLAND 第 2 液を用いタイムスイッチに接続したポンプによって 45 分間毎に約 3 分間かん水した。培養液は約 25 日毎に取り替え pH は 6.0 前後に保った。

試料は本葉第 2 葉の面積が 100 cm² を越えた段階で使用し、第 1, 2 葉以外の葉を切除し、第 1, 2 葉での吸水量を測定した。実験を行なう前日、ポットより植物体を取り、根に付着した礫をできるだけ洗い流し、培養液を入れた広口瓶の中に入れ、一晚放置して翌日実験を行なった。セットは吸水計に施したゴム栓にキュウリの茎が入る程度の孔を開けキュウリを吸水計に入れた後、ワセリンをぬった綿とパラフィンとによって完全に孔のまわりおよびゴム栓を密封し、根に光が当たらないように瓶は黒ビニールで覆った。またチャンバー内のキュウリの葉は第 2 図に示したように、風の乱れを小さくするために、ばねによって水平に保った。

照射エネルギーは黒の寒冷沙を熱線吸収用水槽に 1～3 枚入れることによって 0.6, 0.3, 0.15 cal/cm²·min の 3 種類に変え、それぞれに対して風速を 0, 12, 37, 62, 115 cm/sec の 5 段階に変化させて吸水量の測定を行なった。そして上記のような風速の調節は扇風機の調節ボタンと風洞吹出口に寒冷沙を張ることによって行なった。また照射エネルギーの測定には MOLL-GORCZYNSKI 日射計を、風速の測定にはサーミスタ風速計を用いた。チャンバー内の気温、湿度および葉温は熱電対 (径 0.1 mm, Cu-Con) を用いて電子管式自動平衡記録計によって日記記録させた。即

ち湿度は熱電対に脱脂したガーゼの糸を巻きつけた湿球の示度から求め、また葉温は葉の裏面にセロテープで熱電対の先端を固定させて測定した。

吸水量は5分間毎に吸水管中の水の減少量を読み取って求めた。そして一つの風速に対して2時間(照射エネルギー $0.15 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ の場合は1時間)測定し、引き続き次の風速に移って全段階を連続的に測定した。ついで実験終了後葉面積を方眼紙によって測定し葉面積 100 cm^2 当りの吸水量を算出した。

IV 実験結果

(a) 吸水量に対する風速の影響

風速と吸水量との関係を示すと第3図のようである。この場合チャンパー内の気温は約 23°C 、相対湿度は約 65% であった(照射エネルギー $0.15 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ の場合は測定時期が違っていたので気温は約 18.5°C 、相対湿度は約 55% であった)。そして吸水量は5分間毎の読み取りから1時間当りの積算量として示した。

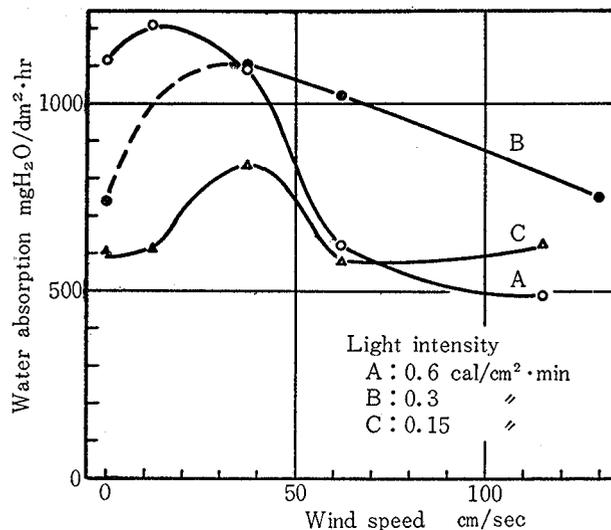


Fig. 3. Effects of wind speed and light intensity on the water absorption of cucumber plants

風速と吸水量との関係は照射エネルギーによって異なり、照射エネルギーが $0.6 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ のとき風速が約 40 cm/sec 以下では吸水量は $1000 \text{ mg/dm}^2 \cdot \text{hr}$ 以上を示し、風速が 40 cm/sec 以上では急速に低下し 115 cm/sec で 500 mg になった。ついで照射エネルギー $0.15 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ で、風速約 40 cm/sec のとき吸水量は最大値約 $800 \text{ mg/dm}^2 \cdot \text{hr}$ を、他の風速域では約 600 mg を示した。また照射エネルギーが $0.3 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ のとき風速 12 cm/sec の場合の値は実験の都合で得られなかった(図では仮想的に破線で示した)が、風速約 40 cm/sec で吸水量は約 $1100 \text{ mg/dm}^2 \cdot \text{hr}$ を示し、その後徐々に低下し風速 130 cm/sec では約 750 mg の値を示した。

(b) 吸水量の経時変化

前項では1時間当りの吸水量について述べたが、吸水量を5分間隔で示すとかなり変動していることがわかる。これらを示したのが第4～6図である。

即ち吸水量は風速、照射エネルギーによって微妙に変動しており、中には第5-a, 5-b 図のBに示したようにかなり明瞭に周期的な変化をしているものがある。照射エネルギーが $0.6 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ の場合は無風の状態で吸水量は $70 \text{ mg/dm}^2 \cdot 5 \text{ min}$ から $100 \text{ mg/dm}^2 \cdot 5 \text{ min}$ の範囲で変動しており、風速が 12 cm/sec ではあまり変動は見られないが、 37 cm/sec では 60 mg から 110 mg の範囲で変動している。また風速が 62 cm/sec , 115 cm/sec と大きくなるにつれて変動は小さくなっている。照射エネルギーが $0.3 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ の場合は、いずれの風速においても変動が大き

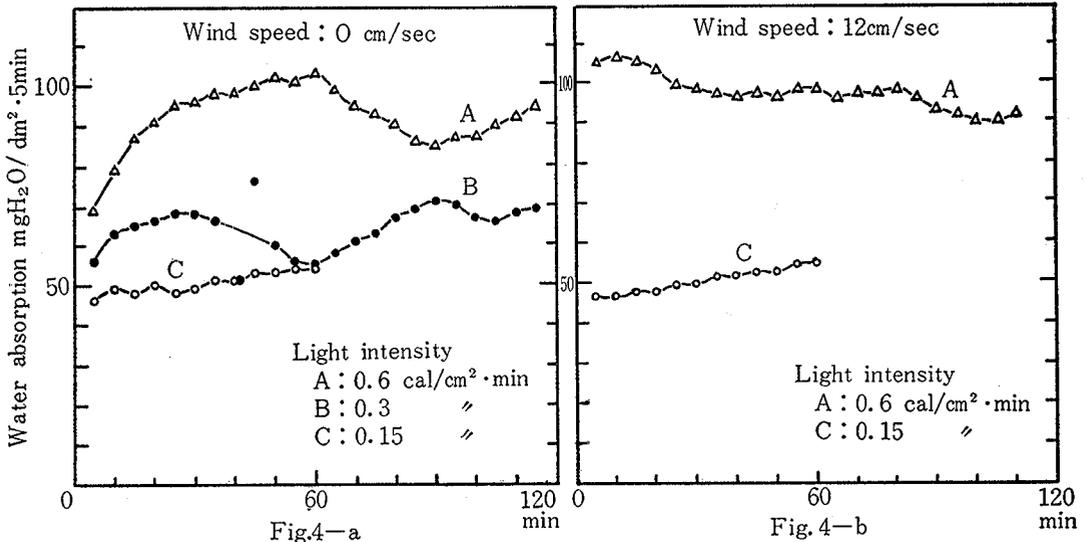


Fig. 4. Rhythmic changes of water absorption of cucumber plants

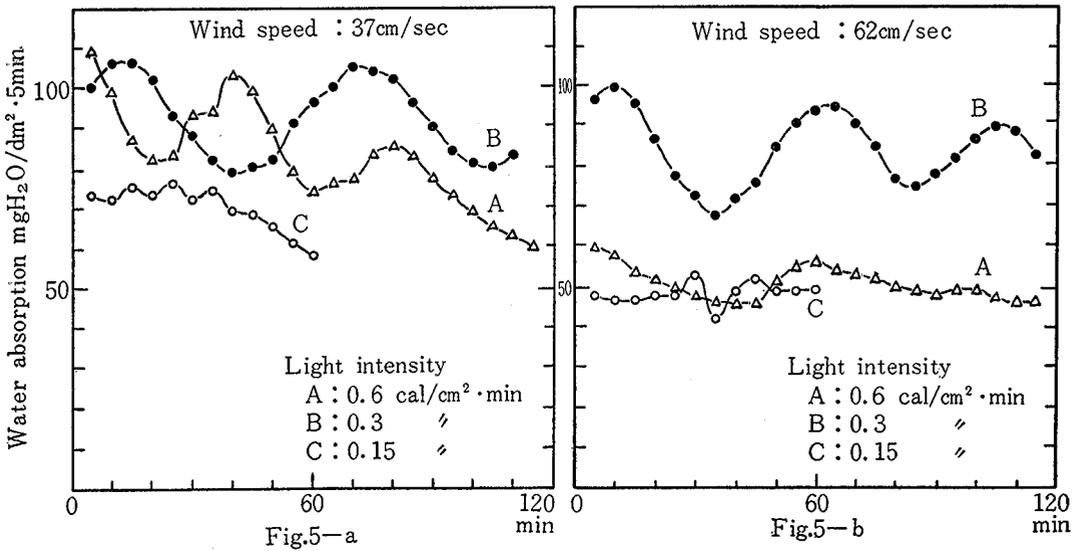


Fig. 5. Rhythmic changes of water absorption of cucumber plants

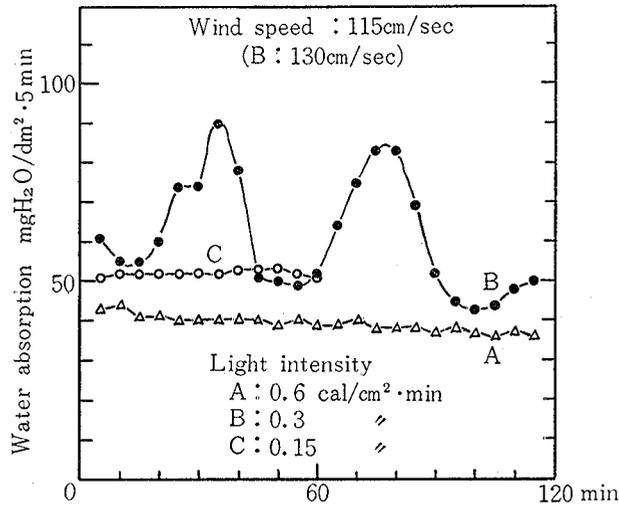


Fig. 6. Rhythmic changes of water absorption of cucumber plants

く風速 130 cm/sec の場合でも A, C に比較してかなり変動している。そしてまた周期的な変化をしていることが特徴的である。照射エネルギーの最も小さい 0.15 $\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$ のときは、0.3 $\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$ の場合と対照的に全風速域において変動が小さくなっている。

(c) 吸水量と葉温との関係

葉面は日中蒸散によって潜熱を放出し、極度の葉温上昇を防いでいる。従って葉温と蒸散とは密接な関係にあることから、吸水量の変化によってもまた葉温が変化するものと考え実験を行なったところ以下のような結果が得られた。それを示したのが第7図である。

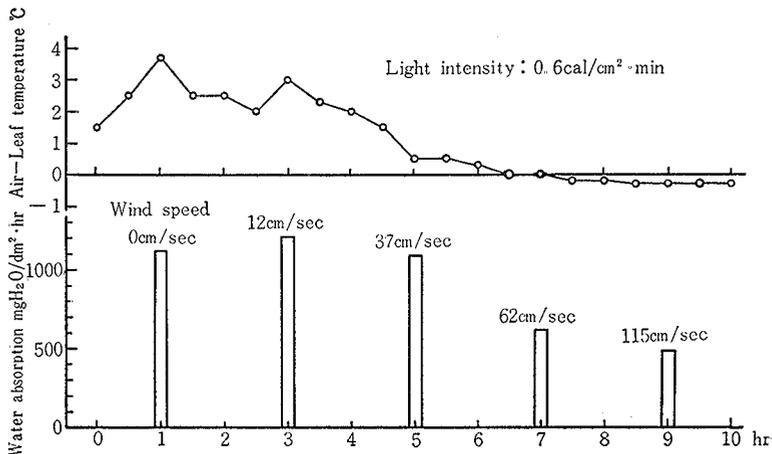


Fig. 7. Changes of leaf temperature with differences of water absorption

第7図の上の図は自記記録計から求めた気温と葉温の差の時間的変化を示し、下の図は各時間毎に測定した吸水量を風速別に示したもので、その値は第1図に示したものと同一である。なおこの図は照射エネルギーが 0.6 $\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$ で気温と葉温の差が最も顕著に現われた場合を示したものである。風速 37 cm/sec 以下の高吸水量域においては葉温が低下するため気温と葉温の差は大きくなり、そのときの差は最大 3.7 $^{\circ}\text{C}$ を示した。また風速 37 cm/sec 以上では吸水量が低下して、葉温の上昇が現われ気温と葉温の差は小さくなり、風速 115 cm/sec 付近では気温より葉

温がかえって高くなりその差は負になっている。

V 考 察

キュウリの吸水量に対する風速の影響についての実験を行なった結果、吸水量は風速に大きく影響をうけることが判明した。風速と葉面境界層の関係から考察すると風速の増加とともに境界層は薄くなり、従って水蒸気拡散は旺盛となり蒸散流の増加のため吸水量は増すと推定されるが、ある風速以上になると吸水量は第3図に見られるごとく低下しはじめる。これは水分平衡を保つため植物自身の制御作用として気孔が閉じてゆくものと考えられる。従って風速と気孔開度との関係が問題になると思われるが、その点についての実験は測器の関係などから行なわなかった。しかしこれは今後の研究課題である。

照射エネルギーとの関連において吸水量に対する風速の影響を見ると第3図のごとく、照射エネルギーが $0.6 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ のように比較的大きい場合においては、風速の増大による吸水量の低下は著しく、照射エネルギーが $0.15 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ のように小さい場合においては前者ほど大きな低下はなく、風速 115 cm/sec においてはむしろ $0.15 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ の場合の方が大きな値を示し、吸水量の大小は単に照射エネルギーの大小からのみ論じられず、風速をも含めた見方をする必要がある。筆者が以前行なった風速と光合成との関係⁽⁶⁾においても同様な傾向の結果を得ているので、上記の結果は光合成の問題とも深い関連性を持っているものと考えられる。

次に第4～6図に示されているように、吸水量を短時間毎の間隔で求めると常に変動していることが明らかで、これは蒸散が変動しているからであると考えられる。蒸散の変動についての報告はいくつかあるが⁽⁷⁻⁹⁾、環境要因としての風速を取り扱ったものは見られない。蒸散の cyclic variation⁽⁷⁾ は気孔開度の rhythmic change⁽¹⁰⁾ に起因しており、これが吸水量の変動にも影響を及ぼしているものと考えられる。しかし本実験で行なった結果から風速がどのような変動を与えるかについては、測定数から考えて普遍性を見出すことは困難であり、一実験例を示したのみで、この点についても今後さらに究明されなければならない。

吸水量と葉温変化との関係については、蒸散による葉面蒸発潜熱の放出に密接に関係しており、高風速域における蒸散、吸水の低下とともに潜熱放出量が減少し葉温は徐々に上昇してゆき、気温と葉温の差は低風速域の結果と逆転する。この場合も照射エネルギーが大きく関係しており、照射エネルギーが $0.3 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ の場合には $0.6 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ の場合と同様な傾向が見られたが、気温と葉温の差はそれほど大きくなく、照射エネルギーが $0.15 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ では、全風速域において気温が葉温よりわずかに高いかあるいは等しいという結果を得た。屋外では日中照射エネルギーが $0.6 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ を越える場合が多いので、さらに葉温上昇は大きくなると推定され、今後さらに高照射エネルギーの場合についても実験を行なう予定である。

作物栽培には水の問題が重要であり、以上の得られた結果は、特に施設内での栽培において重要な示唆を与えるものと考えられる。

本実験は個体における吸水量と風速との関係を求めた基礎的な結果であり、植物が群落をなした場合の風速の影響については今後における大きな課題であり、これらについてはさらに検討してゆきたい。

VI 摘 要

キュウリの吸水量に対する風速の影響を解明するため、吸水計を用いて実験測定を行ない、また同時に吸水量と葉温との関係についても明らかにした。得られた結果を要約すれば次の通りである。

1. 吸水量に対する風速の影響は照射エネルギーによって異なり、照射エネルギーが $0.6 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ の場合、吸水量は風速 12 cm/sec のときに最も大きく、風速 40 cm/sec 付近から急速に減少して 115 cm/sec のとき 487 mg を示した。また照射エネルギーが $1/4$ ($0.15 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$) になると風速の増大による吸水量の減少は見られず、風速 115 cm/sec では 625 mg と前者の場合より大きな値を示した。

2. 吸水量を5分間隔で求めるとその経時変化には微変動が認められ、とくに照射エネルギーが $0.3 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ の場合は各風速において周期的な変動が顕著であった。

3. 吸水量と葉温との関係については、照射エネルギーが $0.6 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ の場合、吸水量が大きいときは葉温が低下し、気温と葉温との差は大きくなり最大 3.7°C を示した。一方吸水量が小さくなるにつれて葉温は次第に上

昇して気温との差が減少し、ついに葉温はかえって気温より僅かに高くなった。

参 考 文 献

- (1) 矢吹万寿・宮川秀夫・石橋 惇：風速と光合成に関する研究 I, 農業気象, 26(2), 65-70(1970).
- (2) 矢吹万寿：作物制御室における炭酸ガス濃度の調整, 農業および園芸, 44(9), 1359-1365(1969).
- (3) MONTEITH, J.L.: Environmental Control of Plant Growth, 95-112, New York, Academic Press (1963).
- (4) 坂村 徹：植物生理学(下), 24-30, 東京, 裳華房 (1959).
- (5) 田崎忠良・田口亮平：実験植物生理生態学実習, 43-44, 東京, 養賢堂 (1968).
- (6) 矢吹万寿・宮川秀夫：風速と光合成に関する研究 II, 農業気象, 26(3), 137-141(1970).
- (7) BARRS, H.D., KLEPPER, B.: Cyclic Variations in Plant Properties under Constant Environmental Conditions, *Physiologia Plantarum*, 21, 711-730 (1968).
- (8) BARRS, H.D.: Effect of Cyclic Variations in Gas Exchange under Constant Environmental Conditions on the Ratio of Transpiration to Net Photosynthesis, *Physiologia Plantarum*, 21, 918-929 (1968).
- (9) LANG, A.R.G., KLEPPER, B., CUMMING, M.J.: Leaf Water Balance During Oscillation of Stomatal Aperture, *Plant Physiol*, 44, 826-830 (1969).
- (10) MEIDNER, H., MANSFIELD, T.A.: *Physiology of Stomata*, 102-118, London, Mcgraw-Hill (1968).

THE EFFECTS OF THE WIND SPEED ON THE WATER
ABSORPTION OF THE CUCUMBER

Hideo MIYAGAWA

Summary

The amounts of the water absorption by the cucumber plants were measured by the potometer method in order to investigate the effects of the wind speed and the leaf temperature of the cucumber plants was also determined by the thermocouple. The following results were obtained.

The amount of water absorption by the cucumber plants at 115 cm/sec of wind speed was 478 mg/dm²·hr when the cucumber plants were exposed to 0.6 cal/cm²·min light intensity and was 625 mg/dm²·hr at 0.15 cal/cm²·min. Then the amount of water absorption at upward wind speed of 37 cm/sec rapidly decreased at the light intensity of 0.6 cal/cm²·min but gradually diminished at 0.15 cal/cm²·min. These results mean that the amounts of the water absorption by the cucumber plants depend on not only the light intensity but also the wind speed. The amount of water absorption delicately varied momentarily and it is thought that these results depend on the changes of the stomatal aperture of the cucumber plant leaf and these phenomena were also influenced by the wind speed and the light intensity.

The temperature of the cucumber leaf was lower when large amounts of water were absorbed by the cucumber plants and was higher at small amounts of the water absorption. These facts were caused by the amounts of the latent heat flux from the cucumber leaf surface by the transpiration because the water absorption is connected with the transpiration.

(1972年6月5日 受理)