蒸散に関する研究(3)

かんしよの蒸散と蒸散抵抗

長谷場徹也・伊藤代次郎

(愛媛大学農学部)

Studies of Transpiration in Relation to the Environment (3)
Transpiration in Leaves of *Ipomoea batatas* (Sweet Potato) and
the Relation between Transpiration Resistance and Stomatal Aperture.

T. HASEBA and D. ITO

(College of Agriculture, Ehime Univ., Matsuyama, Ehime Prefec.)

1. はし が き

近年、植被内外での熱、水蒸気、炭酸ガス等の輸送に関する解析が進み、気象環境要素の作物物質生産に対する寄与の評価が盛んに行なわれるようになった。この物質輸送過程の物理的表現において、外部輸送抵抗（境界層または外部空気抵抗）と内部拡散抵抗（気孔抵抗など）が用いられる。

耕地の蒸発散について、MONTEITH (1963) はライシメーターによる蒸発散測定量と湿度分布を用いる方法および熱収支式の解による方法で気孔抵抗を求め、さらに MONTEITH et al. (1965) は上の作物植被抵抗をポロメーターで決めた気孔抵抗と比較している。また、ASTON (1963) はライシメーターでの蒸発散測定量を黒色アトモメーターの蒸発量と比較して拡散抵抗を求め、SZEICZ and LONG (1969) は気象要素の分布による方法など3つの解析的方法と2つの経験的方法で作物蒸散の表面抵抗を求めている。

葉面蒸散の解析では、KUIPER (1961), SLATYER and Bierhuizen (1964), Ehrler and van BAVEL (1968) などが葉形湿紙で外部抵抗を決め重量法で求めた蒸散量から内部抵抗を分離決定している。

DRAKE et al. (1970) は葉形銅板で外部抵抗を決定し、蒸散内部抵抗を求め、MILLAR and GATES (1967), TAYLOR and GATES (1970) はポトメーターないしは重量法で得られる蒸散量を基に、外部抵抗は計算値で与えて、内部抵抗を室内および圃場で求めている。さらに、

IMPENS (1966 a, b) と IMPENS et al. (1967) は正常葉と蒸散止めをした葉の熱収支式の比較から圃場作物の内部拡散抵抗の日変化などを推定している。

他方、WALLIHAN (1964), van BAVEL et al. (1965), SLATYER (1966), MORESHET and STANHILL (1968) などはポロメーターを用いて、湿度変化の測定ないしはラジオアイソトープによるトレーサー法で、いわゆる気孔拡散抵抗の直接決定法を開発し、これらは実用に供されている (TURNER and WAGGONER, 1968; TURNER, 1969; 泊, 1970 など)。

さて、長谷場ら (1966, 1967) はみかんの蒸散の日変化と年変化の特性ならびに蒸散と気象要素の関係を論じ、さらに蒸散を湿面蒸発と対比して蒸散効率の面から解析を行なった。

今回は草本性作物の一例として、かんしよをとりあげた。

かんしよの蒸散について、永井 (1952) はコバルト紙法で葉の上下面の蒸散比を求め気孔開度との関係を論じ、平井 (1958) は Heincke 法により1～2時間毎に蒸散量を測定し、品種間の蒸散活動の比較を行なっている。TSUNO (1968) は光合成測定用の同化箱内に置いたかんしよの個体について、水収支法で蒸散速度を決定し、光合成と葉温の關係に及ぼす蒸散の影響を調査し、かんしよの最大蒸散速度は約 $1.4 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^2 \text{ sec}$ 、みかけの水蒸気輸送係数は最大 0.7 cm/sec (全蒸散抵抗で最小 1.4 sec/cm) であることを報告している。

しかし、かんしよの蒸散について詳細な測定ならびにそれを解析した例は少ない。

さらに、気孔内の拡散抵抗については古くからいくつ

発表月日 昭和43年11月5日、全国大会にて発表
受理月日 昭和46年7月2日受理

かの考察があり、BROWN and ESCOMBE (1900) は小さな直円筒について、PENMAN and SCHOFIELD (1951) は狭さく部のある気孔モデルについて、MILTHORPE and PENMAN (1997) は小麦葉の気孔について、PARLANGE and WAGGONER (1970) は一般的な形をした気孔モデルについて、それぞれ拡散抵抗を求める式を導いている。そして、BANGE (1953), LEE and GATES (1964), BROWN and ROSENBERG (1970 a, b) らは、上の理論式を用いて気孔内部抵抗の計算を行なっている。

しかし、気孔蒸散における内部抵抗の実測値を理論値と比較検討した例は少ない (BURROWS, 1969 など)

ここでは、かんしよの蒸散内部抵抗と気孔開度との関係等を明らかにするために行なつた測定と解析結果について報告する。

2. 測定方法

かんしよは農林1号を用い、これを直径25cm、深さ30cmのポットに挿苗して圃場で育成した。測定には充分活着し、葉数約150枚程度に成長したものをを用いた。

上方および下方からの水平面短波放射量、気温、湿度、風速、風向、地温、土壌含水比ならびに蒸散量と葉気温差の連続記録をとり、測定値から15分毎の平均値を読みとって整理した。これらの測定、整理法は前報 (長谷場ら, 1966) と同様である。

他方で、外部抵抗推定のため、平均的なかんしよ葉と同一寸法の葉形湿面を作り、これの蒸発速度を重量法で、また湿面温度分布を熱電対で測定した。

葉水分は約90 μCi の密封された¹⁴C線源を用い、 β 線透過法で測定した (武智, 1970)。この場合の線源と検出器間距離は1cmで、葉を検出器に密着して計数した。あらかじめ標準的なかんしよ葉について β 線透過率と葉含水比の関係を測定して、含水比決定曲線を作つた。 β 線透過率の対数と葉含水比の間にはよい直線関係が得られた。

つぎに、気孔開度の測定には浸潤法とSUMP法を併用した。浸潤試葉には通常行なわれているように iso-butyl alcohol と ethylene glycol を用い、前者100%のものを試葉番号1、前者90%と後者10%の混合液を番号2以下混合比を10%きざみで変え、前者10%と後者90%の混合液を番号10とした。

SUMP法によつて決めた気孔幅と浸潤試葉番号の間には、かんしよの場合にも高い相関関係のあることが報告されているが (農技研畑作第3研究室, 1966)、今回得られた結果でもやはり両者間に直線関係がみられたので、気孔開度は浸潤試葉を葉面に滴下し葉内に浸潤する

最大試葉番号で表わすことにした。

3. 測定結果

第1図に快晴日で土壌水分が充分な場合 (1968年8月19日) の蒸散速度の日変化を挙げた。土壌含水比の日平均値は約25%であつた。

Fig. 1. Daily march of transpiration, resistances to transpiration, stomatal aperture and environmental factors, on a clear day when well watered. W_T ; Transpiration rate, S ; Stomatal aperture in number of infiltration method, R ; Resistance, θ_A , θ_S ; Temperature of air and soil, respectively, $R.H.$; Relative humidity, ΔC_L ; Watervapor concentration difference between leaf interior and air, u ; Wind velocity, Q ; Short wave radiation, the sum of solar radiation and the reflected by the surroundings, $\Delta\theta$; Temperature departure of leaf from air, u_L ; Leaf moisture ratio.

夜間の蒸散は $4 \times 10^{-7} \text{g/cm}^2 \text{sec}$ の程度で極めて小さかつた。

蒸散速度は日出とともに漸増し、日中では $1 \times 10^{-5} \text{g/cm}^2 \text{sec}$ 程度まで増大している。午後は時間の経過とともに減少し、日没とともに夜間の値に近づいていった。

Fig. 2. Same as Fig. 1., at low soil moisture.

蒸散速度と葉面水蒸気濃度差との変動はよく対応して、他の要素の直接影響は比較的小さかった。

第2図に土壤含水比が平均約12%と低かつた日(8月20日)の、日中9時から17時の間の蒸散の変化を挙げた。

気象条件は第1図の場合と大差ないが、蒸散速度は日中でもかなり小さく、 $1 \sim 4 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^2 \text{ sec}$ で、平均して土壤水分の好適な場合の1/5程度に過ぎなかつた。

第3図は快晴日の日中に1時間の人為的な遮光を行なった場合の蒸散変化の例である。(9月11日)

遮光によつて日射量はおおよそ1/5に減少し、蒸散速度は極めて短時間に遮光前の値から40%程度の値に減少した。また、日射の回復時に蒸散量は短時間に回復した。

4. 解析

(1) 蒸散速度と蒸散抵抗

葉面からの蒸散速度はつぎのように表わすことができる。

Fig. 3. Same as Fig. 1., at shielding insolation.

$$W_T = \Delta C_L / (R_S + R_B)$$

ここに、

W_T : 蒸散速度 ($\text{g/cm}^2 \text{ sec}$)

ΔC_L : 葉面水蒸気濃度差、気孔底と葉面水蒸気境界層外空气中の水蒸気濃度の差、気孔底が完全湿潤状態にあれば気孔底水蒸気濃度は葉温での飽和水蒸気濃度 (g/cm^3)

R_S : 葉内水蒸気輸送抵抗 (内部抵抗)、気孔輸送抵抗とクチクラ層輸送抵抗の並列和 (sec/cm)

R_B : 葉面 (葉形湿面) 境界層輸送抵抗 (外部抵抗) (sec/cm)

(1) 式で蒸散速度 W_T と葉面水蒸気濃度差 ΔC_L は測定値から与えられるので、 R_B が知れれば、 R_S を求めることができる。このとき (1) 式は葉の上下面の気孔分布密度と気孔形態が同一でなければ厳密には適用できない。かんしよの気孔形は葉の表裏で差異は認められなかつたが、気孔の分布密度は異なつていた。永井 (1952) によれば第5葉以降の葉では表と裏の気孔数はおおよそ1:3であり、また農技研畑作第3研究室の報告 (1966)

によれば1:2.2から1:3.4の範囲にある。

MORESHET et al. (1968) によれば、かんしよで得られる程度の抵抗値と上の気孔分布密度の表裏の差では、厳密な気孔抵抗値と全抵抗から外部抵抗を減じた残差抵抗値の間の差異はたかだか10%以下であるので、ここでは(1)式に従がい平均的な内部抵抗を求めて議論することにした。

つぎに、温度分布が葉面と等しい葉形湿面からの蒸発速度はつぎのように書ける(武智・長谷場, 1971)。

$$W_E = \Delta C_W / R_B \quad (2)$$

ここに、

W_E : 蒸発速度 (g/cm² sec)

ΔC_W : 湿面水蒸気濃度差 (g/cm³)

また、

$$1/R_B = 2D_W \quad (3)$$

ここに、 D_W は湿面上境界層における強制対流と自由対流による水蒸気輸送係数で、一般には例えば、

$$D_W = D_f + \gamma D_n \quad (4)$$

と書ける。

ここに、

$$D_f = A S_c^{1/3} Re_{2a}^n d / 2a \quad (5)$$

で、強制対流による水蒸気輸送係数 (cm/sec)

$$D_n = B (Gr' / Sc)^m d / l \quad (6)$$

で、自由対流による水蒸気輸送係数 (cm/sec)

γ : 全水蒸気輸送係数に及ぼす自由対流の効果を表す係数で、一般には風速 (Reynolds 数), 面上と境界層外空気の密度差 (Grashof 数) などの函数と考えられる。ここでは $\gamma = 1$ と近似した (長谷場, 1967)。

A, B, m, n : 境界層構造で定まる常数

Sc : Schmidt 数

Re_{2a} : 気流方向の葉径 $2a$ (cm) での Reynolds 数

Gr' : 水蒸気輸送における Grashof 数

d : 水蒸気の分子拡散係数 (cm²/sec)

l : 面の代表長 (cm)

さて、野外で風の乱れの激しい場合、葉面積密度の大きい植被内の場合、葉面が平板と著しく異なる場合等を除けば、葉面の強制対流境界層は層流と考えられる。今回の実験で、かんしよ葉は平板状であり、供試材料はポットに栽植した孤立個体であるため強制対流輸送係数は層流値が適用され得る。即ち、 $n=1/2$ である。なお、葉形湿面の蒸発測定によって得られた輸送係数は層流値とほぼ一致し、このときの湿面温度分布はかんしよ葉のそれとかなり近かつた。

他方、自由対流輸送係数では、Grashof 数が比較的小さく、層流値が適用し得ると考えられる。即ち、 $m=1/4$ である。

ここに報告する測定日の温度条件 (平均気温 $\approx 28^\circ\text{C}$, 平均の Reference Temperature $\approx 29^\circ\text{C}$) での常数值と平均葉径を (5) および (6) 式に代入して得られる輸送係数はそれぞれつぎのようであつた。

$$D_f = 0.336u^{0.5} \quad (7)$$

$$D_n = 0.829 \left| \frac{\Delta\theta}{\theta_A} + 3.73 \times 10^{-4} \Delta E \right|^{1/4} \quad (8)$$

ここに、

u : 風速 (cm/sec)

$\Delta\theta$: 葉気温差 ($^\circ\text{C}$)

θ_A : 気温 ($^\circ\text{K}$)

ΔE : 葉面水蒸気差 (mb)

さて、風速等の測定値を用いて、(7) および (8) 式

Fig. 4. Relation between transpiration rate (W_T) and water vapor concentration difference between leaf interior and air (ΔC_L), Upper portion; wind speed range from 1 to 2 m/sec. Lower portion; wind speed range from 2 to 3 m/sec.

から D_f と D_n は計算値として求められ、(4) と (3) 式で外部抵抗は計算値として与えられる。

(2) 蒸散速度と葉面水蒸気濃度差

風速が一定即ち外部抵抗が一定で、かつ内部抵抗が不変の場合、(1) 式から蒸散速度は葉面水蒸気濃度差に正比例する。

かんしよの場合で内部抵抗がほぼ一定とみられる日中の測定値について、それぞれ風速が 1~2 m/sec と 2~3 m/sec の範囲でまとめた蒸散速度と葉面水蒸気濃度差の関係を示したのが第4図である。

両者の間にはほぼ正比例関係が認められる。このような関係はミカンの場合に得られた結果 (長谷場ら, 1966) と同様である。

(3) 内部抵抗の日変化

第1図に土壤水分が充分な場合の蒸散内部抵抗の日変化を挙げてある。

夜間の内部抵抗は極めて大きく、10~20 sec/cm の値を示し、日中は 2 sec/cm 前後の値で変動していた。内部抵抗は日没時に急激な変化を示した。

ここで、蒸散は必ずしも内部抵抗の減少に並行して増加せず (LEE, 1977)、蒸散に及ぼす環境要因の効果もかなり大きいことが覗がえる (van BAVEL, 1968)。即ち、日射が増大し気温と葉温が上昇すれば葉面水蒸気濃度差が増大して物理的に蒸散量を増大せしめていると考えられる。これの詳細については葉の熱収支に及ぼす内部抵抗の効果をより解析的に調べる必要があると考えられる (DRAKE et al., 1970)。

内部抵抗と葉水分または気孔開度との間には逆相関の傾向がみられた。

つぎに外部抵抗の値は内部抵抗に比べて小さく、日中で前者は後者の 1/8 程度の値であつた。このように、風速が 1 m/sec を超えると蒸散に及ぼす外部抵抗の影響は小さい。ここでは外部抵抗を層流値として与えたが、乱流値を与えても内部抵抗の数値に結果的には大きな影響は現われない。しかし、通常 1 m/sec 以下の微風しか吹かない植被内では葉面輸送係数 (または外部抵抗) の函数形は重要となる。植被内での葉面輸送係数についてはさらに詳細な検討が必要と考えられる。

第2図には土壤水分の低い時の日中の内部抵抗の変化を挙げた。気象条件は第1図の場合とほぼ同様で外部抵抗の値に大差はないが、午前から午後にかけて内部抵抗は漸増し、その値は日中でも 10 sec/cm を超えている。この日の気孔開度は試葉番号の1であり、気孔は殆んで

Fig. 5. Relationship between internal resistance (R_s) and stomatal aperture (S)

閉じた状態にあつた。

また、葉水分は日中、時間の経過とともに漸減し、萎凋状態にあつたことを示している。

第3図には、日中一時的に遮光した場合の内部抵抗の変化を挙げた。

遮光時には気孔が閉じて内部抵抗が増大したことを示している。このときの気孔運動はかなり早いことが覗える。

なお、葉水分には顕著な変化は認められなかつた。

(4) 内部抵抗と気孔開度

内部抵抗と気孔開度の関係を表わしたものが第5図である。

内部抵抗は気孔開度3 (浸潤試葉番号) までは急激に減少するが、それ以上に気孔が開いても内部抵抗の変化はゆるやかである。

モデル的な気孔について BROWN and ESCOMBE (1900) PENMAN and SCHOFIELD (1951), MILTHORPE and PENMAN (1967), PARLANGE and WAGGONER (1970) などによつて求められている拡散抵抗はいずれも Fick の法則を基礎にしたもので、抵抗と気孔の開きを示す代表長 (例えば気孔幅) の間には反比例的な関係が得られている。第5図におけるかんしよについても、内部抵抗は気孔開度に対してほぼ反比例的な関係になつている。

また、ここに得られた内部抵抗の値は LEE and GATES (1964) が *Zebra pendula* の気孔について計算した結果

にほぼ一致している。すなわち、それによれば気孔幅 5μ で葉の片面の気孔抵抗は約 5 sec/cm であるが、この気孔幅は浸潤試葉番号 3 に相当し、このときのかんしよの内部抵抗は両面について約 2 sec/cm であつた。

気孔開度と内部抵抗の関係は気孔寸法の測定をより詳細に行なつて厳密な定量的比較を行なう必要があるが、葉面水蒸気輸送において気孔が不連続な水蒸気湧源となつていることの効果が不明な現在では、上述以上の詳論を行なうことはできないようである。

5. ま と め

ポットに栽植したかんしよの蒸散について測定と解析を行ない、つぎの結果を得た。

1. 土壌水分が好適の場合、晴天日で蒸散速度は日出とともに増大し、日中の値は $1 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^2 \text{ sec}$ に達した。午後になつて時間の経過とともに蒸散速度は減少し、夜間で $10^{-7} \text{ g/cm}^2 \text{ sec}$ の Order で極めて小さかつた。

蒸散速度と葉面水蒸気濃度差の間には、風速と気孔開度が一定の場合、正比例関係が認められた。また、日中の蒸散速度の変動は葉面水蒸気濃度差の変動とよく対応した。

蒸散内部抵抗の値は夜間で 20 sec/cm 程度で、日中後に急減し、日中は 2 sec/cm 前後の値となり、日没時に急増した。

2. 土壌水分が少ない場合、蒸散速度は晴天の日中でも $2 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^2 \text{ sec}$ 程度の小さい値を示し、蒸散内部抵抗は 10 sec/cm と大きい値を示した。

3. 一時的な遮光で、蒸散速度は日射下の約 40% 程度に減少し、蒸散内部抵抗は気孔が閉じるることによつて 2 倍程度増大した。

4. 正常な生育状態にあるかんしよで、蒸散内部抵抗は主として気孔開度に支配され、両者の間には反比例的な関係が認められた。

この研究にあつて終始ご指導を頂いた愛媛大学農学部武智修教授に深謝の意を表する。また、試料の提供に加えて種々のご教示を頂いた愛媛大学農学部津野幸人助教授に感謝する。

参 考 文 献

- 1) Aston, M.J., 1963, Resistances to water loss from plants, Final Rept. on Investigation of Energy and Mass Transfer near the Ground, Univ. of Calif., 1963, 191-201.
- 2) Bange, G.G.J., 1953, On the quantitative

explanation of stomatal resistance, Acta Bot. Neerland, 2, 255-297.

- 3) Brown, H. and Escombe, F., 1900, Static diffusion of gases and liquids in relation to the assimilation of carbon and translocation in plants, Phil. Trans. Roy. Soc. London, Ser. B., 193, 233-291.
- 4) Brown, K.W. and Rosenberg, N.J., 1970 a, Effect of windbreaks and soil water potential on stomatal diffusion resistance and photosynthetic rate of sugar beets (*Beta vulgaris*), Agron. J., 62, 4-8.
- 5) and, 1970 b, Influence of leaf age, illumination, and upper and lower surfaces on stomatal resistance of sugar beet (*Beta vulgaris*) leaves, Agron. J., 62, 20-24.
- 6) Burrows, F.J., 1969, The diffusive conductivity of sugar beet and potato leaves, Agr. Meteorol., 6, 211-226.
- 7) Drake, B.G., Raschke, K. and Salisbury, F.B., 1970, Temperatures and transpiration resistances of *Xanthium* leaves as affected by air temperature, humidity, and wind speed, Plant Physiol., 46, 324-330.
- 8) Ehrler, W.L. and van Bavel, C.H.M., 1968, Leaf diffusion resistance, illuminance, and transpiration, Plant Physiol., 43, 208-214.
- 9) 長谷場徹也, 1967, 強制対流による葉形湿面からの蒸発, 昭和42年度日農気大会講演要旨, 21~22.
- 10) 長谷場徹也・武智修, 1966, 蒸散に関する研究 (1) 柑橘蒸散の日変化について, 農業気象, 22 1~6.
- 11) 長谷場徹也・武智修・伊藤代次郎, 1967, 蒸散に関する研究 (2) 柑橘蒸散の年変化について, 農業気象, 23, 19~24.
- 12) 平井源一, 1958, 甘藷品種の蒸散量と甘藷品種分布について, 日本作物学会記事, 26, 252~254.
- 13) Impens, I.I., 1966 a, Diurnal changes in the internal and external diffusion resistances of upper and lower leaves in a crop of beans, (*Phaseolus vulgaris* L.) Oecol. Plant., 1, 245-252.
- 14), 1966 b, Leaf wetness, diffusion resistances and transpiration rates of bean leaves (*Phaseolus vulgaris* L.) through comparison of "wet" and "dry" leaf temperatures, Oecol. Plant., 1, 327-334.
- 15), Stewart, D.W., Allen, L.H. Jr. and Lemon, E.R., 1967, Diffusive resistances at, and transpiration rates from leaves in situ within the vegetative canopy of a corn crop. plant Physiol., 42, 99-104.
- 16) Kuiper, P.J.C., 1961, The effects of environ-

- mental factors on the transpiration of leaves, with special reference to stomatal light response, Meded. Landbouwhogesch. Wageningen, Neerland, 61, 1-49.
- 17) Lee, R., 1967, The hydrologic importance of transpiration control by stomata, *Water Resour. Res.*, 3, 737-752.
 - 18) Lee, R. and Gates, D.M., 1964, Diffusion resistance in leaves as related to stomatal anatomy and micro-structure, *Amer. J. Bot.*, 51, 963-975.
 - 19) Millar, P.C. and Gates, D.M., 1967, Transpiration resistance of plants, *Amer. Midl. Natur.*, 77, 77-85.
 - 20) Milthorpe, F.L. and Penman, H.L., 1967, The diffusion conductivity of the stomata of wheat leaves, *J. Exptl. Bot.*, 18, 422-457.
 - 21) Monteith, J.L. 1963, X. Calculating evaporation from diffusive resistances, Final Rept. on Investigation of Energy and Mass Transfer near the Ground, Univ. Calif., 1963, 177-189.
 - 22) Szeicz, G. and Waggoner, P.E., 1965, The measurement and control of stomatal resistance in the field, *J. Appl. Ecol.*, 2, 345-355.
 - 23) Moreshet, S., Koller, D. and Stanhill, G., 1968, The partitioning of resistances to gaseous diffusion in the leaf epidermis and the boundary layer, *Ann. Bot.*, 32, 695-701.
 - 24) and Stanhill, G., 1968, A radioactive tracer technique for the direct measurement of the diffusion resistance of stomata, *J. Exptl. Bot.*, 19, 460-467.
 - 25) 永井 進, 1952, 甘藷の葉の通気における気孔の効果について, *植物学雑誌*, 65, 186-191.
 - 26) 農業技術研究所生理遺伝部生理第2科畑作第3研究室, 1966, 昭和40年度甘藷試験成績書, 1-14.
 - 27) Parlange, J.Y. and Waggoner, P.E., 1970, Stomatal dimensions and resistance to diffusion, *Plant Physiol.*, 46, 337-342.
 - 28) Penman, H.L. and Schofield, R.K., 1951, Some physical aspects of assimilation and transpiration, *Symp. Soc. Exptl. Biol.*, 5, 115-129.
 - 29) Slatyer, R.O., 1966, In situ measurements of stomatal resistance, Conference on Instrumentation for Plant Environment Measurements, Aspendale, Australia, 5-6. (cited by Turner, 1969)
 - 30)and Bierhuizen, J.F., 1964, Transpiration from cotton leaves under a range of environmental conditions in relation to internal and external diffusive resistances, *Austr. J. Biol. Sci.*, 17, 115-130.
 - 31) Szeicz, G. and Long, I.F., 1969, Surface resistance of crop canopies, *Water Resour. Res.*, 5, 622-633.
 - 32) 武智 修, 1970, β 線による葉水分の測定について, *農業気象*, 25, 229-232.
 - 33) 武智 修・古土井悠・衛藤隆雄, 1970, 種々の作物の葉含水比と β 線透過率について, *農業気象*, 26, 1-3.
 - 34) 武智 修・長谷場徹也, 1971, 蒸散効率について, *農業気象*, 27, 67-72.
 - 35) Taylor, S.E. and Gates, D.M., 1970, Some field methods for obtaining meaningful leaf diffusion resistances and transpiration rates, *Oecol. Plant.*, 5, 103-112.
 - 36) 泊 功, 1970, 多分子膜被覆による植物の蒸散と吸水の制御, *農技研報告A*, 17, 1-102.
 - 37) Tsuno, Y., 1968, The influence of transpiration upon the relationships between photosynthesis and temperature in crop plants, *JIBP/PP, Photosynthesis Level III Experiments*, 1966-1967, Tokyo, 76-79.
 - 38) Turner, N.C., 1969, Stomatal resistance to transpiration in three contrasting canopies, *Crop Sci.*, 9, 303-307.
 - 39)and Waggoner, P.E., 1968, Effects of changing stomatal width in a red pine forest on soil water content, leaf water potential, bole diameter, and growth, *Plant Physiol.*, 43, 973-978.
 - 40) van Bavel, C.H.M., 1968, Further to the hydrologic importance of transpiration control by stomata, *Water Resour. Res.*, 4, 1387-1390.
 - 41)Nakayama, F.S. and Ehrler, W.L., 1965, Measuring transpiration resistance of leaves, *Plant Physiol.*, 40, 535-540.
 - 42) Wallihan, E.F., 1964, Modification and use of an electric hygrometer for estimating relative stomatal aperture, *Plant Physiol.*, 39, 86-90.

SUMMARY

Internal and external resistances to gaseous diffusion have been used in the physical expressions of water vapor flow during transpiration from plant leaves.

External resistances can be estimated with an appropriate method, for instance, on the basis of evaporation from a wetted surface, of heat transfer coefficient of a leaf-shaped plate, or of the detailed profiles of meteorological elements. Takechi and Haseba (1971) deduced that the external resistance can be strictly determined by use of the measured value of evaporation from a leaf-shaped wet surface with a same variation of surface temperature as a leaf.

The total resistance to transpiration can be obtained as division of the transpiration rate by departure of water vapor concentration on the mesophyll cell walls from that in ambient air. Then, the internal resistance is obtained by subtraction of the external component from the total. Otherwise, the internal resistance may be directly measured by means of a special porometer, or calculated from the measurement of stomatal density and aperture. However, there are few examples showing the relationship between internal resistances and stomatal aperture.

In this paper, transpiration from leaves of potted sweet potato was dealt. The transpiration was measured by a weighing method and internal resistances were estimated using external resistances calculated with the equations based on the theory of mass transfer through the boundary layer of a leaf. In addition, daily march of the transpiration rate is discussed with environmental factors measured.

Results are as follows:

1) When well irrigated, a marked increase in transpiration rate occurred after sunrise and the rate reached about 1×10^{-5} g/cm² sec at midday on clear days. In the afternoon it gradually decreased with time. During night the rate was very small at an order of 10^{-7} g/cm² sec. The transpiration rate showed a linear increase with water vapor concentration difference between leaf interior and air, so far as wind speed and stomatal aperture had constant values. The internal resistance was about 20 sec/cm during mighthours. After sunrise it decreased rapidly and maintained a nearly constant values of about 2 sec/cm during daytime. After sunset increase in the internal resistance with closing of stomata occurred.

2) At low soil moisture, transpiration was very small even at midday when internal resistance showed a large value of about 10 sec/cm.

3) When insolation was shielded, transpiration was reduced to about 40% of that under full insolation, and the internal resistance doubled as a result of stomatal closing.

4) Under normal growing conditions, the internal resistance in sweet potato leaves depended inversely on the stomatal opening in agreement with an inference by the diffusion theory.