果樹の葉内水蒸気拡散抵抗に関する研究 (第1報)

ウンシュウミカンの葉内水蒸気拡散抵抗の測定方法
ならびに測定に影響する要因

間苧谷 徹・町田 裕*

(果試安芸津支場)

Studies on Leaf Diffusion Resistance of Fruit Trees

I. Methods of Measuring Leaf Diffusion Resistance of Satsuma Mandarin Trees and Factors Influencing It.

Tōru MAOTANI and Yutaka MACHIDA

Akitsu Branch, Fruit Tree Research Station, Akitsu, Hiroshima

Summary

This paper reports on an evaluation of a diffusive resistance meter for estimating leaf diffusion resistance of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* MARC.) trees.

1. For a tree, there was very little difference in leaf diffusion resistance (R_L) among leaf position, and between leaves on branches with fruits and those on branches without fruits. In regard to leaf age, R_L of 2-year-old leaves was statistically higher than that of leaves on current shoots, but no significant difference in R_L occurred between spring and summer leaves. Diffusion resistances of sunlit and naturally shaded leaves were different according to plant water status. Namely, when leaf water potential (ψ) before sunrise (ψ_{max}) was about -3 bars, R_L values of sunlit leaves were lower than those of naturally shaded leaves, but this relationship was reverse when plant water stress became more pronounced.

2. The relationship of R_L to ψ changed according to light intensity. R_L , however, was closely related to ψ , in case of approximately the same solar radiation.

3. Strictly speaking, oscillations in R_L were not synchronized among leaves, but R_L and Δe (difference in water vapor pressure between the leaf surface and the ambient air) changed in a similar manner, when soil moisture was deficient. When soil moisture was adequate, no clear relationship between R_L and Δe was observed. The amplitude of oscillation in R_L became larger for nonirrigated trees than for irrigated.

In conclusion, it is quite clear that for satsuma mandarin trees, this type of diffusive resistance meter is a useful tool for measuring R_L rapidly and precisely in the laboratory as well as in the field.

緒 言

葉内の水蒸気が気孔を通し拡散する時の気孔抵抗は蒸散式〔蒸散速度＝葉面水蒸気濃度差 / (気孔抵抗 + 外部抵抗)〕の分母にくる重要な因子である。また、この水蒸気の気孔抵抗 (R_L) と炭酸ガスの気孔抵抗 (R_L') との間には、 $R_L' = 1.56 R_L$ の関係があり、光合成の研究分野でも不可欠な因子である。従って、 R_L の測定方法に

については従来から種々な検討がなされてきている(1)。

筆者らは近年、米国の Lambda 社より発販されている diffusive resistance meter が現場で、簡単に R_L を測定出来る点に注目し、ウンシュウミカンを用い、測定法に関する検討を行なったのでその結果を報告する。

なお、本報告では炭酸ガスの気孔抵抗と区別する意図で、水蒸気の気孔抵抗を葉内水蒸気拡散抵抗 (R_L) という名称を用いた。

材料および方法

1. 葉内水蒸気拡散抵抗 (R_L) の測定原理

1976 年 2 月 3 日 受理

果樹試業績番号: E-19

* 現果試育種部

(a) Diffusive resistance meter による R_L の測定

1964年, Wallihan(13) によって考案され, Van Bavel ら(12), Kanemasu ら(4)によって改善され, 理論的に裏付けられた stomatal diffusion porometer が米国の Lambda 社より diffusive resistance meter (Model-60) として発売されるようになり, 本実験はこの製品を用いて行なった。

この測定器の原理は(4), 底面に一定の面積の孔をもつセンサーキャップを葉の裏面に密着させ, 葉から拡散する水蒸気によってキャップ内の湿度が変化する速度を測定するものである。キャップ内の湿度は内封された塩化リチウムの抵抗値の変化によって測定出来る。実際の測定は, あらかじめシリカゲル筒を経由させた空気によって, キャップ内を乾燥させ, これを葉裏面に当て, 予定の抵抗値に達した時から時間を測り始め, 次の予定の抵抗値に達するまでの時間を測定する。この時間を水蒸気拡散抵抗にキャリブレートするには, 葉面の代わりに湿った紙を用い, その上に種々な抵抗値をもった標準板(孔の数が異なる)を当て, 葉面と同様な方法で測定し, 下記の拡散式を用いて測定時間と拡散抵抗との関係を求めておく。

$$R = 4A \left(L_0 + \frac{\pi d}{8} \right) / \alpha n \pi d^2$$

ただし, A : キャップの入口面積, L_0 : 標準板の厚さ, d : 孔の直径, n : 孔の数, α : 水蒸気拡散係数である。

(b) Impens らの方法による R_L の測定

日射条件のなるべく等しい隣接した葉を2枚選び, 水平に支持し, その1葉の裏面にポリエチレン膜をはって蒸散抑制葉とし, 他方の葉(対照葉)との葉温差を0.1 mm 銅-コンスタンタン示差式熱電対で測定した。同時に, 対照葉の葉温も熱電対で測定し, 葉温差と同じく自記させた。このような2葉を数対選び, 同様に測定した。乾湿球温度は通風乾湿計を供試樹の樹冠の高さに2か所設置し自記させ, 風速は樹冠の高さに置いた三杯型風速計で測定した。 R_L は Impens ら(3)の式によって求めた。

$$R_L (\text{min cm}^{-1}) = \frac{[1 - \Delta T_c A (\Delta e)^{-1}] R_a}{\Delta T_c A (\Delta e)^{-1}}$$

$$\Delta T_c = \Delta T \left(1 + \frac{2R_a}{0.036} \right)$$

ただし, R_a : 外部抵抗 (min cm^{-1}), ΔT : 葉温差 ($^{\circ}\text{C}$), Δe : 葉温での飽和水蒸気圧と空気中の水蒸気圧の差 (mmHg), A : 乾湿計定数 ($0.5 \text{ mmHg}^{\circ}\text{C}^{-1}$) である。

外部抵抗 (R_a) は Pohlhausen の式から求めた武智ら(8)の式に従った。

$$R_a (\text{min cm}^{-1}) = C_p P / 1.25 (Pr^{1/3} 0.737 Re^{1/2} k/L)^{-1} \\ \cong 0.0856 V^{-1/2}$$

ただし, $C_p P$: 空気の体積熱容量 ($0.288 \times 10^{-3} \text{ cal cm}^{-3} ^{\circ}\text{C}^{-1}$), Pr : プラントル数 (0.72), Re : レイノルズ数, k : 空気の熱伝導率 ($36 \times 10^{-4} \text{ cal cm}^{-1} \text{ min}^{-1} ^{\circ}\text{C}^{-1}$), L : 風向に対する代表葉長 (5 cm とした), V : 風速 (cm sec^{-1}), である。

2. 材料と方法

Diffusive resistance meter と Impens らの方法による R_L の検討には, 両者の比較と同時に, 蒸散速度との関係も検討する目的で, 直径・深さ 35 cm の塩ビ製ポットに栽植した5年生杉山温州2樹を用い, 1樹を対照樹, 他方を乾燥樹とし, ふたをして土面蒸発を防ぎ最小目盛 5 g の秤にのせて, 40~60分間隔で減量を求め蒸散量の測定を行なうと同時に R_L の測定も行なった。対照樹は毎日の減水分を補水した。

R_L のサンプリングの検討の一部に20年生杉山温州を用いたが, その他の主な実験には花こう岩風化土壌を詰めた直径 60 cm, 深さ 50 cm のコンクリート井戸わく栽植の8年生杉山温州(1975年)を供試した。

R_L の oscillation を調べる実験では, 出来るだけ気象因子の変動を避けるために, 風の弱い快晴の日を選び, 太陽がほぼ真上にある 9:30 a.m.~2:00 p.m. に R_L の測定を行なった。 R_L の測定葉は水平に支持し, その裏面につけた 0.1 mm 銅-コンスタンタン熱電対で測定した葉温と, 樹内中央部に設置した通風乾湿計で求めた乾湿球温度から Δe (葉温での飽和水蒸気圧と空気中の水蒸気圧の差)を計算し, R_L との関係調べた。 Δe は R_L 測定5分前から, 測定終了時までの平均値で示した。日射量は農試電試式日射計で測定した。

Diffusive resistance meter と Impens らの方法の比較以外の R_L の測定にはすべて diffusive resistance meter を用い, また特別な目的のある場合を除き, R_L と葉の水ポテンシャル (ψ) の測定には日なたの春葉を用いた。水蒸気拡散は温度により影響を受けるため, diffusive resistance meter のキャップ内の温度変化を避ける必要がある。そのために R_L の測定の際には, 葉およびキャップを日陰にし, 直射光をしゃ断して測定を行なった。葉の ψ は pressure chamber で測定し(5), 日の出前の ψ を $\psi_{\max}$, 日中のそれを $\psi_{\min}$ と略記した。実験期間は 1974~1975 年の7月1日~9月20日である。

実験結果

1. Diffusive resistance meter と Impens らの方法による R_L の比較

Fig.1 Comparison of leaf diffusion resistance obtained from a diffusive resistance meter and the method described by Impens *et al.*.

第1図は7月上旬に行なった実験で、 R_L は9:00 a.m.～3:00 p.m. の平均値で示した。Diffusive resistance meter による R_L の方が多少高く、特に抵抗の高い時程その傾向が著しかったが、両方法とも概してよく似たパターンを示していた。蒸散速度は9:00 a.m.～3:00 p.m. までの蒸散量の合計を葉面積 100cm² 当たりへ換算した後、乾燥樹の対照樹に対する比で表わした。その結果、 R_L が急増した時は顕著な蒸散の低下が認められた。

2. 1樹内の R_L の分散とサンプル葉数

適湿土壌下 ($\phi_{\max}$ -3bar) で葉令、節位および着果の有無が R_L に及ぼす影響について調べた結果を第1,2,3表に示した。検討の際には出来るだけ日射条件が同一と思われる葉を測定に供したが厳密には疑問であり、特に二年生葉は日光の照射量が少ないきらいがあった。その結果、節位間および着果枝葉と無着果枝葉の間にはほとんど差はみられなかった。一方、二年生葉は春葉・夏葉(成葉)の R_L より高い値を示したが、春葉と夏葉の間には有意な差は認められなかった。次に、日なた葉と日陰葉の R_L の差異を第4表に示す。両者の R_L は $\phi_{\max}$ との関係で異なり、 $\phi_{\max}$ が約 -3bar を示す時、日なた葉の R_L は日陰葉のそれより低く、 $\phi_{\max}$ が低下するとその関係は逆になった。なお、日陰葉の R_L は $\phi_{\min}$ が相当低下している場合でも非常に低く、むしろ日なた葉の R_L の方が $\phi_{\max}$ (根圏付近の土壌水分をよく現わす)を端的に示しているようである。このように、1樹内での葉の ϕ と R_L の関係は日なた葉と日陰葉で異なっており、 ϕ と R_L の関係を一義的に説明することは困難であった。

Table 1. Effect of leaf age on leaf diffusion resistance in a tree.

2-year-old leaves	Spring leaves	Summer leaves
(sec cm ⁻¹)	(sec cm ⁻¹)	(sec cm ⁻¹)
9.5	4.0	5.2
8.1	2.9	5.8
4.2	8.9	3.9
5.6	2.8	6.0
4.9	4.9	2.8
9.9	3.7	2.0
9.6	6.0	4.3
6.4	6.8	3.2
6.0	4.5	3.4
Mean 7.1 ^a	4.9 ^b	4.1 ^b

a-b: Means followed by the same small letters are not significantly different at 5% level by Duncan multiple range grouping test.

Table 2. Effect of leaf position on a shoot on leaf diffusion resistance in a tree.

Sample No.	Leaf position on a shoot			
	1 st	2 nd	3 rd	4 th
	(sec cm ⁻¹)	(sec cm ⁻¹)	(sec cm ⁻¹)	(sec cm ⁻¹)
1	4.9	4.6	5.6	7.0
2	5.7	4.7	5.5	4.4
3	6.0	6.2	5.0	5.7
4	3.5	4.7	3.5	3.6
5	5.1	5.1	5.5	4.7
6	6.9	5.8	7.9	6.0
Mean	5.4	5.2	5.5	5.2

F test (5%) N.S.

Table 3. Difference in diffusion resistance of leaves on branches with and without fruit in a tree.

Leaves on branches without fruit	Leaves on branches with fruit
(sec cm ⁻¹)	(sec cm ⁻¹)
7.0	2.4
3.0	3.8
10.0	12.4
6.3	4.2
8.3	3.0
5.2	9.3
4.4	7.6
9.6	8.4
5.5	5.5
4.7	6.0
Mean 6.4	6.3

L. S. D (5%) 2.6

以上の結果から、1樹内での R_L の分散の重要な要因は葉への日射程度および葉令であった。そこで、日なた葉と日陰葉の R_L のサンプル葉数を R_L が正規分布する

Table 4. Difference in diffusion resistance (R_L) and water potential (ψ) of sunlit and naturally shaded leaves.

$\psi_{\max}^*$ bars	Sunlit leaves		Shaded leaves	
	$\psi_{\min}^{**}$ bars	R_L^{**} sec cm ⁻¹	$\psi_{\min}^{**}$ bars	R_L^{**} sec cm ⁻¹
-2.8	-13.1	2.7	-10.3	4.8
-3.3	-14.2	5.3	-11.5	6.2
-5.1	-15.7	7.3	-13.8	6.1
-5.5	-17.0	10.1	-15.9	6.8
-6.6	-20.5	13.0	-19.5	6.4
-7.2	-23.6	13.7	-21.8	10.2
-9.8	-24.4	15.9	-26.0	10.8
-11.0	-25.9	19.4	-26.6	13.7

* $\psi_{\max}$ shows leaf water potential before sunrise.

** $\psi_{\min}$ and R_L show leaf water potential and leaf diffusion resistance, respectively, between 9:00 and 10:00 a.m..

と仮定し、土壌水分の乾湿にわけて検討した結果を第5表に示した。土壌水分が少ない場合は多い場合に比べ、多くのサンプル葉数を必要とし、また、日陰葉に比較し、日なた葉のサンプル葉数は大きかった。一般に前報(5)で報告した葉の ψ のサンプル葉数に比べ、 R_L の場合には多くの測定葉数が必要であった。ただし、これはあくまでも一応の目安であって、土壌の乾湿の程度や天候の状態によってサンプル葉数は変わってくるものと思われる。

3. R_L の日変化及び土壌水分との関係

あらかじめ $\psi_{\max}$ を-3bar(適湿樹)と-6bar(乾燥樹)に調整した樹を用い、9月18日と19日に R_L の日変化を調べた結果を第2, 3図に示した。9月19日は快晴の日であり、 R_L の最低値は両樹とも日射量が約0.31 γ min⁻¹とまだ少ない7:00a.m.ころに現われた。それ以降は時間の経過と共に両樹とも R_L は増大したが、その増加程度は乾燥樹の方が顕著であり、適湿樹の増加は少なかった。9月18日は曇天の日であり、 R_L の最低は両樹とも9月19日に比べ少しおそく現われ、9:00 a.m.ころであった。その時の日射量は約0.41 γ min⁻¹

で9月19日の7:00a.m.の日射量に近似していた。また、18日は快晴の19日に比較して、 R_L の増大は余り大きくなく、特に乾燥樹の R_L が低い状態で維持された。これら R_L の日変化は葉の ψ の日変化とほぼ似たパターンを示していたので、この第2, 3図から R_L と ψ の関係を図示したのが第4図である。すなわち、樹ごと、測定日ごとに区別して R_L と ψ の関係をみると、比較的密接な関係が認められたが、全体を総合すると R_L と ψ の関係は必ずしも明りょうではなかった。

Fig. 2 Diurnal changes in leaf water potential and leaf diffusion resistance on Sept. 18.

第2, 3図の結果から、気孔が充分に開くのに必要な日射量は0.3~0.41 γ min⁻¹以上で、予想以上に少なかった。これを確認するために、日射量の変動が激しい日を選び、適湿土壌下($\psi_{\max}$ -3bar)で日射量の変化と R_L の動きを調べた。その結果は第5図に示すとおりで、日射量が0.31 γ min⁻¹以下では R_L は高くなり、0.81 γ min⁻¹を越えると低い R_L を取りやすい傾向にあるが、日射量が0.41 γ min⁻¹以上であれば、 R_L に及ぼす

Table 5. Variance of leaf diffusion resistance (R_L) of mature leaves on spring cycle shoots and the sample size necessary to achieve the desired precision.

	No drought								Drought							
	Sunlit leaves				Shaded leaves				Sunlit leaves				Shaded leaves			
R_L (mean)	5.3sec cm ⁻¹				6.9sec cm ⁻¹				17.8sec cm ⁻¹				11.0sec cm ⁻¹			
Variance	4.61				3.68				27.30				12.75			
Desired precision (sec cm ⁻¹)	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Necessary sample size (number of leaf)	35	9	4	2	28	7	3	2	210	52	23	13	98	24	11	6

Fig. 3 Diurnal changes in leaf water potential and leaf diffusion resistance on Sept. 19.

Fig. 4 Relationship between leaf water potential and leaf diffusion resistance (rewritten data shown in Fig. 2 and 3.). Figures indicate the measuring time of ψ and R_L .

日射の影響はさほど大きくないと思われる。

4. R_L の oscillation について

乾燥樹 ($\psi_{\max}$ -9.5 bar) の R_L の oscillation の様子を第6図に示す。 R_L は個々の葉で厳密な同時性は持たないが、ある程度平行した動きを示しており、またその振幅の大きさは日なたの葉 (a, b 葉) の方が日陰葉 (c, d 葉) より大きかった。次に、第6図の a 葉について Δe と R_L との関係を図示したのが第7図である。すなわち、 R_L と Δe の変化はよく似たパターンを示しており、 Δe が増大すれば R_L も増加した。更に、同図で Δe

Fig. 5 Relationship between leaf diffusion resistance and solar radiation in changeable weather. Leaf water potential before sunrise was about -3 bars.

Fig. 6 Oscillations in leaf diffusion resistance in four leaves attached to one tree. Leaf water potential before sunrise was -9.5 bars.

を葉温での飽和水蒸気圧と空気中の水蒸気圧とに別けて示したが、これによれば、空気中の水蒸気圧の変化は比較的小さく、 Δe の変化は主に葉温の変化によることが明らかである (第7図)。以上の関係は b, c, d 葉でも同様であった。次に、a, b, c, d 葉について、9:00 a.m.~

Fig. 7 Diurnal changes in leaf diffusion resistance, Δe and factors, i.e. the saturated vapor pressure at leaf temperature and vapor pressure of ambient air, composing of the Δe .

Δe shows the difference in water vapor pressure between the leaf surface and the ambient air.

Fig. 8 Relationship between Δe and leaf diffusion resistance (R_L).

R_L and Δe are the mean of 9:00 a.m. to 4:00 p.m..

4:00 p.m. までの平均値で, R_L と Δe との関係をみると(第8図), R_L と Δe との間には密接な直線関係が認められた.

適湿樹 ($\psi_{\max}$ -3 bar) の R_L の oscillation および A 葉と Δe との関係を第9図に示した. 個々の葉の R_L の振幅は乾燥樹に比べ小さく, また Δe との関係は余り明りょうでなかった.

Fig. 9 Oscillations in leaf diffusion resistance in two leaves attached to one tree and Δe of Leaf A.

Leaf water potential before sunrise was about -3 bars.

なお, 測定時にキャップを葉にかぶせる影響が R_L の oscillation に現われる可能性について検討したところ, 適湿土壌下では, 3分ほど経過すると元の値にもどるので, 約12分間隔の測定ではこの影響は問題にならないと思われる.

考 察

Diffusive resistance meter と Impens らの方法の得失を述べると, Impens らの手法は, 蒸散抑制薬と対照葉とで日射などの気象条件が全く同一であるという仮定から R_L を求める方法である. 従って, 自然条件下では太陽の移動により同一日射条件の2枚の葉を選びにくいことが, この方法の最大の難点と思われる. また, 計算に時間を要することも, field work を目的にした場合には不利な点であろう. しかし, 人工気象室下のように環境条件を比較的一定に制御出来る場合には, R_L の変化を刻々追跡出来る点, および熱電対と記録計という既存の測定器で測定が可能な点は考慮すべき利点と思われる. これに対し, diffusive resistance meter は取り扱いが簡便で, 短時間に多くの測定が可能な点は field work に適した測定器である. しかし, 多少の問題点と思われる第1は, 水蒸気拡散は温度によって影響を受けるためにキャップ内の温度を正確に測定する必要がある. だが, R_L の測定時に葉からの放熱により, キャップ内の温度分布が不均衡になり, それが測定誤差につながる可能性がある. Kanemasu ら(4)はこの誤差を出来るだ

け少なくするために、葉を数秒日陰にし、キャップ内温度に近付けてから測定を行なっている。第2は、測定時間内の気孔の変化を避けるために、より短時間で測定を完了することが必要である。この点に関して、Fiscus(2)はこの diffusive resistance meter を用い、3秒前後で測定が終了する digital diffusion porometer circuit の検討を行っており、今後一層精度のよい測定器に改善されることを期待したい。

R_L の測定に影響する要因として重要なのは、葉令および葉面への日射条件であった。葉令については玉井ら(9)が recording porometer を用いて夏柑と早生温州で検討し、1年生葉は2年生葉より気孔の運動機能がより活発であると報告しており、本実験の結果と一致するものである。葉面への日射条件が R_L に影響するのは、照度以外に葉温を通して個々の葉の蒸散速度に影響するため、その結果、 ψ と R_L が変化するためと思われる。従って、 R_L の測定に当たっては日射条件を充分考慮しなければならない。

葉の ψ と R_L の関係についての報告は多くあり(11)、気孔の開閉に葉の水分状態が重要な役割を果たしていることは疑いない事実である。前報(6)で、日射量が近似した日の1:00~2:00 p.m. の R_L と $\psi_{\min}$ との間に密接な関係が存在することを報告したが、本報告でも R_L と ψ の日変化がよく似たパターンを示すことは前述したとおりである(第2, 3図)。しかしながら、 ψ と R_L の関係が一義的に決まらないことは、1樹内の日なた葉と日陰葉の間にも、また日射条件が著しく異なる日の ψ と R_L の間にも(第4図)、顕著に認められた。気孔の開閉に影響される明るさは、日射量が $0.3 \sim 0.41 \text{ ly min}^{-1}$ 付近にあり、それ以上の日射量での R_L の変化は明るさに基づくものではない。従って日射量が著しく異なる9月18日と19日とで、 R_L と ψ との間に一義的な関係が認められなかったのも、照度の相違によるものでないことは明日である。気孔の開閉に重要なのは個葉の ψ ではなく、孔辺細胞の ψ (正確には膨圧)であり、蒸散速度が異なる葉において、個葉とその孔辺細胞の ψ の間にどの程度の差異があるのか、また、気孔開閉に強い影響力を持つと言われているアブサイシン酸の消長などについて検討を加えることにより、 R_L と ψ の関係をより明白にすることが可能と思われる。

次に、測定上注意を要するのは、 R_L に oscillation が認められることである。ウンシュウミカンにおいて、 R_L の oscillation は個々の葉で厳密には同時的でないこと、oscillation の振幅の大きさは適湿土壌下では小さく、土壌水分が少なくなると大きくなるという本報告の結果は、

Teoh ら(10)も *Eucalyptus umbra* で認めている。さらに、乾燥樹の場合、 R_L は Δe の動きとはよく似たパターンを示していた。 Δe は蒸散式 ($\Delta e/(R_L + R_a)$, R_a : 外部抵抗)の分子にくる因子で、evaporative demand の強さを示すものである。従って、 Δe の変化は葉の ψ にも大きな影響を与えるものと思われる。もし、 Δe の上昇が葉の ψ の低下をもたらすとするならば、本報告の結果は、気孔の oscillation を葉の水分状態の変化で説明している Stålfelt(8)の結果と一致するものである。

R_L は光合成、蒸散とは不可欠な重要な因子であるばかりでなく、 R_L の変化は水管理技術を検討する場合にも大切である。しかし、 R_L は上述したような要因が影響するので、実用的な指標として R_L を用いる場合には、少なくとも日射条件、葉令および測定時刻などについて、十分な考慮を払う必要がある。

摘 要

Diffusive resistance meter を用い、ウンシュウミカンの葉内水蒸気拡散抵抗 (R_L) に影響する要因について検討した。

1. 1樹内では、節位間および着果枝葉と無着果枝葉の間には R_L の差は認められなかった。葉令の間では、2年生葉は春葉・夏葉(成葉)の R_L より高い値を示したが、春葉と夏葉の間には有意な差は認められなかった。日なた葉と日陰葉の間では、日の出前の葉の水ポテンシャル ($\psi_{\max}$)によって異なり、 $\psi_{\max}$ が -3 bar 前後を示す時は日なた葉の R_L は日陰葉のそれより低く、 $\psi_{\max}$ が低下するとその関係は逆になった。

2. R_L と ψ との関係は日射量によって異なるが、日射量をそろえると R_L と ψ との間には比較的密接な関係が認められた。

3. 乾燥樹 ($\psi_{\max} -9.5 \text{ bar}$) の R_L の oscillation は個々の葉で厳密な同時性は欠いたが、ある程度平行した動きを示し、この oscillation は Δe (葉面水張差)の変化とよく似たパターンを示した。適湿樹 ($\psi_{\max} -3 \text{ bar}$) の R_L の oscillation の振幅は乾燥樹に比べ小さく、また Δe との関係も余り明りょうでなかった。

この diffusive resistance meter は取り扱いが簡単で、短時間に多くの測定が可能なのは、特に field work に適すものと思われる。しかし、 R_L は上述したような要因が影響するので、測定値の検討には十分な考慮が必要である。

引用文献

1. BARRS, H.D. 1968. Determination of water deficits in plant tissues. Water Deficits and Plant Growth Vol.1 (Ed. by T.T. Kozlowski). 235—368. Academic Press. London and New

- York.
2. FISCUS, E. L. 1974. A digital diffusion porometer circuit. *Plant Physiol.* 53 : 47—51.
 3. IMPENS, I. I., D. W. STEWART, L. H. ALLEN, JR. and E. R. LEMON. 1967. Diffusive resistances at, and transpiration rates from leaves in situ within the vegetative canopy of a corn crop. *Plant Physiol.* 42 : 99—104.
 4. KANEMASU, E. T., G. W. THURTELL and C. B. TANNER. 1969. Design, calibration and field use of a stomatal diffusion porometer. *Plant Physiol.* 44 : 881—885.
 5. 町田 裕・間苧谷徹. 1974. 果樹の葉内水分不足に関する研究 (第1報) Pressure chamber による温州ミカン葉の water potential の測定法について. *園学雑*. 43 : 7—14.
 6. 間苧谷徹・町田 裕・山津憲治. 1977. 同 (第6報) の水ポテンシャルが樹体生育に及ぼす影響. *園葉学雑*. 45 : 329—334.
 7. STÅLFELT, M. G. 1956. 古谷雅樹他編. 物質の交換と輸送 (1972). 朝倉書店, 東京. p. 93 より引用.
 8. 武智 修・長谷場徹也. 1962. 葉温に関する研究 (2) 柑橘葉面の層流熱伝達. *農業気象*. 18 : 92—97.
 9. 玉井虎太郎・上堂秀一郎. 1957. 柑橘の気孔運動と葉令との関係. 昭和 32 年度園芸学会秋季大会発表要旨. 4.
 10. TEOH, C. T. and J. H. PALMER. 1971. Nonsynchronized oscillations in stomatal resistance among sclerophylls of *Eucalyptus umbra*. *Plant Physiol.* 47 : 409—411.
 11. 戸塚 績. 1972. 気孔の開閉運動. 古谷雅樹他編. 物質の交換と輸送. 朝倉書店, 東京. 90—111.
 12. VAN BAVEL, C. H. M., F. S. NAKAYAMA and W. L. EHRLER. 1965. Measuring transpiration resistance of leaves. *Plant Physiol.* 40 : 535—540.
 13. WALLIHAN, E. F. 1964. Modification and use of an electric hygrometer for estimating relative stomatal apertures. *Plant Physiol.* 39 : 86—90.