

**Eine theoretische Betrachtung über die
Infiltrationsmethode.**

Von

Masami Monzi.

Reprinted from The Botanical Magazine,
Vol. LII, No. 618.

TOKYO.

1938.

Eine theoretische Betrachtung über die Infiltrationsmethode.

Von

Masami Monzi.

Mit 3 Textfiguren.

Eingegangen am 10. März 1938.

Einleitung.

Jede der bisher gebrauchten Bestimmungsmethoden der Spaltöffnungsweite hat ihren besonderen Vorzug, ist aber nicht immer vollkommen geeignet eine genaue Stomaweite zu ermitteln. Daher klaffen mit direkter mikroskopischer Bestimmung die Lücken, indem man die Durchschnittswerte der zahlreichen, in sehr verschiedenen Weiten geöffneten Stomata nicht in kurzer Zeit zu erhalten vermag, und dass die Öffnungsweite kleiner als 1μ , welche nach LOFTFIELD (1921) stark die Transpiration hemmen kann, damit kaum gemessen werden kann (STÄLFELT, 1932). Auch die Veränderung der Spaltweite kann oft durch das starke Licht, das für die mikroskopische Bestimmung unentbehrlich ist, hervorgerufen werden. Die LLOYDSche Alkoholfixierungsmethode kann mehr oder weniger dieselben Lücken vermeiden, aber sie verliert Allgemeingültigkeit damit, dass die Versuchsbehandlungen die Spaltweite nicht selten ändern, und dass die Epidermis mancher Pflanzenblätter in einer dünnen Schicht nicht leicht abgezogen oder abgeschält werden kann. Die DARWINSche Porometermethode hat ihren Vorzug in der Registrierbarkeit der Stomabewegungen

und in der Bekundigung des Durchschnittswertes der Öffnungsweite der zahlreichen Stomata, aber nach NIUS (1931) wird die Porometerzeit durch das Interzellularvolumen mehr als durch Spaltweiten reguliert, und die lokalen Klimafaktoren im Porometerglöckchen sind öfters verschieden von den natürlichen.

Mit der MOLISCHSchen Infiltrationsmethode gewinnt man nur den qualitativen Wert, deswegen ist es unmöglich, die Öffnungsweiten der Stomata der verschiedenen Pflanzen mit einander zu vergleichen, und der Versuchsteil des Blattes wird durch Infiltrationsflüssigkeiten geschädigt, dabei können eine Deformation der Spaltapparate und Abarten der Versuchsflüssigkeiten in die Erscheinung treten. Aber diese Methode ist den anderen Methoden in ihre Einfachheit und darin, dass der Öffnungsgrad durch diese, doch qualitativ, fein unterschieden werden kann, überlegen. Da in den Studien über zeitlichen Stomawechsel schon der relative Wert genügt, so ist die Infiltrationsmethode für derartige Ziele bequem, und infolgedessen fand sie bei manchen Forschern Anwendung. Der theoretische Zusammenhang der Infiltrationsgeschwindigkeit mit der Öffnungsweite der Stomata ist aber bis jetzt nur von URSPRUNG in seiner Abhandlungen, „Über das Eindringen von Wasser und anderen Flüssigkeiten in Interzellularen,“ (1925), erörtert worden. Daher möchte ich mit der vorliegenden Arbeit zuerst die Physik der Infiltration mittelst Modellversuch klar machen, und dann die Brauchbarkeit der dabei abgeleiteten Formel für mehr quantitative Bestimmung der Öffnungsgrade der Stomata betonen.

Modellversuche.

Die pflanzlichen Stomata haben so verwickelte Gestalten und sie sind so variabel, dass man an ihnen die Physik der Infiltration nicht leicht analysieren kann, daher stellte ich mir zuerst die Aufgabe, die Theorie der Infiltration mit einer einfachen Glaskapillare zu untersuchen.

Methodik und Physik.

Die Aufsteigungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit in Kapillaren wird von URSPRUNG (1925) in der LUCASSchen Formel gezeigt, d.h.

$$h'^2 = \frac{a}{\eta} \frac{r}{2} \cos \vartheta \cdot t,$$

worin: h' = der von der Flüssigkeit in der Zeit t zurückgelegte Aufstieg, r = Radius der vertikalen, kreiszylindrischen Kapillaren, ϑ = Randwinkel, a = Oberflächenspannung, η = Zähigkeit.

Diese Formel ist zwar bei einer einfachen Kapillare giltig, aber benötigt eine Revision für eine Spaltöffnung und die damit in Verbindung stehenden

Interzellularräume, weil irgend eine Spaltöffnung mit einer weiteren Athemhöhle versehen ist. Zu diesem Zwecke befestigte ich am Grunde einer etwa 10 cm langen, und im Innendurchmesser etwa 0,7 mm messenden dickwandigen Glaskapillare ein Glaskapillarchen, dessen Aussendurchmesser ganz gleich dem Innendurchmesser der grösseren Kapillare ist. Das Kapillarchen wurde dabei mit der in essigsäures Amyl gelösten Zelluloid-Paste, wie Fig. 1.a zeigt, in die grössere Kapillare geklebt. Ich mass die Geschwindigkeit der in der grösseren Kapillare infolge Kapillarität aufsteigenden Wasserbewegung mit der Stoppuhr, bald nachdem ich die kleinere Kapillare in Wasser stehen liess. In diesem Fall mag die bekannte POISEUILLESche Formel,

$$V = \frac{\pi(p_1 - p_2)}{8\eta l} r^4 t,$$

Anwendung finden, wobei bedeutet: V = die Menge der in der Zeit t durch eine schmale Röhre fliessenden Flüssigkeit, p_1 und p_2 = Druck an den beiden Enden der Röhre, l = Länge der Röhre, r = Innenradius der Röhre.

Bei meiner Kapillare ist

$$p_1 = d\rho g, \text{ und } p_2 = -\frac{2a \cos \vartheta}{R} + (L\rho g + l\rho g),$$

worin: d = die unter Wasser stehende Länge des Kapillarchens, ρ = Dichte der Flüssigkeit (Wasser), g = Schwerkraft, R = Radius der Kapillare, L = Abstand zwischen dem oberen Ende des eingesteckten Kapillarchens und dem Meniskus der Flüssigkeit, l = Länge des Kapillarchens (s. Fig. 1, b). Nun sind die ganze, vertikal nach aufwärts gerichtete Kapillare Zug an dem Meniskus $2\pi R a \cos \vartheta$ und $2a \cos \vartheta / R$. Hingegen sind die ganze, nach unten gerichtete Kraft und der pro Flächeneinheit wirkende Zug an dem Meniskus

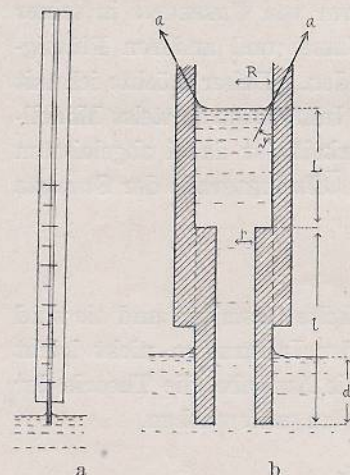


Fig. 1. Versuchsmo-
dell;
vgl. den Text.

kus $\pi R^2 L\rho g + \pi r^2 l\rho g$ und $L\rho g + l\rho g$, und die ganze, nach oben gerichtete Kraft und der pro Flächeneinheit wirkende Druck an dem unteren Ende $\pi r^2 d\rho g$ und $d\rho g$. Infolgedessen wird die Aufstiegsmenge des Wassers in der Zeit t wie folgendermassen formuliert,

$$V = \frac{\pi(2a \cos \vartheta - R\rho g(L + l - d))}{8\eta l R} r^4 t,$$

wobei r den Radius des Kapillarchens bedeutet.

Rechnet man diese Formel in die Form der LUCASSchen um, so kann die Steighöhe H wie die folgende Gleichung gegeben werden,

$$H = \frac{2a \cos \vartheta - R\rho g(L+l-d)}{8\eta LR^3} r^4 t.$$

Wenn man d gleich l macht, und da $\cos \vartheta$ zwischen Wasser und Glas fast 1 ist, so können wir die oben gegebene Formel wie folgendermassen abkürzen,

$$H = \frac{2a - LR\rho g}{8\eta LR^3} r^4 t.$$

Experimente.

Die wichtigen Komponenten, r und l , die dem Radius und der Höhe der Stomata entsprechen, habe ich mit verschiedener Wasseraufstiegszeit unter Konstantbleiben anderer Komponenten verglichen.

r : Um den Wert t mit der vierten Potenz von r zu vergleichen, habe ich die erforderlichen Daten in der Tabelle 1 zusammengefasst.

TABELLE 1.

Ver- such		l cm	R cm	r/R	r_B/r_A (r_C/r_B)	$(r_B/r_A)^4$ (r_C/r_B) ⁴	T °C	d cm	$L_1 \sim L_2$ cm	t Sek.	t_A/t_B (t_B/t_C)
I	A ₁	1,0	0,035	0,257	1,75	9,37	28°	0	0,5~2,5	14,72	9,44
	B ₁	"	"	0,447						1,56	
II	A ₁	1,0	0,035	0,257	1,75	9,37	28°	0	0,5~1,5	5,96	8,78
	B ₁	"	"	0,447						0,68	
III	A ₁ '	1,0	0,035	0,251	1,83	11,10	30°	1,5	0,5~2,5	13,43	11,20
	B ₁ '	"	"	0,458						1,20	
IV	A ₂	2,0	0,035	0,270	1,67	7,76	29°	1,5	1,5~3,0	24,4	6,78
	B ₂	"	"	0,450						3,60	
V	A ₃	3,0	0,035	0,258	1,80	10,50	29°	1,5	0,5~1,0	11,2	9,35
	B ₃	"	"	0,465						1,20	
VI	B ₁	1,0	0,035	0,465	1,40	3,84	28°	0	0,5~1,0	1,96	4,08
	C ₁	"	"	0,652						0,48	

l : Nach den Daten der Tabelle 2 wissen wir zur Genüge, dass die Steiggeschwindigkeit sich beinahe invers der Länge des Kapillarchens l verhält.

TABELLE 2. Versuchsbedingungen: $R=0,035$ cm, $T=28^{\circ}\text{C}$,
 $d=l$, $L_1\sim L_2=0,5\sim 1,0$ cm.

	l cm	r/R	$(r/r_{A_1})^4$	t Sek.	t kor.	t kor./ t_{A_1}
$A_{0,5}$	0,5	0,250	0,88	1,00	0,88	0,53
$A_{0,5}'$	"	0,260	1,03	0,80	0,82	0,49
A_1	1,0	0,258	1,00	1,66	1,66	1,00
A_1'	"	0,254	0,94	1,72	1,62	0,98
A_2	2,0	0,270	1,20	2,96	3,54	2,12
A_3	3,0	0,252	0,91	5,36	4,88	2,94
A_4	4,0	0,266	1,12	6,08	6,81	4,10

Temperatur: Ich bestimmte die Aufstiegszeit an verschiedenen Wassertemperaturen, 10° , 20° , 30° und 40°C , und die Data werden in Tabelle 3 zusammengestellt. In diesem Versuch sind $l=1$ cm, $R=0,035$ cm, $r/R=0,258$, $d=0,5$ cm und $L_1\sim L_2=0,5\sim 1,5$ cm, daher $R\rho g(L+l-d)=51,4$.

TABELLE 3.

Versuchs- temperatur $^{\circ}\text{C}$	t Sek.	t/t_{40}	η $\times 10^{-3}$	η/η_{40} (= m)	a	$2a-51,4$ (= c)	c/c_{10} (= n)	m/n
10°	6,52	1,66	13,10	2,04	74,22	97,0	1,11	1,84
20°	5,72	1,46	10,09	1,56	72,75	94,1	1,07	1,46
30°	4,47	1,14	8,00	1,22	71,18	91,0	1,04	1,17
40°	3,92	1,00	6,54	1,00	69,56	87,7	1,00	1,00

Das Verhältnis der gemessenen Aufstiegszeiten ist fast gleich dem von $(2a-R\rho g(L+l-d))/\eta$ für entsprechende Temperaturen (vgl. 3. und die letzte Kolonne der Tabelle 3).

Die nach meiner Formel berechnete Aufstiegsgröße H stimmt gut, wie in der unteren Tabelle gezeigt, mit der beobachteten überein.

TABELLE 4.

	R cm	r/R	l cm	d cm	$L_1\sim L_2$ cm	L cm	T $^{\circ}\text{C}$	t Sek.	H (beob.) cm	H (berech.) cm
$A_{0,5}$	0,035	0,250	0,5	0,5	0,5~1,0	0,75	28°	1,00	0,5	0,48
A_1	"	0,258	1,0	1,0	0,5~1,0	0,75	28°	1,66	0,5	0,46
"	"	"	"	0,5	0,5~1,5	1,0	10°	6,52	1,0	0,94
B_3	"	0,465	3,0	1,5	0,5~2,0	1,25	30°	3,76	1,5	1,55
C_1	"	0,652	1,0	0,0	0,5~2,5	1,5	28°	0,48	2,0	2,56
D_1	0,110	0,220	1,0	1,0	0,4~0,8	0,6	20°	1,70	0,4	0,42

Die oben erwähnten Resultate bestätigen unzweifelhaft die tatsächliche Gültigkeit der theoretisch abgeleiteten Formel.

Versuche am Pflanzenblatt.

Notwendig ist nun die Prüfung, ob die nach Modellversuchen bestimmte Formel von den verwickelt gestalteten pflanzlichen Stomata einwandfrei gilt oder nicht.

Versuchspflanze und Methodik.

Ich brauchte als Versuchspflanze *Impatiens Balsamina* L. und als Infiltrationsflüssigkeit Äther und Benzol. Die Grösse der Stomata wurde mit der LLOYDSchen Alkoholfixierungsmethode bestimmt. Die mit dieser Methode gemessene Stomagrösse ist aber nach STÄLFELT (1932), SCHORN (1929) u.a. weit von der des frischen Blattes verschieden, dagegen berichteten andere Forscher, z.B. LOFTFIELD (1921), NIUS (1931), die gute Übereinstimmung der beiden Werte, daher habe ich diese Methode an dem *Impatiens*-Blatt, dessen Epidermis sehr leicht abgezogen wird, angewendet.

Zuerst liess ich Tröpfchen von Äther oder Benzol aus einem Glasröhrchen auf eine matte Glasplatte tropfen, und die Zeitspanne, während derer dasselbe Tröpfchen ganz verdunstet, wurde mit einer Stoppuhr gemessen. Gleich nach dem Abschälen des unterseitigen Blattepidermisstückchens fixierte ich nun dasselbe mit absolutem Alkohol, um die Weite und Länge der Stomata und auch deren Zahl im mikroskopischen Gesichtsfeld festzustellen. Darauf bestimmte ich an der Unterseite desselben Blattes die scheinbare infiltrationszeit, d.h. die Zeitspanne, während derer ein Tröpfchen völlig verschwindet. Hierbei wurde die scheinbare Infiltrationszeit nach der folgenden Formel berechnet.

$$\text{Korrekte Infiltrationszeit } \dot{t} = \frac{t_a t_o}{t_a - t_o},$$

worin: t_a = Verdunstungszeit, t_o = scheinbare oder beobachtete Infiltrationszeit.

Für diese Werte wurden freilich die durch mehrmalige Wiederholung festgestellten Durchschnittszahlen angewendet. Als Stomagrösse nahm ich das Mittel der 40 Spaltöffnungen, die an den vor und nach der Bestimmung der Infiltrationszeit fixierten Epidermisfloeken mikroskopisch gemessen wurden.

Experimente.

Die mit der oben beschriebenen Methode ausgeführten Versuche sind in Tabelle 5 und 6 zusammengefasst. Darin werden gezeigt die konkrete Infiltrationszeit in Sekunden, Stomazahl je Gesichtsfeld des Mikroskops, also je $9,62 \cdot 10^{-4}$ qem, und die Länge und Breite der Spalten in Okularmikrometersteilstrichen, wo ein Strich etwa $3,41 \cdot 10^{-4}$ em entspricht. Ein Tröpfchen von Äther war $4,06 \cdot 10^{-3}$ cc, und das von Benzol $5,40 \cdot 10^{-3}$ cc.

Die Lufttemperatur während des Versuches betrug etwa 30°C.

TABELLE 5. Äther-Infiltration.

Infiltrationszeit t	Stomazahl s	$\log(t \cdot s)^A$	Länge der Spalte		$\log(r_i \cdot r_k)$
			r_l	Weite r_k	
1,12	25,1	1,447	4,98	1,08	0,730
2,35	22,5	1,723	4,88	0,92	0,652
3,54	26,6	1,973	4,40	0,86	0,578
3,68	25,8	1,977	4,55	0,65	0,471
7,07	34,6	2,388	4,19	0,46	0,284

TABELLE 6. Benzol-Infiltration.

Infiltrationszeit t	Stomazahl s	$\log(t \cdot s)^B$	Länge der Spalte		$\log(r_i \cdot r_k)$
			r_l	Weite r_k	
0,65	26,9	1,242	5,64	1,72	0,986
0,99	34,3	1,530	4,82	1,61	0,890
3,6	16,3	1,768	4,65	1,40	0,814
5,4	35,5	2,282	3,81	0,96	0,563
9,1	30,9	2,449	3,95	0,77	0,483
28,2	24,3	2,836	4,09	0,46	0,274
31,7	29,8	2,975	4,01	0,41	0,215

Die umgekehrte Proportionalität der Infiltrationszeit zur Stomaweite ersieht man sehr deutlich in diesen Tabellen.

Infiltrationszeit und Stomagrösse.

Um die Beziehung zwischen der Infiltrationszeit und der Stomagrösse mehr quantitativ zu zeigen, möchte ich zuerst eine mathematische Überlegung vornehmen.

Die Menge der infiltrierten Flüssigkeit kann man mit Recht nach der folgenden Gleichung zeigen.

$$v = k(r_i \cdot r_k)^n t \cdot s, \text{ oder } t \cdot s = \frac{v}{k} (r_i \cdot r_k)^{-n},$$

worin bedeutet: v = Menge der in der Zeit t infiltrierten Flüssigkeit, k = Proportionalitätskonstante, r_l und r_k = Länge bzw. Weite der Stomata, s = Stomazahl, n = Exponent.

In meinen Versuchen ist v eine konstante Menge, weil ich immer ein gleichgrosses Tröpfchen der Infiltrationsflüssigkeit dazu verwendete. Die obere Gleichung verändert sich nun in eine neue Form:

$$t \cdot s = k' (r_l \cdot r_k)^{-n}, \quad \left(\frac{v}{k} = k'\right),$$

oder in eine logarithmische Gleichung:

$$\log(t \cdot s) = -n \log(r_l \cdot r_k) + \log k'.$$

Nach der Methode der kleinsten Quadrate können wir aus den Daten der Tabelle 5 und 6 die zwei folgenden als geradlinig erkennbaren Formeln ableiten.

Bei Äther-Infiltration:

$$\log(t \cdot s)_A = -1,97 \times \log(r_l \cdot r_k) + 2,98.$$

Bei Benzol-Infiltration:

$$\log(t \cdot s)_B = -2,15 \times \log(r_l \cdot r_k) + 3,45.$$

Graphisch werden die Linien in Figur 2 dargestellt.

Die Konstante k' ist spezifisch für Infiltrationsflüssigkeit. Das Verhältnis von k' bei Äther zu demselben bei Benzol (955:2820 = 1:2,95) ist beinahe* gleich dem Verhältnis von $v(\eta/a)$ $(4,06 \frac{2,2 \cdot 10^{-3}}{16,4} : 5,40 \frac{6,0 \cdot 10^{-3}}{28,2})$ = 1:2,11).

Nach diesen Berechnungen kann die Infiltrationsformel wie unten formuliert werden,

$$v = k'' \frac{a}{\eta} (r_l \cdot r_k)^2 t \cdot s.$$

Vergleichen wir diese Formel mit der Aufsteigungsformel bei Modellversuchen,

* Auf die schwierigen Experimente und die unvollkommenen Versuchsdaten wird die etwas grosse Verschiedenheit der beiden Zahlen zurückgeführt.

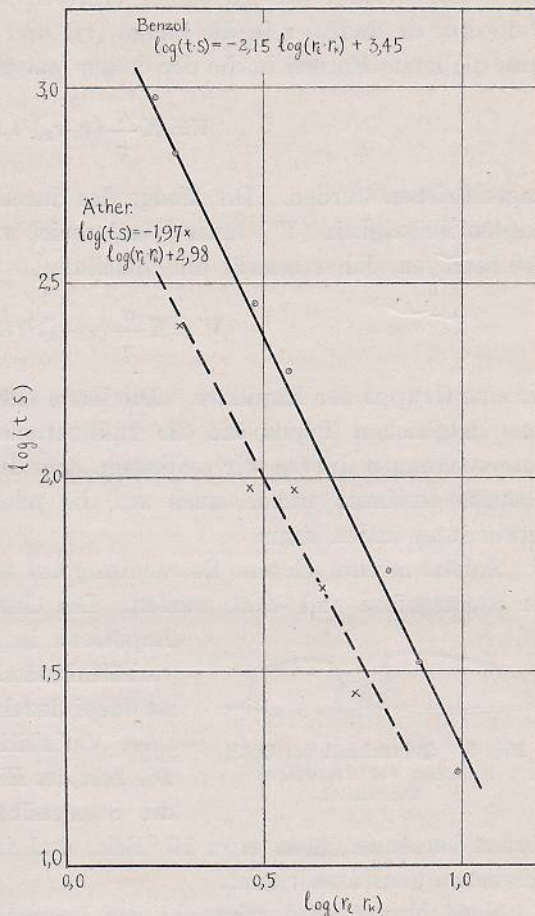


Fig. 2. Die auf dem Wege der Daten der Tab. 5 und 6 berechneten, logarithmischen Geraden, vgl. den Text.

$$V = \frac{\pi(2a \cos \vartheta - R\rho g(L+l-d))}{8\eta l R} r^4 t,$$

so können wir in beiden eine gute Übereinstimmung finden. Bei pflanzlichen Stomata ist $R\rho g(L+l-d)$ gegen $2a \cos \vartheta$ vernachlässigbar klein, und l und R sind, wie ich später erörtern soll, nicht so variabel wie r . Weiterhin ist Radius r in die Länge (r_l) und Weite (r_k) zerlegbar. Also kann die letzte Formel in die der ersten fast gleiche Form, d.h.

$$V = K \frac{a}{\eta} (r_l \cdot r_k)^2 t,$$

umgeschrieben werden. Die Menge der durch S -zählige Kapillaren eingesaugten Flüssigkeit (V') muss S -mal soviel wie die durch einzelne Kapillare betragen, daher besteht die Gleichung,

$$V' = K \frac{a}{\eta} (r_l \cdot r_k)^2 t \cdot S,$$

für eine Gruppe der Kapillare. Die letzte Gleichung ist selbstverständlich ganz desgleichen Typus wie die Infiltrationsformel. Auf Grund dieser Untersuchungen dürfen wir schliessen, dass die Formel, die durch Modellversuche bestimmt wurde, auch auf die pflanzlichen Stomata gründlich Anwendung finden kann.

Zuletzt möchte ich eine Betrachtung auf anderen Komponenten, ausser der Stomagrösse und -zahl, werfen. Die Gestalt des Spaltapparates von



Fig. 3. Querschnitt der Spaltöffnung von *Impatiens Balsamina*.

Impatiens ist, wie in Fig. 3 gezeichnet, verhältnismässig einfach. Stomahöhe (l) ist dabei durchschnittlich $9,2 \cdot 10^{-4}$ cm, und ihre Variabilität um etwa 10% erreicht. Die Zeit des Eindringens der Flüssigkeit in die Stomahöhe ist, nach der LUCASSCHEN

Formel berechnet, bloss etwa 10^{-6} Sek., und freilich kommt sie in meinen Versuchen ganz ausser acht.

Nach NIUS (1931) schwankt der Interzellularraum des Blattes sehr beträchtlich, im höchsten Fall nimmt er bei einigen sommergrünen Gewächsen beim Welken über 60% ab, aber wenn man den Interzellularraum als Zylinder annimmt, und die Veränderung des Radius, dem R entsprechend, berechnet, beträgt die Verkleinerung des Radius des Interzellularraums in diesem Fall selbst um 30%, und die gleichzeitige Abnahme der Blattdicke berücksichtigend, nur um 14%. Mit dieser kleineren Variabilität und den niedrigen Exponent von R fällt die Wichtigkeit des Interzellularraums im Infiltrationsversuch auf sekundären Rang.

Die Abkühlung des Blattes durch Verdunstung der getropften

Versuchsflüssigkeit soll einmal in Betracht gezogen werden. Die Messung mit Thermolement zeigte uns, dass die maximale Abkühlung des *Impatiens*-Blattes unter denselben Bedingungen wie bei Infiltrationsversuchen an Äther etwa 4°C und an Benzol etwa 6°C beträgt. Die Abkühlung verursacht die Zunahme der Viskosität und der Oberflächenspannung der Versuchsflüssigkeit, aber diese beiden Werte wirken auf die Infiltrationsgeschwindigkeit gegen einander, und ihr variabler Umfang ist sehr beschränkt, daher kommt sie beim Infiltrationsversuch kaum in Frage.

Bei manchen Xerophyten kommen oft die eingesenkten oder mit Vorraum begabten Stomata vor, aber der Vorraum übt auf die Infiltrationsgeschwindigkeit keinen grossen gründlichen Einfluss aus. Die Eindringenszeit des Benzols in den Vorraum beträgt nach meiner Berechnung mit der LUCASSEHEN Formel und den in Tab. 7 gezeigten Daten bei *Agave americana* L. $5 \cdot 10^{-6}$ Sek. und bei *Cycas revoluta* THUNB. $1,5 \cdot 10^{-5}$ Sek., und die des Äthers ist kürzer als jene, daher können wir freilich diese Zeiten praktisch gar nicht messen.

TABELLE 7.

	Radius des Einganges des Vorraums	Maximaler Radius des Vorraums	Länge des Vorraums	Stomazahl in 1 qem Blatt-oberfläche
<i>Agave</i>	$1,66 \cdot 10^{-3}$ cm	—	$4,23 \cdot 10^{-3}$ cm	2910
<i>Cycas</i>	$1,07 \cdot 10^{-3}$ cm	$2,83 \cdot 10^{-3}$ cm	$5,86 \cdot 10^{-3}$ cm	8840

Berechnet nach den Daten in RENNERSCHER Abhandlung (1910), beträgt der Widerstand des Vorraums (L_v/R_v^4) gegen Infiltration höchstens um etwa Zehntel des von Stomata (l/r^4). In einem besonderen Fall, z.B. bei den Stomata von *Dasyllirion*, in deren Vorraum ein verstopfter Abschnitt sich befindet, ist das Verhältnis des Widerstandes der Spaltöffnung und des Vorraums etwa 1 zu 0,11. Dass der Widerstand des Vorraums nicht so beträchtlich ist, wurde durch einen Modellversuch, dessen Daten in Tab. 8 dargestellt sind, bestätigt.

TABELLE 8.

Vorraum		Eingestecktes Kapillarchen		Innere Kapillare		Versuchstemp.	$d = L_v + l$	t
R_v cm	L_v cm	r cm	l cm	R cm	$L_1 \sim L_2$ cm	°C	cm	Sek.
0,0272	0	0,0073	0,5	0,0272	0,2~0,7	20°	0 + 0,5	1,21
"	0,5	"	"	"	"	"	0,5 + 0,5	1,21
"	1,0	"	"	"	"	"	1,0 + 0,5	1,22
"	2,0	"	"	"	"	"	2,0 + 0,5	1,22

Die Aufspeicherung der Versuchsflüssigkeit im Vorraum können wir nicht übersehen. Die Berechnung mit den Zahlen in Tab. 7 zeigt uns, dass die Menge der in den auf 1 qcm Blattoberfläche existierenden Vorräumen aufgespeicherten Flüssigkeit bei *Agave* nur um eine Vierzigstel des Versuchströpfchens, $1,1 \cdot 10^{-4}$ cc, aber bei *Cycas* um etwa eine Hälfte des Versuchströpfchens, $1,7 \cdot 10^{-3}$ cc, erreicht. Mit anderen Worten wird daher die wirksame Flüssigkeitsmenge bei *Cycas* um etwa die Hälfte verringert, aber diese und die oben erwähnte Beeinflussung des Vorräume können wir durch Versuche und Berechnung ausser Acht lassen.

Nach den oben dargelegten Betrachtungen können wir anerkennen, dass Infiltrationsgeschwindigkeit zum Quadrat des Produkts der Länge und Weite oder der Fläche der Spaltöffnung und zur Zahl der Stomata beinahe proportional ist, und, wenn man, am gleichartigen Blatt unter einer bestimmten Bedingung untersuchend, die Proportionalität der Infiltrationszeit und Stomagrösse feiner misst, so soll die Stomagrösse mit der Quadratwurzel der berichtigten Infiltrationszeit ziemlich genau gezeigt werden.

Zusammenfassung.

1. Um das Verhältnis zwischen Infiltrationsgeschwindigkeit und Stomagrösse klar zu machen, führte ich einen Modellversuch und Versuch an dem Blatt von *Impatiens Balsamina* aus.

2. Betreffs des auf Kapillarität beruhenden Wasseraufstiegs in eine Glaskapillare, in deren einem Ende ein schmäleres Kapillarchen eingesteckt ist, habe ich eine neue Gleichung aus der POISEUILLESchen Formel abgeleitet. Die Menge des aufsteigenden Wassers wird hauptsächlich von dem inneren Radius des eingesteckten Kapillarchens beeinflusst, d.h. die erstere ist proportional zur vierten Potenz des letzteren, wenn die anderen Bedingungen gleich sind.

3. Auf die Beziehung der Infiltrationszeit und Stomagrösse, die mit der Alkoholfixierungsmethode gemessen wurde, findet auch die durch Modellversuch bestimmte Formel Anwendung; genau gesagt, die Infiltrationszeit ist beinahe umgekehrt proportional zum Quadrat des Produkts der Länge und Weite der Spaltöffnung. Auf Grund dieser Betrachtung dürfen wir von nun an durch Infiltrationsmethode mehr quantitativ als sonst mit der Quadratwurzel der Infiltrationszeit die Stomagrösse beurteilen können.

Meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. H. NAKANO bin ich für seine Ratschläge und Unterstützung meiner Arbeit zum besten Danke verpflichtet.

Literatur.

- LOFTFIELD, J. V. G.: 1921. The Behavior of Stomata. Publ. Carn. Inst. Washing. 314.
- NIUS, E.: 1931. Untersuchungen über den Einfluss des Interzellularvolumens und der Öffnungsweite der Stomata auf Luftwegigkeit der Laubblätter. Jahrb. f. wiss. Bot. 74.
- RENNER, O.: 1910. Beiträge zur Physik der Transpiration. Flora 100.
- SCHORN, M.: 1929. Untersuchungen über die Verwendbarkeit der Alkoholfixierungs- und Infiltrationsmethode zur Messung von Spaltöffnungsweiten. Jahrb. f. wiss. Bot. 71.
- STÄLFELT, M. G.: 1932. Der stomatäre Regulator in der pflanzlichen Transpiration. Planta, 17.
- URSPRUNG, A.: 1925. Über das Eindringen von Wasser und anderen Flüssigkeiten in Interzellularen. Beih. Bot. Ctbl. I. 41.
-
-

浸潤法ニ關スル理論的一考察 (摘要)

門 司 正 三

氣孔隙ノ大キサヲ測定スル方法ノ一ツタル浸潤法 (Infiltrationmethode) = 對シテ理論的考察ヲ試ミ、浸潤速度ト氣孔隙ノ大キサトノ關係ヲ模型及ビ植物葉ニ於ケル實驗ニ依ツテ明カニシ得タ。

氣孔隙及呼吸腔ノ模型トシテ内徑約 0.7mm ノ厚肉ガラス管ノ一端ニ種々ノ孔徑ヲ有スル小毛細管ヲ挿入シタモノヲ用ヒ、理論的ニ POISEUILLE ノ式カラ導キ出シタ式ヲ確メタ。即チ管内ニ一定時間ニ毛管現象ニヨツテ上昇スル液量ハ挿入サレタ小毛細管ノ内徑ノ四乗ニ比例シ、其ノ長サニ反比例スル。又溫度ニ依ル表面張力及ビ粘性係數ノ變化ニツイテモ考慮シタ。

植物實驗材料トシテハほうせんくワヲ用ヒタ。コレハ浸潤速度ト比較スベキ氣孔隙ノ大キサヲ測定スルニアルコール固定法ヲ用ヒタ爲ニ特ニ表皮ヲ容易ニ剥ギ得ル植物トシテ選ンダノデアル。浸潤液トシテハエーテル、ベンゾールヲ用ヒ、ガラス管ノ尖端ヨリ滴下セシメタ。模型實驗ニ於ケル理論式ガ植物葉ニ於ケル氣孔隙ノ大キサト浸潤速度トノ關係ニ對シテモ當嵌マル事ヲ確メ、種々ノ近似ニ依ツテ

$$v = k' \frac{a}{\eta} (r_l \cdot r_k)^2 t \cdot s$$

ナル浸潤式ヲ得タ。但シ v = 浸潤セル試液ノ量 (小滴ノ量ヲ一定ト見做ス)、 a = 表面張力、 η = 粘性係數、 r_l 及ビ r_k = 氣孔隙ノ長徑及ビ短徑、 t = 浸潤時間 (蒸發量ヲ考慮シテ訂正ス)、 s = 一定面積内ノ氣孔數、 k' = 實驗條件ニヨリ定マル常數。即チ浸潤時間ハ主トシテ氣孔ノ長徑及ビ短徑ノ積ノ二乗、或ハ氣孔面積ノ二乗ニ反比例スルノデアル。故ニ是等ノ實驗ニ依リ浸潤時間ヲ測定シ其ノ平方根ヲ以ツテ可成リノ程度マデ量的ニ氣孔隙ヲ示シ得ルト考ヘラレル。

(東京帝國大學理學部植物學教室)