

Pressure chamber による林木の水分状態の推定

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
著者	森, 徳典 坂上, 幸雄
巻/号	54巻11号
掲載ページ	p. 388-391
発行年月	1972年11月

短 報

Pressure chamber による林木の水分状態の推定*

森 徳典・坂上幸雄**

寒害、天然更新などの研究において、林地の林木の水分状態の変化を知る必要がしばしば生ずる。従来の水分測定法では野外で直接林木の水分状態を知ることは不可能であった。SCHOLANDER ら¹⁾が材部の樹液張力を測定するために開発した pressure bomb (または pressure chamber) が林木の water stress の測定に利用できることが WARING ら²⁾によって明らかにされた。この方法による林木の水分状態について 2~3 の検討をした。

Pressure chamber 法の原理は材部中の樹液が受けている張力を測定して、林木の水分状態を推定しようとするものである。林木は葉から蒸散によって絶えず水分を消失している。このため樹液は常に葉から引張りの力(負圧)を受けている。幹または枝が切断されると、水の凝集力が断たれるために樹液は張力により先端側(葉の方)に引き込まれる。このことは林木では先端側の切口から樹液が浸出することは殆どないし、水切りを行なうことから推察される。切断された直後の枝葉部に圧力を加えれば樹液は再び切口に浸出してくる。この浸出が開始された時点の圧力は切断前に樹液が受けていた張力と等しいはずである。この張力は林木の水分状態によって変わり、林木が乾燥すれば張力は大となるので、この張力を測定することによって林木の水分状態を推定することが可能である。

Pressure chamber で測定された値は、xylem water potential (または xylem pressure potential) と称して圧力計の値を負の値で表示されるか^{3,4)}、あるいは単に pressure bomb reading として圧力計の値をそのまま表示される^{1,2)}。ここでは前者の方法、xylem water potential (XWP) を採用した。XWP は現在植物の葉の water stress を生理的な意味で最も正確に測定できるとされている psychrometer による leaf water potential と近い性質を示すが、すべての樹種で直線的な比例関係は認められていない^{3,4)}。しかし野外で簡便迅速に林木の water stress を測定する方法としては優れているとされている。

装置および測定方法

装置は SCHOLANDER ら^{1,2)}の装置を参照して図-1 の

ような pressure chamber を試作した。chamber はステンレス製で 100kg/cm^2 の圧力に耐えるようにした。Chamber の大きさは直径 10 cm, 高さ 20 cm (約 20 kg) である。圧力計は $0\sim 50\text{kg/cm}^2$ (最小目盛 1kg/cm^2) と $0\sim 100\text{kg/cm}^2$ (2kg/cm^2) の 2 つをつけた。加圧には N_2 ガスポンペを用いる。

測定方法は切り取った枝葉または地上部(長さ 20 cm 内外)を直ちに chamber 内に逆に入れて蓋をしたのちパッキングにて密封する(図-1 参照)。測定材料の樹皮はパッキングの位置まで剝離した方がガスもれがない

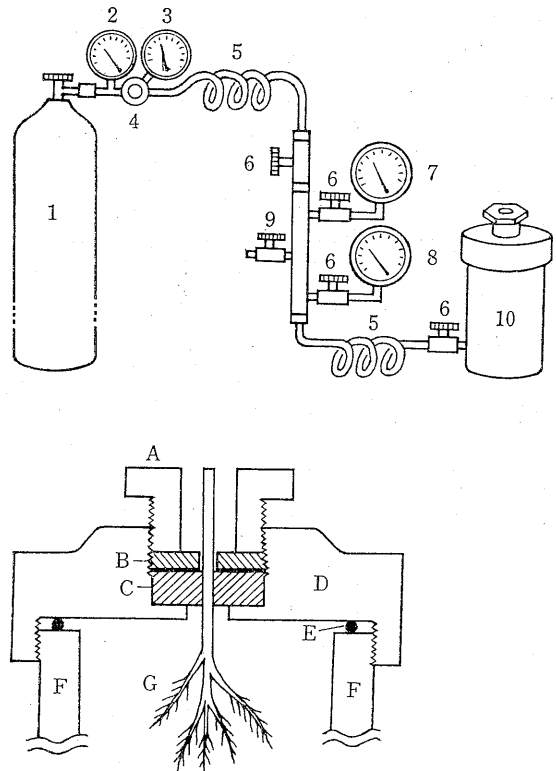


図-1. pressure chamber 装置(上)と chamber 上部の拡大図(下)

1; N_2 ガスポンペ, 2; 一次圧力計, 3; 2 次圧力計, 4; 圧力調整弁, 5; フレキシブルパイプ, 6; バルブ, 7; $0\sim 50\text{kg/cm}^2$ 圧力計, 8; $0\sim 100\text{kg/cm}^2$, 9; ガス放出弁, 10; チャンバー
A: パッキング締め具, B: 金属パッキング, C: ゴムパッキング, D: 蓋, E: O-リング, F: チャンバー壁, G: 測定枝葉

* Tokunori MORI and Yukio SAKAGAMI: Estimation of plant water stress in forest trees by pressure chamber

** 農林省林業試験場, Gov. For. Exp. Sta., Meguro, Tokyo

が、測定を迅速にするためにはむしろ皮つきのままセットし、上端部のみ剥ぎ取っただけでもよい。切口は鋭利な刃物で平滑に切断されていることが望ましい。ついでバルブを開きガスを導入して加圧する。加圧速度は $0.25 \sim 0.33 \text{ kg/cm}^2/\text{秒}$ の割合で行なった。WARING ら²⁾によれば加圧速度は早すぎても遅すぎても誤差の原因になっている。

圧力の増加にしたがい、スギでは切口が白色を帯びた乾いた状態からまず切口の一部が湿ってくる。ついで切口全体が湿った感じになった後樹液が浸出し始め、同時に気泡を生ずることが多い。一方マツ類のように樹脂の多いものは、樹脂を時々ふきとるかまたは注意深く観察していると、まず気泡が少しずつ出はじめる。しばらくすると切口がやや湿った感じになったと思われる瞬間激しい気泡を伴って樹液の浸出が始まる。スギでは切口全体が湿った状態になった時、アカマツでは KAUFMANN³⁾が採用した激しく気泡が出はじめた時のそれぞれの圧力計の値を読み取った。枝葉が小さい時には適当な拡大鏡で観察する必要がある。読み取り時などに生ずる誤差は正常な林木で $\pm 0.5 \text{ kg/cm}^2$ 程度であった。

測定条件の検討

切断後の時間：測定材料を切り取った後は、蒸散のため枝葉が乾燥するので XWP は低下するものと考えられる。苗高 90 cm のスギ苗のほぼ中央部の枝葉を切り取

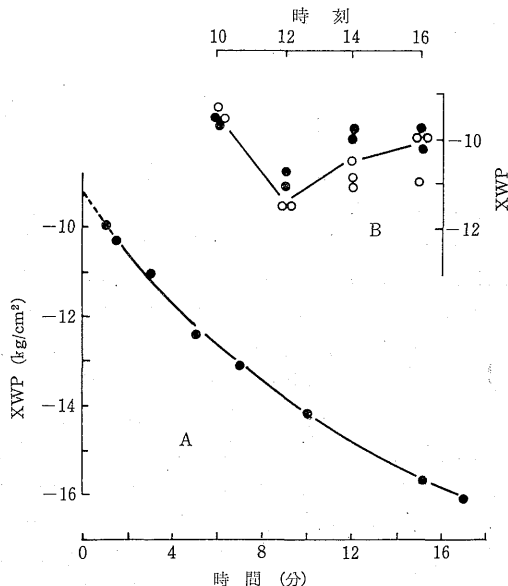


図-2. スギ枝葉の xylem water potential (XWP) の枝葉切断後の経時変化(A)と日変化(B)

B図で●は上部枝葉、○は下部枝葉を示す

り、野外に放置しその後の XWP の変化をみた(図-2A)。図から明らかなごとく、XWP は時間の経過とともに急速に低下する。したがって材料採取後はできるだけ迅速に測定する必要がある。実際には材料採取後の蒸散の影響をできるだけ小さくするためにポリエチレン袋等に材料を入れて運ぶとか、大枝を採取し測定直前に小枝を再切断して測定するなどの工夫が必要であろう。しかしこうした場合でも材料採取後測定(加圧開始)までの時間を一定にすることが望ましい。

枝葉の着生位置：樹液が受けている張力は地上からの高さが増すほど大きくなると考えられている。SCHOLANDER ら¹⁾は樹液の張力は $0.1 \sim 0.2$ 気圧/m の割合で変化すると述べている。したがって大木を測定対象とする場合には材料の採取位置が測定結果に影響を与える。樹高 3 m ほどのアカマツの年枝ごとの 1 年生枝の XWP を調べた結果では測定値のばらつきは 1.5 kg/cm^2 以内で特に高さの影響は認められなかった。むしろ生長の悪い下枝の方が低い傾向さえみられた。

また枝葉の着生位置、枝の年齢別に苗高約 150 cm のスギ苗の XWP を調べた。その結果は上部より下部が、1 年生枝より 2 年生枝が低い傾向を示した。しかしその差はいずれも 1.5 kg/cm^2 より少なく、測定誤差の範囲と大差なかった。WARING ら²⁾はダグラスファーで大気および土壌が湿潤状態にあるときには、最大のばらつきが枝内で ± 0.5 気圧、個体内で ± 1.0 気圧、乾燥条件下ではそれぞれ ± 1.0 、および ± 2.5 であったとしている。

以上のことから樹高 2~3 m までの小木では枝葉の着生位置による XWP の違いはあまり大きくないようである。しかし乾燥状態に林木がおかれると、枝の着生部位により乾燥速度が異なることが多いこと、およびサンプリング誤差を小さくする意味から、材料の採取は形状、伸長の程度などが似たものを同一場所から選ぶ方法が良いと考える。

日変化：XWP も他の水分表示方法と同様に日変化をし、早朝が最も高く、午後 2 時前後に最低となることが知られている^{1,2)}。図-2 B 図は 3 年生スギ苗についてその上部と下部に着生する枝葉の日変化を調べた一例である。この例では早朝の測定値がないことおよび午後になって薄雲が出て日射が妨げられたことなどにより、先に報告されている例ほど大きな日変化がみられなかったものとする。XWP がかなりの日変化をすることは、林木の水分状態に XWP が鋭敏に反応することを示すと共に、測定時間、天候による変化が相当に大きいことが予想される。この点で野外での測定には注意を必要とす

る。

苗木の乾燥に伴う XWP の変化

3年生スギおよび4年生アカマツ鉢植苗各4個体を無給水で放置し、その後の枝葉の XWP の変化を含水率(対乾重)および relative turgidity (RT) と共に測定した。XWP と後2者とは別の枝葉で測定した。土壌含水率(対乾重)は鉢全体の重量を測定し、推定苗木重量を差引いて求めた推定値である。

土壌含水率と XWP の関係は図-3 に、枝葉の含水率および RT との関係は図-4 に示した。枝葉の含水率と XWP の関係はばらつきが大きく明確でないが、土壌含水率および RT との間には一定の関係が認められた。後者の場合には XWP が -20kg/cm^2 までくらはは両樹種間に差も認められないようである。枝葉の含水率は単に含まれる水分の物理的な量比を示すのみであるので、枝葉の葉齢や着生位置などによって大きく変化することが知られている。したがってこのような性質が図にみられるような大きなばらつきの原因になったと思われる。

植物体の水分状態を表示する方法には数多くの方法があるけれども、従来から広く用いられてきている生重または乾重をベースとした水分表示法に比較して飽和含水量をベースとした方法(たとえば RT, Water Saturation deficit)はベースの変動がない上に、植物の水分欠乏状態を生理的な意味でより正しく表わすとされている⁵⁾。XWP は先に述べたように leaf water potential とも比較的一致するので、pressure chamber を用いて

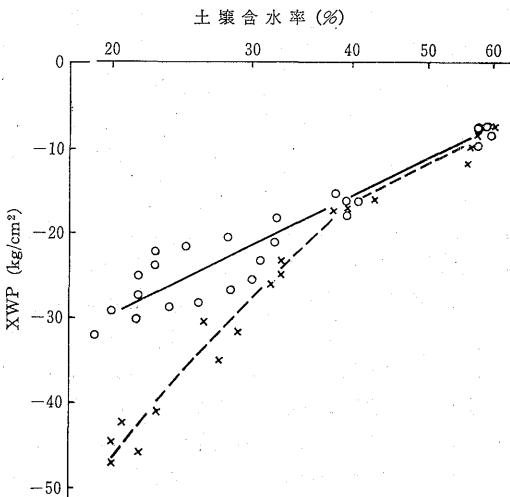


図-3. スギ(x)およびアカマツ(o)の枝葉の xylem water potential (XWP) と土壌含水率(対乾重)の関係

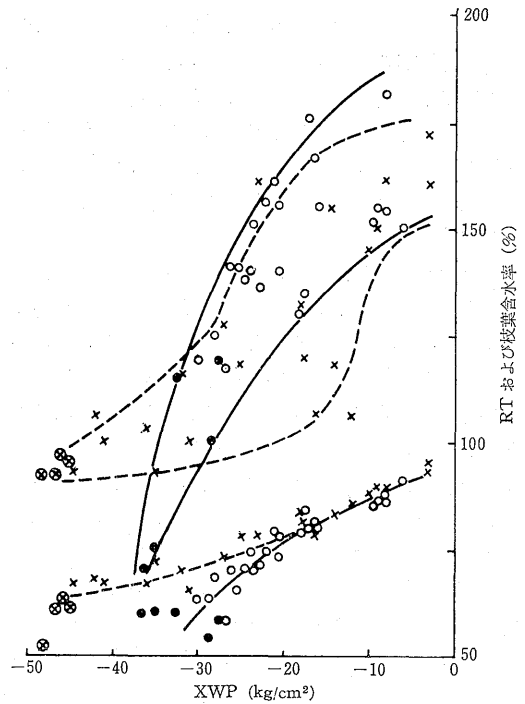


図-4. スギ(x, ----) およびアカマツ(o, ——)の枝葉の xylem water potential (XWP) と relative turgidity (RT) および枝葉含水率(対乾重)の関係

○, ●は外見上枯死したと思われるもの
枝葉含水率(図上部)の点線および実線は測定値のばらつきのおおよその範囲を示す

林木の水分状態をかなり正確に推定できるものと考えられる。

ま と め

林木の水分状態を推定する方法として pressure chamber を用いて XWP を測定することによって、図-2 からも推察されるように林木のわずかな水分欠乏状態もは握ることが可能となる。KAUFMANN^{3,4,6)}は thermocouple psychrometer による leaf water potential と XWP は樹種、生育ステージにより異なった関係を示すので、XWP を用いる場合にはあらかじめキャリブレーションカーブを作製しておく必要があるとしている。しかし室内での精密な実験あるいは樹種間の比較を対象としたような実験を除けば、特にキャリブレーションカーブを作らなくても十分利用できると思う。一方 XWP が林木の水分状態に鋭敏に反応することは、XWP が環境条件によっても大きく変化することを意味するので、野外で利用するにはこの点がかえって制約をもたらす可能性がある。野外での使用にあたっては測定時刻や

天候などの点についてさらに検討を加える必要がある。以上のような XWP の特性を十分知った上で pressure chamber を用いれば簡便かつ迅速に林木の水分状態を知ることができる優れた方法である。特に野外での測定には現在ほかに代わるべき有効な手段がないので、この方法は有用な手段となると思う。

最後にここで用いた装置は試作品で、装置の軽量化、材料セットの簡便化などまだいくつかの改良の余地がある。

引用文献

- 1) SCHOLANDER, P. F., HAMMEL, H. T., BRADSTREER, E. D. and HEMMINGSEN, E. A.: Sap pressure in vascular plants. Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science* **148**: 339~346, 1965
- 2) WARING, R. H. and CLEARY, B. D.: Plant moisture stress: Evaluation by pressure bomb. *Science* **155**: 1248~1254, 1967
- 3) KAUFMANN, M. R.: Evaluation of the pressure chamber technique for estimating plant water potential of forest tree species. *For. Sci.* **14**: 369~374, 1968
- 4) BARRS, H. D., FREEMAN, B., BLACKWELL, J., and CECCATO, R. D.: Comparisons of leaf water potential and xylem water potential in tomato plants. *Aust. J. Biol. Sci.* **23**: 485~487, 1970
- 5) BARRS, H. D.: Determination of water deficits in plant tissues. *In* Water deficits and plant growth. vol. 1. Edt. by T. T. Kozlowski, 390 pp.; 236~368, Academic Press, New York & London, 1968
- 6) WEST, D. W. and GAFF, D. F.: An error in the calibration of xylem-water potential against leaf-water potential. *J. Exp. Bot.* **22**: 342~346, 1971

(1972年7月5日受理)