

樹木의 水分特性에 關한 生理·生態學的 解析(I)*¹

— Pressure Chamber Technique에 의한 耐乾性 樹種의 診斷 —

韓相燮*²·金光崙*²

Ecophysiological Interpretations on the Water Relations Parameters of Trees.

I. The Diagnosis of Tolerant Tree to Drought by the Pressure Chamber Technique.

Sang Sup Han*·Kwang Ryun Kim*

The purpose of the this study was to compare the tolerant tree to drought among the *Pinus koraiensis*, *Abies holophylla*, and *Ginkgo biloba*. The water relations parameters of leafy shoots were measured by the pressure chamber technique from August 10 to September 4 in 1980.

On the water relations parameters such as original osmotic pressure(π_o), osmotic pressure(π_p) and relative water content(RWC) at incipient plasmolysis, and V_p/V_o ratio of the volume of osmotic water (V_p) at incipient plasmolysis to total symplasmic water (V_o) basis, the *Abies holophylla* shoots showed ontogenetically a superior osmoregulation which are closely associated with drought resistance compared with *Pinus koraiensis*, and the *Ginkgo biloba* shoots showed the highest among these three species.

본 研究는 잣나무, 잣나무, 은행나무의 耐乾性에 關係하는 水分特性의 諸要因을 pressure chamber technique에 의해 1980年 8月10일부터 9月 4일에 걸쳐 측정, 그 結果를 考察한 것이다.

枝葉의 最大飽水時의 浸透壓(π_o), 初期原形質分離點의 浸透壓(π_p) 및 相對含水率(RWC), 總 symplasmic water(V_o)에 대한 初期原形質分離點의 生細胞群의 含水量(V_p)과의 比(V_p/V_o) 등을 比較할때, 잣나무는 잣나무 보다 先天的으로 耐乾에 강한 枝葉의 水分特性을 갖고 있으며, 은행나무는 이들 兩樹種 보다 강한 耐乾性임을 示唆했다.

緒 論

植物의 경우 土壤水의 缺差로 발생하는 葉의 water potential 低下는 初期에는 氣孔閉鎖作用에 의한 單純한 光合成速度의 減少에 그치나, 그 정도가 점점 커지면 細胞의 膨壓이 0에 가까워져 마침내는 原形質分離가 시작된다. 이때 葉은 物質生産機能을 잃고 장기간 계속되면 永久萎縮點에 달하여 枯死하게 된다. 그러나 永久萎縮點 以前의 水缺差 狀態에 있어서는 土壤水의 供給에 따라 再吸水가 일어나 葉의 water potential은 上昇하며 다시 物質生産機能을

회복한다. 樹木의 葉에 있어서 심한 水缺差가 발생하면 再吸水하여 回復하는데 長時間을 要하므로 枯死하기 쉬우나 草本類는 단시간에 回復 가능하다.

일반적으로 樹木에 있어서 耐乾性에 강한 種이라고 할때는 先天的으로 初期原形質分離(incipient plasmolysis) 點에 있어서 葉의 相對含水率이 낮고, 体内의 水分 移動에 有利한 細胞組織을 갖고 있어 乾燥에 대한 回復力이 좋으며, 葉이 水缺差를 발생하여도 氣孔閉鎖가 잘 일어나지 않는 機能을 갖고 있는

* 1 Received for publication on Dec. 20, 1980

* 2 江原大學校 農科大學, College of Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon, Korea

것을 耐乾性 樹種이라 한다.⁷⁾ 이러한 意味에서 볼 때 耐乾性 樹種이라 함은 同一乾燥狀態에서의 枯死率과 生存率이 問題가 아니라 先天的으로 葉의 water potential이 低下하여도 葉内の 生細胞群의 浸透壓(osmotic pressure)이 높고, 細胞膜을 자유로이 통과할 수 있는 symplasmic water의 量이 많은 樹種, 그리고 強한 乾燥下에 있어도 어느 정도의 膨壓(turgor pressure)를 維持할 수 있어 光合成速度的 低下가 일어나지 않는 樹種과 보다 높은 浸透壓에서 細胞膜의 原形質分離가 일어나는 것을 耐乾性 樹種이라 규정 짓는 것이 보다 타당하다고 볼 수 있다.

본 研究에 있어서는 細胞의 機能의 次元에서 耐乾性을 判別 하고자 우선 2·3 樹種의 shoot의 浸透壓의 크기, 初期原形質分離點에 있어서의 浸透壓의 크기 및 水의 容量, 枯死에 關係하는 相對含水率 등 水分特性의 諸要因을 測定 考察하였다.

본 研究가 遂行됨에 있어 實驗을 도와준 江原大學校 大學院生 沈在郁·崔仁和 兩氏께 眞心으로 感謝 드린다.

材料 및 方法

測定材料는 江原大學校 構内に 植栽되어 있는 잣나무(*Pinus koraiensis* S. et Z.) 4년생, 잣나무(*Abies holophylla* Max.) 6년생, 은행나무(*Ginkgo biloba* L.) 6년생으로 충분히 光을 받고 있는 稍端部로 부터 1~3 번째 枝를 約60cm 되게 切取, 이것을 10時間 程度 飽水 시킨 후, 다시 5cm 되게 shoot를 물속에서 切斷하여 사용했다.

各 壓力(bar) 段階에 있어서 shoot의 浸出量을 측정하기 위하여 浸出水를 吸水하는 吸濕紙를 vinyl tube(內徑 1.5mm, 길이 5cm)속에 넣어 吸水시킨 후, 浸出이 끝날때 까지 무게의 增加를 每10分 마다 秤量하였다. pressure-chamber의 壓力은 O₂ gas를 사용하였으며, 浸出量의 측정은 최초 5 bar에서 시작하여 各 壓力段階에서 浸出量이 끝나면 다시 4bar씩 增壓 하면서 30bar 까지 측정 했다. 試料는 立木에서 切取後 24시간 以內的 것을 사용했고, 측정후 80℃로 1일간 乾燥後 乾物重을 측정했다.

한편, 膨壓, 浸透壓, 原形質分離點의 生細胞群内の 相對含水率 등 水分特性에 關한 諸要因은 Tyree & Hammel (1972)의 理論을 기초로한 Cheung et al. (1975) 및 矢幡 (1978)의 方法에 의해 구했다. 그 理論의 概要는 다음과 같다.

pressure-chamber를 사용하였을 경우, 飽水한

shoot의 浸出量(Ve)과 그때의 gas壓(P)은 平衡狀態에서는 다음 (1)式이 理論적으로 成立 된다.

$$1/P = V / [RTN_s - F(V)] = (V_o - V_e) / [RTN_s - F(V)] \quad (1)$$

단, V_o는 最大飽水時의 shoot의 生細胞群内の 水의 容量, N_s는 細胞内の 客質의 全 osmole數, F(V)/V = P_{vat}는 膨壓, R은 gas 定數, T는 絶對溫度 이다. 浸出量이 어떤 일정한 값 V_e* = V_o - V_p를 초과 하면 膨壓은 0으로 되어 (1)式은 다음 (2)式으로 나타낼 수 있다.

$$1/P = (V_o - V_e) / RTN_s = 1/\pi \quad (2)$$

단, V_p는 膨壓이 0으로 될때, 즉 初期原形質分離點에 있어서의 shoot의 生細胞群内の 水容量, π는 shoot의 浸透壓을 나타낸다. Cheung et al. (1975), 矢幡 (1978), Wilson et al. (1979) 등에 의하면 (2)式에서 V_e와 1/P는 直線關係가 成立함이 立證되었다. 따라서 V_o와 最大飽水時의 浸透壓(π_o)은 용이하게 구할 수 있다. 또 V_e < V_e*의 범위에 서는 膨壓 때문에 直線에서 曲線으로 變化한다.^{2,3,6,7)} 이때의 直線과 曲線의 交點을 읽음으로서 V_e* 및 V_p를 쉽게 구할 수 있으며 V_p때의 壓力, 즉 膨壓이 0일때의 浸透壓(π_p)도 간단히 계산된다.

結果 및 考察

各 樹種의 平衡壓 段階에서 shoot의 總浸出量(Ve)과 平衡壓의 逆數(1/P)를 나타내면 Fig. 1과 같다. 이 그림에서 V_e* < V_e의 범위에서 얻어진 直線關係는 모두 相關係數가 0.99 이상의 높은 값을 나타냈다. 또 直線과 縱軸과의 交點은 最大飽水時의 浸透壓(π_o)의 逆數를 나타내고 있으며, 橫軸과의 交點은 shoot의 生細胞群内の 水의 量, 즉 細胞膜을 자유로이 통과할 수 있는 symplasmic water의 總容量(V_o)으로 간단히 구해진다. 또 直線과 曲線의 交點에서 V_p 및 그때의 浸透壓(π_p)가 구하여 짐으로 V_e*는 계산 가능 하다.

Fig. 1에서 V_e*, V_p, V_o 등의 값은 각각의 供試材料의 크기에 따라 다르므로 V_p/V_o 및 V_o를 shoot의 最大飽水時의 含水量, 즉 symplasmic water와 apoplastic water의 量(W_s)으로 나눈 값(V_o/W_s)으로 나타내야만 樹種間의 水分特性을 比較할 수 있다.^{2,4,7)} 初期原形質分離時의 相對含水率은 RWC = (W_s - V_e*)/W_s로 나타낼 수 있다.⁷⁾ 이는 耐乾性 樹種 判別에 매우 重要한 因子이다. shoot의 水分特性의 諸因子를 Table 1에 나타냈다.

Table 1. Water relations parameters of *Pinus koraiensis*, *Abies holophylla* and *Ginkgo biloba* shoots. π_0 is the original osmotic pressure, π_p is the osmotic pressure at incipient plasmolysis, V_0 is the volume of osmotic water at maximum turgor, V_p is the volume of osmotic water at incipient plasmolysis, W_s is the volume of symplasmic and apoplastic water at maximum turgor, RWC is the relative water content at incipient plasmolysis, F_w is the fresh weight, and D_w is the dry weight.

Tree	species	π_0 , bar	π_p , bar	$V_p/V_0\%$	$V_0/W_s\%$	RWC%	$W_s/D_w\%$	$V_0/F_w\%$
<i>Pinus</i>	<i>koraiensis</i>	14.8	18.9	81.7	79.0	85.6	247.5	56.3
<i>Abies</i>	<i>holophylla</i>	18.3	22.2	83.0	77.7	86.8	159.9	47.8
<i>Ginkgo</i>	<i>biloba</i>	18.2	20.8	87.1	86.8	88.8	236.2	60.9

Each value is the mean of two or three times measurements.

$RWC = (W_s - V_e^*) / W_s$, $V_e^* = V_0 - V_p$.

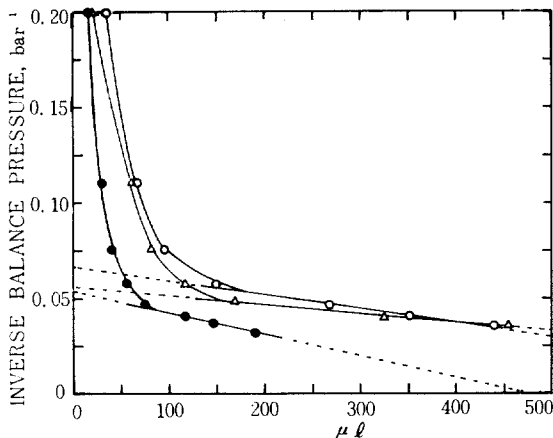


Fig. 1. Plots of the inverse balance pressure ($1/p$) of the *Pinus koraiensis* (○), *Abies holophylla* (●), and *Ginkgo biloba* (△) shoots versus the volume expressed from the shoots.

여기서 V_p/V_0 는 생細胞群의 細胞內的 浸透壓에 영향을 받는 것으로 最大飽水時의 水分量에 대하여 初期萎縮點의 水分量의 比率을 나타낸다. 이 값은 잣나무가 잣나무보다 작은 값을 나타냈다. 또 V_0/W_s 는 shoot가 최대로 吸水하였을 때의 含水量에 대하여 생細胞群의 細胞內에 있어서 溶質을 溶解하여 浸透壓에 關係하는 水分量, 즉 symplasmic water의 總量의 比率을 意味하며, 이 값은 잣나무가 잣나무보다 큰 값을 나타냈다. 耐乾性 判別에 基準이 될 수 있는 π_0 , π_p , V_0/W_s 는 잣나무가 잣나무보다 크고, V_p/V_0 , RWC, W_s/D_w , V_0/F_w 등의 값은 잣나무가 잣나무보다 작은 값을 나타내고 있어 잣나무가 耐乾性이 強함을 意味한다. 그러나 잣나무의 RWC=85.6%는 삼나무

무 上層葉의 RWC=76.2%의 값보다 상당히 큰 값을 보이고 있어 삼나무 보다는 耐乾性임을 알 수 있다.

같은 針葉樹中 은행나무의 V_p/V_0 , V_0/W_s , RWC의 값은 잣나무 및 잣나무의 값보다 큰 값을 나타내나 π_0 는 잣나무와 비슷하며 π_p 는 잣나무 보다 約 1bar 정도 작다. 이와같은 현상은 잣나무와 잣나무의 葉이 多肉質인데 비하여 은행나무의 葉은 落葉闊葉樹에 가까운 形態를 갖고 있기 때문이라고 할 수 있겠다. 단순히 π_p , V_p/V_0 , V_0/W_s , RWC 등의 값만을 비교할 때 은행나무는 잣나무와 잣나무에 비하여 耐乾性이라 말할 수 있으며, 은행나무의 값은 Cheung et al. (1975)의 보고와 一致한다. 葉에 있어서의 膨壓과 浸透壓은 季節變動을 하므로 본 研究에 있어서의 π_0 , π_p , RWC 등의 값은 8月 初旬부터 9月 中旬에 걸쳐 측정한 것이기 때문에 生育旺盛期인 5~6月頃의 값보다 다소 다르게 나타날 가능성을 含藏하고 있다. 그러나 同一季節 또는 同一環境條件에서 生育하였을 경우 先天的인 細胞機能의 特性은 크게 變化하지 않을 것으로 予想된다. 여기서 RWC는 初期原形質分離點에 있어서의 相對含水量로 이때는 氣孔이 全閉되어 純光合成速度가 0에 가까와 진다 할 수 있다.

잣나무의 RWC가 86.8%일 때 π_p 가 22.2bar로 나타난 값은 Brix(1979)가 white spruce 및 lodgepole pine의 純光合成速度가 20~26bar에서 0로 된다는 報告와 一致한다. 따라서 乾燥에 대한 耐乾性을 π_p 값으로 말한다면 잣나무는 19bar, 잣나무는 22 bar, 은행나무는 21bar 以上 shoot의 水缺差가 發生하면 枯死 된다고 생각된다.

引用文獻

1. Brix, H. 1979. Effects of plant water stress on photosynthesis and survival of four conifers. Can. J. For. Res. 9:160-165
2. Cheung, Y. N. S., M. T. Tyree, and J. Dainty. 1975. Water relations parameters on single leaves obtained in a pressure bomb and some ecological interpretations. Can. J. Bot. 53:1342-1346
3. Tyree, M. T. and H. T. Hammel. 1972. The measurement of the turgor pressure and the water relations of plants by the pressure-bomb technique. J. Exp. Bot. 23:267-282
4. ——— and J. Dainty. 1973. The water relations of hemlock (*Tsuga canadensis*). II. The kinetics of water exchange between the symplast and apoplast. Can. J. Bot. 51:1481-1489
5. ———, Y. N. S. Cheung, M. E. MacGregor, and A. J. B., Talbot. 1978. The characteristics of seasonal and ontogenetic changes in the tissue-water relations of *Acer*, *Populus*, *Tsuga*, and *Picea*. Can. J. Bot. 56:635-647
6. Wilson, J. R., M. J. Fisher, E. D. Schulze, G. R. Dolby, and M. M. Ludlow. 1979. Comparison between pressure-volume and dewpoint-hygrometry techniques for determining the water relations characteristics of grass and legume leaves. Oecologia 41:77-88
7. 矢幡久. 1978. スギ在来品種の水分特性(Ⅰ) — フレッシュャーチャンバーによる葉の水分特性の測定法の検討 —. 日林九七論 31: 115-116