

北海道の厳冬期におけるニオイヒバの葉の水分特性と生育環境の関係

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
著者	池田, 武文 紺野, 康夫
巻/号	72巻2号
掲載ページ	p. 154-157
発行年月	1990年3月

短 報

北海道の厳冬期におけるニオイヒバの葉の水分特性と
生育環境の関係

池田 武文*・紺野 康夫**

IKEDA, Takefumi, and KONNO, Yasuo: Water relations of leaf tissues of *Thuja occidentalis* in winter in relation to environmental conditions in Hokkaido. *J. Jpn. For. Soc.* 72:154 ~ 157, 1990 Tissue water relations of *Thuja occidentalis* L. leaves under three different sets of environmental conditions, that is, sunlit and not covered with snow-leaves (sunlit leaves), shaded and not covered with snow-leaves (shaded leaves), and shaded and covered with snow-leaves, were measured in winter using the pressure-volume technique. Daily maximum and minimum temperatures in the sunlit leaves were 2 to 3°C and -26°C, respectively, whereas, they were -7 to -11°C and -22 to -24°C, respectively, in the shaded leaves and in the shaded and covered with snow-leaves. This showed that the sunlit leaves were exposed to severer temperature conditions. There was no significant differences in the water deficits at turgor losses among the three kinds of leaves. Both the osmotic potential at turgor loss and the osmotic potential at full turgidity were significantly lower in the sunlit leaves than in the shaded leaves, and the shaded and covered with snow-leaves. This result seemed to indicate that the sunlit leaves had higher turgor maintenance capacity due to osmotic adjustment during water stress resulting from dehydration by extracellular freezing and transpiration. The lower osmotic potential in the sunlit leaves resulted from the significantly greater number of osmoles per unit of dry weight. The significantly greater values of the bulk modulus of elasticity in the sunlit leaves seemed to show that the leaf cells of the sunlit leaves were stronger mechanically than those of the shaded leaves, and those of the shaded and covered with snow-leaves.

I. はじめに

植物は低温に対して種々の方法で適応し、生存・生育していることが知られている(3, 4, 10, 11)。近年、低温に対する適応について、水ポテンシャルの概念をとりいれて植物の水分生理的側面からとらえた研究がなされた結果、乾燥処理による耐凍性の増大(1, 16, 17)や乾燥抵抗性と耐凍性との密接な関係(6, 7)などが明らかにされた。これらの研究のうち、気温が-20°C前後まで低下するような地域に分布する植物を扱った研究(6)は少ない。北海道東部のような冷温帯地域では、1年のうち半年間、日最低気温あるいは日最高気温が氷点下となり、厳冬期にはたびたび日最低気温が-30°C前後まで低下する。このような地域に分布する植物は、細胞外凍結による脱水や、土壌水分の凍結による土壌から植物への水移動の停止等により、水分欠乏の状態にあると考えられる。それゆえ、

冬期の耐凍性や耐寒性を細胞の乾燥抵抗性との関係にとらえることは重要である。そこで本報では、北海道東部の厳冬期において、-25°C前後の気温にさらされるニオイヒバの葉の乾燥抵抗性とその葉の生育環境との関係を明らかにするために、異なった生育環境下にあるニオイヒバの葉のP-V曲線(Pressure-volume curve)法で求めた水分特性と温度の関係を検討した。

II. 実験場所

実験は北海道足寄町の九州大学北海道演習林(43°17'N, 143°29'E)において行った。当地は日本で最も寒冷な地域で、12月中旬から翌年の2月下旬までの間、日最高気温が氷点下の真冬が続く。この期間、日最低気温がしばしば-30°C前後まで低下することがある。さらに当地は積雪が少なく、冬から早春にかけて根系域に及ぶ土壌凍結をおこしている。

* 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. Center, For. and Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860

** 帯広畜産大学畜産環境学科 Obihiro Univ. of Agric. and Vet. Med., Obihiro, Hokkaido 080

III. 材料と方法

実験材料として、住宅の周囲に生け垣として植栽されたニオイヒバ(*Thuja occidentalis* L.)を用いた。住宅と垣根は図-1のように配置されている。垣根より生育環境の異なる3点を選び、それぞれの点ごとに、熱電対温度計で裏面葉温と気温の日経過を1986年12月20~21日と1987年1月21~22日の晴天の日に測定した。これら3点とは、A点：住宅の南側で、垣根の南側中央の冬中太陽が当たり冬中雪に覆われないひなた部分、B点：住宅の北側で、垣根の南側中央の冬中太陽が当たらず雪にも覆われない日陰部分、C点：住宅の北側で冬中太陽が当たらず垣根上部の雪に覆われている日陰・雪下部分である。1月下旬の測定後、温度を測定した葉の近くから別の葉を採取し、プレッシャーチャンバーを用いてP-V曲線(13, 14)を作成して、水分特性各パラメータ、つまり十分吸水したときの浸透ポテンシャル($\Psi_{0, sat}$)、圧ポテンシャル(Ψ_p)が0になるときの浸透ポテンシャル($\Psi_{0, up}$)と相対含水率(RWC_{up})、細胞の体積弾性率の最大値(ϵ_{max})、細胞

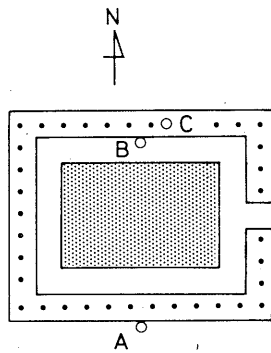


図-1. 測定部位
Measured positions of *Thuja occidentalis* hedge row

A点, 住宅南側・垣根南側中央の冬中雪に覆われないひなた部分; B点, 住宅北側・垣根南側中央の冬中太陽が当たらず雪にも覆われない日陰部分; C点, 住宅北側・垣根上部の冬中太陽が当たらず雪に覆われた日陰・雪下部分。

シャドウのかかった領域は住宅を、黒点領域はそれを囲むニオイヒバを表す。

Position A, The sultit position facing the south side of the residence and not being covered with snow; Position B, The shaded position facing the north side of the residence and not being covered with snow; Position C, The shaded position facing the north side of the residence and the top of the hedge row being covered with snow.

Shadowed area shows the residence. Closed circles surrounded the residence show *Thuja occidentalis*.

内液に溶けている全溶質 osmole 数 (N_s), 飽水時の全細胞内液量 (V_0) を求めた。

IV. 結果と考察

1987年1月21~22日にA, B, Cの3地点で葉温と気温の日経過を測定した結果を図-2に示した。夜間の温度はC点の雪下葉温が最も高く、B点の葉温と気温、A点の気温、そしてA点の葉温の順で低くなった。A点の葉温の最低温は -26°C でC点の雪下葉温の最低値 -22°C より 4°C 低かった。A点の葉温の著しい低下は、被覆物や周囲を取り囲む物が無いので、きびしい放射冷却によるものと考えられる。日中の温度は、太陽が当たるA点のひなた葉温が最も高く、A点のひなた気温、B点の日陰葉温と気温、そしてC点の日陰・雪下葉温の順で低くなった。A点のひなた葉温のみが日中、プラス($2\sim 3^{\circ}\text{C}$)を記録し、B点の日陰葉温は -11°C 、C点の日陰・雪下葉温は -17°C までしか上昇しなかった。温度の日経過は、すべての測定点で日の出とともに上昇し午後1時から2時の間に最高に達し、その後低下して日の出直前に最低となった。葉温の日較差はA点で約 30°C と最高で、雪下のC点では 11°C で最低であった。1986年12月20~21日の測定でも、図-2と同様の経過がみられた。ニオイヒバは

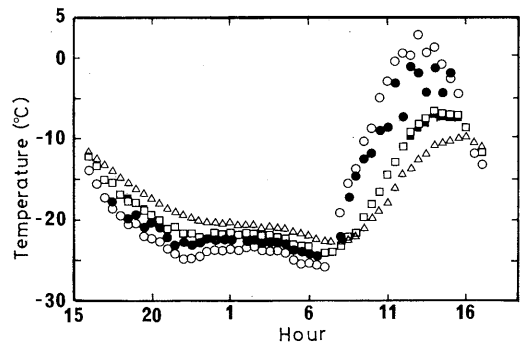


図-2. 葉温・気温の日経過(1987年1月21~22日)
Diurnal fluctuation in leaf temperatures of *Thuja occidentalis* and air temperatures, 21 to 22 January 1987

●, A点の気温; ○, A点の葉温; ■, B点の気温;
□, B点の葉温; △, C点の葉温。
□のみの表示は、□と■のシンボルが重なったことを示す。

●, Air temperature at Position A; ○, Leaf temperature at Position A; ■, Air temperature at Position B; □, Leaf temperature at Position B; △, Leaf temperature at Position C.

The disappearance of the symbols ■ shows the agreement of ■ and □.

表-1. 1月下旬に測定したニオイヒバの葉の水分特性各パラメータ
Water relation parameters of *Thuja occidentalis* leaves in late January

	$\Psi_{0,sat}$ (MPa)	$\Psi_{0,tip}$ (MPa)	RWC_{tip} (%)	V_0/DW^*	N_s/DW^{**}	ϵ_{max} (MPa)	n
A	-1.97(0.08) ^{ab}	-3.35(0.04) ^{ac}	0.63(0.02)	1.47(0.04)	1.19(0.07) ^{ab}	6.93(0.83) ^{ab}	3
B	-1.33(0.04) ^a	-2.83(0.07) ^a	0.58(0.04)	1.50(0.18)	0.82(0.09) ^a	4.68(0.45) ^a	3
C	-1.32(0.12) ^b	-2.29(0.14) ^c	0.63(0.02)	1.37(0.01)	0.70(0.08) ^b	5.79(0.78) ^b	3

Means with superscripts of ^a and ^b are significantly different at 5% level and ^c at 2.5% level, respectively. *and ** are units of kg H₂O/kg dry weight and osmoles/kg dry weight, respectively. Numbers in parentheses show standard errors. A, Leaves at Position A; B, Leaves at Position B; C, Leaves at Position C.

-80°Cまで生存することが知られており(12),本実験で用いたニオイヒバでも組織や個体の死はみられなかった。

RWC_{tip} は各測定点の葉の間で差はなかったが, $\Psi_{0,sat}$ と $\Psi_{0,tip}$ はA点の葉がB,C両点の葉とくらべて有意に低かった(表-1)。浸透ポテンシャルが環境条件の前歴によって変わることは、浸透調節として一般に知られており、たとえば、ミズナラの陽葉は陰葉にくらべて浸透ポテンシャルが低く(5),*Polylepis sericea* WEDDの葉の浸透ポテンシャルは葉温あるいは気温との間に相関がある(9)。ニオイヒバの場合は、夜間に最も低い温度に下がるA点の葉は、細胞外凍結により細胞内の水が他の2点の葉にくらべてより強く脱水され、葉の水分含量の低下により、水ポテンシャルが低下していると推測される。また、A点の葉の温度は日中プラスになるため、細胞外凍結した水が解けてその一部が蒸散によって失われ、B,C両点の葉とくらべて水ストレスを受けやすいと考えられる。しかしA点の葉はB,C両点の葉にくらべて $\Psi_{0,sat}$ と $\Psi_{0,tip}$ が低く、より低い水ポテンシャルの値まで圧ポテンシャルを維持することで、こうした環境に適応していると考えられる。

浸透ポテンシャル $\Psi_{0,sat}$ は(1)式で表すことができる。

$$\Psi_{0,sat} = -RTN_s/V_0 \quad (1)$$

ここで、 R はガス定数、 T は絶対温度である。この式より、浸透ポテンシャルの変化は、 V_0 または N_s の変化に基づく(15)ことがわかる。表-1より、3種類の葉の間で V_0 については有意な差が認められなかったが、A点の葉の N_s は、B,C両点の葉のそれらにくらべて有意に多かった。冬季あるいは低温下にある植物細胞は、デンプンや可溶性糖類、アミノ酸の含有率が高まり(2,7~9,16,18),浸透ポテンシャルが低下する(6,7,9)ことが知られている。以上のことから、日中太陽が当たるA点のひなた葉の浸透ポテンシャルが、B点の日陰葉やC点の日陰・雪下葉のそれらより

低いのは、ひなた葉の N_s が日陰葉や日陰・雪下葉のそれらより多いことによるものと理解できる。以上のような浸透調節は、ニオイヒバの葉の低温に対する適応の重要な要素と考えられる。さらに、A点の葉の ϵ_{max} はB,C両点のそれらより有意に高かった(表-1)。これは、ひなた葉の細胞は日陰葉と日陰・雪下葉の細胞とくらべて強固で可塑性に富むことを示しており、酒井(10)が指摘するように、凍結によってひきおこされる強度の脱水や機械的ストレスに対して高い耐性をもつことを示していると考えられる。

引用文献

- (1) EAMUS, D.: Influence of preconditioning upon the changes in leaf conductance and leaf water potential of soybean, induced by chilling, water stress and abscisic acid. *Aust. J. Plant Physiol.* **14**: 331~339, 1987
- (2) KIM, Y. T., and GLERUM, C.: Free amino acid concentrations in red pine needles during three successive autumns. *Can. J. For. Res.* **18**: 1286~1290, 1988
- (3) LEVITT, L.: Responses of plants to environmental stresses. Vol. 1. Chilling, freezing, and high temperature stress. 23~344, Academic Press, New York, 1980
- (4) LI, P. H., and SAKAI, A.: Plant and freezing stress. 416pp, Academic Press, New York, 1978
- (5) 丸山 温・森川 靖: 葉の水分特性の測定— $P-V$ 曲線法—. *日林誌* **65**: 23~28, 1983
- (6) ————・細貝 浩・金川 侃・堀内孝雄: 初冬におけるスギ耐凍性選抜木の葉の水分特性. *日林誌* **70**: 518~524, 1988
- (7) O'NEIL, S. D.: Osmotic adjustment and the development of freezing resistance in *Fragaria virginiana*. *Plant Physiol.* **72**: 938~944, 1983
- (8) POLLOCK, C. J., and LLOYD, E. J.: The effect of low temperature upon starch, sucrose and fructan synthesis in leaves. *Annu. Bot.* **60**: 231~235, 1987
- (9) RADA, F., GOLDSTEIN, G., AZOCAR, A., and MEINZER, F.: Daily and seasonal osmotic changes in a tropical treeline species. *J. Exp. Bot.* **36**: 989~1000, 1985
- (10) 酒井 昭: 植物の耐凍性と寒冷適応—冬の生理・生態学—. 469 pp, 学会出版センター, 東京, 1982

- (11) SAKAI, A., and LARCHER, W.: Frost survival of plants. 321pp, Springer-Verlag, Berlin, 1987
- (12) ———, and WEISER, C. L.: Freezing resistance of trees in North America with reference to tree regions. *Ecology* 54: 118~126, 1973
- (13) SCHOLANDER, P. F., HAMMEL, H. T., HEMMINGSEN, E. A., and BRADSTREET, E. D.: Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. *Proc. Nat. Acad. Sci. U. S. A.* 52: 119~125, 1964
- (14) TYREE, M. T., and HAMMEL, H. T.: The measurements of the turgor pressure and the water relations of plants by the pressure-bomb technique. *J. Exp. Bot.* 23: 267~282, 1972
- (15) ———, and JARVIS, P. G.: Water in tissues and cells. *In Encyclopedia Plant Physiology New Ser.* 12B, Physiological Plant Ecology II. Water relations and carbon assimilation (LANGE, O. L., NOBEL, P. S., OSMOND, C. B., and ZIEGLER, H., eds.). 35~77, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1982
- (16) 山田 寿・向井啓雄・杉浦 明・苫井 孝:カンキツの耐寒性に及ぼす水ストレスの影響. *園学雑* 56: 273~279, 1987
- (17) YELENOSKY, G.: Water-stress-induced cold hardening of young citrus trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104: 270~273, 1979
- (18) ———, and GUY, C. L.: Freezing tolerance of citrus, spinach, and petunia leaf tissue. Osmotic adjustment and sensitivity to freeze induced cellular dehydration. *Plant Physiol.* 89: 444~451, 1989

(1989年6月12日受理)