九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

福岡演習林におけるヒノキの辺材面積と葉面積

鶴田, 健二
九州大学農学部附属演習林福岡演習林

久米, 朋宣
国立台湾大学森林環境資源学系

小松, 光
九州大学農学部附属演習林福岡演習林

大槻, 恭一
九州大学農学部附属演習林福岡演習林

https://doi.org/10.15017/21892

出版情報：九州大学農学部演習林報告. 93, pp.12-16, 2012-03-30. 九州大学農学部附属演習林
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

九大演報（Bull. Kyushu Univ. For.），93：12-16，2012

学 術 情 報

福岡演習林におけるヒノキの辺材面積と葉面積

鶴田健二*，久米朋宣**，小松光*，大槻恭一*

樹木の辺材と葉はともに水分通道を担っており，それらの面積は蒸散量の推定の際に必要な情報である．また，辺材面積と葉面積のバランスは，樹木の生物的構造を理解する上でも重要な情報となる．そこで，日本の主要な人工林樹種であるヒノキを対象に，九州大学福岡演習林において合計12個体の辺材面積と葉面積の計測を行った．そのデータを多方面に資する目的で，ここに公開することとした．これら辺材面積と葉面積は，相対成長を示す胸高直径（DBH）を用いた地域固有のアロメトリー式から推定されることが多いため，アロメトリー式の作成も行った．その結果，DBHが7.2～34.0cmの範囲において辺材面積（A_{S_tree}）は，$A_{S_tree} = 2.025DBH^{1.4773}$ ($R^2 = 0.97$)，葉面積（A_{L_tree}）は，$A_{L_tree} = 2.025DBH^{1.4773}$ ($R^2 = 0.97$)なる式で表された．これに加え，葉量や心材面積等のその他の諸特性データの記載も行った．
キーワード：辺材面積，葉面積，アロメトリー式，ヒノキ，フーバー値

Sapwood and leaf have roles for water pathways in a tree. Their areas are important information for transpiration estimates. Also, the balance between sapwood area and leaf area is important for understanding a biological structure. We measured sapwood area and leaf area for 12 Japanese cypress (***Chamaecyparis obtusa***) trees in Kasuya Research Forest. We open the data for multiple purposes. Because their areas are generally estimated from area specific allometric equations using DBH, we developed the allometric equations. As a result, sapwood area (A_{S_tree}) and leaf area (A_{L_tree}) are described as $A_{S_tree} = 2.025DBH^{1.4773}$ ($R^2 = 0.97$) and $A_{L_tree} = 2.025DBH^{1.4773}$ ($R^2 = 0.97$) in the DBH range of 7.2 - 34.0 cm, respectively. In addition, we listed the other data of the tree properties like leaf mass.
Keywords：Sapwood area, Leaf area, Allometric equation, ***Chamaecyparis obtusa***, Huber value

1．は　じ　め　に

樹液流計測は，日本のような複雑地形地では非常に有効な蒸散の計測法である（例えば，Wilson *et al.* 2001; Ford *et al.* 2007; Kumagai *et al.* 2008）．樹液流計測において，樹液流速から単木蒸散量，林分蒸散量へのスケーリングアップには辺材面積が用いられることが多く（Granier *et al.* 1996; Oren & Pataki 2001; Čermák *et al.* 2004; Ford *et al.* 2010），樹液流計測では辺材面積は欠かすことのできない情報である．また，森林の高齢化などによる蒸散の長期変動を考える上でも，辺材面積は重要な情報である（Zimmermann *et al.*, 2000; Vertessy *et al.*, 2001）．樹液流計測に基づく蒸散量の算定では，蒸散量は樹液流速と辺材面積の積として求められるが，林齢と蒸散量の関係をより支配している要因は，辺材面積であることが示唆されているためである（Zimmermann *et al.*, 2000; Vertessy *et al.*, 2001）．そのため，日本の森林における主要な樹種について辺材面積のデータを完備しておくことが望ましい．しかし，日本における樹液流計測の研究例は少ないため，辺材面積のデータは十分に蓄積されているとは言い難く，公開されているデータも少ない．例えばヒノキ人工林では，Morikawa *et al.* (1986)が茨城県に生育する31年生の林分において，Kumagai *et al.* (2005)が宮崎県に生育する51年生の林分において辺材面積の計測を行っている．これらの林分は生育環境も林齢や個体サイズも大きく異なっているため，辺材面積にも大きな違いが見られる．このように，辺材面積に関する情報は十分であるとは言い難い．

また，辺材面積データは，葉面積データとともに公開されるのが望ましい．なぜなら，辺材面積と葉面積のバランスは，樹木の生物的構造を考える上で重要な情報になるからである．これまで，辺材面積と葉面積の密接な関係を示唆するパイプモデルを組み込んだ個体生長モデルの提案（例えば，Valentine 1985; Buckley &Robertes 2005; Deckmyn *et al.* 2006）や，土壌の状態や地理等の立地環境や間伐等の森林管理が葉面積と辺材面積の比率に与える影響を調べる研究（例えば，Vanninen *et al.* 1996; White *et al.* 1998; Mencuccini & Bonosi 2001; Simonin *et al.* 2006）が行われている．これらの検討を行うためにも，辺材面積と葉面積がともに計測されたデータセットを充実させておく必要がある．しかし，日本の主要な樹種について葉面積を辺材面積とともに計測している例は，ほとんどない．

さらに，葉面積の計測の際に計量される葉の重量のデータは，現存量の推定の際にも必要となるものである．ヒノキ人工林の葉の重量のデータについては，四手井ら (1974)

* 九州大学農学部附属演習林福岡演習林
Kasuya Research Forest, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Sasaguri, Fukuoka 811-2415
** 国立台灣大学森林環境資源学系
School of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University, Roosevelt Road. Taipei, 10617 Taiwan

により取りまとめられており，10〜19ton/haにも上ることが報告されている．しかし，四手井ら (1974)においては九州地方のデータは乏しく，熊本における45年生のヒノキ人工林のデータが記載されているのみである．そのため，福岡地域のヒノキ人工林の葉の重量データを収集しておくことは，この地域での現存量推定の際にも有益であろう．

そこで，日本の主要な人工林樹種であるヒノキを対象として，九州大学農学部附属福岡演習林のヒノキ人工林において葉面積と辺材面積の計測を行った．本報告では，葉面積（葉の重量）と辺材面積データとともにアロメトリー式も記載する．辺材面積や現存量等の推定の際には，相対成長を示すDBHを用いたアロメトリー式が用いられることが多いが（例えば，後藤ほか 2003; Enoki *et a.* 2011），アロメトリー式は生育環境で異なることがあるため，地域ごとに整備しておくことが望ましいだろう．本報告は学術情報として公表するものであるため，辺材面積と葉面積だけに限らずなるべく多くのデータを記載するように心がけた．

2．試験地および計測方法

2．1．試験地

本試験は，福岡市から東方約15kmに位置する九州大学福岡演習林第9林班内のゲイシャ試験地（33°38′N, 130°31′E, 標高 50m）において行った．本試験地の2000年〜2004年の年平均気温は16.2℃であり，年平均降水量は1560mmである．

当試験地には，林分平均DBHや林分平均樹高等の異なる3つの同齢林分（23年生，26年生，43年生）が近接して生育している．以降，若齢の林分から，S林分，M林分，L林分と呼ぶ．3つの林分の樹木より，さらに個体サイズの小さい3本の孤立木が3林分に近接して生育しており，これら孤立木の3個体に加え，各林分から3個体ずつ，合計12個体で辺材面積と葉面積の計測を行った．

2．2．辺材面積の計測

辺材面積は，以下の手順で推定した．まず，成長錘を用いたコアサンプリングを地上高1.3mの位置で樹幹2方位から行い，採取したコアの色の違いがある部分を心材と辺材の境界線とし，各コアの辺材幅の計測を行った．2方位から計測された辺材幅の平均値を，各サンプル木の辺材幅とした．次に，樹幹横断面を同心円と仮定し，DBHと辺材幅のデータから心材面積を計算し，樹幹横断面積から減ずることにより，辺材面積を推定した．

2．3．葉面積の計測

葉面積は，以下の手順で計測した．まず，サンプル木を伐倒し，すべての葉を刈り取って生重を計測した．次に，各林分の1個体から葉の一部を炉乾（60℃，48時間）し，生重—乾重の回帰式を作成した．抽出した葉のサンプルの生重と乾重を表1に示した．同時に，別の葉をサンプルとしてスキャナで読み込んで，画像処理ソフト（Scion Image, Scion Corp., Frederick, MD）を用いて葉面積を算出し，炉乾（60℃，48時間）後に乾重—葉面積の回帰式を作成した．抽出した葉のサンプルの乾重と葉面積を表2に示した．以上の二つの回帰式を用いて，すべての葉の生重からその乾重を算出し，それから葉面積を算出した．なお，サンプル木を伐倒した際に，樹高の計測も併せて行った．

サンプル木の伐倒と葉の刈取りは，孤立木，S林分，M林分，L林分においてそれぞれ2006年12月6日，12月11日，12月20日，2007年1月11日に行った．

2．4．統計処理

得られたデータ間の関係は，ピアソンの相関係数検定に

表1．葉の生重と乾重

	個体番号	葉番号	生重(g)	乾重(g)
孤立木	1	1	22.7	10.5
		2	40.7	18.8
		3	54.5	24.8
S林分	4	1	32.7	19.0
		2	43.2	23.9
		3	44.4	24.3
M林分	7	1	19.8	8.5
		2	31.0	13.3
		3	45.1	19.6
L林分	10	1	24.8	11.3
		2	24.7	11.0
		3	39.7	18.2
		4	31.2	14.2
		5	45.5	21.2

表2．葉の乾重と葉面積

	個体番号	葉番号	乾重(g)	葉面積(cm²)
孤立木	1	1	5.0	156.9
		2	2.7	83.6
		3	1.4	49.8
		4	0.7	23.7
		5	1.7	60.7
S林分	4	1	1.1	40.6
		2	1.6	56.2
		3	2.1	75.9
		4	2.4	87.0
		5	1.9	73.0
M林分	7	1	0.8	43.2
		2	1.5	77.4
		3	1.6	79.9
		4	0.6	31.9
		5	0.3	15.1
L林分	10	1	0.6	29.8
		2	0.4	18.3
		3	0.9	43.5
		4	1.0	47.2
		5	1.7	79.7

表３．サンプル木の諸特性

	個体番号	DBH (cm)	樹高 (m)	林齢 (年)	立木密度 (本/ha)	辺材幅 (cm)	心材幅 (cm)	辺材面積 (cm^2)	心材面積 (cm^2)	葉量 (kg)	葉面積 (m^2)	相対通道面積[*1] (m^2/cm^2)
孤立木	1	7.2	—	—	—	2.5	1.1	36.9	3.8	3.5	10.6	0.29
	2	9.3	—			2.2	2.5	48.1	19.4	6.8	20.7	0.43
	3	13.5	—			4.4	2.4	125.8	17.4	7.8	23.7	0.19
S林分	4	8.4	7.7	23	2600	3.0	1.2	50.3	4.8	3.3	12.0	0.24
	5	9.3	7.0			2.3	2.3	50.5	17.4	2.1	7.7	0.15
	6	12.6	9.2			3.2	3.2	93.9	31.7	6.9	24.8	0.26
M林分	7	17.2	11.5	26	1000	2.6	6.0	117.3	115.0	5.0	25.1	0.21
	8	18.7	11.5			3.2	6.1	155.7	118.8	7.8	39.7	0.25
	9	19.7	11.3			2.9	7.0	150.6	153.6	12.1	61.5	0.41
L林分	10	25.5	18.1	43	—	3.0	9.8	208.7	301.1	9.3	41.8	0.20
	11	29.0	16.4			4.1	10.5	317.9	344.7	19.0	85.8	0.27
	12	34.0	17.3			4.2	12.8	392.8	514.1	21.4	96.7	0.25

[*1] 相対通道面積は、葉面積(m^2)/辺材面積(cm^2)で表される．

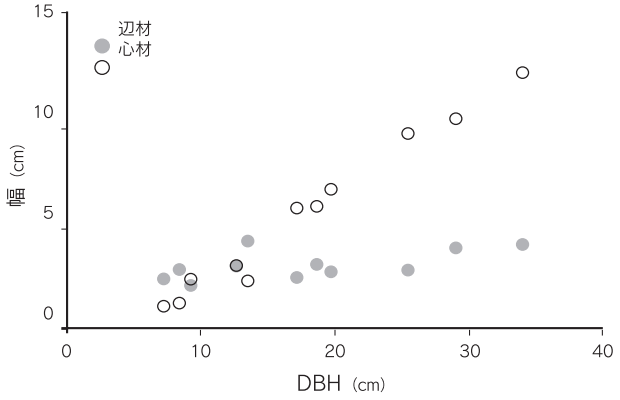

図１．胸高直径（DBH）と辺材幅および心材幅の関係．黒丸は辺材幅を，白丸は心材幅を示す．

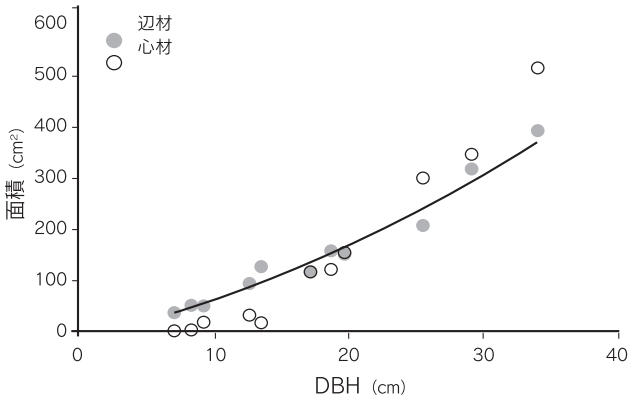

図２．胸高直径（DBH）と辺材面積および心材面積の関係．黒丸は辺材面積を，白丸は心材面積を示す．図中の実線は，累乗回帰による回帰曲線を表す．

より調べた．また，DBHを用いた葉面積等のアロメトリー式は，データの累乗回帰，もしくは線形回帰を行うことで作成した．

３．データ

サンプル木の諸特性を表３に示した．サンプル木は，DBHの範囲が7.2～34.0 cmのものが得られた．

DBHと辺材幅および心材幅の関係を図１に示した．辺材幅と心材幅は，DBHとともに増加する傾向にあった（それぞれ $y = 0.053x + 2.20$, $r = 0.62$, $p < 0.02$，$y = 0.45x - 2.20$, $r = 0.99$, $p < 0.001$）．辺材幅に比べて心材幅の方が大きな増加傾向が見られ，DBHが15cm程度を境に辺材幅より心材幅の方が大きくなる傾向があった．

DBHと辺材面積は，高い相関関係にあった（図２）．辺材面積（A_{S_tree}）のアロメトリー式は，

$$A_{S_tree} = 2.025DBH^{1.4773} (R^2 = 0.97)$$

もしくは，

$$A_{S_tree} = 12.558DBH - 68.171 \ (R^2 = 0.95)$$

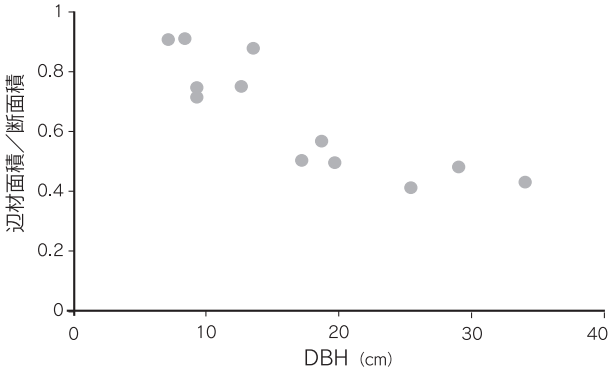

図３．胸高直径(DBH)と断面積に占める辺材面積の割合の関係．

なる式で表された．DBHの増加とともに心材面積も増加する傾向にあった（$y = 18.5x - 178.1$, $r = 0.97$, $p < 0.001$）．心材面積は，DBHがおよそ20cmを境に辺材面積より大きくなる傾向が見られた．そのため，胸高断面積に占める辺材面積の割合は，DBHの増加とともに低下する傾向にあっ

た（図3）．DBHが大きいヒノキでは，辺材面積より樹体支持を行う心材面積の割合が大きくなっていた．

DBHと葉量の関係を図4に示す．葉量（WL）のアロメトリー式は，

$$W_L = 0.3086\mathrm{DBH}^{1.1551} (R^2 = 0.75)$$

もしくは，

$$W_L = 0.6283\mathrm{DBH} - 1.9553 (R^2 = 0.82)$$

なる式で表された．

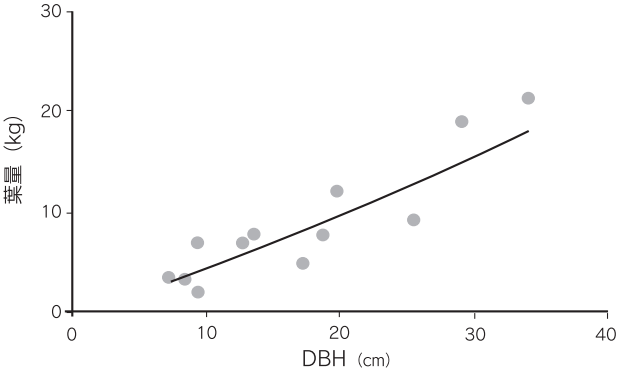

図4．胸高直径（DBH）と葉量の関係．図中の実線は，累乗回帰による回帰曲線を表す．

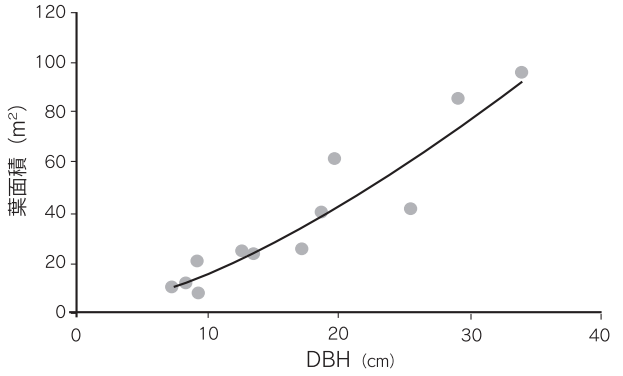

図5．胸高直径（DBH）と葉面積の関係．図中の実線は，累乗回帰による回帰曲線を表す．

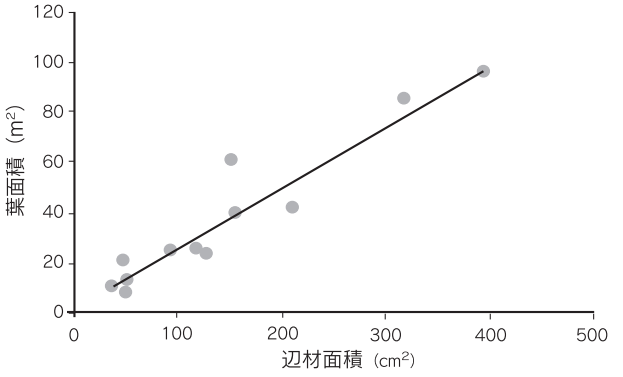

図6．辺材面積と葉面積の関係．図中の実線は，線形回帰による回帰線を表す．

葉面積も辺材面積と同様に，DBHと高い相関関係にあった（図5）．葉面積（A_{S_tree}）のアロメトリー式は，

$$A_{L_tree} = 2.025\mathrm{DBH}^{1.4773} (R^2 = 0.97)$$

もしくは，

$$A_{L_tree} = 3.1513\mathrm{DBH} - 16.17 (R^2 = 0.86)$$

なる式で表された．なお，図6のとおり，辺材面積と葉面積には強い相関が認められた（$y = 0.25x + 1.17, r = 0.95, p < 0.001$）．そのため，葉面積を辺材面積で除することで算出される相対通道面積（$m^2\ cm^{-2}$）はサンプル木間でほぼ同じ値を示し，その平均値は$0.26 \pm 0.079 m^2\ cm^{-2}$だった．

4．おわりに

本資料では，九州大学福岡演習林に生育するヒノキの辺材面積と葉面積データを公開すると同時に，それらを推定するためのアロメトリー式やその他の諸特性データも示した．葉面積の計測のための葉の刈取りは大がかりで困難であるため，貴重な葉面積データであると言える．さらに，日本における辺材面積データの蓄積は少ないため，本データの有効活用が期待される．なお，本データは福岡で得られたものであるため，提示したアロメトリー式は福岡周辺で適応可能であることに注意が必要である．今後は本データに含まれない高齢林のデータの取得や，九州以外の他の地域におけるデータの取得や公開が望まれる．また，ヒノキとともに日本の主要な樹種であるスギの辺材面積や葉面積データの蓄積も有益であろう．本資料が，蒸散研究の一助となることを著者一同願っている．

謝　辞

本計測を行うにあたり，九州大学農学部附属演習林の椎葉康喜氏，長澤久視氏，鍛冶清弘氏には樹木の伐倒をしていただきました．サンプル木の葉の刈取りは，九州大学農学部流域環境制御学研究室のメンバーを中心に行われました．井手淳一郎博士，東直子博士，梅林利弘博士，篠原慶規博士には本研究室に所属中，刈取りの補助を快く引き受けていただきました．本研究は，独立行政法人日本学術振興会の「組織的な若手研究者等海外派遣プログラム」，福岡県水源の森基金による支援を受けました．また，本稿に対して，二人の査読者の方々には有益なご意見をいただきました．ここに記して深く感謝いたします．

引用文献

Buckley TN, Roberts DW (2005) How should leaf area, sapwood area and stomatal conductance vary with tree height to maximize growth? Tree Physiol 25: 145–157

Čermák J, Kučera J, Nadezhdina N (2004) Sap flow measurements with some thermodynamic methods,

flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands. Trees 18: 529−546

Deckmyn G, Evans SP, Randle TJ (2006) Refined pipe theory for mechanistic modeling of wood development. Tree Physiol 26: 703−717

Enoki T, Inoue T, Tashiro N, Ishii H (2011) Aboveground productivity of an unsuccessful 140-year-old Cryptomeria japonica plantation in northern Kyushu, Japan. J For Res 16: 268−274

Ford CR, Hubbard RM, Kloeppel BD, Vose JM (2007)A comparison of sap flux-based evapotranspiration estimates with catchment-scale water balance. Agric Forest Meteorol 145: 176−185

Granier A, Biron P, Köstner B, Gay LW, Najjar G (1996) Comparisons of xylem sap flow and water vapour flux at the stand level and derivation of canopy conductance for Scots pine. Theoret Appl Climat 53: 115−122

後藤義明・小南裕志・深山貴文・玉井幸治・金澤洋一 (2003) 京都府南部地方における広葉樹二次林の地上部現存量及び純生産量. 森林総合研究所研究報告 387: 115−147

Kumagai T, Nagasawa H, Mabuchi T, Ohsaki S, Kubota K, Kogi K, Utsumi Y, Koga S, Otsuki K (2005) Sources of error in estimating stand transpiration using allometric relationships between stem diameter and sapwood area for ***Cryptomeria japonica*** and ***Chamaecyparis obtusa***. For Ecol Manage 206: 191−195

Kumagai T, Tateishi M, Shimizu T, Otsuki K (2008) Transpiration and canopy conductance at two slope positions in a Japanese cedar forest watershed. Agric Forest Meteorol 148: 1444−1455

Mencuccini M, Bonosi L (2001) Leaf/sapwood area ratios in Scots pine show acclimation across Europe. Can J For Res 31: 442−456

Morikawa Y, Hattori S, Kiyono Y (1986) Transpiration of a 31-year-old ***Chamaecyparis obtusa*** Endl.stand before and after thinning. Tree Physiol 2: 105−114

Oren R, Pataki DE (2001) Transpiration in response to variation in microclimate and soil moisture in southeastern deciduous forests. Oecologia 127: 549−559

四手井綱英・赤井龍男・斎藤秀樹・河原輝彦 (1974) ヒノキ林−その生態と天然更新−. 地球社, 東京

Simonin K, Kolb TE, Montes-Helu M, Koch GW (2006) Restoration thinning and influence of tree size and leaf area to sapwood area ration on water relations of ***Pinus ponderosa***. Tree Physiol 26: 493−503

Valentine H (1985) Tree-growth model: derivations employing the pipe-model theory. J Theor Biol 117: 579−585

Vanninen P, Ylitalo H, Sievänen R, Mäkelä A (1996) Effects of age and site quality on the distribution of biomass in Scots pine (***Pinus sylvestris*** L.)Trees 10: 231−238

Vertessy RA, Watson FGR, O'Sullivan SK (2001) Factors determining relations between stand age and catchment water balance in mountain ash forests. For Ecol Manage 143: 13−26

White D, Beadle C, Worledge D, Honeysettt J, Cherry M (1998) The influence of drought on the relationship between leaf and conducting sapwood area in ***Eucalyptus globulus*** and ***Eucalyptus nitens***. Trees 12: 406−414

Wilson KB, Hason PJ, Mulholland PJ, Baldocchi DD, Wullschleger SD (2001) A comparison of methods for determining forest evapotranspiration and its components: sap-flow, soil water budget, eddy covariance and catchment water balance. Agric Forest Meteorol 106: 153−168

Zimmermann R, Schulze ED, Wirth C, Schulze EE, McDonald KC, Vygodskaya NN, Ziegler W (2000) Canopy transpiration in a chronosequence of Central Siberian pine forests. Global Change Biol 6: 25−37