

加拿大進口針葉樹材之物理及機械性質¹

洪國榮² 林仁政³

【摘要】本研究主要是測定進口自加拿大之西部側柏(*Thuja plicata D. Don*)、花旗松(*Pinus Douglasii Car.*)、西部鐵杉(*Tsuga heterophylla Sarg.*)和阿拉斯加扁柏(*Chamaecyparis nootkatensis*)等四種針葉樹材之物理與機械性質。木材經硝化纖維素塗料塗裝後，西部側柏顏色變化最大(ΔE^* 值最高)，光澤度增加以花旗松最高。收縮率以花旗松最高；吸水率則以西部側柏最大。暴露在 40°C、90% R.H. (EMC=19%)環境下，花旗松之縱向壓縮強度和靜曲強度明顯下降。

【關鍵詞】針葉樹材、物理性質、機械性質

Physical and Mechanical Properties of Softwoods Imported from Canada¹

Kuo-Jung Hong² Jen-Cheng Lin³

【Abstract】The purpose of this study was to measure the physical and mechanical properties of western red cedar, Douglas-fir, western hemlock, and yellow cedar imported from Canada. The variations in color were higher for western red cedar after the coat-treatment by using NC lacquer coatings. The values of shrinkage (%) was higher for Douglas-fir, the water absorption (%) was higher for western red cedar. The compressive strength parallel to grain, static bending strength, and shear strength of Douglas-fir were evidently reduced when exposed to the conditions of 40°C、90 % R.H.(EMC=19 %).

【Key words】softwood、physical property、mechanical property

一、前言

台灣位處亞熱帶氣候溫和、雨量豐富，森林資源豐富，然因地理環境與地形因素，森林木材的蓄積量無法供應國內林業使用。棲蘭山林區枯立倒木處理引發生態保育爭議，然而客觀情況卻是台灣木材自給率偏低的危機。由以上種種原因

可以發現台灣木材資源的不足與無奈，僅能向外求援進口木材，舉凡東南亞、非洲、北美地區、歐洲、紐西蘭與智利等皆有木材進口。

根據台灣林業資料統計，1960年代省產材佔有率為86%，1970年省產材佔45%，至1980年代進口材佔有率達96.8%左右(何明根，

¹ 本研究承行政院農委會之經費補助，僅此致謝。

This research project was sponsored by Council of Agriculture, Executive Yuan.

² 國立中興大學森林學系教授、研究生

Professor, Dept. of Forestry, NCHU.

³ 國立中興大學森林學系教授、研究生

Graduate student, Dept. of Forestry, NCHU.

1994)。自1989年至1992年之間，從國外進口針葉樹原木以美國 43.2% 最多，越南 6.8% 次之，加拿大再次之；闊葉樹材則以馬來西亞之 78.9% 為最多，美國 7.3% 其次。製材方面，針葉樹以加拿大之 46% 最多、美國 12% 其次，越南 8.1% 再次。闊葉樹則以馬來西亞之 36.3% 最多，美國 20.9% 次之，印尼 19.8 再次，加拿大 5.5%，越南 4.4% 較少(王松永，1994)。

至 1996 年，檜木類針葉樹製材進口量以中國大陸 35.3% 最多，美國 34.1% 次之，越南 16.6% 再次，加拿大 6.9% 居後；除檜木類針葉樹製材外，以加拿大 40.2% 最多，紐西蘭 16.9% 其次，智利 14.4% 再次，中國大陸 9.2% 居後；若以針葉製材合計進口量來估算時，亦以加拿大 39.7% 最多，紐西蘭 16.6% 其次，智利 14.1% 再次，中國大陸 9.6% 居後(李俊彥、廖坤福，1998)。

台灣所需的木材 98.4% 來自進口材，1.6% 來自省產材，由此可見本省對進口材依賴之嚴重程度(何明根等，1994；連錦漳，1994)。近年來美國及加拿大之針葉樹材已逐漸成為台灣重要原木及製材的供應地區，供為家具、建築用材、裝潢材料、原木屋等用途，又六年國建之進行，對於建築、土木用材、混凝土模板用材需求殷切，這些材料均可取代南洋之闊葉樹材。

根據研究美國產五種木材之性質進行測定，結果發現彼此間性質差異非常大(王松永，1984)；同時亦有學者非常完善地整理出北美產針葉樹材之分布、特徵與利用特性(Harry, 1997)；國內林業試驗所也整理出重要商用木材之一般性質(馬子斌等，1992)；筆者也研究台灣

產紅檜木材之強度性質變異性，發現在同一株木材內木材性質亦所差異(洪國榮等，1991)。因此木材的物理及機械性質會隨著緯度和氣候的差異而有所不同，生長在加拿大與美國地區之針葉樹材可能也會有所差異。現今加拿大之針葉樹材已逐年被木業界所使用，然而加拿大木材之基本性質卻無相關研究提出，筆者希望藉由基礎的性質測定來了解加拿大木材之材質變化，以作為木業界利用或學術研究之參考。

二、材料與方法

(一)材料

1.木材

本試驗所使用的木材種類如表 1 所示：

2.塗料

硝化纖維素拉卡二度底漆(品名#151)和透明面漆(品名#154)均採用市售木工裝潢用蝴蝶牌塗料(國豐造漆)。

(二)方法

1.試材製作

將上述之氣乾試材以鉋光機處理後，分別依下列規格予以裁切，將裁切後的試材置於 20°C、65 % R.H.(EMC=12 %)環境下調濕 14 天。

(1)收縮率(percentage of shrinkage)：

$$2(R) \times 2(T) \times 2(L) \text{ cm}$$

(2)吸濕率(percentage of humidity absorption)及厚度膨潤率(percentage of thickness swelling)：

$$3(R) \times 3(T) \times 0.5(L) \text{ cm}$$

(3)吸水率(percentage of water absorption)及厚度膨潤率(percentage of thickness swelling)：

$$3(R) \times 3(T) \times 10(L) \text{ cm}$$

表 1. 試驗用材料

Table 1. Specimens for experiment.

樹種	學名	英文名
西部側柏	<i>Thuja plicata D. Don</i>	western red cedar
花旗松	<i>Pinus Douglasii Car.</i>	Douglas-fir
西部鐵杉	<i>Tsuga heterophylla Sarg.</i>	western hemlock
阿拉斯加扁柏	<i>Chamaecyparis nootkatensis</i>	yellow cedar

(4)機械強度

① 縱向壓縮強度(compressive strength parallel to grain) :

$$2(R) \times 2(T) \times 6(L) \text{ cm}$$

② 靜力彎曲(static bending) : $2(R) \times 2(T) \times 32(L) \text{ cm}$

③ 剪斷強度(shear strength) : $2(R) \times 2(T) \times 4(L) \text{ cm}$

④ 硬度(hardness) : $3(R) \times 3(T) \times 3(L) \text{ cm}$

(5) 耐磨性(abrasive resistance) :

$$9(R) \times 9(T) \times 0.5(L) \text{ cm}$$

2. 性質測定

(1) 比重(specific gravity)

測定試材氣乾狀態下之質量(Wa)及體積(Va), 依下式計算比重變化 :

$$\begin{aligned} \text{比重} &= (W_a) / (V_a) \\ W_a &: \text{氣乾質量(g)} \\ V_a &: \text{氣乾體積(cm}^3) \end{aligned}$$

(2) 表面顏色及光澤度

試材先以# 240號砂紙砂磨後, 測定木材花色及光澤度(gloss), 隨後噴塗二度底漆, 俟充分乾燥24小時後, 以# 280號砂紙輕微砂磨, 擦拭乾淨後再噴塗NC lacquer透明面漆, 24小時後再測定其顏色及光澤度變化。

將試材以色差計(CR-200)測定其顏色變化, 並可經由色差值 ΔE^* 的大小來判斷其顏色變化。顏色的變化是以國際照明委員會(Commission International del' Eclairage; CIE)於1976推薦之CIE所建立之 L^* 、 a^* 、 b^* 值(表色體系)來表示顏色差異之方法。 L^* 表色之明度(light), 完全白色為100, 絕對黑為0; $+a^*$ 表示為紅色, $-a^*$ 表示為綠色, a^* 值越大表示越偏向紅色, 負值越大顏色越偏向綠色; $+b^*$ 代表黃色, $-b^*$ 為藍色的代表。木材光澤度則使用光澤測定器, 測試角度為 60° , 並以平行木理測定之。色差值之計算式如下:

$$\Delta E^* = [(L^*_t - L^*_c)^2 + (a^*_t - a^*_c)^2 + (b^*_t - b^*_c)^2]^{1/2}$$

ΔE^* = 色差值

L^*_c 、 a^*_c 、 b^*_c : 素材之 L^* 、 a^* 、 b^* 值

L^*_t 、 a^*_t 、 b^*_t : 塗裝後之 L^* 、 a^* 、 b^* 值

(3) 收縮率

試材以測微器(micrometer)量出氣乾材之

纖維方向(fiber direction)、徑向(radial direction)、弦向(tangential direction)之尺寸; 然後置於 105°C 烘箱中乾燥至恆重, 並量取纖維方向、徑向、弦向之尺寸, 計算試材之收縮率, 計算式如下:

$$\begin{aligned} \text{收縮率 } S_r(\%) &= [(L_1 - L_0) / (L_1)] \times 100 \\ L_1 &: \text{絕乾前之尺寸(cm)} \\ L_0 &: \text{絕乾後之尺寸(cm)} \end{aligned}$$

(4) 吸濕率及厚度膨潤率

為測定各試材間之尺寸穩定性, 將試材置於 103°C 烘箱中至絕乾狀態, 測量木材絕乾質量(W_0)及徑向(R)、弦向(T)與纖維方向(L)之尺寸, 然後再置於 40°C 、90% R.H. (EMC=19%)環境下至飽和, 計算木材調濕前後之質量與尺寸變化, 計算試材之吸濕率與厚度膨潤率, 如下所示:

$$\begin{aligned} \text{吸濕率}(\%) &= [(W_a - W_0) / (W_0)] \times 100 \\ W_a &: \text{吸濕後的質量(g)} \\ W_0 &: \text{吸濕前的質量(g)} \\ \text{厚度膨潤率}(\%) &= [(L_a - L_0) / (L_0)] \times 100 \\ L_a &: \text{吸濕後之尺寸(cm)} \\ L_0 &: \text{吸濕前之尺寸(cm)} \end{aligned}$$

(5) 吸水率及厚度膨潤率

將試材烘至絕乾後, 垂直置入蒸餾水中約50mm, 並使纖維方向與水面成平行, 浸水24小時, 試驗用水保持 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 。木材之吸水率與厚度膨潤率依下式計算:

$$\begin{aligned} \text{吸水率}(\%) &= [(M_2 - M_1) / (M_1)] \times 100 \\ M_2 &: \text{吸水後重量(g)} \\ M_1 &: \text{吸水前重量(g)} \\ \text{TS}(\%) &= [(T_2 - T_1) / (T_1)] \times 100 \\ \text{TS}(\%) &: \text{厚度膨潤率(徑向、弦向與體積膨潤率)} \\ T_2 &: \text{吸水後尺寸(cm)} \\ T_1 &: \text{吸水前尺寸(cm)} \end{aligned}$$

(6) 機械強度

為了解水分對木材強度性質之影響, 分別將試材置於 20°C 、65% R.H.(EMC=12%)和 40°C 、90% R.H.(EMC=19%)環境下。試材之強度性質均以萬能強度試驗機(Universal testing machine, 日本SHIMAZU廠UEH-10型)試驗之, 試材重複次數為10次。茲分述如下:

①縱向壓縮強度

載重方向與試材木理成平行，載重速度以每分鐘應力不超過 150 kgf/cm² 為準，計算其最大抗壓強度，計算公式為：

$$\sigma = P_{\max} / A$$

σ ：縱向壓縮強度(kgf/cm²)
 P_{\max} ：最大載重(kgf)
 A ：載重面積(cm²)

②靜力彎曲

使用中央集中荷種方式，跨距為試材厚度之 14 倍即 28 公分，承受載重面為弦向面，由載重及繞度曲線圖求出各試材比例限界之應力、破壞係數(modulus of rupture, MOR)及彈性係數(modulus of elasticity, MOE)，其計算公式如下：

$$MOR(kgf/cm^2) = (3P_{\max} \cdot L) / (2 \cdot b \cdot h^2)$$

$$MOE(kgf/cm^2) = (\Delta P \cdot L^3) / (4 \cdot \Delta D \cdot b \cdot h^3)$$

P_{\max} ：最大載重(kgf)
 ΔP ：比例限界之載重(kgf)
 ΔD ：比例限界撓曲量(cm)
 L ：跨距(cm)
 b ：試材寬度(cm)
 h ：試材厚度(cm)

③剪斷強度

剪斷面分為徑向與弦向面兩種，剪斷面積為 2 × 2 cm，其計算公式為：

$$S = P / A \quad (kgf/cm^2)$$

P ：剪斷破壞載重(kgf)
 A ：剪斷面積(cm²)

④硬度

以 Brinell 硬度法測定之，為抗凹硬度(indentation hardness)，選用之鋼球直徑為 10mm，分別測定橫向、徑向與弦向面。載重速

度為 1mm/min。其計算式如下：

$$H_B = P / 10$$

H_B ：硬度(kgf/mm²)
 P ：鋼球壓入 0.32mm 之載重值(kgf)

(7)耐磨性

將試材裁切成八角型，並在中心處鑽一直徑 0.5cm 之小孔，在圓形的軌跡上分別標記 8 個測點，以耐磨試驗機(Taber model 503 Abrasive Tester)在一定載重(500g)、H22 號磨輪下，共旋轉 1000 轉，計算重量損失情形。

三、結果與討論

(一)顏色與光澤度

木材色澤會影響使用者對木材利用之喜好程度，不同的場合使用不同色調的木材以增顯其美感。另外一方面，塗裝處理所使用的溶劑常會影響木材之抽出成分(extractives)，造成木材顏色若干變化；再者當木材暴露在室外時，由於受天候(陽光、水分與空氣)之影響，也常會迫使木材轉深或變淡。表 2 為加拿大產針葉樹材之表面顏色變化以色差值(ΔE^*)表示之，經過砂磨處理後新鮮材以阿拉斯加扁柏(yellow cedar) L^* 值(明度)最高，其次是西部鐵杉(western hemlock)及花旗松(Douglas-fir)，明度最低者為西部側柏(western red cedar)。

經過塗裝後 ΔE^* 值越高者顏色變化越大，由表 2 可以清楚地發現西部側柏 ΔE^* 值(8.74)最高，其次為花旗松、阿拉斯加扁柏，顏色變化最少者為西部鐵杉。西部側柏經塗裝處理後顏色變化最大，西部鐵杉顏色改變最少，幾乎與新鮮材

表 2. 試材之表面顏色變化
 Table 2. Surface color variations of specimens.

樹種	素材			塗裝後			ΔE^*
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	
阿拉斯加扁柏	76.50	3.11	23.82	76.68	2.93	27.89	4.08
花旗松	65.01	10.98	24.45	61.56	12.41	29.08	5.95
西部側柏	50.51	8.72	21.28	43.67	12.25	25.41	8.74
西部鐵杉	73.93	5.22	19.16	72.20	5.54	21.19	2.69

表 3. 試材之光澤度變化
Table 3. The gloss variation of specimens.

樹種	素材	塗裝材	光澤度增加率(%)
阿拉斯加扁柏	7.9	34.4	333.3
花旗松	6.2	56.9	812.2
西部側柏	5.1	35.6	602.8
西部鐵杉	8.5	27.8	228.1

相似。

表 3 為新鮮材與塗裝後之光澤度變化，新鮮材以西部鐵杉光澤度最高，其次為阿拉斯加扁柏、花旗松，最低者為西部側柏。經塗裝處理後以花旗松光澤度提昇最大，其次為西部側柏，而西部鐵杉光澤度增加最少；新鮮材以阿拉斯加扁柏和西部鐵杉光澤度最高，經塗裝後花旗松及西部側柏光澤度明顯增大。花旗松明顯光澤度增加，其原因可能為四種針葉樹材中比重最高，纖維結構密實，細胞壁含量較高，細胞間隙及細胞腔相對較少，經二度底漆及面漆處理後完全填充細胞孔隙，形成平滑光澤表面所導致。

(二)物理性質

各試材之比重以西部側柏(0.38 ± 0.04)最低，其次為西部鐵杉(0.47 ± 0.02)、阿拉斯加扁柏(0.52 ± 0.06)，比重最高者為花旗松(0.58 ± 0.08)。比重較高者收縮率相對較大，因此不論徑向(R)或弦向(T)收縮率皆以花旗松最高，如表 4 所示，若以 T/R 值表示木材之異方性，T/R 值越大表示異方性越大，西部側柏 T/R 值為 2.26 為最高，其次為花旗松 1.29、西部鐵杉 1.26，異方性最小者

為阿拉斯加扁柏 1.14。另外一方面，阿拉斯加扁柏比重較高於西部鐵杉，收縮率較西部鐵杉為低，同時異方性亦較西部鐵杉為低，顯示該木材有較高的尺寸安定性(dimensional stability)。

在吸濕率及厚度膨潤率上，由表 4 也可以清楚地看出西部側柏吸濕率最低，而其他三種針葉樹材則彼此差異不大；吸濕率與木材比重有關，一般而言，比重較高者吸濕率及厚度膨潤率較大。徑向膨潤率以西部側柏最低(1.56%)，花旗松和西部鐵杉為最高；弦向膨潤率也以西部側柏最低，最高者為西部鐵杉，整體體積膨潤率以西部鐵杉為最高，顯示此樹種最容易吸濕而被膨潤。

在吸水率方面，則以西部側柏為最高(94.24%)，此乃其比重較低，細胞腔及細胞間隙相對較多，水分容易藉由毛細管現象存在於這些孔隙中，因此吸水率明顯較高；而花旗松比重較高，孔隙較少吸水率則為最低(51.40%)。再者，徑向及弦向厚度膨潤皆以西部鐵杉為最高，西部側柏與吸濕性相同，擁有較低的厚度膨潤率。整體看來西部鐵杉不論在吸濕或吸水試驗上皆有較大的膨潤性，顯示此木材容易在高濕或飽水環境下被

表 4. 試材之物理性質
Table 4. Physical properties of specimens.

樹種	比重	含水率 (%)	全收縮率 (%)			異方性 (T/R)	吸濕率 (%)	吸濕厚度膨潤率(%)		吸水率 (%)	吸水厚度膨潤率(%)	
			R	T	V			R	T		R	T
阿拉斯加扁柏	0.52	12	2.21	2.53	5.24	1.14	21.22	3.07	4.73	67.39	3.42	5.24
花旗松	0.58	12	3.91	5.02	10.84	1.29	21.09	3.62	5.16	51.40	3.92	6.03
西部側柏	0.38	12	1.16	2.63	3.34	2.26	18.48	1.56	4.28	94.24	2.02	4.89
西部鐵杉	0.47	12	2.42	3.06	7.05	1.26	21.80	3.62	7.03	68.60	4.05	8.11

R 為徑向，T 為弦向，V 為體積。

膨潤而呈現較差的尺寸安定性；而西部側柏雖有較高的吸水率，而其厚度膨潤卻是所有木材中最低，顯示該木材有較高的尺寸安定性。

(三)機械性質

加拿大產針葉樹材之縱向壓縮強度值如表 5 所示，在(20°C、65%R.H.(EMC=12%)環境下，試材之縱向壓縮強度以花旗松為最高，其次為阿拉斯加扁柏、西部鐵杉，最低者為西部側柏；就標準差論之也以花旗松(75.7kgf/cm²)為最高，顯示該木材強度變異性較大，而西部鐵杉(19.8 kgf/cm²)標準差最低，表示其材質較為均一。

再者將強度以比重除之，所求得之比強度值可以清楚的發現以西部側柏為最高，花旗松及阿拉斯加扁柏差異不大，而西部鐵杉最低。以比強度值視之，反而以比重最低之西部側柏強度值最高。

所有的試材經40°C、90%R.H.(EMC=19%)調濕處理後，觀察水分對木材強度性質之影響，結果發現以花旗松(49.9%)強度下降最多，阿拉斯加扁柏(37.9%)及西部鐵杉(36.5%)差異不大，西部側柏(29.7%)強度下降最少；就比強度值而言，也有相同的結果。西部側柏不僅比強度值最高，同時於40°C、90%R.H.(EMC=19%)環境下，強度下降最少；而花旗松受水分影響最大，

強度下降最多。推究其原因為高比重木材相對地細胞壁含量較多，高含水率狀態下水分子直接與細胞壁親水基-羥基(-OH group)結合而膨潤細胞壁，細胞壁乃維繫整體強度值之關鍵，因此強度明顯受到影響而下降。

木材之靜曲強度變化如表 6 所示，就靜曲破壞係數(MOR)論之，以阿拉斯加扁柏及花旗松(兩者差異不大)為最高，其次為西部鐵杉，最低者為西部側柏，其中西部鐵杉標準差最高，顯示 MOR 變異性較大；比強度則以阿拉斯加扁柏為最高，西部側柏最低。靜曲彈性係數(MOE)亦有同樣的趨勢，隨著試材比重的增加強度值明顯增大；MOE 比強度也以花旗松為最高，比重最低之西部側柏則居次，阿拉斯加扁柏最低。

經 40°C、90%R.H.(EMC=19%)調濕處理後，MOR 下降百分率以花旗松(82.3%)為最高，其次為西部鐵杉(43.3%)、阿拉斯加扁柏(35.9%)，MOR 下降最少者為西部側柏(31.8%)，其結果與縱向壓縮強度相同，亦就是高比重木材亦受水分子影響而強度下降。MOR 比強下降百分率也有同樣的趨勢。在 MOE 下降百分率上，則以西部鐵杉(35.8%)為最高，花旗松(34.9%)居次，最低者為阿拉斯加扁柏(7.35)，MOE 比強度下降百分

表 5. 試材之縱向壓縮強度

Table 5. The compressive strength parallel to grain of specimens.

樹種	20°C、65% R.H. (EMC=12%)			40°C、90% R.H. (EMC=19%)				
	比重	強度 (kgf/cm ²)	比強度 (kgf/cm ²)	比重	強度 (kgf/cm ²)	比強度 (kgf/cm ²)	強下降 (%)	比強下降 (%)
阿拉斯加扁柏	0.52 (0.06)	433.6 (68.3)	825.2 (42.9)	0.50 (0.04)	261.2 (38.1)	489.7 (36.0)	37.9	40.3
花旗松	0.58 (0.08)	477.9 (75.7)	826.9 (55.1)	0.54 (0.11)	237.3 (61.5)	440.1 (50.2)	49.9	46.5
西部側柏	0.38 (0.04)	324.3 (42.1)	845.3 (66.1)	0.38 (0.04)	223.9 (26.4)	586.6 (30.1)	29.7	30.2
西部鐵杉	0.47 (0.02)	380.2 (19.8)	806.2 (39.3)	0.47 (0.01)	241.1 (12.1)	514.1 (18.0)	36.5	36.1

括號()為標準偏差。

表 6. 試材之靜曲強度

Table 6. The static bending strength of specimens.

樹種	比重	20°C、65 % R.H. (EMC=12 %)				40°C、90 % R.H. (EMC=19 %)							
		MOR (kgf/cm ²)	比強 (kgf/cm ²)	MOE (10 ³ kgf/cm ²)	比強 (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)	比強 (kgf/cm ²)	MOE (10 ³ kgf/cm ²)	比強 (kgf/cm ²)	MOR 下降(%)	比MOR 下降(%)	MOE 下降(%)	比MOE 下降(%)
阿拉斯加扁柏	0.52 (0.06)	854.8 (151.7)	1658.4 (90.8)	8.3 (1.3)	16.2 (0.8)	547.3 (103.0)	981.7 (94.3)	7.7 (2.3)	13.7 (2.9)	35.9	40.8	7.3	15.2
花旗松	0.58 (0.08)	851.1 (61.6)	1509.5 (126.7)	10.7 (0.7)	19.9 (1.5)	150.4 (6.4)	279.9 (40.8)	6.9 (1.3)	12.8 (1.4)	82.3	81.5	34.9	32.9
西部側柏	0.38 (0.04)	543.5 (90.9)	1458.3 (80.1)	6.5 (1.2)	17.5 (1.4)	370.8 (19.5)	971.1 (68.2)	4.7 (0.8)	12.4 (2.4)	31.8	33.4	27.6	29.1
西部鐵杉	0.47 (0.02)	751.6 (191.4)	1561.7 (216.5)	8.3 (3.1)	17.2 (5.5)	426.1 (47.1)	886.2 (35.6)	5.3 (1.3)	11.1 (2.9)	43.3	43.3	35.8	35.5

括號()為標準偏差。

率也具有相同的結果。由上述結果發現花旗松不論在MOR或MOE上皆易受水分之影響而降低強度，因此此類之木材則不適合使用在室外或高含水率環境下。西部側柏 MOR 下降最低，阿拉斯加扁柏之 MOE 下降最低，兩種材料使用於室外時應有較佳之強度保留性。

表7為試材之剪斷強度，在氣乾狀態下(20°C、65%R.H.，EMC=12%)除阿拉斯加扁柏外，其餘三個樹種皆徑向強度大於弦向強度，比強度亦有同樣之結果。以比強度而言，西部鐵杉(225.9 kgf/cm²)與花旗松(227.8 kgf/cm²)徑向剪斷強度為最高，最低者為阿拉斯加扁柏(166.4 kgf/cm²)。弦

向剪斷比強度則以阿拉斯加扁柏(231.4 kgf/cm²)為最高，花旗松(172.7 kgf/cm²)為最低。由上述的結果得知阿拉斯加扁柏徑向剪斷比強度最低，而弦向剪斷比強度則為最高，此結果恰好與花旗松相反。

經 40°C、90%R.H.(EMC=19%)環境調濕後，徑向剪斷強度下降以花旗松之 37.3% 為最高，其次為西部鐵杉、阿拉斯加扁柏之 29.3% 與 20.7%，西部側柏之 19.4% 為最低。而在弦向剪斷強度下降百分率上以阿拉斯加扁柏(39.5%)及花旗松(34.3%)明顯高於西部鐵杉(8.1%)及西部側柏(4.9%)，顯示西部鐵杉及西部側柏弦向剪斷強

表 7. 試材之剪斷強度

Table 7. The Shear strength of specimens.

樹種	比重	20°C、65 % R.H.(EMC=12 %)				40°C、90 % R.H.(EMC=19 %)							
		強度(kgf/cm ²)		比強度(kgf/cm ²)		強度(kgf/cm ²)		比強度(kgf/cm ²)		強度下降(%)		比強下降(%)	
		R	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R	T
阿拉斯加扁柏	0.52 (0.06)	86.5 (21.3)	120.3 (8.5)	166.4 (41.1)	231.4 (16.4)	68.6 (13.9)	72.8 (9.8)	129.4 (26.3)	137.3 (18.5)	20.7	39.5	22.2	40.7
花旗松	0.58 (0.08)	127.5 (18.7)	96.7 (26.9)	227.8 (33.4)	172.7 (48.0)	80.0 (9.8)	63.5 (9.4)	148.2 (18.1)	117.6 (17.4)	37.3	34.3	34.9	31.9
西部側柏	0.38 (0.04)	82.7 (6.2)	79.2 (11.7)	223.6 (16.7)	214.1 (31.6)	66.7 (7.9)	75.3 (14.3)	175.4 (20.9)	198.1 (37.8)	19.4	4.9	21.5	7.5
西部鐵杉	0.47 (0.02)	108.4 (25.9)	100.1 (23.4)	225.9 (53.9)	208.7 (48.8)	76.7 (8.2)	92.1 (7.7)	163.1 (17.4)	195.9 (16.3)	29.3	8.1	27.8	6.1

括號()為標準偏差。

R 為徑切面，T 為弦切面。

表 8. 試材之硬度與耐磨性

Table 8. Hardness and abrasive resistance of specimens.

樹種	硬度 (kgf/mm ²)			耐磨重量損失 (%)
	C	R	T	
阿拉斯加扁柏	3.4	1.5	1.5	0.7
花旗松	5.9	2.4	2.0	0.4
西部側柏	2.5	1.0	0.9	1.5
西部鐵杉	5.0	2.1	2.1	0.8

C 為橫切面，R 為徑切面，T 為弦切面。

度受水分影響較低。除阿拉斯加扁柏外，均以徑向剪斷強度下降百分率明顯高於弦向。在比強度下降上，以西部側柏下降最少。

木材之硬度與耐磨性如表 8 所示，所有試材皆以橫切面(C)硬度值高於徑切面(R)與弦切面(T)，徑切面與弦切面兩者差異不大。其中以花旗松橫切面硬度值最高，乃因花旗松秋材帶明顯，秋材率偏高且比重較大，因此強度值會偏高，而西部側柏比重較低，秋材帶不明顯，硬度值則較低。經耐磨試驗後也以花旗松(0.4%)重量損失最低，其次為阿拉斯加扁柏(0.7%)、西部鐵杉(0.8%)，重量損失最高者為西部側柏(1.5%)，此結果與硬度值相同。由此可以發現木材之硬度與耐磨性受本身比重之影響甚鉅，比重較高者硬度較高、耐磨性較佳，低比重木材則偏低。

四、結論

1. 木材經 NC 拉卡塗裝處理後，以西部側柏顏色改變最大，而西部鐵杉顏色變化最少；同時未塗裝處理前以西部鐵杉光澤度最高，塗裝處理後則以花旗松光澤度增加最為明顯。
2. 體積收縮率以花旗松為最高，西部側柏最低；吸濕率以西部側柏最低，阿拉斯加扁柏、花旗松及西部鐵杉差異不大。吸濕與吸水厚度膨潤以西部鐵杉為最高。吸水率則以西部側柏最高。
3. 試材經 40°C、90%R.H.(EMC=19%)環境調濕後，花旗松之縱向壓縮強度及靜曲破壞強度(MOR)下降最為明顯。靜曲彈性係數(MOE)以西部鐵杉受水分影響強度下降最大，阿拉斯加扁柏，MOE 下降最少。剪斷強度除阿拉斯加

扁柏外強度下降均以徑向高於弦向；整體強度下降最少者為西部側柏。

五、參考文獻

- 王松永(1976)南洋材之物理性質與機械性質之研究。台大與國科會合作研究報告 13：183-252。
- 王松永(1984)五種美國產木材之性質試驗。林產工業 3(2)：41-47。
- 王松永(1994)北美地區在今後我國木材料源供應上之重要性。林產工業 13(1)：173-178。
- 何明根、惠忠海、連錦漳(1994)台灣木材供需與資源永續發展之研究。經濟部八十三年度研究報告 1-8 頁。
- 李俊彥、廖坤福(1998)台灣地區主要林木產品進出口量表。中華民國林產事業協會研究報告 13-16 頁。
- 洪國榮、王松永(1991)紅檜木材強度性質之變異性。中興大學實驗林研究報告 13(1)：91-119。
- 馬子斌、陳政靜、熊如珍、黃清吟、陳欣欣、翟思湧(1992)重要商用木材之一般性質。林業試驗所林業叢刊第1號，林業試驗所出版。中華民國台北市。
- 連錦漳(1994)台灣木材供需與森林資源發展體系之研究。國立台灣大學森林研究所博士論文。中華民國台北市。
- Alden, Harry A.(1997) Softwoods of North America. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-102. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 151 p.