

## 研究報告

## 九種戶外用材之物理力學性質及其抗生物劣化性評估

趙偉成<sup>1</sup> 鄭雅文<sup>1</sup> 林育群<sup>1</sup> 陳俞甯<sup>1</sup> 楊德新<sup>1,\*</sup>

【摘要】本研究主要評估九種戶外常見來自南洋與中南美產木材之基本物理與力學性質及其抗生物劣化性（抗家白蟻性與耐腐朽性），相關試驗依國家標準進行。結果指出，九種木材之徑向全收縮率與弦向全收縮率分別介於3.97%~12.31%與6.58%~14.56%間，其中以蒜果木（*Scorodocarpus borneensis*）之橫向收縮率值最高，顯示較差之尺寸安定性。九種木材之抗彎強度與彈性模數、抗壓強度與抗剪強度性質方面，其值介於100.0~175.2 MPa、10.0~17.5 GPa、47.8~84.1 MPa以及12.3~21.5 MPa間。經過21天家白蟻試驗與12週的腐朽菌試驗後，可發現婆羅洲鐵木（*Eusideroxylin* spp.）具有較佳的抗生物劣化性。

【關鍵詞】物理力學性質、抗家白蟻性、耐腐朽性

Research paper

## Evaluation of the physicommechanical properties and biodeterioration resistance of nine commercial wood in outdoor applications

Wei-Cheng Chao<sup>1</sup> Ya-Wen Cheng<sup>1</sup> Yu-Chun Lin<sup>1</sup> Yu-Ning Chen<sup>1</sup> Te-Hsin Yang<sup>1,\*</sup>

【Abstract】 This study evaluated the physico-mechanical properties, decay and termite resistance of the commercial wood which were used widely in outdoor applications. Nine commercial hardwood species from Southeast Asia and Latin America were selected and tested for their fundamental properties and resistance to termite (*Coptotermes formosanus*) and fungi (*Laetiporus sulphureus*, *Lenzites betulina*) by the CNS standards. Among the all species, Ungsunah wood (*Scorodocarpus borneensis*) showed the highest transverse shrinkage, and the shrinkage were about 3.97% to 12.31% in the radial direction and 6.58% to 14.56% in the tangential direction, respectively. In addition, the bending strength and modulus of the

---

1 國立中興大學森林學系

Department of Forestry, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan

\* 通訊作者，402台中市南區興大路145號

Corresponding author, 145 Xingda Road, Taichung 402, Taiwan.

Tel: +886-4-22840345 ext.145. Fax: +886-4-22856477.

e-mail: tehsinyang@nchu.edu.tw

selected wood were ranged from 100.0 MPa to 175.2 MPa and 10.0 GPa to 17.5 GPa, respectively. The compression strength and shear strength of the selected wood were ranged from 47.8 MPa to 84.1 MPa, and 12.3 MPa to 21.5 MPa. After 21 days termite testing, the mass loss percentage of all specimens could meet the standard as specified in CNS 15756, similar results were also found in 12 weeks anti-fungi testing. The results also revealed that Belian wood (*Eusideroxylin* spp.) had the better biodeterioration resistance ability.

【Key words】 Physicomechanical properties, Anti-termite ability, Anti-fungi ability

## 一、前言

木材，一種天然的有機資材，因具有美觀紋理、色澤、氣味、質輕易加工，加工耗能少以及具有方向性、可燃性以及生物可降解性等優點，即便隨著現代工業與科學技術之發展，木材之用途並未隨著其他材料之興起而減少，相對地，在強調節能、健康與環境調和之現代化社會，對於木材之利用更為廣泛，根據聯合國糧農組織（Food and Agriculture Organization, FAO）（2009）統計資料指出，在1965~1990年間，製材生產與消費量分別由 $358 \times 10^6 \text{ m}^3$ 增加至 $417 \times 10^6 \text{ m}^3$ 與 $421 \times 10^6 \text{ m}^3$ ，平均年增加率為1.1%，同時預測2005~2030年間，不同區域間之生產與消費分佈強度不會有顯著變化，全球總量將有所增加，其製材生產與消費量之平均年增加率分別為1.5%與1.4%，可見木材一直為人們不可或缺的材料之一。依據台灣區合板製造輸出業同業公會（2014）統計資料，我國在2004至2013年間，木材與木質材料相關製品之平均進口量分別為 $40,736 \text{ m}^3$ （木心合板）~ $1,259,481 \text{ m}^3$ （製材），其中以製材進口量最多，其次為原木（ $801,176 \text{ m}^3$ ）。若依木製品之利用率，原木100%、製材50%、單板50%、合板50%、木心原料70%、木心合板50%以及粒片板與纖維板100%加以換算原木型態材積時，每年國內進口原木材積約為 $6,247,035 \text{ m}^3$ ，而國產木材每年平均生產量為 $31,869 \text{ m}^3$ ，只佔進口材之0.51%，可見我國所使用之木材多來自進口材，國產木材之推動與利用尚有很大之努力空間。

事實上，在國人生活水準提高與注重自然休閒遊憩之下，林務機關、水土保持局以及

各縣市政府在推動自然教育、生態工程、農村再生與遊憩活動時，其戶外設施盡量避免使用鋼筋混凝土等剛硬材料，而多以天然與環境調和之木材取代，諸如人行步道、休憩平台、欄杆、涼亭木構造設施等，李金梅（2010）統計林業試驗所98年度木竹鑑定案中，即有45%是來自承包政府各機關（構）之公共工程用材，其中以戶外木結構使用為多，如觀景台及自行車道等。鍾大歡（2006）調查嘉南地區遊憩產業戶外木材製品之研究指出，涼亭與人行步道多以南方松與雲杉-松-冷杉（Spruce-Pine-Fir, SPF）以及部分國產杉木等，且多經防腐保存處理；而戶外座椅與告示牌方面則多以闊葉樹木材，如風鈴木（*Tabebuia* spp., IPE）與柳桉木（*Shorea* spp., Lauan）等為主。

然木材為纖維素、半纖維素、木質素及其他抽出成分所構成之天然有機生物性材料，在適當之環境下有受蟲蟻危害、黴菌與腐朽菌危害之虞，也因此國家標準CNS 3000加壓注入防腐處理木材中明訂各個危害等級以及所應進行防腐處理之有效藥劑量與最低吸收量要求，以達到保護木材延長其使用生命週期之目的，但木材要達到良好之防腐處理程度除嚴謹良好之技術與加工程序外，最重要的尚須視處理木材之樹種特性而定，如木材密度、木材含水率、木材組織特性等，也因此可以看到國內針葉樹材如南方松，於戶外應用多有防腐處理，斷面亦具有良好之藥劑滲透度，但相對的許多高密度之闊葉樹材，因其木材實質率（Cell wall substance）高，空隙率低，因此往往藥劑停留在木材表層，未能如針葉樹材具有良好之滲透度與藥劑吸收量。然其耐腐朽性為

何，一直以來亦是工程設計人員亟欲瞭解的課題，此外張上鎮等（1999）指出國內標準（CNS）、美國標準試驗方法（ASTM）與日本國家標準（JIS），其對於木材耐腐朽性試驗所採用之菌種、方法、試驗時間與評估方法均不盡相同，許多研究報告也顯示菌種影響木材之耐腐朽性甚深，因此本研究將選用台灣常見之白腐菌（*Lenzites betulina*, Lb）與褐腐菌（*Laetiporus sulphureus*, Ls）進行木材之耐腐朽性試驗。

誠如前述，目前我國木材多依賴進口，在許多戶外木構造設施上亦多見以進口之闊葉木材作為構成要件，但國內對於該材料之物理與力學性質及其相關之抗白蟻性與耐腐朽性能尚待釐清，因此本研究針對九種常見於戶外構造設施用之結構用材進行物理性質與力學性質之試驗，同時也評估其於戶外使用時之抗家白蟻性與耐腐朽性，期望藉由本基礎研究提供國內相關設計與應用人員之參考。

## 二、材料與方法

### (一) 試驗材料

本試驗所使用之木材計有來自南洋的巴杜柳桉（*Shorea* spp.）、太平洋鐵木（*Intsia* spp.）、婆羅洲鐵木（*Eusideroxylin* spp.）、紅膠木（*Tristania* spp.）、蒜果木（*Scorodocarpus borneensis*）等5種木材以及中南美產的乳桑木

（*Bagassa guianensis*）、馬蹄豆木（*Martiodendrom parviflorum*）、風鈴木（*Tabebuia* spp.）與香甜落腺豆（*Newtonia suaveolens*）等4種，詳如表1所示。

### (二) 試驗方法

#### 1. 基本物理與力學性質試驗：

試驗材料經氣乾後，以四面刨進行刨光處理，並依CNS 451（2013）木材密度試驗法、CNS 452（2013）木材含水率試驗法、CNS 453（2013）木材抗壓試驗法、CNS 454（2013）木材抗彎試驗法、CNS 455（2013）木材平行纖維方向剪力強度試驗法、CNS 459（2012）木材尺度收縮率試驗法等標準進行試材尺寸之裁切，裁切後所有試材經於20°C、65% RH之環境下調濕4週後，依各試驗法進行相關物理性質與力學性質試驗，重複數30組。

另在抗彎試驗前，以超音波儀（SYLVATEST Trio, CBS-CBT）與應力波儀（Fakopp microsecond timer, Fakopp Enterprise）測定其縱向超音波速（ $V_u$ , m/s）與縱向應力波速（ $V_s$ , m/s），並依式（1）計算其動彈性模數（DMOEU, DMOES）；另使用打音測定儀（Portable Lumber Grader, FAKOPP Enterprise），以鋪有泡棉之木塊支持試片中央位置，以硬質橡膠槌敲擊試材之一端，打音由置於試材另一端之麥克風檢

表1. 試驗用木材

Table 1. Information of the experimental wood

樹種名稱	學名	英文名	產地
巴杜柳桉	<i>Shorea</i> spp.	Selangan batu	南洋產
太平洋鐵木	<i>Intsia</i> spp.	Merbau	南洋產
婆羅洲鐵木	<i>Eusideroxylin</i> spp.	Belian	南洋產
紅膠木	<i>Tristania</i> spp.	Pelawan	南洋產
蒜果木	<i>Scorodocarpus borneensis</i>	Ungsunah	南洋產
乳桑木	<i>Bagassa guianensis</i>	Tatajuba	中南美產
馬蹄豆木	<i>Martiodendrom parviflorum</i>	Tatabuballi	中南美產
風鈴木	<i>Tabebuia</i> spp.	IPE	中南美產
香甜落腺豆	<i>Newtonia suaveolens</i>	Pikinmisiki	中南美產

出，並輸入FFT (Fourier transform) 頻譜分析儀，將瞬間發生之打音波形分解成頻譜，精密測量其自然頻率 (fr)，計算其縱向打音音速 ( $V_t$ , m/s) (式2) 與動彈性模數 (DMOE)。

$$\text{DMOE (GPa)} = V^2 \times \rho \quad (1)$$

$V$  為音速 (m/s)， $\rho$  為木材密度 ( $\text{kg/m}^3$ )。

$$V_t \text{ (m/s)} = 2f_r \times L \quad (2)$$

## 2. 抗家白蟻性試驗

抗家白蟻試驗依 CNS 15756 (2014) 木材抗白蟻試驗法之室內試驗進行，試驗試片裁製成橫斷面為  $20\text{mm} \times 20\text{mm}$ ，高度  $10\text{mm}$  之尺寸。試驗前，將試片置於  $60^\circ\text{C}$  烘箱中乾燥  $48\text{h}$  後，置於乾燥器中冷卻，並記錄其質量 ( $W_1$ )。而後將試片置於培養瓶中，並放入台灣家白蟻 (*Coptotermes formosanus*) 工蟻  $150$  隻，兵蟻  $15$  隻，共  $165$  隻白蟻。並將培養瓶置於溫度  $28 \pm 2^\circ\text{C}$ ， $70\%$  RH 之生長箱中，進行為期  $21$  天之白蟻活動觀測試驗。試驗後，將試片取出，去除表面附著物，先在室內進行風乾  $24\text{h}$ ，次置於  $60^\circ\text{C}$  烘箱中乾燥  $48\text{h}$ ，並如試驗前步驟置於乾燥器中冷卻，在精密量測其試驗後質量 ( $W_2$ )，並計算其質量損失率與白蟻死亡率，重複數  $5$  組。

## 3. 耐腐朽性試驗

耐腐朽試驗參考中華民國國家標準 CNS 15697 (2013) 木材耐腐朽性試驗法進行。試驗前，將試材裁切成橫斷面為  $20\text{mm} \times 20\text{mm}$ ，高度為  $10\text{mm}$  之試片，將試片置於  $60 \pm 2^\circ\text{C}$  烘箱中乾燥  $48\text{h}$  後，置於乾燥器中冷卻，並記錄其質量 ( $W_1$ )，精密量測至  $0.0001\text{g}$ 。試驗菌種以屬褐腐菌之硫磺菌 (*Laetiporus sulphureus*, Ls) 及屬白腐菌之樺褶菌 (*Lenzites betulina*, Lb) 兩種進行。首先將石英砂置入圓筒型之廣口耐熱玻璃培養瓶，其底面積為  $56.7\text{cm}^2$ ，容積為  $500\text{mL}$ 。經蒸氣壓  $1.2\text{kgf/cm}^2$  之過熱水蒸氣滅菌  $60\text{min}$

後，倒入已滅菌過之培養液，使培養液能覆蓋過石英砂表面，待培養液冷卻凝固後，在培養液表面中心移入長滿菌絲之菌塊，再將培養瓶置於溫度  $26 \pm 2^\circ\text{C}$ ， $70\%$  RH 之生長箱中培養，待菌絲長滿整個培養瓶後，置入  $3$  塊裁切好之試片，再將培養瓶置於溫度  $26 \pm 2^\circ\text{C}$ ， $70\%$  RH 之生長箱中，進行  $12$  週試驗。試驗終了後，取出試塊，移除表面上之菌絲，風乾約  $24\text{h}$  後，再置於  $60 \pm 2^\circ\text{C}$  烘箱中乾燥  $48\text{h}$ ，取出置於乾燥器中冷卻，在精密量測其試驗後質量 ( $W_2$ )，並計算其質量損失率，重複數  $5$  組。

## 三、結果與討論

### (一) 基本物理性質與機械性質

表 2 為經  $20^\circ\text{C}$ 、 $65\%$  RH 環境下調濕  $4$  週後之九種戶外用木材之物理性質，其中密度最大者為風鈴木 ( $1.00 \pm 0.06\text{g/cm}^3$ )，最低者為乳桑木 ( $0.69 \pm 0.11\text{g/cm}^3$ )，其餘木材密度介於  $0.77 \sim 0.93\text{g/cm}^3$ ，較南方松木材密度為高。南方松為短葉松 (*Pinus banksiana* Lamb.)、長葉松 (*Pinus longifolia* Roxb.)、溼地松 (*Pinus elliottii* Engelm.) 以及火炬松 (*Pinus taeda* Linn.) 的統稱，從美國南部的德州到維吉尼亞州一帶為其生長範圍 (南方松委員會, 2007)，亦常用於戶外景觀建築，其木材密度約為  $0.51 \sim 0.59\text{g/cm}^3$  (王松永, 2002)。在尺寸之安定性方面，木材在收縮或膨潤之際，因其次生壁之微纖維排列，其細胞腔的變化通常小於  $0.5\%$ ，因此木材之收縮率與膨潤率通常隨木材密度之增加而有增大之趨勢 (Forest Products Laboratory, 2010)，表 2 可見，全收縮率以蒜果木最高 (徑向 (R) :  $12.31\%$  ; 弦向 (T) :  $14.56\%$ )，但木材密度是以風鈴木為最大 ( $1.00\text{g/cm}^3$ )，因此趨勢較不明顯。但在異方性 (Anisotropic) 方面，木材橫斷面之收縮膨潤異方性會隨木材密度之增大而減低，九種戶外用材之收縮

表2. 試材之物理性質

Table 2. Physical properties of the specimens

樹種名稱	氣乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	含水率 (%)	全收縮率(%)		
			徑向(R)	弦向(T)	T/R
巴杜柳桉	0.90(0.07)	11.4(0.4)	4.10(1.32)	9.68(1.34)	2.36
太平洋鐵木	0.79(0.02)	12.6(0.5)	3.97(0.62)	7.09(0.27)	1.79
婆羅洲鐵木	0.79(0.05)	11.9(0.3)	4.26(0.30)	8.79(0.36)	2.06
紅膠木	0.93(0.05)	12.4(0.5)	9.93(1.14)	10.58(2.13)	1.07
蒜果木	0.77(0.06)	12.7(0.6)	12.31(1.66)	14.56(1.53)	1.18
乳桑木	0.69(0.11)	12.4(0.5)	7.01(0.88)	7.31(1.04)	1.04
馬蹄豆木	0.90(0.03)	11.6(0.8)	7.17(0.16)	7.98(0.39)	1.11
風鈴木	1.00(0.06)	11.5(0.5)	6.40(0.22)	6.58(0.41)	1.03
香甜落腺豆	0.80(0.09)	11.2(0.6)	6.34(0.77)	8.01(1.18)	1.26

( ) 數值為標準差，樣本數為30。

異方性 (T/R) 為1.03~2.36，以風鈴木最低，次為乳桑木 (T/R : 1.04) 與紅膠木 (T/R : 1.07)，而巴杜柳桉最高。整體而言，全收縮率以太平洋鐵木較低 (徑向 : 3.97% ; 弦向 : 7.09%)，而收縮異方性是以風鈴木尺寸安定性較高。

在力學性質方面 (表3)，闊葉樹材之抗彎強度性質明顯是優於針葉樹材，以國產柳杉分等結構用材而言，其抗彎強度為42.6~71.9 MPa (李佳如等, 2014)，而本試驗之九種戶外用材之抗彎強度為100.0~175.2 MPa，以風鈴木最高，馬蹄豆木次之 (157.9 MPa)，紅膠木再次之 (150.8 MPa)，最低者為蒜果木 (100.0 MPa)，在作為戶外用平台、步道、欄杆之際，可依其強度性質作為設計之參考。在抗壓強度方面，除蒜果木之抗壓強度較低外 (47.8 MPa)，其餘木材之抗壓強度值均在60.7 MPa (太平洋鐵木) 以上，以風鈴木之抗壓強度值最高 (84.1 MPa) ; 抗剪強度則以紅膠木最大 (21.5 MPa)，馬蹄豆木最低 (12.3 MPa)。

## (二) 音速值與抗彎性質

以往研究指出以非破壞性檢測技術能有效

地評估木材彈性模數與抗彎強度 (Wang *et al.*, 2008; 李佳如與楊德新, 2010; 林振榮等, 2012; 李佳如等, 2014)，對戶外用木材而言，在戶外受環境劣化之際，如能利用非破壞檢測技術建立材質之基礎資料，並進行材質之評估，對於材料材質之安全性亦能受到保障。從表3可以看出，以超音波法、應力波法與打音法所得之音速值有超音波速 (Vu) > 應力波速 (Vs) > 打音波速 (Vt) 之趨勢，同樣地，在動彈性模數方面，亦有超音波動彈性模數 (DMOEU) > 應力波動彈性模數 (DMOES) > 打音動彈性模數 (DMOET) 之趨勢。整體而言，動彈性模數均較抗彎彈性模數 (MOE) 高，此係試材於抗彎試驗時，木材承受荷重時間較長，而發生塑性流動、塑性變形、彈性遲滯、彈性餘效等因素影響所致 (蔡如藩, 1985)。另外，動態法所測得之動彈性模數因作用力週期短，試材本身僅受到短暫衝擊，不似試材於抗彎試驗下，可能含有扭轉變形、剪力成分等致使撓曲增大，又撓度之測定包含受力點之局部壓潰凹陷變形，以及荷重時間較長，可能發生潛變作用等因素，因此在過去的研究中，均可發

現動彈性模數有高於抗彎彈性模數之趨勢。由表3亦可發現整體DMOEU平均約較MOE高約43.5%~54.5%，DMOES平均約較MOE高約32.8%~45.7%，而DMOEt平均約較MOE高約7.9%~18.1%，各樹種間有不同之趨勢，相較於過去研究發現，本研究所得之動彈性模數較抗彎彈性模數高出許多，此有可能係密度所造成之影響，本研究主要以闊葉樹材為主，其密度為0.77~1.00 g/cm<sup>3</sup>，密度高者亦表示其內部空隙率少，由於音速於固體之傳遞速度較水與空氣為快，且材質緻密者，亦有可能使得音速傳遞較快，因此動彈性模數隨之增大。但整體而言，DMOE與MOE之間具有良好之相關性，其R<sup>2</sup>值為0.75~0.79（圖1），DMOE與MOR之R<sup>2</sup>值則為0.48~0.53（圖2）。利用非破壞檢測技術所建立之音速值與動彈性模數值等基礎資料，亦可作為未來評估戶外用木材性質之參考依據。

### (三) 抗白蟻性

抗白蟻試驗以南方松作為對照組評估其白蟻活性，依JWPA（2000）對照組質量損失超過200 mg視為白蟻具有活力，在本試驗中可以發現，南方松試材之質量損失為量為240.4 mg、質量損失率為12.6%（表4），顯示本試驗白蟻活力具有效力。由表5亦可看出以婆羅洲鐵木之抗白蟻性最佳，其質量損失量僅25.4 mg，質量損失率為1.0%，顯示具有相當優良之抗白蟻性，九種樹種除馬蹄豆木（質量損失率為2.5%）與蒜果木（質量損失率為2.4%）外，其他樹種之質量損失率介於1.0~1.7%。Arango et al.（2006）依AWPA進行28天風鈴木之抗白蟻試驗指出，相較於南方松邊材（Southern yellow pine sapwood, *Pinus* spp.）、花旗松心材（Douglas-fir heartwood, *Pseudotsuga menziesii*）、厄瓜多爾桑木（*Poulsenia heartwood, Poulsenia armata*）、白塞木（Balsa wood, *Ochroma pyramidale*）、西部鐵杉（Western hemlock heartwood, *Tsuga heterophylla*）、吉貝木心材（*Ceiba*

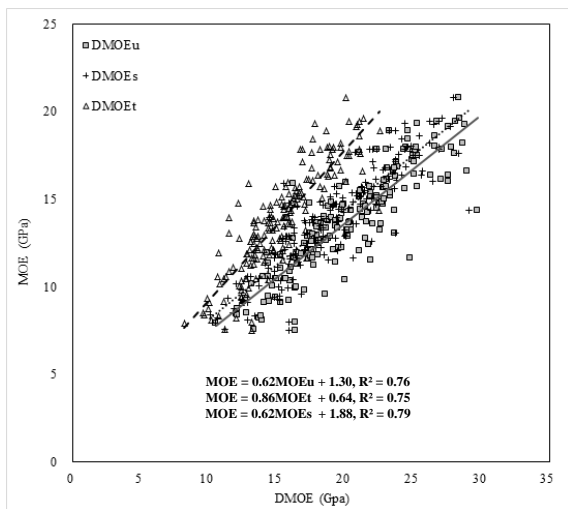


圖1. 動彈性模數與抗彎彈性模數之相關性

Fig. 1. Relationship between DMOE and MOE

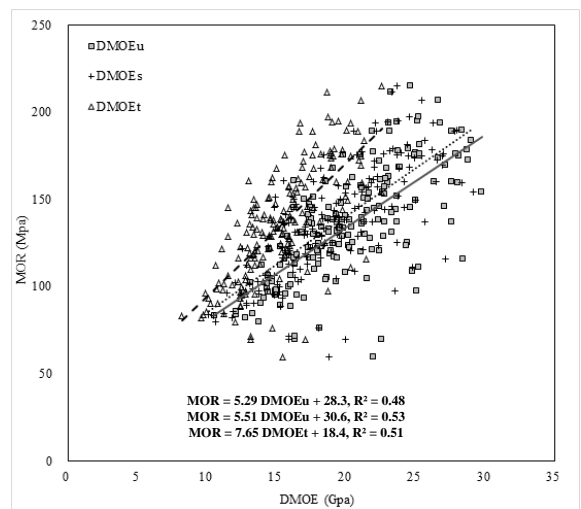


圖2. 動彈性模數與抗彎強度之相關性

Fig. 2. Relationship between DMOE and MOR

表3. 試材之力學性質

Table 3. Mechanical properties of the specimens

樹種名稱	Vu (m/s)	Vs (m/s)	Vt (m/s)	DMOEu (GPa)	DMOEs (GPa)	DMOEt (GPa)	MOE (GPa)	MOR (MPa)	CS (MPa)	SS (MPa)
巴杜柳桉	4854 (546)	4683 (576)	4184 (355)	21.4 (4.2)	19.9 (4.2)	15.8 (2.4)	14.7 (2.8)	140.3 (27.3)	62.8 (5.2)	17.4 (4.1)
太平洋鐵木	4598 (230)	4417 (285)	4049 (199)	16.8 (1.6)	15.5 (1.9)	13.0 (1.2)	11.4 (1.5)	125.9 (20.0)	60.7 (9.1)	14.9 (2.4)
婆羅洲鐵木	4964 (483)	4733 (478)	4267 (352)	19.7 (3.7)	17.9 (3.5)	14.5 (2.3)	13.5 (2.4)	116.2 (20.0)	67.5 (3.2)	15.4 (4.1)
紅膠木	4743 (417)	4696 (443)	4153 (315)	21.0 (3.7)	20.6 (4.0)	16.1 (2.5)	14.6 (2.5)	150.8 (18.9)	76.8 (5.9)	21.5 (4.8)
蒜果木	4478 (258)	4351 (241)	3916 (213)	15.5 (2.7)	14.6 (2.4)	11.9 (2.0)	10.0 (1.9)	100.0 (17.7)	47.8 (2.7)	16.4 (3.4)
乳桑木	5081 (313)	4872 (341)	4421 (250)	17.6 (2.0)	16.2 (1.4)	13.3 (0.9)	11.8 (1.5)	115.5 (18.0)	77.0 (18.3)	17.0 (5.4)
馬蹄豆木	5323 (226)	5200 (268)	4621 (185)	25.5 (2.3)	24.4 (2.5)	19.2 (1.6)	17.5 (1.4)	157.9 (25.3)	83.1 (7.8)	12.3 (2.7)
風鈴木	4829 (293)	4731 (288)	4280 (234)	23.4 (3.2)	22.4 (3.1)	18.4 (2.5)	16.2 (1.9)	175.2 (26.5)	84.1 (3.1)	17.2 (3.2)
香甜落腺豆	5203 (311)	5004 (275)	4452 (221)	21.5 (1.9)	19.9 (1.7)	15.8 (1.2)	14.3 (1.4)	138.3 (31.9)	78.6 (6.6)	15.7 (4.2)

V為音速值 (Vu, Vs, Vt則分別為超音波法、應力波法與打音法所得音速值)、DMOE為動彈性模數、MOE為抗彎彈性模數、MOR為抗彎強度、CS為抗壓強度、SS為抗剪強度；( ) 數值為標準差，樣本數為30。

表4. 試材之抗白蟻性

Table 4. Anti-termite properties of the specimens

樹種名稱	質量損失量 (mg)	質量損失率 (%)	白蟻致死率 (%)
南方松	240.4 (33.2)	12.6 (1.6)	6.3 (2.1)
巴杜柳桉	44.6 (8.3)	1.1 (0.2)	25.0 (2.4)
太平洋鐵木	51.6 (9.1)	1.7 (0.4)	30.4 (8.2)
婆羅洲鐵木	25.4 (1.4)	1.0 (0.1)	23.0 (0.5)
紅膠木	56.4 (4.7)	1.4 (0.4)	15.8 (2.2)
蒜果木	86.1 (3.4)	2.4 (0.1)	13.1 (3.5)
乳桑木	44.6 (3.4)	1.4 (0.3)	99.3 (0.9)
馬蹄豆木	79.4 (3.5)	2.5 (0.1)	21.8 (5.8)
風鈴木	52.2 (2.0)	1.5 (0.0)	24.5 (3.2)
香甜落腺豆	35.8 (3.6)	1.1 (0.2)	36.2 (3.0)

( ) 數值為標準差，樣本數為5。

heartwood, *Ceiba pentandra*)、阿拉斯加扁柏心材 (Alaska yellow-cedar heartwood, *Chamaecyparis nootkatensis*)、大西洋雪杉心材 (Atlantic white-cedar heartwood, *Chamaecyparis thyoides*)、圭利亞木類心材 (Grignon or qualea heartwood, *Qualea* spp.)、柏木類心材 (Juniper heartwood, *Juniperus* spp.)、落囊花屬類木材 (Cambara or erisma heartwood, *Erisma* spp.)，其質量損失率僅3.0%，具有相當抗白蟻性，本研究中風鈴木之質量損失率為1.5%，較該研究為低，主要是因兩種試驗標準所需之白蟻數量不

同所致。因此，在相同試驗基準下，表5指出本試驗中巴杜柳桉、婆羅洲鐵木、紅膠木、乳桑木與香甜落腺豆之質量損失率為1.0~1.4%，均優於風鈴木（1.5%）顯示其與風鈴木均具有相當優良之抗白蟻性。Arango *et al.* (2006) 同時指出闊葉樹木材之質量損失有隨密度增大而減低之趨勢，而白蟻致死率則隨密度增大而增大。然在本研究中，馬蹄豆木（質量損失率為2.5%）與蒜果木（質量損失率為2.4%）之密度分別為0.90 g/cm<sup>3</sup>與0.77 g/cm<sup>3</sup>，而密度最低之乳桑木（0.69 g/cm<sup>3</sup>），其質量損



失率僅1.4%，且白蟻致死率高達99.3%，因此其質量損失與密度之相關性較無明顯趨勢，除木材密度較接近外，各木材所含之化學成分或抽出成分之不同，亦可能為木材間抗白蟻性差異之原因。林亞立與吳東霖（2013）曾探討8種針葉樹材、11種闊葉樹材、1種可可椰子及7種熱處理木材之白蟻抵抗試驗，其雖指出闊葉樹材與可可椰子之抗白蟻性與木材密度有顯著相關，但木材之抽出成分應為木材抵抗白蟻危害之主要因子。

(四) 耐腐朽性

表5為九種戶外用材之抗腐朽性，整體而

言，以婆羅洲鐵木之耐腐朽性最佳（受褐腐菌與白腐菌危害之質量損失率分別為0.65%與0.43%），次為太平洋鐵木、蒜果木與乳桑木，而馬蹄豆木之耐腐朽性則稍差（受褐腐菌與白腐菌危害之質量損失率分別為2.10%與1.89%），但九種戶外用材均能符合CNS 6717木材防腐劑性能基準要求之質量損失率3%以下，此也顯示九種戶外用材即使未進行防腐處理，其仍具有相當之防腐性能，事實上以密度角度來看，本次試驗之九種戶外用材，其密度均高達0.69~1.00 g/cm<sup>3</sup>之間，顯示其木材內部之空隙率低，保存藥劑要進入木材亦屬不易，因此，若木材本身具有天然耐

表5. 試材之抗腐朽性

Table 5. Anti-fungi properties of the specimens

樹種名稱	質量損失率 (%)	
	<i>Laetiporus sulphureus</i>	<i>Lenzites betulina</i>
巴杜柳桉	0.97 (0.43)	1.05 (0.81)
太平洋鐵木	0.68 (0.36)	0.79 (0.65)
婆羅洲鐵木	0.65 (0.21)	0.43 (0.32)
紅膠木	1.87 (0.44)	1.89 (0.33)
蒜果木	0.87 (0.53)	0.98 (0.31)
乳桑木	0.88 (0.45)	0.89 (0.40)
馬蹄豆木	2.10 (0.51)	1.89 (0.28)
風鈴木	1.02 (0.34)	0.67 (0.30)
香甜落腺豆	1.95 (0.45)	1.68 (0.53)

( ) 數值為標準差，樣本數為5

腐朽性，從環保與經濟的觀點，此類木材應可不需進行防腐處理而於戶外使用。此外本試驗九種戶外用材之耐腐朽性與抗家白蟻性相似，其耐腐朽性與其密度亦無明顯之相關性，同樣可能與其抽出成分有關。過去研究指出，木材之腐朽機制有胞外酵素系統與自由基系統兩種機制，但目前普遍認為木材腐朽菌雖能分泌胞外酵素降解木材主成分，但因酵素分子太大，無法有效穿透木材內部，因此，木材腐朽菌需要利用其它更小分子的物質去進行木質纖維素的降解，其中透過自由基之方式降解，分別為生氫氧自由基、過氧化自由基及過氧化氫自由基等活性氧即被視為木材腐朽菌利用的物質（陳永龍等，2010）。本研究之戶外用材主要為闊葉樹種，一般而言，主要危害闊葉樹材者為白腐菌，它能同時分解木材中碳水化合物及木質素，腐朽後之木材顏色較一般健全材色為淡。Rayner 與 Boddy（1988）指出白腐菌對木材之腐朽機制對木材之腐朽機制為附著於細胞內壁，再伸入細胞腔內生長，同時在菌絲附近造成腐蝕形成溝槽，而新的菌絲生長再次形成新溝槽，而不斷擴張腐朽面積，最後由細胞腔內壁逐漸穿透進入細胞壁之S<sub>3</sub>與S<sub>2</sub>層，造成木材腐朽（王振瀾與李銘華，1999）。而褐腐菌除危害針葉樹材外，亦會使闊葉樹材腐朽，張惠婷等（2000）指出木材之腐朽約有三分之二為褐腐菌所引起，木材受害初期無明顯特徵，隨著菌絲之繁殖分解細胞壁，木材結構呈破碎狀，表面顏色亦轉成深褐色，隨腐朽時間之增加，細胞壁產生收縮，細胞腔亦有潰陷之現象，木材機械強度受到嚴重影響。Wong 與 Singh（1997）曾指出來自馬來西亞的婆羅洲鐵木（*Eusideroxylon zwageri*）具有相當優異的耐腐朽性，在不進行藥劑處理之下，仍可作為與土壤接觸用的電桿、圍籬欄杆與鐵路枕木之

用，在沙勞越（Sarawak）更有使用20年後，僅有部分木材表面發現輕微劣化之狀態。Wong *et al.*（2012）評估36種沙勞越與馬來半島闊葉樹之耐腐朽性，其中經LSD法檢定結果，不論依ASTM D2017或EN 350-1之評價法，均以婆羅洲鐵木（*Eusideroxylon zwageri*）質量損失最低（0.7%），且與其他樹種有顯著差異，顯示其具有高度的耐久性。

#### 四、結論

本研究主要評估目前國內九種常用於戶外設施之木材材種性質及其抗白蟻性與耐腐朽性，結果指出九種戶外常用木材之密度除乳桑木稍低外（0.69 g/cm<sup>3</sup>），餘者均介於0.77~1.00 g/cm<sup>3</sup>間，而全收縮率則以蒜果木較高，顯示其尺寸之安定性較其他木材為差；在強度性質方面，九種戶外常用木材之抗彎強度與抗彎彈性模數分別為100.0~175.2 MPa與10.0~17.5 GPa，在作為戶外用木造設施之際，可依其強度性質作為結構設計之參考。此外在抗白蟻性方面，九種木材均能符合國家標準之質量損失率3%以下之要求，其中又以乳桑木之白蟻致死率最高，達99.3%。而在耐腐朽性方面，經12週試驗後，不論以白腐菌或褐腐菌試驗，均以婆羅洲鐵木之質量損失率最低，分別為0.43%與0.65%。

#### 六、參考文獻

- 中華民國國家標準CNS 451（2013）木材密度試驗法。經濟部標準檢驗局。
- 中華民國國家標準CNS 452（2013）木材含水率試驗法。經濟部標準檢驗局。
- 中華民國國家標準CNS 453（2013）木材抗壓試驗法。經濟部標準檢驗局。
- 中華民國國家標準CNS 454（2013）木材抗彎試驗法。經濟部標準檢驗局。
- 中華民國國家標準CNS 455（2013）木材平行纖維方向剪力強度試驗法。經濟部標準檢驗局。
- 中華民國國家標準CNS 459（2012）木材尺度收縮率試驗法。經濟部標準檢驗局。
- 中華民國國家標準CNS 15697（2013）木材耐

- 腐朽性試驗法。經濟部標準檢驗局。
- 中華民國國家標準CNS 15756 (2014) 木材抗白蟻性試驗法。經濟部標準檢驗局。
- 王松永 (2002) 商用木材。中華林產事業協會印行。
- 王振瀾、李銘華 (1999) 七種台灣楠木類木材之天然耐腐朽力探討。台灣林業科學14 (1) : 53-62。
- 台灣區合板製造輸出業同業公會 (2014) 台灣合板工業。
- 林振榮、林志憲、陳建銘、林育群、蔡明哲、楊德新 (2012) 不同非破壞性技術應用於舊木造桁架劣化之檢測及評估。林產工業 31 (2) : 71-80。
- 林亞立、吳東霖 (2013) 二十種台灣商用木材之地棲型白蟻抵抗性。宜蘭大學生物資源學刊9 : 77-89。
- 李金梅 (2010) 木、竹鑑定。林業研究專訊17 (4) : 37-40。
- 李佳如、楊德新 (2010) 應用非破壞檢測技術評估杉木集成元之抗彎性質。林業研究季刊 32(4) : 45-60。
- 李佳如、張彥榕、林志憲、楊德新 (2014) 35 年生國產柳杉分等結構用材之機械性質評估。林產工業33 (2) : 61-70。
- 南方松委員會 (2007) 南方松進口商參考指南。南方松委員會。
- 鍾大歡 (2006) 嘉南地區休閒遊憩產業戶外木材製品使用情形之研究，嘉南藥理科技大學觀光事業管理系。
- 陳永龍、陳載永、吳志鴻 (2010) 淺談真菌降解木材機制與環境友善型木材防腐劑。中華林學季刊43 (1) : 181-189。
- 張上鎮、吳季玲、張惠婷 (1999) 腐朽菌種對木材耐腐朽性評估之影響。林產工業18 (4) : 335-362。
- 張惠婷、張上鎮、吳季玲 (2000) 抽出成分對木材耐腐朽性之影響及腐朽材的化學結構變化。林產工業19 (4) : 457-466。
- 蔡如藩 (1985) 木材力學性質。徐氏基金會。
- Arango R.A., F. Green III, K. Hintz, P.K. Lebow and R.B. Miller (2006) Natural durability of tropical and native woods against termite damage by *Reticulitermes flavipes* (Kollar). Int. Biodeter. Biodegr. 57: 146-150.
- Forest Products Laboratory (2010) Wood handbook-Wood as an engineering material. FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 508 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2009) State of the world's forests.
- Japan Wood Preserving Association (2000) JWPS TW-S. 1. Laboratory test method for determining the 32 effectiveness of termiticides applied superficially to wood and performance requirements. JWPA 33 (Tokyo, Japan)
- Rayner, A.D.M. and L. Boddy (1988) Fungal decomposition of wood - its biology and ecology. A Wiley-Interscience publication.
- Wang S.Y., J.H. Chen, M.J. Tsai, C.J. Lin and T.H. Yang (2008) Grading of softwood lumber using non-destructive techniques. J. Mat. Process. Technol. 208: 149-58.
- Wong, A.H.H. and A. Singh (1997) Microbial decay in an extremely durable Malaysian hardwood Belian (*Eusideroxylon zwageri*) - an overview. IRG/WP 97-10216.
- Wong, A.H.H., Jem, J.M.E. and L.J. Kok (2012) Classifying white rot decay resistance of some hardwoods from Sarawak and Peninsular Malaysia and correlations with their tropical in-ground durability. IRG/WP 12-10788.