

以熱處理楊樹單板製作層積材之性質評估

蕭于祐 林亞立*

國立宜蘭大學森林暨自然資源學系

摘要

本試驗以人工林速生楊樹(*Populus bonatii*)小徑木經 180°C、2 小時熱處理的單板製作層積材(LVL)，測試其各項性質，並與未經熱處理的單板製作之 LVL 進行比較。結果顯示，經熱處理的楊樹單板所製作之 LVL 於 25°C、RH 75.5% 的平衡含水率，較未處理者降低 11.91%，以體積全收縮率計算，其抗收縮效能為 17.19%。經熱處理及未處理的楊樹單板製作之 LVL，膠合性能皆符合 CNS 14646「結構用單板層積材」規範的要求，機械性質除抗彎彈性模數外，抗彎強度、塑性撓曲功及水平剪斷強度，相對於未處理者皆顯著降低，三者分別降低 38.03%、97.00%及 34.23%，其中水平剪斷強度未達到 CNS 14646 的最低標準，且幾無塑性，作為結構用時需多加考慮。生物劣化試驗結果顯示，相對於未處理者，經熱處理的楊樹單板具有顯著的抗發黴性能，在 25°C、RH 75.5%的環境中，氣乾之經熱處理的楊樹單板於 4 週的試驗時間內無發黴的現象；經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 的耐腐朽性能有顯著的提升，對實驗菌株降低了 15.43~89.88%的質量損失率；但卻顯著較易遭受家白蟻(*Coptotermes formosanus*)的危害，在兩個不同的抗白蟻試驗中，分別增加了 77.32%及 608.24%的質量損失率。

適當的使用設計，應能發揮經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 的優點，降低性質不足之處的影響。

關鍵詞：熱處理、楊樹小徑木、單板、層積材、發黴、腐朽、白蟻劣化。

Property Evaluation of Laminated Veneer Lumber Composed of Heat-treated Poplar Veneers

Yu-You Shiao Ya-Lih Lin*

Department of Forestry and Natural Resources, National Ilan University

Abstract

Veneers cut from artificial fast-growing small diameter poplar (*Populus bonatii*) trunk were heat-treated with a 2-hour 180°C process and made into laminated veneer lumber (LVL). In order to reveal properties of this product, tests were carried and results were compared with the LVL made of similar veneers without heat treatment. Results indicate that the

equilibrium moisture content of the LVL made of heat-treated poplar veneer at 25°C, 75.5% RH is 11.91% lower than that of the LVL made of untreated poplar veneers which disclose a volumetric anti-shrinkage effect of 17.19%. The adhesion properties of both the LVL made of heat-treated and untreated poplar veneers meet the quality requirement present in CNS 14646 “Structural laminated veneer lumber”. Except the modulus of elasticity, the modulus of rupture and the plastic deformation work obtained from static bending of the LVL made of heat-treated poplar veneers are significantly lower than that of the LVL made of untreated poplar veneers by 38.03%, and 97.00% respectively, while the horizontal shear strength is 34.23% lower. The horizontal shear strength of the LVL made of heat-treated poplar veneers are too low to meet the quality requirement stated in CNS 14646. This along with its almost-to-none plasticity render the LVL made of heat-treated poplar veneers a material to take concerns when using it as a structural material. Results from biological deterioration tests show that, in comparison with the untreated ones, the heat-treated poplar veneer possesses significantly better resistance to mold growth and the air-dried heat-treated poplar veneer support no mold growth during the 4-week test period. The resistance to decay of LVL is significantly improved from using untreated to heat-treated poplar veneers as components and the weight loss percentage are reduced by 15.43~89.88% according to the decay fungal strain applied; however, the resistance to subterranean termite (*Coptotermes formosanus*) is significantly impaired, specimens suffered 77.32% and 608.24% weight loss percentage increments in two different tests individually.

Advantages of LVL made of heat-treated poplar veneers could be presented and drawbacks be deceived by using this product with proper designs.

Keywords: Heat treatment, *Populus bonatii* of small diameter, Veneer, Laminated Veneer Lumber, Mold, Decay, Termite deterioration.

*Corresponding author. E-mail: linyi@niu.edu.tw

前 言

熱處理為近年來物理性木材改質的主要方式，程序為將木材以 140-260°C 的溫度，於空氣或其他媒介環境下加熱處理。木材經熱處理後，依熱處理條件，其中之化學組成分與結構產生不同程度的變化，導致木材性質的改變，主要性質變化包括：1. 提升尺寸安定性，2. 降低吸濕性，3. 提高對微生物劣化因子的抵抗性，4. 顏色變深，5. 部分機械強度的降低，及 6. 開裂程度加大與節的脫落等缺點的擴大與產生(Callum, 2006)。目前商品化的熱處理材，主要著重在於前四項木材性質的改善，及熱處理木材性質在實際上的利用。

熱處理材尺寸安定性的改善，主要來自於吸濕性的降低。Borrega and Kärenlampi (2010)指出，隨著熱處理溫度的提高及處理時間的增加，熱處理木材的平衡含水率(Equilibrium Moisture Content, EMC)隨之下降，木材的尺寸安定性隨之提升。Vjekoslav *et al.* (2008)將光臘樹及

山毛櫸以 190°C 及 210°C 熱處理後發現，試材的平衡含水率呈現顯著的降低，抗收縮效能(Anti-shrinkage Effect, ASE)則隨之提升。Vukas *et al.* (2010)指出，經 160 - 260°C 熱處理的木材，能使木材於纖維飽和點的膨潤及收縮性能降低，同時木材的疏水性及滲透性亦會提高，進而提升木材的尺寸安定性。Kocafe *et al.* (2007)也指出，木材加溫至 200°C 以上，其主要成分之半纖維素分解、纖維素軟化及木質素化學性質改變，使木材中之親水基減少，相較於未處理材其尺寸變化更為穩定。

木材於熱處理時，其中的半纖維素、纖維素及木質素因受熱降解而產生成分變化，造成質量、尺寸與密度的損失(卓志隆, 2011)，也導致木材強度的降低。Mburu *et al.* (2008)指出，木材抗彎強度(MOR)與比重具有相當的關係，熱處理過程使木材比重降低而造成強度降低。抗彎彈性模數(MOE)亦會隨質量損失的增加而降低，但在質量損失低於 16%時，MOE 的下降情形並不顯著，

MOR 隨質量損失而下降的情形則較為明顯。Ding *et al.* (2010)針對樟子松進行熱處理，結果顯示經熱處理的木材其抗彎強度及衝擊韌性會低於未處理材。化學分析顯示，熱處理材強度降低的主因在於半纖維素的持續降解。

顧煉百等人(2010)的報告指出，熱處理有提升木材耐腐朽性的效用，主要原因為較易遭木材腐朽菌分解的半纖維素，因熱處理的降解而減少，且纖維素非結晶區域的重新排列，致使結晶度提高，阻礙非酶氧化劑與纖維素的接觸，延緩了非酶氧化劑對長鏈纖維素分子的降解，進而減少了因纖維素分解所產生可溶性的糖類於木材細胞中的擴散。此外，熱處理可促使木質素橫向網狀連結的增加，亦阻礙了非酶氧化劑在木材細胞壁中的擴散，因而減緩了腐朽的進行。

目前市售的熱處理單板組合材，合板及單板層積材(laminated veneer lumber, LVL)，多為先製作成品後，再進行熱處理。熱處理時，因受熱乾燥，造成處理後成品變形，另因膠合劑受熱老化，導致膠合強度降低及膠合層剝離等缺點。沈與林(2011)以熱處理桉樹單板製作合板，並對成品各項性質進行評估後指出，以低於 190°C 熱處理桉樹單板製作的熱處理合板，可符合 CNS 11671 「結構用合板」(2006)的品質要求，唯其塑性顯著降低，在使用上需加以注意。

本實驗以楊樹單板為材料，利用熱處理進行改質，將經熱處理的楊樹單板製作成層積材，並對各項性質進行測試，以了解成品的品質是否符合 CNS 14646 「結構用單板層積材」(2006)的要求，做為開發以熱處理單板製作層積材技術與使用此類產品之參考。

材料與方法

本研究以 8~12 年生，人工林楊樹(*Populus bonatii*) 小徑木，利用無卡軸旋切機旋切為厚度 1.5 mm 的單板，並裁切為 1270 mm (L) × 820 mm (T) 以符合熱處理設備可容納之尺寸，以下述條件進行熱處理：

1. 熱處理最高溫度：180°C。
2. 最高處理溫度維持時間：2 小時。
3. 熱處理保護介質：氮氣。
4. 最高壓力：2.5 kgf/cm²。
5. 總處理時間：22 小時。

6. 處理程序：升溫、高溫乾燥、升溫、熱處理(180°C)、降溫。

熱處理後之單板，做為製作 LVL 及單板抗發黴試驗的材料。

一、LVL 製作

(一)單板準備

以圓鋸機將單板剪裁為 400 mm (L) × 400 mm (T)，未經熱處理的單板利用烘箱於 30±1°C 烘乾 30 分鐘，調整含水率為 9-9.5%。經熱處理的單板之氣乾含水率均低於 10%，不進行含水率調整。

(二)膠合劑

採用木膠公司，型號 234S 之木工拼板膠。主劑為聚醋酸乙烯乳液，架橋劑為異氰酸酯，二者配比为 100：15 (質量比)，調膠後固形分為 56.5%。

(三)LVL 製作

以單面佈膠量 160 g/m²，熱壓溫度 100°C，熱壓時間 1min/mm，12 mm 壓桿控制成板厚度的條件，利用熱壓機(兆立，CT-4040)分別製作未處理及經熱處理的楊樹單板之 9 層 LVL 各 9 片。冷卻後的 LVL，以圓鋸機修整 4 邊，修整後 LVL 面積為 360 mm × 360 mm。

完成後，未處理及經熱處理的楊樹單板製成之 LVL，依 CNS 451 「木材密度試驗法」(2005)，以 75 mm × 75 mm 的方形試片各 10 片，測量絕乾密度，二者之成板厚度及絕乾密度的平均值分別為 11.99、11.59 mm，0.44、0.47 g/cm³。

二、LVL 性質測試

(一)平衡含水率及體積收縮率

取未處理及經熱處理的楊樹單板製作之 LVL，裁切尺寸為 30 mm × 30 mm × 成板厚度(L×T×R)之試塊各 9 塊，於試塊表面之縱向、徑向、弦向各畫上一條基準線。依序將試塊先浸入 20±5°C 蒸餾水中至恆重，再移入 25±2°C 恆溫箱中裝有氯化鈉飽和水溶液(RH 75.5%)的透明塑膠盒(外部尺寸：310 mm × 210 mm × 130 mm)內調濕至恆重，最後將試塊放入 103±2°C 烘箱中至絕乾，試塊於各階段達恆重後，皆量測表面三條基準線的長度及質量，並以量測之弦、徑及縱向長度相乘，作為試塊當時的體積。

參考 CNS 452 「木材含水率試驗法」(2005)及

CNS459「木材尺度收縮率試驗法」(2005)，依下列各式(式 1-5)計算平衡含水率(EMC)、EMC 降低率、體積全收縮率(β_v)、體積平均收縮率(β_a)及抗收縮效能(ASE)。

$$\text{平衡含水率 (EMC, \%)} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100 \text{ ---- (1)}$$

W_1 : 試塊於 25°C, RH 75.5%環境中達恆重時的質量(g)

W_0 : 試塊絕乾後質量(g)

$$\text{EMC 降低率(\%)} = \frac{\Delta \text{EMC}}{\text{EMC}_{ut}} \times 100 \text{ ----- (2)}$$

ΔEMC : 未處理與經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 試材 EMC 的差值

EMC_{ut} : 未處理的楊樹單板製作之 LVL 試材的 EMC

$$\text{體積全收縮率}(\alpha_v, \%) = \frac{V_G - V_0}{V_G} \times 100 \text{ --- (3)}$$

V_G : 試塊浸水後的體積(cm^3)

V_0 : 試塊絕乾後的體積(cm^3)

$$\text{體積平均收縮}(\alpha_a, \%/%) = \frac{((V_E - V_0) / V_E) \times 100}{\text{EMC}_1} \text{ -- (4)}$$

V_E : 試塊於 25°C, RH 75.5%環境中達恆重時的體積(cm^3)

V_0 : 試塊絕乾後的體積(cm^3)

EMC_1 : 試塊於 25°C, RH 75.5%環境中達恆重時的平衡含水率(%)

$$\text{抗收縮效能(ASE, \%)} = \frac{(\alpha_c - \alpha_h)}{\alpha_c} \times 100 \text{ --- (5)}$$

α_c : 未處理的楊樹單板製作之 LVL 的體積全收縮率(%)

α_h : 經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 的體積全收縮率(%)

(二) 浸水剝離試驗

依 CNS14646「結構用單板層積材」第 5.2 節「浸水剝離」，取未處理及經熱處理的楊樹單板製作之 LVL，裁切邊長為 75 mm 之正方形試片各 9 片，於室溫(10~25°C)的水中浸漬 24 小時後，放入 70±3°C 烘箱中，乾燥 24 小時以上。重複上述步驟兩次後，測定 4 個側面之膠合層剝離長度(剝離長度在 3 mm 以下者不計)及在同一膠合層剝離長度之合計，並由下式(式 6)計算剝

離率。其試片 4 個側面之剝離率在 5%以下，且同一膠合層之剝離長度在該膠合層長度之 1/4 以下者為合格。

$$\text{剝離率(\%)} = \frac{\text{膠合層 4 個側面剝離長度合計}}{\text{膠合層 4 個側面長度合計}} \times 100 \text{ --- (6)}$$

(三) 膠合剪斷試驗

取未處理及經熱處理的楊樹單板製作之 LVL，依 CNS14646「結構用單板層積材」，第 5.6 節「木塊膠合剪斷」，各製作形狀尺寸如附圖 1 的試塊各 9 塊，並於溫度 20±2°C 及相對溼度 65±5%的環境中，調濕至質量達恆重後，以 1,000 kgf/min 載重速度進行試驗，直至試塊破壞為止，記錄破壞載重並以下式(式 7)計算膠合剪斷強度(kgf/cm²)。

$$\text{膠合剪斷強度(kgf/cm}^2\text{)} = \frac{\text{試片破壞載重(kgf)}}{\text{膠合面積(cm}^2\text{)}} \text{ ----- (7)}$$

(四) 抗彎試驗

依照 CNS14646「結構用單板層積材」，第 5.7 節「抗彎性能」規範進行試材製作。

1. 試片

取未處理及經熱處理的楊樹單板製作之 LVL，裁切 350 mm × 90 mm × 成板厚度(L×T×R) 試片各 9 片。並於溫度 20±2°C 及相對溼度 65±5% 的環境中，調濕至恆重後，進行抗彎試驗。

2. 試驗方法

設定跨距為 260 mm，將試片放置於萬能強度試驗機(Shimadzu, UH- 10B)，進行中央集中載重抗彎試驗。平均載重速度約為每分鐘 150 kgf/cm²，記錄最大載重及繪製載重撓曲圖，以下列各式(式 8-10)計算抗彎強度(kgf/cm²)、抗彎彈性模數(kgf/cm²)及塑性撓曲功(kgf·cm)，並參考式 2，以未處理者之數值為基準，計算經熱處理者各項性質之降低率。

$$\text{抗彎強度(kgf/cm}^2\text{)} = \frac{3P_R l}{2bh^2} \text{ ----- (8)}$$

$$\text{抗彎彈性模數(kgf/cm}^2\text{)} = \frac{\Delta P l^3}{4\Delta y bh^3} \text{ -- (9)}$$

$$\text{塑性撓曲功(kgf·mm)} = \sum_{k=P_y}^{P_b} (Y_k) \text{ -- (10)}$$

前三式中， P_b ：最大載重(kgf)

l ：跨距(cm)

b ：試片寬度(cm)

h ：試片厚度(cm)

ΔP ：比例限度內上限載重與下限載重之差(kgf)

Δy ：與 ΔP 相對應之撓曲量差(mm)

P_p ：比例限度載重(kgf)

Y ： $P_p \sim P_b$ 之撓曲量(mm)

Y_R ：與 P_b 相對應之撓曲量(mm)

(五)水平剪斷試驗

依照 CNS 14646 「結構用單板層積材」，第 5.5 節「水平剪斷性能」測定。

1.試片

取未處理及經熱處理的楊樹單板製作之 LVL，裁切平面式方向試塊 150 mm × 40 mm × 成板厚度(L×T×R)及側面式方向試塊 150 mm × 36 mm × 成板厚度(L×T×R)各 9 片，並於溫度 20±2℃ 及相對溼度 65±5 % 的環境中調濕至質恆重後，進行水平剪斷試驗。

2.試驗方法

設跨距為 50 mm，將試片於萬能試驗機上進行中央集中載重水平剪斷試驗。平均載重速度每分鐘約為 150 kgf/cm²，記錄其最大載重，並由下式(式 11)計算出水平剪斷試驗強度，並參考式 2 計算剪斷強度降低率。

$$\text{水平剪斷強度(kgf/cm}^2\text{)} = \frac{3P_b}{4bh} \quad \text{--- (11)}$$

P_b ：最大載重(kgf)

b ：試片寬度(cm)(側面方向時，為試片厚度)

h ：試片厚度(cm)(側面方向時，為試片寬度)

三、生物劣化抵抗性能

(一)單板抗發黴試驗

為了解楊樹單板經熱處理後對黴菌抵抗性能的改变，以推估由未處理及經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 的發黴抵抗性能，依 American Wood Protection Association (AWPA) Standard E24-06 (2010)，進行發黴抵抗試驗。

1.試材

將未處理及經熱處理的楊樹單板裁剪成長 200 mm(L)、寬 80 mm(T)的試片。

2.黴菌菌株

使用由發黴角材分離所得的 *Aspergillus* (麴黴菌)、*Penicillium* (青黴菌)及 *Trichoderma* (木黴菌)屬黴菌各 1 株。

3.試驗方法

取未處理及經熱處理的楊樹單板試片各 6 片，分別抽取兩種單板試片各 3 片浸入水中，至質量穩定後，與剩餘未浸水之試片，合計 12 片，一同放入內部尺寸為 310 mm × 210 mm × 130 mm (長×寬×高)，且盛有飽和鹽類水溶液的有蓋透明塑膠盒中，共計製作 3 組(盒)不同相對濕度 91.7%(KNO₃)、75.5%(NaCl)、33.1%(MgCl₂·6H₂O)之試驗條件。將 3 種試驗黴菌生長於 2%麥芽抽出物培養基 1 週之直徑 60 mm 塑膠培養皿各 1 個，倒貼於塑膠盒蓋內，使黴菌孢子散落於試片上。為確保孢子均勻散佈，單板與單板之間以塑膠水果叉分隔固定後，再將透明塑膠盒放進 25℃ 恆溫箱中。每天觀察記錄黴菌在試片上的生長情形，並依照 AWPA Standard E24-06 的判定基準(附表 1)級分，試驗時間 4 週。

4.數據整理

由各條件組合的 3 片重複試片的黴菌生長記錄結果，整理為下列三個參數，作為比較的依據。

(1)開始發黴天數：3 片重複試片，任 1 片開始發黴時的放置天數。天數愈長，試材抗發黴性能愈好。

(2)最高發黴級分：4 週試驗結束時，3 片重複試片發黴級分的平均值。依附表 1 分為 0 ~5 級，級分愈小，試材抗發黴性能愈好。

(3)達最高發黴級數之天數：3 片重複試片發黴級分的平均值，達最高發黴級分時的放置天數。天數愈長，試材抗發黴性能愈好。

(二)耐腐朽試驗

1.試材

取未處理及經熱處理的楊樹單板製作之 LVL，裁切 10 mm × 30 mm × 成板厚度(L×T×R)的試塊。

2. 腐朽菌株

褐腐菌：*Gloeophyllum trabeum* 2 株(MAD 617 and BCRC 31614), *Postia placenta* 1 株(MAD 698)

白腐菌：*Trametes versicolor* 2 株(ATCC 12679 and BCRC 37501), *Lenzites betulina* 1 株(BCRC 35296)

3. 培養基

2%麥芽抽出物培養基(MEA, 2 % malt extract and 2% agar)。

4. 墊木

以未處理楊樹單板切製斷面為 2 mm(T) × 1.5 mm(R)長度約 35 mm(L)的小木條，2 支 1 組，作為隔離試塊與腐朽菌菌落的墊木。

5. 試驗方法

放入 30 g 2%麥芽抽出物培養基於底部直徑 90 mm、高 60 mm 的螺蓋玻璃培養瓶內，順圓周以 120° 間隔放置 1 組墊木，並於培養基中心接入腐朽菌菌塊。等培養基表面佈滿菌落後，將試塊以端面向下的方式，放置於墊木上。每個培養瓶放置 3 個試塊，同一菌株與試材組合重複 12 個試塊。設置完成的培養瓶，放置於 26±2°C 恆溫箱中進行試驗，試驗時間 12 週(Hosseini Hashemi, 2010)。以試塊腐朽試驗前後於 60±2°C 烘箱烘至恆重之質量，以下式(式 12)計算質量損失率，為試驗結果之評估基準，並參考式 2，計算質量損失率的降低率。

$$\text{質量損失率 (\%)} = \frac{(W_0 - W_1)}{W_0} \times 100 \quad (12)$$

W_0 ：試塊腐朽前之質量(g)

W_1 ：試塊腐朽後之質量(g)

(三) 抗白蟻試驗

1. 標準試驗

(1) 試材

取未處理及經熱處理的楊樹單板製作之 LVL，切製成 12 mm × 20 mm × 成板厚度(L×T×R)的試塊各 9 塊。

(2) 試驗方法

依 AWPA Standard E1-09 (2010)，以底部直徑

60 mm、高度 90 mm 的螺蓋玻璃瓶作為試驗容器，放入 70 g 海砂、10 g 無菌水、家白蟻 (*Coptotermes formosanus*) 工蟻 130 隻與兵蟻 10 隻及試塊 1 塊，於 24~28°C 環境下，避光培養 4 週，以試材受害情形依附表 2 評定受害級分，並以試材試驗前後於 60±2°C 烘箱烘至恆重所量取之質量，利用式 12 及參考式 2，計算質量損失率及質量損失率的降低率。

2. 白蟻試驗場試驗

(1) 白蟻試驗場

於宜蘭縣壯圍鄉新南村無人居住之民宅，埋設內徑 104 mm、高度 300 mm 的塑膠管於堆置高度為 300 mm 的砂質壤土試驗床。先以放射松 (*Pinus radiata*) 角材放置於塑膠管內，引誘民宅基地之野生自然白蟻族群進入試驗床，確認侵入之白蟻為家白蟻，並已分布至預定進行試驗之試驗床範圍後進行試驗。

(2) 試材

取未處理及經熱處理的楊樹單板製作之 LVL，切製 270 mm × 45 mm × 成板厚度(L×T×R)的試片各 9 片。

(3) 試驗方法

將未處理及經過熱處理之試材各 1 支，中間以塑膠瓦楞紙板隔開，再以塑膠繩綁成 1 組，共製作 9 組。於試驗床白蟻入侵的範圍內，隨機選擇 9 支塑膠管，各放入 1 組試材，進行 8 週的試驗。試驗結束後，以試材試驗前後於 60±2°C 烘箱烘至恆重的質量差，利用式 12 及參考式 2，計算質量損失率及質量損失率的降低率，並依附表 2，評定試材受害級分。

結果與討論

一、平衡含水率、體積收縮率

未處理及經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 於 25°C, RH 75.5% 時的 EMC、EMC 降低率、體積全收縮率(β_v)、體積平均收縮率(β_a)及 ASE 整理於表 1。

為了解以未處理及經熱處理的楊樹單板製作

之 LVL 的 EMC 及 β_v 是否具顯著性差異，進行 t 檢定，結果顯示，二者之 EMC 及 β_v 具極顯著的差異 (p -value 分別為 1.21×10^{-9} 及 6.00×10^{-11})。相較於未處理的楊樹單板製作之 LVL，以經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 的 EMC 及 β_v 分別減少 11.91% 及 17.19 %。而二者的 β_a 經 t 檢定並無顯著的差異 (p -value = 0.264)，顯示經熱處理的楊樹單板製作之 LVL，尺寸安定性提升的主要原因，為吸濕性的降低。

表 1 未處理及經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 於 25°C, RH 75.5% 時的平衡含水率及體積收縮率
Table 1 The EMC at 25°C, RH 75.5% and volumetric shrinkage percentage of LVL made of untreated and heat-treated poplar veneers

LVL 單板類別	EMC(%) at 25°C, RH 75.5%	體積全收縮率(%)	體積平均收縮率(%/%)
未處理	12.49 (0.583)	10.47 (0.276)	0.44 (0.015)
經熱處理	11.00 (0.529)	8.67 (0.250)	0.45 (0.035)
EMC 降低率(%)	11.91***		
ASE(%)	17.19***		

註 1：括號內數值為標準差

註 2：降低率數值標記***者為未處理及經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 於該項性質以 t 檢定有極顯著差異 ($\alpha = 1\%$)

二、膠合性質

未處理及經熱處理的楊樹單板，以本試驗用膠合劑及膠合條件製作之 LVL，其各項膠合試驗數值整理於表 2。未處理及經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 的浸水剝離率均符合 CNS 14646 「結構用單板層積材」的規範(平均剝離率低於 5%，試片合格率超過 90%)。經熱處理的楊樹單板製作之 LVL，其膠合剪力平均值雖僅較未處理

表 2 未處理及經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 的膠合性質
Table 2 Adhesion properties of LVL made of untreated and heat-treated poplar veneers

LVL 單板類別	浸水剝離		膠合剪力 (kgf/cm ²)
	平均剝離率(%)	試片合格率(%)	
未處理	1.65 (14.438)	100	49.94
熱處理	0	100	42.48

註：括號內數值為標準差

的楊樹單板製作者低 5.46 kgf/cm²，但經 t 檢定為極顯著的差異 (p -value = 0.003)。以上結果顯示，經熱處理的楊樹單板間膠合良好，但可能因材質經熱處理所產生的變化，導致膠合剪力降低。

三、機械性質

依 CNS 14646 「結構用單板層積材」，對未處理及經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 進行各項機械強度試驗，結果整理於表 3。

表 3 未處理及經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 機械性質
Table 3 Mechanical properties of LVL made of untreated and heat-treated poplar veneers

LVL 單板類別	未處理	熱處理	降低率 (%)	
試材 MC(%)	13.87 (0.002)	11.05 (0.002)		
試材絕乾比重	0.44 (0.024)	0.47 (0.023)		
抗彎試驗	MOE($\times 10^3$ kgf/cm ²)	74.06 (7.182)	75.86 (4.475)	-2.43
	MOR (kgf/cm ²)	654.11 (45.902)	405.32 (44.534)	38.03***
水平剪斷試驗	塑性撓曲功 (kgf-mm)	185.88 (26.075)	5.56 (10.362)	97.00***
	平面式 (kgf/cm ²)	47.39 (4.668)	31.20 (2.542)	34.16***
	側面式 (kgf/cm ²)	52.68 (2.444)	34.61 (1.971)	34.30***

註 1：括號內數值為標準差

註 2：降低率數值標記***者為未處理及經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 於該項性質以 t 檢定有極顯著差異 ($\alpha = 1\%$)

由經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 所切取的試材，相對於未處理的楊樹單板製作者，有較高的絕乾比重及較低的 EMC，但除 MOE 外，各項機械性質皆較未處理的楊樹單板製作者為低，且皆有極顯著的差異。經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 的抗彎試驗的 MOR 較未處理的楊樹單板製作者降低了 38.03%；兩種水平剪斷強度皆降低約 34%；塑性撓曲功降低率達 97%，平均值僅為 5.56 kgf-mm。經熱處理的楊樹單板製作之 LVL，其側面式水平剪斷強度，未能達到 CNS 14646 「結構用單板層積材」標準的最低要求。塑性撓曲功雖不屬 CNS 14646 要求之性質，但由塑性撓曲功數值可知，經熱處

理的楊樹單板製作之 LVL，已幾乎沒有塑性，試驗時部分試材載重達比例限度載重(P_p)時，即行斷裂。就機械性質而言，經熱處理的楊樹單板製作之 LVL，在結構使用上的限制較多。

四、單板抗發黴性質

木材發黴為真菌以無性繁殖的樣態生長在木材表面的現象，受限於材料數量與實驗容器，取未處理與經熱處理的楊樹單板進行表面抗發黴試驗，以了解熱處理單板對其所製成之 LVL 可能提供的抗發黴效用。

未處理與經熱處理單板之表面抗發黴試驗結果整理於表 4。結果顯示，4 週試驗結束時，於 25°C 的溫度環境中，共有 RH 33.1% 試驗前浸水與未浸水的經熱處理楊樹單板和未浸水的未處理楊樹單板及 RH 75.5% 試驗前未浸水的經熱處理楊樹單板等 4 個試驗組合的試材沒有發黴。顯示經熱處理的氣乾楊樹單板，在 25°C，RH 75.5% 的使用環境下並不容易發黴。比較相同相對溼度與相同試驗前處理(浸水或未浸水)中的未處理及經熱處理的楊樹單板的試驗結果發現，除 RH 91.7%、浸水組及 RH 33.1%、未浸水組的未處理及經熱處理的楊樹單板的試

表 4 未處理與經熱處理單板之抗發黴試驗結果
Table 4 Results of resistance to surface mold growth test of untreated and heat-treated popular veneers

環境相對溼度	試材前處理	單板類別	開始發黴天數	最高發黴級分	達最高發黴級數之天數
91.7%	浸水	未處理	5	5.0	9
		熱處理	5	5.0	9
	未浸水	未處理	5	5.0	17
		熱處理	7	5.0	18
75.5%	浸水	未處理	3	5.0	28
		熱處理	3	1.7	17
	未浸水	未處理	5	2.0	28
		熱處理	NA	0	NA
33.1%	浸水	未處理	7	3.0	27
		熱處理	NA	0	NA
	未浸水	未處理	NA	0	NA
		熱處理	NA	0	NA

驗結果相同外，其餘各組經熱處理的楊樹單板在開始發黴天數、最高發黴級數與達最高發黴級分之天數等三項評估參數上，皆至少有一項優於未處理者。由此可知，熱處理能有效的提升楊樹單板的抗發黴性能。

此結果雖和沈與林(2011)對熱處理桉樹單板試驗所得，170°C 及 190°C 熱處理對桉樹單板的抗發黴性能無提升效用的結果不同，就其試驗條件為 RH 100% 環境中，且先對試驗單板噴灑黴菌孢子懸浮液的試驗條件來看，與本試驗 RH 91.7%、浸水的試驗條件相似，而不易呈現熱處理提升木材抗發黴性能的性用。

經熱處理的單板其抗發黴性能提升的主要原因，推測為其吸濕性較小，平衡含水率較低，而較不利黴菌生長所致。

五、耐腐朽性能

經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 的試材，經 12 週腐朽試驗，各腐朽菌株產生的質量損失率皆顯著的低於未處理者(表 5)，顯示熱處理能有效提升試材對各試驗菌

表 5 未處理及經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 腐朽試驗的試材質量損失率

Table 5 Percentage of specimen decay weight loss of LVL made of untreated and heat-treated popular veneers

腐朽菌(品系)	LVL 單板類別		質量損失降低率(%)
	未處理	熱處理	
褐腐菌 <i>G. trabeum</i> (MAD 617)	47.37 (0.055)	17.04 (0.038)	64.03***
	29.15 (0.061)	2.95 (0.041)	89.88***
	36.23 (0.038)	12.46 (0.050)	65.61***
白腐菌 <i>T. versicolor</i> (ATCC 12679)	32.92 (0.051)	27.84 (0.052)	15.43**
	40.51 (0.069)	28.33 (0.081)	30.06***
	20.54 (0.012)	13.80 (0.015)	32.81***

註 1：括號內數值為標準差

註 2：降低率數值標記**者為未處理及經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 於該項性質以 t 檢定為顯著($\alpha=5\%$)，標記***者為極顯著($\alpha=1\%$)

對 *G. trabeum* (BCRC 31614) 菌株的抗性已達 CNS 6717 「木材防腐劑之性能基準」所要求的質量損失 3% 以下的有效標準。然而，雖對其他菌株的抵抗力也呈現相較於未處理試材有顯著的改善效果，但經熱處理者仍遭受 10% 以上(12.46~28.33%) 的質量損失。顯示改善效果仍未達需求，且對不同的腐朽菌株，呈現不同的結果，即使為同一菌種(species)，品系(strain)不同，試驗結果仍有明顯的差異，如 *G. trabeum* MAD 617 及 BCRC 31614 對未處理及經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 的試材分別產生 47.37%、29.15% 及 17.04%、2.95% 的質量損失。

熱處理能有效提升木材的耐腐朽性能，但仍有很大的改善空間，以達到耐腐朽性能的要求。此外，腐朽菌株的選擇，亦會明顯的影響實驗結果與試材耐腐朽性能的評估。

實驗室的耐腐朽試驗是於對試材極嚴格的條件下進行試驗，雖然前述結果顯示，熱處理對木材耐腐朽性能的改善仍未達理想。在實際使用時，熱處理應仍有提升木質材料耐腐朽性能的效用，尤其在材料不直接與水分接觸的使用場合，熱處理木質材料因其相對較小的吸濕性及化學組成成分與結構的改變，較不利腐朽菌的生長及其木材分解酵素的擴散與營養的吸收，因此熱處理對木質材料耐腐朽性能的改善雖未達理想，但仍具有提升的效用。

六、抗白蟻性能

經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 的試材，不論在標準試驗或試驗場試驗的質量損失率皆極顯著的大於未處理者，受害級分(未受害：10，最嚴重受害：0)亦明顯較嚴重(表 6)。各試材單獨與家白蟻飼養的標準試驗結果顯示，家白蟻對經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 的試材的取食量高出未處理者 77.32%。若將未處理及經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 的試材成組，如試驗場試驗的方法，家白蟻呈現對經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 的選擇取食偏好，致使經熱處理者的質量損失超過未處理者達 6 倍以上。

整體而言，家白蟻不僅取食較多量的經熱處理的試材，且在有選擇的試驗條件下，偏好取食經熱處理的試材，熱處理不僅未能提升試材的白蟻抵抗性能，反而誘使家白蟻對其進行危害。

表 6 未處理及經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 抗白蟻試驗結果

Table 6 Results of resistance to subterranean termite test of LVL made of untreated and heat-treated poplar veneers

LVL 單板類別	標準試驗		試驗場試驗	
	受害 級分	質量損 失率(%)	受害 級分	質量損 失率(%)
未處理	8	14.77 (0.014)	7	5.10 (2.467)
熱處理	2	26.19 (0.045)	3	36.12 (20.080)
質量損失 降低率(%)		— 77.32***		— 608.24***

註 1：括號內數值為標準差

註 2：降低率數值標記***者為未處理及經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 於該項性質以 t 檢定為極顯著($\alpha = 1\%$)

結 論

速生小徑木楊樹單板經 180°C、2 小時熱處理後，所製作的 LVL 具有良好的膠合性能。相對於以未處理的單板製作的 LVL，其 EMC 較低，尺寸安定性較好，但 CNS 14646「結構用單板層積材」規範的各項機械性質除 MOE 外，皆顯著的降低，未能符合 CNS 14646 標準，且幾無塑性，作為結構用時，應多加考慮。熱處理顯著提升楊樹單板的抗發黴性能，以經熱處理的單板製作之 LVL，耐腐朽性能亦有顯著的增加，但卻較易遭受白蟻的危害。

經熱處理的楊樹單板製作之 LVL 較適合做為裝潢用材，做為結構用時，應多加考慮，透過適當的設計發揮其優點，降低不足之處的影響。

誌 謝

本試驗承蒙昆儀實業股份有限公司提供材料、設備及技術諮詢，謹致謝忱。

參考文獻

- 沈竣研、林亞立。2011。以熱處理桉樹單板製作合板之性質評估。宜蘭大學生物資源學刊 7(1):41-48。
- 卓志隆。2011。熱處理木材之物理與抗生物劣化特性。林業研究專訊 18(5):13-19。
- 經濟部標準檢驗局。2005。中華民國國家標準 CNS 451 木材密度試驗法。台北。

經濟部標準檢驗局。2005。中華民國國家標準 CNS 452 木材含水率試驗法。台北。

經濟部標準檢驗局。2005。中華民國國家標準 CNS 459 木材尺度收縮率試驗法。台北。

經濟部標準檢驗局。2011。中華民國國家標準 CNS 6717 木材防腐劑之性能基準。台北。

經濟部標準檢驗局。2006。中華民國國家標準 CNS 11671 結構用合板。台北。

經濟部標準檢驗局。2006。中華民國國家標準 CNS 14646 結構用單板層積材。台北。

顧煉百、丁濤、呂斌、朱昆。2010。壓力蒸氣處理木材生物耐久性的研究。中國木材保護 5(35):21-24。

American Wood Protection Association. 2010. AWP Standard E1-09 “Standard Method for Laboratory Evaluation to Determine Resistance to Subterranean Termites”. Birmingham, Alabama, USA.

American Wood Protection Association. 2010. AWP Standard E24-06 “Standard Method of Evaluating the Resistance of Wood Product Surfaces to Mold Growth”. Birmingham, Alabama, USA.

Borrega, M. and P. Kärenlampi. 2010. Hygroscopicity of heat-treated Norway spruce (*Picea abies*) wood. European Journal of Wood and Wood Products 68(2):233-235.

Callum, A. S. H. 2006. Wood Modification, Chemical, Thermal and Other Processes. pp. 99-100. John Wiley & Sons, Ltd. West Sussex, England.

Ding, T., L. Gu, and T. Li. 2010. Influence of steam pressure on mechanical properties of heat-treated Mongolian pine lumber. European Journal of Wood and Wood Products 69:121-126.

Hosseini Hashemi, S. K., A. J. Latibari, H. Khademi-Eslam, and R. F. Alamuti. 2010. Effect of boric acid treatment on decay resistance and mechanical properties of poplar wood. BioResources 5(2):690-698.

Kocaefe, D., B. Chaudhry, S. Poncsak, M. Bouazara, and A. Pichette. 2007. Thermo gravimetric study of high temperature treatment of aspen: Effect of treatment

parameters on weight loss and mechanical properties. Journal of Materials Science 42(4):854-866.

Mburu, F., S. Dumarcay, J. F. Bocquet, M. Petrisans, and P. Gérardin. 2008. Effect of chemical modifications caused by heat treatment on mechanical properties of *Grevillea robusta* wood. Polymer Degradation and Stability 93(2):401-405.

Vjekoslav, Z., P. Ivan, T. Hrvoje, S. Omisla, and J.Vlatka. 2008. Dimensional stability of heat treated wood floorings. Drvna Industrija 59(2): 69 -73.

Vukas, N., I. Horman, and S. Hajdarevic. 2010. Heat treated wood. Symposium of the 14th International Research/Expert Conference “Trends in the Development of Machinery and Associated Technology” pp. 122-124. September 11-18. Mediterranean Cruise.

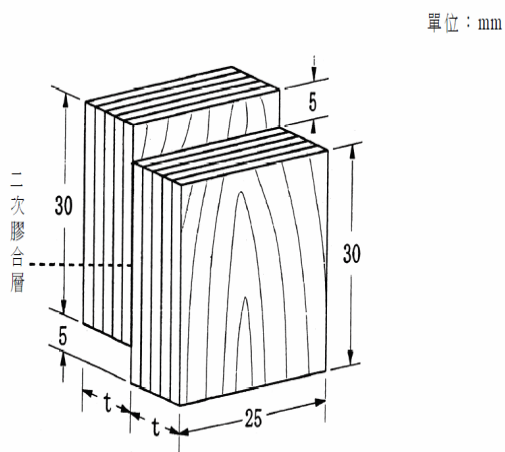
附 錄

附表 1 發黴試驗試材發黴級分評定標準(取自 AWP Standard E24-06)

Rating	Description
0	No visible growth
1	Mold covering up to 10% of surfaces providing growth is not so intense or colored as to obscure the sample color over more than 5% of surfaces
2	Mold covering between 10% and 30% of surfaces providing growth is not so intense or colored as to obscure the sample color on more than 10% of surfaces
3	Mold covering between 30% and 70% of surfaces providing growth is not so intense or colored as to obscure the sample color on more than 30% of surfaces
4	Mold on greater than 70% of surfaces providing growth is not so intense or colored as to obscure the sample color over more than 70% of surfaces
5	Mold on 100% of surfaces or with less than 100% coverage and with intense or colored growth obscuring greater than 70% of the sample color

附表 2 白蟻試驗試材受害級分評定標準(取自 AWPA Standard E1-09)

Rating	Description
10	Sound
9.5	Trace, surface nibbles permitted
9	Slight attack, up to 3% of cross sectional area affected
8	Moderate attack, 3-10% of cross sectional area affected
7	Moderate/severe attack, penetration, 10-30% of cross sectional area affected
6	Severe attack, 30-50% of cross sectional area affected
4	Very severe attack, 50-75% of cross sectional area affected
0	Failure



附圖 1 膠合剪力試塊形狀及尺寸(取自 CNS 14646)

101 年 9 月 20 日投稿
101 年 11 月 30 日接受