

研究報告

# 聚胺基甲酸酯處理材之尺寸安定性<sup>1</sup>

## — 醇酸樹脂-甲苯二異氰酸酯處理材

劉正字<sup>2</sup> 李文昭<sup>3</sup> 鍾明吟<sup>4</sup>

**【摘要】**本研究以杉木、紅柳桉及紅欖木為試材，以丙二醇-己二酸（PG-AA）及乙二醇-鄰苯二甲酸酐（EG-PA）所合成之醇酸樹脂與甲苯二異氰酸酯（Toluene diisocyanate；TDI）混合調配成聚胺基甲酸酯為注入藥液（以下簡稱 PU 注入藥液），探討 PU 改質處理對木材尺寸安定性之改善效果。由結果得知，樹種之比重為影響處理材之注入率、單位體積重量增加量及重量增加率（WG）之最主要因素。三種樹種間以杉木最高，紅柳桉次之，紅欖木最低。經改質處理之各試材均有體積膨脹之現象。各處理材之平衡含水率、浸水時之吸水率及體積膨脹率均較未處理材降低，其中以紅柳桉之改質效果較佳，其浸水 5 天之吸水率在 19.3~25.5 % 之間，其吸水時體積抗膨脹效能（ASE 值）在 34.1~36.8 % 之間，紅欖木之 ASE 值則在 19.6~31.1 % 之間，且隨其 NCO / (OH+COOH) 莫耳比增加而提高。各處理材之吸濕性亦較未處理材降低，且以 EG-PA 為原料者之降低效果優於以 PG-AA 為原料者，三種樹種之比較則以紅柳桉之改善效果最明顯，紅欖木次之，杉木處理材之改善效果則較差。紅柳桉及紅欖木單獨以 TDI-80 改質者其 ASE 值大於以 PU 處理者。

**【關鍵字】**化學改質、聚胺基甲酸酯、尺寸安定性、杉木、紅柳桉、紅欖木

Research paper

# Dimensional Stability of Polyurethane Treated Wood<sup>1</sup>

## — Alkyd- Toluene Diisocyanate Treated Wood

Cheng-Tzu Liu<sup>2</sup> Wen-Jau Lee<sup>3</sup> Ming-Yin Chung<sup>4</sup>

**【Abstract】** China fir (*Cunninghamia lanceolata*), red lauan (*Shorea* spp.) and red oak (*Quercus* spp.) were impregnated in the solution of polyurethane (PU) that blended with toluene diisocyanate and two kinds of alkyd resin, one was PG-AA that synthesized by propylene glycol and adipic acid, the other was

1. 本研究為行政院國科會補助之專題研究計畫(NSC-88-2313-B-005-095-A09)

This project was sponsored by the National Science Council, R.O.C. (Grant number NSC-88-2313-B-005-095-A09)

2. 國立中興大學森林學系教授

Professor, Department of Forestry, NCHU.

3. 國立中興大學森林學系副教授，通信作者

Associate Professor, Department of Forestry, NCHU. Corresponding author.

4. 國立中興大學森林學系研究生

Graduate Student, Department of Forestry, NCHU.

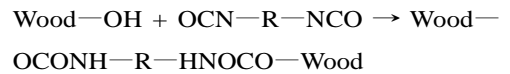
EG-PA that synthesized by ethylene glycol and phthalic anhydride. The improvement of dimensional stability of PU treated wood was investigated. Specific gravity of wood was the most important factor that influenced the impregnation, weight gain per unit volume and weight gain (WG) of PU treated woods. Comparison among the wood species, China fir had the highest value, red lauan the secondary and red oak the lowest. All the chemical modified woods had volume swelling. The equilibrium moisture content and water absorption and volumetric swelling when soaked in water of treated woods were lower than untreated wood. Chemical modified red lauan had the best effect of improvement. They had water absorption between 19.3 % to 25.5 %, and ASE between 34.1 % and 36.8 %. The ASE of red oak treated woods was between 19.6 % and 31.1 %, and increased as the molar ratio of NCO/(OH+COOH) increased. The hygroscopicity of treated woods was lower than untreated woods too. The effect of improvement of woods treated with PU solution that using EG-PA as alkyd resin was better than PG-AA. As comparison among these three wood species, red lauan had the most evidence of improvement, red oak was the secondary, and China fir was the lowest. The ASE of red lauan and red oak treated with TDI-80 alone was higher than with PU solution.

**[Key words]** Chemical modification, Polyurethane, Dimensional stability, China fir, Red lauan, Red oak.

## 一、前言

木材藉由化學改質使其親水性之羥基轉換成疏水性之結構可提升其尺寸安定性，且由於化學藥劑與木材組成結構間形成化學鍵結，其穩定性佳，因此可獲得長時間之尺寸安定效果（張上鎮、張惠婷，1995；劉正字，1997；Rowell and Ellis, 1979）。異氰酸酯化合物（Isocyanate compound）為具備 -NCO 基之化合物，在中性或弱鹼性環境時，其易膨潤、滲透木材，且其 -NCO 基可與木材之羥基在 120 °C 以下溫度進行反應形成胺基甲酸酯（Urethane）化學鍵結（Rowell and Ellis, 1979）。Rowell 等人利用甲基異氰酸酯（Methyl isocyanate）對南方松木材行化學改質，其結果可改善木材之尺寸安定性，並抑制木材之生物劣化性（Rowell, 1980; Rowell and Ellis, 1979; 1984）。Chen 則認為以具備兩個 -NCO 基之 1,6- 六亞甲基二異氰酸酯（1,6-Hexamethylene diisocyanate；HDI）與木材反應時，因其具備二個 NCO 基而可在木材之半纖維素、木質素及部分纖維素分子間產生架橋連結而有較佳之

尺寸安定效果（Chen, 1992）。其反應式如下：



本研究前報（劉正字等，2002）則利用醇酸樹脂與脂肪族異氰酸酯之 HDI 混合調配成聚胺基甲酸酯（以下簡稱 PU）注入藥液，嘗試藉由醇酸樹脂之添加，使延長異氰酸酯化合物之分子鏈長度，以克服異氰酸酯與木材組成分子作用時之立體障礙，由其結果得知此處理材之平衡含水率、浸水時之吸水率及體積膨脹率、吸濕時之吸濕率及吸濕膨脹率均較未處理材降低。本研究乃進一步利用芳香族之甲苯二異氰酸酯（Toluene diisocyanate；TDI）與醇酸樹脂混合調配成 PU 注入藥液，並探討此 PU 處理材經加熱反應後對其木材尺寸安定性之改善效果。

## 二、材料與方法

### （一）試驗材料

#### 1. 試藥

（1）醇類：乙二醇（Ethylene glycol；

HOCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OH；簡稱 EG)。

1,2-丙二醇 ( Propylene glycol ;  
CH<sub>3</sub>CHOHCH<sub>2</sub>OH；簡稱 PG)。

- (2)酸類：己二酸 ( Adipic acid ;  
HOOC(CH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>COOH；簡稱 AA)。  
鄰苯二甲酐 ( Phthalic anhydride ;  
C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(CO)<sub>2</sub>O；簡稱 PA)。

- (3)異氰酸酯化合物：甲苯二異氰酸酯  
(Toluene diisocyanate；CH<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>(NCO)<sub>2</sub>，  
TDI)，採用由 2,4-TDI 80 % 及 2,6-TDI  
20 % 所混合者，簡稱 TDI-80)。

- (4)其它：甲醇 (Methanol)、乙醇  
(Ethanol)、苯 (Benzene)、二甲苯  
(Xylene)、乙酸乙酯 (Ethyl acetate)、丙  
酮 (Acetone)、丁胺 (Butyl amine)、鹽酸  
(Hydrochloric acid)、氫氧化鉀  
(Potassium hydroxide)、醋酸酐 (Acetic  
anhydride)、吡啶 (Pyridine)。

## 2.試材

- (1)杉木 (*Cunninghamia lanceolata*, China  
fir)：取自林業試驗所蓮花池分所之造  
林疏伐木，約 25 年生，比重約 0.37。

- (2)紅欒木 (*Quercus* spp., red oak)：屬殼  
斗科，市售進口材，比重約 0.71。

- (3)紅柳桉 (*Shorea* spp., red lauan)：屬龍  
腦香科，市售進口材，比重約 0.54。

## (二) 試驗方法

1. 試材備製：將三種試驗用木材依試驗項目  
裁切成下列規格試驗片。

浸水試驗：3 cm (T)×3 cm (R)×1 cm (L)

吸濕試驗：3 cm (T)×3 cm (R)×0.5 cm (L)

2. 醇酸樹脂合成、酸價及澀價測定、TDI之  
NCO基含量測定：同本研究前報 (劉正字  
等，2002)。

3. 聚胺基甲酸酯 (PU) 注入藥液之配製：同  
本研究前報，PU 注入藥液調配時將 TDI-80  
與醇酸樹脂之 NCO/ (COOH+OH) 官能基

莫耳比 (以下簡稱 r) 設定為 1.7、1.3 及  
1.0 三種，並添加乙酸乙酯調配成 30 % 之  
濃度以降低其粘度。

4. 試材之注入處理：將各試材以 103±2 °C 乾  
燥至爐乾，冷卻，稱量其重量 (W<sub>1</sub>) 及體  
積 (V<sub>1</sub>)。將爐乾試材置入注入處理槽，減  
壓 (35 mm-Hg) 處理 30 min，隨後將PU  
注入藥液導入處理槽，並在 10 kgf/cm<sup>2</sup> 之壓  
力下注入處理 30 min，取出試材，稱量注  
入後試材重 (W<sub>2</sub>) 及體積 (V<sub>2</sub>)，計算其  
藥液注入率。

$$\text{注入率 (\%)} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$$

5. 注入材之加熱反應：將 PU 注入材以鋁箔包  
裹，並置於 120 °C 烘箱中加熱反應 1 hr，  
再置於 103 ± 2 °C 烘箱中乾燥至恆乾，稱  
量其絕乾重量 (W<sub>3</sub>) 及體積(V<sub>3</sub>)。並依下  
列公式計算其單位體積重量增加量  
(Weight gain per unit volume；W)、重量增  
加率 (Weight gain；WG) 及體積膨脹率  
(Volumetric swelling；S)。隨後將各試材置  
溫度 20 ± 1 °C，相對濕度 65 ± 2 % 恆溫  
恆濕機中至達平衡含水率。

$$W (\text{g/cm}^3) = \frac{W_3 - W_1}{V_1} \times 100$$

$$\text{WG (\%)} = \frac{W_3 - W_1}{W_1} \times 100$$

$$S (\%) = \frac{W_3 - V_1}{V_1} \times 100$$

6. PU 處理材之尺寸安定性：

- (1)浸水試驗：將處理材以流動水水洗 3  
天，隨後以 103 ± 2 °C 乾燥至絕乾，稱  
量其重量 (W<sub>4</sub>)，並依浸水前之重量  
(W<sub>3</sub>) 計算其重量損失率。將各試材移  
置溫度 20 ± 1 °C，相對濕度 65 ± 2 %  
之恆溫恆濕室中至達平衡含水率，並稱  
量其重量 (M<sub>1</sub>) 及體積 (VM<sub>1</sub>)。隨後將

各試材浸漬常溫水中，並於第 1、3、5 天時取出，測量其重量 (Mt) 及體積 (VMt)。並依下列公式計算其重量損失率、吸水率、吸水體積膨脹率、體積抗膨脹效能。

$$\text{重量損失率 (\%)} = \frac{W_3 - W_4}{W_3} \times 100$$

$$\text{吸水率 (\%)} = \frac{M_t - M_1}{M_1} \times 100$$

$$\text{吸水體積膨脹率 (V; \%)} = \frac{VM_t - VM_1}{VM_1} \times 100$$

$$\text{吸水體積抗膨脹效能(ASE)(\%)} = \frac{V_u - V_t}{V_u} \times 100$$

V<sub>u</sub>：未處理材之吸水體積膨脹率 (%)

V<sub>t</sub>：處理材之吸水體積膨脹率 (%)

(2) 吸濕試驗：將處理材置於溫度 40 ± 1 °C，相對濕度 75 ± 2 % 之恆溫恆濕機中至達其平衡含水率，稱量其重量及尺寸，隨後將各試片移置溫度 40 ± 1 °C，相對濕度 90 ± 2 % 之恆溫恆濕機中，並於 6、24 及 72 hr 時取出稱量其重量及尺寸變化，並計算其徑向、弦向之吸濕膨脹率，及吸濕抗膨脹效能。

### 三、結果與討論

#### (一) 醇酸樹脂之性質

表 1 為本研究中所合成醇酸樹脂之合成條件及其酸價與經價。PG-AA 為丙二醇與己二酸反應所得，EG-PA 為乙二醇與鄰苯二甲

酸酐反應所得，合成時採用之醇與酸之 OH/COOH 莫耳比為 1.5/1。PG-AA 之酸價為 58.4 mg KOH/g，經價 214.7 mg KOH/g，EG-PA 酸價為 53.0 mg KOH/g，經價 219.3 mg KOH/g。

#### (二) PU 處理材之注入率、重量增加百分率及體積膨脹率

表 2 為杉木、紅柳桉及紅欖木等三種試材經不同條件之 PU 注入藥液處理後之注入率，及注入材經 120 °C 加熱反應 1 hr 後之重量增加量、重量增加率及體積膨脹率。本研究前報 (劉正字等, 2002) 以 HDI 為 PU 注入藥液之異氰酸酯原料時，樹種比重為影響其注入率之最主要因素。本研究中以 TDI-80 為異氰酸酯原料所調配之 PU 注入藥液亦有相同之結果，其中杉木比重約 0.37，其注入率在 179.3~217.2 % 之間，紅柳桉比重約 0.54，其注入率在 108.1~113.9 % 之間，紅欖木比重約 0.71，其注入率 50.9~52.6 % 在之間。注入材經 120 °C 加熱反應 1 hr 後之處理材之重量增加量及重量增加率 (WG) 亦受試材比重所影響。三種樹種間以杉木最高，紅柳桉次之，紅欖木最低，亦即比重較低之木材有較大重量增加，此結果顯示以 PU 注入藥液對木材行化學改質時，此 PU 注入藥液除與細胞壁之木材纖維作用外，部份藥劑乃以聚胺基甲酸酯之形態填充於於之木材之細胞腔或細胞間隙中。又前報單獨以 HDI 為注入藥液者其 WG 值與 PU 注入藥液處理者比較時有

表 1. 各醇酸樹脂之酸價及經價

Table 1. Acid value and hydroxyl value of various alkyd resins.

醇酸樹脂	合成條件			酸價 (mg KOH/g)	經價 (mg KOH/g)
	醇種類	酸種類	OH/COOH 莫耳比		
PG-AA	丙二醇	己二酸	1.5/1	58.4	214.7
EG-PA	乙二醇	鄰苯二甲酸酐	1.5/1	53.0	219.3

表 2. PU 處理材之注入率、單位體積重量增加量、重量增加率及體積膨脹率

Table 2. Impregnation, weight gain perunit volume, weight gain and volumetric swelling of PU treated woods.

試材 種類	種類	注入藥液		注入率 (%)	重量 增加量 (g/cm <sup>3</sup> )	重量 增加率 (%)	體積 膨脹率 (%)
		OH	NCO				
		COOH	(OH+COOH)				
杉木	TDI-80	-	-	197.7	0.13	35.9	0.8
			1.7	185.2	0.20	53.1	1.9
	PG-AA/TDI-80	1.5	1.3	179.3	0.19	49.6	2.5
			1.0	217.2	0.21	61.2	1.0
	EG-PA/TDI-80	1.5	1.3	194.5	0.22	58.3	2.9
紅柳桉	TDI-80	-	-	108.9	0.18	32.9	2.8
			1.7	108.1	0.14	26.3	3.8
	PG-AA/TDI-80	1.5	1.3	112.1	0.16	29.4	4.3
			1.0	110.6	0.16	28.7	3.6
	EG-PA/TDI-80	1.5	1.3	113.9	0.15	28.0	5.2
紅欖木	TDI-80	-	-	51.1	0.12	16.5	2.8
			1.7	50.9	0.11	15.5	3.8
	PG-AA/TDI-80	1.5	1.3	51.2	0.11	16.2	3.3
			1.0	51.9	0.11	15.4	2.3
	EG-PA/TDI-80	1.5	1.3	52.6	0.11	16.1	4.2

偏低之現象，然本研究中單獨以 TDI-80 為注入藥液者，紅柳桉及紅欖木試材之 WG 值略大於 PU 注入藥液處理者，杉木單獨以 TDI-80 處理者之 WG 雖低於 PU 處理材，然其值可達 35.9%，遠高於前報以 HDI 處理者之 13.3%。

又各處理材均有體積膨脹之現象，此印證處理材之細胞壁有藥劑存在，故使其纖維間之距離加大而產生體積膨脹 (Ellis and Rowell, 1984)。三種樹種間之比較以紅柳桉之體積膨脹率最大，紅欖木次之，杉木最小。兩種醇酸樹脂比較，則以 EG-PA 為 PU 注入藥液之醇酸樹脂原料者，其體積膨脹率大於以 PG-AA 為原料者，單獨以 TDI-80 為注入藥液者，其體積膨脹率低於 PU 注入藥液處理者，顯示其有

較多之藥液乃填充於木材之細胞腔或細胞間隙中而未進入細胞壁，然與前報 HDI 比較，TDI-80 者有較高之體積膨脹率。

(三) PU 處理材之吸水性

表 3 為各處理材經水洗 3 天後之重量損失率、平衡含水率及浸水 1、3、5 天之吸水率。由表可知各處理材經水洗 3 天後之重量損失率均較未處理材高，顯示有部分醇酸樹脂與異氰酸酯化合物乃形成低分子量之聚胺基甲酸酯，並填充於細胞間隙或細胞腔中。由於其未與木材纖維發生反應，故水洗時易被洗出而造成重量損失。樹種間比較則以比重較大之紅欖木處理材之重量損失最高，此乃由於高比重材進行 PU 注入藥液之改質處理時，藥劑較不易進入

表 3. PU處理材之重量損失率及吸水率

Table 3. Weight loss percent and water absorption of PU treated woods.

試材 種類	種類	注入藥液		浸水重量 損失率 (%)	平衡 含水率 (%)	吸水率 (%) (浸水時間)		
		OH	NCO			1天	3天	5天
		COOH	(OH+COOH)					
杉木	未處理材	-	-	0.7	8.6	68.7	87.2	100.3
	TDI-80	-	-	3.2	7.2	21.4	33.4	45.3
	PG-AA/TDI-80	1.5	1.3	1.7	6.3	19.0	30.2	39.4
				1.0	6.2	24.2	38.7	48.9
	EG-PA/ TDI-80	1.5	1.3	3.3	5.6	20.3	29.2	37.0
紅柳桉	未處理材	-	-	0.6	8.8	26.9	44.1	59.9
	TDI-80	-	-	4.0	6.7	11.0	15.0	19.3
	PG-AA/ TDI-80	1.5	1.3	1.7	6.9	11.7	18.1	23.9
				1.0	6.2	11.7	20.5	25.5
	EG-PA/ TDI-80	1.5	1.3	4.0	6.1	13.0	20.1	24.6
紅欖木	未處理材	-	-	1.7	9.0	43.2	65.4	71.5
	TDI-80	-	-	4.6	7.9	22.1	36.2	42.3
	PG-AA/ TDI-80	1.5	1.3	1.7	7.8	19.8	35.0	43.8
				1.0	7.5	22.6	38.6	47.3
	EG-PA/ TDI-80	1.5	1.3	4.1	7.5	24.0	40.7	48.0

其細胞壁，而有較多之細胞腔填充現象，故在水洗時有較高之重量損失。兩種醇酸樹脂比較，以 EG-PA 為原料者明顯大於以 PG-AA 為原料者，單獨以 TDI-80 為注入藥劑者，其重量損失亦高於 PU 藥液處理者。

各處理材經水洗並乾燥後，其平衡含水率均較未處理材降低，顯示經改質處理後之木材中部分羥基之吸濕性受抑制。杉木、紅柳桉、紅欖木之未處理材在浸水 1 天時之吸水率分別為 68.7 %、26.9 % 及 43.2 %，隨浸水時間延長，其吸水率持續增加，浸水 5 天後之吸水率則分別增加至 100.3 %、59.9 % 及 71.5 %，而各處理材之浸水吸水率均較未處理材降低，其中以紅柳桉之效果較佳，其吸水

率在 19.3~25.5 % 之間，杉木及紅欖木處理材浸水 5 天後之吸水率則分別在 37.0~48.9 % 及 42.3~48.0 % 之間。

表 4 為各處理材浸水 1、3、5 天時之吸水體積膨脹率及其 ASE 值。各處理材之吸水體積膨脹均較未處理材明顯降低，其體積抗膨脹效能 (ASE) 依樹種及處理條件而異。紅柳桉不同條件處理材經浸水 5 天後之 ASE 差異不大，其值在 34.1~36.8 % 之間，隨 NCO / (OH+ COOH) 莫耳比降低，其 ASE 略增加。紅欖木處理材經浸水 5 天後之 ASE 值則在 19.6~31.1% 之間，且 NCO / (OH+COOH) 莫耳比較大者，其 ASE 明顯較高。異氰酸酯化合物在處理材中扮演

表 4. PU處理材之吸水體積膨脹率和抗吸水體積膨脹效能

Table 4. Volumetric swelling and antismwelling efficiency of PU treated woods after water absorption.

試材 種類	種類	注入藥液		吸水體積膨脹率(%)			抗體積膨脹效能ASE (%)		
		OH COOH	NCO (OH+COOH)	(浸水時間)			(浸水時間)		
				1天	3天	5天	1天	3天	5天
杉木	未處理材	-	-	8.3	9.0	9.3	-	-	-
	TDI-80	-	-	5.5	5.7	5.9	34.1	36.4	36.6
	PG-AA/TDI-80	1.5	1.7	6.6	6.8	6.8	20.8	24.2	26.8
			1.3	4.2	4.4	4.4	49.2	50.9	52.8
			1.0	4.9	5.0	5.7	40.7	44.4	39.2
EG-PA/ TDI-80	1.5	1.3	4.9	5.3	5.5	40.8	40.6	41.1	
紅柳桉	未處理材	-	-	7.7	8.4	8.9	-	-	-
	TDI-80	-	-	5.6	5.8	5.8	27.2	30.6	34.4
	PG-AA/ TDI-80	1.5	1.7	5.5	5.8	5.9	29.0	30.7	34.1
			1.3	5.3	5.5	5.8	31.9	34.4	34.9
			1.0	5.0	5.4	5.6	35.9	35.4	36.8
EG-PA/ TDI-80	1.5	1.3	4.9	5.6	5.8	36.2	32.7	34.7	
紅欖木	未處理材	-	-	16.2	17.4	18.2	-	-	-
	TDI-80	-	-	11.1	12.7	13.2	31.8	26.9	27.2
	PG-AA/ TDI-80	1.5	1.7	10.5	12.2	12.5	35.3	29.8	31.1
			1.3	9.9	12.7	13.4	38.8	27.0	26.3
			1.0	11.5	14.6	14.6	29.4	16.5	19.6
EG-PA/ TDI-80	1.5	1.3	10.1	12.5	13.3	37.8	28.2	26.5	

架橋連結劑之作用，NCO 基含量較高者，其產生之 PU 結構有較完整的架橋連接程度，且木材與之反應之機會較多，而紅欖木處理材因其 WG 值較低，因此 NCO 基含量較高者對其尺寸變化之影響較大，故有較大之 ASE 值。

(四) PU 處理材之吸濕性

表 5 為不同條件處理材經水洗、乾燥，使達其平衡含水率後，在吸濕試驗中所表現之吸濕率，由表各處理材之吸濕率均較未處理材降低。經吸濕 6 hr 後杉木、紅柳桉、紅欖木未處理材之吸濕率分別為 2.1 %、1.7 %、2.7 %，處理材則分別降低至 1.0~1.4 %、0.8~1.0 %、1.3~1.5 %；經吸濕 72 hr 後未處理材之吸濕率

分別提高為 3.2 %、3.2 %、4.4 %，處理材則分別為 1.7~2.5 %、1.5~1.9 %、2.6~3.1 %。各樹種以 EG-PA 為其 PU 注入藥劑之醇酸樹脂原料者之吸濕率均較以 PG-AA 為原料者為低。

表 6 為不同條件處理材之徑向及弦向吸濕膨脹率及其 ASE 值。各條件處理材之吸濕膨脹率均較未處理材降低，三種樹種處理材比較以紅柳桉吸濕性之改善效果最明顯，其 PU 處理材經 72 hr 吸濕試驗後之徑向及弦向 ASE 值分別在 59.1 % 及 52.6 % 以上，紅欖木 PU 處理材則分別在 50.9 % 及 35.7 % 以上，此二樹種單獨以 TDI-80 處理者對其吸濕性之改善較 PU 處理者更高，紅柳桉之徑向及弦向之 ASE

表 5. PU 處理材之吸濕率

Table 5. Hygroscopicity of PU treated woods.

試材 種類	種類	注入藥液		重量 增加率 (%)	平衡 含水率 (%)	吸水率 (%) (吸濕時間)			
		OH	NCO			6hr	24hr	72hr	
		COOH	(OH+COOH)						
杉木	未處理材	-	-	-	9.0	2.1	2.9	3.2	
	TDI-80	-	-	25.5	7.1	1.0	1.9	2.5	
	PG-AA/TDI-80			1.7	52.2	6.4	1.2	2.1	2.4
			1.5	1.3	50.3	6.3	1.1	2.0	2.4
				1.0	54.7	6.4	1.4	2.1	2.3
EG-PA/ TDI-80	1.5	1.3	57.4	5.8	1.0	1.5	1.7		
紅柳桉	未處理材	-	-	-	9.6	1.7	2.6	3.2	
	TDI-80	-	-	37.2	5.3	0.8	1.3	1.5	
	PG-AA/ TDI-80			1.7	31.3	5.8	0.9	1.6	1.8
			1.5	1.3	31.4	5.6	0.9	1.6	1.9
				1.0	33.3	6.0	1.0	1.8	1.9
EG-PA/ TDI-80	1.5	1.3	34.4	5.5	1.0	1.5	1.5		
紅櫟木	未處理材	-	-	-	9.8	2.7	4.1	4.4	
	TDI-80	-	-	15.0	6.7	1.5	2.6	2.9	
	PG-AA/ TDI-80			1.7	17.1	7.0	1.3	2.4	2.7
			1.5	1.3	15.7	7.0	1.5	2.7	3.1
				1.0	15.6	7.4	1.5	2.8	3.0
EG-PA/ TDI-80	1.5	1.3	17.9	6.8	1.3	2.5	2.6		

表 6. PU處理材之吸濕膨脹率及其 ASE 值

Table 6. Hygroscopic swelling and ASE of PU treated woods.

試材 種類	種類	注入藥液 NCO (OH+COOH)	徑向膨脹率 (%)			弦向膨脹率 (%)			徑向ASE(%)			弦向ASE (%)			
			(吸濕時間)			(吸濕時間)			(吸濕時間)			(吸濕時間)			
			6hr	24hr	72hr	6hr	24hr	72hr	6hr	24hr	72hr	6hr	24hr	72hr	
杉木	未處理材	-	0.28	0.46	0.64	0.69	1.03	1.18	-	-	-	-	-	-	
	TDI-80	-	0.14	0.27	0.30	0.42	0.89	0.97	50.8	41.1	13.6	39.2	53.7	17.5	
	PG-AA/TDI-80		1.7	0.18	0.39	0.41	0.41	0.85	0.88	36.0	15.8	36.2	39.9	17.2	25.3
			1.3	0.12	0.33	0.41	0.28	0.74	0.84	56.8	27.5	35.5	58.9	28.3	28.6
			1.0	0.23	0.37	0.39	0.52	0.92	1.02	16.9	20.5	38.9	23.9	10.2	13.5
EG-PA/ TDI-80	1.3	0.22	0.36	0.40	0.41	0.73	0.73	19.6	22.1	37.5	40.8	29.2	38.5		
紅柳桉	未處理材	-	0.49	0.72	0.78	0.80	1.20	1.36	-	-	-	-	-	-	
	TDI-80	-	0.09	0.23	0.24	0.11	0.36	0.39	82.1	67.6	69.0	86.4	69.7	71.4	
	PG-AA/ TDI-80		1.7	0.08	0.23	0.28	0.20	0.47	0.58	83.0	68.2	63.6	73.9	60.7	57.0
			1.3	0.12	0.22	0.25	0.18	0.50	0.55	76.3	68.8	67.5	78.0	58.1	59.9
			1.0	0.22	0.26	0.27	0.32	0.54	0.64	56.0	63.7	66.0	59.9	54.9	52.6
EG-PA/ TDI-80	1.3	0.25	0.31	0.32	0.23	0.40	0.42	48.5	57.5	59.1	70.9	67.1	68.8		
紅櫟木	未處理材	-	0.87	1.23	1.37	1.41	2.35	2.50	-	-	-	-	-	-	
	TDI-80	-	0.24	0.55	0.61	0.47	1.27	1.38	72.3	55.4	55.7	66.6	45.8	44.7	
	PG-AA/ TDI-80		1.7	0.20	0.57	0.64	0.48	1.38	1.51	76.6	53.5	53.3	66.0	41.2	39.6
			1.3	0.14	0.58	0.62	0.36	1.31	1.59	83.3	52.7	54.8	74.3	44.3	36.5
			1.0	0.35	0.56	0.67	0.68	1.42	1.61	59.9	54.5	50.9	51.9	39.5	35.7
EG-PA/ TDI-80	1.3	0.24	0.61	0.64	0.61	1.41	1.51	72.8	50.0	53.3	56.7	40.1	39.5		



可分別達 69.0 % 及 71.4 %。杉木處理材對吸濕性改善之效果則較差，單獨以 TDI-80 處理者徑向及弦向 ASE 值僅分別為 13.6 % 及 17.5 %。

#### 四、結論

1. 樹種比重為影響 PU 處理材之注入率、單位體積重量增加量及 WG 最主要因素，三種樹種間以杉木最高，紅柳桉次之，紅欖木最低，單獨以 TDI-80 為注入藥液者，其處理材之 WG 值遠高於 HDI 處理者。
2. 經改質處理後試材均有體積膨脹之現象，其中以紅柳桉之體積膨脹率最大，紅欖木次之，杉木最小；兩種醇酸樹脂比較則以 EG-PA 為原料者大於以 PG-AA 為原料者。
3. 各處理材之平衡含水率、浸水時之吸水率及吸水體積膨脹率均較未處理材降低，其中以紅柳桉之改質效果較佳，其浸水 5 天之吸水率在 19.3~25.5 % 之間，ASE 值在 34.1~36.8 % 之間，紅欖木之 ASE 值則在 19.6~31.1 % 之間，且隨其 NCO / (OH + COOH) 莫耳比增加而提高。
4. 各處理材之吸濕性均較未處理材降低，且以 EG-PA 為原料者之降低效果優於以 PG-AA 為原料者，三種樹種之比較則以紅柳桉之改善效果最明顯，紅欖木次之，此二樹種單獨以 TDI-80 處理者之 ASE 值大於 PU 處理者，其中紅柳桉之徑向及弦向之 ASE 可分別達 69.0 % 及 71.4 %。杉木處理材對其吸濕性改善之效果則較差。

#### 五、參考文獻

- 張上鎮、張惠婷 (1995) 木材之醚化處理及其對木材性質之影響。中華林學季刊 28(1) : 157-170。
- 劉正字 (1997) 木材尺寸安定化的方法。木質建材 2 : 47-50。
- 劉正字、李文昭、鍾明吟 (2002) 聚胺基甲酸酯處理材之尺寸安定性 -- 醇酸樹脂-六亞甲基二異氰酸鹽。林產工業 21(2) : 115-126。
- Chen, G.C. (1992) Fungal decay resistance and dimensional stability of loblolly pine reacted with 1,6-diisocyanatohexane. Wood and Fiber Sci. 24(3):307-314.
- Ellis, W.D. and R.M.Rowell (1984) Reaction of isocyanates with southern pine wood to improve dimensional stability and decay resistance. Wood and Fiber Sci. 16(3):349-356.
- Rowell, R.M. (1980) Distribution of reacted chemicals in southern pine modified with methyl isocyanate. Wood Sci. 13(2):102-110.
- Rowell, R.M. and W.D. Ellis (1979) Chemical modification of wood: Reaction of methyl isocyanate with southern pine. Wood Sci. 12(1):52-58.
- Rowell, R.M. and W.D. Ellis (1984) Effects of moisture on the chemical modification of wood with epoxide and isocyanates. Wood and Fiber Sci. 16(2):257-267.

