

研究報告

磷胺化合物對於木材尺寸安定性之影響

李鴻麟^{1,3)} 陳忠憲²⁾ Roger M. Rowell²⁾

摘 要

本試驗目的在於評估木材經磷胺化合物處理後之尺寸安定性。木材係以五氧化二磷分別與十二種有機胺在二甲基甲醯胺中反應，反應後木材再以浸水法測定其抗收縮能；平衡含水率與體積膨脹率變化情形，係將處理材放置於27°C與30% RH、27°C與65% RH、27°C與90% RH的環境中21天測試。試驗結果顯示：磷胺化合物處理材的抗收縮能數值較低；其平衡含水率與體積膨脹變化率則隨著相對濕度的增加而變大，尺寸安定性較乙酰化、環氧化、與異氰酸鹽化處理材差；磷胺化合物無法有效地改善木材的尺寸安定性。

關鍵詞：磷胺化合物、抗收縮能、平衡含水率、體積膨脹率、尺寸安定性。

李鴻麟、陳忠憲、Rowell RM。2000。磷胺化合物對於木材尺寸安定性之影響。台灣林業科學 15 (1):137-45。

Research paper

Effects of Phosphoramides on Wood Dimensional Stability

Hong-Lin Lee^{1,3)}, George C. Chen²⁾, Roger M. Rowell²⁾

【 Summary 】

To evaluate the dimensional stability of phosphoramide-reacted wood, wood was reacted with a mixture which was derived from compounding phosphorus pentoxide and each of 12 amines including alkyl, halophenyl, and phenyl amines in N,N-dimethylformamide. Dimensional stability of such reacted wood was analyzed by antishrink efficiency (ASE) using the water-soak method. Volumetric swelling and equilibrium moisture content (EMC) of phosphoramide-reacted woods were also determined after being maintained at 27°C and 30% RH, 27°C and 65% RH, and 27°C and 90% RH for 21 d. The results revealed that phosphoramide-reacted woods had lower antishrink efficiency values than those of acetylated wood, expoxidized wood, and isocyanated wood. Volumetric swelling and equilibrium moisture content of phosphoramide-reacted wood were increased when exposed to an environment with a higher relative humidity. Phosphoramides had less effect on improving the dimensional stability of wood.

Key words: phosphoramide, antishrink efficiency, equilibrium moisture content, volumetric swelling, dimensional stability.

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所森林化學系，台北市100南海路53號 Division of Forest Chemistry, Taiwan Forestry Research Institute. 53 Nanhai Rd., Taipei, Taiwan.

²⁾ 美國農業部林務署林產研究室 USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, One Gifford Pinchot Drive, Madison, WI 53705-2398, USA

³⁾ 通訊作者 Corresponding author

1999年6月送審 1999年10月通過 Received June 1999, Accepted October 1999.

Lee HL, Chen GC, Rowell RM. 2000. Effects of phosphoramides on wood dimensional stability. Taiwan J For Sci 15(1):137-45.

緒言

木材主要是由纖維素、半纖維素及木質素所組成的一種有機高分子聚合物，這些聚合物不但構成了細胞壁，且與木材的物理與化學性質息息相關。由於木材具有再生性、低的加工能源消耗性、高的強度重量比值、區域易取得性、熱與聲音阻隔性、美麗的紋理等許多優點，是人類所最常使用的建築材料之一，而且已有數千年的使用歷史。然而木材本身亦具有諸如燃燒性、生物劣化性、光照變色性、尺寸不安定性等缺點亟待改良，如何改善木材的這些缺點，使木材成為更好的使用材料，一直是研究人員所努力的方向。

木質材料的化學改良(chemical modification of wood)即是以化學的方法來改善木材的缺點，其研究的歷史已相當久遠。由於木材是一種不均質的材料，其尺寸大小極易受到外在環境的溫度濕度影響而變化，因而產生了許多缺點並侷限了其使用範圍，為了改善木材的尺寸安定性質常藉用此種方法以改良之。Rowell and Gutzmer (1975), Rowell and Ellis (1978), Rowell et al. (1984, 1986), Rowell (1991, 1992) 與 Chen (1992) 以乙醯類、環氧類、或異氰酸鹽類等試藥處理木材，藉由試藥與木材中細胞壁的經基形成反應鍵結，有效的減少了木材內的總經基數，因而改善了木材的尺寸安定性，然而這些處理方法雖亦可改善木材之腐朽性質，對於木材的燃燒性質卻無法有效地改善。磷酸鹽類是木材工業上所使用的主要防火藥劑之一，可以有效的抑制木材的燃燒性質，而在磷酸鹽類藥劑中添加含氮類物質，不但可以增加防火功效減少磷酸鹽類試藥的用量(Langley et al. 1980)，且可以有效的抑制菌類的生長(Bullock et al. 1964)。因此，如何合成與開發磷酸化合物，使之用於木材防火與防腐上實有其必要性。

筆者以脂肪族(aliphatic group)與芳香族(aromatic group)磷酸化合物處理木材，已成

功的改善木材的燃燒性與腐朽性(Lee et al. 1998, 1999)，為了進一步評估與開拓其未來商品化的可行性，有必要瞭解其處理材的尺寸安定性。因此，本試驗的目的在於評估磷酸化合物處理木材的尺寸安定性，冀望其能有效地與木材的燃燒性、腐朽性一併被改善，進而被推廣與應用到木材工業上。

材料與方法

一、試驗材料

本試驗所使用的試材為美國德達松(*Pinus taeda* L. Pinaceae; loblolly pine)，試材規格為 25 mm (徑向, radial) × 25 mm (縱向, longitudinal) × 6 mm (弦向, tangential)。為了減少試驗誤差，選取年輪寬度大小一致之試材進行化學改良處理。

二、試驗方法

(一)木材之化學改良處理(chemical modification of wood)

1. 將 20 片試材放置於 60°C 烘箱中乾燥 24 h，乾燥後取出並放置於乾燥器中冷卻，再置於天秤上稱重(W_1)。
2. 將稱重後試材置於反應器中，並減壓抽真空至 2.1-3.3 kPa 30 min 後，再將乾二甲基甲醯胺(dried N, N-dimethylformamide) 600 mL 緩緩注入反應器中。
3. 木材以脫水葡比喃醣(1-4, anhydroglucopyranose)為基準計算其莫耳數，並將五氧化二磷(phosphorus pentoxide)、有機胺類(amine)與木材(wood)以 1:3:1 莫耳比值稱量試藥，稱量後先將五氧化二磷倒入反應器中，並攪拌之使試藥溶解，再將有機胺試藥緩緩加入反應器中，同時以攪拌器將試藥攪拌均勻。本試驗所使用之試藥詳如 Table 1。
4. 將反應器移置於電加熱包上，反應器並上接冷凝管後，將反應溫度設定為 115°C 加熱反應

Table 1. Chemicals reacted with wood through the phosphorus pentoxide and amines system

Chemical	Structure	Molecular weight	Symbol
Phosphorus pentoxide	P ₂ O ₅	141.94	P
Propylamine	C ₃ H ₇ NH ₂	59.11	PAM
Butylamine	C ₄ H ₉ NH ₂	73.14	BAM
Hexylamine	C ₆ H ₁₃ NH ₂	101.19	HAM
Octylamine	C ₈ H ₁₇ NH ₂	129.25	OAM
4-Fluoroaniline	C ₆ H ₄ FNH ₂	111.12	FAN
4-Chloroaniline	C ₆ H ₄ ClNH ₂	127.57	CAN
4-Bromoaniline	C ₆ H ₄ BrNH ₂	172.03	BAN
2,4,6-Tribromoaniline	C ₆ H ₂ Br ₃ NH ₂	329.83	TBAN
Aniline	C ₆ H ₅ NH ₂	93.13	AN
<i>p</i> -Anisidine	C ₆ H ₄ OCH ₃ NH ₂	123.16	ASD
<i>p</i> -Toluidine	C ₆ H ₄ CH ₃ NH ₂	107.16	TLD
4-Nitroaniline	C ₆ H ₄ NO ₂ NH ₂	138.13	NAN

4 h。

5. 試材反應後立刻從反應器中取出，並置於室溫中冷卻 24 h，再放置於 60°C 烘箱中乾燥 24 h，乾燥後取出並放置於乾燥器中冷卻，再置於天秤上稱重(W₂)。

6. 化學處理後重量留存百分率：

重量留存百分率

$$(\text{weight gain, \%}) = [(W_2 - W_1) / W_1] \times 100$$

W₂：反應後試材重量

W₁：反應前試材重量

(二)性質測定與分析

1. 反應鍵結之測定

木材與磷胺化合物鍵結之測定，係先將處理材以丙酮及蒸餾水進行淋溶(leaching)處理及烘乾(Lee et al. 1998, 1999)，再將處理試材研磨成粉末後與溴化鉀(KBr)混合均勻並經高壓製成圓片(disc)，而後以霍氏紅外線光譜儀(Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, Wattson Model 5000)測定分析。

2. 尺寸安定性 (dimensional stability)

(1)抗收縮能(antishrink efficiency, ASE)之測定：採用浸水法(water-soak method)(Rowell et al. 1978)為之，測定時分為兩個浸

水周期，每種處理選取五片試材，分別測定其徑向、縱向、弦向厚度，並計算其體積大小，所測得的各項數值均為其平均值。

①第一周期：將對照組與經不同磷胺化合物處理之試材，每種各五片置於 105°C 烘箱中乾燥 24 h，而後取出並放置於乾燥器中 30 min 冷卻，冷卻後再以平板式測微器(flatbed micrometer)分別測定試材之體積大小(V₀)。而後再將試材放置於內含 250 mL 蒸餾水的玻璃瓶中，並以減壓裝置將瓶中空氣抽氣 30 min，再回復到常壓以使試材完全沉沒於水中，經浸水一周後取出試材並立刻測定其體積(V_{w1})；再置於 105°C 烘箱中乾燥 24 h，冷卻後並測定其絕乾體積(V₀₁)。

②第二周期：將第一周期浸水乾燥後之試材重覆前述試驗，待浸水 7 天後立刻取出試材測定其體積(V_{w2})，而後並再置於 105°C 烘箱中乾燥 24 h，冷卻後測定其絕乾體積(V₀₂)。

③抗收縮能的計算公式(Rowell and Gutzmer 1975)為：

a. 體積膨脹係數(volumetric swelling coefficient, S)之計算：

$$S_1 = [(V_{w1} - V_0) / V_0] \times 100$$

$$S_2 = [(V_{w1} - V_{01}) / V_{01}] \times 100$$

$$S_3 = [(V_{w2} - V_{01}) / V_{01}] \times 100$$

$$S_4 = [(V_{w2} - V_{o2}) / V_{o2}] \times 100$$

S_1, S_2 : 第一周期之體積膨脹係數

S_3, S_4 : 第二周期之體積膨脹係數

由上列公式分別測定對照組與處理材之 S_1, S_2, S_3, S_4 , 其表示代號為 :

對照組 : Sc_1, Sc_2, Sc_3, Sc_4 ;

處理材 : St_1, St_2, St_3, St_4 。

b. 抗收縮能之計算 :

$$ASE_1 = [(St_1 - Sc_1) / Sc_1] \times 100$$

$$ASE_2 = [(St_2 - Sc_2) / Sc_2] \times 100$$

$$ASE_3 = [(St_3 - Sc_3) / Sc_3] \times 100$$

$$ASE_4 = [(St_4 - Sc_4) / Sc_4] \times 100$$

ASE_1, ASE_2 : 第一周期之抗收縮能數值

ASE_3, ASE_4 : 第二周期之抗收縮能數值

(2)平衡含水率 (equilibrium moisture content, EMC) 與體積膨脹 (volumetric swelling) 變化率測定 :

①將對照與經磷胺化合物處理之試材各五片置於 105°C 烘箱中乾燥 24 h , 而後取出並放置於乾燥器中 30 min 冷卻, 冷卻後先以天秤稱重 (W_3) , 再以平板式測微器分別測定試材的徑向、縱向、弦向厚度, 並計算其平均體積大小 (V_c) 做為對照組。

②再將試材分別置於三個溫度與濕度條件為 27°C 與 30% RH、 27°C 與 65% RH、 27°C 與 90% RH 的不同環境中, 在經過 1, 2, 3, 7, 14, 21 天後, 分別測定其試材之重量 (W_4) 與體積 (V_e) 。

③平衡含水率之計算 :

$$\text{平衡含水率}(\%) = [(W_4 - W_3) / W_3] \times 100$$

④體積膨脹率之計算 :

$$\text{體積膨脹率}(\%) = [(V_e - V_c) / V_c] \times 100$$

結果與討論

一、霍氏紅外線光譜分析

木材經磷胺化合物 PBAM 處理後, 再經丙酮與蒸餾水淋溶處理後其紅外線光譜圖如 Fig. 1 所示。比較對照組與處理材的紅外線光譜圖得知 : 處理材的紅外線光譜圖位於 2795 cm^{-1} 與 2480 cm^{-1} 有明顯的 P-O 官能基吸收峰, 位於 1240 cm^{-1} 有明顯的 P=O 官能基吸收峰, 而

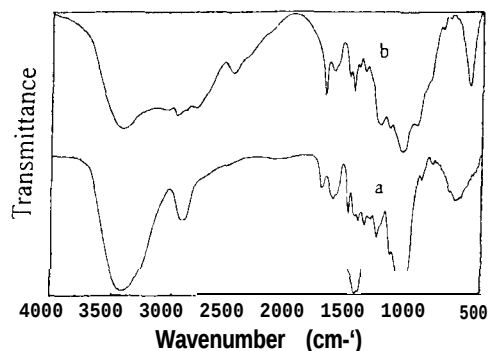


Fig. 1. spectra of control wood and wood reacted with PBAM at 52% weight gain:(a) control wood: (h) reacted wood.

位於 934 cm^{-1} 的吸收峰則是 P-N 官能基 (Colthup et al. 1964) , 由官能基的吸收峰結果顯示 : 木材能夠與磷胺化合物形成有效的鍵結, 且此鍵結甚為安定, 不會被丙酮或蒸餾水所破壞溶出。

二、尺寸安定性評估

(一)抗收縮能 (antishrink efficiency, ASE)

木材經磷胺化合物處理後, 以浸水法測得之抗收縮能與體積變化之結果如 Tables 2 與 3 所示。試驗結果顯示 : 經 PPAM, PBAM, PHAM 與 POAM 等脂肪族磷胺化合物處理後之試材, 在第一浸水周期試驗中的 ASE_1 值分別為 36.5%, 34.5%, 42% 與 37.5% ; 而在第二浸水周期試驗後其 ASE 值則更進一步的減小, PHAM 與 POAM 處理材之 ASE_4 值降低為 8.0% , 而 PBAM 與 PPAM 處理材之 ASE_4 值甚且為負值。造成 ASE_4 為負值之現象係由於經浸水試驗後再經烘箱乾燥所測得的體積值 (V_{o1}, V_{o2}) , 較其浸水前的體積值 (V_o) 為小的結果 (Table 3) , 而其中部分未反應藥劑在浸水試驗中被溶出, 亦可能是造成此結果的原因。類似的結果亦可在木材以 PFAN, PCAN, PBAN, PTBAN, PAN, PASD, PTLTD 與 PNAN 等芳香族磷胺化合物處理後之試材中被發現 : 其第一浸水周期試驗中的 ASE_1 值分別為 43.0%, 35.0%, 34.0%, 46.0%, 46.0%, 35.0%, 44.5% 與 37.0% , 而經第二浸水周期後其 ASE_4 均為負值。木材無論是

Table 2. Volumetric swelling coefficients (S) and antishrink efficiencies (ASE) of phosphoramide-reacted woods as determined in water¹⁾

Treatment	WPG	S ₁	ASE ₁	S ₂	ASE ₂	Wt ₁	S ₃	ASE ₃	S ₄	ASE ₄	Wt ₂
Control	0	20.0	-	19.6	-	0.8	18.8	-	18.8	-	1.1
PPAM	20.5	12.7	36.5	19.4	1.0	10.8	19.2	neg	22.1	neg	12.4
PBAM	25.9	13.1	34.5	15.4	21.4	14.5	18.5	1.6	21.5	neg	15.9
PHAM	23.4	11.6	42.0	13.9	29.1	12.3	14.9	20.7	17.3	8.0	13.9
POAM	23.9	12.5	37.5	15.0	23.5	6.9	13.8	26.6	17.3	8.0	8.8
PFAN	24.0	11.4	43.0	19.3	1.5	12.6	19.2	neg	21.7	neg	15.0
PCAN	20.2	13.0	35.0	18.0	8.2	9.7	17.7	5.9	19.9	neg	11.3
PBAN	22.2	13.2	34.0	18.0	8.2	8.6	17.8	5.3	19.3	neg	10.2
PTBAN	24.6	10.8	46.0	21.6	neg	16.4	21.3	neg	24.2	neg	19.2
PAN	20.8	10.8	46.0	17.9	8.7	11.5	17.9	4.8	20.2	neg	13.5
PASD	21.6	13.0	35.0	17.8	9.2	5.6	17.8	5.3	19.0	neg	7.2
PTLD	22.5	11.1	44.5	17.5	10.7	10.2	17.3	8.0	18.9	neg	12.3
PNAN	26.9	12.6	37.0	19.3	1.5	12.9	19.0	neg	20.4	neg	14.5

¹⁾WPG: Weight percent gain; specimens recorded at 0 WPG are the control.

S₁: Volumetric swelling coefficient determined from initial O. D. volume and 1st water-swollen volume.

ASE₁: Antishrink efficiency based on S₁.

S₂: Determined from 1st water-swollen volume and reoven-drying.

ASE₂: Based on S₂.

Wt₁: Percent weight loss based on the difference between initial O. D. weight and O. D. weight after 1st water soaking.

S₃: Determined from reoven-dry volume and 2nd water-swollen volume.

ASE, Based on S₃.

S₄: Determined from 2nd water-swollen volume and 2nd reoven-drying.

ASE₄: Based on S₄.

Wt₂: Total weight loss based on O. D. weight, %.

Table 3. Changes in volume of phosphoramidate-reacted wood in water¹⁾

Treatment	Va (mm ³)	Vd (mm ³)	Vo (mm ³)	dV ₁ (%)	Vw ₁ (mm ³)	Vo ₁ (mm ³)	Vw ₂ (mm ³)	Vo ₂ (mm ³)	dV ₂ (%)
Control	4414.2	4256.5	4256.5	-	5106.8	4269.0	5071.8	4268.2	0.3
PPAM	4323.1	4168.6	4651.1	11.6	5240.6	4391.2	5263.0	4312.3	3.5
PBAM	4307.3	4153.4	4781.3	15.1	5407.4	4685.8	5552.3	4542.3	9.4
PHAM	4333.2	4177.4	4828.2	15.6	5389.0	4731.6	5436.2	4633.2	10.9
POAM	4302.2	4148.5	4704.2	13.4	5293.9	4605.5	5241.2	4478.2	8.0
PFAN	4314.2	4160.1	4649.7	11.8	5181.1	4343.0	5178.4	4276.5	2.8
PCAN	4433.5	4275.1	4595.3	7.5	4987.8	4397.1	5176.4	4317.7	1.0
PBAN	4410.8	4253.2	4532.5	6.6	5130.6	4348.6	5124.3	4296.0	1.0
PTBAN	4408.0	4250.2	4565.9	7.4	5059.4	4159.9	5044.4	4067.9	-4.3
PPAN	4390.0	4233.2	4636.2	9.5	5133.8	4355.2	5130.5	4269.9	0.9
PASD	4413.7	4256.0	4562.5	7.2	5155.9	4377.0	5154.8	4330.6	1.8
PTLD	4384.5	4227.9	4600.8	8.8	5109.8	4349.8	5102.0	4291.0	1.5
PNAN	4411.2	4253.6	4578.5	7.6	5093.5	4327.6	5126.1	4256.4	0.1

¹⁾ Va: Air-dry volume. Vd: Oven-dry volume. Vo: Oven-dry volume after reaction. dV₁: Increase in wood volume with reaction, (Vo - Vd) / Vd. Vw₁: First 7d water-swollen volume. Vo₁: First reoven-dry volume. Vw₂: Second 7d water-swollen volume. Vo₂: Second reoven-dry volume. dV₂: Increase in wood volume with reaction, (Vo₂ - Vd)/Vd.

以脂肪族或芳香族磷胺化合物處理，其抗收縮能數值變化均隨著浸水試驗進行而逐步降低。

Rowell and Gutzmer (1975), Rowell and Ellis (1978), Rowell et al. (1984, 1986) 與 Rowell (1991, 1992) 提出改良木材尺寸安定性的方法，主要是將試藥交聯(cross-linking)或填塞(bulking)在木材細胞壁中。將木材以乙醯化、環氧化、或異氰酸鹽化處理後，由於此類藥劑與木材形成穩定化學鍵結，在 20-30% 重量留存率下，其抗收縮能數值大約是 65-70%，且經過兩周期之浸水試驗後此值變化不大，其化學處理後之尺寸安定性甚為優異(Rowell et al. 1984)。反觀之，木材以無機鹽類、醣類、

或聚乙二醇(polyethylene glycol)等水溶性藥劑處理，雖然藥劑亦填塞在細胞壁中，但卻無化學鍵結形成，一旦處理材在浸水試驗中，其藥劑將再被溶出，因此而使其抗收縮能數值為負值，此種處理無法有效地改善木材之尺寸安定性(Rowell et al. 1984)。又木材經磷胺化合物處理後，再經嚴苛的淋溶處理以濾除未反應試藥，其處理材在紅外線光譜圖中已證實具有穩定的化學鍵結存在，此現象與前者相類似而與後者相異。然而在相同的重量留存率(20-30%)下，以浸水法所測得之抗收縮能數值卻較前者低，且有未反應藥劑流失，因此如何改進木材與磷胺化合物的反應性，以減少未反應藥劑的數量，進而提高其抗收縮能數值則有待進一步研究。

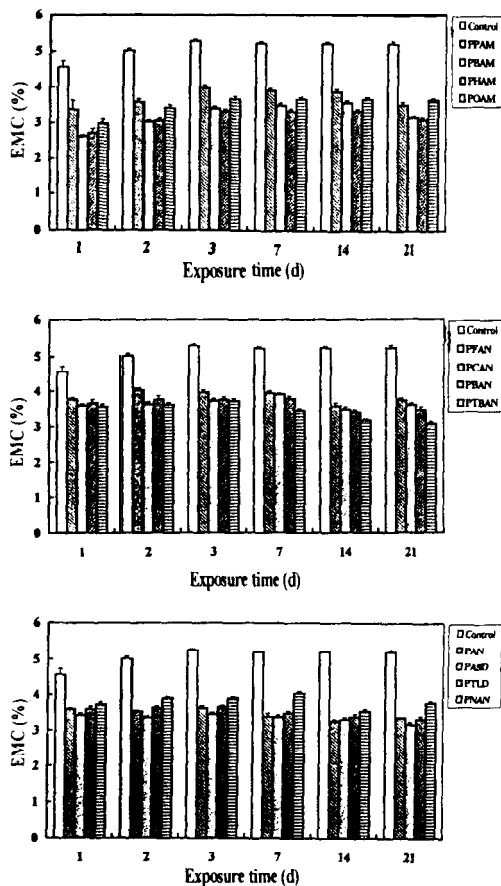


Fig. 2. Equilibrium moisture content(EMC) of wood reacted with phosphoramides at 27 °C and 30% RH conditions for 1,2,3,7,14,and 21d.

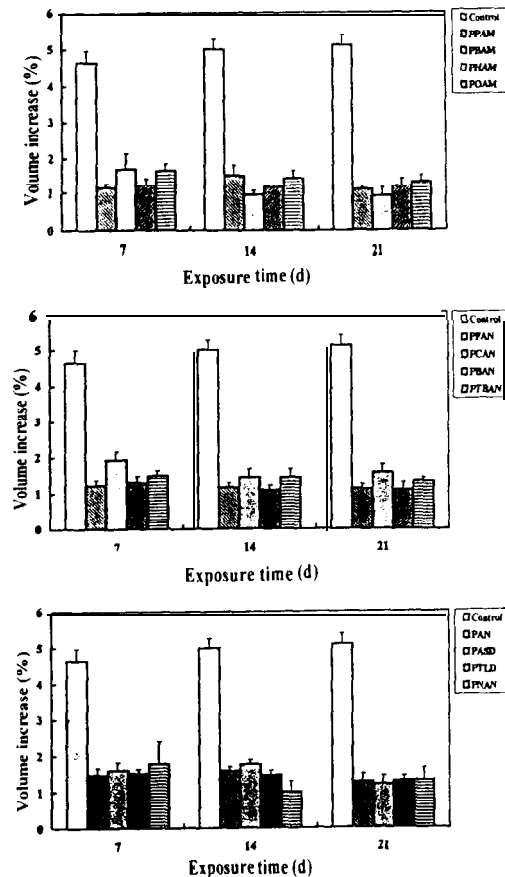


Fig. 3. Changes in volumetric swelling of wood reacted with phosphoramides at 27°C and 30% RH conditions for 7, 14, and 21d.

(二)平衡含水率 (equilibrium moisture content, EMC) 與體積膨脹變化

1. 在 27°C 與 30% RH 環境中之變化

由於木材是一種不均質的材料，尺寸不安定所造成的劈裂等缺點會侷限其使用範圍，因此必須評估其在不同環境下的尺寸變化情形以作為利用之依據。木材經磷酸化合物處理後放置於 27°C 與 30% RH 環境中其平衡含水率與體積的膨脹變化情形如 Figs. 2 與 3 所示。所有的磷酸化合物處理材在經過 21 天曝露後，其平衡含水率值介於 3.1-3.8%，而對照組則為 5.2%，處理材之平衡含水率變化值遠比對照組小 27-40%；至於處理材體積的變化值則介於 0.9-1.6%，對照組則為 5.1%，體積的變化值則亦

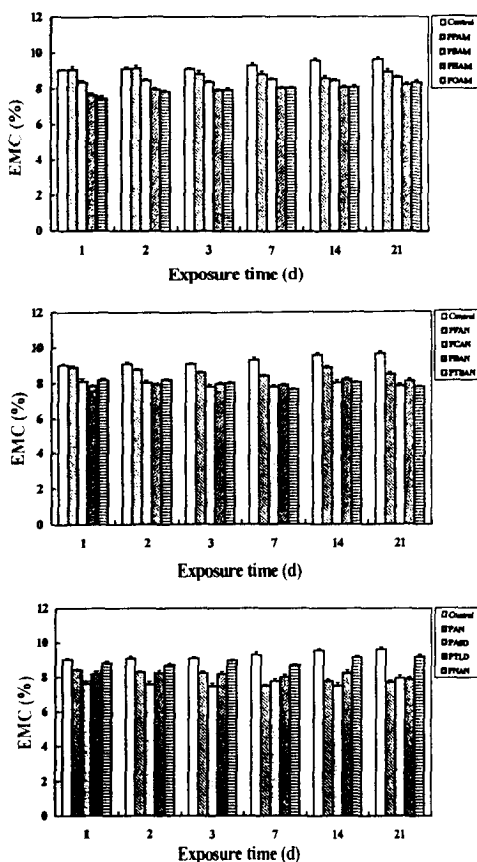


Fig. 4. Equilibrium moisture content(EMC) of wood reacted with phosphoramides at 27 °C and 65% RH conditions for 1,2,3,7,14, and 21d.

較對照組小 69-82%。由上述結果顯示出：磷酸化合物處理材在 27°C 與 30% RH 環境中尺寸甚為安定，而尤以體積的變化情形最小。

2. 在 27°C 與 65% RH 環境中之變化

木材經磷酸化合物處理後放置於 27°C 與 65% RH 環境中，其平衡含水率與體積的膨脹變化情形如 Figs. 4 與 5 所示。由圖中的變化情形得知：其平衡含水率與體積的膨脹變化趨勢和 27°C 與 30% RH 環境中相類似，所有磷酸化合物處理材的平衡含水率值介於 7.7-9.2%，而對照組則為 9.6%，此處理材之變化值較之對照組減少了 4-20%；至於處理材體積的膨脹變化值則介於 3.2-4.2%，而對照組則為 8.0%，磷酸化合物處理材較對照組之體積膨脹率亦減少了 48-60%，此等結果均顯示磷酸化合物處理材在 27°C 與 65% RH 環境中之尺寸變化亦甚

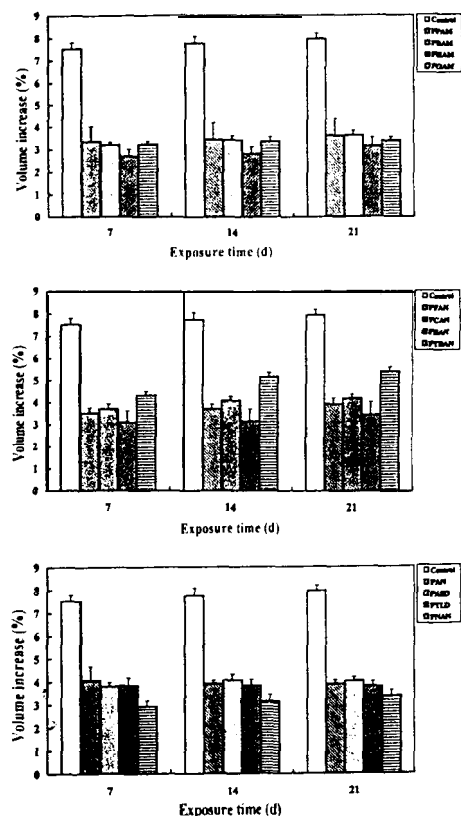


Fig. 5. Changes in volumetric swelling of wood reacted with phosphoramides at 27°C and 65% RH conditions for 7, 14 and 21d.

為安定，且體積的變化率不若平衡含水率大。

3. 在 27°C 與 90% RH 環境中之變化

木材經磷胺化合物處理後放置於 27°C 與 90% RH 環境中，其平衡含水率與體積膨脹的變化情形如 Figs. 6 與 7 所示。所有磷胺化合物處理材的平衡含水率值介於 19.8-28.1%，此等數值均較對照組的 16.7% 為高，究其原因可能係試驗中所使用的磷胺化合物處理材均未經淋溶處理，其處理材內除了富含與木材形成鍵結之反應性磷胺化合物外，亦夾雜著未能反應的試藥，這些未能反應的試藥不但極易被水溶出 (Table 2)，且能吸附環境中的水分，因而使其平衡含水率反較對照組高；類似的結果亦在木材以甲基丙烯酸甲酯處理後之試驗中被發現

(Ellis 1994)。又磷胺化合物處理材置於 27°C 與 90% RH 環境中 21 天後，其體積膨脹變化率介於 7.9-11.2%，而對照組則為 12.8%，處理材之體積膨脹變化率仍較對照組減少了 13-38%。

比較磷胺化合物處理材置於上述三個不同環境之試驗結果得知：處理材對於相對濕度的變化極為敏感，其平衡含水率與體積膨脹率變化均隨著相對濕度的增加而隨之變大，此結果顯示磷胺化合物處理材在高濕度的環境中，其尺寸安定性仍有待改進，且此性質與乙醯化、環氧化、或異氰酸鹽化木材有著極大的不同 (Rowell et al. 1984, 1986; Rowell 1991)，要進一步的使用磷胺化合物處理材於高濕度環境下，亦仍有待進一步的評估與改良。

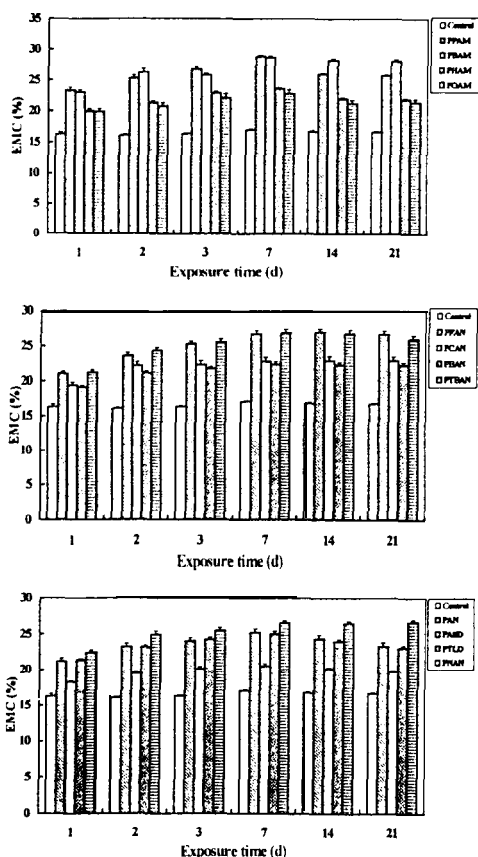


Fig. 6. Equilibrium moisture content(EMC) of wood reacted with phosphoramides at 27°C and 90% RH conditions for 1, 2, 3, 7, 14, and 21d.

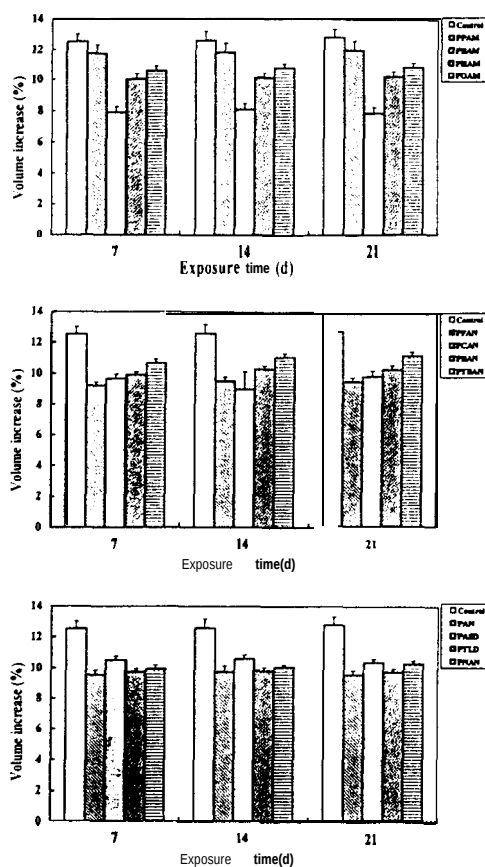


Fig. 7. Changes in volumetric swelling of wood reacted with phosphoramides at 27°C and 90% RH conditions for 7, 14, and 21d.

結論

以磷胺化合物處理木材，雖然可以有效的改善木材的燃燒性與腐朽性，然而卻未能改善其尺寸安定性。綜合本試驗結果為：

一、磷胺化合物處理材之抗收縮能數值偏低。

二、磷胺化合物處理材之尺寸變化極易受到環境濕度的影響而改變，其平衡含水率與體積膨脹率均隨著相對濕度的增加而隨之變大。

三、磷胺化合物處理材之尺寸變化，以在 27°C 與 30% RH，27°C 與 65% RH 環境中較為穩定，但在 27°C 與 90% RH 環境中之體積膨脹率仍較對照組為低。

引用文獻

- Bullock JB, Welch CM, Guthrie JD. 1964.** The weathering characteristics of light weight flame-retardant finishes for cotton fabrics. *Text Res J* 34:691-700.
- Chen GC. 1992.** Fungal decay resistance and dimensional stability of loblolly pine reacted with 1,6-diisocyanatohexane. *Wood Fiber Sci* 24(3):307-14.
- Colthup NB, Daly LH, Wiberly SE. 1964.** Introduction to infrared and rarnman spectroscopy. New York : Academic Press. p 273.
- Ellis WD. 1994.** Moisture sorption and swelling of wood-polymer composites. *Wood Fiber Sci* 26(3):333-41.
- Langley JT, Drews MJ, Barker RH. 1980.** Pyrolysis and combustion of cellulose-VII. Thermal analysis in the presence of aromatic phosphates and phosphoramides. *J Appl Polym Sci* 30:2263-77.
- Lee HL, Chen GC, and Rowell RM. 1998.** Flame-retardant and decay-resistant properties of wood reacted with phosphorus pentoxide-amines system. In: Lewin M, editor. *The Annual BCC Conference on Flame Retardancy: Recent Advances in Flame Retardancy of Polymeric Materials*; 1998 June 1-3; Stamford, CT: Business Communications Company. p 98-119.
- Lee HL, Chen GC, Rowell RM. 1999.** Evaluation of phosphoramides to improve thermal resistance of wood. In: Wang SY, Yeh MC, editors. *International Conference on Effective Utilization of Plantation Timber: Timber and Wood Composites for the Next Century*; 22-24 May 1999; Chi-Tou, Taiwan. p 266-73.
- Rowell RM. 1991.** Chemical modification of wood. In: Hon DNS, Shiraishi N, editors. *Wood and cellulosic chemistry*. New York, Basel: Marcel Dekker. p 703-56.
- Rowell RM. 1992.** Property enhancement of wood composites. In: Vigo TL, Kinzig BJ, editors. *Composite applications-The role of matrix, fiber, and interface*. New York: VCH Publishers. p 365-82.
- Rowell RM, Ellis WD. 1978.** Chemical modification of wood-Reaction of methyl isocyanate with southern pine. *Wood Sci* 12(1):52-8.
- Rowell RM, Gutzmer DI. 1975.** Chemical modification of wood-Reactions of alkylene oxides with southern yellow pine. *Wood Sci* 7(3):240-6.
- Rowell RM, Susott RA, DeGroot WF, Shafizadeh F. 1984.** Bonding fiber retardants to wood. Part I. Thermal behavior of chemical bonding agents. *Wood Fiber Sci* 16(2):214-23.
- Rowell RM, Tillman AM, Zhengtian L. 1986.** Dimensional stabilization of flakeboard by chemical modification, *Wood Fiber Technol* 20:83-95.