

竹材膠合之研究

王恩華*

劉正宇**

【提要】

以商用尿素甲醛膠合劑、酚甲醛膠合劑、三聚氰胺膠合劑、聚醋酸乙烯乳膠及熱融膠膠合孟宗竹、桂竹試材，以決定適宜竹材膠合之膠合劑；並於實驗室合成三聚氰胺尿素甲醛膠合劑及聚醋酸乙烯乳膠，將二者摻合製造PVAc / MUF 膠合劑膠合竹材，觀察其常態、冷水、溫水試驗之膠合力。其結果為商用膠合劑膠合竹材以聚醋酸乙烯乳膠及尿素膠之膠合力為佳；複合膠合劑其耐冷水、溫水之膠合力皆較聚醋酸乙烯乳膠為佳。

一、前言

台灣省竹林面積合計約175,000公頃，分布甚廣。竹材可用於製造工藝品、日用品、建材等，此外因其質量輕、天然色澤優美、具彈性且機械性質與木材相近似，故近年來有以竹積層材製造高級家具，試銷國外^(1,2)。然竹家具之品質亦受膠合劑之影響甚鉅，故乃以一般商用膠合膠膠合孟宗竹、桂竹試材決定適宜竹材使用之膠合劑。又一般竹加工業多採用尿素膠或聚醋酸乙烯乳膠；然尿素膠硬化後膜很硬，無法保留竹材具彈性之特質，聚醋酸乙烯乳膠硬化後膜雖柔軟但其耐水膠合力又差⁽³⁾；故於實驗室合成三聚氰胺尿素甲醛膠合劑及聚醋酸乙烯乳膠，將二者以不同比例摻合製造複合膠合劑，觀察竹材之膠合力，並決定改良聚醋酸乙烯乳膠耐水膠合力之三聚氰胺尿素甲醛膠合劑之適當添加量。

本研究之經費由本校實驗林管理處補助，特此致謝。

二、試驗材料

(一)竹材：孟宗竹、桂竹，含水率 $8.78 \pm 0.53\%$ ，無瑕疵、腐朽，膠合面經刨光者，孟宗竹竹肉試材 $2.5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 0.5\text{ cm}$ ，桂竹竹肉試材 $2\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 0.4\text{ cm}$ 。

(二)膠合劑：商用膠合劑為長春樹脂公司提供之尿素甲醛膠合劑（以下簡稱UF）、酚甲醛膠合劑（PF）、三聚氰胺甲醛膠合劑（MF）、聚醋酸乙烯膠合劑（PVAc）及熱融膠（Hot Melt Adhesive），並於實驗室合成三聚氰胺-尿素-甲醛膠合劑（MUF）及聚醋酸乙烯膠合劑（PVAc）。

(三)合成膠合劑之藥品：尿素、福馬林為試藥級，聚乙二醇、醋酸乙烯及三聚氰胺為工業級。

三、試驗方法

(一)商用膠合劑性質之測定。

1. 基本性質之測定

*國立中興大學農學院森林系助教

**國立中興大學農學院森林研究所教授

參考 J I S 法，測定各膠合劑之樹脂率、粘度、pH 值及膠化時間。

- (1) 樹脂率之測定為精稱 1.5 g 膠放入鋁鉚容器內，置於 $105 \pm 1.5^\circ\text{C}$ 烘箱中，烘乾 3 小時，取出置乾燥器內冷卻稱重。

$$N = \frac{D}{S} \times 100$$

N : 樹脂率 (%)
D : 烘乾後試料重 (g)
S : 試料重 (g)

- (2) pH 值測定為於 25°C ，以 TOA DIGITAL PH METER HM-10 B 測定之。

- (3) 粘度之測定乃以 Brookfield 之 SYNCHRO-LECTRIC VISCOMETER 迴轉圓筒粘度計於 25°C 下測定之。

- (4) 膠化時間之測定 UF、MF 以 10% 氯化銨 (NH_4Cl) 為硬化劑，PF 以 50% 甲基苯磺酸 ($\text{CH}_3 \cdot \text{C}_6\text{H}_4 \cdot \text{SO}_3\text{H}$) 為硬化劑，添加量為膠量之 10%，測法為取 10g 膠合劑加入 1g 硬化劑，充分攪拌均勻傾入內徑 10 mm，長 100 mm 之玻璃試管內，加橡皮塞於 25°C ，由加入硬化劑開始至膠不流動所需時間，以分示之。

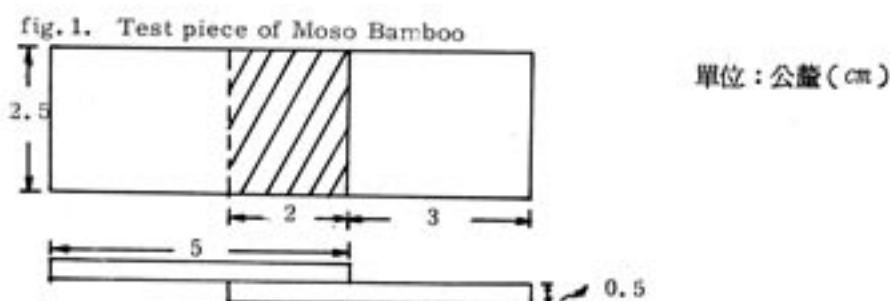
2 竹材 (竹肉) 膠合剪力之測定

試材不包括竹皮，為竹肉之膠合。孟宗竹試材為 $2.5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 0.5\text{ cm}$ ，膠合面積為 $2.5\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ (如下圖所示)，桂竹試材為 $2\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 0.4\text{ cm}$ ，膠合面積為 $2\text{ cm} \times 2.5\text{ cm}$ 。UF 以固體氯化銨為硬化劑，添加量 1%，MF 添加量為 0.5%，PF 以固體甲基苯磺酸為硬化劑，添加量 1%；兩面塗佈膠量 UF, MF 及 PF 為 13 g/ft^2 ，而 PVAc 與 Hot Melt adhesive 為 40 g/ft^2 ，於室溫冷壓 24 小時，壓力 10 Kg/cm^2 。各膠合試材按 CNS 1350 法測其常態膠合剪力，PF, MF 並測沸水浸水試驗膠合剪力，UF, PVAc，熱融膠測溫水浸水試驗膠合剪力，PVAc、熱融膠亦測其 30°C 浸水 3 小時之膠合剪力。

$$\text{膠合剪力 (Kg/cm}^2\text{)} = \frac{K}{A}$$

K : 竹材破壞時最大荷重 (Kg)
A : 膠合面積 (cm^2)

圖一 孟宗竹竹肉試材規格



3 竹皮膠合剪力之測定

保留竹材之竹皮部份，以竹皮與竹肉膠合，試材大小為 $2\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 0.2\text{ cm}$ ，膠合面積為 $2.0\text{ cm} \times 2.5\text{ cm}$ ，測其常態試驗膠合剪力。

(一) PVAc / MUF 複合膠合劑 (PVAc / MUF alloy adhesive)

1 MUF 之合成及性質之測定

參考作者之報告⁽⁴⁾，用於合板膠合 MUF 中三聚氰胺取代量稍大於 40% 即可達第一類合板之標準，故本實驗三聚氰胺取代量為 45%，摩爾比為三聚氰胺：甲醛 = 1 : 3，尿素：甲醛 = 1 : 1.8，其合成法為福馬林以 20% 四氮六甲環 (Hexamethylene tetramine) 調 pH 為 7.5，加入三聚氰胺、尿素於 80°C 反應至水和度約為 2，合成完調 pH 9.0；並測定樹脂之樹脂率、粘度、膠化時間，測法同上。

2 PVAc 之合成及性質之測定

聚乙烯醇量為醋酸乙烯單體之 5%，加入與醋酸乙烯等量之水，而以過硫酸鉀 ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ，量為 VAc 之 0.5%) 及亞硫酸氫鈉 (NaHSO_3 ，VAc 量之 0.5%) 為起始劑。其合成法為取聚乙烯醇 15 g，加 270 g 之蒸餾水、微量消泡劑、起始劑量之 $\frac{1}{5}$ 及醋酸乙烯單體全量之 $\frac{1}{10}$ 於五口圓底燒瓶中，分別裝上攪拌器、溫度計、冷凝管、分液漏斗 (分別裝入剩餘之醋酸乙烯單體及起始劑) 並通入氮氣，反應溫度 70°C ，醋酸乙烯及起始劑慢慢滴入，至單體滴完，環流停止後，升溫至 $75 - 80^\circ\text{C}$ 反應約 20 min，停止反應，全部反應時間約 2 小時；反應完測樹脂率、pH 值及粘度。

3 PVAc / MUF 複合膠合劑之性質。

(1) 複合膠合劑之摻合法

以 MUF 分別取代 PVAc 全量之 10%、20%……至 100%，混合法為取計算量之 MUF，加入其量 15% 之低筋麵粉為劑充劑，及膠量 6% 之 20% NH_4Cl 為硬化劑，混合均勻後慢慢加入計算量之 PVAc 中，充分攪拌使其混合均勻。

(2) 複合膠合劑性質及膠合剪力之測定

測各膠合劑之 pH 值及粘度，並用於孟宗竹、桂竹竹肉膠合及木塊之膠合⁽⁴⁾，分別測其常態膠合剪力、 30°C 浸水試驗膠合剪力及 60°C 浸水試驗膠合剪力。

四、結果與討論

(一) 商用膠合劑之性質及竹材膠合剪力

1 各商用膠合劑之性質見表 1，竹肉之膠合剪力如表 2 所示，由表 2 知常態膠合剪力以 PVAc 及 UF 較優而 MF 及 PF 較差，MF 之膠合力差乃因欲使其完全硬化須 65°C 以上⁽⁶⁾，而本實驗為冷壓膠合；又 PF 雖常溫可硬化，但硬化時間長，而本實驗僅冷壓 24 小時且當時氣溫約 20°C ，亦可能影響其膠合力，而熱融膠膠合力差主要乃膠合時操作之困難所致。PVAc 之常態膠合力雖大，但冷水、溫水試驗之膠合力差，此為熱可塑性膠之最大缺點；而 UF 膠之耐沸水膠合力亦為零。

2 商用膠合劑用於竹皮之膠合，其膠合剪力如表 3 所示，UF 及 MF 均無膠合力可言；

表一：商用膠合劑之各種性質

Table 1: The properties of commercial adhesives

性質 Properties	膠合劑	UF	MF	PF	PVAc	Hot Melt Adhesive
樹脂率 (%) solid content		45.60	48.72	71.38	51.11	100
PH 值 PH value		7.78	8.68	8.17	5.10	—
度 Viscosity (poise)		1.34	0.78	1.51	>1000	—
膠化時間 gel time (min)		57	228	337	—	—

表二：商用膠合劑之竹肉膠合剪力 (Kg/cm²)

Table 2: The Bamboo bond shear strength of Commercial adhesives

試驗性質	膠合劑	UF	MF	PF	PVAc	Hot Melt
常態試驗 dry test	孟宗竹	83.6(95)	64.7(49)	65.8(48)	80.5(89)	57.1(70)
	桂竹	73.5(82)	69.2(77)	63.6(14)	88.0(60)	54.5(0)
30°C 浸水試驗 30°C water soaked test	孟宗竹	—	—	—	35.3(30)	46.2(0)
	桂竹	—	—	—	30.5(0)	43.6(0)
60°C 浸水試驗 60°C water soaked test	孟宗竹	54.6(60)	—	—	12.4(3)	6.7(0)
	桂竹	47.6(52)	—	—	13.5(0)	6.8(0)
沸水試驗 boiling water test	孟宗竹	0(0)	3.0(0)	32.9(52)	—	—
	桂竹	0(0)	3.9(0)	30.7(49)	—	—

註：() 內為竹破率 (%)

PF 之膠合力亦近乎零，PVAc 雖可測出其膠合力，但亦不甚理想。由實際實驗觀察之，竹皮因本身所具之弧度故真正膠合面積很小，且竹皮表面具蠟質物不易被膠合劑所濕潤，皆為引起膠合不良之原因，故若欲膠合竹皮則須另作表面處理或尋求其他適當之膠合劑，此有待進一步之研究。

表三：商用膠合劑用於竹皮膠合之常態膠合剪力 (Kg/cm^2)

Table 3: The bamboo bark bond shear strength of commercial adhesives

竹種 species	膠合劑	UF	MF	PF	PVAc
孟宗竹 Moso bamboo		0 (0)	0 (0)	2.03 (0)	12.25 (0)
桂竹 Makino bamboo		0 (0)	0 (0)	4.20 (0)	7.88 (0)

註：() 內者為竹破率 (%)

㊦ PVAc / MUF 複合膠合劑之性質

複合膠合劑之粘度及 pH 值如表 4 所示，PVAc 之 pH 值為 2.50，MUF 之 pH 值為 8.99，隨 MUF 量之增加複合膠之 pH 值亦增加，PVAc 之粘度為 720 poise；MUF 之粘度為 0.35 poise，隨 PVAc 量之增加粘度增大，而 PVAc 量超過 70% 者，粘度增加很大使膠不易混合均勻。

表四：PVAc / MUF 複合膠合劑之性質

Table 4: Properties of PVAc / MUF alloy adhesives

性質 properties	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40	70:30	80:20	90:10	100:0
PH 值	8.99	6.21	5.89	5.86	5.39	5.25	5.04	4.77	4.61	3.10	2.50
度 (poise) viscosity	0.350	20.20	22.80	32.40	33.30	33.20	30.00	38.40	571.0	712.0	720.0

㊦ PVAc / MUF 複合膠合劑之竹材 (竹肉) 膠合剪力

由商用膠合劑試驗得知 PVAc 之常態膠合力強，但耐水膠合力差，故摻合以 MUF 改良耐水性，其試驗結果如下：

- 1 各膠合劑膠合孟宗竹、桂竹試材之膠合力如表 5 所示。常態膠合強度 MUF 與 PVAc 二者沒很大差異，故各複合膠合劑間亦無明顯之差異，由此知 MUF 對 PVAc 之常態膠合強度並無顯著之改良效果。
- 2 30 °C 浸水試驗，MUF 添加 10% 即對 PVAc 之耐水膠合力具顯著之改良效果；孟宗竹試材 MUF 添加量 20% 者其膠合力與 MUF 量 20% 以上者沒顯著差異，而桂

竹試材其MUF添加30%者其膠合力即與MUF 30%以上之膠合力沒顯著差異。故欲改良PVAc之冷水膠合力，摻合約20%—30%之MUF即可達到改良之效果；且亦有使30℃浸水試驗之膠合力大於常態膠合力之趨勢。

- 3 60℃浸水試驗，孟宗竹試材以PVAc膠合，其膠合力為11.7 Kg/cm²，添加10% MUF即提高膠合力為36.9 Kg/cm²，且隨MUF量之增加膠合力變大。PVAc膠合桂竹試材其膠合力為8.29 Kg/cm²，添加10% MUF即提高膠合力為28.3 Kg/cm²，提高兩倍以上；且隨MUF量之增加膠合力變大，故添加MUF可改良PVAc之耐溫水膠合力，MUF添加量愈多膠合力即愈大。但如須有更大之改良效果，則MUF之添加量勢必較30℃浸水試驗者為多。

表五： PVAc/MUF複合膠合劑之竹材膠合剪力 (Kg/cm²)

Table 5: The bamboo bond shear strength of PVAc/MUF alloy adhesives

膠合劑 (重量比) PVAc:MUF	竹 性 質 種	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40	70:30	80:20	90:10	100:0
常態試驗	孟宗竹	75.6 (92)	65.3 (65)	66.8 (60)	65.4 (63)	59.3 (83)	53.5 (50)	63.7 (93)	69.6 (82)	68.4 (85)	72.5 (75)	64.5 (6.7)
	桂竹	73.8 (87)	79.1 (93)	75.5 (89)	73.1 (76)	70.4 (72)	75.2 (87)	72.9 (72)	76.8 (54)	68.1 (48)	78.8 (70)	70.1 (14)
30℃浸水試驗	孟宗竹	97.0 (94)	90.5 (72)	92.1 (98)	92.8 (85)	91.9 (73)	88.8 (71)	91.6 (92)	87.5 (62)	86.1 (30)	75.6 (21)	32.3 (15)
	桂竹	85.2 (100)	87.9 (94)	87.7 (100)	87.1 (98)	84.3 (95)	81.9 (61)	80.4 (57)	80.5 (44)	61.2 (21)	49.6 (14)	22.8 (5.2)
60℃浸水試驗	孟宗竹	81.6 (50)	72.2 (51)	76.1 (73)	62.6 (68)	64.2 (51)	54.5 (37)	53.5 (14)	49.2 (3.0)	44.2 (2.0)	36.9 (2.0)	11.7 (0)
	桂竹	62.1 (69)	68.7 (73)	63.1 (63)	63.5 (66)	48.9 (31)	47.1 (14)	46.4 (10)	46.9 (9.2)	30.7 (1.3)	28.3 (0)	8.29 (0)

註：()內為竹破率(%)

- 4 除竹材之膠合外，本實驗並做木塊膠合剪力試驗，以資比較，其結果如表6所示。常態試驗膠合力以PVAc最差，而以MUF量60%—90%之複合膠合劑之膠合力為佳，此點與竹材不同，且各膠合劑之膠合力差異較竹材為大。30℃與60℃浸水試驗之膠合力，添加MUF皆提高PVAc之耐水膠合力，此現象與竹材同，推測除因MUF本身為一良好之耐水膠合劑外，亦可能MUF中未反應之羥甲基與PVAc中之

保護膠體PVA 分子之氫氧基反應(其反應式: $PVA-OH + HOH_2C-MUF \rightarrow PVA-O-CH_2-MUF + H_2O$), 減少PVA 之氫氧基, 同時使兩個PVA 分子產生架橋, 而改良其耐水性。木塊之耐水膠合力皆較常態膠合力小, 而竹材膠合 $30^\circ C$ 浸水試驗, 孟宗竹MUF 添加量10%以上者; 桂竹MUF 添加量30%以上者, 及 $60^\circ C$ 浸水試驗孟宗竹MUF 50%以上者其膠合力皆較常態膠合力為大, 此一現象是否與竹材本身之物理、化學性質有關, 則有待進一步之探討。

表六: PVAc/MUF 複合膠合劑之木塊膠合剪力 (Kg/cm^2)

Table 6: The block shear strength with PVAc/MUF alloy adhesives

膠合劑(重量比) PVAc:MUF 試驗性質	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40	70:30	80:20	90:10	100:0
常態試驗 Dry test	164.9 (40)	196.9 (45)	220.9 (40)	209.6 (25)	194.5 (83)	162.0 (10)	161.2 (21)	127.5 (17)	126.8 (25)	144.1 (4.2)	84.47 (0.0)
$30^\circ C$ 浸水試驗 $30^\circ C$ water soaked test	189.7 (29)	167.8 (33)	177.4 (83)	175.6 (57)	162.7 (80)	107.5 (37)	127.5 (5.0)	104.6 (0.0)	126.2 (0.0)	133.5 (0.8)	47.03 (2.0)
$60^\circ C$ 浸水試驗 $60^\circ C$ water soaked test	156.7 (53)	146.1 (53)	141.7 (52)	146.2 (30)	119.8 (48)	17.73 (0)	13.61 (0.0)	3.43 (0)	5.24 (0)	5.64 (0)	1.23 (0)

註: () 內為木破率(%)

- 比較孟宗竹、桂竹之膠合力, 常態試驗以桂竹膠合力較大, 但浸水試驗之膠合力孟宗竹皆大於桂竹。根據蔣氏⁽⁵⁾ 報告孟宗竹氣乾材之比重為 0.96 ± 0.04 , 桂竹為 0.83 ± 0.03 故應為孟宗竹之膠合力較大; 但孟宗竹常態試驗時許多試材由非膠合層斷裂, 而無法測得真正之膠合力, 由實際實驗操作中觀察發現, 因孟宗竹試片之厚度較桂竹大, 測剪力時試材無法與剪力方向完全平行, 可能為由非膠合層斷裂之原因。
- 由商用膠合劑膠合力之測定知PVAc 之膠合力良好, 但於實驗室合成之PVAc 其膠合力較差, 除因實驗室合成者未加可塑劑影響其成膜性外冷壓時間不足可能亦為原因之一, 故乃以同樣膠合劑及膠合條件冷壓24小時及48小時, 其結果如表7所示。PVAc 常溫即可硬化且硬化時間短為其特點, 但由此實驗可得知PVAc 用於冷壓時, 欲使其完全硬化發揮其膠合力則至少須冷壓48小時。

五、結論

- 商用膠合劑膠合孟宗竹、桂竹試材竹肉之膠合乃以PVAc 及UF 之膠合力大, 而MF、PF 及熱融膠之膠合力較差。用於竹皮之膠合, UF、MF 無膠合力, PF 膠合力近乎零, PVAc之膠合力亦不理想。

表七：不同冷壓時間之竹材膠合剪力 (Kg/cm^2)

Table 7: The bamboo bond shear strength of different cold setting time

竹種 species	試驗種類	常態試驗	30°C 浸水試驗	60°C 浸水試驗
	種	dry test	30°C water soaked test	60°C water soaked test
48	孟宗竹 Moso bamboo	64.5 (6.7)	32.3 (15)	11.7 (0)
	桂竹 Makino bamboo	70.1 (72)	22.8 (5.2)	8.3 (0)
24	孟宗竹 Moso bamboo	103 (30)	78.7 (2.1)	33.3 (0)
	桂竹 Makino bamboo	86.7 (73)	25.9 (0)	11.3 (0)

註：() 內者為竹破率(%)

- ⊃PVAc 摻合 MUF 對竹材之常態膠合力無顯著改良效果，但對 PVAc 之耐冷水、溫水膠合力具顯著改良效果。30°C 浸水試驗，MUF 量添加 20 - 30% 之複合膠合劑其膠合力與 MUF 量 30% 以上者差異不大。60°C 浸水試驗膠合力隨 MUF 量之增加而變大。
- ⊃PVAc 之特性為常溫硬化且成膜快，硬化時間短；但冷壓時如欲使其完全發揮其膠合力，則至少須冷壓 48 小時。

六、參考文獻

- 1 馬子斌等氏 (1979) 層積竹材之研究，林試所試驗報告 285 號。
- 2 馬子斌等氏 (1978) 竹材彎曲層積製造高級家具之研究，林試所試驗報告第 310 號。
- 3 丁昭義 (1979) 竹材編織合板之製造以及塗裝性之研究，台大實驗林、森林系研究報告 123 號。
- 4 王恩華 (1980) 尿素甲醛樹脂木材膠合劑性質改良之研究，興大實驗林研究報告第二報，226 ~ 240。
- 5 蔣福慶 (1973) 台灣產主要竹材之物理性質試驗，林試所試驗報告 241 號。
- 6 Howwink, R. & Salomon G. Adhesion and Adhesive (Volum 1), 186-209.

Studies on The Adhesion of Bamboo

Un-Hwa Wang* Cheng-Tzu Liu**

The objectives of this study were to investigate the Moso and Makino bamboo bond strength of commercial adhesives, and the upgrading effects on the cold and hot water resistance of experimental synthesized polyvinyl acetate emulsion adhesive by blending with melamine-urea-formaldehyde adhesive. The results obtained were summarized as follow.

- (1) The bamboo bond strength of commercial PVAc and UF is better than that of MF, PF and Hot Melt adhesive. The bamboo bark bond strength of commercial UF, MF is zero, and PF PVAc is lower too, for the covering of wax and other reasons.
- (2) The poor bamboo cold and hot water resistance of PVAc could be improved by blending with MUF as PVAc/MUF alloy adhesive. Cold water resistance of PVAc blended with 20 percent to 30 percent MUF could be upgraded nearly to meet the standard of pure MUF. Hot water resistance was upgraded too, and the upgrade effect was proportional to the amount of MUF blended.
- (3) The normal test strength of Makino bamboo was better than Moso bamboo, while the cold and hot water resistance of Makino bamboo were lower than that of Moso bamboo.

*Assistant, Department of Forestry, National Chung Hsing University.

**Professor, Research Institute of Forestry, National Chung Hsing University.