

研究報告

單板層積及密度對竹材聚乳酸複合材料物理機械性質之影響

吳東霖^{1,2} 陳載永¹ 吳志鴻^{1,*}

【摘要】本研究利用桂竹 (*Phyllostachys makinoi*) 加工廢料及聚乳酸 (Polylactic acid, PLA) 製備竹材聚乳酸複合材料 (Bamboo-PLA composite, BPC)。同時, 利用萬能強度試驗機、色差計及表面粗糙度儀等儀器, 探討單板層積及密度對竹材聚乳酸複合材料物理機械 (Physicomechanical) 性質之影響。試驗結果顯示, BPC之吸水率隨著密度增加而減少, 其抗彎強度及抗彎彈性模數則隨著密度的增加而增加; 其中, 密度900 kg/m³者具有最佳之抗彎強度 (42.4 MPa) 及抗彎彈性模數 (4.1 GPa)。而利用單板層積所製備之BPC板心合板 (BPC core plywood, BPCP), 相較於BPC (900 kg/m³) 可提升約2.3倍之抗彎強度, 而抗彎彈性模數約可提高2.0倍, 顯示單板層積確實有助於提升BPC之物理機械性質。

【關鍵詞】竹材聚乳酸複合材料、聚乳酸、單板層積、密度、物理機械性質

Research paper

Effects of Veneer Lamination and Density on Physicomechanical Properties of Bamboo–Polylactic Acid Composites

Tung-Lin Wu^{1,2} Tsai-Yung Chen¹ Jyh-Horng Wu^{1,*}

【Abstract】In this study, makino bamboo (*Phyllostachys makinoi*) residue and polylactic acid (PLA) were used as raw materials to manufacture bamboo-PLA composite (BPC). Effects of veneer lamination and density on physicomechanical properties of BPC were evaluated by universal testing machine, color difference meter and surface roughness measuring instrument, *etc.* Results showed that the water absorption decreased with increasing BPC density, while the modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE) increased with increasing density. The BPC with a density of 900 kg/m³ exhibited the strongest

1. 國立中興大學森林學系。

Department of Forestry, National Chung Hsing University.

2. 南開科技大學休閒事業管理系。

Department of Leisure Business Management, Nan Kai University of Technology.

* 通訊作者, 402台中市南區興大路145號。

Corresponding author, 140, Xingda Rd., South Dist., Taichung City 402, Taiwan.

E-mail: eric@nchu.edu.tw.

MOR (42.4 MPa) and MOE (4.1 GPa). On the other hand, the BPC core plywood (BPCP) with a density of 900 kg/m³ showed 2.3-fold and 2.0-fold enhancements in MOR and MOE as compared to BPC with a density of 900 kg/m³, respectively. These results demonstrated that the manufacture technology of veneer lamination can improve the mechanical property for BPC.

【Key words】 Bamboo-polylactic acid composite, Polylactic acid, Veneer lamination, Density, Physicomechanical properties.

一、前言

竹子在華人的心目當中，遠比其他植物來的重要，從它的象徵意義及用途來看，已涵蓋了食衣住行育樂等各個層面。竹器的使用，幾乎可視為我國文明的標誌，自古以來與我們生活息息相關。然而，竹材加工及製造過程中，往往會產生許多殘料，而此殘料一般多作為焚燒原料或任其腐朽，鮮少得到有計畫及有系統的回收與再利用，其不僅耗費寶貴的天然竹林資源，更對環境造成莫大的衝擊。因此，利用廢棄竹材殘料與熱塑性高分子製備竹材塑膠複合材料 (Bamboo-plastic composite)，除了能有效利用木質殘料及協助解決國內廢棄物處理等問題之外，亦可達到資源再生及環保之目標，更對台灣發展低碳之生活環境有相當大的助益 (吳東霖等, 2011)。

一般而言，聚乳酸 (Polylactic acid, PLA) 為天然之聚酯類高分子材料，其具有生物可分解性、生物吸收性、良好的機械性質及低伸長率等特性 (Dorgan *et al.*, 2001; Garlotta, 2001; Gutierrez-Villarreal *et al.*, 2008)。因此，若以 PLA 作為複合材料之基質，將可增加材料的生物分解性，進而降低其對環境所造成之危害。然而，聚乳酸複合材料會有高溫 (約 68°C) 環境易變形之缺點，因而須找尋強化聚乳酸複合材料之方法。而根據前人研究報告發現，木質複合材料經單板層積處理，能改善複合材料之機械強度性質。例如：陳載永等人 (2001) 報告指出，粒片板經單板層積後之抗彎強度 (Modulus of rupture, MOR) 明顯地提高 20-48%。同樣

的，楊德新等人 (2003) 提出之定向粒片板 (Oriented strand board, OSB) 經單板層積後，其強度增加之效益約為 24.7-27.2%。而賴志恆等人 (2004) 之研究報告亦顯示，長薄片定向粒片板經單板層積後，其抗彎強度增加 3-12%，而抗彎彈性模數 (Modulus of elasticity, MOE) 增加 28-40%。因此，若將木材單板層積於竹材聚乳酸複合材料 (Bamboo-PLA composite, BPC)，應可提升 BPC 整體強度性質。故本研究則以竹材加工殘料與聚乳酸為原料，以一次熱壓成型 (One-step hot press molding) 單板層積 BPC 方式製備 BPC 板心合板 (BPC core plywood, BPCP)，並針對不同密度複合材料物理機械性質進行系統性之分析與研究，期能建立新型 BPCP 之最佳化製程條件。

二、材料與方法

(一) 竹粒片

本試驗之試材，取自南投縣竹山地區竹材加工廠之桂竹 (*Phyllostachys makinoi*) 刨屑。經磨切機製成粒片後，隨即將所製得之桂竹粒片置入 70°C 烘箱中乾燥 24 h 後，續以震動篩分機將桂竹粒片進行粒徑分類，並選用 -30+60 mesh 桂竹粒片作為後續複合材料製備之用。

(二) 塑膠材料

本試驗所使用之 PLA 購自偉盟工業股份有限公司 (台北)，型號為 NCP0001，密度為 1250 kg/m³，熔流指數 (Melt flow index, MFI) 為 4-8 g/10 min，熔融溫度則為 140-150°C。試驗前，將塑膠顆粒以圓盤式磨粉機進行磨粉處理

後，利用篩分機篩分通過20 mesh網篩之塑膠粉末，以供後續複合材製備之用。

(三) 單板

本試驗所用之木材單板 (厚度約2 mm) 為購自嘉義縣萬財興業股份有限公司所旋切之放射松 (*Pinus radiata*) 單板，密度為428 kg/m³。將單板裁切成適當之尺寸後，置入105°C烘箱中乾燥，以供後續製備BPCP之用。

(四) 一次熱壓成型BPCP之製備

為探討密度對一次熱壓成型BPCP之影響，主要以不同密度 (預設密度分別為500、700及900 kg/m³) 進行製備，成板尺寸為300 mm × 200 mm × 12 mm。依上述製備條件將竹粒片與PLA以絕乾重量比50/50 (wt%) 混合後，置入混合機中攪拌，經5 min均勻攪拌後取出。接著，將單板置於襯板 (Caul plate) 上，續將混合之材料均勻灑入成型模具後，再以單板被覆於其上以完成板坯 (Mat) 之抄製。之後，於板坯中心層置入K type熱電耦線，再將板坯置入熱壓機中，於熱壓溫度180°C及壓力2.5 MPa下進行熱壓。當板坯中心溫度達165°C時，再將板坯置於冷壓機中進行冷卻，使板坯中心溫度冷卻至40°C即完成BPCP之製備 (趙瑩瑩等，2014)。此外，並依上述相同製程條件製備BPC (預設密度分別為500、700及900 kg/m³) (吳東霖等，2008；Wu *et al.*, 2013)，以作為試驗之對照組。

(五) 性質分析

本試驗所製備之複合材料均參考CNS2215 (2012) 之檢測標準，進行含水率、吸水率、吸水厚度膨脹率、抗彎強度、抗彎彈性模數、木螺釘保持力及表面抗拉強度等試驗。試驗前，試材需置於20°C、65% RH之恆溫恆濕室中調整至恆重。

1. 含水率 (Moisture content)

將試材裁切成50 mm × 50 mm × 12 mm之試片後，測定試片之質量 (m_1 , g)。接著將其置入105°C之烘箱內乾燥至恆重，再測定其乾燥後之絕乾質量 (m_0 , g)，並依下列公式計算試

片含水率。

$$\text{含水率 (\%)} = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100$$

2. 吸水率 (Water absorption) 及吸水厚度膨脹率 (Thickness swelling)

將試材裁切成50 mm × 50 mm × 12 mm之試片後，測定試片之重量、寬度、長度及厚度。之後，將試材水平置入20°C之蒸餾水中，置入深度為距水面下25 mm。測定試片吸水24 h後之重量及厚度，並依下列公式計算試片之吸水率及吸水厚度膨脹率。

$$\text{吸水率 (\%)} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

$$\text{吸水厚度膨脹率 (\%)} = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100$$

式中， m_1 ：試片吸水前質量 (g)； m_2 ：試片吸水後質量 (g)； t_1 ：試片吸水前厚度 (mm)； t_2 ：試片吸水後厚度 (mm)。

3. 顏色變化 (Color change)

本試驗採用Minolta (CM-3600d, Japan) 色差計 (Color difference meter) 進行測量，光源為D65，測試窗直徑為30 mm，視角為10°。測試時，將試片直接置於測試窗上測取 L^* 、 a^* 、 b^* ，並依照國際照明協會所制定之CIE LAB色彩體系，進一步依下列式子計算 ΔL^* 、 Δa^* 、 Δb^* 及 ΔE^* 等數值：

$$\Delta L^* = L^*_t - L^*_0$$

$$\Delta a^* = a^*_t - a^*_0$$

$$\Delta b^* = b^*_t - b^*_0$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

式中， L^*_0 、 a^*_0 及 b^*_0 為試材熱壓前所測得之明度值 (L^*)、紅綠參數值 (a^*)及黃藍參數值 (b^*)；而 L^*_t 、 a^*_t 及 b^*_t 則為試材經熱壓後之 L^* 、 a^* 及 b^* 值。 ΔE^* 為色差值，數值愈大表示試驗前後顏色變化愈大。

4. 粗糙度 (Roughness)

本試驗採用Kosaka (SE1700, Japan) 針觸式表面粗糙度儀 (Surface roughness measuring

instrument) 進行測量，觸針直徑2 μm ，測量長度8 mm，測量速度2 mm/s。試驗時，分別測定試片之中心線平均粗糙度 (Center line average roughness, Ra)、最大高度粗糙度 (Maximum roughness, Ry) 及十點平均粗糙度 (Ten point height roughness, Rz)，測定方向則包括平行及垂直單板木理兩種。

5. 光澤度 (Gloss)

本試驗採用Hach-Lange (REFO 60, Germany) 可攜式光澤度計 (Portable gloss meter) 進行測量，光源入射角為60°，測定方向則包括平行及垂直單板木理兩種。

6. 抗彎強度 (MOR) 及抗彎彈性模數 (MOE)

將試材裁切成230 mm \times 50 mm \times 12 mm 之試片後，測量試片之寬度及厚度。之後，以180 mm之載重跨距及載重速度10 mm/min進行檢測，記錄試片之最大載重值及其經時載重與變形量，並依下列公式計算試片之抗彎強度 (MOR) 及抗彎彈性模數 (MOE)。

$$\text{MOR (MPa)} = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times h^2}$$

$$\text{MOE (MPa)} = \frac{\Delta P \times L^3}{4 \times \Delta Y \times b \times h^3}$$

式中，P：最大載重 (N)；L：跨距 (mm)；b：試片寬度 (mm)；h：試片厚度 (mm)； ΔP ：比例限度內上限載重值及下限載重值之差 (N)； ΔY ：與 ΔP 相對應之跨距的中央撓曲 (mm)。

7. 木螺釘保持力 (Wood screw-holding strength)

將試材裁切成50 mm \times 50 mm \times 12 mm 之試片後，於試材中央以直徑2 mm 之鑽頭，鑽取深度約3 mm 之導引孔。接著將直徑2.7 mm，長16 mm 之木螺釘垂直旋入於試材表面，使螺牙完全鑽入而未貫穿試材。最後，以2 mm/min 之引拔速度，垂直拔起木螺釘，所測得之最大載重 (N)，即為木螺釘保持力。

8. 表面抗拉強度 (Surface tensile strength)

將試材裁切成50 mm \times 50 mm \times 12 mm

之試片後，使20 mm \times 20 mm之固著器膠合於試片表面，並切除固著器周圍之表面單板。接著，於膠合面垂直方向施以2 mm/min之拉伸載重，測定剝離或破壞時之最大載重 (P)，並依公式計算表面抗拉強度。表面抗拉強度 (MPa) = P/A，式中，P為表面剝離破壞時之最大載重 (N)；A為膠合固著器之面積 (mm²)。

(六) 統計分析

本試驗使用SAS統計系統進行變異數分析 (Analysis of variance, ANOVA)，並透過Scheffe檢定 (Scheffe test) 評估各組間之差異性 (信賴區間為95%)。

三、結果與討論

(一) 單板層積及密度對BPC物理性質之影響

為了解單板層積及密度對BPC物理性質之影響，以密度分別為500、700及900 kg/m³之條件製備BPC及BPCP。同時針對複合材之吸水率、吸水厚度膨脹率、表面顏色、表面粗糙度及表面光澤度等性質進行分析。表1即為不同密度之BPC及BPCP物理性質，由表中可以得知，不論BPC或BPCP，其試材含水率及24 h吸水率均隨著密度增加而減少，此結果與Clemons與Ibach (2004) 之研究結果相似。其中，以BPC而言，高密度 (900 kg/m³) 複合材具有最低之吸水率 (22.6%)，而低密度 (500 kg/m³) BPC具有最高吸水率 (63.5%)。造成此現象之原因，主要係製備高密度BPC時，竹粒片因受到充分填充或壓縮而與聚乳酸具有較緊密的結合，因此可有效抵擋水分進入複合材內部。相對的，製備低密度BPC時，竹粒片與塑膠的結合較為鬆散，導致複合材具有較多的縫隙而使水分容易進入複合材內部，並增加水分的吸收。另外，對BPCP而言，其結果則與BPC具有相同之趨勢。然而，在相同密度下，BPCP之吸水率均較BPC者高。

表1 不同密度BPC與BPCP之物理性質

Table 1 Physical properties of BPC and BPCP with various densities

Samples	Density (kg/m ³)	Moisture content (%)	24 h soaking	
			Water absorption (%)	Thickness swelling (%)
BPC	500	4.3 ± 0.1 ^{bc}	63.5 ± 8.3 ^a	1.8 ± 0.2 ^c
	700	4.0 ± 0.1 ^c	38.9 ± 1.5 ^b	2.8 ± 0.1 ^{bc}
	900	3.6 ± 0.1 ^d	22.6 ± 2.6 ^c	2.8 ± 0.3 ^{bc}
BPCP	500	5.0 ± 0.2 ^a	56.7 ± 3.1 ^a	3.1 ± 0.6 ^b
	700	4.8 ± 0.1 ^a	42.7 ± 2.3 ^b	4.8 ± 0.7 ^a
	900	4.4 ± 0.1 ^b	21.4 ± 2.6 ^c	4.8 ± 0.6 ^a

Values are mean ± SD (n = 5). Different letters within a column indicate significant difference at p < 0.05.

此外，在24 h吸水厚度膨脹率方面，由表1試驗結果可以得知，高密度 (700及900 kg/m³) 之BPC與BPCP具有較高之吸水厚度膨脹率。造成此現象之原因，主要係製備高密度複合材時，其試材具有較高的板坯壓縮率，故吸水後其厚度回彈率較大，使得複合材的吸水厚度膨脹率較高。再者，在相同密度下，BPCP之吸水厚度膨脹率均較BPC者高。而導致BPCP吸水厚度膨脹率較高之原因，推測可能與單板的層積有關，BPC的膨脹效益加上單板膨脹效益，使得單板層積複合材具有較高的厚度膨脹率。

另一方面，由表2不同密度BPCP單板經熱壓前後表面顏色明度值 (L*)、紅綠參數值

(a*)、黃藍參數值 (b*) 及色差值 (ΔE*) 之結果可以得知，BPCP經熱壓後，均會使單板表面顏色深色化。以密度700 kg/m³為例，BPCP表面經180°C熱壓後，其L*值明顯的由熱壓前之82.2下降至熱壓後之75.1。相反地，a*值由6.2上升至7.4；b*值則由25.4上升至28.2；而熱壓前後單板之ΔE*值則為6.2。至於單板經熱壓後其L*值下降之原因，主要係木材單板組成分之半纖維素受高溫影響，而形成之熱裂解產物，進而使木材表面顏色變深 (Esteves *et al.*, 2008)。此外，在熱壓過程中，亦可能產生醜類等氧化物質，而加劇木材表面深色化 (Dubey *et al.*, 2011)。

表2 不同密度BPCP之表面顏色

Table 2 Surface color of BPCP with various densities

Samples	Density (kg/m ³)	CIE LAB			ΔE*
		L*	a*	b*	
Veneer	-	82.2 ± 2.4 ^a	6.2 ± 1.2 ^b	25.4 ± 1.2 ^c	-
BPCP	500	77.7 ± 2.9 ^b	6.5 ± 1.3 ^{ab}	27.8 ± 1.5 ^{ab}	5.6 ± 1.9 ^a
	700	75.1 ± 4.1 ^c	7.4 ± 1.5 ^a	28.2 ± 1.3 ^a	6.2 ± 2.3 ^a
	900	78.6 ± 3.1 ^b	5.8 ± 1.3 ^b	27.1 ± 1.3 ^b	5.7 ± 1.9 ^a

Values are mean ± SD (n = 5). Different letters within a column indicate significant difference at p < 0.05.

至於熱壓對不同密度BPCP表面粗糙度之影響方面，由於木材為一多孔性材料，經機械加工處理後，表面會因木材組織之不同而造成特有的凹凸現象，且不同的加工條件亦會使木材產生不同程度的表面粗糙度 (黃國雄等, 2002)。因此，為避免複合材表面性質之差異，藉由熱壓製程可使單板表面緻密化而降低其粗糙度 (許妙戎, 2000)。表3則為不同密度BPCP單板經熱壓後其中心線平均粗糙度 (Ra)、最大高度粗糙度 (Ry) 及十點平均粗糙度 (Rz) 之變化。由表中可以得知，除了Ra之外，

BPCP之表層單板無論熱壓與否均以垂直木理方向之表面粗糙度較平行木理者為大。而經180°C熱壓後，其粗糙度亦較未熱壓者低。以垂直木理方向及密度700 kg/m³之BPCP為例，熱壓前單板之Ra、Ry及Rz分別為25.9、176.8及115.9 μm；經熱壓後，此三者則分別降至4.4、43.8及28.3 μm。而造成此現象之原因，主要係木材組成成分中之木質素其玻璃轉移溫度約為140-160°C，當熱壓溫度超過此範圍時，木質素會因熱塑化作用，而使得熱壓單板表面較為緻密平滑 (Ayrilmis and Winandy, 2009)。

表3 不同密度BPCP之表面粗糙度

Table 3 Surface roughness of BPCP with various densities

Samples	Density (kg/m ³)	Roughness (μm)					
		Ra		Ry		Rz	
		⊥	//	⊥	//	⊥	//
Veneer	-	25.9 ± 7.8	19.0 ± 4.4	176.8 ± 46.7	112.1 ± 23.7	115.9 ± 22.8	61.7 ± 10.4
	500	4.5 ± 1.6 ^a	4.5 ± 2.0 ^a	42.8 ± 17.7 ^a	33.1 ± 11.8 ^a	29.0 ± 8.6 ^a	19.6 ± 4.6 ^a
BPCP	700	4.4 ± 1.8 ^a	4.4 ± 1.9 ^a	43.8 ± 16.7 ^a	34.3 ± 12.4 ^a	28.3 ± 9.0 ^a	20.1 ± 7.3 ^a
	900	2.8 ± 0.5 ^b	2.8 ± 0.7 ^b	27.6 ± 5.5 ^b	23.2 ± 5.4 ^b	19.7 ± 2.8 ^b	14.8 ± 2.9 ^b

Values are mean ± SD (*n* = 5). Different letters within a column indicate significant difference at *p* < 0.05.

而不同密度BPCP單板經180°C熱壓前後之光澤度如表4所示，由表中可以得知，BPCP單板經180°C熱壓後，不論垂直木理或平行木理方向之光澤度均明顯增加。以垂直木理方向及密度700 kg/m³之BPCP為例，其光澤度由熱壓前之4.3 GU提高至8.1 GU。造成此結果之原因，主要係光澤度容易受試材顏色及表面粗糙度等性質之影響 (黃金城, 1991)，而BPCP經熱壓後因單板表面粗糙度降低，使得單板表面光澤度提高。

(二) 單板層積及密度對BPC機械性質之影響

為了解單板層積及密度對BPC機械性質之影響，本研究續針對複合材之抗彎性質、木螺釘保持力及表面抗拉強度進行探討。圖1

為不同密度之BPC及BPCP抗彎性質，由圖中可以得知，BPC及BPCP複合材抗彎強度 (如圖1A) 及抗彎彈性模數 (如圖1B) 均隨密度增加而上升。以BPC而言，MOR由低密度 (500 kg/m³) 的9.5 MPa增加至高密度 (900 kg/m³) 的42.4 MPa，約提升4.5倍 (如圖1A)。同樣地，MOE由低密度 (500 kg/m³) 的1.0 GPa增加至高密度 (900 kg/m³) 的4.1 GPa，約提升4.1倍 (如圖1B)。此外，BPCP之抗彎強度及抗彎彈性模數均高於BPC，於MOR方面，密度500、700及900 kg/m³分別提高了4.9、2.8及2.3倍之強度值。其中，以密度900 kg/m³所製備BPCP之MOR高達99.2 MPa；而MOE方面，密度500、700及900 kg/m³分別提高了6.0、2.9及2.0倍之

表4不同密度BPCP之表面光澤度

Table 4 Surface gloss of BPCP with various densities

Samples	Density (kg/m ³)	Gloss (GU)	
		⊥	//
Veneer	-	4.3 ± 0.4 ^c	6.3 ± 0.7 ^d
BPCP	500	8.0 ± 0.8 ^b	10.3 ± 1.3 ^c
	700	8.1 ± 0.6 ^b	11.1 ± 1.5 ^b
	900	9.0 ± 0.7 ^a	12.6 ± 1.6 ^a

Values are mean ± SD (n = 5). Different letters within a column indicate significant difference at *p* < 0.05.

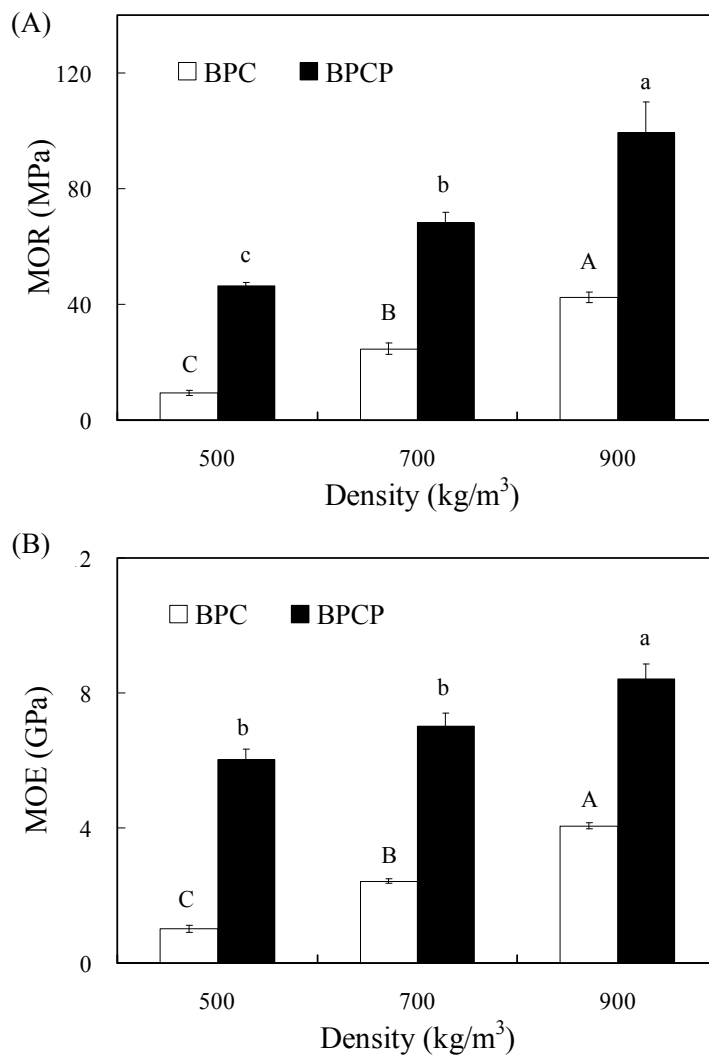


圖1 不同密度BPC與BPCP之抗彎強度 (A) 及抗彎彈性模數 (B)。

Fig. 1 MOR (A) and MOE (B) of BPC and BPCP with various densities. Values are mean ± SD (n = 5).

Bars with different letters indicate significant difference at *p* < 0.05.

強度值。其中，以密度 900 kg/m^3 所製備BPCP之MOE高達 8.4 GPa ，顯示單板層積有助於提升BPC之抗彎性質。推測其原因為單板纖維結構強化複合材料之表面性能，以及單板經熱壓後，使BPCP表層密度增加，進而提升其抗彎性質。同樣的，賴志恆等人 (2004) 分析單板層積定向粒片板之阻抗圖譜 (Drill resistance) 中指出，雖單板層積定向粒片板的中心層密度與未層積定向粒片板相近，但單板層積定向粒片板之表底層單板密度均較未層積者高，因此單板層積定向粒片板具有較佳之抗彎彈性模數，其強度性質約提升28-40%。另外，試材在抗彎性質檢測時，試材均呈現單板破壞後，再發生與

心層分離之現象，顯示抗彎強度之應力係由單板層傳遞至心層交接處後而產生破壞。

此外，圖2則為不同密度之BPC與BPCP木螺釘保持力，由圖中結果可得知，高密度BPC與BPCP具有較高之木螺釘保持力；其中，以密度為 700 kg/m^3 之BPCP具有最高之木螺釘保持力，其值為 738.0 N (密度 900 kg/m^3 之BPC與BPCP，因木螺釘無法鑽入試材中，造成木螺釘斷裂，故無法測得木螺釘保持力)，較BPC僅提升約1.02倍之強度。而密度為 500 kg/m^3 之BPCP較BPC提升約1.5倍之強度。顯示在較低密度複合材中，單板層積較能有效提升複合材之木螺釘保持力。

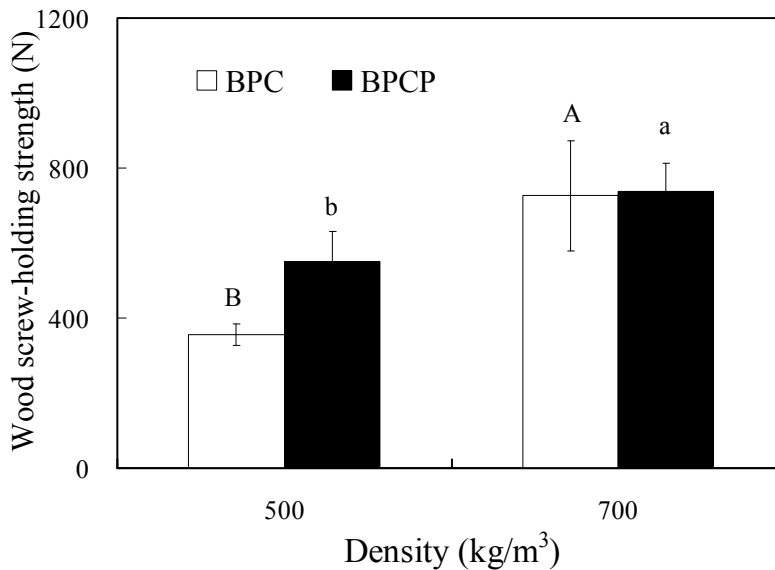


圖2 不同密度BPC與BPCP之木螺釘保持力。

Fig. 2 Wood screw-holding strength of BPC and BPCP with various densities. Values are mean \pm SD ($n = 5$). Bars with different letters indicate significant difference at $p < 0.05$.

另一方面，圖3為不同密度BPCP之表面抗拉強度，由圖中結果可得知，高密度BPCP具有較高之表面抗拉強度。其中，以密度為 900 kg/m^3 之BPCP具有最高之表面抗拉強度，其值為 1.0 MPa 。而密度為 500 kg/m^3 之BPCP，其強度為 0.6 MPa 。然而，雖複合材密度 900 kg/m^3

者較 500 kg/m^3 者提升約1.7倍之強度，但統計上無顯著差異。顯示，試材組內變異過大，進而影響同質性檢定。因此，未來在BPCP製程上，須降低材料間之差異性，以提升複合材表面抗拉之均質性質。另外，試材在表面抗拉試驗破壞後，表面均有單板碎片殘留於心層上，

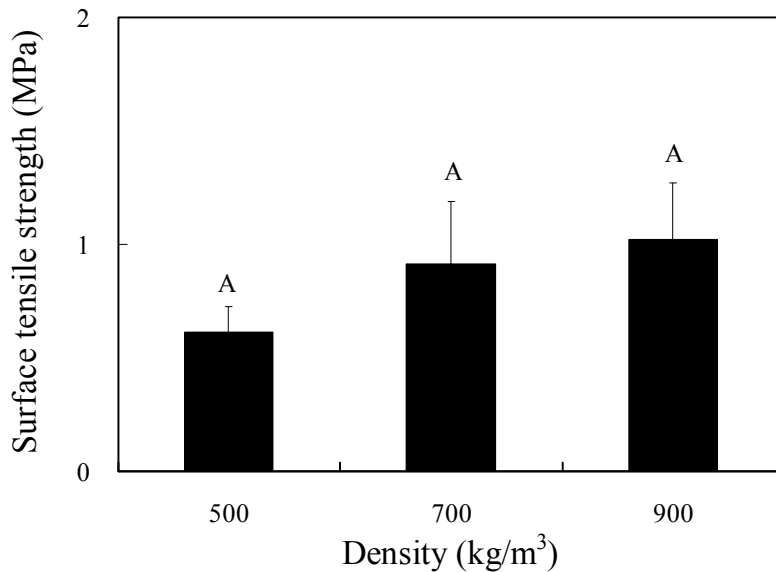


圖3 密度對BPCP表面抗拉強度之影響。

Fig. 3 Effects of density on surface tensile strength of BPCP. Values are mean \pm SD ($n = 5$). Bars with different letters indicate significant difference at $p < 0.05$.

顯示單板與心層間具有較佳之界面膠合性質。

四、結論

本研究除針對竹材加工廠廢棄之竹殘料與聚乳酸製備竹材聚乳酸複合材料之外，並探討單板層積及密度對BPC物理機械性質之影響。試驗結果得知，BPC之吸水率隨著密度增加而減少，顯示密度較大者其孔隙較少，使得吸水率降低。此外，BPC之抗彎強度、抗彎彈性模數及木螺釘保持力均隨著密度的增加而增加，整體而言，複合材均隨著密度增加，其物理機械性質較為優良。另外，利用單板層積所製備之BPCP，相較於BPC (900 kg/m³) 可提升約2.3倍之抗彎強度，而抗彎彈性模數約可提高2.0倍，顯示單板層積確實有助於提升BPC之機械性質。綜合上述結論可以得知，以竹材加工殘料、聚乳酸及木材單板可成功製備一次熱壓成型BPCP。將來若能順利應用於相關產業，除能提高竹材加工殘料的利用與減少資源浪費及環境衝擊效益之外，亦能拓展及提升生物複合

材料之發展及應用潛能。

五、參考文獻

- 中華民國國家標準CNS 2215 (2012) 粒片板 經濟部標準檢驗局。
- 吳東霖、王贊鈞、李家皇、陳合進、陳載永、吳志鴻 (2008) 製程條件對木質粒片-塑膠複合材機械性質之影響 林產工業 27 : 13-24。
- 吳東霖、陳載永、吳志鴻 (2011) 竹材加工廢料應用在生物可分解型塑膠複合材製備之研究 中華林學季刊 44 : 613-626。
- 許妙戎、陳載永、陳合進、徐俊雄 (2000) 木材表面緻密化之研究 林業研究季刊22 : 1-12。
- 陳載永、陳合進、徐俊雄 (2001) 單板樹種、厚度及貼面方式對單板貼面粒片板與中密度纖維板性質之影響 林產工業 20 : 39-44。
- 黃金城 (1991) 木材材面粗糙度對塗膜光澤度與附著力之影響 中華林學季刊 24 : 37-62。

- 黃國雄、藤原裕子、奧村正悟 (2002) 利用雷射測微計評估木材表面粗糙度之研究 林產工業 21 : 97-105。
- 楊德新、陳湘琴、王松永、蔡明哲 (2003) 非破壞性檢測技術應用於評估單板貼面定向粒片板之性質 中華林學季刊 36 : 199-209。
- 賴志恆、楊德新、王松永 (2004) 單板貼面對台灣杉長薄片定向粒片板性質之影響 林產工業 23 : 121-132。
- 趙瑩瑩、洪克昌、吳志鴻 (2014) 單板樹種、厚度及貼面方式對單板貼面粒片板與中密度纖維板性質之影響 林產工業 20 : 39-44。
- Ayrilmis, N., & Winandy, J. E. (2009) Effects of post heat-treatment on surface characteristics and adhesive bonding performance of medium density fiberboard. *Materials and Manufacturing Processes*, 24, 594-599.
- Clemons, C. M., & Ibach, R. E. (2004) Effects of processing method and moisture history on laboratory fungal resistance of wood-HDPE composites. *Forest Products Journal*, 54, 50-57.
- Dorgan, J. R., Lehermeier, H. J., Palade, L. I., & Cicero, J. (2001) Polylactides: properties and prospects of an environmentally benign plastic from renewable resources. *Macromolecular Symposia*, 175, 55-66.
- Dubey, M. K., Pang, S., & Walker, J. (2011) Effect of oil heating age on colour and dimensional stability of heat treated *Pinus radiata*. *European Journal of Wood and Wood Products*, 69, 255-262.
- Esteves, B., Marques, A. V., Domingos, I., & Pereira, H. (2008) Heat-induced colour changes of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood. *Wood Science and Technology*, 42, 369-384.
- Garlotta, D. (2001) A literature review of poly(lactic acid). *Journal of Polymers and the Environment*, 9, 63-84.
- Gutierrez-Villarreal, M. H., Ulloa-Hinojosa, M. G., & Gaona-Lozano, J. G. (2008) Surface functionalization of poly(lactic acid) film by UV-photografting of N-vinylpyrrolidone. *Journal of Applied Polymer Science*, 110, 163-169.
- Wu, T.-L., Chien, Y.-C., Chen, T.-Y., & Wu, J.-H. (2013) The influence of hot-press temperature and cooling rate on thermal and physicomechanical properties of bamboo particle-poly(lactic acid) composites. *Holzforschung*, 67, 325-331.