

研究報告

台灣二葉松木材—塑膠複合材之理學機械性質

張懋如¹ 吳東霖² 洪克昌² 陳載永³ 吳志鴻⁴

【摘要】本研究係探討台灣本土樹種台灣二葉松應用於木材塑膠複合材 (Wood-plastic composites, WPC) 時，其粒片尺寸、添加量及抽出成分對複合材理學及機械性質之影響。試驗結果顯示，以木材粒片尺寸 6-16 mesh 及添加量為 60% 所製備之 WPC，為兼具木質材料利用與機械性質之最適配比，而隨著木材粒片尺寸的減小及添加量的增加，其機械性質則有下降之現象。此外，當木材粒片/HDPE 混合比 (wt %) 由 20/80 增加到 80/20 時，其抗彎彈性模數有先增後降的情形。另一方面，以醇苯萃取後之木材粒片所製備的 WPC，其吸水厚度膨脹率雖較未萃取者高，但抗彎強度及木螺釘保持力則具有較佳表現，顯示台灣二葉松抽出成分會影響木材粒片與塑膠之界面性質，進而導致抗彎強度及木螺釘保持力呈現下降的現象。

【關鍵詞】台灣二葉松、木材塑膠複合材、抽出成分、理學機械性質、界面性質

Research paper

Physicomechanical Properties of Wood-Plastic Composites Made from *Pinus taiwanensis*

Mao-Ju Chang¹ Tung-Lin Wu² Ke-Chang Hung² Tsai-Yung Chen³ Jyh-Horng Wu⁴

【Abstract】 This study investigated the effect of wood particle size, wood particle content and extractive on physicomechanical properties of wood-plastic composites (WPC) made from *Pinus taiwanensis*, a native tree in Taiwan. Results demonstrated that the mechanical properties decreased with decreasing wood particle sizes or increasing wood particle contents. With the MOE, the modulus increased as the amount of wood particle increased up to 30% and then leveled off or remained constant up to 60%. Once the wood particle loading exceeded 60%, a significant decrease in the modulus was observed. Accordingly, for mechanical and economic considerations, the WPC with 60 wt% of wood particles (6-16 mesh) should be a suitable formulation. On the other hand, the thickness swelling of the WPC made from extracted wood particle

1. 國立中興大學森林學系大學部學生

Undergraduate Student, Department of Forestry, National Chung Hsing University.

2. 國立中興大學森林學系研究生

Graduate Students, Department of Forestry, National Chung Hsing University.

3. 國立中興大學森林學系名譽教授

Professor Emeritus, Department of Forestry, National Chung Hsing University.

4. 國立中興大學森林學系助理教授，通訊作者，402 台中市南區國光路 250 號

Assistant Professor, Department of Forestry, National Chung Hsing University. Corresponding author. 250, Kuo Kuang Road, Taichung 402, Taiwan. E-mail: eric@nchu.edu.tw.

was higher than that made from unextracted one, but the MOR and wood screw-holding strength of resulting WPC made from extracted wood particle were stronger than the other one. These results indicate that extractives of *P. taiwanensis* might have a negative effect on the interfacial properties between wood particles and polymeric matrix, and resulted in a significant decrease in MOR and wood screw-holding strength of WPC.

【Key words】*Pinus taiwanensis*, Wood-plastic composites, Extractive, Physicomechanical properties, Interfacial properties

一、前言

台灣二葉松 (*Pinus taiwanensis* Hayata) 為台灣特有之速生樹種，其對立地之適應力甚強，因此常供作邊坡及荒地植生之用途 (蕭英倫等，2007)。一般而言，速生樹種具生長快速、未成熟材含量高以及細胞壁較薄等特性，導致其機械性質與尺寸安定性相對較差，因而造成速生樹種在木材利用上受到較多的限制。為解決此一問題，國內許多專家學者均著手進行速生樹種於林產加工利用之相關研究，其中大多著重於製漿造紙 (郭蘭生、張豐吉，1979；蘇裕昌等，1990)、傳統木質板材 (陳載永、吳俊萍，1992) 以及生物性酚膠之開發 (李文昭、劉正字，1995) 等方面。然而，以台灣二葉松作為高分子生物複合材料之研製，至今仍缺乏相關性研究。

高分子生物複合材係由高分子和木質纖維所組成，其同時具有此兩種材料的特性，且能互相補足各自之缺點 (Sellers Jr. *et al.*, 2000)。因此，以木質纖維材料製備複合材之研究，近年來已受到學者們廣大的重視。而根據前人研究發現，於塑膠中添加木質纖維除可以有效提升塑膠之抗彎強度 (Modulus of rupture, MOR) 及抗彎彈性模數 (Modulus of elasticity, MOE) (黃國雄等，1994；Ochi, 2006；Stark, 1999) 之外，其所製成之複合材亦具有良好的耐候性 (Weatherability)、低成本以及不易發生開裂與翹曲等優點 (Li *et al.*, 2008)。因此，此類製品已廣泛應用於壁板、籬笆和甲板等建築材料及汽車零件上 (陳載永等，2002；Li *et al.*, 2008；Mansour *et al.*, 2008)。

另一方面，木質材料係由纖維素、半纖維素及木質素等三大主成分所構成之天然高分子材料，而抽出成分 (Extractive) 雖僅佔木材組成分之 5-10%，但其存在往往不利於林產加工利用，因而限制了木材利用上的發展性 (Umezawa, 2001)。然而，木材抽出物是否會影響 WPC 之性質，仍需進一步的分析與研究。此外，目前市面上常見之木材塑膠複合材多使用小粒徑 (< 60 mesh) 之木質材料，且木質材料之含量亦較低，因此，為了減少木質材料製備之工序，並提高木質材料之利用量，本研究將以較大粒徑 (> 60 mesh) 之台灣本土速生樹種—台灣二葉松為材料，分別探討木材粒片尺寸、添加量及木材抽出成分對 WPC 各項理學及機械性質之影響。

二、材料與方法

(一) 試驗材料

1. 木質材料

本試驗所使用之試材係台灣二葉松 (密度為 552 kg/m³)，取自於國立中興大學惠蓀實驗林場。所得試材經搗切機及磨切機製成粒片後，再以篩分機篩選 6-16 mesh、16-24 mesh、24-30 mesh 及 30-60 mesh 共四種粒徑之後，將粒片置入 75°C 烘箱中乾燥 24 hr，以供後續複合材製備之用。

2. 塑膠材料

採用台灣聚合化學股份有限公司所製造之高密度聚乙烯 (High density polyethylene, HDPE)，型號為聯塑烯 LH-901，其密度為 953 kg/m³，熔流指數 (Melt flow index, MFI) 為

0.95 g/10 min，軟化溫度為 130-140°C。試驗時，將此塑膠粒以圓盤式磨粉機進行磨粉處理，經篩分後，選用粒徑小於 20 mesh 之塑膠粉末，以供後續複合材製備之用。

(二) 試驗方法

1. 無抽出物 (Extractive-free) 木材粒片之製備

將絕乾台灣二葉松粒片 (6-16 mesh) 與適量之甲苯 / 甲醇混合液 (2 / 1, v / v) 置於索氏萃取器 (Soxhlet apparatus) 中，經回流萃取 20 hr 後，取出粒片並置於 105°C 烘箱中乾燥至恆重。

2. 木材塑膠複合材之製備

本試驗分別以不同粒片尺寸 (6-16 mesh、16-24 mesh、24-30 mesh 及 30-60 mesh) 與不同混合比 (台灣二葉松粒片之混合重量百分比為 20-80%) 製備 WPC。WPC 之成板尺寸為 20 cm × 30 cm × 1.2 cm，預設密度為 900 kg/m³。製備時，將板坯置入熱冷交替式平壓機中，於熱板溫度 180°C 及壓力 8.1 MPa 下進行熱壓，當板坯中心溫度達到 160°C 時關閉加熱裝置，並啟動冷卻裝置，當板坯中心溫度冷卻至 70°C 時解壓取出。之後，將成型板材置於 20°C、65% RH 之恆溫恆濕室中調濕 7 天 (吳東霖等，2008)，以供後續各項性質檢測。此外，為進一步探討木材抽出物對 WPC 性質之影響，本試驗亦採用無抽出物木材粒片抄製複合材，其操作方式與條件同上所述。

3. 性質分析

依據中華民國國家標準 CNS 2215 (2006) 粒片板之檢測標準，檢測複合材之密度、含水率、24 hr 吸水率及吸水厚度膨脹率、抗彎性質 (MOR 與 MOE)、內聚強度 (Internal bond strength, IB) 以及木螺釘保持力 (Wood screw-holding strength, WS) 等各項理學及機械性質。此外，並採用衰減全反射式傅立葉轉換紅外線光譜儀 (Attenuated total reflection Fourier transform infrared spectroscopy, ATR-FTIR)，測定台灣二葉松粒片萃取前後表面官能基之變化。分析時，所採用之解析度為 4 cm⁻¹，掃描

次數為 32 次，掃描波數 (Wavenumber) 範圍為 4000-650 cm⁻¹。

4. 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's test) 評估各組間之差異 (信賴區間為 95%)。

三、結果與討論

(一) 木材粒片尺寸對木材塑膠複合材性質之影響

為探討木材粒片尺寸對 WPC 性質之影響，本試驗利用 6-16 mesh、16-24 mesh、24-30 mesh 及 30-60 mesh 共 4 種粒徑，並以 60 / 40 之木材粒片與 HDPE 混合比 (wt%) 製備 WPC。表 1 為木材粒片尺寸對 WPC 理學性質之影響，試驗結果顯示，木材粒片尺寸對複合材之密度、含水率及吸水厚度膨脹率並無顯著影響；然而，隨著木材粒片尺寸的減小，複合材之吸水率則有上升的趨勢。而造成此現象之原因，推測主要係因為隨著木材粒片尺寸減小，其表面積隨之增加，因此導致複合材的吸水率亦隨之增加。

此外，由圖 1 可以發現，以不同木材粒片尺寸所製備之 WPC，其 MOR 並無明顯之差異。而在 MOE 方面，則隨著木材粒片尺寸的減小而有下降的趨勢，當木材粒片尺寸為 6-16 mesh、16-24 mesh、24-30 mesh 及 30-60 mesh 時，複合材之 MOE 分別為 1.5 GPa、1.3 GPa、1.3 GPa 及 1.2 GPa。至於複合材 MOE 隨著木材粒片尺寸減小而下降的原因，推測係因木材粒片尺寸較大者，其木材纖維長寬比較高且型態較為完整，因此當施加一外力時，纖維能承受的抗彎彈性程度較大，故具有較佳之 MOE 表現，而此結果與 Mathew 等人 (2005)、Migneault 等人 (2008) 及 Tserki 等人 (2006) 所得之試驗結果相似。另一方面，WPC 之內聚強度及木螺釘保持力亦與 MOE 呈相同趨勢 (圖 2)，均隨木材粒片尺寸的減小，其強度隨之下

降，其原因主要係木材粒片尺寸越小時，其表面積越大，因此於相同塑膠含量下，易發生 HDPE 無法充分包覆木材粒片而形成較大之孔隙，進而造成界面膠合強度的下降。同樣的，Oksman (1996) 利用線性低密度聚乙烯 (Linear

low density polyethylene, LLDPE) 與木粉製備 WPC 時亦發現，當木粉與塑膠界面出現較多孔隙時，其複合材之機械性質表現亦相對較差。

表 1. 木材粒片尺寸對 WPC 理學性質之影響

Table 1. Effects of wood particle size on physical properties of WPC

Wood particle size (mesh)	Density (kg/m ³)	Moisture content (%)	Water absorption for 24 hr (%)	Thickness swelling for 24 hr (%)
6-16	891 ± 36 ^a	3.8 ± 0.3 ^a	11.6 ± 4.4 ^b	4.5 ± 0.7 ^a
16-24	894 ± 24 ^a	3.8 ± 0.3 ^a	15.2 ± 3.5 ^{ab}	4.1 ± 0.4 ^a
24-30	878 ± 33 ^a	4.1 ± 0.3 ^a	16.4 ± 4.1 ^{ab}	4.0 ± 0.9 ^a
30-60	870 ± 32 ^a	4.1 ± 0.3 ^a	25.3 ± 1.9 ^a	5.1 ± 0.7 ^a

Values are mean ± SD ($n = 5$). Different letters (a, b) in superscript indicate significant difference among groups ($p < 0.05$).

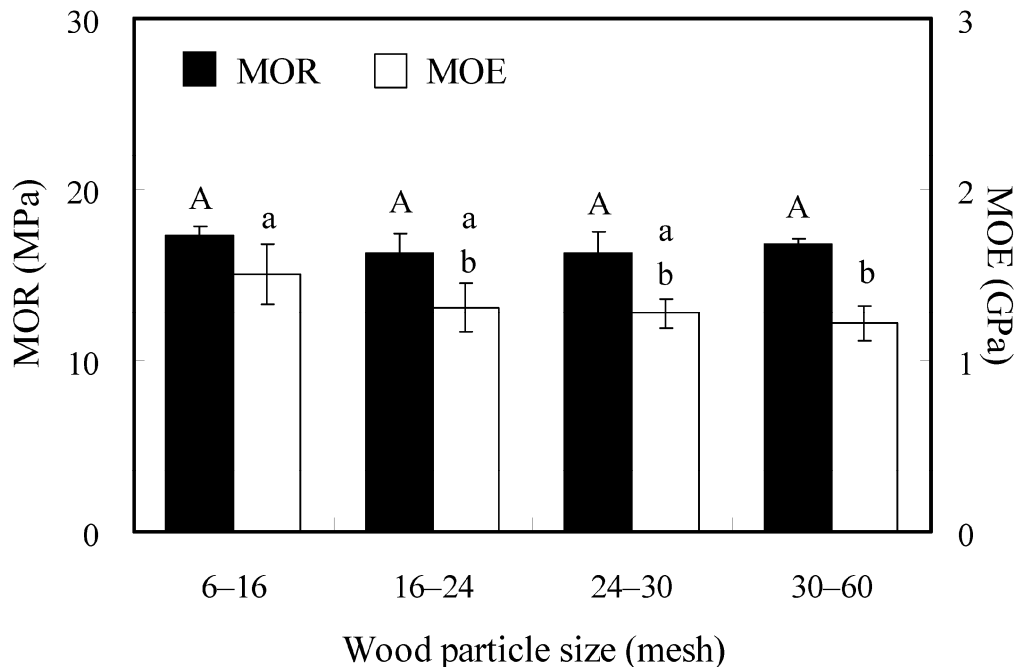


圖 1. 木材粒片尺寸對 WPC 之 MOR 及 MOE 之影響

Fig. 1. Effects of wood particle size on MOR and MOE of WPC. Values are mean ± SD ($n = 5$).

Different letters indicate significant difference among groups ($p < 0.05$).

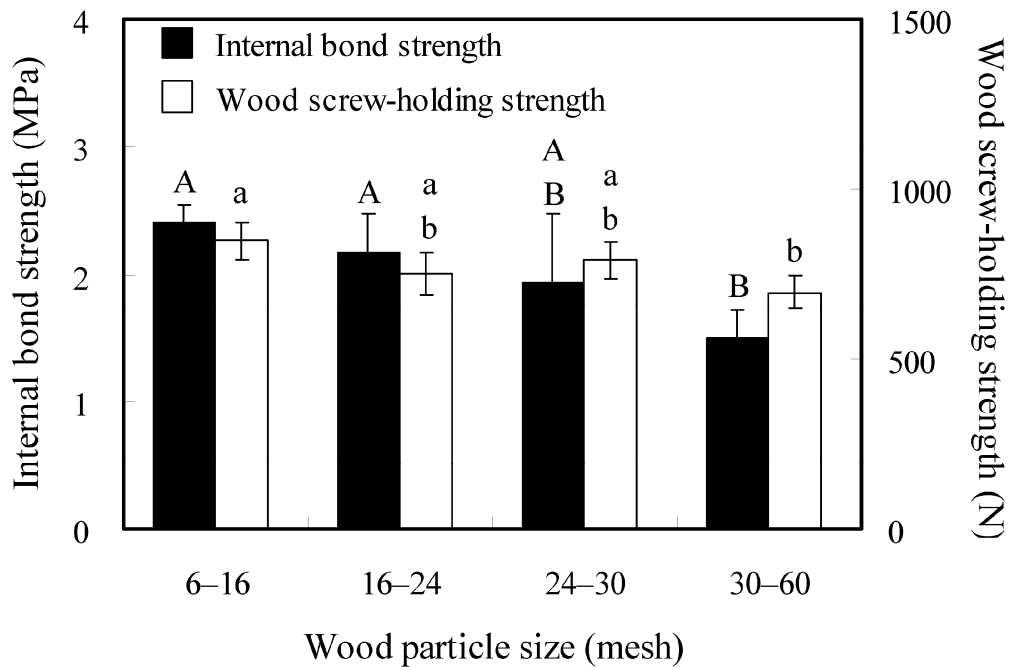


圖 2. 木材粒片尺寸對 WPC 之內聚強度及木螺釘保持力之影響

Fig. 2. Effects of wood particle size on internal bond strength and wood screw-holding strength of WPC. Values are mean \pm SD ($n = 5$). Different letters indicate significant difference among groups ($p < 0.05$).

綜合以上結果得知，使用粒徑較大 (6-16 mesh) 之木材粒片所製備之 WPC，雖其密度、含水率及吸水厚度膨脹率均與其他粒徑製備者相似，但其內聚強度及木螺釘保持力則具有較佳之表現。因此，後續試驗均選用粒徑為 6-16 mesh 之木材粒片製備 WPC，以探討木材粒片添加量對 WPC 性質之影響。

(二) 木材粒片添加量對木材塑膠複合材性質之影響

表 2 為木材粒片與 HDPE 混合比 (wt%) 為 20 / 80-80 / 20 時，WPC 之各項理學性質。由表中試驗結果可以得知，隨著木材粒片添加量的增加，WPC 之含水率有顯著的上升。其原因主要係因為木材粒片為親水性物質，而 HDPE 為疏水性物質，故複合材中含水率主要來自於木材的水分，因此隨著木材添加量的增加，複合材之含水率亦隨之提升。此外，吸水

率及吸水厚度膨脹率方面亦具有相似結果，其原因主要係因為木材粒片添加量增加，導致塑膠無法充分包覆粒片，而未受到塑膠包覆的粒片，則易吸收環境中之水分使吸水率增加，進而造成木材粒片膨脹的現象。

而不同木材粒片添加量對於 WPC 機械性質之影響，如圖 3 及圖 4 所示。由圖 3 可以發現，隨著木材粒片添加量的增加，MOR 隨之下降。而造成此現象之原因，主要係因為木材粒片與塑膠間界面性質不佳以及膠合界面減少所致。此外，當木材粒片添加量由 20% 增加至 50% 時，其 MOE 由 1.1 GPa 提升至 1.8 GPa；而當添加量增為 60-80% 時，其 MOE 則下降至 1.4 GPa。此結果顯示，添加適量木材粒片於塑膠中，可以有效提升 WPC 之 MOE；但當木材粒片添加量高於 60% 時，因塑膠無法完全包覆木材粒片且複合材內部孔隙增加，進而導

致複合材 MOE 降低 (Luo and Netravali, 1999)。至於木材粒片添加量對 WPC 內聚強度及木螺釘保持力之影響，由圖 4 可以發現，於木材粒

片添加量為 20-50% 時，其內聚強度及木螺釘保持力並無統計上之差異，但當木材粒片添加量高於 60% 時，其強度值則顯著的降低。

表 2. 木材粒片添加量對 WPC 理學性質之影響

Table 2. Effects of wood particle content on physical properties of WPC

Wood/HDPE (wt%)	Density (kg/m ³)	Moisture content (%)	Water absorption for 24 hr (%)	Thickness swelling for 24 hr (%)
20/80	886 ± 23 ^a	0.8 ± 0.2 ^e	1.0 ± 0.1 ^d	1.3 ± 0.1 ^d
30/70	902 ± 9 ^a	1.1 ± 0.3 ^{de}	1.5 ± 0.2 ^d	1.4 ± 0.2 ^d
40/60	900 ± 3 ^a	2.0 ± 0.2 ^d	2.8 ± 0.3 ^d	2.3 ± 0.6 ^d
50/50	917 ± 5 ^a	3.1 ± 0.4 ^c	5.4 ± 1.2 ^{cd}	2.7 ± 0.2 ^{cd}
60/40	891 ± 36 ^a	3.8 ± 0.3 ^{bc}	11.6 ± 4.4 ^c	4.5 ± 0.7 ^c
70/30	918 ± 33 ^a	4.4 ± 0.2 ^b	16.0 ± 3.7 ^b	7.9 ± 1.4 ^b
80/20	883 ± 43 ^a	5.4 ± 0.7 ^a	43.2 ± 3.5 ^a	17.2 ± 1.8 ^a

Values are mean ± SD ($n = 5$). Different letters (a-e) in superscript indicate significant difference among groups ($p < 0.05$).

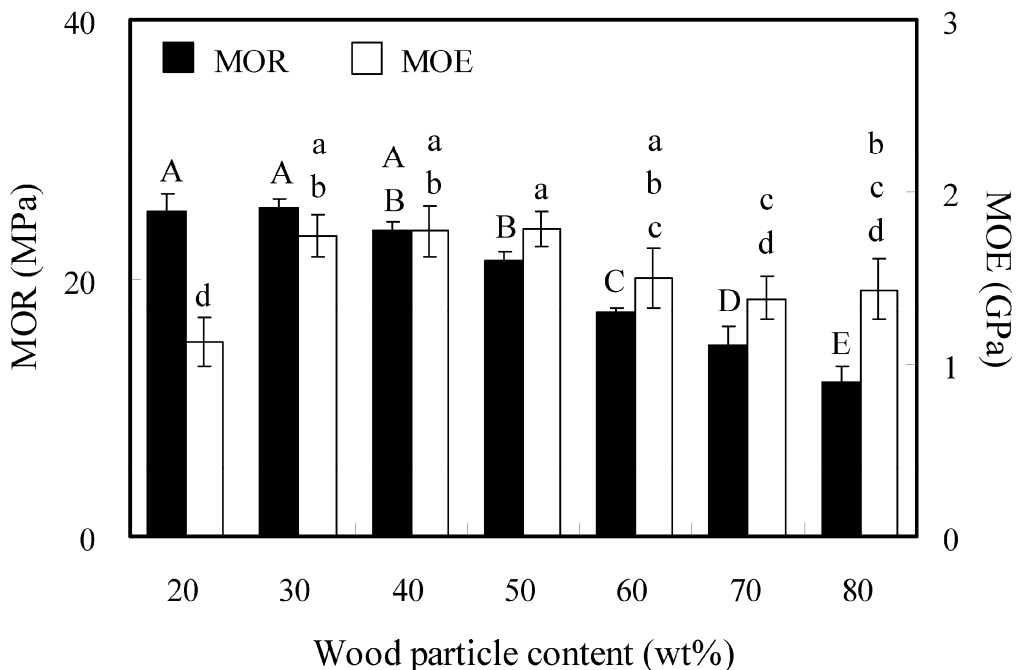


圖 3. 木材粒片添加量對 WPC 之 MOR 及 MOE 影響

Fig. 3. Effects of wood particle content on MOR and MOE of WPC. Values are mean ± SD ($n = 5$).

Different letters indicate significant difference among groups ($p < 0.05$).

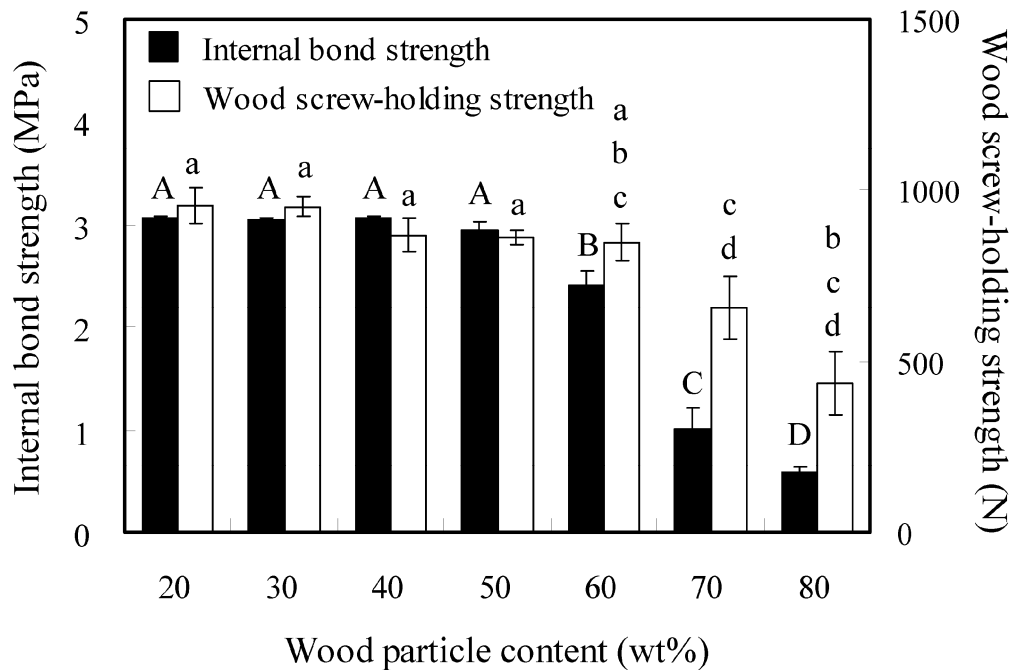


圖 4. 木材粒片添加量對 WPC 之內聚強度及木螺釘保持力影響

Fig. 4. Effects of wood particle content on internal bond strength and wood screw-holding strength of WPC. Values are mean \pm SD ($n = 5$). Different letters indicate significant difference among groups ($p < 0.05$).

綜合以上試驗結果可以得知，隨著木材粒片添加量之增加，除會造成 WPC 之含水率、吸水率及吸水厚度膨脹率的提高之外，亦會降低其 MOR、內聚強度及木螺釘保持力。然而，藉由上述各項理學及機械性質可以發現，當木材粒片添加量為 60% 時，為一兼具木質材料之利用與 WPC 性質之最適配比。因此，後續試驗則以 60% 之木材粒片添加量製備 WPC，以進一步探討木材抽出物對 WPC 性質之影響。

(三) 抽出物對木材塑膠複合材性質之影響

表 3 為利用未萃取與萃取後木材粒片所製備的 WPC 之理學及機械性質，由表中可以發現，除吸水厚度膨脹率係以萃取後木材粒片所製備之複合材較高之外，MOR 及木螺釘保持力亦以萃取後之 WPC 較佳(經萃取後，複合材之 MOR 與木螺釘保持力分別較未萃取者提升 20.2% 及 14.3%)。推測其原因，主要係因為小

分子抽出物自木材粒片中移除後，可有效降低抽出成分對界面膠合之影響(Li *et al.*, 2008)。相較於未萃取之複合材，木材粒片經醇苯萃取後，雖會增加複合材之吸水厚度膨脹率，但亦會提高複合材之 MOR 及木螺釘保持力，至於其他各項理學及機械性質方面，則無顯著差異。

此外，進一步利用 FTIR 分析醇苯萃取前後之台灣二葉松粒片(醇苯萃取物之含量為 5.6%)，試驗結果如圖 5 所示。由圖 5a 及 5b 可以發現，經醇苯萃取後之木材粒片，其 2926 cm^{-1} 、1694 cm^{-1} 及 1454 cm^{-1} 等吸收峰強度均有下降的情形；相對的，在木材抽出物中(圖 5c)，於 3400-2400 cm^{-1} 、2926 cm^{-1} 、1594 cm^{-1} 、1510 cm^{-1} 及 1454 cm^{-1} 則具有訊號強烈的吸收峰。其中 3400-2400 cm^{-1} 為羧基(Carboxylic group)中 O-H 之吸收，2926 cm^{-1} 及 1454 cm^{-1}

為脂肪族 (Aliphatic) C-H 吸收，而 1594 cm^{-1} 及 1510 cm^{-1} 則為苯環之特性吸收 (Pavia *et al.*, 2001)。此外，Lu 等人 (1975) 的研究發現，台灣二葉松油脂 (Oleoresin) 中，酸類物質即佔 75%，且該酸類物質中約有 90% 係由松脂酸 (Abietic acid) 所組成。因此，根據上述結果顯

示，本試驗所用之台灣二葉松粒片抽出物中亦富含松脂酸及芳香族類等成分。而由於這些成分廣泛的分布於木材粒片中，因此推論其會影響 WPC 之界面性質，進而導致未萃取之 WPC 其抗彎強度及木螺釘保持力等機械性質均較萃取後之 WPC 為低。

表 3. 台灣二葉松粒片萃取前後 WPC 之理學及機械性質

Table 3. Physicomechanical properties of WPC made from unextracted and extracted *P. taiwanensis* particle

Wood particle	WA* (%)	TS** (%)	MOR (MPa)	MOE (GPa)	IB (MPa)	WS (N)
Unextracted	11.6 ± 4.4^a	4.5 ± 0.7^b	17.3 ± 0.5^b	1.5 ± 0.2^a	2.4 ± 0.1^a	848.5 ± 53.6^b
Extracted	17.6 ± 4.8^a	7.3 ± 1.5^a	20.8 ± 1.4^a	1.6 ± 0.1^a	2.2 ± 0.3^a	970.2 ± 56.0^a

* WA: Water absorption for 24 hr; ** TS: Thickness swelling for 24 hr.

Values are mean \pm SD ($n = 5$). Different letters (a, b) in superscript indicate significant difference among groups ($p < 0.05$).

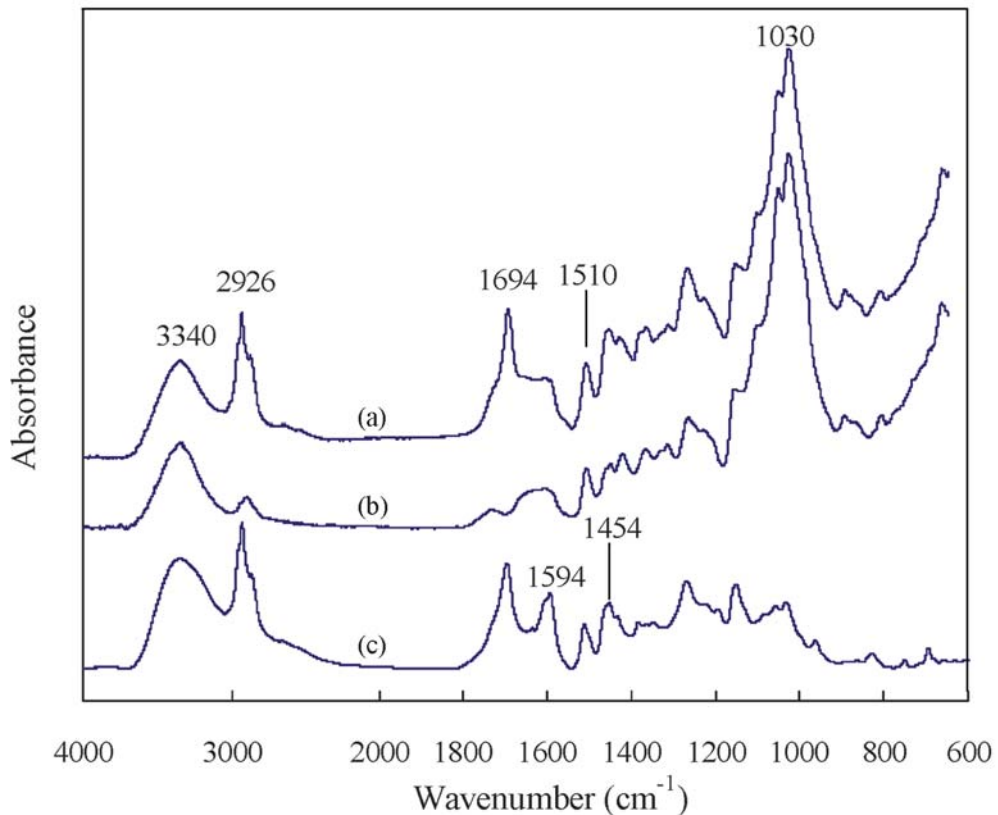


圖 5. 台灣二葉松萃取前後之粒片及其抽出物之 FTIR 光譜

Fig. 5. FTIR spectra of unextracted wood particles (a), extracted wood particles (b), and extractives (c) of *P. taiwanensis*.

四、結論

利用不同粒片尺寸之台灣二葉松粒片與 HDPE 所製備之木材塑膠複合材，隨著木材粒片尺寸提高，複合材之吸水率隨之降低，而抗彎彈性模數、內聚強度及木螺釘保持力等機械性質則隨之上升。其中，以 6-16 mesh 之木材粒片製備者具有較佳之表現。而在不同木材粒片添加量方面，則隨著親水性的木材粒片添加量增加，複合材之含水率、吸水率及吸水厚度膨脹率亦隨之上升；然而，抗彎強度、內聚強度及木螺釘保持力則隨木材粒片添加量之增加而下降，而抗彎彈性模數則隨著添加量增加，有先提升而隨後降低的現象。其中，以 60 / 40 (wt%) 之木材粒片與 HDPE 混合比製備者，為兼具板材性質與木材利用率之最適配比。此外，以醇萃萃取後之木材粒片所製備的木材塑膠複合材，其吸水厚度膨脹率雖較未萃取者高，但其抗彎強度及木螺釘保持力則較佳。綜合上述試驗結果得知，台灣二葉松雖為速生樹種，但在 WPC 之應用上亦具有良好之性質表現。因此，若能繼續針對台灣二葉松木材粒片塑膠複合材進行後續相關研究，擴展其加工利用潛能，將可為台灣本土速生樹種之利用帶來新的發展前景。

五、謝誌

本研究感謝行政院國家科學委員會予以經費補助 (NSC97-2815-C-005-033-B)，使本試驗得以順利完成，特此致謝。

六、參考文獻

中華民國國家標準法 CNS 2215 (2006) 粒片板。經濟部標準檢驗局。
 李文昭、劉正字 (1995) 農林廢料製造木材膠合劑之研究 (I)：樹皮、稻殼及蔗渣之化學組成分析。林產工業 14(2): 102-119。
 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(1):

13-24。

- 郭蘭生、張豐吉 (1979) 山黃麻製漿試驗。國立中興大學農學院實驗林研究報告 1: 59-73。
 陳載永、吳俊萍 (1992) 速生樹種木材製造粒片板之研究 (IV-2)：木材粒片含水率對聚異氰酸鹽膠粒片板性質之影響。國立中興大學農學院實驗林研究報告 14(2): 137-145。
 陳載永、陳合進、F. A. Kamke (2002) 平壓式製造木材粒片—塑膠複合材之探討。木工家具 216: 108-112。
 黃國雄、李銘鐘、彭武財 (1994) 塑膠—木材複合粒片板之性質。林業試驗所研究報告季刊 9(4): 407-412。
 蕭英倫、林世宗、王國鼎、柯淳涵 (2007) 環山地區台灣二葉松地面松針分解動態變化。中華林學季刊 40(2): 219-228。
 蘇裕昌、谷雲川、林郁卉 (1990) 速生樹種之纖維性質與製漿試驗 (四) 柚木、桃花心木、台灣二葉松硫酸鹽法與蘇打蔥醌法製漿之研究。中華林學季刊 23(1): 63-73。
 Li, B., H. Jiang, L. Guo and H. Shi (2008) Comparative study on the effect of manchurian ash and larch wood flour on mechanical property, morphology, and rheology of HDPE/wood flour composites. J. Appl. Polym. Sci. 107: 2520-2530。
 Lu, J. J., K. C. Lin and Y. S. Cheng (1975) Terpenoids from oleoresin of *Pinus taiwanensis*. Phytochemistry 14: 1375-1377。
 Luo, S. and A. N. Netravali (1999) Interfacial and mechanical properties of environment-friendly green composites made from pineapple fibers and poly (hydroxybutyrate-co-valerate) resin. J. Mater. Sci. 34: 3709-3719。
 Mansour, S. H., J. N. Asaad, B. A. Iskander and S. Y. Tawfik (2008) Influence of some additives on the performance of wood flour/polyolefin composites. J. Appl. Polym. Sci. 109: 2243-2249。

- Mathew, A. P., K. Oksman and M. Sain (2005) Mechanical properties of biodegradable composites from poly lactic acid (PLA) and microcrystalline cellulose (MCC). *J. Appl. Polym. Sci.* 97: 2014-2025.
- Migneault, S., A. Koubaa, F. Erchiqui, A. Chaala, K. Englund, C. Krause and M. Wolcott (2008) Effect of fiber length on processing and properties of extruded wood-fiber/HDPE composites. *J. Appl. Polym. Sci.* 110: 1085-1092.
- Ochi, S. (2006) Development of high strength biodegradable composites using Manila hemp fiber and starch-based biodegradable resin. *Composites A* 37: 1879-1883.
- Oksman, K. (1996) Improved interaction between wood and synthetic polymers in wood/polymer composites. *Wood Sci. Technol.* 30: 197-205.
- Pavia, D. L., G. M. Lampman and G. S. Kriz (2001) Infrared spectroscopy. pp.13-101. *In*, D. L. Pavia, G. M. Lampman and G. S. Kriz eds. *Introduction to spectroscopy*, 3rd ed. Thomson, USA. 579 pp.
- Sellers Jr., T., G. D. Miller Jr. and M. Katabian (2000) Recycled thermoplastics reinforced with renewable lignocellulosic materials. *For. Prod. J.* 50: 24-28.
- Stark, N. M. (1999) Wood fiber derived from scrap pallets used in polypropylene composites. *For. Prod. J.* 49: 39-46.
- Tserki, V., P. Matzinos and C. Panayiotou (2006) Novel biodegradable composites based on treated lignocellulosic waste flour as filler Part II. Development of biodegradable composites using treated and compatibilized waste flour. *Composites A* 37: 1231-1238.
- Umezawa, T. (2001) Chemistry of extractives. *In*: Hon, D. N. S. and N. Shiraishi (eds) *Wood and Cellulosic Chemistry*. Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 243-274.