

添加生物炭對木材塑膠複合材料物理機械性質及耐候性質之影響

吳東霖^{1,2} 郭宜婕³ 陳合進⁴ 吳志鴻⁵

【摘要】本試驗利用生物炭 (Bio-char)、柳桉 (*Shorea spp.*) 粒片及高密度聚乙烯 (High density polyethylene, HDPE) 以不同混合比製備木材塑膠複合材 (Wood-plastic composite, WPC); 同時, 利用萬能強度試驗機、加速耐候試驗機、色差計及傅立葉轉換紅外線光譜儀等儀器, 探討添加不同比例生物炭對 WPC 物理機械性質及耐候性質之影響。試驗結果顯示, 添加生物炭之試材具有較佳之尺寸安定性及抗濕性。而在機械性質方面, 添加生物炭之試材抗彎強度及抗彎彈性模數與未添加生物炭之試材間無顯著之差異, 但具有較高之內聚強度及木螺釘保持力, 顯示 WPC 中添加生物炭可有效改善塑膠與木質材料之界面性質。在耐候性質方面, 添加生物炭之試材表面顏色變化較小, 且具有較高之強度保留率。綜合上述結果顯示, 於木材塑膠複合材中添加生物炭可有效改善其耐候性質。

【關鍵詞】木材塑膠複合材、生物炭、高密度聚乙烯、物理機械性質、耐候性質。

Effects of Bio-char Addition on the Physico-mechanical and Weathering Properties of Wood-Plastic Composites

Tung-Lin Wu^{1,2} I-Chieh Kuo³ Ho-Chin Chen⁴ Jyh-Horng Wu⁵

【Abstract】In this study, bio-char, lauan (*Shorea spp.*) particle and high density polyethylene (HDPE) were used as raw materials to manufacture wood-plastic composites (WPCs) with different mixture ratios. Effects of bio-char content on the physico-mechanical and weathering properties of WPCs were evaluated by universal strength testing machine, accelerated weathering tester, color difference meter and Fourier transform infrared spectroscopy, etc. The results showed that the WPCs could be improving the dimensional stability and the moisture resistance by adding the bio-char. The modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE) had no significant differences between WPCs with and without adding the bio-char, but the internal bond and the wood screw holding strength could be enhanced by adding the bio-char. This result indicated that the interface of plastic matrix and wood particle of WPCs could effectively improve with the addition of bio-char. Furthermore, the addition of bio-char into WPCs not only had a less change in surface color but also had the higher strength retention after accelerated weathering test. Accordingly, the weathering properties of WPCs could be effectively improved by adding the bio-char.

¹ 國立中興大學森林學系博士後研究員。

Postdoctoral Fellow, Department of Forestry, National Chung Hsing University.

² 南開科技大學休閒事業管理系兼任助理教授。

Adjunct Assistant Professor, Department of Leisure Business Management, Nan Kai University of Technology.

³ 國立中興大學森林學系大學部學生。

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

⁴ 樹德科技大學生活產品設計系助理教授。

Assistant Professor, Department of Product Design, Shu-Te University.

⁵ 國立中興大學森林學系教授, 通訊作者。

Professor, Department of Forestry, National Chung Hsing University. Corresponding Author, E-mail: eric@nchu.edu.tw.

【Key words】Wood-plastic composite, Bio-char, High density polyethylene, Physico-mechanical properties, Weathering properties.

I、前言

近年來，木材塑膠複合材（Wood-plastic composite, WPC）已被大量使用於地板、壁板、天花板、籬笆、戶外用鋪板、戶外用椅及路標等產品，而早期的研究報告中指出，塑膠材料中添加木質纖維材料可明顯提升塑膠材料之抗彎強度及抗彎彈性模數（黃國雄等，1994；Stark, 1999；Ochi, 2006），同時改善木材的尺寸安定性、耐腐性，並降低生產成本等（陳載永等，2000；Chen *et al.*, 2006；吳東霖等，2011；李家皇等，2011）。顯示 WPC 除了可結合塑膠和木材兩種材料之特性外，亦可相互改善兩種材料各自的缺點。

然而，WPC 製備時仍存在許多問題，而最大的問題為木質材料與塑膠間之界面性質不佳。其原因主要係木質纖維在塑膠基質中，因纖維與纖維間氫鍵所造成的低分散性（Poor dispersion）（Raj *et al.*, 1989）、基質與木質材料間因表面極性不同阻礙兩者的化學鍵結（Maldas *et al.*, 1989）以及木質材料的親水性質（Hydrophilic nature）等問題。為了解決基質與纖維相容性的問題，一般多藉由添加耦合劑（Lu *et al.*, 2000）或木粒片化學改質等方式來克服此一阻礙。然而，Li 等人（2013）指出添加竹炭於 WPC，可藉由竹炭中具許多孔隙之特性，使塑膠基質填入孔隙中與竹炭緊密結合，進而改善其界面性質。

另一方面，WPC 具有較木材為佳的尺寸安定性及抗生物危害之特性，因此無需特別維護，其使用年限可達 25–30 年之久（García *et al.*, 2009）。然而，WPC 之耐候性質普遍不佳，除了易受紫外光照射而產生光降解之外，亦容易受溫度、濕度、汗染物、風以及降雨等影響，而產生風化及降解等現象，導致強度降低。而生物炭在製備過程會因高溫而使成分中熱敏性物質熱分解，故其化學組成較為安定，但生物炭對複合材料耐候性質影響之研究至目前為止仍相當缺乏。因此，本試驗以不同比例之生物炭添加於 WPC 中，並對其物理機械性質及耐候性質進行系統性之探討。

II、材料與方法

(I) 試驗材料

1. 木粒片（Wood particle）

本試驗所用之木質材料，取自台中地區之製材廠所產生之柳桉（*Shorea spp.*）廢木料。所得之試材進一步以搗切機（Hog）及磨切機（Flaker）製成粒片，並置入 105°C 烘箱中乾燥 24 h，續以篩分機將粒片篩分，取粒徑為 -6+30 mesh 作為製備複合材料之原料。

2. 塑膠材料（Plastic）

本試驗採用之熱塑型塑膠為高密度聚乙烯（High density polyethylene, HDPE）。將塑膠粒以圓盤式磨粉機進行磨粉處理後，經篩分機篩分並選用粒徑通過 20 mesh 之塑膠粉末，以供後續複合材製備之用。

3. 生物炭（Bio-char）

本試驗所用之生物炭為岳紘實業股份有限公司所提供之備長炭，經磨粉機細磨後，篩取粒徑通過 100 mesh 之粉末，以供後續複合材製備之用。

(II) 木材塑膠複合材料之製備

木材塑膠複合材料以平壓式熱壓成型法製備，板材預定密度為 900 kg/m³，成板尺寸為 200 mm × 300 mm × 12 mm。製備時，木材/塑膠/生物炭（Wood/Plastic/Bio-char）之絕乾質量比例（wt%）分別為 0/30/70（WPC 037）、35/30/35（WPC 333）、70/30/0（WPC 730）、0/40/60（WPC 046）、30/40/30（WPC 343）、60/40/0（WPC 640）、0/50/50（WPC 055）、25/50/25（WPC 252）以及 50/50/0（WPC 550）共 9 種配比。複合材製備條件為熱板溫度 200°C 及壓力 2.5 MPa 下進行熱壓。當板坯中心溫度達 180°C 時，置入冷壓機中，使板坯中心層溫度冷卻至 75°C 以完成板材之製備。成板後，置於 20°C、65% RH 之恆溫恆濕室中調濕 7 天（吳東霖等，2008），裁切成適當尺寸，以進行各項性質檢測。

(III) 人工加速耐候試驗

本試驗參考 ASTM G 53-88 之試驗方法，將 WPC 置入 Q-Panel 加速耐候試驗機（QUV

accelerated weathering tester)，採用 UVA-340 燈源 (Philips Co.) 進行加速耐候試驗。試驗時，以 8 h 光照與 4 h 結露 (Condensation) 之循環方式進行，黑板溫度為 $50 \pm 2^\circ\text{C}$ ，以此模擬自然條件下對試材顏色及強度性質之影響。

(IV) 性質分析

1. 密度

本試驗參考 CNS 2215 之粒片板檢測標準，將試材裁切成 $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$ 之試片，並置於 20°C 、65% RH 之恆溫恆濕室中調濕 7 天後，測量試片之長度、寬度及厚度，並換算其體積，測量其質量，並依此計算試片密度。

2. 含水率 (Moisture content)

本試驗參考 CNS 2215 之粒片板檢測標準，將試材裁切成 $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$ 之試片，並置於 20°C 、65% RH 之恆溫恆濕室中調濕 7 天後，測定試片之質量。接著，將其置入 105°C 烘箱內乾燥至恆重，測定其乾燥後之絕乾質量，並依此計算含水率。

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

本試驗參考 CNS 2215 之粒片板檢測標準，將試材裁切成 $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$ 之試片，並置於 20°C 、65% RH 之恆溫恆濕室中調濕 7 天後，測量試片質量及試材中心厚度。將試片放入常溫水浴中，使試片沉於水面下 30 mm 處，浸水 24 h 後取出，測量其質量及中心厚度，並依下式計算試片之吸水率及吸水厚度膨脹率。

$$\text{吸水率 (\%)} = [(m_1 - m_0)/m_0] \times 100$$

$$\text{吸水厚度膨脹率 (\%)} = [(t_1 - t_0)/t_0] \times 100$$

式中， m_0 為試片吸水前之質量 (g)， m_1 為試片吸水後之質量 (g)， t_0 為試片吸水前厚度 (mm)， t_1 為試片吸水後厚度 (mm)。

4. 抗彎強度 (Modulus of rupture, MOR) 與抗彎彈性模數 (Modulus of elasticity, MOE)

本試驗參考 CNS 2215 粒片板之檢測標準，將試材裁切成 $230 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$ 之試片，並置於 20°C 、65% RH 之恆溫恆濕室中調濕 7 天後，

測量試片之長度、寬度、厚度及質量。再以 180 mm 之跨距及 10 mm/min 之載重速度進行檢測，記錄試片之最大載重值及其經時載重與變形量，並依下式計算試片之抗彎強度及抗彎彈性模數。

$$\text{MOR (N/mm}^2\text{)} = 3PL/2bh^2$$

$$\text{MOE (N/mm}^2\text{)} = \Delta PL^3/4\Delta Ybh^3$$

式中，P 為最大載重 (N)，L 為跨距 (mm)，b 為試片寬度 (mm)，h 為試片厚度 (mm)， ΔP 為比例限度內上限載重值及下限載重值之差 (N)， ΔY 為 ΔP 相對應之跨距中央之彎曲變形量 (mm)。

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

本試驗參考 CNS 2215 粒片板之檢測標準，將試材裁切成 $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$ 之試片，並置於 20°C 、65% RH 之恆溫恆濕室中調濕 7 天後，在試片中央以直徑 2 mm 之鑽頭，鑽取 3 mm 深度之導引孔，再以直徑 2.7 mm，長 16 mm 之木螺釘垂直旋入於試片內，使螺牙完全鑽入而未貫穿試片。以 2 mm/min 之引拔速度，垂直拔起木螺釘，所測得的最大引拔載重 (N)，即為木螺釘保持力。

6. 內聚強度 (Internal bond)

本試驗參考 CNS 2215 粒片板之檢測標準，將試材裁切成 $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$ 之試片，置於 20°C 、65% RH 之恆溫恆濕室中調濕 7 天後，在鋼製黏板膠合上試片。以垂直板面 2 mm/min 之速度施加拉伸荷重，測定剝離破壞時之最大載重，並依下式計算內聚強度。

$$\text{內聚強度 (N/mm}^2\text{)} = P/bL$$

式中，P 為剝離破壞時之最大載重 (N)，b 為試片寬度 (mm)，L 為試片長度 (mm)。

7. 耐候性質

(1) 表面顏色測定

試材表面顏色之測定採用 Minolta (CM-3600, Japan) 之分光式色差計測量，光源為 D_{65} ，測試窗直徑為 8 mm，視角為 10° 。測試時，將試材直接置於測試窗上測取 L^* 、 a^* 、 b^* ，並依國際照明協會所制定之 CIE LAB 色彩體系，進一步計算 ΔL^* 、

Δa^* 、 Δb^* 及 ΔE^* 等顏色參數。

(2) 抗彎強度保留率 (MOR retention ratio) 與抗彎彈性模數保留率 (MOE retention ratio)

耐候試驗期間，定期檢測試材之 MOR 及 MOE，並依下列式子計算試材於耐候試驗過程中之 MOR 及 MOE 保留率。

$$\text{MOR 保留率 (\%)} = (\text{MOR}_t / \text{MOR}_0) \times 100$$

$$\text{MOE 保留率 (\%)} = (\text{MOE}_t / \text{MOE}_0) \times 100$$

式中， MOR_t 及 MOE_t 為不同耐候時間所測得之 MOR 及 MOE； MOR_0 及 MOE_0 為耐候試驗前試材之 MOR 及 MOE。

(3) 傅立葉紅外線光譜 (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) 分析

本試驗使用 PerkinElmer (Spectrum 100, USA) 傅立葉轉換紅外線光譜儀，並搭配全反射式 (Attenuate total reflection, ATR) 套件進行樣品分析。分析時，所使用之掃描解析度為 4 cm^{-1} ，掃描次數為 32 次，波數 (Wavenumber) 範圍為 $4000\text{--}650 \text{ cm}^{-1}$ 。取得 FTIR 光譜後，分析並探討試材官能基

之變化。

(V) 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%)。

III、結果與討論

(I) 生物炭含量對 WPC 物理性質之影響

表 1 為 HDPE、木粒片及生物炭不同混合比對 WPC 物理性質之影響，表中各混合比之複合材其預設密度皆為 900 kg/m^3 ，而實際測量複合材密度約為 $870\text{--}1020 \text{ kg/m}^3$ 。而在含水率方面，由表 1 結果可以得知各試材之含水率介於 4.1–9.2% 之間，其中隨著 HDPE 含量增加，含水率有降低之趨勢。造成此趨勢之原因主要為 HDPE 本身為疏水性材料，不易吸收水分，故複合材料中所含之水分主要係由生物炭及親水性木粒片所提供。因此當 HDPE 含量增加時，材料之疏水性物質增加，進而導致複合材料之含水率降低。此外，在 HDPE 含量固定

表 1、生物炭含量對 WPC 物理性質之影響

Table 1. Effect of bio-char content on the physical properties of WPC

Specimen	Density (kg/m^3)	Moisture content (%)	Water absorption (%)	Thickness swelling (%)
WPC 037	1010 ± 20^a	9.2 ± 0.3^a	6.6 ± 0.4^{bc}	0.1 ± 0.6^{de}
WPC 333	970 ± 40^{ab}	7.4 ± 0.3^b	7.6 ± 0.2^{bc}	3.3 ± 0.5^b
WPC 730	870 ± 50^c	6.0 ± 0.3^c	11.9 ± 2.5^{ab}	14.9 ± 1.5^a
WPC 046	1010 ± 10^a	7.9 ± 0.2^b	4.1 ± 0.1^c	0.1 ± 0.4^e
WPC 343	960 ± 50^{ab}	6.4 ± 0.2^c	5.7 ± 0.2^c	1.5 ± 0.5^{cde}
WPC 640	900 ± 30^{bc}	4.8 ± 0.4^{de}	15.7 ± 4.3^a	2.7 ± 0.1^{bc}
WPC 055	1020 ± 10^a	6.3 ± 0.3^c	2.7 ± 0.2^c	0.1 ± 0.2^e
WPC 252	950 ± 10^{ab}	5.2 ± 0.1^d	3.4 ± 0.2^c	0.8 ± 0.3^{de}
WPC 550	930 ± 20^{bc}	4.1 ± 0.1^e	3.9 ± 0.1^c	1.7 ± 0.3^{bcd}

Values are mean \pm SD ($n = 6$). Different letters within a column indicate significant differences among groups ($p < 0.05$).

時，隨著生物炭含量的增加，複合材料之含水率有上升之趨勢。而造成此趨勢之主要原因為木材隨著炭化溫度升高，吸附水氣之能力亦會升高（孫上平，2006）。而備長炭是由 1000–1200°C 高溫炭化所製備而成，因此對水氣具有良好之吸附性；又其為多孔隙之結構，在空氣中有較佳之吸濕性，故當炭粉含量增加時，會造成複合材料含水率之上升。另一方面，隨著木粒片含量的增加，複合材料之吸水率上升，而當 HDPE 含量為 50% 時，其吸水率並無顯著之差異。造成此現象之原因除了木粒片為親水性材料外，複合材料中 HDPE 含量大於 50% 時，對木粒片具有良好之包覆效果，故可降低複合材料可吸收水分之表面積，進而降低複合材料之吸水率。此外，複合材料之吸水厚度膨脹主要受木粒片之影響，因此當木粒片含量提高，複合材料之吸水厚度膨脹率亦上升，故吸水厚度膨脹率與吸水率具有相同之趨勢。

(II) 生物炭含量對 WPC 機械性質之影響

抗彎強度 (MOR) 與抗彎彈性模數 (MOE) 為評估木質材料及木質複合材料之重要指標之一，表 2 顯示不同混合比複合材料之 MOR 介於

表2、生物炭含量對WPC機械性質之影響

Table 2. Effect of bio-char content on the mechanical properties of WPC

Specimen	MOR (MPa)	MOE (GPa)	Internal bond (MPa)	Wood screw holding strength (N)
WPC 037	8.9 ± 1.2 ^d	2.12 ± 0.22 ^b	>3 [*]	741 ± 85 ^{ed}
WPC 333	17.0 ± 3.0 ^{bc}	2.59 ± 0.36 ^{ab}	>3 [*]	919 ± 58 ^{abc}
WPC 730	18.1 ± 2.3 ^{abc}	2.76 ± 0.31 ^a	1.4 ± 0.2 ^c	710 ± 71 ^e
WPC 046	14.3 ± 0.2 ^c	2.70 ± 0.16 ^{ab}	>3 [*]	747 ± 50 ^{bcde}
WPC 343	18.5 ± 2.1 ^{ab}	2.64 ± 0.28 ^{ab}	>3 [*]	945 ± 58 ^{ab}
WPC 640	17.6 ± 0.9 ^{bc}	2.62 ± 0.12 ^{ab}	2.0 ± 0.1 ^b	754 ± 45 ^{cde}
WPC 055	18.5 ± 0.3 ^{ab}	2.80 ± 0.24 ^a	>3 [*]	906 ± 73 ^{abcd}
WPC 252	20.5 ± 0.6 ^a	2.52 ± 0.09 ^{ab}	>3 [*]	997 ± 49 ^a
WPC 550	21.8 ± 1.2 ^{ab}	2.50 ± 0.15 ^{ab}	2.6 ± 0.1 ^a	778 ± 65 ^{bcde}

* Over adhesive line limitation (3 MPa).

Values are mean ± SD (n = 6). Different letters within a column indicate significant differences among groups (p < 0.05).

8.9–21.8 MPa，且隨著 HDPE 含量增加，MOR 隨之上升。而在 HDPE 含量相同時，炭木混合之複合材料其 MOR 較純炭之複合材料高；相對的在 MOE 方面，各混合比複合材料間並無顯著之差異，其平均值介於 2.12–2.80 GPa 之間。另一方面，複合材料之內聚強度亦為複合材料重要的強度指標之一，透過複合材料之內聚強度可初步判斷複合材料內部材料之界面性質或膠合性質，較佳之界面性質可反映出較高之內聚強度。由表 2 結果可得知，添加生物炭之複合材料具有最佳之內聚強度，其內聚強度高於鋼製鉛板與試材間之界面膠合強度；相對的未添加生物炭之試材，其內聚強度隨 HDPE 含量增加而提高。此外，木螺釘保持力為複合材料螺釘施工法之重要評估指標，其可作為實際應用時複合材料接合強度評估依據。表 2 結果顯示，炭木混合之複合材料有較佳木螺釘保持力，其值介於 919–997 N 之間。造成上述現象之原因，推論主要係因為炭粉具有良好之均勻分散性，可增強 HDPE 與木粒片之界面接合性質，進而改善複合材料內部應力由 HDPE 轉移至木粒片之效果，因此具有較高之內聚強度及木螺釘保持力。

(III) 生物炭含量對 WPC 耐候性質之影響

1. 生物炭含量對 WPC 表面顏色變化之影響

圖 1 為不同生物炭含量 WPC 經 1920 h 加速耐候試驗後之色差值 (ΔE^*)、明度差值 (ΔL^*)、紅綠參數差值 (Δa^*) 及黃藍參數差值 (Δb^*) 經時變化。由圖 1a 結果顯示，在經過 480 h 耐候試驗後，隨著耐候時間增加，不含生物炭之試材其色差值有上升之趨勢；相對的，含生物炭者隨炭含量的增高其色差值變化越不顯著。而 ΔL^* 之變化方面，由圖 1b 結果顯示，含有木粒片之試材其 ΔL^* 隨著耐候時間的增加有先下降後上升的趨勢，其中又以 WPC 730、WPC 640 及 WPC 550 之變化最劇烈。另一方面，由圖 1c 結果顯示，在前 120 h 耐候試驗過程中含有木粒片之試材其 Δa^* 呈上升之趨勢，之後隨著時間之增加而下降。而 Δb^* (圖 1d) 與 Δa^* 有相似之趨勢，亦呈現先上升後下降之現象。至於未添

加木粒片之試材，其 ΔE^* 、 ΔL^* 、 Δa^* 及 Δb^* 在耐候試驗期間均無顯著變化。造成上述現象之原因，主要係木粒片中之木質素受到紫外光照射後，產生光氧化作用而形成醌類等發色團，因此使試材表面產生黃化現象，進而使 Δb^* 上升，且木粒片含量越高者影響越顯著。此外，木粒片中之抽出成分及光氧化所產生之醌類物質會受到水分的淋洗作用而流失，留下顏色較淡之纖維素，此亦會造成 WPC 退色之情形，使 ΔL^* 隨之上升。再者，HDPE 經過紫外光照射後透明度降低，亦會使 ΔL^* 上升。而生物炭在製備過程會因高溫而使成分中熱敏性物質降解，故其化學組成較為安定；同時，生物炭具有良好的紫外光遮蔽效果，因此含有生物炭之試材其色差值變化較不顯著。

2. 生物炭含量對 WPC 表面官能基之影響

圖 2 為不同生物炭含量 WPC 經 1920 h 加速耐

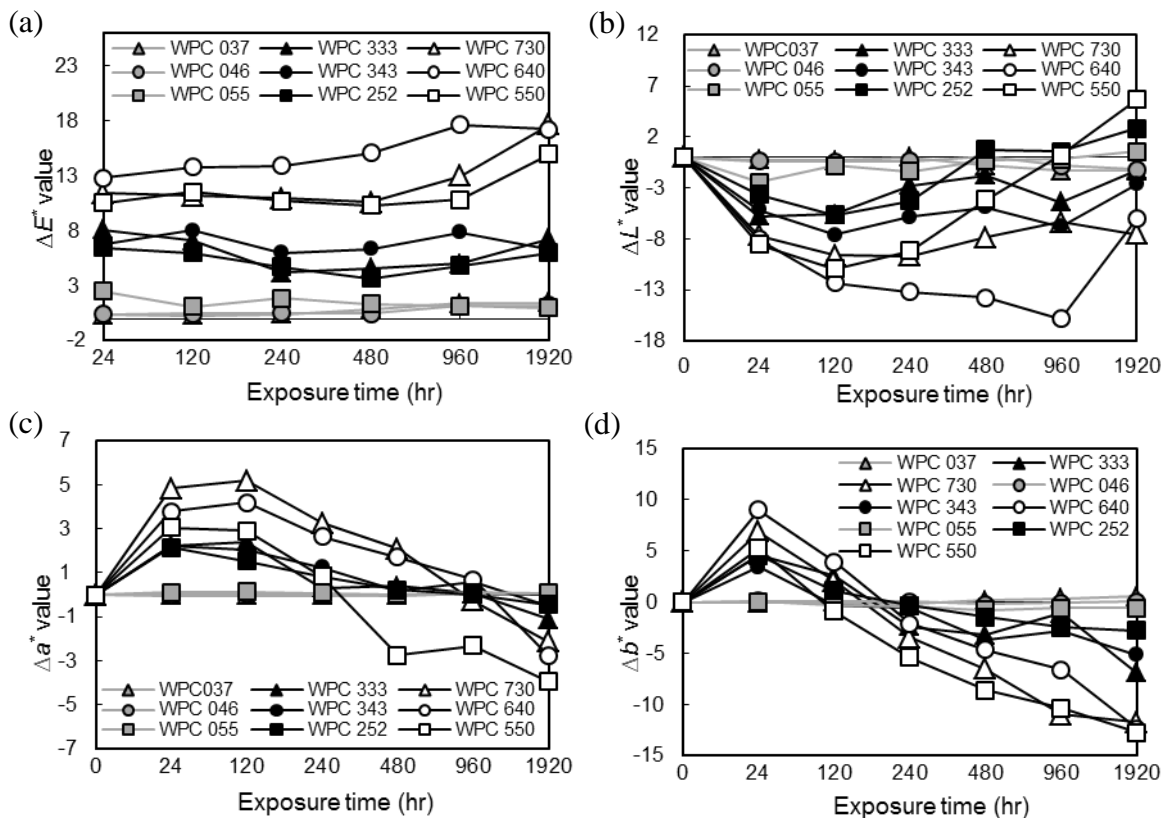


圖 1、生物炭含量對 WPC 經 1920 h 加速耐候試驗後顏色參數值之影響。

Fig. 1. Effect of bio-char content on changes in various color parameters of WPC after accelerated weathering for 1920 h.

候試驗後之 FTIR 光譜，其中不同塑膠含量之試材，其結果相似。以塑膠含量為 40% 之 WPC 046 (圖 2b)、WPC 343 (圖 2e) 及 WPC 640 (圖 2h) 3 種試材為例，WPC 046 (圖 2b) 在耐候試驗過程中並無顯著之變化，因此推測 WPC 之耐候性質主要是受木粒片含量多寡所影響。而含有木粒片之 WPC 343 (圖 2e) 及 WPC 640 (圖 2h) 試材，其在 1600 及 1510 cm^{-1} 木質素特定吸收峰以及 1240 cm^{-1} 木質素芳香環上之 C-O 吸收峰強度，均隨時間增加而降低。同樣的，在 3050–3600 cm^{-1} 木多醣體上之羥基吸收峰，其強度值隨時間增加亦有下降之趨勢。顯示，WPC 於耐候過程中會造成木質材

料的降解。此外，各試材於 1640 cm^{-1} 代表乙烯基 (Vinyl group) 之吸收峰，在耐候試驗初期即有明顯上升之現象，之後則無顯著之變化。造成此現象主要原因，推論為 HDPE 在耐候試驗過程中會透過 Norrish II 降解機制所形成之乙烯基，然此降解所形成之乙烯基與受水分淋洗流失之速率相近，因此在耐候試驗過程中其吸收峰並無顯著之變化 (Lee *et al.*, 2012)。而在 1735 cm^{-1} 代表非共軛酯基之吸收峰隨耐候時間增長而下降，並轉變為羧酸基 (1714 cm^{-1})，此現象說明 WPC 於加速耐候過程受到光氧化作用而降解。

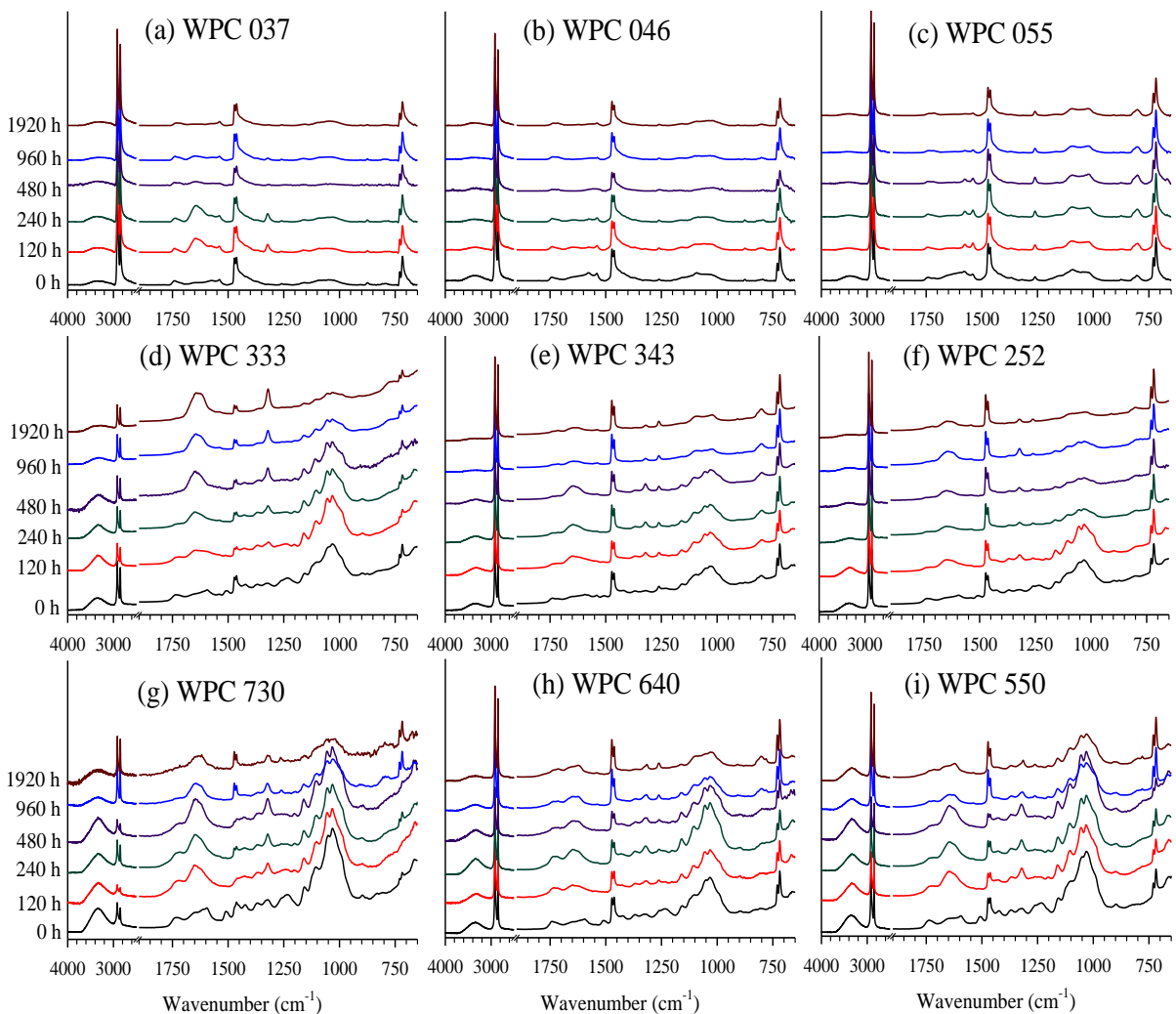


圖 2、生物炭含量對 WPC 經 1920 h 加速耐候試驗後 FTIR 光譜之影響。

Fig. 2. Effect of bio-char content on FTIR spectra of WPC after accelerated weathering for 1920 h.

3. 生物炭含量對 WPC 抗彎強度保留率及抗彎彈性模數保留率之影響

圖 3 為不同生物炭含量 WPC 經 1920 h 加速耐候試驗後之 MOR 保留率，圖中顯示未含木粒片之試材其 MOR 保留率變化不顯著，在經 1920 h 加速耐候試驗後，仍維持於 85% 以上。其中，超過 100% 之 MOR 保留率組別，推測原因應為塑膠經耐候試驗後提高材料之結晶度，進而提高複合材料之抗彎強度。而在含有木粒片之試材方面，塑膠含量為 30% (圖 3a)、40% (圖 3b) 及 50% (圖 3c) 之試材，其 MOR 保留率趨勢相似，皆隨耐候試驗時間增加而降低。推測其原因主要係因為水分滲入複合材內部使木粒片膨潤，導致木質材料與 HDPE 間之界面性質降低所致。此外，HDPE 亦會因光劣化而降解成小分子，導致在耐候試驗後期各試材之 MOR 保留率降低。然而，生物炭為較安定之物質，不易受紫外光及水分之影響而造成結構變化，且於複合材中添加炭粉可填補 HDPE 與木粒片之間隙，進而加強其界面性質，提升複合材料於耐候試驗後之 MOR 保留率。另外，由圖 4 可以發現，在 MOE 保留率方面與 MOR 保留率有類似之趨勢，MOE 保留率雖隨耐候試驗時間之增加而降低，但添加生物炭含量越多之試材，則越不易受耐候試驗之影響。

IV、結論

本試驗利用生物炭、柳桉粒片及高密度聚乙烯製備木材塑膠複合材，以探討添加生物炭對複合材物理機械性質及耐候性質之影響。試驗結果顯示，隨著炭粉含量增加，複合材之含水率提高，但吸水率及吸水厚度膨脹率則下降。而 MOE 及 MOR 方面，不含木粒片之 WPC 037、WPC 046 及 WPC 055 三者，其強度皆較其他組別為低；相對的，炭木混合之試材 WPC 333、WPC 343 及 WPC 252 與不含生物炭之試材 WPC 730、WPC 640 及 WPC 550 並無顯著之差異。此外，添加生物炭有助於提升複合材之內聚強度及木螺釘保持力。而在耐候性質方面，隨著生物炭含量增加，表面顏色、官能基之變化越不顯著，且試材有較高之 MOE 及 MOR 強度保留率。綜合上述結果顯示，添加生物炭之 WPC 雖抗彎強度較弱，然其具有較佳之吸附水氣能力、尺寸安定性、抗濕性、界面性質及耐候性質。因此，

若能繼續針對木材塑膠複合材中添加炭之影響進行後續研究，以擴展其加工利用潛能，未來則有機會成為戶外用材之新興材料。

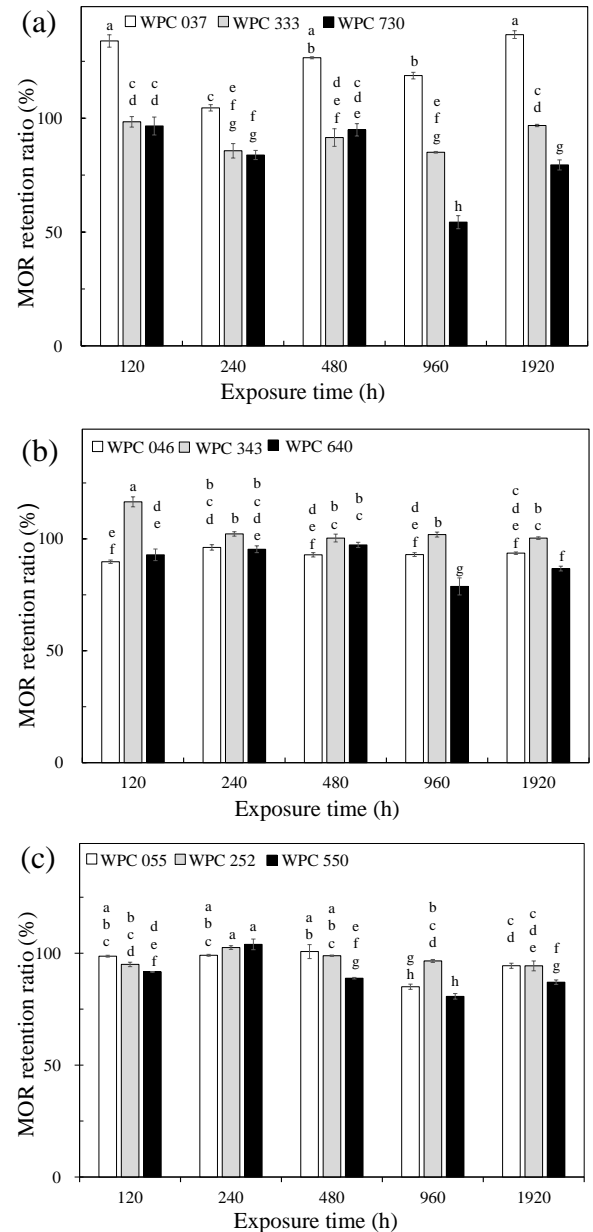


圖 3、生物炭含量對 WPC 經 1920 h 加速耐候試驗後 MOR 保留率之影響。

Fig. 3. Effect of bio-char content on MOR retention ratio of WPC after accelerated weathering for 1920 h. Values are mean \pm SD ($n = 3$). Bars with different letters indicate significant differences among groups at $p < 0.05$.

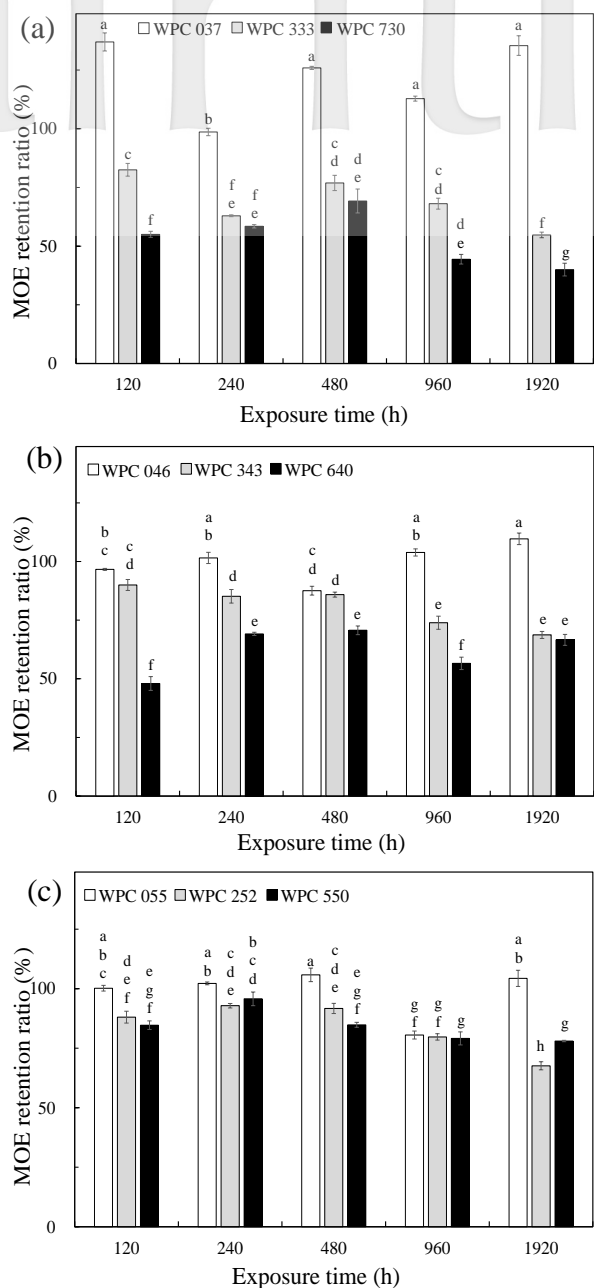


圖 4、生物炭含量對 WPC 經 1920 h 加速耐候試驗後 MOE 保留率之影響。

Fig. 4. Effect of bio-char content on MOE retention ratio of WPC after accelerated weathering for 1920 h. Values are mean \pm SD ($n = 3$). Bars with different letters indicate significant differences among groups at $p < 0.05$.

V、參考文獻

1. 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。
2. 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。
3. 李家皇、吳東霖、洪克昌、吳志鴻 (2011) 塑膠基質對木材塑膠複合材戶外耐候性質之影響。林產工業 30: 135-147。
4. 孫上平 (2006) 孟宗竹炭板機能性質之探討。國立臺灣大學森林環境暨資源學系碩士論文。70 頁。
5. 陳載永、陳合進、徐俊雄 (2000) 簡介木質纖維與塑膠混鍊製造生態複合材之方法介紹。木工家具 187: 89-93。
6. 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。
7. Chen, H.-C., T.-Y. Chen and C.-H. Hsu (2006) Effects of wood particle size and mixing ratios of HDPE on the properties of the composites. Eur. J. Wood Wood Prod. 64:172-177.
8. García, M., J. Hidalgo, I. Garmendia and J. García-Jaca (2009) Wood-plastics composites with better fire retardancy and durability performance. Compos. Part A-Appl. S. 40:1772-1776.
9. Lee, C.-H., K.-C. Hung, Y.-L. Chen, T.-L. Wu, Y.-C. Chien and J.-H. Wu (2012) Effects of polymeric matrix on accelerated UV weathering properties of wood plastic composites. Holzforschung 66:981-987.
10. Li, X., B. Lei, Z. Lin, L. Huang, S. Tan and X. Cai (2013) The utilization of bamboo char enhances wood plastic composites with excellent mechanical and thermal properties. Mater. Des. 53:419-424.
11. Lu, J. Z., Q. Wu and H. S. McNabb (2000) Chemical coupling in wood fiber and polymer composites: A review of coupling agents and treatments. Wood Fiber Sci. 32:88-104.
12. Maldas, D., B. V. Kokta and C. Daneault (1989) Influence of coupling agents and treatments on the mechanical properties of cellulose fiber-polystyrene. J. Appl. Polym. Sci. 37:751-775.
13. Ochi, S. (2006) Development of high strength biodegradable composites using Manila hemp

- fiber and starch-based biodegradable resin. *Compos. Part A-Appl. S.* 37:1879-1883.
14. Raj, R. C., B. V. Kokta, F. Dembele and B. Sanschagrain (1989) Compounding of cellulose fibers with polypropylene: Effect of fiber treatment on dispersion in the polymer matrix. *J. Appl. Polym. Sci.* 38:1987-1996.
 15. Stark, N. M. (1999) Wood fiber derived from scrap pallets used in polypropylene composites. *Forest Prod. J.* 49:39-46.