

## 研究報告

# 添加印度苦楝油於蓖麻油基聚胺甲酸酯複合材料製造及性質之影響

謝祥弘<sup>1</sup> 陳奕君<sup>1\*</sup>

【摘要】本研究將蓖麻油 (Castor oil) 作為生質基多元醇，異氰酸酯Desmodur N為硬化劑，以NCO/OH莫耳比1.5及2.0製備生質基聚胺基甲酸酯樹脂 (Polyurethane; PU)，發泡劑及催化劑分別為水及二月桂酸二丁基錫，並添加蓖麻油之0、10和20 wt%比例之印度苦楝油 (*Azadirachta indica*, Neem oil；印楝油)，以國產中小徑杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 為粒片基材，設定PU膠合劑/粒片重量比為1.2和板材密度為500 kg/m<sup>3</sup>，以熱壓方式製備低密度複合板材，並測定其基本性質、內聚強度 (Internal bonding strength) 及尺寸安定性，探討添加印度苦楝油對複合材料性質之影響。結果顯示添加印楝油比例增加則延長PU之反應時間，未使用界面活性劑可製造型態完整發泡體和複合材料，本研究製造之複合材料具低平衡含水率 (Equilibrium moisture content) 及高尺寸安定性 (Dimensional stability)，印楝油比例增加可降低板材吸濕性，內聚強度符合CNS 2215標準，添加印楝油複合材料內聚強度高於對照組，證明其促進膠合劑與粒片結合，印楝油可做為生質基添加劑，增強複合材料之性質。

【關鍵詞】蓖麻油、聚胺基甲酸酯、發泡體、印度苦楝油、複合材料。

---

1. 國立中興大學森林學系Department of Forestry, National Chung Hsing University

\* 通訊作者，40227台中市南區興大路145號

Corresponding author. 145 Xingda Rd., South Dist., Taichung City 40227, Taiwan

Email: chenyc@nchu.edu.tw

Research paper

## The influence of adding neem oil on manufacture and properties of castor oil-based polyurethane composite

Xiang-Hong Xie<sup>1</sup> Yi-Chun Chen<sup>1\*</sup>

**【Abstract】** In this study, castor oil and Desmodur N was used as a biobased polyol and an isocyanate to prepare biobased polyurethane (PU) resin with NCO/OH molar ratio of 1.5 and 2.0. The PU-base composites were manufactured by hot pressing with the density set to 500 kg/m<sup>3</sup>. The process use water as the foaming agent, dibutyltin dilaurate as the catalyst, and China fir (*Cunninghamia lanceolata*) as the wood particle. The weight of neem oil was set to 0, 10 and 20 wt% of castor oil. Weight ratios of wood particles/PU resin were 1.2/1. The basic properties, internal bonding strength, and dimensional stability of the composites were measured to investigate the effect of neem oil addition on the properties. The results showed that adding neem oil increases the reaction time of PU resin and helps to manufacture complete foams and composite materials without using surfactants. The PU-based composites have low moisture content and good dimensional stability. Increasing neem oil ratio reduced the moisture absorption. Internal bond strength performed in accordance with CNS 2215 standard. The internal bond strength of the neem oil-added composite was higher than that of the control group, indicating that it promoted the binding of the adhesive to the wood particle and improved the properties of the composite material.

**【Key words】** castor oil; polyurethane; foam; neem oil; composite.

## 一、前言

現今民生用品仰賴石油資源作為原料，石油為有限資源且使溫室效應增加，因此尋求可再生性資源及綠色材料的開發為目前研究之主要目標。木質複合材料為木材裁切至細小片狀或塊狀，經膠合熱壓成形，密度一般為 $500-800 \text{ kg/m}^3$ ，並可使用木材廢料及未成熟材製作出高強度且均質之板材，達成廢棄物再利用之目的。市售板材主要以尿素甲醛樹脂 (Urea-formaldehyde resin) 及酚醛樹脂 (Phenol-formaldehyde resin) 等甲醛基樹脂為膠合劑，然而前述樹脂會釋出游離甲醛，對人體造成危害，因此可使用不產生游離甲醛膠合劑，可降低此危害的產生。

PU樹脂之分子結構中含胺酯 (Urethane) 鍵結，主要原料為多元醇 (Polyol) 和異氰酸酯 (Isocyanate)，可廣泛應用於鞋墊、人工皮革、塗料等領域，也具優良之膠合性能，可作為木材膠合劑 (Somani et al. 2003; Tenorio-Alfonso et al. 2017)。如PU發泡體膠合劑與木材或纖維粒片製造複合材料 (Fiorelli et al. 2012)，並具有輕質、良好尺寸安定性、機械性質、高隔熱性及隔音性 (Kawasaki et al. 1998)。植物油可作為PU樹脂原料，如蓖麻油其結構具羥基，可與異氰酸酯反應，製備PU發泡體膠合劑 (Ehrlich et al. 1959)，其提煉自蓖麻種子，具蓖麻鹼及蓖麻毒蛋白等對人體有毒性物質，為非食用植物油，且工業用途廣泛 (Ogunniyi 2006)。不同異氰酸酯結構影響蓖麻油基質PU發泡體之性質 (吳承濤&陳奕君 2017)，以Desmodur N製作之發泡體其浸水試驗重量損失率低於0.9%，證明其具有完整架橋結構。

印楝種子提煉後可得印楝油，其所含之Azadirachtin、Solanin和Nimbin等成分，具殺蟲、抑菌之功用，如Sharma et al. (1993) 將印楝油混合椰子油對人體皮膚具驅蚊效果，Dua

et al. (2009) 使用印楝油製備生物殺蟲劑，評估不同濃度對於撲殺子孓的效用。印楝油本身為一不具活性氫之長鏈脂肪酸疏水結構，不與異氰酸酯進行反應，因此可做為PU之添加劑，Liao et al. (2021) 將印楝油添加至蓖麻油基質PU發泡體，結果顯示印楝油之添加增加PU發泡體之熱穩定性和機械性質。在透過印楝油轉酯化反應導入反應性羥基後，印楝油甘油酯 (Neem oil glyceride) 可作為多元醇使用，製備PU塗料和發泡體 (Chaudhari et al. 2013; Chaudhari et al. 2014; Chaudhari et al. 2015; Liao et al. 2021)。

界面活性劑功能為使所有原料之表面張力降低，使原料可均勻混合，在PU樹脂合成主要使用有機矽氧烷類界面活性劑。添加後可能有影響而矽類化合物具對人體健康及環境造成危害之疑慮，故減少使用矽類添加劑的使用可降低風險，符合現今發展綠色材料之目標，又前人研究指出添加亞麻仁油 (Linseed oil) 可改質硬質發泡體，可增加機械性質及疏水性，並降低吸水率 (Water absorption)，直接添加植物油可改善材料性質 (Czlonka et al. 2018)，然目前未見無界面活性劑蓖麻油基複合材料之研究。

本研究以製備無界面活性劑生質基複合材料為目標，利用蓖麻油作為多元醇原料，並加入不同比例之印楝油，NCO/OH莫耳比設定為1.5及2，使用具有低黃化性質之脂肪族異氰酸酯Desmodur N製備發泡體，發泡體可做為膠合劑，取惠蓀林場產杉木粒片，設定密度 $500 \text{ kg/m}^3$ 製造複合材料，探討添加印楝油之蓖麻油基PU發泡體複合材料之性質。

## 二、材料與方法

### (一) 試驗材料

1. 蓖麻油和印楝油分別購自中興化工和達爾文

國際生物科技股份有限公司。

2. 化學藥品：二月桂酸二丁基錫 (Dibutyl tin dilaurate; DBTDL, 催化劑) 購自安鋒實業股份有限公司；蒸餾水(發泡劑)、氫氧化鉀(Potassium hydroxide; KOH)、甲醇(Methanol)、乙醇(Ethanol)、甲苯(Toluene)、酚酞(Phenolphthalein)、醋酸酐(Acetic anhydride)、吡啶(Pyridine)、乙酸乙酯(Ethyl acetate)、丙酮(Acetone)、丁胺(Butylamine)。
3. 異氰酸酯：Desmodur N, 六亞甲基-二異氰酸酯(Hexamethylene diisocyanate; HDI)之三聚物, 購自安鋒實業股份有限公司。
4. 木材粒片：杉木, 採自國立中興大學惠蓀實驗林場, 樹齡約25-35年生, 過篩後使用6-8 mesh粒片。

## (二) 蓖麻油、印楝油及異氰酸酯基本性質測定

### 1. 酸價 (Acid value)

設定濃度0.1 N (n N), 配置KOH乙醇溶液並標定計算其力價 (Titer; f), 精稱5-10 g多元醇, 紀錄重量 (S g), 加入100 mL體積比2:1之甲苯乙醇混合溶液與酚酞, 再以0.1 N KOH乙醇溶液滴定至反應終點, 以KOH乙醇溶液消耗量 (V mL) 計算出酸價 (Acid value), 計算式如下:

$$\text{Acid value (mg KOH/g)} = \frac{56.1 \times V \times n \times f}{S}$$

### 2. 羥價 (Hydroxyl value)

精稱1-2 g蓖麻油, 紀錄重量 (W g), 精取體積比30:70之醋酸酐與吡啶混合液10 ml加入, 隨後加熱並維持沸騰20 min, 冷卻並加入50 ml蒸餾水與數滴酚酞, 以力價為F之1.0 N (m N) KOH乙醇溶液滴定至終點 (A ml)。同上述方法不加試料進行空白組試驗 (B ml), 計算羥價 (Hydroxyl value), 計算式如下:

$$\text{Hydroxyl value (mg KOH/g)}$$

$$= \frac{56.1 \times (B-A) \times m \times F}{W} + \text{Acid value}$$

### 3. 異氰酸酯NCO基含量測定

精稱0.5 g異氰酸酯試料, 紀錄重量 (X g), 加入20 ml乙酸乙酯或丙酮, 充分搖動使其溶解, 精取0.2 N丁胺之乙酸乙酯溶液30 ml加入試料溶液中, 充分搖盪後置於室溫30 min, 加入溴酚藍指示劑, 當量濃度為0.2 N (p N), 以0.2 N鹽酸之甲醇溶液滴定至終點, 紀錄鹽酸溶液消耗量 (C mL)。以上述方法不加試料進行空白組, 紀錄滴定消耗量 (D mL), 計算NCO基含量, 計算式如下:

$$\text{NCO (\%)} = \frac{0.042 \times (D-C) \times p}{X} \times 100$$

## (三) PU樹脂製備

使用蓖麻油為生質多元醇原料、Desmodur N為異氰酸酯原料, 表1之比例製備PU樹脂。印楝油添加量為多元醇重之0、10和20 wt%, 異氰酸酯與多元醇原料之NCO/OH官能基莫耳數比設定為1.5及2.0, 並以多元醇重為基準, 發泡劑為水, 催化劑為DBTDL, 添加蓖麻油基重之8%。代號第一個數字為NCO/OH官能基莫耳比, 第二個數字為印楝油添加比例。首先將蓖麻油、印楝油、DBTDL和水混合後以200 rpm攪拌1 min, 加入Desmodur N再以200 rpm攪拌1 min, 待其反應結束後, 放置於室溫7日後進行試驗。

## (四) PU發泡體性質測試

### 1. 開始、結束發泡時間及指觸乾燥時間

待原料充分攪拌混合後開始計時, 當其開始發泡時紀錄為開始發泡時間, 停止發泡後紀錄為結束發泡時間, 以指觸不黏表面即紀錄為指觸乾燥時間。

### 2. 發泡高度

測量發泡體高度, 樣品重複3個, 取平均值後記錄為發泡高度。

表1. PU樹脂組成物比例。

Table 1. Composition ratio of polyurethane foam adhesives.

| Code | Reactant (Parts by weight) |            |          |          |       |
|------|----------------------------|------------|----------|----------|-------|
|      | Isocyanate                 | Castor oil | Neem oil | Catalyst | Water |
| N1-0 | 46.9                       | 50.0       | 0        | 4        | 4     |
| N1-1 | 46.9                       | 50.0       | 5        | 4        | 4     |
| N1-2 | 46.9                       | 50.0       | 10       | 4        | 4     |
| N2-0 | 62.4                       | 50.0       | 0        | 4        | 4     |
| N2-1 | 62.4                       | 50.0       | 5        | 4        | 4     |
| N2-2 | 62.4                       | 50.0       | 10       | 4        | 4     |

### 3. 體積膨脹率

測量發泡體尺寸並計算體積膨脹率，樣品重複3個，取平均值。

#### (五) 複合板材製備

製備方法參考先前研究 (Chen & Tai 2018)，PU膠合劑/粒片重量比為1.2，將蓖麻油、印棟油、杉木木材粒片、發泡劑、催化劑均勻混合後，隨後加入計算量異氰酸酯使混合均勻，板材設定密度500 kg/m<sup>3</sup>，將原料撒勻於模具，佈膠作業時間約需3 min，以平板式熱壓機以溫度100°C、壓力1.5 MPa及時間5 min進行製造。

#### (六) 複合板材性質測試

##### 1. 密度

試片尺寸5 cm × 5 cm × 1.2 cm，測量長、寬、厚及重量，計算其氣乾密度。

##### 2. 平衡含水率

試片尺寸5 cm × 5 cm × 1.2 cm，置於27°C和相對濕度70%環境中，測量試片至恆重，將其置入103±2°C烘箱加熱乾燥至恆重，再測定其絕乾重量後計算，計算式如下：

$$\begin{aligned} \text{Equilibrium moisture content (\%)} \\ &= \frac{W_a - W_o}{W_o} \times 100 \end{aligned}$$

Wa為試片重量，Wo為絕乾重量。

##### 3. 尺寸安定性

測量試片質量及試片中央部位厚度，將試片水平放置離水面下3 cm位置，浸漬24 hr後取出並拭其表面水分，測量其浸水後質量及厚度後，計算吸水率及厚度膨脹率 (Thickness swelling)，計算式如下：

$$\text{Water absorption (\%)} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

$$\text{Thickness swelling (\%)} = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100$$

試片質量為M<sub>1</sub>，中央部位厚度為T<sub>1</sub>，浸水後質量為M<sub>2</sub>，浸水後厚度為T<sub>2</sub>。

##### 3. 內聚強度

試片尺寸5 cm × 5 cm × 1.2 cm，將試片以熱熔膠粘著於鋼製砧板，以木材強度試驗機 (Shimadzu UEH-10) 於板面垂直方向以2 mm/min之拉伸速度施加载重，測定剝離破壞時之最大載重，並計算內聚強度，計算式如下：

$$\text{Internal bonding strength (MPa)} = \frac{P}{a \times b}$$

P：剝離破壞時之最大載重， $a \times b$ ：試片面積。

### (七) 統計分析

統計分析使用SPSS軟體20版 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)，以Turkey多重比較分析確認數據間之統計顯著性，p值為0.05，表及圖中之不同字母表示數據結果具顯著差異。

## 三、結果與討論

### (一) 發泡體性質試驗

脛價及酸價與其材料結構之羥基及羧基多寡有關，蓖麻油脛價及酸價分別為170.19 mg KOH/g及1.58 mg KOH/g。異氰酸酯具有NCO

基結構，可與含羥基之蓖麻油反應產生胺酯結構，Desmodur N之NCO含量為20.4%。

### 1. 發泡體發泡性質

表2為製備PU發泡體之發泡性質，添加印楝油之樣品其開始發泡時間、結束發泡時間及指觸乾燥時間皆略為增加，顯示添加印楝油略降PU反應性，延長PU反應時間，此結果與添加亞麻仁油至PU發泡體具有相似趨勢 (Czlonka et al. 2018)。NCO/OH莫耳比對於發泡性質則無影響。製造PU複合材料約需3 min進行混合，添加印楝油添加印楝油PU樹脂開始發泡時間約為3 min，作業時間適合，方便使用為膠合劑製造複合材料。

表2. PU發泡體發泡性質。

Table 2. Foaming properties of PU foams.

| Code | Cream time (s)           | End of rise time (s)       | Tack free time (s)         |
|------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
| N1-0 | 149.0 ± 5.7 <sup>a</sup> | 268.0 ± 5.7 <sup>a</sup>   | 326.7 ± 21.7 <sup>ab</sup> |
| N1-1 | 186.7 ± 1.2 <sup>c</sup> | 285.7 ± 10.0 <sup>ab</sup> | 325.7 ± 16.6 <sup>ab</sup> |
| N1-2 | 185.0 ± 2.9 <sup>c</sup> | 286.7 ± 12.7 <sup>ab</sup> | 330.0 ± 7.8 <sup>ab</sup>  |
| N2-0 | 154.0 ± 7.8 <sup>a</sup> | 262.0 ± 8.6 <sup>a</sup>   | 300.3 ± 10.1 <sup>a</sup>  |
| N2-1 | 171.0 ± 6.4 <sup>b</sup> | 294.7 ± 9.7 <sup>b</sup>   | 323.0 ± 13.4 <sup>ab</sup> |
| N2-2 | 188.7 ± 8.8 <sup>c</sup> | 298.0 ± 5.1 <sup>b</sup>   | 348.0 ± 4.5 <sup>b</sup>   |

表3. PU發泡體基本性質。

Table 3. Basic properties of PU foams.

| Code | Density (kg/m <sup>3</sup> ) | Height (mm)              | Volume expansion (%)       |
|------|------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| N1-0 | 93.7 ± 5.2 <sup>b</sup>      | 45.3 ± 1.1 <sup>bc</sup> | 885.4 ± 21.7 <sup>b</sup>  |
| N1-1 | 115.3 ± 3.4 <sup>c</sup>     | 41.2 ± 1.8 <sup>ab</sup> | 743.9 ± 31.7 <sup>b</sup>  |
| N1-2 | 157.8 ± 3.2 <sup>c</sup>     | 33.0 ± 3.8 <sup>a</sup>  | 553.3 ± 63.8 <sup>a</sup>  |
| N2-0 | 76.9 ± 4.5 <sup>a</sup>      | 53.3 ± 0.9 <sup>c</sup>  | 1043.2 ± 18.2 <sup>c</sup> |
| N2-1 | 105.3 ± 4.4 <sup>c</sup>     | 49.4 ± 3.0 <sup>bc</sup> | 892.6 ± 53.8 <sup>bc</sup> |
| N2-2 | 140.5 ± 7.6 <sup>d</sup>     | 32.9 ± 3.7 <sup>a</sup>  | 550.5 ± 62.5 <sup>a</sup>  |

## 2. 發泡體基本性質

表3為PU發泡體之密度、高度及體積膨脹率。結果顯示，當印棟油添加量增加，NCO/OH莫耳比為1.5和2.0發泡體之密度從93.7 和76.9 kg/m<sup>3</sup>提升至157.8和140.5 kg/m<sup>3</sup>，體積膨脹率由885.4和1,043.2%降至553.3和550.5%，發泡高度具有相同趨勢，添加印棟油顯著影響發泡體密度。不同NCO/OH莫耳比條件下，NCO/OH莫耳比為2之體積膨脹率則高於1.5製備者。

圖1為PU發泡體樣品之外觀圖，未添加及添加10%印棟油製備之發泡體具開裂現象產生，推測未添加界面活性劑導致藥劑混合不均，印棟油添加比例增加至20%則無此現象產生，其具完整之發泡體型態，顯示印棟油使發泡結構完整。添加20%印棟油則可使用無界面

活性劑方式製造發泡體，推測可能與密度增加相關。

## (二) 複合材料性質試驗

### 1. 複合材料基本性質

表4為比較不同膠合劑之研究於製備複合板材之條件，前人研究使用尿素甲醛樹脂和酚醛樹脂可以熱壓方式製造複合材料，熱壓溫度分別為152°C和180°C，使用PU作為膠合劑則為84°C和100°C，可用較低之溫度製備複合板材，前人研究指出PU樹脂熱壓時間為18 min (Wechsler et al. 2013)，本研究可縮短熱壓時間；酚醛樹脂製造複合材料需熱壓壓力25 MPa，尿素甲醛樹脂和PU樹脂製造者所需壓力為3-3.5 MPa。製造條件比較顯示本研究可使用有效率且省能源製程製造複合材料。

圖2為複合材料外觀圖，發泡體側面及正

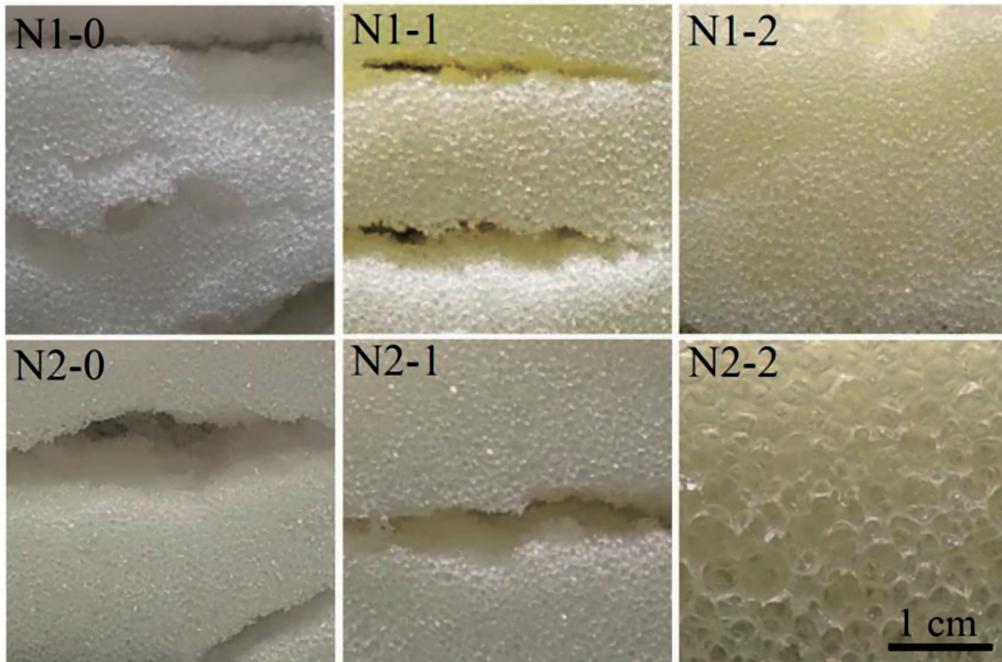


圖1. PU發泡體外觀。

Figure 1. Appearance of PU foams.

面皆為均質材料，此因熱壓製造過程使PU反應發泡固化，使杉木粒片緊密黏合，與團隊先前研究結果相同 (Chen & Tai 2018)。圖3顯示於添加印楝油後粒片板外觀並無明顯改變，外觀顏色為淺黃色，未來可進行染色增加產品多樣性。複合材料設定密度為 $500 \text{ kg/m}^3$ ，圖3指出複合材料密度為 $493.4\text{-}511.6 \text{ kg/m}^3$ ，表5分析不同膠合劑製造之複合材料性質，前人研究以

PU、尿素甲醛和酚醛樹脂製造複合材料之密度分別為 $987 \text{ kg/m}^3$ 、 $720 \text{ kg/m}^3$ 和 $700 \text{ kg/m}^3$ ，顯示本研究製造之PU膠合劑可製造均質低密度複合材料。

## 2. 平衡含水率及尺寸安定性

木質材料具有羥基及細胞壁間隙使其含有結合水及自由水，當材料中所含水分與空氣中水分達平衡時，此時含水率即為平衡含

表4. 複合板材製造條件比較。

Table 4. Comparison of manufacture conditions for PU composites.

| Kinds of adhesive   | Hot pressing temperature (°C) | Hot pressing time (min) | Hot pressing pressure (MPa) | Reference              |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Polyurethane        | 100                           | 5                       | 1.5                         | This study             |
| Polyurethane        | 84                            | 18                      | 3.5                         | Wechsler et al. (2013) |
| Urea-formaldehyde   | 152                           | 5                       | 3                           | Pan et al. (2007)      |
| Phenol-formaldehyde | 180                           | 5                       | 25                          | Pirayesh et al. (2015) |



圖2. PU複合材料外觀圖，正面(左)和側面(右)。

Figure 2. Front and side views of PU composites.

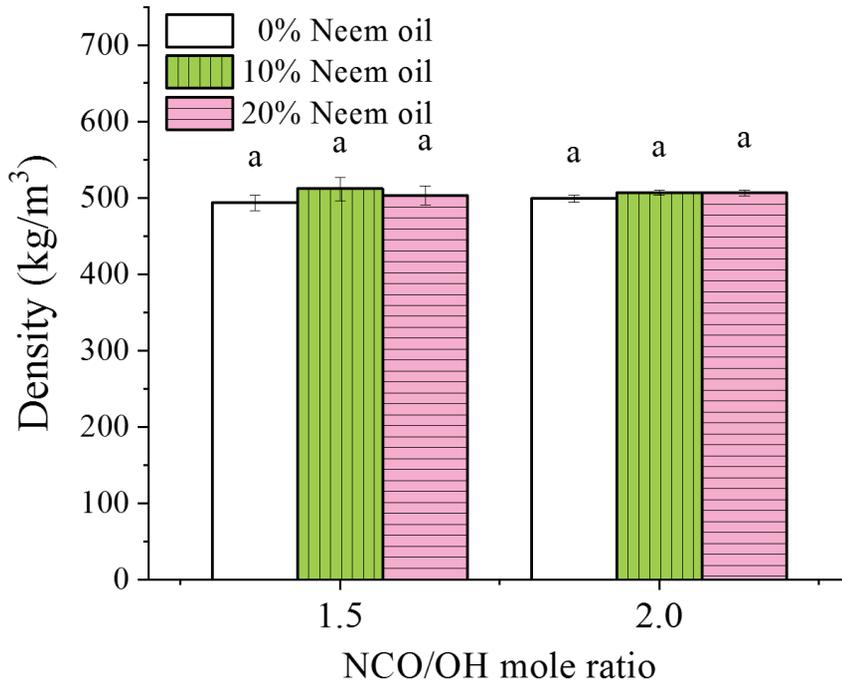


圖3. PU複合材料之密度。  
Figure 3. Densities of PU composites.

表5. 不同膠合劑複合板材性質比較。

Table 5. Comparison properties of composites with various resins

| Kinds of adhesive           | Density (kg/m <sup>3</sup> ) | Thickness swelling (%) | Water absorption (%) | Internal bond strength (N/mm <sup>2</sup> ) | Reference              |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|---|------------------------|
| Polyurethane                | 506                          | 1.2                    | 3.9                  | 0.34  | This study (N2-0)      |
| Polyurethane (10% neem oil) | 506                          | 1.7                    | 5.0                  | 0.43  | This study (N2-1)      |
| Polyurethane                | 987                          | 2.7                    | 10.5                 | 1.33  | Wechsler et al. (2013) |
| Urea- formaldehyde          | 720                          | 43.9                   | 86.2                 | 1.20  | Pan et al. (2007)      |
| Phenol- formaldehyde        | 700                          | 19.4                   | 69.0                 | 0.61  | Pirayesh et al. (2015) |

水率，木質材料具有吸濕性，含水率及吸濕性影響木質材料尺寸安定性和機械性質等性質 (Gerhards 1982)。圖5顯示製備之PU粒片板含水率皆低於2.75%，隨印棟油添加比例增加PU粒片板含水率略為下降，NCO/OH比例對含水率無顯著影響，添加印棟油可降低材料吸濕性。前人研究指出於23°C和相對濕度65%環境中，異氰酸酯和尿素甲醛樹脂製造稻草複合材料之平衡含水率分別為7.65%和7.97% (Mo et al. 2003)，本研究製造之複合材料具有低平衡含水率。

材料之尺寸安定性可由吸水率及厚度膨脹率進行分析，圖5及圖6為PU複合材料之吸水率及厚度膨脹率，結果顯示吸水率為3.9-5.6%，低於前人研究以PU、尿素甲醛和酚醛樹脂製造複合材料之吸水率，NCO/OH設定為1.5之複合材料，不同印棟油比例製造者之吸水率無顯著差異；NCO/OH設定2，增加印棟油比例使吸水率略升。圖7顯示複合材料厚度膨脹率為1.2-2.5%，製備之PU複合材料皆符合國家標準CNS 2215規範厚度膨脹率低於12%之標準，且表5顯示前人研究之PU、酚醛樹脂和尿素甲醛樹脂製造複合材料之厚度膨脹率分別為2.7%、43.9和19.4%，結果證明本研究製備之PU樹脂可製造高尺寸安定性之複合材料。

### 3. 內聚強度試驗

內聚強度顯示板材結構完整性及膠液與粒片間膠合強度，圖8為製備PU複合材料內聚強度，內聚強度為0.27-0.43 N/mm<sup>3</sup>，所製備之板材皆符合CNS 2215素面/化妝粒片板13型規範之0.2 N/mm<sup>3</sup>內聚強度標準。NCO/OH莫耳比為2板材之內聚強度高於莫耳比為1.5者，且符合CNS 2215素面/化妝粒片板18型之0.3 N/mm<sup>3</sup>標準，顯示高NCO/OH莫耳比複合材料之機械強度較高。N2-1具有最高之內聚強度，顯示10%

印棟油添加量產生最佳之內聚強度，印棟油可提高附合材料機械強度，此結果與先前研究結果相似 (Liao et al. 2021)，印棟油可作為天然改質劑，增加機械性質。表5結果顯示前人研究之PU、酚醛樹脂和尿素甲醛樹脂製造複合材料之內聚強度分別為1.33 N/mm<sup>3</sup>、1.20 N/mm<sup>3</sup>和0.61 N/mm<sup>3</sup>，證實本研究製造之PU複合材料內聚強度優於高密度複合材料，且具有優良之尺寸安定性，證實於省能源製程條件下，製備符合低密度和高強度之複合材料，增加木材使用效率及能源消耗，達環境友善及永續材料之目標。

## 四、結論

本研究使用蓖麻油作為生質基多元醇，與異氰酸酯Desmodur N以NCO/OH莫耳比為1.5及2.0製備PU樹脂，加入天然改質劑印棟油，20%印棟油可成功製備無界面活性劑PU發泡體，並利用PU樹脂之發泡性及膠合性質，熱壓成功製備低密度杉木複合材料。結果顯示添加印棟油使PU樹脂略增開始發泡時間，適用於膠合作業時間，且製造PU樹脂複合材料之吸濕性降低，於印棟油添加量為10%，具最佳之內聚強度；增加NCO/OH莫耳比可提高內聚強度。綜合上述，添加印棟油製造複合材料可增加機械強度及生質基含量，且內聚強度及尺寸安定性均符合CNS 2215標準，具作為無甲醛木質建材等綠色產品之潛力。

## 致謝

本研究承蒙科技部計畫 (109-2813-C-005-074-B和110-2313-B-005 -029 -) 和國立中興大學農資學院實驗林管理處 (1101011B-02) 補助，中興大學森林學系高仕達同學協助實驗，特此申謝。

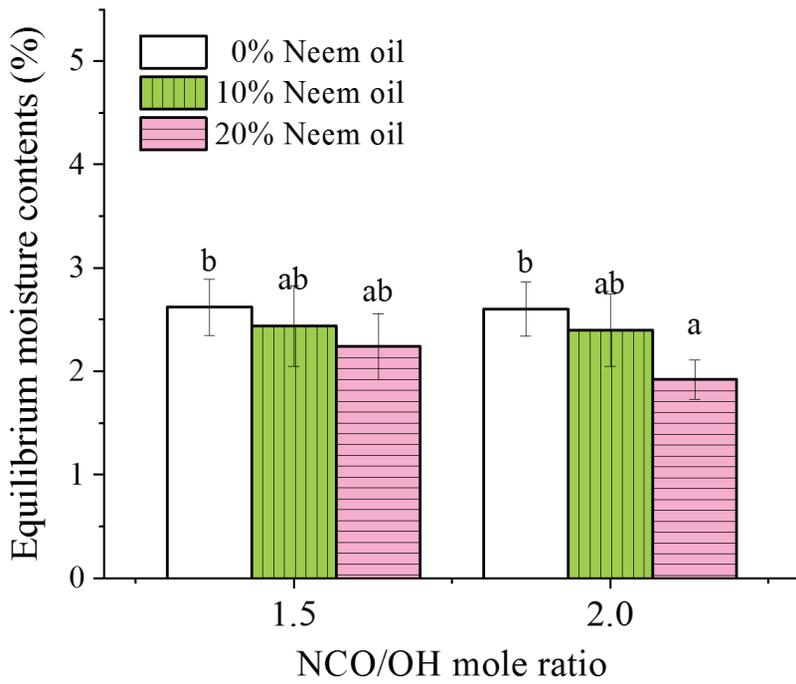


圖4. PU複合材料平衡含水率。

Figure 4. Equilibrium moisture contents of PU composites.

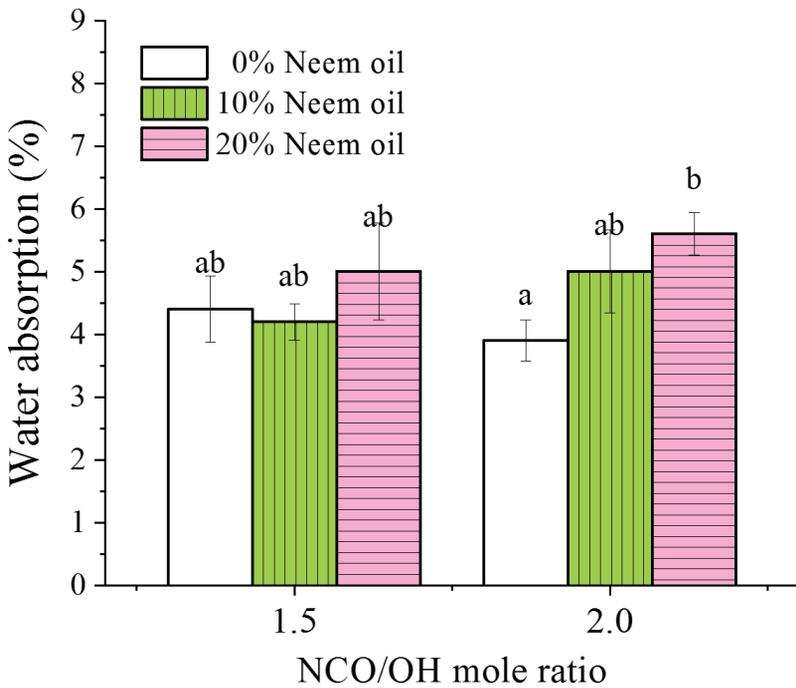


圖5. 複合材料吸水率。

Figure 5. Water absorption of PU composites.

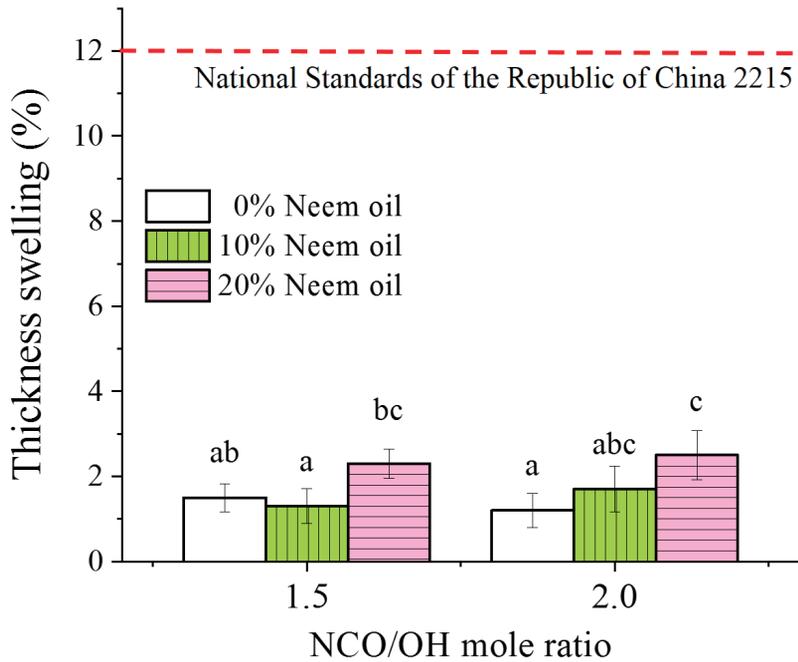


圖6. 複合材料厚度膨脹率。

Figure 6. Thickness swelling of PU composites.

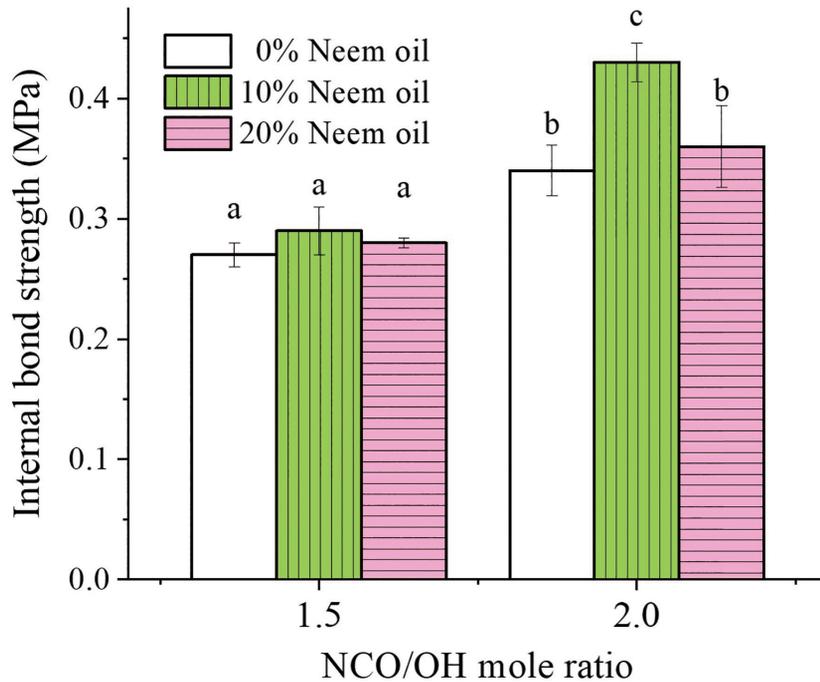


圖7. PU複合材料內聚強度。

Figure 7. Internal bond strength of PU composites.

## 五、參考文獻

- Chaudhari A, Tatiya P, Hedaoo R, Kulkarni R, Gite V (2013) Polyurethane prepared from neem oil polyesteramides for self-healing anticorrosive coatings. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 52: 10189-10197.
- Chaudhari A, Kuwar A, Mahulikar P, Hundiwale D, Kulkarni R, Gite V (2014) Development of anticorrosive two pack polyurethane coatings based on modified fatty amide of *Azadirachta indica* Juss oil cured at room temperature-a sustainable resource. *RSC Advances* 4: 17866-17872.
- Chaudhari A, Kulkarni R, Mahulikar P, Sohn D, Gite V (2015) Development of PU coatings from neem oil based alkyds prepared by the monoglyceride route. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 92: 733-741.
- Chen YC, Tai W (2018) Castor oil-based polyurethane resin for low-density composites with bamboo charcoal. *Polymers* 10(10): 1100.
- Członka S, Bertino MF, Kośny J, Strąkowska A, Masłowski M, Strzelec K (2018) Linseed oil as a natural modifier of rigid polyurethane foams. *Industrial Crops and Products* 115: 40-51.
- Dua VK, Pandey AC, Raghavendra K, Gupta A, Sharma T, Dash AP (2009) Larvicidal activity of neem oil (*Azadirachta indica*) formulation against mosquitoes. *Malaria Journal* 8(1): 124.
- Ehrlich A, Smith MK, Patton TC (1959) Castor polyols for urethane foams. *Journal of the American Oil Chemists Society* 36(4): 149-154.
- Fiorelli J, Curtolo DD, Barrero NG, Savastano Jr H, Pallone EMDJA, Johnson R (2012) Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: an eco-efficient product. *Industrial Crops and Products* 40: 69-75.
- Gerhards CC (1982) Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: an analysis of immediate effects. *Wood and Fiber Science* 14(1): 4-36.
- Kawasaki T, Zhang M, Kawai S (1998) Manufacture and properties of ultra-low-density fiberboard. *Journal of Wood Science* 44(5): 354-360.
- Liao YH, Su YL, Chen YC (2021) The Influence of neem oil and its glyceride on the structure and characterization of castor oil-based polyurethane foam. *Polymers* 13(12): 2020.
- Mo X, Cheng E, Wang D, Sun XS (2003) Physical properties of medium-density wheat straw particleboard using different adhesives. *Industrial Crops and Products* 18(1): 47-53.
- Ogunniyi DS (2006) Castor oil: a vital industrial raw material. *Bioresource Technology* 97(9): 1086-1091.
- Pan Z, Zheng Y, Zhang R, Jenkins BM (2007) Physical properties of thin particleboard made from saline eucalyptus. *Industrial Crops and Products* 26(2): 185-194.
- Pirayesh H, Moradpour P, Sepahvand S (2015) Particleboard from wood particles and sycamore leaves: physico-mechanical properties. *Engineering in Agriculture, Environment and Food* 8(1): 38-43.
- Sharma VP, Ansari MA, Razdan RK (1993)

- Mosquito repellent action of neem (*Azadirachta indica*) oil. *Journal of the American Mosquito Control Association* 9(3): 359-360.
- Somani KP, Kansara SS, Patel NK, Rakshit AK (2003) Castor oil based polyurethane adhesives for wood-to-wood bonding. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 23(4): 269-275.
- Tenorio-Alfonso A, Sanchez MC, Franco JM (2017) Preparation, characterization and mechanical properties of bio-based polyurethane adhesives from isocyanate-functionalized cellulose acetate and castor oil for bonding wood. *Polymers* 9(4): 132.
- Wechsler A, Zaharia M, Crosky A, Jones H, Ramirez M, Ballerini A, Nunez M, Sahajwalla V (2013) Macadamia (*Macadamia integrifolia*) shell and castor (*Ricinus communis*) oil based sustainable particleboard: A comparison of its properties with conventional wood based particleboard. *Materials & Design* 50: 117-123.
- 中華民國國家標準CNS 2215號 (2017) 粒片板。經濟部標準檢驗局。
- 吳承澔、陳奕君 (2017) 蓖麻油與異氰酸酯之反應性及所製備生質基聚胺基甲酸酯發泡體之物理性質。農林學報 64(4) : 215-222。