

# 抑制太平洋鐵木變色之有效方法

◎國立臺灣大學森林環境暨資源學系·蕭念之、張資正、張上鎮 (peter@ntu.edu.tw)  
◎林業試驗所森林化學組·許富蘭

## 太平洋鐵木特性

太平洋鐵木(*Intsia* spp., merbau)為熱帶喬木，主幹通直高大，樹高及樹徑分別可達50 m及2.5 m，主要分布於印度至馬來西亞一帶及太平洋島嶼地區，為豆科(Leguminosae)印茄屬喬木。太平洋鐵木邊、心材差異明顯，黃褐色的心材比例高，氣乾後為暗褐色或帶赤色之暗褐色，心材密度為780~920 kg/m<sup>3</sup>，且物理機械强度高(王松永，1985)。太平洋鐵木心材材色美麗且加工旋削容易，加上其尺寸安定性佳且耐久性良好，可抵抗白蟻、海蟲及真菌等生物之侵害，故為高價值之商用木材(Hillis and Yazaki 1973)，可作為建築結構材、戶外用材、室內裝潢、家具及樓梯等用途，其中，實木地板產品為商業上利用之大宗(Koch et al. 2006)，相關文獻亦指出，以太平洋鐵木心材製作之建築，至少可使用150年而不腐壞，可見其耐用性極佳(Said 2004)；另外，原產地亦將太平洋鐵木心材製成許多珍貴文物如獨木舟、木雕、器皿及武器等，顯示其於當地傳統文化的重要性(Thaman et al. 2011)。

太平洋鐵木心材雖為高價值之商用木材，但其抽出物含有大量的水溶性成分，當製作成產品使用時，其深紅色水溶性抽出成分易被淋洗滲出，造成木材褪色或使鄰近材料染色，此為其利用時之一大缺點(Hillis and Yazaki 1973)，因此，如何防止紅色水溶性抽出成分淋洗滲出之問題，一直是業界關切及亟待解決之課題。先前文獻曾將太平

洋鐵木置於170~200°C進行高溫熱處理(Heat treatment)，可抑制其部分水溶性抽出成分滲出(Hu et al. 2012, Hu et al. 2013)，但木材的機械強度會隨熱處理溫度及處理時間的增加而明顯下降(Yildiz et al. 2006)，此為高溫熱處理的主要缺點。最近，國內一些廠商進口太平洋鐵木，製成產品後，亦同樣遭遇水溶性抽出成分被淋洗滲出，致使周遭物品著色污染，廠商及使用者深受困擾，因此非常希望學界能協助其尋求適當簡易之處理方法。

太平洋鐵木心材之主要抽出成分為酚類化合物(Phenolic compound)－Robinetin，而抽出成分中大量水溶性聚合物之主要單體為Leucocyanidin(Hillis and Yazaki 1973)。這些酚類化合物具有螯合金屬(Metal chelating)之能力(Palma et al. 2003)，常應用於吸附工業廢水中的重金屬(Seki et al. 1997)，或增加木材防腐藥劑之固著性，如硼酸類化合物(Boron compound)、CCA(Chromate copper arsenate)及其他金屬防腐藥劑(Pizzi et al. 1986, Tondi et al. 2012)。因此，本研究嘗試尋求適當簡易之處理方法，包括利用塗裝、化學藥劑反應、金屬離子螯合等方法。根據學理、初步預備試驗結果及考慮應用時之實用性，本研究將太平洋鐵木於常溫低壓下分別含浸7種金屬離子藥劑(FeCl<sub>3</sub>、FeCl<sub>2</sub>、FeSO<sub>4</sub>、CuCl<sub>2</sub>、CuSO<sub>4</sub>、AlCl<sub>3</sub>及Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)及2種硼化合物(H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>及Na<sub>2</sub>BO<sub>7</sub>)，並評估浸水試驗後性質的變化，期能利用植物酚類化合物螯合金屬的特性，使金屬離子與太平洋鐵木紅色水溶性酚類

聚合物形成穩定的錯合物，以提高這些水溶性抽出成分之抗流失性，進而解決太平洋鐵木利用時紅色水溶性抽出成分淋洗滲出的問題。

## 九種藥劑抑制太平洋鐵木水溶性抽出成分滲出效果之比較

未處理之太平洋鐵木，浸水試驗後之重量損失率為7.5%；其水溶液為深紅色，和透明的蒸餾水相比，色差值( $\Delta E^*$ )為28.7。進一步將太平洋鐵木分別以濃度1.0%之7種金屬離子化合物及2種硼化合物處理，於25°C下乾燥後再進行浸水試驗，結果顯示，以 $\text{FeCl}_3$ 、 $\text{FeCl}_2$ 、 $\text{FeSO}_4$ 、 $\text{CuCl}_2$ 及 $\text{AlCl}_3$ 五種藥劑處理試材的重量損失率(< 0.6%)較低，且水溶液之 $\Delta E^*$ 值(< 4.7)較小，顯示這些藥劑處理能有效抑制太平洋鐵木水溶性抽出成分之滲出。此5種有效藥劑包含Fe、Cu及Al三種金屬離子化合物，其中，以Fe及Cu化合物處理材之水溶液 $\Delta E^*$ 值比 $\text{AlCl}_3$ 處理材更低。醫學上已證實，人體內不必要的Al元素之累積，是導致老人失智症—阿茲海默症(Alzheimer's disease)的病因之一(Walton 2013)，因此，使用 $\text{AlCl}_3$ 可能造成人體危害。相較於Al元素，Fe及Cu為生物體必要的微量元素(Dwyer 1964)，具有對人類毒性較低及環境較友善之優點(Flemming and Trevors 1989)。再比較Fe及Cu之氯化物及硫酸鹽化合物，皆以氯化物抑制太平洋鐵木水溶性抽出成分滲出的效果較佳，其浸水試驗後之重量損失率由未處理的7.5%分別下降至 $\text{FeCl}_2$ 之0.3%及 $\text{CuCl}_2$ 之0.4%， $\Delta E^*$ 值分別為1.1及1.2，顏色與透明的蒸餾水相近，一般而言，CIE  $L^*a^*b^*$ 之 $\Delta E^*$ 值低於2時，肉眼幾乎無法辨識(Mannel-Croise and Zelde 2012)。相較

於金屬氯化物，金屬硫酸鹽化合物於水中結構穩定，較不易解離釋出金屬離子，因此減少中心金屬離子與酚類化合物結合而沉澱的機會(Stumm 1995, Su and Puls 2004)，由此得知， $\text{FeCl}_2$ 及 $\text{CuCl}_2$ 與太平洋鐵木水溶性抽出成分反應性較佳，且浸水試驗後，此2種處理材之重量損失率及水溶液之 $\Delta E^*$ 值均最小。

## 不同濃度 $\text{FeCl}_2$ 及 $\text{CuCl}_2$ 抑制太平洋鐵木水溶性抽出成分滲出之效果

由於1.0%  $\text{FeCl}_2$ 及 $\text{CuCl}_2$ 兩種藥劑會與太平洋鐵木紅色水溶性酚類聚合物形成穩定的錯合物，為了對環境更友善，因此希望能使用更低濃度之藥劑，故本研究室進一步比較 $\text{FeCl}_2$ 及 $\text{CuCl}_2$ 三種含浸濃度(0.1、0.5及1.0%)抑制太平洋鐵木水溶性抽出成分滲出之效果。三種濃度 $\text{FeCl}_2$ 處理材之重量損失率並無顯著差異，0.1、0.5及1.0%  $\text{FeCl}_2$ 均能抑制水溶性抽出成分之滲出，但0.1及0.5%  $\text{FeCl}_2$ 水溶液 $\Delta E^*$ 值分別為9.4及5.4，都較1.0%  $\text{FeCl}_2$ 高(1.1)；0.1%  $\text{CuCl}_2$ 處理之太平洋鐵木，其重量損失率仍有3.3%，且水溶液 $\Delta E^*$ 值亦為22.0，顯示0.1%  $\text{CuCl}_2$ 抑制水溶性抽出成分滲出的效果較差，另外，0.5%  $\text{CuCl}_2$ 處理材之重量損失率及水溶液 $\Delta E^*$ 值，皆與1.0%  $\text{CuCl}_2$ 者無顯著差異。由上述結果可知， $\text{FeCl}_2$ 與水溶性抽出成分有較佳的反應性，推測其原因為Fe的原子體積較Cu為小，而錯合物中之金屬離子可視為一路易士酸，與提供孤對電子的酚類化合物形成配位共價鍵，因此原子體積越小，與太平洋鐵木水溶性抽出成分結合的能力就越強(Mellor 1964, Wang et al. 2005)。

## 不同乾燥溫度對藥劑抑制太平洋鐵木水溶性抽出成分滲出之影響

由於低濃度藥劑處理材於25°C下乾燥後抑制太平洋鐵木水溶性抽出成分滲出之效果不佳，為了使其效果獲得改善，本研究室續探討不同乾燥溫度(25、80及100°C)對於0.1% FeCl<sub>2</sub>及CuCl<sub>2</sub>藥劑抑制太平洋鐵木水溶性抽出成分滲出之影響。由先前之結果得知，0.1% CuCl<sub>2</sub>處理材，於25°C下乾燥，其抑制水溶性抽出成分滲出的效果不佳，但由不同乾燥溫度處理之結果得知，若將試材乾燥溫度提升至80°C及100°C，0.1% CuCl<sub>2</sub>處理材之重量損失率由3.3%分別降至1.0及0.6%，水溶液之 $\Delta E^*$ 值則由22.0降為7.4及3.8；另外，0.1% FeCl<sub>2</sub>處理材，於25°C乾燥，其水溶液 $\Delta E^*$ 值為9.4，若置於80°C及100°C乾燥，水溶液 $\Delta E^*$ 值分別降為4.3及2.9。綜合而言，試材含浸0.1% FeCl<sub>2</sub>及CuCl<sub>2</sub>後，抑制水溶性抽出成分滲出之效果隨溫度升高而增強，可有效減少藥劑使用量，且以CuCl<sub>2</sub>增強效果最為顯著。

## 比較FeCl<sub>2</sub>及CuCl<sub>2</sub>抑制太平洋鐵木水溶性抽出成分滲出之效果

本研究室參考AWPA E11-97之標準，將0.1% FeCl<sub>2</sub>及CuCl<sub>2</sub>處理材進行0.5、1、2、4、8及16天淋洗試驗，淋洗試驗0.5天後，未處理太平洋鐵木之重量損失率為5.1%，而FeCl<sub>2</sub>與CuCl<sub>2</sub>處理材及加熱100°C之對照組重量損失率則大幅下降，皆低於1.2%，顯示所有處理皆具有延緩太平洋鐵木水溶性成分滲出之效果。經淋洗試驗16天後，未處理之太平洋鐵木總重量損失率為13.2%，而0.1% FeCl<sub>2</sub>及CuCl<sub>2</sub>處理材，總重量損失皆低於1.7%，若再置於100°C乾燥，其效果與25°C乾燥之1.0%藥劑處理材相同；另外，加熱100°C之對照組，僅可延緩

水溶性抽出成分滲出，但於淋洗16天後的總重量損失率仍達9.2%。根據前人研究結果(Pal et al. 1994, McDonald et al. 1996)推測，溫度會加速金屬離子藥劑氧化催化太平洋鐵木水溶性抽出成分之聚合反應，進而促進抽出成分的固著，因此提升FeCl<sub>2</sub>及CuCl<sub>2</sub>抑制太平洋鐵木水溶性抽出成分滲出之效果，同時，Xia及Taillefer (2008)指出，Fe及Cu之氯化物催化酚類化合物行聚合反應時，其催化效率Cu較Fe高，故0.1% CuCl<sub>2</sub>於100°C乾燥之處理能大幅減少太平洋鐵木紅色水溶性抽出成分滲出。

## FeCl<sub>2</sub>及CuCl<sub>2</sub>處理材之金屬離子固著性

為了解藥劑於木材固著之情形，本研究室使用感應耦合電漿原子發射光譜儀(ICP-OES)監測16天淋洗試驗水溶液中金屬離子濃度。分析結果得知，1.0% FeCl<sub>2</sub>處理材於25°C及100°C乾燥後之總金屬離子釋出量分別為159.8 g/m<sup>3</sup>及144.6 g/m<sup>3</sup>；而25°C及100°C乾燥之1.0% CuCl<sub>2</sub>處理材，其總釋出量分別為383.8 g/m<sup>3</sup>及390.7 g/m<sup>3</sup>。由此結果得知，太平洋鐵木心材含浸1.0% FeCl<sub>2</sub>或CuCl<sub>2</sub>後，即使乾燥溫度提高至100°C，其處理材之金屬離子釋出量仍與25°C乾燥之處理材差異不大，顯示升溫對1.0%濃度處理材之藥劑固著性並無顯著影響；另外，亦得知1.0% FeCl<sub>2</sub>處理材之金屬離子固著性較1.0% CuCl<sub>2</sub>者佳。

然而，由0.1% FeCl<sub>2</sub>及CuCl<sub>2</sub>處理材經由16天淋洗試驗後金屬離子累積釋出量之結果得知，經16天淋洗後，0.1% CuCl<sub>2</sub>處理材於25°C乾燥者，其總金屬離子釋出量最高(95.4 g/m<sup>3</sup>)，且試驗之8~16天間，Cu離子釋出量仍有44.5 g/m<sup>3</sup>之增加量，然而，置於100°C乾燥者，其16天淋洗試驗之金屬離子總釋出量大幅下降為45.6 g/m<sup>3</sup>。另外，0.1% FeCl<sub>2</sub>處理材於25°C乾燥者，其金屬離子總釋出量為31.3 g/m<sup>3</sup>，而置於100°C乾

燥者，金屬離子總釋出量降為 $16.0 \text{ g/m}^3$ ，其值與未處理材( $15.2 \text{ g/m}^3$ )亦無顯著差異。

綜合上述結果得知，使用1.0%  $\text{FeCl}_2$ 及 $\text{CuCl}_2$ 處理太平洋鐵木心材已過量，0.1%之含浸濃度較恰當，且0.1%  $\text{FeCl}_2$ 及 $\text{CuCl}_2$ 處理材於 $100^\circ\text{C}$ 乾燥確實可提升金屬離子與太平洋鐵木心材水溶性抽出成分之反應性，進而增加太平洋鐵木對金屬離子之固著，其中又以0.1%  $\text{FeCl}_2$ 處理材於 $100^\circ\text{C}$ 乾燥後之藥劑固著性較優良。

### $\text{FeCl}_2$ 及 $\text{CuCl}_2$ 處理材之耐腐朽性

為了解太平洋鐵木心材各種處理材之耐腐朽性，乃參考中華民國國家標準CNS 6717木材腐朽性能試驗法，以*Lenzites betulina* (*L. b.*)及*Laetiporus sulphureus* (*L. s.*)兩種菌種進行木塊加速耐腐朽試驗，由降解14週之重量損失率結果得知，未處理材經*L. b.*及*L. s.*降解後之重量損失率分別為0.4%及0.8%，而無抽出物之試材經*L. b.*及*L. s.*降解後之重量損失率則分別增為42.1%及31.2%。然而，淋洗後之未處理材經*L. b.*及*L. s.*降解後之重量損失率皆與未處理材無顯著差異，由此可知，移除16.6%太平洋鐵木心材中易釋出之水溶性抽出成分，不會影響太平洋鐵木心材對於*L. b.*及*L. s.*之耐腐朽能力。

0.1%  $\text{FeCl}_2$ 、0.1%  $\text{CuCl}_2$ 處理材及其經淋洗後之處理材的耐腐朽性與未處理材亦無差別，此結果顯示，即使0.1%  $\text{FeCl}_2$ 及0.1%  $\text{CuCl}_2$ 處理材經過淋洗後，其耐腐朽性仍與未處理材同樣優異。另外，本研究亦證實0.1%  $\text{CuCl}_2$ 處理之太平洋鐵木心材，除了能有效保留太平洋鐵木水溶性抽出成分之外，亦為有效抑制腐朽菌降解木材之藥劑，可提供不含抽出物的太平洋鐵木心材相當之耐腐朽能力。

### $\text{FeCl}_2$ 及 $\text{CuCl}_2$ 處理材之材色變化

太平洋鐵木因美麗的紅褐色外觀而深受

人們喜愛，但其深紅色水溶性抽出成分易被淋洗滲出，除了使木材褪色，亦會污染周遭環境。但利用金屬離子固著其水溶性抽出成分之方法，不但可有效抑制水溶性抽出成分之滲出，亦不會降低其優異的天然耐腐朽能力。然而，經 $\text{FeCl}_2$ 及 $\text{CuCl}_2$ 處理後，木材外觀顏色是否會改變，值得加以探討。未處理太平洋鐵木 $L^*$ 、 $a^*$ 及 $b^*$ 之顏色參數分別為48.6、11.9及20.9。至於0.1%  $\text{FeCl}_2$ 及 $\text{CuCl}_2$ 處理材之外觀， $25^\circ\text{C}$ 下 $\text{FeCl}_2$ 處理材之材色為黑灰色，而於 $100^\circ\text{C}$ 乾燥者，顏色變為黑褐色； $25^\circ\text{C}$ 下 $\text{CuCl}_2$ 處理材之材色與未處理材較相近，而乾燥溫度為 $100^\circ\text{C}$ 者之顏色變為紅褐色。由此結果得知， $\text{CuCl}_2$ 處理太平洋鐵木影響其材色甚低，而 $\text{FeCl}_2$ 處理太平洋鐵木雖然會改變其色相為黑灰色或黑褐色，但改變之色相卻可提供設計者另一選用之參考。

### 抑制太平洋鐵木紅色抽出成分滲出之方法

太平洋鐵木含浸1.0%  $\text{FeCl}_3$ 、 $\text{FeCl}_2$ 、 $\text{FeSO}_4$ 、 $\text{CuCl}_2$ 及 $\text{AlCl}_3$ 五種藥劑能有效抑制太平洋鐵木水溶性抽出成分之滲出，其中，以 $\text{FeCl}_2$ 及 $\text{CuCl}_2$ 效果最佳，又以 $\text{FeCl}_2$ 與抽出成分之反應較佳。此外， $\text{CuCl}_2$ 處理材亦能增強太平洋鐵木的耐腐朽性。另外， $100^\circ\text{C}$ 乾燥溫度可促進金屬離子藥劑與太平洋鐵木水溶性抽出成分之反應，並能有效減少紅色水溶物之滲出。研究結果證實，0.1%  $\text{FeCl}_2$ 及 $\text{CuCl}_2$ 於 $100^\circ\text{C}$ 乾燥之處理材，材色分別為黑褐色及紅褐色，其抑制太平洋鐵木水溶性抽出成分的效果佳，且金屬離子藥劑固著性較優良，為有效抑制太平洋鐵木紅色抽出成分滲出且對環境較友善的方法。(感謝臺中傑樂國際股份有限公司及宜蘭昆晉實業股份有限公司提供試材)☼