

# 相思樹抽出物之新用途—天然光安定劑

◎國立臺灣大學森林環境暨資源學系·張上鎮 (peter@ntu.edu.tw)

◎國立臺灣大學森林環境暨資源學系·張資正

木材是由纖維素(cellulose)、半纖維素(hemicellulose)及木質素(lignin)所構成的天然高分子複合材料，為林木經由二氧化碳的吸收與一連串的生化反應合成後蓄積而來，因此，木材可視為具有碳儲存功能的生態材料。換言之，若將木材加工，製成生活中所用之器物、家具或建築用材等，可延緩二氧化碳釋回大氣中。

然而，當木材暴露於大氣環境中，會與光線、雨水或氧氣等因子交互作用而劣化。在各種大氣環境因子中，紫外線為促使木材劣化最主要的因子，木材表面吸收紫外線後會誘發自由基，然後開始產生一連串的自由基連鎖反應(free radical chain reactions)，這些由紫外線所引起的自由基會與氧氣結合，進而產生光氧化反應(photooxidation)，導致木材變色及劣解；若再與雨水、風或空氣中的污染物作用，

更易加速木材劣化，同時改變木材表面的化學和物理特性，以致降低木質產品的價值。因此，保護木質材料免受環境中各種因子之危害，延長其使用年限，是重要的課題之一。從環保的角度考量，避免木質材料受各種環境因子危害而劣化，除了可減少木材的損耗，減低天然資源的浪費，還可增加碳儲存量。

近幾十年來，木材保存技術已逐漸發展，從簡單的表面塗裝、藥物含浸到較為繁複的化學處理方法，皆已被開發出來。然而，這些方法多以人工合成產物進行處理，雖然能有效減緩木質材料的劣化，但由於處理過程中或是使用時，常會產生對環境及人體有害的物質，造成實際利用上需要另外克服的難題。許多研究結果發現，由植物萃取出的抽出成分具有耐腐朽、殺菌、抗蟲、提升木材光安定性等作用，若能將此應用於木



臺灣相思樹及其心材



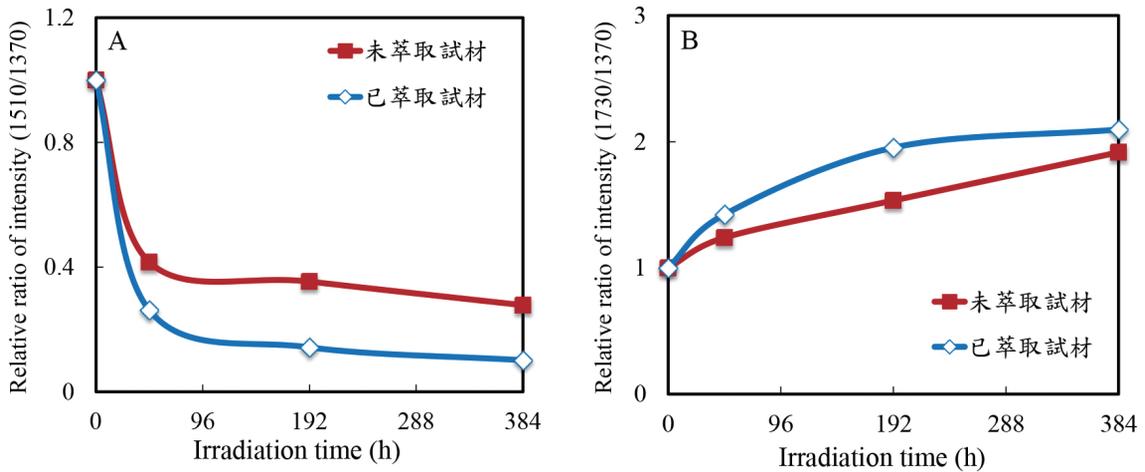


圖 1 相思樹心材照光後由FTIR分析所得木質素(A)與羧基化合物(B)之相對強度比值變化

材保存領域，降低人工合成產物對環境造成的危害，實為一值得開發的木材保存方法。

相思樹(*Acacia confusa* Merr.)為臺灣本土樹種，是早期薪炭材主要來源之一，但隨著薪炭材需求量的減少，相思樹未能有新的用途而淪為雜木。然而，筆者先前對相思樹抽出物進行一系列的抗氧化活性評估，發現心材抽出物(尤其是黃酮類化合物)能有效的減少自由基的生成，除了能當成天然用藥以及保健食品外，是否亦具有開發成天然光安定劑的潛力，值得加以評估與探討。

### 相思樹抽出物對木材木質素光劣化的影響

木材光劣化的過程中，木質素是最主要的劣化成分，因此減緩木質素光劣化，是提升木材光安定性重要之依據。筆者(Chang et al. 2010a)將相思樹心材進行加速耐光試驗並利用傅立葉紅外線光譜(Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)分析木質素光劣化情形發現(圖1)，相思樹心材之木質素相對強度比值( $1,510\text{ cm}^{-1}/1,370\text{ cm}^{-1}$ )隨照光時間增長而降低，且未萃取材降低的程度較少，顯示含有抽出物相思樹之木質素較不易受光線影

響而劣解。至於相思樹心材羧基化合物相對強度比值( $1,740\text{ cm}^{-1}/1,370\text{ cm}^{-1}$ )則隨照光時間增長而增大，長時間照光後，未萃取材之羧基化合物相對強度比值較已萃取的低，顯示長時間照光後含有抽出物之相思樹較不易產生羧基化合物。由此結果得知，相思樹抽出物對木質素具有保護效果，含有抽出物相思樹心材之木質素較不易受光線影響而劣解，並能減少羧基劣化衍生物。

為了更確切地瞭解相思樹心材抽出物如何減緩木材中木質素的劣化，因此將相思樹心材表面進行光電子能譜(X-ray photoelectron spectroscopy, XPS)之粗勘掃描，觀察其碳與氧元素的變化(Chang et al. 2010b)。當相思樹試材照光後，表面O1s的吸收強度增強，已萃取材之O/C比值亦由原來的0.47增加至0.54，而未萃取材之O/C比值則由原來的0.29增加至0.48，顯示未萃取材之氧化程度較大。進一步利用XPS的C1s細勘掃描分析照光後木材表面碳元素鍵結的變化得知，已萃取材經長時間照光後，C2(C-O)之相對比例由48.0%降低至34.4%(圖2)，由於纖維素之光反應性不佳，故可得知此變化主要為木質素光劣化所致，且於劣化後產生醜類、羧基以及羧酸基

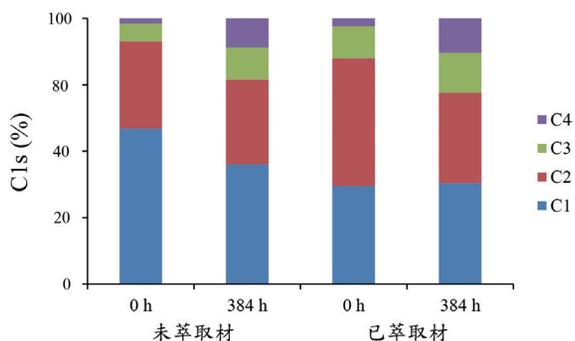


圖 2 由ESCA分析相思樹心材照光後C1s組成之變化

等劣化衍生物，因此使得C3(C=O或O-C-O)與C4(O-C=O)之相對比例各別由12.3%增加至13.9%(C3)及3.3%增加至13.3%(C4)。然而，照光後未萃取材之C2相對比例變化不大，可知未萃取材之木質素劣化程度較低，但其C1(C-C或C-H)之相對比例從59.0%降低至44.7%，顯示抽出物對木材光氧化反應影響甚大，且亦會產生羰基、羧酸基以及醜類等劣化衍生物，進而使C3與C4之相對比例增加。

由上述結果得知，含有抽出物之木材，其參與光氧化反應之主要成分已不再只是木質素，亦即抽出物也參與光氧化反應，因此，照光後未萃取材C1之相對比例會明顯下降，但C2相對比例降低的程度則較已萃取材小。由此得知，當含有抽出物木材的表面經過照光後，抽出物較木質素先行光氧化，產生羰基、羧酸基及其他官能基等劣化衍生物，因此減緩木質素的劣解，換言之，抽出物具有保護作用。

### 相思樹抽出物作為天然光安定劑之評估

一般而言，欲改善木材之耐光性，除了對木材進行改質外，還可適當的添加光安定劑(photostabilizer)以阻斷光線的能量或光劣化途徑，減少光線對木材的影響。如依光安定劑

作用方式之不同可將其分為紫外光吸收劑、自由基捕捉劑、激發態捕捉劑、抗氧化劑與單態氧捕捉劑五類，其中，紫外光吸收劑與自由基捕捉劑(如：hydroxybenzotriazole或hindered amine light stabilizer, HALS)是近年來廣泛被利用之商業化光安定劑，這些光安定劑之添加主要是在吸收光線的能量或阻斷木材的劣化途徑，以改善光線對木材的影響。

由於相思樹心材抽出物具木材光保護能力，因此筆者將相思樹心材抽出物添加至杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)木材中(Chang et al. 2015)，分析其光保護能力，並與市售紫外光吸收劑(Eversorb 80, EV80)與自由基捕捉劑(Eversorb 93, EV93)比較，評估其開發為天然光安定劑之潛力。試驗結果顯示，木材以5%和10%相思樹心材抽出物處理後，除了能有效減緩木材光變色，亦能降低木質素之劣化及羰基劣化衍生物之生成。有趣的是，1%相思樹心材抽出物處理材之光安定性與1% EV80處理材相當，而5%和10%相思樹心材抽出物處理材之光安定性更佳。由上述綜合結果得知，相思樹心材抽出物極具潛力開發成天然光安定劑。

### 相思樹心材抽出物減緩木材光劣化的機制

由於相思樹心材抽出物的保護作用，木質素受光線影響而產生光氧化反應的程度降低，進而緩和木材光劣化。進一步探討心材抽出物之木材光保護機制(Chang et al. 2014)發現，抽出物能藉由吸收紫外光而降低木材自由基之生成。此外，以層析分離技術與FTIR分析抽出物吸收紫外光後的光氧化衍生物推測得知，相思樹

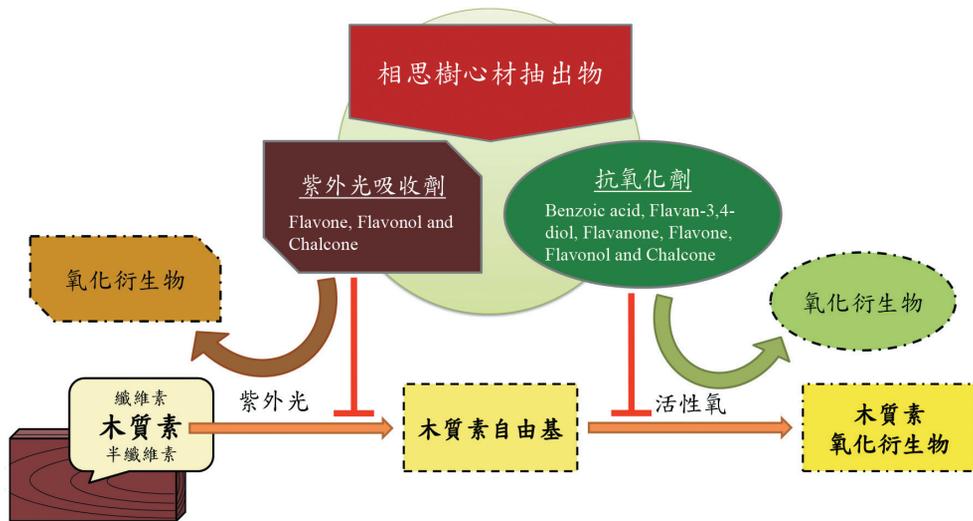


圖3 相思樹心材抽出成分及其抑制木材光劣化的安定機制

心材抽出物中的melanoxetin與transilitin(flavonol類化合物)及7,8,3',4'-tetrahydroxyflavone與7,3',4'-trihydroxyflavone(flavone類化合物)會轉變成鄰醌類化合物、過氧化物或其他氧化衍生物；7,8,3',4'-tetrahydroxyflavanone(flavanone類化合物)會藉由flavanone-chalcone轉換反應變成chalcone(chalcone類化合物)；7,8,3',4'-tetrahydroxyflavone和7,3',4'-trihydroxyflavone(flavone類化合物)亦可能會轉變成flavanone類化合物。而根據GPC(Gel permeation chromatography)之結果推測，melacacidin(flavan-3,4-diol類化合物)會經由聚合反應形成較高聚合度的衍生物(如proanthocyanidin)。

綜合上述結果得知，相思樹心材抽出物可能保護木材之光安定機制如圖3。與木質素相較，相思樹心材抽出成分中的melanoxetin、transilitin及okanin能先吸收紫外光，轉換成其他光氧化衍生物，並降低木材自由基的生成，進而減緩木材劣化。而由本研究室先前探討相思樹心材抽出成分抗氧化能力之結果得知，相思樹心材中含有許多抗氧化能力佳的酚類化合物，其中的主要黃酮類化合物—melacacidin、melanoxetin、transilitin及okanin

具有極佳的抗氧化活性與清除DPPH自由基之能力；另外，Pietta(2000)亦指出植物抽出成分中的酚類化合物為良好的抗氧化物質，能捕捉空氣中的活性氧(reactive oxygen species, ROS)，使光誘發所產生的自由基穩定。

## 結語

綜合相思樹抽出物對心材光劣化的結果可知，相思樹心材抽出物在木材光劣化過程中，黃酮類化合物能吸收紫外光並與活性氧反應，降低木質素自由基生成及光氧化的機會，進而減緩木材的光劣化。然而，相思樹心材抽出成分彼此間是否會因交互作用而提升其木材光保護能力，值得未來進一步探討。相信此對未來木材光劣化的預防或是相關應用都會有所助益。既然相思樹心材抽出物中黃酮類化合物能抑制木材的光劣化反應，這些抽出成分極具有潛力開發成天然光安定劑，提供給塗料、特用化學品、甚至是醫美化妝等相關產業使用，如此更可擴展相思樹抽出物之用途及提升其經濟價值。(感謝科技部經費補助及國立清華大學貴重儀器中心蔡靜雯小姐與陳若琪小姐協助儀器操作與分析)☉