



條紋竹材保綠技術之開發

文、圖 ■ 莊閔傑 ■ 國立花蓮高級農業職業學校森林科教師

張上鎮 ■ 國立台灣大學森林環境暨資源學系教授（通訊作者）

一、前言

竹類為亞洲季節風帶最具代表性的植物。台灣位於亞熱帶，高溫多濕的自然環境，非常適合竹類的生長與繁殖，因此同時具有熱帶型的叢生竹與溫帶型的散生竹。竹類為本省重要之林產及經濟作物。此外，竹子本身具有快速生長、伐期短等特性，使得天然材料的取得極為容易，形成具有發展竹業的優越條件。

為因應工業開發與資訊時代的衝擊，竹材加工業需結合不同領域的產業技術，以便拓展出符合市場需求之多樣化產品。此外，今日於全球商業市場導向下，如何發展並建立商品特色，一直是各企業經營者及貿易商所努力的目標。有鑑於此，筆者以材料開發為基礎，構思這些天然彩繪的竹桿樣貌如何結合竹青保綠技術，將它「歷久彌新」的出現於生活中，以點綴出色彩更豐富的自然生活空間。

近年來，於行政院農業發展委員會努力推廣之下，有關竹類栽培、竹林研究、改良、提升產業技術及推廣等工作，已奠定良好的基礎。竹器產業更結合不同領域的產業技術發展出竹膠合製品、竹炭製品、精緻藝品及竹青

保綠製品等，由此可看出目前竹材應用的產業已朝多樣化面向發展。

青翠碧綠的竹材具有天然美感，竹類中除了普遍可看到的種類，如：麻竹（*Dendrocalamus latiflorus* Munro）、刺竹（*Bambusa stenostachys* Hackel）、綠竹（*Bambusa oldhamii* Munro）、桂竹（*Phyllostachys makinoi* Hayata）及孟宗竹（*Phyllostachys pubescens* Mazel）等竹種，另有一些具特殊自然姿態的竹類，如金絲竹（*Bambusa vulgaris* Schrad. ex Wendl. var. *striata* Gamble）、布袋竹（*Phyllostachys aurea* Carr. ex A. & C. Riv）、葫蘆竹（*Bambusa vulgaris* cv. *Wamin Bambusa ventricosa*）、方竹（*Chimonobambusa quadrangularis* (Fenzi) Makino）或鳳凰竹（*Bambusa multiplex* (Lour.) Raeuschel cv. *Fernleaf* Young）等竹類亦廣被栽植於盆中，供室內外擺設，或配置於茶室、中庭、石景，與流水相互搭配，能呈現出意境美的自然空間。其中，以金黃色竹桿上具有綠色條紋的金絲竹或條紋長枝竹等條紋竹類最為亮麗懾人，可使靜謐的庭園彰顯出大自然豐富的色彩，還能散發出竹的生機與禪意。因此，

若能藉由竹青保綠技術來保有這些天然彩繪的竹桿樣貌，相信必能創造出更多樣的應用空間。

二、竹青保綠技術的現況

「竹青保綠」，就是將竹材透過適當之藥劑及製程處理，使其保有原本吸引人的綠色外觀。近年來，筆者等人戮力於竹青保綠技術的研發與創新，使得竹青保綠技術漸趨成熟，同時在保綠堅牢度方面亦獲得良好的效果。此外，在保綠製程上也有許多突破性的改良，為竹材利用開創出更大的市場潛能。綜合竹青保綠相關研究顯示，台灣幾個經濟價值較高或加工性較佳的竹種保綠藥劑的開發，如孟宗竹 (*Phyllostachys pubescens* Mazel)、麻竹 (*Dendrocalamus latiflorus* Munro) 與桂竹 (*Phyllostachys makinoi* Hayata) 等，均已具有較為理想的低毒性保綠藥劑及較適切的製程。

近年來，相關研究亦陸續開發出具創新性的保綠處理方法，如利用醇溶性 (Alcohol-borne) 及溶劑型 (Solvent-borne) 銅鹽類化合物做為竹青保綠藥劑，或由中華民國發明專利中所揭示的一種低毒性木材防腐藥劑做為水溶性 (Water-borne) 竹青保綠藥劑，上述3種類型皆屬無機鹽類化合物，其處理程序有別於舊式二段式 (Two-step) 處理步驟 (即鹼性前處理及保綠處理)，保綠製程均為單一階段 (One-step) 處理步驟 (圖1)。此類型竹青保綠藥劑除了可獲得良好的保綠效果及本身為低毒性藥劑之外，亦能省去鹼性藥劑前處理的步驟，故能有效降低保綠處理所需之成本。

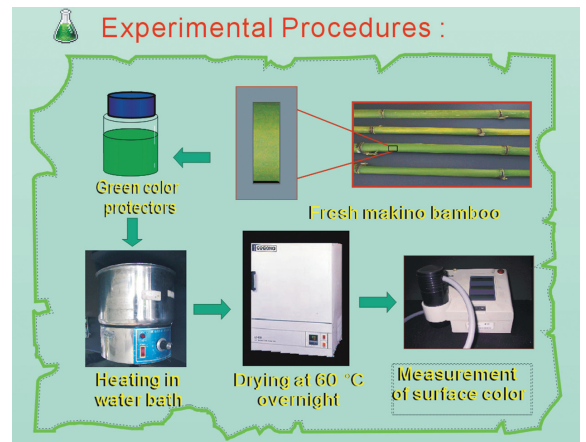


圖1 單階段竹青保綠製程流程圖。

有鑑於此，筆者嘗試進一步開發台灣常見的條紋竹材，如金絲竹、條紋長枝竹、林氏刺竹 (*Bambusa stenostachys* Hackel)、江氏孟宗竹 (*Phyllostachys pubescens* Mazel ex H. de Lehaie)、蘇枋竹 (*Bambusa multiplex* (Lour.) Raeusch.) 及金絲火廣竹 (*Bambusa dolichomerithalla* Hayata) 等 (圖2) 的保綠技術及製程技術，此乃援用原先所開發出的保綠藥劑及處理方法，期能提供一種簡化製程的單一程序方式來完成保綠處理，並能有效地保有條紋竹類原本金黃色竹桿上間有綠色條紋的自然型態，將這些天然彩繪的資材樣貌留存，俾提供另一種可選擇和應用的天然材料。

三、條紋竹竹青保綠藥劑與處理條件之開發

首先，為了開發常見條紋竹材竹青保綠藥劑與處理方法，筆者先選用條紋長枝竹 (*Bambusa dolichoclada* Hayata) 做為無機鹽類藥劑處理的試材，探討醇溶性保綠藥劑

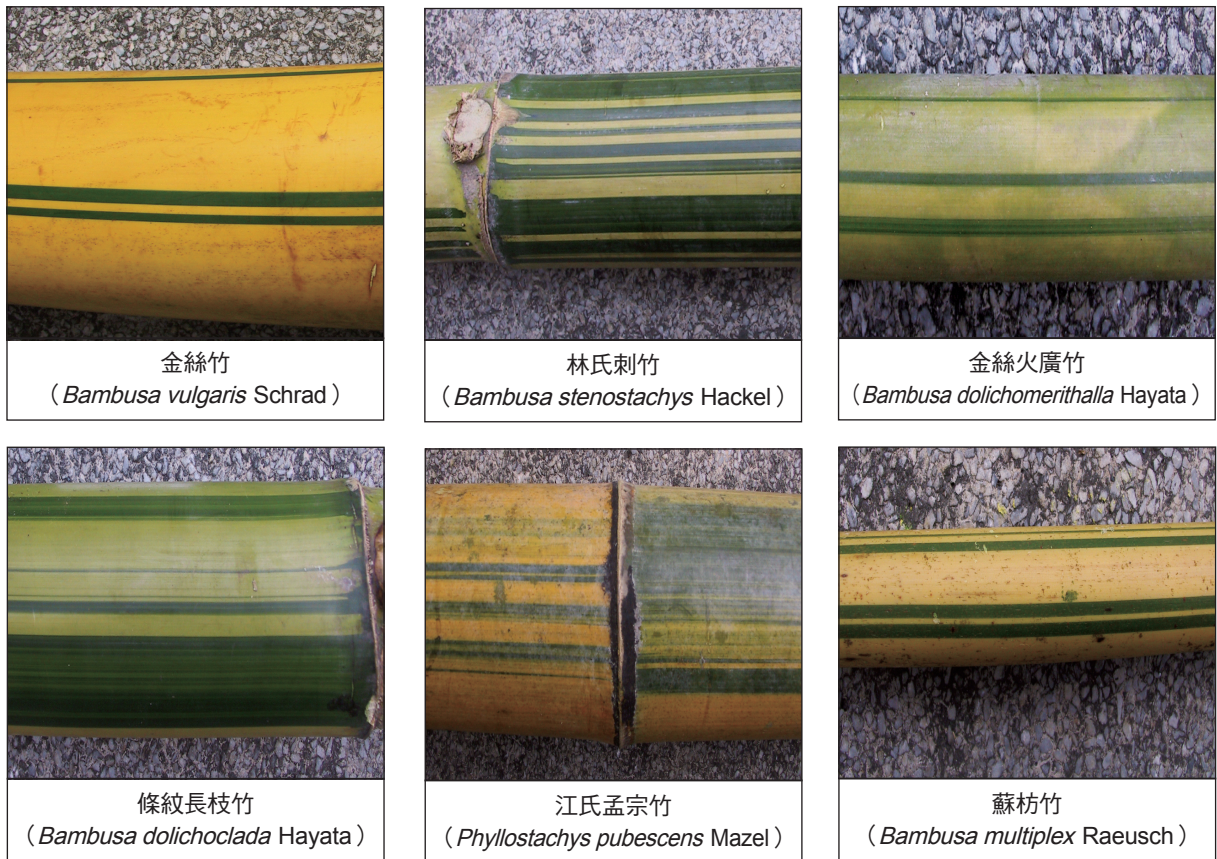


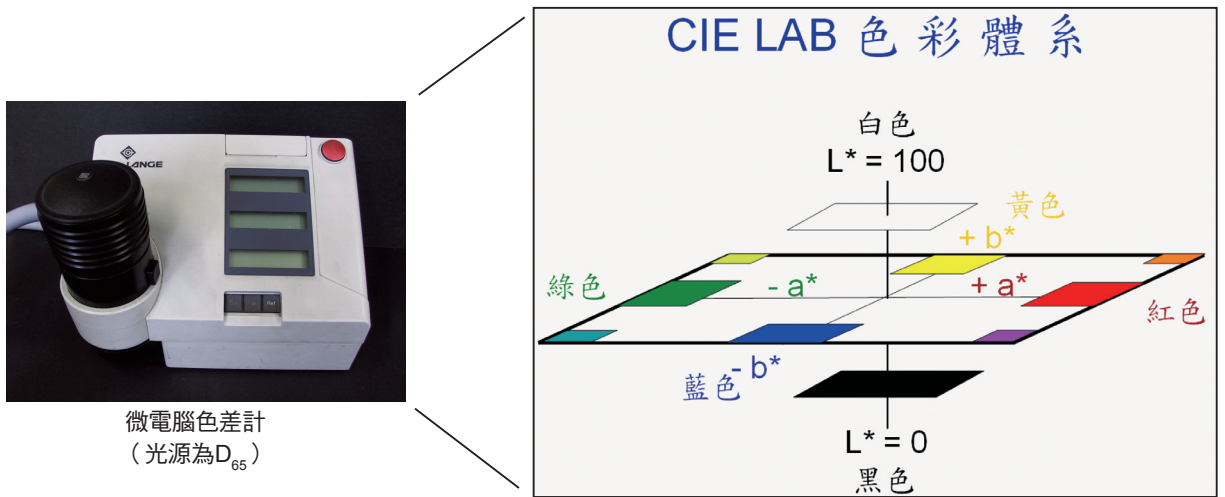
圖2 台灣常見的條紋竹類。

(如：硫酸銅、氯化銅、醋酸銅、硝酸銅及氫氧化銅)、水溶性保綠藥劑(如：鉻磷酸鹽、銅磷酸鹽、銅唑化合物及烷基銅銨化合物)及溶劑型保綠藥劑(環烷酸銅)等不同溶解特性之藥劑對條紋長枝竹表面顏色的影響。接著，以較為理想之保綠藥劑調配成特定濃度之藥劑，再利用各種處理條件(處理濃度、處理時間等)及處理方式(水浴加熱處理及常溫浸漬處理)進行試驗。

竹皮表面顏色之測定，乃採用微電腦色差計(Micro color meter, Dr. Lange Co.)，測定時，係將前述經竹青保綠藥劑處理後之竹材直接置於測試窗上，以測取X、Y、Z三刺激值

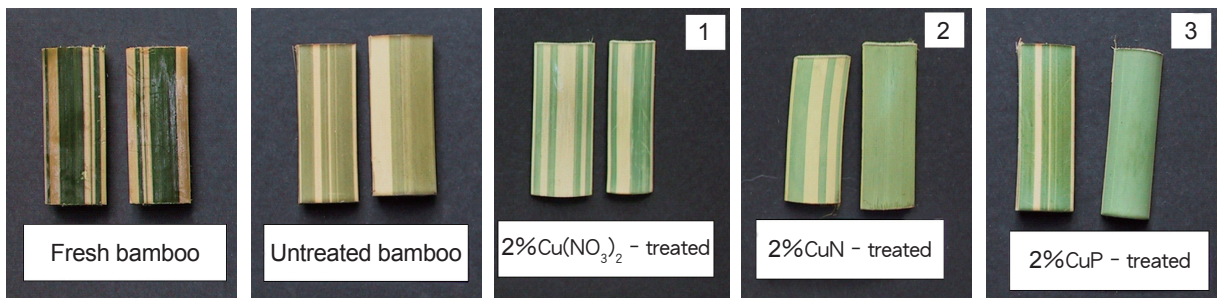
(Tristimulus values)，並依國際照明委員會CIE LAB色彩體系計算出L*、a*、b*等數值(圖3)。其中L*值代表物體表面的明度值，也就是L*值越大表示物體表面較對照組表面明度高；a*值代表紅綠色指標，a*值越大越驅向紅色，a*值越小則偏向綠色；而b*值則代表黃藍色指標，b*值越大黃色越明顯，b*值越小越偏向藍色。這種方式不但客觀、方便，且能比較顏色的差異與變化。

首先，將條紋長枝竹置入各種保綠藥劑中，水溶性藥劑均以100°C加熱2小時，醇溶性及溶劑型藥劑則均以60°C加熱2小時方式完成，試驗結果如圖4所示。由結果顯示，



微電腦色差計
(光源為D₆₅)

圖3 利用微電腦色差計進行竹材表面顏色測定。



備註：1．處理條件：以甲醇為溶劑配製成 2%竹青保綠藥劑，於 60°C 下處理 2 小時。
2．處理條件：二甲苯 / 乙醇為溶劑配製成 2%竹青保綠藥劑，於 60°C 下處理 2 小時。
3．處理條件：以水為溶劑配製成 2%竹青保綠藥劑，於 100°C 下處理 2 小時。

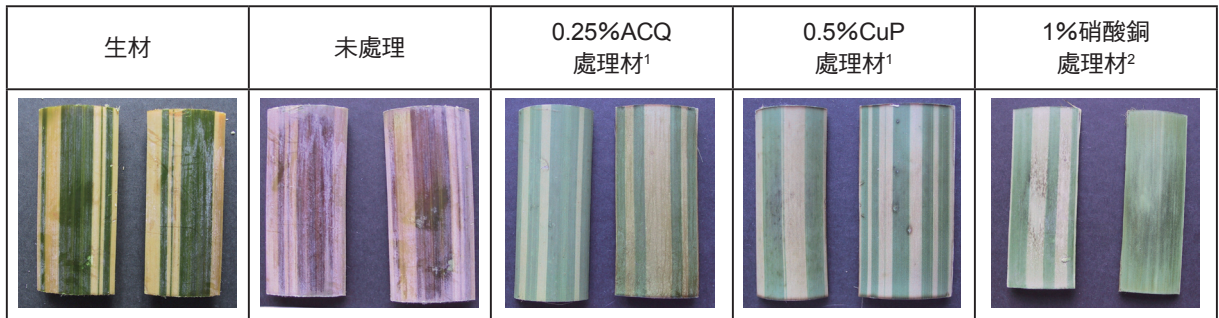
圖4 條紋長枝竹經不同竹青保綠藥劑處理後之結果。

未處理的生材經 105 ± 3°C 烘箱乾燥後，即已失去原本綠色條紋的色澤而呈現灰色調條紋；至於黃色條紋部分，乾燥後亦同樣轉變成灰白色，因此乾燥後之條紋長枝竹完全失去其原有吸引人的特殊色澤與樣貌。

比較 10 種保綠藥劑處理後之效果，竹材經 2% 醇溶性硝酸銅、溶劑型環烷酸銅 (CuN) 及水溶性銅磷酸鹽 (CuP) 3 種藥劑處理後的 a* 值分別為 -7.3、-5.1 及 -8.7，顯示均可獲得較佳的保綠效果，使竹材表面綠色條紋

呈現出質亮的翠綠色澤，至於水溶性銅唑化合物及醇溶性醋酸銅、氫氧化銅處理材表面均不具保綠效果；此外，2% 水溶性烷基銅鉍化合物處理材的綠色條紋雖呈現深墨綠外觀，但先前之試驗結果卻顯示，此藥劑於低濃度下可做為桂竹單階段 (One-step process) 處理之良好保綠藥劑，故值得後續進一步的探討。

根據上述不同藥劑處理後條紋長枝竹表面之顏色變化，另選擇醇溶性硝酸銅



備註：1·處理條件：以水為溶劑配製成竹青保綠藥劑，於100°C下處理2小時。
2·處理條件：以甲醇為溶劑配製成竹青保綠藥劑，於60°C下處理2小時。

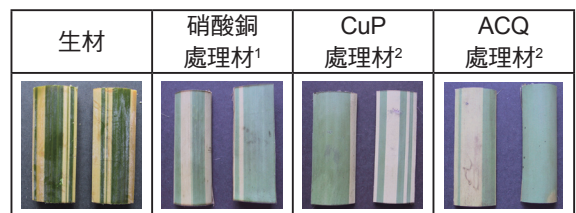
圖5 不同濃度之藥劑對條紋長枝竹竹青保綠效果之影響。

(於60°C下處理2小時)、水溶性銅磷酸鹽及烷基銅銨化合物(於100°C下處理2小時)3種藥劑分別進行不同濃度之試驗，其結果如圖5所示。竹材若只以水(不加藥劑)直接處理，表面綠色條紋部分會轉變為棕色(a^* 值為2.1)；此外，1%硝酸銅處理過的試材，除了有良好的保綠效果(a^* 值為-7.5)外，其 ΔE^* 值(色差值)為2.9，與生材表面的顏色差異亦最小。若以0.5%銅磷酸鹽藥劑處理後，亦可獲得較小的 a^* 值(-5.8)及 ΔE^* 值(1.6)，此即表示可獲得良好的保綠效果。當條紋長枝竹經0.25%烷基銅銨化合物處理後，即具有最佳的保綠效果。由此得知，烷基銅銨化合物於低濃度時對條紋長枝竹有較佳的保綠效果。近年來，烷基銅銨化合物不但開發做為低毒性木材防腐劑，由筆者等人的竹青保綠研究結果得知，烷基銅銨化合物亦可開發做為竹青保綠藥劑之用。

為使保綠藥劑與竹材充分反應，且能有效提升反應速率並縮短保綠處理所需時間，在此選用1%醇溶性硝酸銅與0.5%銅磷酸鹽及0.25%烷基銅銨化合物2種水溶性保綠藥劑，

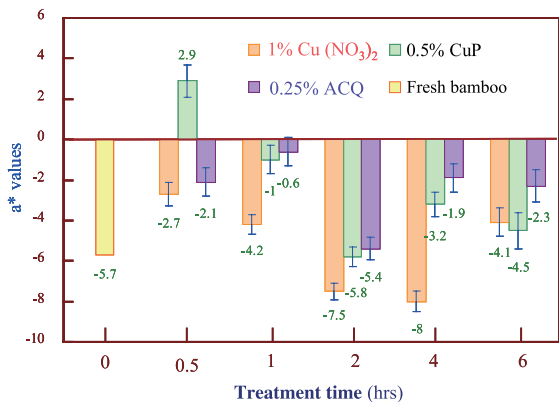
依不同溫度以水浴加熱處理2小時，試驗結果如圖6所示。竹材於1%硝酸銅溶液中以60°C水浴加熱2小時後，其 a^* 值及 ΔE^* 值分別為-7.5與2.9，顯示可獲得極佳的保綠效果。此外，若選用水溶性0.5%銅磷酸鹽與0.25%烷基銅銨化合物於不同溫度下處理2小時，結果得知當處理溫度為100°C時，二者均可獲得最小的 a^* 值(-5.8及-5.5)，表示此2種水溶性藥劑必需以100°C加熱處理，始可獲得最佳保綠效果。

竹材保綠在現場應用上，生產製程中的處理時間亦扮演著相當重要的角色。筆者選用1%硝酸銅與0.5%銅磷酸鹽及0.25%



備註：1·處理條件：以甲醇為溶劑配製成竹青保綠藥劑，於60°C水浴浸漬加熱處理2小時。
2·處理條件：以水為溶劑配製成竹青保綠藥劑，於100°C水浴浸漬加熱處理2小時。

圖6 不同加熱溫度對條紋長枝竹竹青保綠效果之影響。



備註：

保綠藥劑：以甲醇為溶劑配製成1%硝酸銅（w/w）竹青保綠藥劑。

以水為溶劑配製成0.5%銅磷酸鹽（w/w）及0.25%烷基銅銨化合物竹青保綠藥劑。

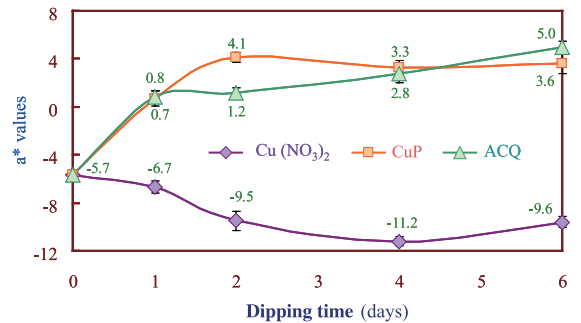
處理條件：1%硝酸銅於60°C水浴浸漬加熱處理。

0.5%銅磷酸鹽及0.25%烷基銅銨化合物於100°C水浴浸漬加熱處理。

圖7 不同加熱時間對條紋長枝竹竹青保綠效果之影響。

烷基銅銨化合物3種銅鹽類藥劑，進行不同處理時間對條紋竹保綠效果影響之評估，試驗結果如圖7所示。條紋長枝竹以1%硝酸銅醇溶性保綠藥劑於60°C下水浴加熱2小時即可獲最佳保綠效果（a*值為-7.5）。另一方面，0.5%銅磷酸鹽及0.25%烷基銅銨化合物2種水溶性保綠藥劑，依不同處理時間於100°C下水浴加熱進行保綠處理，試驗結果顯示，當處理時間為2小時，2種水溶性保綠藥劑均同樣可獲得最佳保綠效果（a*值分別為-5.8及-5.4）。綜合比較3種藥劑之保綠效果得知，條紋竹材經2小時保綠處理後，均可獲得最佳的保綠效果。

除了加熱處理外，筆者亦嘗試使用常溫浸漬進行保綠處理，在此選用1%硝酸銅醇溶性藥劑、1%銅磷酸鹽及烷基銅銨化合物2種



備註：

保綠藥劑：以甲醇為溶劑配製成1%硝酸銅（w/w）竹青保綠藥劑。

以水為溶劑配製成1%銅磷酸鹽（w/w）及1%烷基銅銨化合物竹青保綠藥劑。

處理條件：3種藥劑均於常溫下浸漬處理。

圖8 不同常溫浸漬時間對條紋長枝竹竹青保綠效果之影響。

水溶性藥劑對條紋長枝竹分別浸漬處理1、2、4及6天，依不同浸漬時間評估各別的保綠效果。其a*值變化如圖8所示，竹材以1%銅磷酸鹽及烷基銅銨化合物2種水溶性保綠藥劑於常溫下（25°C）進行浸漬處理，試材表面均不具保綠效果，同時亦不因延長水溶性保綠藥劑之常溫浸漬時間而改善其保綠效果。此結果可能係因竹材若不經適當鹼性藥劑前處理（Alkali pretreatment），無法除去竹材表面的蠟質薄膜（Wax-layer）及矽質小蓋（Silica cap），故竹材表面無法形成一個良好的反應界面，致使水溶性保綠藥劑無法產生良好的保綠效果。然而，當條紋長枝竹於常溫下以1%醇溶性硝酸銅藥劑浸漬2天後，試材表面的a*值為-9.5，顯示具有卓越的保綠效果；將浸漬時間延長至4天及6天，亦顯示具有比加熱處理者更佳的保綠效果（圖9）。此乃係因醇溶性藥劑能將竹材表面蠟質薄膜溶解，

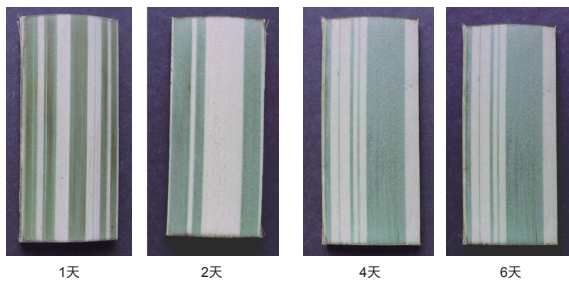


圖9 條紋長枝竹於常溫下以1%醇溶性硝酸銅藥劑浸漬不同時間後之保綠效果。

使得藥液能滲入竹材表層進而與竹材進行反應，故可獲得良好的保綠效果。

四、保綠藥劑處理對台灣6種條紋竹表面顏色之影響

由上述各種藥劑種類及處理條件對條紋長枝竹之保綠效果得知，若能尋得最適保綠藥劑及處理條件，即可使條紋長枝竹保有原有特殊的自然樣貌。筆者挑選2種醇溶性保綠藥劑（1%硝酸銅及氯化銅）和2種水溶性保綠藥劑（0.25%烷基銅銨化合物及0.5%銅磷酸鹽）分別應用於台灣較為常見的另5種條紋竹類（金絲竹、江氏孟宗竹、蘇枋竹、林氏刺竹及金絲火廣竹），並作保綠效果評估，試驗結果如圖10所示。

江氏孟宗竹材以1%醇溶性硝酸銅藥劑處理（於60°C下處理2小時）後，可獲較佳的保綠效果。金絲竹、條紋長枝竹與林氏刺竹3種條紋竹材經0.25%烷基銅銨化合物及0.5%銅磷酸鹽（100°C下加熱2小時）2種水溶性保綠藥劑處理後，均可獲得良好的保綠效果。而蘇枋竹的保綠效果則與金絲竹類似，即0.25%烷基銅銨化合物處理材具最佳保綠效果，且亦

最能保持原有金黃色條紋色澤的樣貌。由圖10亦可得知金絲火廣竹除了0.25%烷基銅銨化合物處理材具有些微保綠效果外，其它如銅磷酸鹽、氯化銅及硝酸銅處理後，均不具保綠效果。此結果可能係因金絲火廣竹幼時呈現淺黃綠及淺綠色相間的縱條紋竹桿外表，但成熟時外表則會由淺綠色轉變成橙黃色，此時即已失去明顯的綠色條紋外表。故此竹材經保綠處理後，仍難以彰顯出良好的保綠效果。

五、結語

筆者等人先前曾嘗試開發麻竹、桂竹及孟宗竹等適用的保綠藥劑與處理方法。於此，進一步對於台灣6種條紋竹類之保綠效果進行評估，由試驗結果得知，利用銅鹽類



（圖片／高遠文化 攝影／游忠霖）

竹種	0.25%ACQ處理材*	0.5%CuP處理材*	1%硝酸銅處理材**	1%氯化銅處理材**
江氏孟宗竹				
金絲竹				
蘇枋竹				
竹種	0.25%ACQ處理材*	0.5%CuP處理材*	1%硝酸銅處理材**	1%氯化銅處理材**
條紋長枝竹				
林氏刺竹				
金絲火廣竹				

備註：處理條件：*：100℃水浴加熱2小時 **：60℃水浴加熱2小時。

圖10 4種保綠藥劑處理台灣6種條紋竹類之效果。



保綠藥劑（如：醇溶性硝酸銅、溶劑型環烷酸銅及水溶性銅磷酸鹽）進行單一程序保綠處理所得的條紋竹材，除了可保有原本黃綠相間的條紋色澤，其綠色條紋部分不致因乾燥而使竹桿表面所含葉綠素經降解（Degradation）轉變為黃褐色之外，還可維持與生材般相似的特殊條紋外觀，保有條紋竹桿的自然表面特性。此外，不同條紋竹類經不同保綠藥劑處理後會產生迥異的保綠效果。本研究開發之保綠藥劑所以具有良好的保綠效果，其原因可能是藥劑僅會與竹桿中所含的葉綠素成分反應，而未與僅含葉黃素（Xanthophyll）的金黃色條紋或竹桿

橫切面的纖維部分反應，由此可知，此特殊的保綠藥劑與綠色染料迥異，僅會與竹材進行表層或局部之化學反應。

綜合以上結果可知，條紋竹材表面不同顏色的條紋並未因保綠處理而改變原本特殊條紋的樣貌，使此保綠處理材有別於表面均一色彩的染著材料。筆者將此研究成果與大家共享，期能藉此拋磚引玉，共同為竹材產業的提升盡一份心力。🌱

參考文獻（請逕洽作者）



（圖片／高遠文化 攝影／游忠霖）