

氨水濃度對孟宗竹展開板物理及機械性質之影響

吳仕揚¹ 吳東霖² 吳志鴻³

【摘要】本研究除比較氨水濃度對孟宗竹 (*Phyllostachys pubescens*) 展開板物理及機械性質之影響外，亦針對其展平良率進行評估。此外，並利用 X-ray 繞射儀 (X-ray diffractometry, XRD) 及全反射式傅立葉紅外線光譜儀 (Attenuated total reflectance-Fourier transform infrared spectrometer, ATR-FTIR)，分析竹材展平後之結晶度指數及官能基變化。試驗結果顯示，經過氨水處理後，竹展開板之質量損失率、抗彎強度、表面顏色變化以及尺寸安定性均較未經氨水處理之對照組高。而在展平良率方面，氨水濃度在 20% 以上時，具有較佳之表面品質，且展平良率可達 95% 以上。再者，經展平處理後，由於非結晶型 (Non-crystalline) 多醣類的降解，試材結晶度指數有提升現象，且隨氨水濃度增加而增加。而進一步以 ATR-FTIR 比較氨水處理組及無氨水處理對照組之官能基變化，可以發現處理組之半纖維素訊號明顯減少，顯示氨水處理會促使試材組成分之降解。

【關鍵詞】 孟宗竹、竹展開板、氨水濃度、物理及機械性質。

Effects of Ammonia Solution Concentration on the Physical and Mechanical Properties of Flattened Bamboo Board from Moso Bamboo (*Phyllostachys pubescens*)

Shi-Yang Wu¹ Tung-Lin Wu² Jyh-Horng Wu³

【Abstract】 The purpose of this study is not only to investigate the effects of ammonia solution concentration on the physical and mechanical properties of flattened moso bamboo board, but also to evaluate the flattening yield after flattening treatment. In addition, the changes in crystallinity index and functional group of bamboo were also determined by X-ray diffractometry (XRD) and attenuated total reflectance-Fourier transform infrared spectrometer (ATR-FTIR), respectively. The results showed that the mass loss, flexural strength, surface color change, and dimensional stability of ammonia pretreated bamboo were higher than those of untreated one. In terms of the flattening yield, when the ammonia solution concentration was above 20%, the flattened bamboo board exhibited a better surface quality, and the flattening yield could reach to more than 95%. Moreover, the crystallinity index of flattened board increased with increasing the ammonia solution concentration due to the degradation of non-crystalline polysaccharides. The specific signals of bamboo hemicellulose decreased significantly after pretreatment with the aqueous ammonia, as revealed by ATR-FTIR analysis. This result showed that ammonia solution could degrade the components of bamboo specimens during the flattening process.

【Key words】 Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*), Flattened bamboo board, Ammonia solution concentration, Physical and mechanical properties.

¹ 國立中興大學森林學系研究生。

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

² 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.

³ 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

I、前言

台灣因位處於熱帶及亞熱帶交替地區，氣候條件及生育地環境因子特殊，極適合竹類生長。而且因竹類具有生長快、成材早、產量高以及材質好等諸多優點，廣泛的應用於日常生活當中，舉凡家具、編織、建築、造紙及傳統手工藝等均為其利用標的。因此在亞洲甚至全世界，均將竹材視為重要之再生性自然資源。目前，台灣竹材的利用主要係以孟宗竹 (*Phyllostachys pubescens*)、麻竹 (*Dendrocalamus latiflorus*)、綠竹 (*Bambusa oldhamii*)、桂竹 (*P. makinoi*)、長枝竹 (*B. dolichoclada*) 及刺竹 (*B. stenostachya*) 為主。其中，由於孟宗竹竹肉較為厚實，因此具有良好之加工性，再加上除台灣本島外，中國亦是孟宗竹主要產地之一，故具穩定之供應來源，所以常作為多數業者應用之竹種 (文化部, 2014)。然而，竹材因受限於中空圓筒狀的外形，使竹材在利用範疇上也產生了諸多限制。因此，為了增加竹材的可利用性，可將竹材軟化 (Softening)，並直接展平成平面竹板，不僅可以將其改變成較易使用之平板狀，亦能改善其物理及機械性質，進而提升竹材之利用率，同時可促進竹材加工業之發展。

一般而言，傳統の木竹材軟化處理可大致分為物理及化學兩種方式。在物理方式中，水煮處理為常見之軟化手法之一，此方法係以水做為加熱介質，使其進入材料內部並破壞纖維素 (Cellulose) 非結晶區、半纖維素 (Hemicellulose) 及木質素 (Lignin) 間之氫鍵而達到軟化效果。此外，水在軟化過程中亦扮演著塑化劑 (Plasticizing agent) 的角色，隨著含水率的不同，竹材之軟化溫度介於 80–200°C 間 (Parkkeeree *et al.*, 2014)。而化學處理則主要係利用液態氨、氨水、氨氣、亞胺、氫氧化鈉溶液、尿素、丙三醇及醛類物質等化學試劑來進行軟化；其中，又以氨類藥劑處理之綜合效果最佳 (趙有科等, 2010)。其原因係因氨具有強烈的極性，除了能與木竹材三大組成分發生作用外，亦能破壞纖維素結晶區之氫鍵而增進膨潤的效果。因此，本研究即以孟宗竹為材料，利用不同濃度之氨水對其進行軟化處理並製備成竹展開板，除探討氨水處理濃度對竹展開板物理及機械性質之影響外，並對其展平良率

(Flattening yield) 進行評估。

II、材料與方法

(I) 試驗材料

1. 孟宗竹

取自於台大實驗林管理處水里營林區第 16 林班，竹齡為 3 年生。試驗前，先分別對其節間長、圓周長、直徑及厚度進行量測。之後，選擇直徑大於 5 cm 且節間長度 15 cm 以上之部分做為利用，並由下至上對各節進行編號。試驗時，取其第 11–20 節處去節之竹管，沿其弦向將其 1/3 剖，並裁切為長 15 cm 之竹片進行展平處理。

2. 氨水 (Ammonia solution, 30%)

購自 Merck 化學公司之分析級試藥。

(II) 試驗方法

1. 氨水處理

本試驗係先將竹材絕乾秤重後，再浸泡於水中，直至其沉於水面下，之後分別置入濃度 10%、20% 及 30% 之氨水中浸泡 48 h，藉此將竹材軟化後，始進行展平處理。

2. 竹材展平處理

本試驗係以熱壓機 (Hot press) 分別對經濃度 10%、20% 及 30% 之氨水處理組及無氨水處理之對照組試片進行展平處理，熱壓溫度為 180°C，時間為 60 min。先將經處理後之竹材試片置於熱板上，並根據其厚度的不同，分別放置適當厚度之定厚墊條於竹片旁，以進行定厚。竹黃面朝下平放於下熱板，竹青面朝上調整與上熱板接觸後，再經過 1 min 的預熱，即可緩慢對竹片進行加壓，直至其完全展平後，以 5 MPa 之壓力進行壓縮，使其達到預設之 30–40% 壓縮率 (Compression ratio)。當到達預設時間後，於持壓狀態下進行同台冷卻，待熱板溫度降至 50°C 以下後即可解壓取出試材 (吳仕揚等, 2014)。之後，量測試材厚度並置於 20°C、65% RH 之環境下調濕 14 天，以供後續各項物理及機械性質檢測。

(III) 性質分析

1. 物理性質分析

(1) 壓縮率

將長 150 mm 之竹材試片置於 20°C、65% RH

之恆溫恆濕室調整至恆重，於材面上標記 5 點，並測量其厚度。接著在展平處理後，立即測量展開板之 5 點厚度，並依下式計算試片壓縮率。

$$\text{壓縮率 (\%)} = [(t_0 - t_1)/t_0] \times 100$$

式中， t_0 為試片展平處理前之 5 點平均厚度 (mm)， t_1 則為試片展平處理後之 5 點平均厚度 (mm)。

(2) 密度

將試材裁切成長 150 mm、寬 10 mm 之試片，置於 20°C、65% RH 之恆溫恆濕室中調整至恆重，並測定其質量。接著再以排水法測定其體積 (10 sec 內完成測定)，並依此計算試片氣乾密度。

(3) 質量損失率

量測展平處理前後試片之絕乾質量後，依下式計算試片質量損失率。

$$\text{質量損失率 (\%)} = [(W_0 - W_1)/W_0] \times 100$$

式中， W_0 為展平處理前試片之絕乾質量 (g)， W_1 為展平處理後試片之絕乾質量 (g)。

(4) 24 h 吸水率及吸水厚度膨脹率

將試材裁切成長 50 mm、寬 20 mm 之試片，置於 20°C、65% RH 之恆溫恆濕室中調整至恆重，於材面上標記 3 點，並測定此 3 點之厚度及試片質量。之後，將試片水平置入 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 之水中，置入深度為距水面下 25 mm，試驗時間為 24 h。測定試片吸水後之厚度及質量後，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 為試片吸水前之 3 點平均厚度 (mm)， t_1 為試片吸水後之 3 點平均厚度 (mm)。

(5) 吸水厚度回彈率 (Springback)

將試材裁切成長 50 mm、寬 20 mm 之試片，置於 20°C、65% RH 之恆溫恆濕室中調整至恆重，於材面上標記 3 點，並測定此 3 點之厚度。而試驗方法同前述之竹展開板吸水率及吸水厚度膨脹率檢測方式，並參考 Kutnar 及 Kamke (2012) 之方式，依下式求得試片之厚度回彈率。

$$\text{厚度回彈率 (\%)} = [(t_2 - t_1)/(t_0 - t_1)] \times 100$$

式中， t_0 為竹材展平前之 3 點平均厚度 (mm)， t_1 為竹展開板浸水前之 3 點平均厚度 (mm)，而 t_2 則為竹展開板經 24 h 浸水後之 3 點平均厚度 (mm)。

2. 抗彎強度及抗彎彈性模數分析

本試驗參考 CNS 454 (2013) 之檢測標準，將試材裁切成長 150 mm、寬 10 mm 之試片後，置於 20°C、65% RH 之恆溫恆濕室中調整至恆重，並測量其質量、長度、寬度及厚度。之後，竹青面朝下，以試片厚度 14 倍之載重跨距及 7 mm/min 之載重速度進行中央集中載重抗彎試驗。記錄試片之最大載重值及經時載重與變形量，並依此計算試片之抗彎強度及抗彎彈性模數。

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

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

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與下限載重之差值 (N)， ΔY 為 ΔP 相對之跨距中央之彎曲變形量 (mm)。

3. 表面顏色變化

本試驗係採用 Minolta CM-3600d (Japan) 之色差計 (Color difference meter) 進行測量，光源為 D_{65} ，測試窗直徑為 4 mm，視角為 10° 。測試時，將試片竹青面直接置於測試窗上，測取 L^* 、 a^* 及 b^* 之顏色參數，並依照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^* 等數值，其計算公式如下：

$$\Delta L^* = L_1^* - L_0^*$$

$$\Delta a^* = a_1^* - a_0^*$$

$$\Delta b^* = b_1^* - b_0^*$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

式中， L_0^* 、 a_0^* 及 b_0^* 分別為展平處理前試材之明度值、紅綠參數值及黃藍參數值。 L_1^* 、 a_1^* 及 b_1^* 則為展平處理後試材之明度值、紅綠參數值及黃藍參數值。而 ΔL^* 、 Δa^* 及 Δb^* 則為展平前後之 L^* 、 a^* 及 b^* 變化值， ΔE^* 則為色差值。

(IV) X-ray 繞射 (X-ray diffractometry, XRD)

分析

本試驗使用科技部貴儀中心 MAC science

MXP18 (Japan) 之 X-ray 繞射儀進行分析。分析之樣品係採通過 100 mesh 之竹材粉末，分析時所用的光源為 $\text{CuK}\alpha_1$ (40 kV, 30 mA)，掃描角 (2θ) 為 $2\text{--}35^\circ$ ，掃描速率為 $2^\circ/\text{min}$ 。而分析所得之結果，則依下式計算試材之纖維素結晶度指數 (Crystallinity index, CrI)。

$$\text{CrI} (\%) = [(I_{002} - I_{\text{am}}) / I_{002}] \times 100$$

式中， I_{002} 為纖維素 002 結晶面之最大繞射強度 ($2\theta = 22^\circ$)，而 I_{am} 則為纖維素非結晶區之繞射強度 ($2\theta = 18^\circ$)。

(V) 全反射式傅立葉轉換紅外線光譜 (Attenuated total reflectance-Fourier transform infrared spectrometer, ATR-FTIR) 分析

本試驗以 Perkin-Elmer Spectrum 100 (UK) 傅立葉轉換紅外線光譜儀 (FTIR)，搭配全反射式 (ATR) 附件，測定官能基之變化。分析之樣品係採通過 100 mesh 之竹材粉末。分析時所採用之解析度為 4 cm^{-1} ，掃描次數為 32 次，掃描波數 (Wavenumber) 範圍為 $4000\text{--}650 \text{ cm}^{-1}$ 。

(VI) 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)，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) 物理性質

1. 壓縮率及密度

圖 1 為竹材經不同濃度氨水處理並展平後之壓縮率及密度，由圖中可以發現，無氨水處理對照組之壓縮率僅 28%，低於預設值之 30–40%，且與氨水處理組有明顯之差異。另外，氨水濃度對竹展開板壓縮率並無顯著影響，顯示只需少量的氨即可促進其軟化效果。而造成上述對照組壓縮率較低之原因，主要除了水分子難以進入纖維素之結晶區之外，於展平過程中，水分亦不斷地散失 (含水率下降)，使竹材組成分之軟化溫度上升，進而導致竹材無法有效地壓縮至預設厚度。此外，在密度方面，氨水處理組之密度介於 $1248\text{--}1309 \text{ kg/m}^3$ 間，三組間無顯著差異。然而，

三種氨水濃度中，除 20% 處理組外，均與對照組無統計之差異。根據 Kutnar 等人 (2008) 之報告指出，試材之密度會隨著壓縮率的增加而增加。而且，根據吳仕揚等人 (2014) 之報告發現，竹材之密度於展平處理後均有顯著的提升，相較於展平前 ($572\text{--}817 \text{ kg/m}^3$)，約增加了 57–108%。然而，在本試驗中，氨水處理組與對照組間密度差異並不顯著，故推測上述密度差異可能係竹材本身之變異所致。

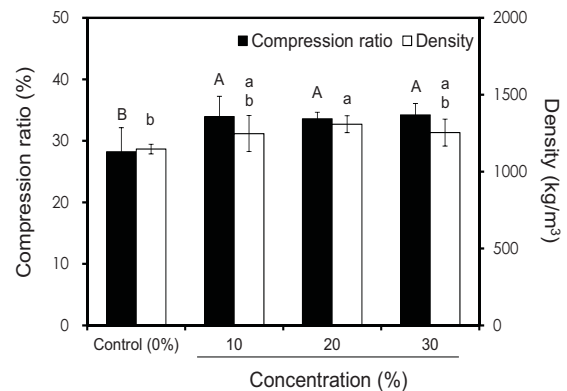


圖 1、氨水濃度對竹展開板壓縮率及密度之影響
Fig. 1. Effects of ammonia solution concentration on compression ratio and density of flattened bamboo boards. Values are mean \pm SD ($n = 6$). Bars with different letters indicate significant difference ($p < 0.05$).

2. 質量損失率

氨水濃度對竹展開板質量損失率之影響如圖 2 所示，由圖中可以發現，試材質量損失率隨著氨水濃度之提升而增加，當處理濃度為 30% 時，其損失率為 4.5%，此與無氨水處理對照組之質量損失率 (3.0%) 有明顯差異。該結果顯示，以氨水進行前處理時，會造成竹材相當程度之質量損失。推測其原因，除可能為部分鹼可溶抽出物的淋溶流失之外，亦可能係耐化學性較差之半纖維素及部分木質素分解所致，而此部分將於後續之 FTIR 分析中作進一步的探討。

3. 24 h 吸水率及吸水厚度膨脹率

氨水濃度對竹展開板 24 h 吸水率及吸水厚度膨脹率之影響如圖 3 所示，由圖中可以得知，氨水處理組之吸水率均較無氨水處理之對照組 (26%) 為低，且當氨水濃度由 10% 增加至 30% 時，其吸水率則由 13.9% 降至 8.9%。顯示，隨著氨水

處理濃度的增加，其試材吸水率隨之下降。另外，在吸水厚度膨脹率方面，亦呈現相同之趨勢，其值由大至小依序為 18.3%（無氨水處理之對照組）、7.0%（10%氨水）、6.5%（20%氨水）及 4.0%（30%氨水）。由此得知，利用氨水進行前處理時，可以改善竹展開板之尺寸安定性。推測其原因，可能係試材經鹼性氨水處理後，會造成親水性組成成分的移除或降解，而導致其疏水性提高所致。

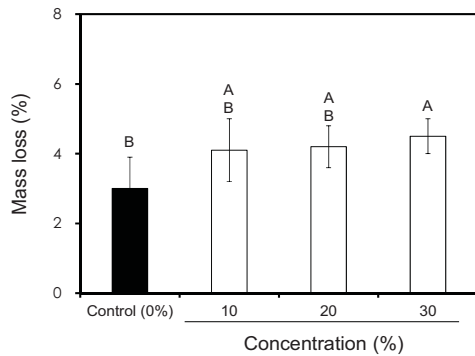


圖 2、氨水濃度對竹展開板質量損失率之影響
Fig. 2. Effects of ammonia solution concentration on mass loss of flattened bamboo boards. Values are mean \pm SD ($n = 6$). Bars with different letters indicate significant difference ($p < 0.05$).

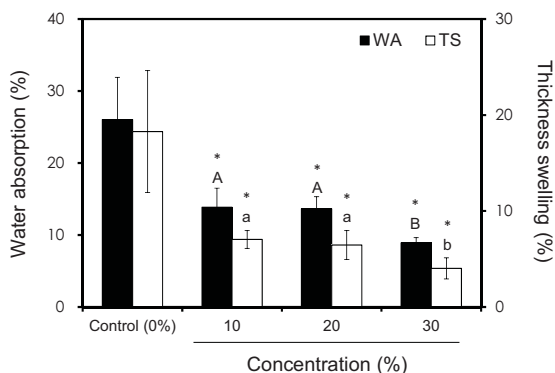


圖 3、氨水濃度對竹展開板吸水率及吸水厚度膨脹率之影響

Fig. 3. Effects of ammonia solution concentration on water absorption and thickness swelling of flattened bamboo boards. Values are mean \pm SD ($n = 6$). Bars with different letters indicate significant difference ($p < 0.05$). * $p < 0.05$, compared with control. WA: water absorption, TS: Thickness swelling.

4. 吸水厚度回彈率

圖 4 為氨水濃度對竹展開板吸水厚度回彈率之影響，由圖中可以得知，無氨水處理對照組之回彈率為 62.6%，明顯高於處理組之 18.2%（10%氨水）、14.1%（20%氨水）及 9.3%（30%氨水）等回彈率。另外，試材之回彈率隨氨水處理濃度的增加而下降，顯示以氨水進行前處理可以提升試材之尺寸安定性，且其改善效果隨處理濃度之提升而增加。以無氨水處理之對照組及 30%氨水處理組為例，其浸水前後之試材厚度變化如圖 5 所示。根據 Morsing (2000) 之研究指出，壓縮木之尺寸安定性可透過以下 3 種方式改善：1、降低木材細胞壁之親水性，使水分難以進入，以防止木材再度軟化；2、使木材內部之組成成分形成共價交聯 (Covalent crosslink) 抑制其變形；3、在壓縮過程中釋放儲存於微纖維及聚合物基質中的應力。因此，推測造成上述回彈率隨氨水處理濃度增加而下降之原因，主要係由於氨具有強烈之極性，能夠進入纖維素之結晶區降低纖維素分子間氫鍵結合力，因此於展平過程中具有較佳之塑性，此有助於釋放熱壓過程中所產生的內應力，降低試材展平後之殘餘應力，進而改善其尺寸安定性。此外，在質量損失率之試驗中亦發現，處理組之質量損失率較對照組高，推測其原因主要係在前處理過程，組成成分中之半纖維素等親水性物質的降解與流失，使試材之吸水性下降，進而提升竹展開板尺寸安定性之改善。

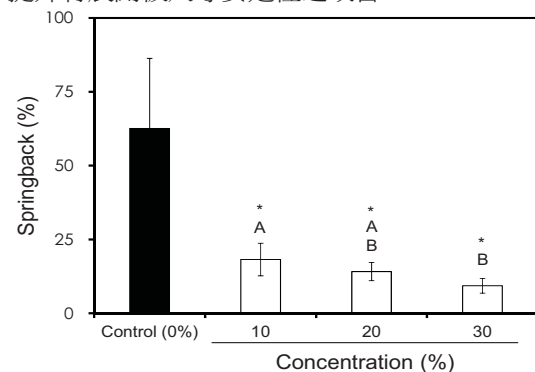


圖 4、氨水濃度對竹展開板厚度回彈率之影響
Fig. 4. Effects of ammonia solution concentration on springback of flattened bamboo boards. Values are mean \pm SD ($n = 6$). Bars with different letters indicate significant difference ($p < 0.05$). * $p < 0.05$, compared with control.

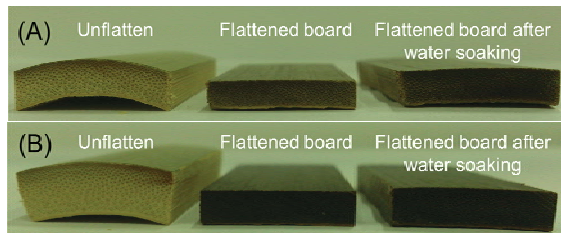


圖 5、竹展開板浸水後之厚度變化。(A) 無氨水處理之對照組 (0%)；(B) 30% 氨水處理組。

Fig. 5. Changes in thickness of flattened bamboo boards after water soaking. (A) Control (untreated), (B) Treatment with 30% ammonia solution.

(II) 抗彎強度及抗彎彈性模數

圖 6 為竹材經不同濃度氨水處理並展平後之抗彎性質變化，由圖中可以得知，無氨水處理對照組之 MOR (280 MPa) 較處理組為低。而比較處理組間之差異則可以發現，氨水濃度對試材之 MOR 並無顯著影響。以氨水濃度 10%、20% 及 30% 處理者，其 MOR 分別為 333、360 及 336 MPa。另一方面，氨水濃度對竹展開板之 MOE 亦無明顯之影響，處理濃度由低至高之 MOE 值依序為 13.3、14.2 及 18.1 GPa。而無氨水處理對照組之 MOE 則為 12.2 GPa，其與 30% 處理者有統計上差異。造成上述結果之原因，主要可能係試材之抗彎性質隨著壓縮率的提高而增加所致 (Kutnar *et al.*, 2008)。

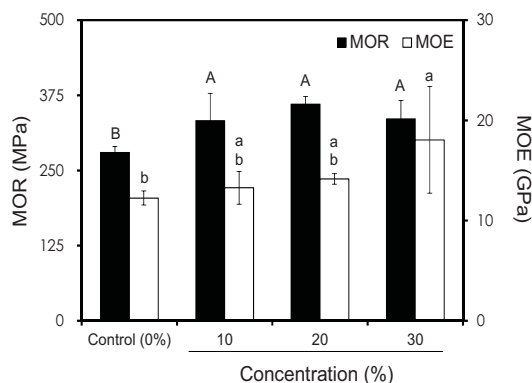


圖 6、氨水濃度對竹展開板抗彎性質之影響

Fig. 6. Effects of ammonia solution concentration on flexural property of flattened bamboo boards. Values are mean \pm SD ($n = 6$). Bars with different letters indicate significant difference ($p < 0.05$).

(III) 表面顏色變化

表 1 為竹材經不同濃度氨水處理並熱壓展平後之表面顏色變化情形，由表中可以得知，氨水處理組之 ΔL^* 值明顯較無氨水處理之對照組 (-2.9) 低，顯示利用氨水進行前處理會使試材之表面顏色加深，此結果與 Miklečić 等人 (2012) 之試驗結果相似。另外，氨水濃度對 ΔL^* 值則無明顯之影響，三者之 ΔL^* 值為 -10.9~-10.5。再者，無氨水處理之對照組及處理組之 Δa^* 均為正值，顯示試材經氨水處理後表面顏色偏紅，而氨水濃度同樣對處理組之 Δa^* 值無顯著影響。此外，對照組 Δb^* 值為 0.8，明顯高於處理組之 -7.6~-6.6，顯示經氨水處理後，試材之表面顏色偏藍，且隨氨水濃度之增加而加劇。另一方面，表中對照組之 ΔE^* 值為 9.2，明顯低於處理組 (14.1~14.6)，顯示經氨水處理後之竹材，其顏色差異較為顯著；其中，尤以對 L^* 值之影響最大。而造成處理組試材表面顏色加深之原因，可能係氨與試材之抽出成分反應有關 (Miklečić *et al.*, 2012)。

(IV) 展平良率

為了瞭解氨水濃度對竹展開板展平良率之影響，本試驗參考 Liu 等人 (2013) 之分類法，根據竹材展平後之表面裂隙程度，共分成下列三種類型：Type 1 為竹材尚未完全展平時即產生開裂或於展平後在其竹黃面產生裂隙，且深度大於其厚度之 1/2 者；Type 2 為裂隙深度小於其厚度之 1/2 者；Type 3 則為竹黃面無任何裂痕者。其中，Type 1 視為展平失敗，而 Type 2 及 Type 3 均視為展平成功，故二者之加總即為展平良率 (Flattening yield)。由表 2 中之試驗結果可以得知，在無氨水處理之對照組方面，其展平良率雖為 93%，但 Type 1 及 Type 2 竹展開板比率分別為 7% 及 40%，顯示在未經氨水處理的情況下，製備出的竹展開板約有 5 成表面是有瑕疵的。推測造成此現象之原因可能係未經氨水處理之竹材，軟化程度不足所致。另一方面，經由氨水前處理，展平良率可提高至 95% 以上。然而，當處理濃度降至 10% 時，竹展開板之竹黃面出現微裂痕之情形 (Type 2) 有增加之趨勢，顯示在此濃度下，氨水之軟化效果已出現不足之現象。因此，為降低竹展開板表面出現裂隙之情形，氨水之處理濃度應維持在 20% 以上。

表 1、氨水濃度對竹展開板表面顏色之影響

Table 1. Effects of ammonia solution concentration on surface color of flattened bamboo boards.

Concentration (%)	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
Control	-2.9 ± 0.8^A	8.6 ± 0.6^A	0.8 ± 0.3^A	9.2 ± 0.3^B
10	-10.5 ± 0.8^B	6.7 ± 0.3^B	-6.6 ± 0.4^B	14.1 ± 0.7^A
20	-10.9 ± 0.4^B	6.5 ± 0.3^B	-7.0 ± 0.2^{BC}	14.5 ± 0.4^A
30	-10.7 ± 0.4^B	6.4 ± 0.3^B	-7.6 ± 0.4^C	14.6 ± 0.4^A

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

表 2、氨水濃度對竹展開板展平良率之影響

Table 2. Effects of ammonia solution concentration on flattening yield of flattened bamboo boards.

Concentration (%)	The number of samples (n)			Flattening yield (%)
	Type 1	Type 2	Type 3	
Control	1	6	8	93
10	0	3	12	100
20	0	0	15	100
30	1	2	17	95

The samples of control, 10% and 20% ammonia solution concentration were replicated 15 times.

The sample of 30% ammonia solution concentration was replicated 20 times.

(V) X-ray 繞射分析

爲了瞭解氨水濃度對竹展開板結晶度之影響，本試驗以 X-ray 繞射儀對試材進行分析，其結果如圖 7 所示。圖中，掃描角 (2θ) 於 18° 及 22° 之訊號分別爲木質纖維素之非結晶與纖維素 002 結晶面之繞射峰。經由計算其結晶度 (CrI) 可以發現，處理組之 CrI 值明顯較無氨水處理之對照組爲高，且隨著氨水濃度之提升，CrI 值似乎有隨之增加之趨勢，其 CrI 值由大至小依序爲 58.0% (30% 氨水)、56.8% (10% 氨水)、56.0% (20% 氨水) 及 53.0% (無氨水處理之對照組)。而造成上述結果之原因，主要係氨水處理造成試材化學組成之變化，導致其結晶度的改變 (Weigl *et al.*, 2012)，而隨結晶度的增加，試材之尺寸安定性亦會獲得改善 (林曉洪、林盈宏，2011)。

(VI) 全反射式傅立葉轉換紅外線光譜分析

爲了瞭解展平處理及氨水濃度變化對竹材官能基之影響，本試驗利用 ATR-FTIR 進行分析，並以 1030 cm^{-1} 之吸收峰進行標準化

(Normalization)，其試驗結果如圖 8 所示。其中， 898 cm^{-1} 爲纖維素或半纖維素上 C_1 位置之 C-H 特定吸收峰， 1510 cm^{-1} 及 1600 cm^{-1} 爲木質素芳香環之特定吸收振動， 1237 cm^{-1} 及 1735 cm^{-1} 則爲半纖維素上乙醯基之特定吸收峰， 3402 cm^{-1} 則爲竹材中 (O-H) 之吸收。由圖中之試驗結果可以得知，

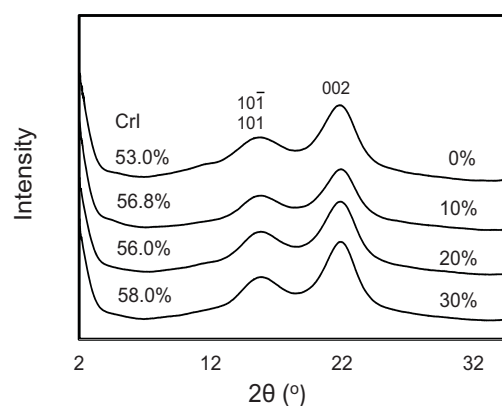


圖 7、氨水濃度對竹展開板結晶度指數之影響
Fig. 7. Effects of ammonia solution concentration on crystallinity index (CrI) of flattened bamboo boards.

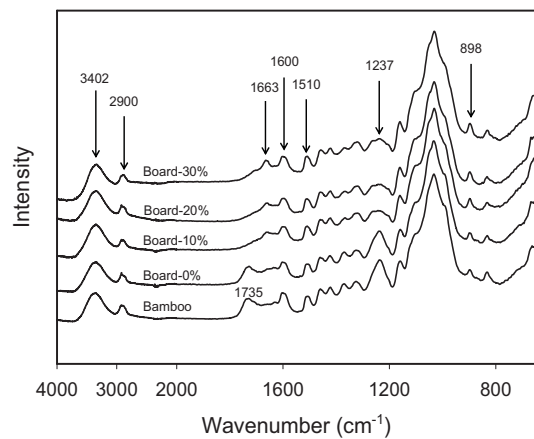


圖 8、竹材及不同氨水濃度處理之竹展開板 ATR-FTIR 圖譜

Fig. 8. ATR-FTIR spectra of bamboo and flattened bamboo boards treated with different ammonia solution concentrations.

氨水處理組竹展開板在波數 1237 cm^{-1} (C-O) 及 1735 cm^{-1} (C=O) 之吸收峰，均於展平後衰減及消失，顯示試材經氨水處理後半纖維素發生降解。然而，無氨水處理之對照組 (Board-0%) 訊號與展平前相比並無明顯變化，顯示竹展開板半纖維素之降解主要係由氨水前處理所造成，而熱壓展平過程對試材本身之組成分影響相對較小。Weigl 等人 (2012) 指出，經由氨處理可能會造成試材之半纖維素被分解。另外，Kim 等人 (2008) 利用氨水對生質物進行預處理並進行化學組成分析後發現，試材之半纖維素含量明顯下降。此外，氨水處理組之試材均出現波數 1663 cm^{-1} 之吸收峰訊號，且強度隨處理濃度的提高而增加。此可能係氨與酯類 (Ester) 反應所產生之醯胺 (Amide) 上的 C=O 伸縮振動及 N-H 之彎曲振動所致 (Miklečić *et al.*, 2012; Strassberger *et al.*, 2014)。

IV、結論

本研究主要係以孟宗竹為試驗材料，探討竹材經氨水前處理後，對竹展開板物理及機械性質之影響。試驗結果得知，氨水處理竹展開板之壓縮率、質量損失率、表面顏色變化及抗彎強度均較對照組高，且 24 h 吸水率、吸水厚度膨脹率及厚度回彈率表現亦較佳。在展平良率方面，理想之氨水處理濃度應保持 20% 以上，其展平良率可

達 95% 以上。而透過 XRD 及 ATR-FTIR 分析得知，竹材經氨水前處理並展平後，半纖維素發生明顯降解，整體結晶度提升，且隨氨水處理濃度的增加結晶度有明顯上升之現象。另外，竹展開板半纖維素之降解主要係由氨水前處理所造成，展平時之溫度對試材本身組成分之影響相對較小。因此，本研究利用氨水處理搭配熱壓展平已成功製備之竹展開板，未來可將竹材軟化及展平之最適化製程技術應用於相關產業界，期能增加竹材之利用率及開拓竹材工藝材料加工應用的領域，亦促進竹製產品多元化之發展。

V、參考文獻

1. 中華民國國家標準 CNS 454 (2013) 木材抗彎試驗法。經濟部標準檢驗局。
2. 吳仕揚、洪克昌、吳志鴻 (2014) 竹齡及高度對孟宗竹展開板物理及機械性質之影響。林產工業 33(4):181-190。
3. 林曉洪、林盈宏 (2011) 熱處理木材之性質。林業研究季刊 33(1):91-108。
4. 趙有科、馮上環、黃榮鳳 (2010) 木材彎曲工藝研究綜述。世界林業研究 23(6):40-44。
5. 文化部 (2014) 台灣竹產業基礎調查與竹材研發調查。2014 年 12 月 15 日。取自：http://cci.culture.tw/cci/cci/market_detail.php?sn=9728
6. Kim, T. H., F. Taylor and K. B. Hicks (2008) Bioethanol production from barley hull using SAA (soaking in aqueous ammonia) pretreatment. *Bioresour. Technol.* 99(13):5694-5702.
7. Kutnar, A., F. A. Kamke and M. Sernek (2008) The mechanical properties of densified VTC wood relevant for structural composites. *Holz Roh Werkst.* 66:439-446.
8. Kutnar, A. and F. A. Kamke (2012) Influence of temperature and steam environment on set recovery of compressive deformation of wood. *Wood Sci. Technol.* 46(5):953-964.
9. Liu, J., H. Zhang, L. Chrusciel, B. Na and X. Lu (2013) Study on a bamboo stressed flattening process. *Eur. J. Wood Wood Prod.* 71:291-296.
10. Miklečić, J., N. Španić and V. Jirouš-Rajković (2012) Wood color changes by ammonia fuming.

- BioResources 7(3):3767–3778.
11. Morsing, N. (2000) Densification of wood—the influence of hygrothermal treatment on compression of beech perpendicular to the grain. Doctor Thesis. Department of Structural Engineering and Materials Technical University of Denmark.
 12. Parkkeeree, T., N. Matan and B. Kyokongl (2014) Flattening of half tubular bamboo culms and fixation of bamboo boards. *J. Trop. For. Sci.* 26(1):101–114.
 13. Strassberger, Z., P. Prinsen, F. van der Klis, D. S. van Es, S. Tanase and G. Rothenbery (2014) Lignin solubilisation and gentle fractionation in liquid ammonia. *Green Chem.* 17:325–334.
 14. Weigl, M., U. Müller, R. Wimmer and C. Hansmann (2012) Ammonia vs. thermally modified timber—comparison of physical and mechanical properties. *Eur. J. Wood Wood Prod.* 70:233–239.

