

## 竹齡及高度對孟宗竹展開板物理及機械性質之影響

吳仕揚<sup>1</sup> 洪克昌<sup>1</sup> 吳志鴻<sup>2</sup>

【摘要】本研究除比較不同竹齡（2至4年生）及竹桿高度（基部至梢部）之孟宗竹（*Phyllostachys pubescens*）展開板之物理及機械性質外，並探討二者對其展平率（Flattening ratio）之影響。試驗結果顯示，竹展開板之密度係以成熟竹桿（3及4年生）之梢部製備者較高，而24 h吸水率、吸水厚度膨脹率及回彈率則皆以成熟竹桿之中段及基部製備者表現為佳。另外，竹齡及竹桿高度對竹展開板質量損失率之影響均無明顯之趨勢。在抗彎強度方面，係以成熟竹材製備之竹展開板較高，但不同竹桿高度製備者則無顯著差異。另一方面，竹材經展平處理後，表面顏色會加深；其中，又以未成熟竹材（2年生）製備之竹展開板 $\Delta E^*$ 值較低。此外，竹齡及竹桿高度對竹展開板之展平率均無明顯之影響，其展平率均可達95%以上。

【關鍵詞】孟宗竹、竹齡、竹高度、竹展開板、展平率。

## Effects of Ages and Culm Height Positions on the Physical and Mechanical Properties of Flattened Board from Moso Bamboo (*Phyllostachys pubescens*)

Shi-Yang Wu<sup>1</sup> Ke-Chang Hung<sup>1</sup> Jyh-Horng Wu<sup>2</sup>

【Abstract】The purpose of this study is not only to investigate the effects of ages (2 to 4 years old) and culm height positions (bottom to top) on the physical and mechanical properties of flattened board of moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*), but also to evaluate the flattening ratio after flattening treatment. The experimental results showed that a higher density of flattened bamboo board was found by using the top position of older bamboo (3–4 years old), while the smaller values upon 24 h water absorption, thickness swelling, and springback were observed by using the middle and bottom positions of older bamboo. In addition, the mass loss did not differ significantly among different bamboo ages and culm height positions after flattening treatment. In terms of the flexural strength of flattened board, a higher strength was observed by using the older bamboo, but there was no significant difference among different culm height positions. On the other hand, the surface color of specimens became darker after flattening treatment, and the  $\Delta E^*$  value of younger bamboo (2 years old) was lower than that of older bamboo. Moreover, the ages and culm height positions had no significant effect on flattening ratio of flattened bamboo board. The flattening ratio of all samples could reach to more than 95%.

【Key words】Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*), Bamboo age, Bamboo culm height, Flattened bamboo board, Flattening ratio.

<sup>1</sup> 國立中興大學森林學系研究生。

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

<sup>2</sup> 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

隨著文明的進步以及產業的發展，人們對森林資源的需求量與日俱增，再加上人口不斷的增加和環保意識的抬頭，使得木材資源逐漸出現供不應求的情形。因此，尋求替代之天然可再生資源已被視為相當重要的課題。竹類係屬速生植物，栽種後僅需 3 至 4 年的時間即可採收利用，此項特性使得竹材具有相當的潛能成為木材的替代性資源 (Wahab *et al.*, 2006)。台灣因位於熱帶及亞熱帶交替地區，此得天獨厚的地形條件，極適合竹類繁衍，因此蘊含豐富的竹林資源。另一方面，竹類除具有無性繁殖與更新的能力外，更具有生長快、成材早、產量高以及材質佳等諸多優點，其用途已涵蓋食、衣、住、行、育、樂等各方面。因此，在亞洲甚至全世界，均將竹材視為重要之自然資源。

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*) 為台灣主要之經濟竹種，目前已被廣泛應用於家具、鷹架、建築、工藝及雕刻等用途。此外，依據 2013 年台灣竹產業基礎調查與竹材研發調查資料指出 (文化部, 2014)，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，所以為多數業者常用竹種之一。然而，由於竹材為曲面之中空管狀材料，於利用上較木材不便，因此，若能有效的將竹材軟化 (Softening)，並直接展平成平面竹板，則不僅可提升竹材利用率之外，亦可促進竹材加工業之發展。一般而言，傳統的木竹材軟化處理大致可分為物理及化學兩種方式。而化學軟化處理，主要係利用液態氨、氨水、氨氣、亞胺、氫氧化鈉溶液、尿素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)，這是由於氨具有強烈的極性，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。

竹稈主要由表皮組織 (Epidermis tissue)、維管束組織 (Vascular bundle tissue) 及基本組織 (Ground tissue) 組成，並包含數個節間 (Internode) 及竹節 (Bamboo node)。根據竹稈高度的不同，

除組織比例不同外，節間之長度、直徑及稈壁厚度亦會隨之發生變化，因此對於竹展開板之展平成功率以及利用性均有一定之影響 (Liu *et al.*, 2013)。此外，在生長的過程中，組織的變化亦會直接影響其物理及機械性質 (Liese, 1985; Kamruzzaman *et al.*, 2008; Wahab *et al.*, 2006)，故竹材高度與竹齡對竹展開板之製備及性質之影響，實值得進一步探討。因此，本研究即以孟宗竹為試驗材料，利用氨水對其進行軟化處理，除探討不同竹齡及竹稈高度對竹展開板物理及機械性質之影響外，亦對竹展開板之展平率 (Flattening ratio) 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。依竹齡的不同，分成 2 年生、3 年生及 4 年生三種，其數量分別為 4、7 及 5 枝，共 16 枝。試驗前，先分別對其節間長、圓周長、直徑及厚度進行量測，其結果如表 1 所示。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。分別對各節間進行編號後，將其裁切成三段，由下至上分為基部、中段及梢部共三個部位，每段之節間數約為 10。試驗時，選用各段之前 7 節做為使用，經去節取得無節之竹管後，沿其弦向將其 1/3 剖，並裁切為長 15 cm 之試材進行展平處理，而試材之絕乾密度範圍為 572–817 kg/m<sup>3</sup>。

#### 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

本試驗係先將竹材浸泡於水中，直至其沉於水面下後，再置入濃度 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

本試驗係以熱壓機進行展平處理，熱壓溫度為 180°C，先將經軟化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

表 1、孟宗材之基本性質

Table 1. Fundamental properties of moso bamboo

Height position	Age (year)	Girth (mm)	Internode length (mm)	Internode diameter (mm)	Culm wall thickness (mm)
Bottom	2	270 ± 19	188 ± 19	86 ± 6	7.8 ± 0.6
	3	329 ± 11	195 ± 29	105 ± 3	9.9 ± 0.6
	4	304 ± 25	193 ± 21	97 ± 8	8.5 ± 2.3
Middle	2	225 ± 18	294 ± 31	72 ± 6	6.4 ± 0.3
	3	283 ± 10	311 ± 31	90 ± 3	7.9 ± 0.5
	4	253 ± 23	291 ± 20	81 ± 7	7.4 ± 0.8
Top	2	180 ± 18	344 ± 35	57 ± 6	5.2 ± 0.3
	3	226 ± 10	348 ± 12	72 ± 3	6.5 ± 0.4
	4	201 ± 21	310 ± 23	64 ± 7	5.9 ± 1.0

Values are mean ± SD ( $n = 15$ ).

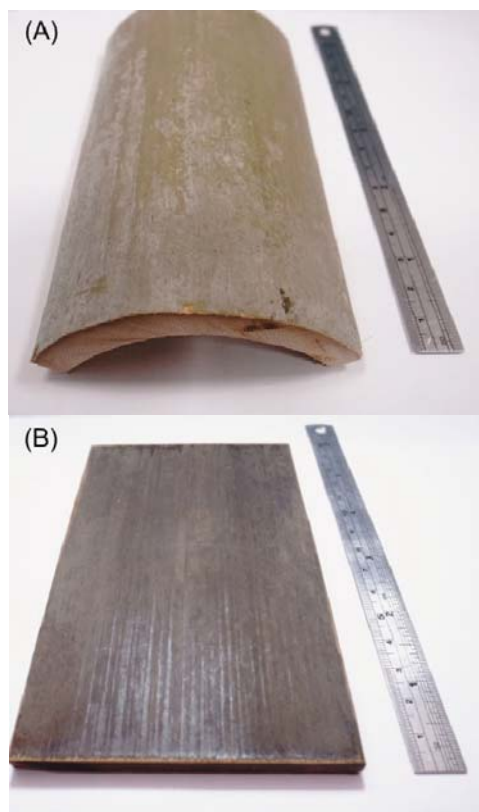


圖 1、竹材展平處理前後之外觀。(A)展平前；(B)展平後

Fig. 1. Photographs of bamboo specimens before (A) and after (B) flattening treatment.

墊片於竹片旁，以進行定厚。調整下熱板之高度至竹片之竹青側與上熱板接觸後，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)。此外，隨取材部位的不同，展平時間亦有所變化，其展平熱壓時間於基部、中段及梢部分別為 100 min、60 min 及 50 min，當到達預設時間後，於持壓狀態下進行同台冷卻。當熱板溫度降至 50°C 以下後即可解壓取出試材，立即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，其展平前後之外觀如圖 1 所示。

### (III) 性質分析

#### 1. 物理性質分析

##### (1) 密度

將試材裁切成長 25 mm、寬 20 mm 之試片，並置於 105°C 之烘箱中乾燥至恆重，測定其乾燥後之絕乾質量。接著再以排水法測定其絕乾體積，並依此計算試片絕乾密度。

##### (2) 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)。

### (3) 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±1°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)。

### (4) 24 h 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 和 Kamke (2012) 之計算方式，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 (Modulus of rupture, MOR) 及抗彎彈性模數 (Modulus of elasticity, MOE)

本試驗參考 CNS 454 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 之載重速度進行檢測。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。

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

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

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)， $\Delta P$  為比例限度內上限載重與下限載重之差值 (N)， $\Delta Y$  為  $\Delta P$  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  $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$ 、 $\Delta b^*$  及  $\Delta E^*$  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  $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$  及  $\Delta b^*$  則為展平前後之  $L^*$ 、 $a^*$  及  $b^*$  變化值， $\Delta E^*$  則為色差值。

## (IV) 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. 密度

不同齡級及部位之竹展開板之密度試驗結果如圖 2 所示。由圖中可以得知，竹材之密度於展平處理後均有顯著的提升，相較於展平前 (572–817 kg/m<sup>3</sup>)，約增加了 57–108%。推測造成上述結果之原因，主要係竹材為多孔性材料，因

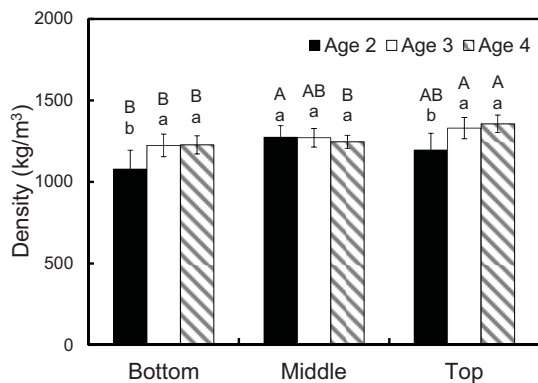


圖 2、竹齡及竹稈高度對竹展開板密度之影響

Fig. 2. Effects of ages and culm height positions on oven-dried density of flattened bamboo board. Values are mean  $\pm$  SD ( $n = 6$ ). Bars with different capital and lowercase letters indicate significant differences among various culm height positions and ages ( $p < 0.05$ ), respectively.

此透過展平後期的緻密化處理，可以有效降低竹材之孔隙大小，進而達到提升密度的效果。此外，隨著竹齡的增加，其密度有上升的趨勢；以竹稈基部為例，3、4 年生試材經熱壓展平後之密度分別為 1224 及 1227 kg/m<sup>3</sup>，顯著高於 2 年生者 (1078 kg/m<sup>3</sup>)。而在竹稈高度方面，以 4 年生為例，係以梢部之竹材於展平後具有較高之密度值 (1356 kg/m<sup>3</sup>)，顯著大於基部者 (1227 kg/m<sup>3</sup>)。整體而言，則以成熟竹稈之梢部密度較高。

## 2. 質量損失率

圖 3 為不同齡級及部位之竹材經展平處理後之質量損失率，由圖中可以發現，竹材在 180°C 的熱壓溫度下進行展平處理，會造成明顯之質量損失，顯示試材內部之組成分受到降解。根據 Zhang 等人 (2013) 對竹材進行熱處理之研究結果得知，當溫度達 160°C 以上時，竹材之全纖維素含量明顯降低。另外，在 Salim 等人 (2008; 2010) 之報告亦發現，在此溫度下，除了半纖維素及部分纖維素外，其澱粉含量亦發生顯著的降低。此外，Gupta 及 Lee (2010) 之研究報告指出，將生質物置於氨水中並升溫至 60°C 進行預處理後發現，其半纖維素及木質素含量均發生下降之情形，且隨處理溫度增加而有加劇之現象，顯示鹼處理亦可能係造成試材質量損失之原因。另一方面，竹齡對試材質量損失率之影響並無明顯趨

勢。以竹稈中段為例，2、3 及 4 年生之質量損失率分別為 4.29、4.49 及 2.63%。而在竹稈高度方面，其變化亦無明顯之趨勢，以 2 年生為例，基部至梢部之質量損失率則分別為 4.40、4.29 及 4.33%。

## 3. 24 h 吸水率及吸水厚度膨脹率

不同齡級及部位之竹展開板之 24 h 吸水率及吸水厚度膨脹率試驗結果如圖 4 所示。由圖中可以得知，2-4 年生竹材中係以 3、4 年生竹展開板之 24 h 吸水率及吸水厚度膨脹率較低。以竹稈基部為例，其吸水率分別為 8.4% 及 8.9% (圖 4A)，吸水厚度膨脹率則為 4.2% 及 4.6% (圖 4B)，且二者間無統計上差異；而 2 年生竹展開板之值則分別為 11.8% 及 6.1%。而在竹稈高度方面，試材之吸水率及吸水厚度膨脹率隨竹稈高度的增加而上升。而造成此結果之原因，可能係由於梢部之熱壓展平時間較短 (50 min)，因此試材內親水性組成分降解程度較小所致。另外，此現象亦有可能係竹材本身組成分差異所造成。Li 等人 (2007) 針對竹材不同部位之組成分進行分析後發現，竹材之  $\alpha$  纖維素及半纖維素含量隨竹稈高度上升而有增加的趨勢，故具有較高之親水性。綜合上述結果顯示，挑選成熟竹稈做為材料可使展平後之板材具有較佳之尺寸安定性。此外，延長熱壓時間，亦有改善其尺寸安定性之效果。

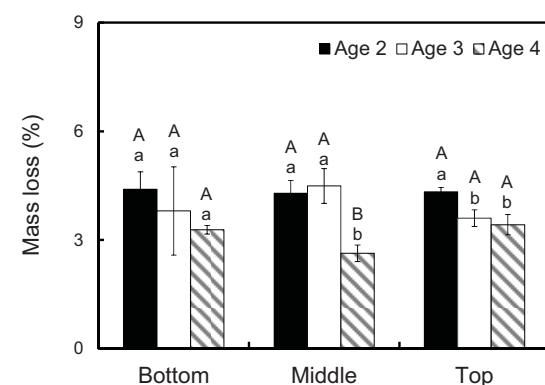


圖 3、竹齡及竹稈高度對竹展開板質量損失率之影響

Fig. 3. Effects of ages and culm height positions on mass loss of flattened bamboo board. Values are mean  $\pm$  SD ( $n = 6$ ). Bars with different capital and lowercase letters indicate significant differences among various culm height positions and ages ( $p < 0.05$ ), respectively.

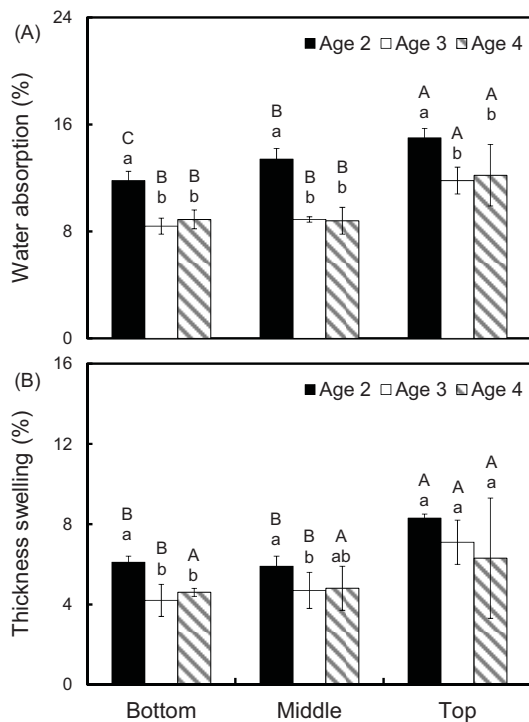


圖 4、竹齡及竹稈高度對竹展開板吸水率 (A) 及吸水厚度膨脹率 (B) 之影響

Fig. 4. Effects of ages and culm height positions on water absorption (A) and thickness swelling (B) of flattened bamboo board. Values are mean  $\pm$  SD ( $n = 6$ ). Bars with different capital and lowercase letters indicate significant differences among various culm height positions and ages ( $p < 0.05$ ), respectively.

#### 4. 24 h 吸水厚度回彈率

不同齡級及部位之竹展開板之厚度回彈率試驗結果如圖 5 所示。由圖中可以發現，在竹齡方面，同樣係以 3、4 年生試材之厚度回彈率較小，但二者無統計上差異；以竹稈基部為例，其值分別為 8.3% 及 9.6%，而 2 年生試材之表現則較差，厚度回彈率為 14.5%。另外，在竹稈高度方面，以 3 年生為例，竹展開板之厚度回彈率由基部至梢部分別為 8.3、10.0 及 15.3%，三者中以梢部之表現較差。推測其原因，可能係梢部竹材之曲率半徑較大，因此展平過程中產生之內應力較大，同時，梢部試材熱壓時間亦較短 (50 min)，進而導致竹材展平後內部仍有較大之殘餘應力 (Residual stress)，故造成回彈率較高之現象。根據 Kutnar 及 Kamke (2012) 之研究報告指出，壓縮木再經

熱處理 (Heat-treatment) 後，厚度回彈率有下降之現象，顯示熱壓溫度及時間的增加，有助於試材之應力鬆弛，進而改善其尺寸安定性。

#### (II) 抗彎強度及抗彎彈性模數

不同齡級及部位之竹材經展平處理後之抗彎性質如圖 6 所示。由圖 6A 中可以得知，就竹齡而言，其抗彎性質隨竹齡之增加而呈現上升之趨勢。以竹稈中段為例，2、3 及 4 年生試材之 MOR 值分別為 264、336 及 344 MPa；其中，3、4 年生間無顯著差異。然而，相較於展平前三者之強度值 137、175 及 163 MPa 則分別增加了 93、92 及 111%。而在竹稈高度方面，以 3 年生為例，由基部至梢部試材之 MOR 值分別為 360、336 及 341 MPa，三者於統計上無顯著差異。另一方面，由圖 6B 中可以發現，試材之 MOE 變化並無明顯之趨勢。以竹稈中段為例，2、3 及 4 年生之 MOE 值分別為 11.7、18.2 及 17.0 GPa。然而，相較於展平前三者之 MOE 值 8.8、12.0 及 11.3 MPa 則分別增加了 33、52 及 50%。而在竹稈高度方面，整體而言係以基部及中段 MOE 值較高，但三者間並無統計之差異，以 3 年生為例，其值則分別為 19.5 (基部)、18.2 (中段) 及 14.5 GPa (梢部)。綜合上述結果可以得知，竹材經熱壓展平後可藉由密度的提升，提高竹材之抗彎性質。

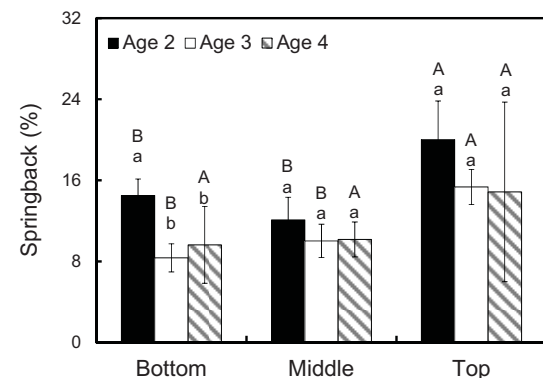


圖 5、竹齡及竹稈高度對竹展開板厚度回彈率之影響

Fig. 5. Effects of ages and culm height positions on springback of flattened bamboo board. Values are mean  $\pm$  SD ( $n = 6$ ). Bars with different capital and lowercase letters indicate significant differences among various culm height positions and ages ( $p < 0.05$ ), respectively.

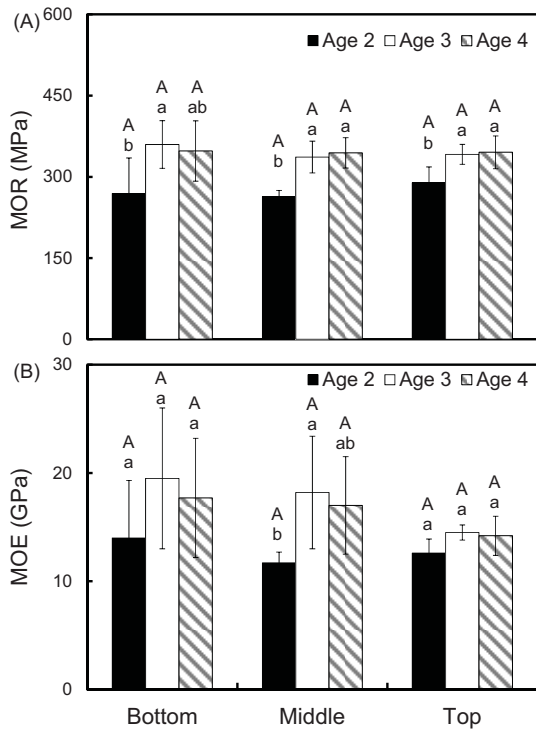


圖 6、竹齡及竹秆高度對竹展開板抗彎性質之影響  
 Fig. 6. Effects of ages and culm height positions on MOR (A) and MOE (B) of flattened bamboo board. Values are mean  $\pm$  SD ( $n = 6$ ). Bars with different capital and lowercase letters indicate significant differences among various culm height positions and ages ( $p < 0.05$ ), respectively.

(III) 表面顏色變化

不同齡級及部位之竹材經展平處理後之表面顏色變化如圖 7 所示。由圖 7A 之試驗結果可以得知，竹材經展平處理後，其明度差值 ( $\Delta L^*$ ) 均呈現負值，顯示竹展開板之表面明度值均較展平前為低。根據前人的研究指出，當木竹材暴露於高溫環境下，其組成成分中之半纖維素或抽出物可能會發生降解而產生有色物質，進而導致材料表面顏色的加深 (Nguyen *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2013; Salim *et al.*, 2008)。另外，竹齡與其明度值變化間並無明顯之關係，但在竹秆高度方面，則以基部之試材變化程度較大。而造成此結果之原因可能係熱壓展平製程中，基部之處理時間較長 (100 min) 所致。再者，由圖 7B 之紅綠參數差值 ( $\Delta a^*$ ) 可以得知，各試材均呈現正值，顯示竹材經

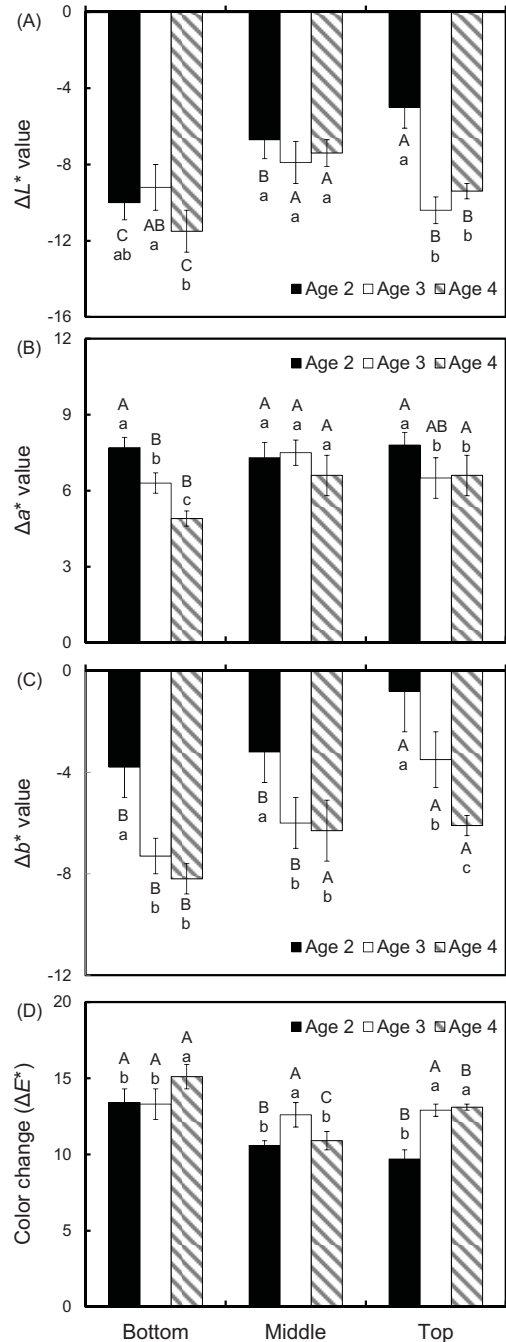


圖 7、竹齡及竹秆高度對竹展開板表面顏色之影響  
 Fig. 7. Effects of ages and culm height positions on  $\Delta L^*$  (A),  $\Delta a^*$  (B),  $\Delta b^*$  (C), and  $\Delta E^*$  (D) of flattened bamboo board. Values are mean  $\pm$  SD ( $n = 6$ ). Bars with different capital and lowercase letters indicate significant differences among various culm height positions and ages ( $p < 0.05$ ), respectively.

展平處理後表面顏色向紅色偏移；且隨著竹齡的增加， $\Delta a^*$ 值隨之下降，但取材高度則與  $\Delta a^*$ 值間無明顯之相關性。此外，由圖 7C 可以看出，在黃藍參數差值 ( $\Delta b^*$ ) 方面，試材均呈現負值，顯示展平處理使竹材之表面顏色較展開前偏藍，且隨著竹齡的增加，其  $\Delta b^*$ 值略有往藍軸增加之情形；而隨取材高度之增加， $\Delta b^*$ 值則有往黃軸增加之現象。最後，由圖 7D 各展開板之色差值 ( $\Delta E^*$ ) 變化可以發現， $\Delta E^*$ 值隨著竹齡的增加而增加。而造成此結果之原因，可能係竹材中熱敏性化學組成分含量不同所致。根據 Li 等人 (2007) 針對不同竹齡之竹材進行組成分含量分析發現，竹材抽出物含量有隨著竹齡的增加而增加之趨勢。而在取材高度方面，其變化雖無一定之規律性，但均以基部之試材表面顏色變化較為劇烈。綜合上述結果顯示，製程條件對竹展開板之表面顏色具有顯著之影響，隨著熱壓時間的延長，其顏色變化會隨之增加。而不同竹齡中，又以未成熟竹稈所製備之竹展開板較能保有竹材原有之色澤。

#### (IV) 展平率

為了瞭解竹齡與竹稈高度對竹展開板成功率之影響，本試驗參考 Liu 等人 (2013) 之分類法，根據 2-4 年生竹材各部位於展平後之表面裂隙程度，共分成下列三種類型：Type 1 (圖 8A) 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 (圖 8B) 為裂隙深度小於其厚度之 1/2 者；Type 3 (圖 8C) 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率 (Flattening ratio)。試驗結果如表 2 所示，由表中可以得知，竹齡及竹稈高度對竹材之展平率並無明顯之影響，其展平率均可達到 95%以上。再者，在展平製程中，並未出現開裂之現象，顯示透過氨水軟化處理，可以有效地降低展平難度。整體而言，展平率幾乎達 100%，顯示以濃度 30% 之氨水進行處理具有極佳之軟化效果。

## IV、結論

竹材經展平處理後，密度得到顯著提升，並以成熟竹材之梢部製備者最高。另外，竹齡及竹稈高度對竹展開板之質量損失率之影響均無明顯

趨勢。另一方面，24 h 吸水率、吸水厚度膨脹率及厚度回彈率均是以成熟竹材之中段及基部製備者較低。在機械性質方面，以成熟竹材製備竹展開板，具較高之 MOR，但不同竹稈高度製備者則無顯著差異，而竹齡及竹稈高度之變化對 MOE 則均無明顯之影響。此外，竹材經展平處理後，表面顏色會加深，其中，又以未成熟竹材製備之竹展開板  $\Delta E^*$ 值較低。而在展平率方面，竹齡及竹稈高度對竹展開板之展平率並無明顯之影響，其展平率均可達 95%以上。

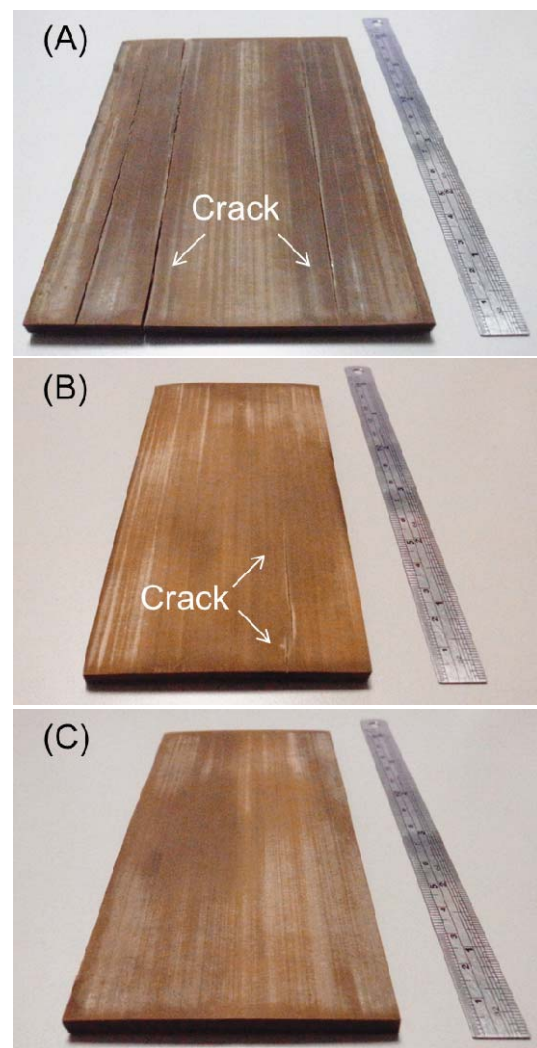


圖 8、竹材經展平處理後之三種類態。(A) Type 1；(B) type 2；(C) type 3

Fig. 8. Photographs of type 1 (A), type 2 (B), and type 3 (C) bamboo specimens after flattening treatment.



表 2、竹齡及竹程高度對竹展開板展平率之影響

Table 2. Effects of ages and culm height positions on the flattening ratio of flattened bamboo board

Height position	Age (year)	The number of samples (n)			Flattening ratio (%)
		Type 1	Type 2	Type 3	
Bottom	2	0	0	15	100
	3	0	0	15	100
	4	0	1	14	100
Middle	2	0	1	14	100
	3	1	2	17	95
	4	0	2	13	100
Top	2	0	0	15	100
	3	0	2	13	100
	4	0	0	15	100
Total		1	8	131	99.3 (139/140)

## 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. 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。
3. 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/market\\_detail.php?sn=9728](http://cci.culture.tw/cci/market_detail.php?sn=9728)
4. Gupta, R. and Y. Y. Lee (2010) Investigation of biomass degradation mechanism in pretreatment of switchgrass by aqueous ammonia and sodium hydroxide. *Bioresour. Technol.* 101(21):8185-8191.
5. Kamruzzaman, M., S. K. Saha, A. K. Bose and M. N. Islam (2008) Effects of age and height on physical and mechanical properties of bamboo. *J. Trop. For. Sci.* 20(3):211-217.
6. 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.
7. Liese, W. (1985) *Bamboos-Biology, Silvics, Properties, Utilization*. GTZ Schriftenreihe Nr. 180, Eschborn. 132 pp.
8. Li, X. B., T. F. Shupe., G. F. Peter., C. Y. Hse and T. L. Eberhardt (2007) Chemical changes with maturation of the bamboo species *Phyllostachys pubescens*. *J. Trop. For. Sci.* 19(1):6-12.
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. Nguyen, T. C., A. Wagenfuhr, L. X. Phuong, V. H. Dai, M. Bremer and S. Fischer (2012) The effects of thermal modification on the properties of two Vietnamese bamboo species, Part I: effects on physical properties. *BioResources* 7(4): 5355-5365.
11. Salim, R., R. Wahab and Z. Ashaari (2008) Effect of oil heat treatment on chemical constituents of semantan bamboo (*Gigantochloa scortechinii* Gamble). *J. Sust. Dev.* 1:91-98.
12. Salim, R., Z. Ashaari, H. W. Samsi, R. Wahab and R. H. Alamjuri (2010) Effect of oil heat

- treatment on physical properties of semantan bamboo (*Gigantochloa scortechinii* Gamble). Mod. Appl. Sci. 4:107–113.
13. Wahab, R., A. Mohamad, H. W. Samsi, A. A. M. Yunus and J. Moktar (2006) Physical characteristics, anatomy and properties of managed *Gigantochloa scortechinii* natural bamboo stands. J. Plant Sci. 1(2):144–153.
  14. Zhang, Y. M., Y. L. Yu and W. J. Yu (2013) Effect of thermal treatment on the physical and mechanical properties of *Phyllostachys pubescen* bamboo. Eur. J. Wood Wood Prod. 71(1):61–67.