

三種泰國產竹材之解剖與機械性質

吳順昭* 吳志鴻*

【摘要】

竹材主要是由薄壁細胞、纖維細胞及輸導組織所組成，其解剖性質如細胞組成比例、比重、維管束尺寸大小及數量等，均會影響竹材各種性質。本試驗就泰國產 *Bambusa brandisii*、*Dendrocalamus strictus* 及 *Schizostachyum humilis* 三種竹材進行試驗，以期了解竹材解剖性質與機械性質之關係。試驗結果顯示，竹材縱向壓縮強度 (σ_c) 與纖維細胞佔有率 (FP) 及比重 (SG) 間，具有正相關，其迴歸式分別為 $\sigma_c = -131.48 + 16.85 \text{ FP}$ 及 $\sigma_c = 29.54 + 965.61 \text{ SG}$ 。而三竹種中，*Schizostachyum humilis* 除稈壁厚度和全株長較另二竹種略小外，在其他性質，如比重、節間長度以及機械強度等方面，則有極佳之表現。

關鍵詞：竹材、維管束、解剖性質、機械性質、迴歸式

Anatomical and Mechanical Properties of Three Bamboo Species Grown in Thailand

Schuen Chao Wu* Jyh Horng Wu*

【 Abstract 】

Bamboo is mainly composed of parenchyma, fiber cell and conducting tissue. All of its anatomical properties, such as constituent percentage of cell, specific gravity, vascular bundle size, have influence on the mechanical property of bamboo. This study is a test for three species of bamboo grown in Thailand: *Bambusa brandisii*, *Dendrocalamus strictus* and *Schizostachyum humilis*, and for the purpose to find out the relationship between anatomical and mechanical properties. The results reveal that, bamboo's compressive strength parallel to grain (σ_c) is proportional to fiber cell percentage (FP) and specific gravity (SG). The related regression equations are $\sigma_c = -131.48 + 16.85 \text{ FP}$ and $\sigma_c = 29.54 + 965.61 \text{ SG}$ respectively. Among the three bamboo

* 國立台灣大學森林學研究所教授、研究生

* Professor and graduated student, graduated institute of forestry, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R.O.C.

species, *Schizostachyum humilis* has thinner stem wall and shorter height than the other two species, but its SG, internal node length and mechanical strength properties are excellent.

Keywords: bamboo, vascular bundle, anatomical properties, mechanical property, regression equation

I . 前言

竹材為重要之森林資源。其生長及繁殖迅速，輪伐期又短，如能充分有效利用，可增加竹農之收益。竹材又因是歐美等地區所缺少，且外觀上又和木材不同，故近年來已廣為國外市場所歡迎。

竹材屬單子葉植物（monocotyledons），單子葉植物之典型構造特徵即是維管束（vascular bundles）散生於整個稈壁中，此與木材之構造迥然不同，其主要是由薄壁細胞（parenchyma）、纖維細胞（fiber cells）及維管束所構成。其中，維管束組織乃竹材輸導水分和養分之主要通道，又因含有多量之纖維鞘，故具有堅固植物體的功能。由於維管束在竹材不同部位產生變化，因而影響竹材各種性質的表現，而竹材維管束解剖之特性，諸如尺寸、形狀、數量等，又為一項有利之竹種分類依據，且導管直徑、排列方式與纖維含量亦會影響竹材之劈裂性、機械強度與滲透等諸性質之優劣。是故，徹底了解竹材維管束之構造特性及機械性質，有助提供日後之利用及其他研究之有利佐證。此外，本試驗採用外國產之竹種為試驗對象，其目的期能開發外

國產之經濟竹材，以供他日引種國內，除可提高國內竹種及量的增加外，亦可增進竹材之經濟收益。

II . 材料與方法

一、試驗材料

本試驗所使用竹材為泰國產之 *Bambusa brandisii* Munro（泰名 Pai Bory Yai）、*Dendrocalamus strictus* Nees（泰名 Pai Saang）以及 *Schizostachyum humilis*（泰名 Pai Griab）。其中，前兩者採自 Kanchanaburi，後者採自 Prachuab Khiri Khan，表 1 為此三種竹種之基本資料。

二、試驗方法

（一）切片製作

竹材按其高度分為上（3/3H）、中（2/3H）、下（1/3H）三部份，並以靠近各部基底處，切取尺寸大小為竹壁厚 $\times 0.6 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ 之試材（稈徑若小於 0.6 cm，則以 1 cm 高之全稈徑為試材）。軟化後以切片機切取 20 μm 厚的切片，經遞增濃度之乙醇及二甲苯進行脫水，並利用 safranin 染色及巴爾森膠（balsam）封片，再置

表 1. 試驗竹種之基本資料

Table 1. The fundamental data of bamboo sample.

編號	竹種 (泰名)	全株長 (m)	性質	高度 (cm)			平均 (cm)
				1/3 H	2/3 H	3/3 H	
1	<i>Bambusa brandisii</i> Munro (Pai Bory Yai)	11.0	節間長	21.8	24.3	33.1	26.1
			直徑	5.3	4.7	2.5	4.2
			稈壁厚	1.4	0.4	0.3	0.7
2	<i>Dendrocalamus strictus</i> Nees (Pai Saang)	10.3	節間長	22.3	40.5	29.7	30.8
			直徑	5.3	5.5	3.5	4.8
			稈壁厚	1.4	0.5	0.3	0.7
3	<i>Schizostachyum humilis</i> (Pai Griab)	7.8	節間長	45.0	74.5	71.0	63.5
			直徑	3.5	3.4	3.4	3.4
			稈壁厚	0.5	0.4	0.3	0.4

於 60 ± 2 °C 烘箱乾燥，製成永久切片 (蔡淑華, 1987 ; 謝榮生, 1992)。至於強度試驗之試片，則依中國國家標準 CNS 453 木材壓縮試驗法及 CNS 454 木材靜曲試驗法所規定之尺寸大小，製成所需之無節試材，並於恆溫恆溼箱中使含水率調為 14 %。

(二) 光學顯微鏡之觀察

竹材除了薄壁細胞、纖維細胞外，輸導組織 (conducting tissue) 中又分晚成木質部導管 (metaxylem vessels)、早成木質部導管 (protoxylem vessels) 以及韌皮部 (phloem) 之篩管 (sieve tube) 五大部份。上述各細胞組成之比例、維管束尺寸及維管束數目之測量方式，係參照吳順昭、謝榮生 (1990) 及王義仲 (1992) 利用光學顯微鏡及影像處理分析系統 (image processing system) 來探討竹材解剖性質及橫、縱向變異。其中，橫向變異所取之試

材以稈壁厚最大之 1/3H 為對象，由竹皮至竹壁內側每 1 mm 為一測量單位，縱向變異則以 1/3H、2/3H 及 3/3H 三個高度進行測量。

(三) 比重

本試驗採 Smith 最大含水率法，切取適當大小之竹材置於水中，以真空幫浦抽氣飽水，並以電動天平 (精度 0.001g) 秤取飽水重 (Wg)；再置入 103 ± 2 °C 之烘箱中乾燥至絕乾，秤量絕乾重 (Wo)，並依下列公式計算比重

$$SGm = 1 / ((Wg - Wo) / Wo + 1 / Gso)$$

式中 SGm：最大含水率比重 Gso：木材真比重 (1.50)

(四) 縱向壓縮強度

將試材置於萬能強度試驗機 (Shimadzu, Model UH-10A) 中進行試驗，平均荷重速度每分鐘 100 Kgf/cm²，並由下列各式求出壓縮強度 (σc) 與彈性係數 (Ec)

$$\sigma_c = P/A \text{ (Kgf/cm}^2\text{)}$$

$$E_c = (\Delta P/A)/(\Delta L/L) \text{ (Kgf/cm}^2\text{)}$$

式中 P：最大荷重 (Kgf/cm²)，
A：試片斷面積 (cm²)，L：試片
長度 (cm)

ΔP ：與形變 ΔL 相對應之荷重
(Kgf)

ΔL ：比例限度內的變位區間值 (cm)
(五) 靜力彎曲強度

將試片置於萬能強度試驗機中
(受力面為竹皮側)，調整適當之跨
距 (span) (竹肉厚之 14 倍)，採
用中央集中荷重法，平均荷重應力速
度每分鐘 150 Kgf/cm²，依下列各式
求出靜力彎曲破壞強度 (σ_b) 與彈
性係數 (E_b)

$$\sigma_b = (3 \times P \times L)/(2 \times b \times a^2) \text{ (Kgf/cm}^2\text{)}$$

$$E_b = (\Delta P \times L^3)/(4 \times \Delta L \times b \times a^3) \text{ (Kgf/cm}^2\text{)}$$

式中 P：最大荷重 (Kgf)，L：
跨距 (cm)，b：試片寬 (cm)

a：試片厚 (cm)， ΔP ：相對應 ΔL
之荷重值 (Kgf)

ΔL ：比例限度內的變位區間值 (cm)

III. 結果與討論

一、解剖性質

(一) 細胞組成比例

竹材主要是由薄壁細胞、纖維細
胞、以及輸導組織中之早成木質部導
管、晚成木質部導管和篩管五大部份
所組成。因此，以下分別就各種組成
細胞在竹材不同部位之組成比例及其
變異進行探討。

1. 橫向變異

三種竹材薄壁細胞從竹皮至竹壁
內側之含量，由圖 1 可以清楚的看
出，*Bambusa brandisii* 的橫向變異
由距離竹皮 1 mm 的 25.87 % 遞增至竹
皮內側的 68.5 %，顯示 *Bambusa*
brandisii 中，薄壁細胞含量愈靠近竹

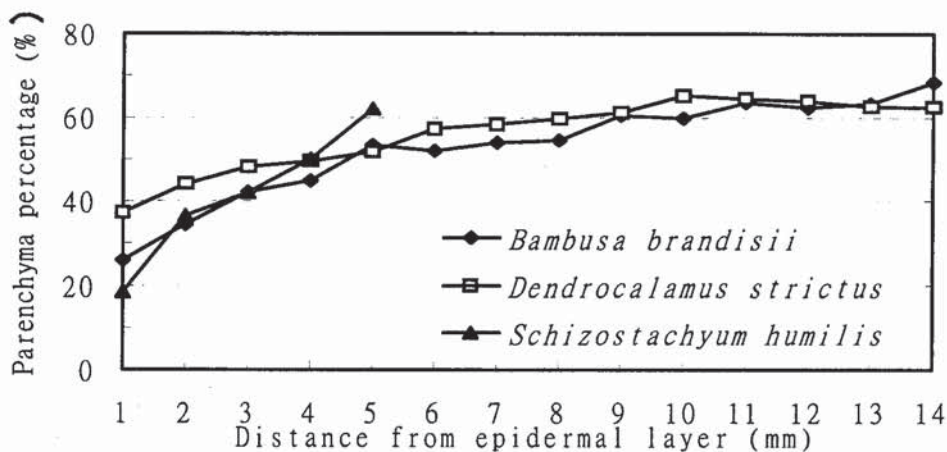


圖 1. 三竹種薄壁細胞佔有百分率之橫向變異

Fig. 1. The variation of parenchyma percentage from epidermal layer to inner part of culm wall of 3 bamboo species.

壁內側所佔比例愈大。然而，在 *Dendrocalamus strictus* 中，薄壁細胞變異與 *Bambusa brandisii* 略有不同，薄壁細胞佔有百分率在竹皮處含量最少僅 37.2 %；同樣的，愈靠近竹壁內側所佔比例愈大，但當距離竹皮 10 mm 時，其含量最多，佔細胞組成之 65.3 %，而超過此一距離限度，組成比例又逐次遞減。至於 *Schizostachyum humilis* 之變異情形，則與 *Bambusa brandisii* 大致相同，薄壁細胞的佔有率由竹皮處的 18.5 %，遞增至竹壁內側的 62.0 %。

在纖維細胞方面，*Bambusa brandisii* 纖維細胞含量之變異如圖 2 所示，由圖中可看出纖維細胞於表皮 1 mm 處之含量為 71.50 %，至竹壁內側則僅為 24.17 %，且隨距竹皮距離之增加其含量則逐次遞減，平均纖維含量為 43.57 % 為三者中含量最少者。而 *Dendrocalamus strictus* 中，纖維細胞之橫向變異略不同，竹皮及竹壁

內側之纖維含量分別為 60.63 % 及 28.42 %，而愈往竹壁內側其含量愈少，但當距離超過 10 mm 時，纖維細胞含量則無明顯變化，約佔 29 %（此結果與薄壁細胞之變異正好相反，即距離竹皮 10 mm 處，*Dendrocalamus strictus* 纖維細胞含量最少，薄壁細胞最多，顯示纖維細胞之橫向組成變異與薄壁細胞呈負相關），平均纖維含量居三者之中，為 44.52 %。至於 *Schizostachyum humilis* 則與 *Bambusa brandisii* 變化趨勢相同，纖維細胞組成比例由竹皮之 80.25 %，逐次遞減至竹壁內側的 30.25 %，平均纖維含量為 51.44 %，其表皮纖維含量與平均纖維含量均為三者中含量最多者。

而在輸導組織之橫向變異方面，輸導組織一般包括：早成木質部導管、晚成木質部導管以及篩管三大部份。圖 3 分別為三種不同竹種之輸導組織變異情形，由圖中可以發現，輸

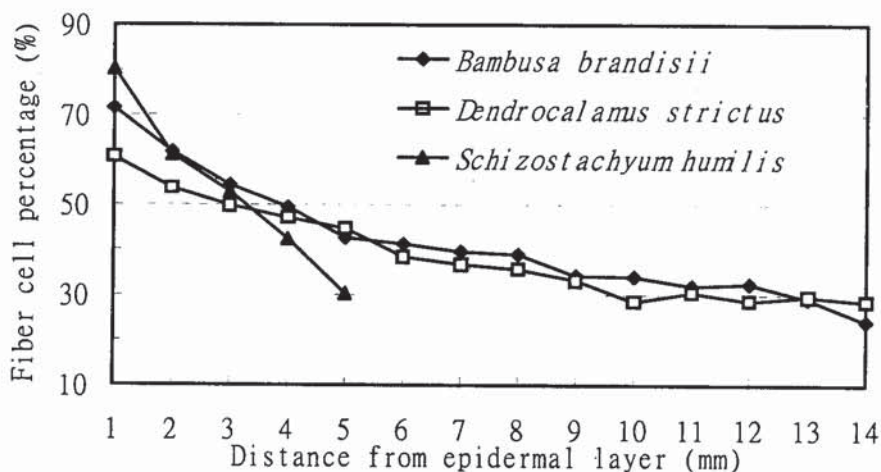


圖 2. 三竹種纖維細胞佔有百分率之橫向變異

Fig. 2. The variation of fiber cell percentage from epidermal layer to inner part of culm wall of 3 bamboo species.

導組織含量之變化較纖維細胞及薄壁細胞不規則，但大體上欲靠近竹壁內側佔有百分率愈大。換言之，以竹皮部之佔有率最少，依次遞增，至竹壁內側時則最大。此外，從上述各細胞組成之變異情形中發現，輸導組織、薄壁細胞與纖維細胞三者間有相當程度之關聯，如在竹皮部時，有非常多量之纖維細胞，相對的，薄壁細胞與輸導組織的佔有率則減少，反觀竹壁內側的情形則恰好相反。

2. 縱向變異

不同高度之各細胞組成比例如表 2 所示，由表中可看出除 *Schizostachyum humilis* 各細胞組成變異不大外，*Bambusa brandisii* 及 *Dendrocalamus strictus* 在薄壁細胞方面則由竹材下段往上漸減，在 1/3H 處時薄壁細胞佔有率最多（分別為 52.8 % 及 56.1 %），於 3/3H 處時薄壁細胞佔有率最少（分別為 42.9 % 及 35.8 %），二者在縱向梯度變化上，

Dendrocalamus strictus 略大於 *Bambusa brandisii*，即薄壁細胞含量變化較為激烈。而在纖維細胞方面，結果正好相反，竹材纖維含量以下段最少，往上則逐次增加，梯度變化仍以 *Dendrocalamus strictus* 較大。至於早成木質部導管、晚成木質部導管和篩管，與纖維細胞相同，細胞佔有比例由下往上遞增。

綜合上述結果，比較三種竹種之薄壁細胞、纖維細胞以及輸導組織佔有百分率，從圖 4 中發現，*Bambusa brandisii* 及 *Dendrocalamus strictus* 在細胞組成比例上並無明顯差異，主要以薄壁細胞為主（其含量分別為 48.2 % 與 46.6 %），依次為纖維細胞（43.6 %、44.5%）及輸導組織（8.2 %、8.9 %）。而 *Schizostachyum humilis* 之細胞組成比例則不同於上者，其組成乃以纖維細胞為主（51.44 %），薄壁細胞居次（41.93 %），且在縱向變異方面

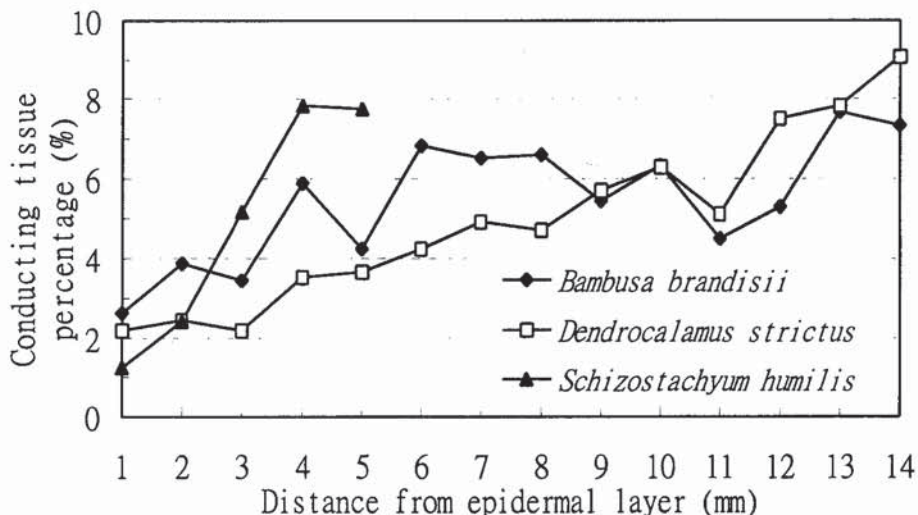


圖 3. 三竹種輸導組織佔有百分率之橫向變異

Fig. 3. The variation of conducting tissue percentage from epidermal layer to inner part of culm wall of 3 bamboo species.

表 2. 三竹種在不同高度其薄壁細胞、纖維細胞、輸導組織佔有百分率之變異
 Table 2. The variation of parenchyma 、 fiber cell and conducting tissue percentage at different heights of 3 bamboo species.

竹種	組成細胞	百分比 (%)			平均值
		1/3H	2/3H	3/3H	
<i>Bambusa brandisii</i>	Parenchyma	52.8	49.0	42.9	48.2
	Fiber cell	41.8	43.0	46.0	43.6
	Metaxylem vessel	3.6	5.2	7.2	5.4
	Protoxylem vessel	0.2	0.7	0.9	0.6
	Phloem	1.6	2.1	3.0	2.2
<i>Dendrocalamus strictus</i>	Parenchyma	56.1	48.0	35.8	46.6
	Fiber cell	38.9	43.0	51.7	44.5
	Metaxylem vessel	3.3	5.9	7.4	5.5
	Protoxylem vessel	0.2	0.5	0.6	0.5
	Phloem	1.5	2.7	4.5	2.9
<i>Schizostachyum humilis</i>	Parenchyma	41.8	41.5	42.5	41.9
	Fiber cell	53.4	51.0	50.0	51.4
	Metaxylem vessel	3.1	4.7	4.7	4.2
	Protoxylem vessel	0.6	1.0	0.9	0.9
	Phloem	1.1	1.8	1.9	1.6

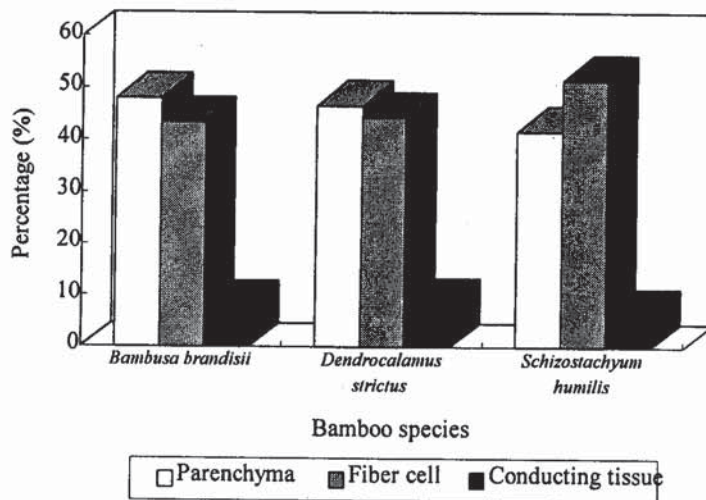


圖 4. 三竹種其薄壁細胞、纖維細胞、輸導組織佔有百分率之變異

Fig. 4. The variation of parenchyma 、 fiber cell and conducting tissue percentage of 3 bamboo species.

幾乎無差異。由於纖維細胞佔有比例正比於竹種強度性質（吳順昭、謝榮生，1990），因此就竹材機械性質及勻稱性而言，實以 *Schizostachyum humilis* 為佳。

（二）維管束之尺寸

維管束之尺寸一般以徑向長度（radial length）及弦向長度（tangential length）來表示，其中所謂的徑向長度乃指由篩管外圍竹皮方向之纖維鞘頂端開始，至早成木質部導管外圍竹壁內側方向之纖維鞘端為止，但若上下兩端之纖維成一獨立束狀（不與篩管、早成木質部導管相連接），則以連接篩管、早成木質部導

管最外側纖維為量測距離，而不以獨立纖維束為量測對象。至於弦向長度，則分別以兩晚成木質部導管外圍纖維鞘為始末點，以平行兩晚成木質部導管之最長距離為量測長度。

1. 橫向變異

三種竹材維管束尺寸大小之橫向變異如表 3 所示，從表中大略可以看出竹材在距離竹皮 1 mm 處，徑向長度（R）最小，距離竹皮 2 mm，徑向長度最大，此後又逐次漸減或稍有增減，而弦向長度（T）則由竹皮往竹壁內側漸增，R/T 比值則仍以距竹皮 2 mm 處最大。R/T 比可用來表示維管束之形態，當此值大於 1 時則表

表 3. 三竹種維管束尺寸從竹皮至竹壁內側之變異

Table 3. Variation of vascular bundle size from epidermal layer to the inner part of culm wall of 3 bamboo species.

距竹皮 距離 (mm)	<i>Bambusa brandisii</i>			<i>Dendrocalamus strictus</i>			<i>Schizostachyum humilis</i>		
	R	T	R/T	R	T	R/T	R	T	R/T
1	0.28	0.21	1.33	0.35	0.26	1.35	0.36	0.35	1.03
2	0.73	0.39	1.87	0.61	0.33	1.85	0.70	0.53	0.32
3	0.63	0.41	1.54	0.47	0.39	1.21	0.63	0.60	1.05
4	0.45	0.47	0.96	0.41	0.43	0.95	0.56	0.79	0.71
5	0.36	0.49	0.73	0.40	0.49	0.82	0.46	0.87	0.53
6	0.34	0.54	0.63	0.38	0.52	0.73			
7	0.40	0.50	0.80	0.44	0.54	0.81			
8	0.39	0.56	0.70	0.39	0.48	0.81			
9	0.42	0.57	0.74	0.43	0.59	0.73			
10	0.42	0.65	0.65	0.43	0.55	0.78			
11	0.42	0.69	0.61	0.38	0.51	0.75			
12	0.40	0.70	0.57	0.41	0.51	0.80			
13	0.45	0.66	0.68	0.38	0.43	0.88			
14	0.47	0.70	0.67	0.35	0.42	0.83			

R：徑向長度 (Radial length) (mm)

T：弦向長度 (Tangential length) (mm)

徑向長度大於弦向長度，一般發生在距竹皮 1~3 mm 處，這是因為該區域含有極高的纖維且尚無獨立纖維束出現，當此值小於 1 時則表示弦向長度大於徑向長度，一般發生在距竹皮 3 mm 至竹壁內側，此乃因細胞尺寸之增大加上獨立纖維束逐漸出現所引起。

若將三竹種進一步比較，由表中維管束尺寸 (R/T) 變異中可以看出，*Bambusa brandisii* 及 *Dendrocalamus strictus* 之間差異性不大，而 *Schizostachyum humilis* 明顯地比 *Bambusa brandisii* 和 *Dendrocalamus strictus* 來的小。其原因係三竹種在徑向長度上相當，但在弦向長度方面，*Schizostachyum humilis* 則明顯地較另兩者大，故 R/T 值為三者之末。但如以平均值而言則情形未必如此，因 *Schizostachyum humilis* 其稈徑最薄故所得之平均值反較另兩者為高。

2. 縱向變異

竹材中不同高度之維管束尺寸大

小如表 4 所示，表中可發現維管束之徑向長度及弦向長度隨竹種及竹材部位不同而異。然在 R/T 值方面，各竹種上 (3/3H)、中 (2/3H) 二部位差異不大，*Bambusa brandisii* 為 0.78、0.79，*Dendrocalamus strictus* 為 0.72、0.73，*Schizostachyum humilis* 則為 0.81、0.85。而下部 (1/3H) 則較其他兩高度為大 (接近 1)，顯示竹材維管束之形態在竹材下部較圓，至竹材中、上部則變為較扁長。

(三) 維管束數目

維管束在單位面積所發生之數目會隨不同竹材部位而有所變異，其一般影響原因大致有維管束尺寸大小以及維管束分散度兩種。圖 5 為三竹種維管束數目之橫向變異。由圖中可以看出，愈靠近竹壁內側維管束數目愈少，且距竹皮 1~2 mm 時梯度變化最大，維管束數目由每平方釐米 8 個下降為 2~4 個，當距離竹皮 4 mm 以後，其數量則無顯著差異 (約 1~3

表 4. 維管束在各高度之尺寸大小

Table 4. The vascular bundle size at different heights.

竹種	項目	維管束尺寸 (mm)			平均值(m m)
		1/3H	2/3H	3/3H	
<i>Bambusa brandisii</i>	徑向長度	0.44	0.32	0.30	0.35
	弦向長度	0.54	0.47	0.44	0.48
	R/T 比	0.89	0.78	0.79	0.82
<i>Dendrocalamus strictus</i>	徑向長度	0.42	0.34	0.33	0.36
	弦向長度	0.46	0.52	0.50	0.49
	R/T 比	0.95	0.72	0.73	0.80
<i>Schizostachyum humilis</i>	徑向長度	0.54	0.57	0.48	0.53
	弦向長度	0.63	0.72	0.65	0.67
	R/T 比	0.93	0.85	0.81	0.86

個)。縱向變異方面，由表 5 可看出維管束平均數目以竹材上部之維管束數量最多，其次為中間部份，而以竹材下部最少。至於三種竹材間，維管束平均數目以 *Bambusa brandisii* 5.5 個最多，依次為 *Dendrocalamus strictus* 的 4.8 個及 *Schizostachyum humilis* 的 3.5 個。

此外，從細胞組成比例結果得知，愈接近竹材表面纖維細胞愈多，其中含有不少尺寸甚小且不具輸導組

織的纖維鞘，這也就是為何在距竹皮 1 mm 處時，維管束數目特別多的原因之一，而距竹皮 2 mm 以後，由於細胞尺寸的增大及維管束分散度的增加，故在數量上遠少於距竹皮 1 mm 處。

(四) 比重

若將比重與纖維細胞佔有百分率作一對照，由表 6 可以發現，三竹種中以 *Schizostachyum humilis* 之比重最大為 0.703，其次為 *Dendrocala*

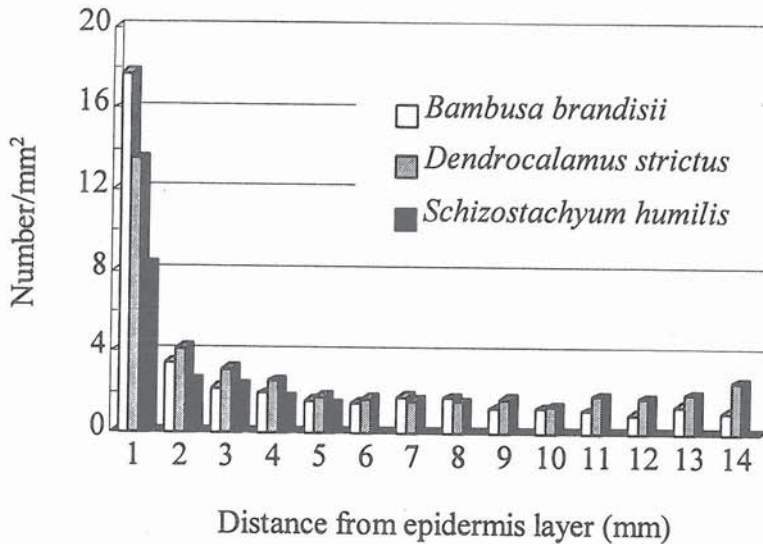


圖 5. 三竹種維管束數目由竹皮至竹壁內側之變異

Fig. 5. The variation of vascular bundle number from epidermal layer to the inner part of culm wall of 3 bamboo species.

表 5. 三竹種在不同高度之維管束數目

Table 5. The number of vascular bundle at different heights of 3 bamboo species.

竹種	維管束數目			平均值
	1/3H	2/3H	3/3H	
<i>Bambusa brandisii</i>	2.8	6.1	7.7	5.5
<i>Dendrocalamus strictus</i>	2.9	5.5	6.1	4.8
<i>Schizostachyum humilis</i>	3.2	3.3	3.9	3.5

表 6. 三竹種其比重與纖維細胞佔有百分率

Table 6. The specific gravity and fiber cell percentage of 3 bamboo species.

竹種	比重	纖維佔有率 (%)
<i>Bambusa brandisii</i>	0.590	43.6
<i>Dendrocalamus strictus</i>	0.593	44.5
<i>Schizostachyum humilis</i>	0.703	51.4

mus strictus 的 0.593，而以 *Bambusa brandisii* 最小僅 0.590，且比重大小 (SG) 隨纖維細胞佔有率 (FP) 之增加而變大，若進一步將二者進行迴歸分析，則可得到下列式子

$$SG = -0.066 + 0.015 FP$$

其中 r^2 為 0.992，F 值為 130.224*，顯示比重與纖維含量有顯著關係。

二、機械性質

(一) 縱向壓縮強度

本試驗三竹種在不同高度所得之縱向壓縮強度 (σ_c) 及縱向壓縮彈性係數 (E_c)，詳列於表 7 中。表中縱向壓縮強度，以 *Schizostachyum humilis* 之 766.15 Kgf/cm² 最大，依次為 *Dendrocalamus strictus* 之 637.67 Kgf/cm² 以及 *Bambusa brandisii* 之 552.48 Kgf/cm²。而彈性係數 (E_c)，則仍以 *Schizostachyum humilis* 最大 (45479.65 Kgf/cm²)，但 *Bambusa brandisii* 之彈性係數則略大於 *Dendrocalamus strictus*，分別為 40878.39 Kgf/cm² 及 39564.82 Kgf/cm²。

此外，就縱向變異而言，由表中可比較出，縱向壓縮強度 *Bambusa*

brandisii 與 *Schizostachyum humilis* 皆以 3/3H 強度最大，其次為 2/3H，而以 1/3H 強度最弱，但就 *Dendrocalamus strictus* 而言，仍以 1/3H 之縱向壓縮強度最弱，不過卻以 2/3H 之強度最大，3/3H 居次。至於彈性係數之變異情形，則較壓縮強度大，*Bambusa brandisii* 方面以 2/3H 彈性係數最大，依次為 1/3H、3/3H；而 *Dendrocalamus strictus* 則與 *Bambusa brandisii* 相反，乃 3/3H 最大，其次為 1/3H，而以 2/3H 最小；至於 *Schizostachyum humilis*，其縱向壓縮彈性係數大小依次為 2/3H、3/3H 及 1/3H。

(二) 靜力彎曲強度

三竹種靜力彎曲強度 (σ_b) 大小與縱向壓縮強度相同，仍以 *Schizostachyum humilis* 表現最突出，靜力彎曲強度為 2373.83 Kgf/cm²，其次為 *Dendrocalamus strictus* 的 1915.13 Kgf/cm²，而 *Bambusa brandisii* 居末為 1421.89 Kgf/cm² (如表 8 所示)。靜力彎曲彈性係數 (E_b) 方面，則以 *Dendrocalamus strictus* 之 439332.74 Kgf/cm² 該值最大，再者為 *Schizostachyum humilis* 之 182907.06 Kgf/cm²，仍以 *Bambusa*

表 7. 三竹種在不同高度之縱向壓縮強度與彈性係數

Table 7. The compressive strength parallel to grain and compressive modulus of elasticity at different heights of 3 bamboo species.

竹種	項目	強度值 (Kgf/cm ²)			平均值 (Kgf/cm ²)
		1/3H	2/3H	3/3H	
<i>Bambusa</i>	σ_c	467.41	562.76	627.28	552.48
<i>brandisii</i>	E _c	40584.51	45521.42	36529.25	40878.39
<i>Dendrocalamus</i>	σ_c	537.62	699.17	676.21	637.67
<i>strictus</i>	E _c	31547.16	21437.04	65710.26	39564.82
<i>Schizostachyum</i>	σ_c	717.13	774.15	807.18	766.15
<i>humilis</i>	E _c	36738.04	53206.90	46494.00	45479.65

表 8. 三竹種在不同高度之靜力彎曲強度與彈性係數

Table 8. The static bending strength and bending modulus of elasticity at different heights of 3 bamboo species.

竹種	項目	強度值 (Kgf/cm ²)			平均值 (Kgf/cm ²)
		1/3H	2/3H	3/3H	
<i>Bambusa</i>	σ_b	993.80	1449.23	1822.63	1421.89
<i>brandisii</i>	E _b	120606.95	192831.38	123754.77	145731.03
<i>Dendrocalamus</i>	σ_b	1401.54	2144.75	2199.10	1915.13
<i>strictus</i>	E _b	423981.82	386123.42	507892.98	439332.74
<i>Schizostachyum</i>	σ_b	1686.74	1950.84	3483.90	2373.83
<i>humilis</i>	E _b	201034.11	163022.41	184664.67	182907.06

brandisii 居末，靜力彎曲彈性係數僅 145731.03 Kgf/cm²。

至於縱向變異，三種竹種之靜力彎曲強度在不同高度之變異性相同，均以 3/3H 其值最大，2/3H 居次，而以 1/3H 最小。反觀靜力彎曲彈性係數之縱向變異，與 E_c 相似，具有較大之變異性；就 *Bambusa brandisii* 而言，以 2/3H 之靜力彎曲彈性係數最大 (192831.38 Kgf/cm²)，依次為 3/3H (123754.77 Kgf/cm²)、1/3H (120606.95 Kgf/cm²)，*Dendrocala*

mus strictus 則以 3/3H 最大 (507892.98 Kgf/cm²)，其次為 1/3H (423981.82 Kgf/cm²)，2/3H 最小 (386123.42 Kgf/cm²)，而 *Schizostachyum humilis* 則與 *Bambusa brandisii* 相反，靜力彎曲彈性係數大小依次為 1/3H (201034.11 Kgf/cm²)、3/3H (184664.67 Kgf/cm²) 及 2/3H (163022.41 Kgf/cm²)。

三、解剖性質與機械性質之關係

一般而言，解剖性質與機械性質

間有其密切關係。茲就三竹種纖維細胞佔有百分率、比重與縱向壓縮強度、靜力彎曲強度進行迴歸分析，所得結果如表 9 所示。

由表中可明顯看出，比重與縱向壓縮強度之關係極顯著（F 值為 11.882），而纖維細胞佔有百分率與縱向壓縮強度間則為顯著（F 值為 10.052）。至於靜力壓縮強度與比重及纖維細胞佔有百分率之間則無顯著之關係。

IV. 結論

竹材主要是由薄壁細胞、纖維細胞及輸導組織所組成，其中薄壁細胞與輸導組織之佔有率以竹皮部最少，愈靠近竹皮內側所佔比例愈大。纖維細胞則相反，細胞佔有率隨距竹皮距離增加而減少。三竹種中，纖維細胞平均含量（FP）以 *Schizostachyum humilis* 最多（51.4%），依次為 *Dendrocalamus strictus*（44.5%）及 *Bambusa brandisii*（43.6%），其與比重（SG）之迴歸式為 $SG = -0.066 + 0.015 FP$ （F 值為 130.224*），二者關係顯著。

而在維管束數目及形態方面，三

竹種維管束數目在竹皮處以 *Bambusa brandisii* 最多為 16 ~ 18，其次為 *Dendrocalamus strictus* 12 ~ 14，而以 *Schizostachyum humilis* 最少僅 7~9 個，但當距竹皮 4mm 以後，維管束數目則無明顯差異，三者均為 1~3 個。同樣的，維管束形態在竹皮與竹壁內側仍有顯著差異，R/T 值於竹皮處時大於 1，當距竹皮 3mm 以後 R/T 值則小於 1，三竹種 R/T 值之大小依次為 *Dendrocalamus strictus*、*Bambusa brandisii* 及 *Schizostachyum humilis*。

至於機械性質方面，縱向壓縮強度（ σ_c ）與彎曲強度（ σ_b ），以 *Schizostachyum humilis* 最大，依次為 *Dendrocalamus strictus* 以及 *Bambusa brandisii*。而縱向壓縮彈性係數（ E_c ），仍以 *Schizostachyum humilis* 最大，但 *Bambusa brandisii* 之彈性係數則略大於 *Dendrocalamus strictus*。而靜力彎曲彈性係數（ E_b ）則以 *Dendrocalamus strictus* 最大，其次為 *Schizostachyum humilis*，仍以 *Bambusa brandisii* 居末。此外，三竹種縱向壓縮強度與纖維細胞佔有率及比重間，具有正相關，其迴歸式分別為 $\sigma_c = -131.48 + 16.85 FP$ （F

表 9. 三竹種機械性質與纖維佔有率及機械性質與比重間之迴歸分析結果

Table 9. The results of regression analysis of the mechanical properties versus fiber cell percentage and specific gravity for 3 bamboo species.

	迴歸方程式	r^2	F值
σ_c vs. FP	$\sigma_c = -131.48 + 16.85 FP$	0.590	10.052*
σ_c vs. SG	$\sigma_c = -29.54 + 965.61 SG$	0.426	11.882**
σ_b vs. FP	$\sigma_b = -1326.74 + 69.46 FP$	0.256	2.407
σ_b vs. SG	$\sigma_b = -292.45 + 3337.65 SG$	0.197	3.931

值為 10.052^*) 及 $\sigma_c = 29.54 + 965.61 SG$ (F 值為 11.882^{**}) 。

V. 參考文獻

1. 謝榮生 (1992) 孟宗竹及麻竹解剖構造與滲透性質之研究。國立臺灣大學森林研究所博士論文。274pp.。
2. 蔡淑華 (1987) 植物解剖學第四版。國立編譯館出版。世界書局發行。pp.30-50。
3. 王義仲 (1992) 三種省產籐材之解剖與物理性質研究。國立臺灣大學森林研究所博士論文。244pp.。
4. 吳順昭、謝榮生 (1990) 臺灣新引竹種竹材構造變異之研究。林產工業 9(1) : 55-78。