

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

雲南石梓之解剖性質研究

A Study on the anatomical characteristics of *Gmelina arborea*

計畫編號：NSC 88-2313-B-034-006

執行期限：87年08月01日至88年07月31日

主持人：王義仲 執行機關及單位名稱：私立中國文化大學森林學系

一、中文摘要

雲南石梓由於生長快速、材質細緻、製漿性質良好，因此用途廣泛，係一甚具潛力的樹種，但加工利用前乾燥過程之乾燥速率甚緩，因此本研究即由解剖性質的探究以進一步瞭解影響乾燥速率的原因，結果顯示導管直徑由髓心往樹皮增大，隨著高度增加亦有相同趨勢，導管之直徑介於 100-200 μm ，導管出現頻度則由髓心往樹皮減小，但隨高度增加增高出現頻率，導管的出現頻度 4-10 $\text{個}/\text{mm}^2$ ，平均約 6 個，導管之量僅佔 10% 顯見職司水分輸導之導管直徑不大量亦不多，填充體之含量又多，由基部之佔了 84% 遞減至梢部的 38%，經 EDXA 分析填充體之主要成分包含鈣、氯、鉀、硫等元素。故僅剩 16% 的有效輸導，因此導管原來的輸導功能僅剩 1/5，雖可依靠薄壁細胞來進行輔助（含量 18.8%），但有更多的隔膜木纖維（67.7%）阻隔，由此一解剖性質特性造成水分輸導不佳，減緩乾燥速率。

關鍵詞：雲南石梓、乾燥速率、解剖性質、填充體、水分輸導

Abstract

Gmelina arborea now are widely used in

wood industry due to fast growth, excellent pulping properties, moderate and easy to work with hand and machine tools, and taking a smooth finish, which are promising potential tree species. The main purpose of this study is to investigate anatomical characteristics and the causes of low drying rate. Experimental results show that the diameter of vessel increases from pith to the bark. Same trend appears from base to the top of trunk. The diameter of vessel varies from 100 μm to 200 μm . Vessel frequency varies from 4 to 10 in an unit area of 1*1 mm^2 with 6 of average which decreases from pith to the park, but increases with the height of tree.

Tyloses of vessel are abundant which varies from 84% (base) to 38% (top). Based on the result of the base of trunk only 16% vessel executes effective water conductivity. After EDXA analysis, the content of tyloses contains Ca, Cl, K, and S elements. The cell percentage of vessel, parenchyma, ray and fiber is 8.2%, 18.8%, 8.6% and 64.7% respectively. The results reveal that low drying rate is due to poor water conductivity of vessel and numerous septate fibers embracing parenchyma.

Keywords : *Gmelina arborea*, drying rate, anatomical characteristics, tyloses, water conductivity

二、緣由與目的

雲南石梓屬馬鞭草科 (*Verbenaceae*) 石梓屬 (*Gmelina*)，材色淡雅，木材淺黃褐至黃褐色，縱面略帶綠色，紋理通直或交錯，結構細緻弦切面有由年輪形成的倒 V 行花紋，徑切面呈現平行條紋，有時具有帶狀花紋或琴被花紋，略似柚木，故有灰色柚木之稱 (成俊卿 1992)，由於生長快速，年生長量每公頃可達 20-30m³ (N.A.S. 1980)，可萌芽更新且輪伐期短，為熱帶地區最有用木材之一，通常適用於家具用材、建築用材、輕構造用材、室內裝飾材、粒片板、合板之芯材、雕刻用材、以及製漿原料 (須藤張司 1970, Kribs 1968, Chudnoff 1984)，製漿時，所製紙漿品質及紙質均較其他闊葉材佳 (Palmeretal 1984)，其高效率、高紙張率、高漂白性的優點，實為相當優良的製漿原料 (蘇裕昌 1995) 因此值得推廣造林與進一步針對各項問題加以探討。

木材之外在的各項物理性質表現實與內部之組織構造有密切關連性，如乾燥速率會隨著比重的增加而減小，而比重的與木材中之細胞組成比例、細胞壁厚度與細胞尺寸等有密切的相關性，因此可謂乾燥速率亦與上述因子有關，然而若進一步探究則乾燥速率與導管出現頻度、導管大小、導管內容物、導管壁孔大小及與纖維間隙通道水分疏導良否皆產生影響。有關雲南石梓之國內外研究情形，國外對此一方面之研究較早，原產地在緬甸，目前主要在中國大陸、緬甸、印尼、馬來西亞與越南之熱帶低窪地區，生長良好，緬

甸之分佈數量最多，故有關於生長情形相關之論述較多，關於性質與組織構造之專論尚付之闕如，台灣之相關研究僅有林業試驗所針對製漿適性評估及乾燥性質，其他之相關資料甚少。

三、實驗材料

- (一) 立地狀況：本研究所使用之試材，採自台灣省林業試驗所太麻里分所第二工作站雲南石梓試驗地，該地係由林試所自 1981 年開始引進栽植。林地狀況為於馬路邊，海拔 100m 方位西，坡度 10-15°，林下有銀合歡、桉樹、春椿、梅樹等。
- (二) 試材選取：選取樣木之方式由林業試驗所知林分調查 (蘇裕昌等 1995)，選取樹形正常，生長中庸之優勢木，為 1987 年之造林木，分別自樣本 4 個高度 (0/4H、1/4H、2/4H、3/4H) 取下 4 個 15 cm 高的圓盤，2 棵樣本共有 8 個圓盤，除這 8 個圓盤以外在取基部 40 cm 長共 2 段 (圖 1)，2 樣木分別編號 A 樹及 B 樹，圓盤標號從基部起為 A-1、A-2、A-3、A-4、及 B-1、B-2、B-3、B-4，其基部為 A-5、B-5。並記錄其樹高、枝下高、圓盤直徑 (表 1)。其伐採之時間為 1998 年 11 月 11 日，約為 11 年生之林木。

四、實驗方法

- (一) 光學顯微鏡之觀察：將樣本進行軟化處理，為縮短軟化時間，將樣本注入煮沸之三乙醯以二醇 (Triethylene glycol) 中煮 30 分鐘，經清水清洗後，置於滑動式切

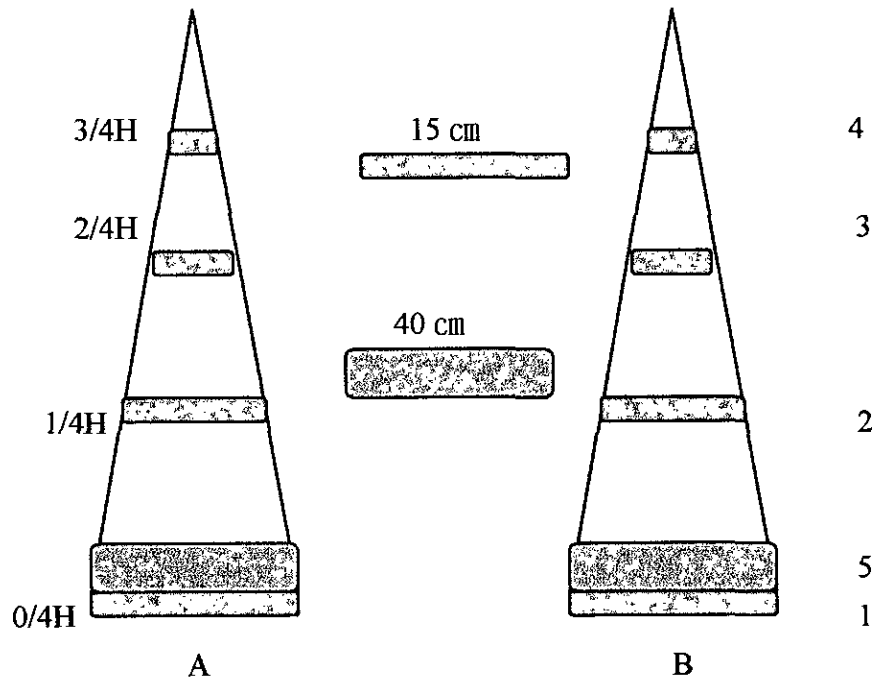


圖 1 圓盤裁取之方法

Fig. 1: Relative positions of removed discs

表 1 試材與圓盤之基本資料 Unit : cm

Table 1: Fundamental data of discs and tree specimens

	Height	Branch Ht	1	2	3	4	5
A	1000.0	800.0	26.5	20.5	18.8	14.2	23.8
			25.5	18.5	15.1	15.0	20.5
B	1500.0	450.0	34.5	27.5	22.2	18.8	34.4
			30.5	24.0	19.6	17.1	31.3

片機 (Sliding microtome) 上，分別切取徑切面、弦切面及橫切面共三個切面，厚約 15-25 μm ，經過酒精序列脫水，最後以組織清潔溶液 (Histosol) 完全取代酒精，最後以 Balsam 膠封片製成永久切片，即可提供各種觀察紀錄與拍照，同時亦可使用於細胞組成比例、細胞尺寸、壁厚度、導管出現頻度、壁孔大小之測量等。

(二) 細胞組成比例 (Constituent percentage of various cells): 將光學顯微鏡所製成之永久切片，置於

附有刻度之百格測微尺 (Dot grid meter) 之光學顯微鏡下觀察，計算每百格中各類細胞所佔之格數，木材中之細胞主要成分為導管 (Vessel)、纖維細胞 (Fiber cell)、木射線 (Ray) 與薄壁細胞 (Parenchyma)。

- (三) SEM (Scanning Electron Microscopy) 樣本之製作
1. 軟化: 自圓盤裁取 1 cm^3 之試材後，至入水中煮沸 72 小時，即可以使試材軟化，到達可以切取之程度。
 2. 切片: 利用徒手切片之方式裁取試

材之徑切面、弦切面及橫切面之樣本薄片樣品。

3. 脫水：以酒精進行序列脫水，分別利用 50%、60%、70%、80%、90%、95%、100% 等濃度的酒精進行脫水。再利用丙酮置換出酒精，分別以酒精比丙酮為 1:1 以及純丙酮，置換出樣本中的酒精以利於臨界點乾燥的操作。

4. CPD：即所謂臨界點乾燥 (Critical Point Drying)。將樣本置入於濾紙套中，封閉於臨界點乾燥機之樣本槽中，以液態二氧化碳置換出丙酮，並利用液體由液相轉變成氣相時，瞬間乾燥的原理，使樣本在保持完整的狀態之下，達到絕乾之狀況，目的在使操作 SEM 過程中不易因電子束照射產生之高溫及高電壓而損壞樣本及鏡柱。適用於多數之場合中。

5. 覆膜：乾燥完成之樣本可黏於鋁製樣本台上。再利用離子覆膜機 (Ions coater) 進行覆上金膜之動作，也可以利用真空蒸鍍機 (Vacuum evaporator) 進行覆上碳膜之動作。完成後可以增強樣本之導電性。鍍金之樣本，不適合進行元素分析的操作。

(四) 電顯系統 (SEM) 之觀察：將載有樣本之樣本台放入掃描式電子顯微鏡 (Scanning electron microscopy) 之樣本室中，以 20KV 及 15KV 加速電壓下觀察組織結構與其排列的方式蒐集二次電子或者是背向散射電子而獲得影像，利用影像蒐集器投射於顯像系統 (Display system)，配合攝影系統，拍照存證，方便往後研究之使用。本研究使用之電子顯

微鏡系統分別為 HATACHIS S-550、S-520、S-800、S-2400、以及 JEPL JSM-T100 等。

(五) 元素分析量測 (EDXA: Energy Dispersive X-ray Analysis) 的量測：本項實驗主要是針對木材內部之各種內含物，進行各項元素之分析，尤其是對於水分疏導有影響之物質進行重點加強式的元素分析量測，利用 X 射線能量散射分析儀觀察分析樣本中，某些元素之含量及其分佈進行量測，並利用繪圖機繪製所得到的微量元素分析分佈圖 (Distribution maps)、元素含量、元素相對百分比，並拍照紀錄之。

五、結果與討論

(一) 顯微構造：導管的形狀圓形至橢圓形，管孔之著生聚結情形屬獨管孔 (Solitary pore) 與複管孔 (Multiple pores) 並存 (如圖版一、二)，複管孔之接合邊略扁似一單獨管孔有多數隔膜，一組之導管數以 2-3 個最常見，接合處呈短切線狀，春秋材導管之差異頗大，如表 2 所列，春材導管直徑平均為 $192 \mu\text{m}$ ，秋材導管直徑平均為 $138 \mu\text{m}$ ，總平均 $165.3 \mu\text{m}$ ，其可能受到生長季節影響之關係，而靠近基部處之導管直徑有稍小一些，在靠近樹梢處導管直徑較大，但無一明顯之規則變化。而在導管出現頻度方面，每 1mm^2 之橫切面中導管 4-6 個，如表 3，導管出現頻度之變化是靠近髓心部分出現個數較多，靠邊材之部分出現個數較少，如圖 2 所示。導管內具填充體 (如圖版一、三)

表 2、不同高度春秋材導管直徑變異情形

Unit : μm

Table2: The variation of vessel diameter

Height	0/4H	1/4H	2/4H	3/4H	Average
Early wood in HZ	166.3	166.3	165.9	193.0	172.9
Early wood in TZ	167.5	170.3	202.7	217.1	189.4
Early wood in SZ	206.4	208.9	209.6	231.5	214.1
Late wood in HZ	74.6	88.0	115.4	132.6	102.7
Late wood in TZ	141.0	142.6	153.4	161.3	149.7
Late wood in SZ	154.8	158.7	168.9	169.2	162.9

HZ: Heartwood zone TZ: Transitionwood zone SZ: Sapwood zone

表 3、 1 mm^2 導管出現頻度

Unit : number

Table3: Vessel frequency in an unit area of $1 \times 1\text{ mm}^2$

Distance from pith	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Average
0/4H	8.5	6.2	6.0	6.5	5.2	5.8	6.2	5.2	3.3	3.7	4.7	4.0	4.6	5.4
1/4H	6.3	6.7	3.7	5.5	5.3	4.2	4.8	4.3	4.5	4.7	2.8			4.8
2/4H	10.7	7.5	6.2	4.5	5.3	5.7	5.3							6.5
3/4H	9.8	7.2	5.0	6.2	6.3	6.0	5.8							6.6

表 4、填充體出現之導管佔全部導管之百分率

Unit : %

Table 4: The percentage of vessel with tyloses

Distance from pith	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Average
0/4H	89	76	85	77	95	91	86	89	98	99	94	66	51	84
1/4H	96	95	96	93	96	100	97	97	83	38	11			82
2/4H	90	92	92	90	98	14	15							70
3/4H		56	43	66	21	18	5							38

填充體之出現頻度佔了 38-84% , 如表 4 所示, 填充體出現頻度可分之特性為心材部分填充體較多, 邊材部分則較少, 基部部分較多, 枝梢部分少, 其變化趨勢如圖 3 所示。導管之穿孔屬單一穿孔 (如圖版四), 上下鄰接穿孔傾斜方向相反 (如圖版五), 導管壁孔大小如表 5 所示, 春秋材亦有差異, 平均 $4.6\mu\text{m}$, 長邊平均 $6.0\mu\text{m}$, 短邊平均 $3.1\mu\text{m}$, 多數為長圓至狹長形, 壁孔的排列以互生排列 (Alternate pitting) 為主 (如圖版六), 其中並間以少部分的對生排列 (Opposite pitting) (如圖版七), 且可在導管壁上看到融合壁孔 (如圖版八)。縱向薄壁細胞經常排列在導管周圍呈環孔薄壁細胞 (Paratracheal parenchyma), 如圖版九及圖版十所示, 有時此類細胞會稍向側邊伸展而略呈翼狀薄壁細胞 (Aliform parenchyma) (如圖版十一), 或者部分薄壁細胞呈散狀的分佈在其中, 薄壁細胞中之壁孔量甚多, 在縱切面之型態成短柱狀, 如圖版十二所示, 纖維細胞之形狀由圓至略四方形, 數量多, 排列的情形如圖版十三與十四所示, 纖維細胞之壁極薄僅約 $2.0\mu\text{m}$, 如圖版十五所示, 其上之壁孔數量極少, 具一般的纖維細胞與數量甚多的隔膜纖維細胞 (Septate fiber cell) 如圖版十七所示。木射線之型式以多列射線 (Multiseriate ray) 為主, 如圖版十四, 單列射線 (Uniseriate ray) 偶爾可觀察的到, 但數量不多, 木射線高度 3-18 個細胞高。由 SEM 照片量測之結果顯示, 雲南石梓在

春季生長時細胞排列較鬆散, 且導管細胞較大; 秋季生長時細胞排列較緊密, 導管細胞較小。春季生長時紋孔較寬、長; 秋季生長時紋孔較窄、扁。春季生長時細胞壁厚度較薄, 約為 $1.7\mu\text{m}$ 左右; 秋季生長時細胞壁之厚度較厚, 約為 $2.5\mu\text{m}$, 詳可見表 6。此細胞排列之結果, 對水分之輸送有重大之影響。

(二) 細胞組成比例: 利用光學顯微鏡配合百格測微尺之使用, 量測雲南石梓橫切面細胞組成比例之結果顯示, 纖維為最主要之構成物, 無論是在髓心或是邊材, 推導雲南石梓體內水分疏導之能力, 為邊材部分比髓心部分要來的好, 因為導管與木射線之量有大幅增加之故。綜合各表所示, 心材部分之導管數量較多, 但直徑較小; 邊材部分之導管數量較少, 但直徑較大, 所以其總面積應為相近的。如表 7 所示, 在橫向方向, 約佔 8% 左右之木質線, 在負責水運之橫向運輸, 此導管壁上紋孔, 也是佔有很大的影響因素之一, 紋孔之大小影響水分流動快慢, 同時對於填充體生成具影響, 因為大的紋孔, 較易使得薄壁細胞及其內容物被擠壓進去導管腔中形成填充體。纖維為木材之大宗佔了 64%, 負責縱向運輸之導管佔了 8%, 具有生活力之薄壁細胞為第二大量者為 18%。

(三) 元素分析: 利用分析法量測導管內容物, 是以連續 X 光與特性 X 光之分析, 可偵測出內容物所含之元素, 藉以瞭解內容物之組成分子, 依元素分析之數值顯示, 導管內之

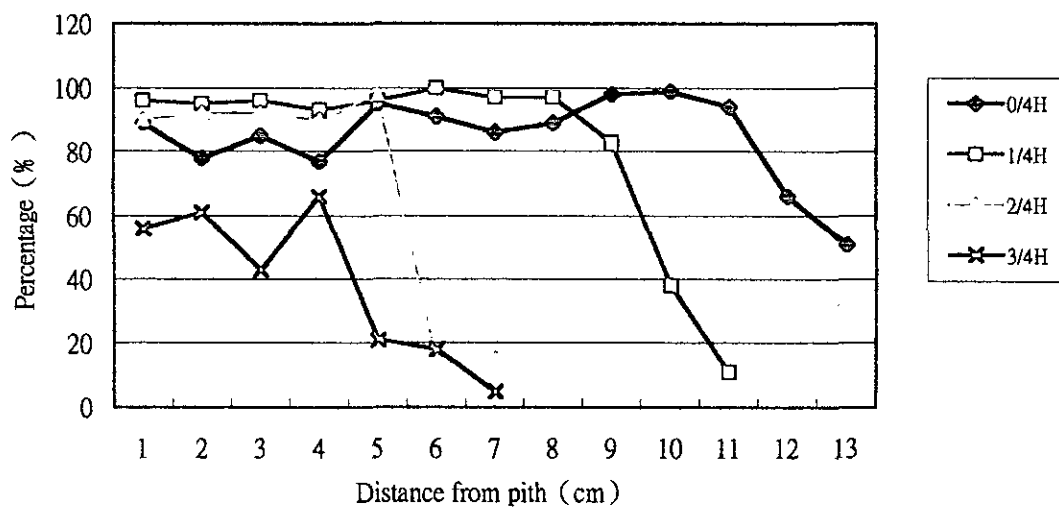


圖 3、填充體出現頻度

Fig. 3: The variation of percentage of vessel with tyloses from pith to bark

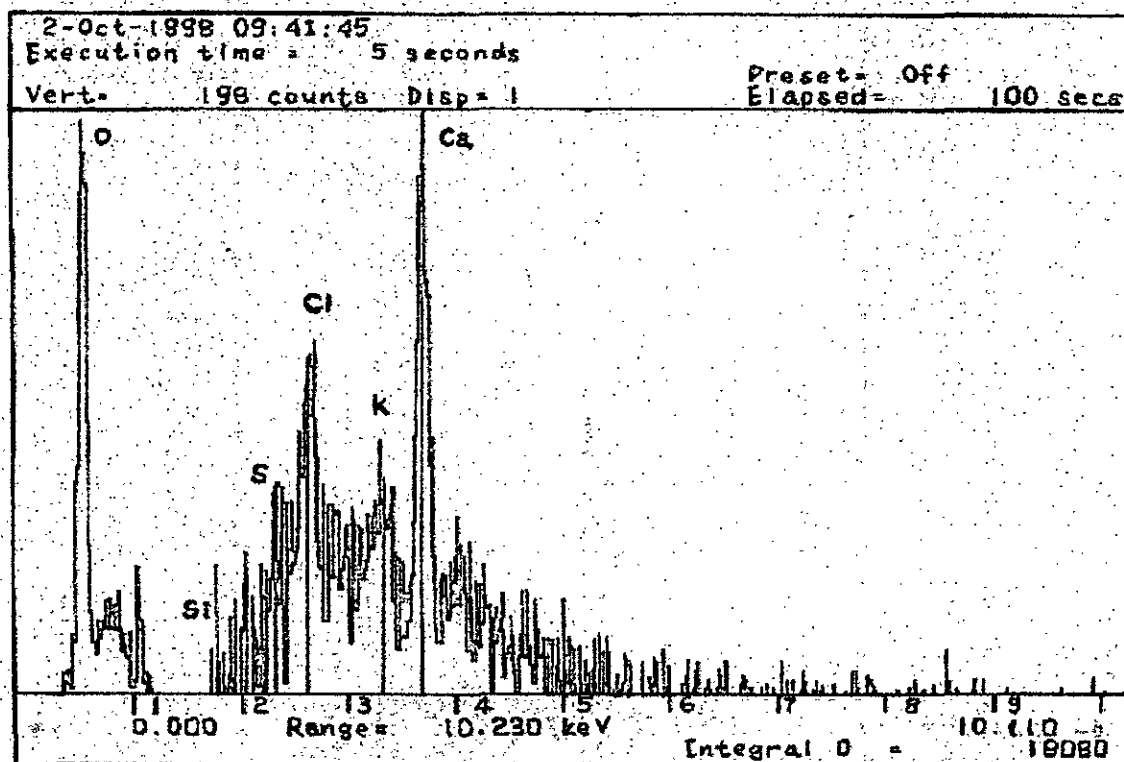


圖 4、導管內容物之元素分析

Fig. 4: EDXA analysis of contents in vessels

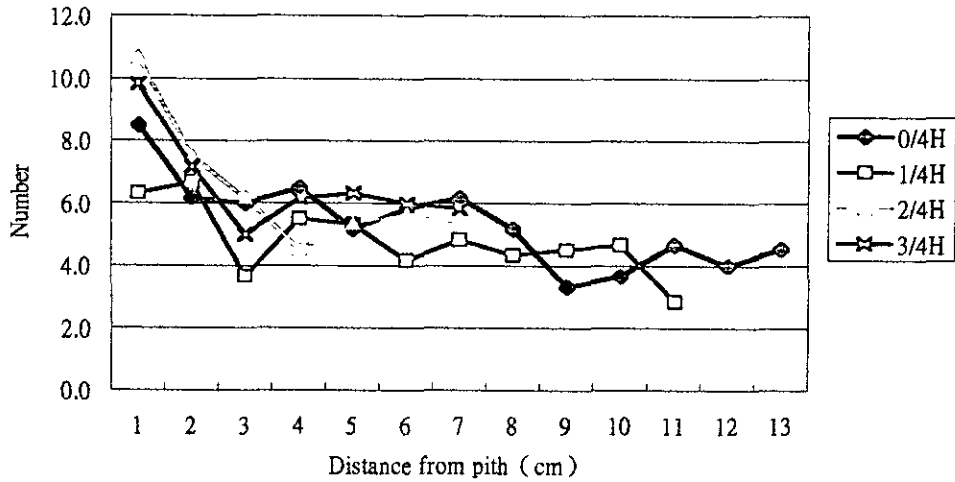


圖 2、1 mm² 導管出現頻度

Fig. 2: The variation of vessel frequency from pith to bark

表 5、壁孔大小之比較

Unit : μm

Table 5: The variation of pit size of vessel at different positions

Height	0/4H	1/4H	2/4H	3/4H	Average
Heart wood	8.5	7.0	6.8	6.3	7.2
Transition wood	6.1	6.2	5.8	5.6	5.9
Sap wood	5.2	5.0	4.7	4.9	5.0
Heart wood	4.4	4.4	4.1	4.2	4.3
Transition wood	3.1	3.5	3.0	2.8	3.1
Sap wood	2.1	2.	1.6	1.5	2.0

表 6、Fiber 之細胞壁厚度比較

Unit : μm

Table 6: The comparison of fiber cell wall thickness between early and late wood

Height	0/4H	1/4H	2/4H	3/4H	Average
Early wood	1.8	1.7	1.8	1.6	1.7
Late wood	2.6	2.6	2.4	2.2	2.5

表 7、細胞之組成比例

Unit : %

Table 7: Constituent percentage of various cells

Height	0/4H	1/4H	2/4H	3/4H	總平均
Fiber	62.6	67.0	66.0	63.3	64.7
Vessel	7.5	7.1	8.1	10.2	8.2
Parenchyma	17.7	16.8	20.0	20.9	18.8
Ray	12.7	9.0	6.2	6.6	8.6

填充體含量最高者為鈣 (Ca)，依序為氯 (Cl)、鉀 (K)、硫 (S)、矽 (Si) 等物質，如圖 4、表 8 所示，推測可能是由一些氯化鈣、硫化鈣及碳酸鈣之類的物質。且由於填充體在邊材處出現之頻度甚高，一旦在導管內出現填充體後，該導管即失去了輸送水分的能力，進而導致了乾燥速率遲緩。但其在邊材處之出現頻度，即有急速降低的現象發生，推論此可能為心材化作用的一種現象。

六、結論

研究結果顯示，雲南石梓之細胞組成構造中，導管的數量相當多，導管上有相當的壁孔數量可以幫助通透，且導管之周圍圍繞著薄壁細胞，水分之流通應很通暢，但元素分析中得知導管內充滿許多不透水性的填充體，其可能是導致水分之流動困難的主要因素，次要因素為雲南石梓的導管直徑與其導管出現頻度之變異，影響水分在樹體內之流動，以及導管壁上之紋孔大小及其數量之變化。由於上列因素的相互影響作用，進而影響木材乾燥之速率，使得木材進行乾燥時極為困難。

表 8、導管內容物元素分析所含元素比例

Unit: %

Table 8: Element fraction of contents in vessels

	Si	S	Cl	K	Ca
WEIGHT PERCENT	0.68	9.11	24.73	21.82	43.65
ATOMIC PERCENT	0.92	10.71	26.29	21.04	41.05

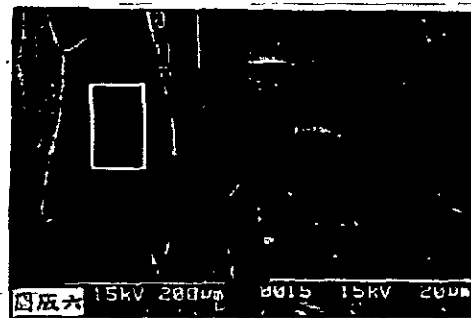
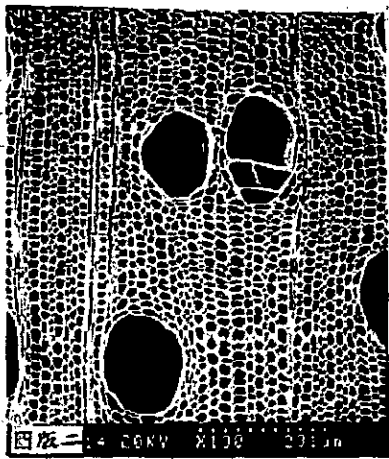
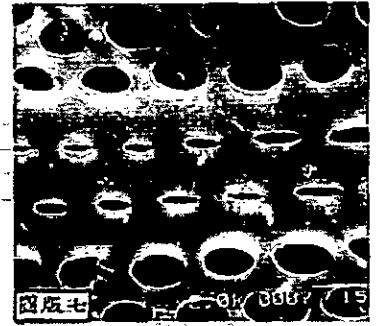
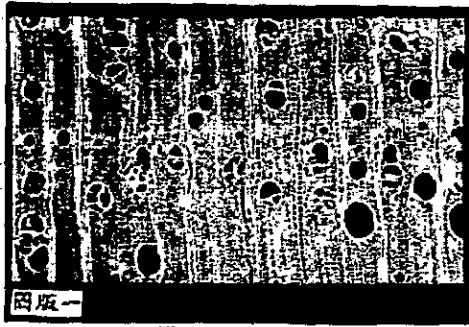
七、參考文獻

- 成俊卿、楊家駒、劉鵬 (1992) 中國木材誌 中國林業出版社 pp695-696
- 馬子斌、翟思湧、王瀛生、陳政靜、王紹英 (1975) 進口木材基準之研究 (一) 紅柳桉與白木 台灣省林業試驗所報告地 270 號 25pp
- 徐永椿 (1990) 雲南樹木圖誌 (中卷) 雲南科技出版社 pp1026-1027
- 須藤張司 (1970) 南洋材 東京地球出版社 pp324-333
- 翟裕昌 (1995) 雲南石梓之乾燥基準研究 未發表
- 蘇裕昌、游漢明、谷雲川、郭晏桐 (1995) 速生樹種雲南石梓 (*Gmelina arborea*) 之研究 (第一報) 生長與木材纖維、化學性質 中華林學季刊 28 (1): 139-155
- 蘇裕昌、游漢明、谷雲川、郭晏桐 (1995) 速生樹種雲南石梓 (*Gmelina arborea*) 之研究 (第二報) 木材性質與製漿適性之關係 中華林學季刊 28 (2): 68-69
- 蘇裕昌、游漢明、谷雲川、郭晏桐 (1995) 速生樹種雲南石梓 (*Gmelina arborea*) 之研究 (第三報) 硫酸鹽法製漿之動力學研究 中華林學季刊 10 (4): 525-534
- Chudnoff M. (1984) Tropical timbers of the world. Forest Products Lab. USDA
- Fox T. E. D. (1967) The growth of *Gmelina arborea* Roxb (Yemane) in Sierra Leone. Com. For. Rev. 46(2):138-

11. Greaves A. (1973) Summary Report of the site and associated productivity studies of plantation of *Gmelina arborea* Roxb. In the Mid-Western State of Nigeria University, College of North Wales, Bangor. 33pp
12. Greaves A. (1973) Site studies and associated productivity of *Gmelina arborea* in Nigeria, Thesis, Nigeria University, College of North Wales, Bangor 138pp
13. Kribs David A.(1968) Commerical Foreign woods on the American Market. Dover publication, INC, New York p160
14. Lamb A. F. A. *Gmelina arborea* fast growing timer trees of the lowland tropics, Commonwealth Forestry Institute, University Of Oxford. No1.31pp
15. National Academy Of Science(1981) Firewood crops, Shrub and tree species for energy production. Pp50-51
16. Ku Yun -chuan and Yu-chang Su(1991)Relationship between wood characteristics and pulping potentials of *Gmelina arborea* . Tropical Pulp Conference Proceeding pp17-31
17. Jakarta, Indoensia. Pulping characteristics of *Gmelina arborea* grown in Solomon Island. Tropical Development and Research Institute L65 pp1-21

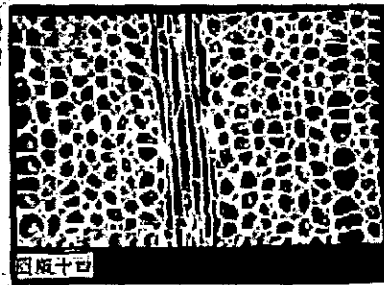
八、圖版說明

- 圖版一：橫切面之導管分佈圖 (X25)
- 二：獨管孔與複管孔 (X80)
 - 三：導管內之填充體 (X250)
 - 四：導管之單一穿孔 (X250)
 - 五：導管節之接合型態 (X95)
 - 六：導管壁壁孔之互生排列 (X120, X1500)
 - 七：導管壁壁孔之對生排列 (X1250)
 - 八：導管壁上之融合壁孔 (X1250)
 - 九：特殊的導管內容物與周圍薄壁細胞 (X310)
 - 十：圍管薄壁細胞 (X1800)
 - 十一：橫切面之薄壁細胞分佈圖 (X80)
 - 十二：弦切面之薄壁細胞型態 (X310)
 - 十三：橫切面所示之單列木質線 (X215)
 - 十四：橫切面所示之複列木質線 (X160)
 - 十五：橫切面纖維細胞排列 (X925)
 - 十六：纖維細胞之細胞壁層 (X2500)
 - 十七：縱切面所示之隔膜纖維 (X310)
 - 十八：木射線在弦切面之排列型態 (X95)
 - 十九：木射線在徑切面之排列型態 (X310)





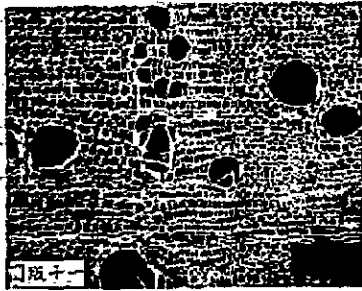
图版十一



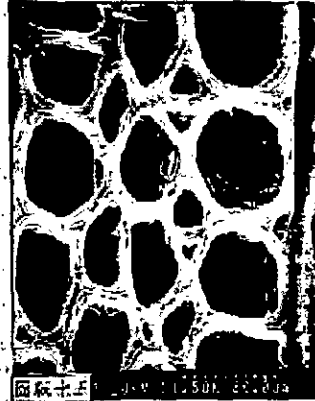
图版十四



图版十七



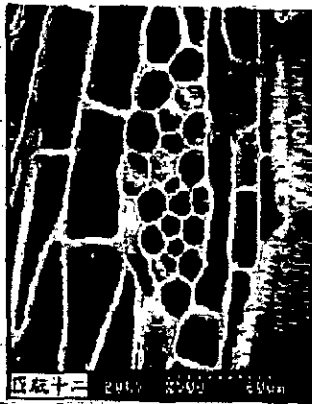
图版十一



图版十五



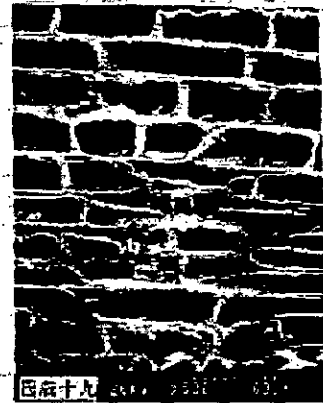
图版十八



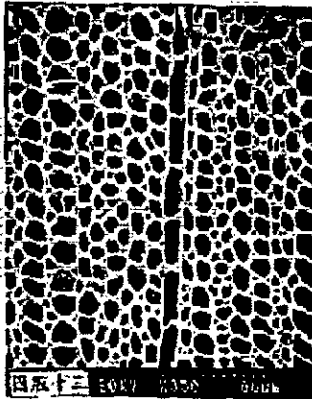
图版十二



图版十六



图版十九



图版十三