

Soft X-ray 影像分析法應用於天然林台灣 欖、樟樹及烏心石樹輪寬度及密度分析 之研究

詹明勳¹ 王亞男² 王松永³

(收件日期：民國 93 年 11 月 17 日、接受日期：民國 93 年 12 月 25 日)

【摘要】本研究整合影像分析、統計分析及樹輪擷取等 3 應用軟體建立 Soft X-ray 影像分析方法，除取代傳統微密度計方法外並發展適合闊葉樹樹輪影像分析方法；並以台灣大學實驗林神木溪天然保護林台灣欖、樟樹、烏心石 3 樹種，樹輪樹心應用影像分析方法進行樹輪寬度及密度分析。3 樹種應用影像分析法以平均密度為早晚材境界，透過樹輪擷取應用軟體獲得樹輪寬度及密度 8 個特徵值；台灣欖屬環孔材，晚材為早材寬度之 3.3 倍，平均密度 957.33 mg/cm³；樟樹屬散孔材，早材為晚材寬度之 3 倍，平均密度為 520.35 mg/cm³；烏心石屬半散孔材，早晚材寬度比例相近約為 1:1，平均密度為 598.86 mg/cm³。3 樹種應用影像分析法獲得之平均密度高於文獻已有之分析。3 樹種最大與最小密度相差範圍介於 201.75-247.26mg/cm³ 之間，最大與最小密度的振幅比一般針葉樹台灣雲杉、紅檜等樹種小，振幅太小造成 X-ray 樹輪影像，偽年輪判識的困難及定年的誤差。

【關鍵詞】軟 X-射線影像分析法、台灣欖、樟樹、烏心石、樹輪寬度、樹輪密度。

APPLICATION OF SOFT X-RAY IMAGE ANALYSIS TO THE WIDTH AND DENSITY OF TREE-RINGS OF *ZELKOVA SERRATA*, *CINNAMOMUM CAMPHORA*, AND *MICHELIA COMPRESSA* NATURAL FORESTS

Ming-Hsun Chan¹ Ya-Nan Wang² Song-Yung Wang³

(Received: November 17, 2004; Accepted: December 25, 2004)

【Abstract】The purpose of this study was to integrate the image-analysis and the statistical-analysis with the treeing-data-capture software to establish Soft X-ray image-analysis method. This method could replace the traditional microdensitometer and develop the way to analyze the treeing image of the hard wood. Soft X-ray image analysis of *Zelkova serrata*, *Cinnamomum camphora*, and *Michelia compressa* in the Experimental Forest, College of Bioresources and Agriculture, National Taiwan University were se-

¹ 國立台灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處教學研究組助理研究員兼組長。
Assistant Research Fellow, The Experimental Forest, College of Bio-resource and Agricultural, National Taiwan University.

² 國立台灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系教授兼實驗林管理處處長（通訊作者）。
Professor and Director, The Experimental Forest, College of Bio-resource and Agricultural, National Taiwan University. Corresponding author

³ 國立台灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系教授。
Professor, School of Forestry and Resource Conservation of Bio-resource and Agricultural, National Taiwan University.

lected for this study Early-wood and late-wood boundary was determined by the average density of Soft X-ray image analysis of *Zelkova serrata*, *Cinnamomum camphora*, and *Michelia compressa*. There were eight characteristic values within tree-rings were obtained by the treeing-data-capture software. *Zelkova serrata* belonged to ring-pored wood and its width of the late-wood was 3.3 times wider than the early-wood. The average density of *Zelkova serrata* was 957.33 mg/cm³. *Cinnamomum camphora* belonged to diffuse porous wood and its width of the early-wood was 3 times wider than the later-wood. The average density of *Cinnamomum camphora* was 520.35 mg/cm³. *Michelia compressa* belonged to semi-diffuse porous wood and its ratio of the width of the late-wood and the early-wood was almost the same. The average density of *Michelia compressa* was 598.86 mg/cm³. The average density value of *Zelkova serrata*, *Cinnamomum camphora*, and *Michelia compressa* analyzed by the Soft X-ray image analysis was higher than the values in the review articles. The range of the maximum and minimum of the average density values were between 201.75 mg/cm³ and 247.26 mg/cm³; the range of the maximum and minimum of the amplitude of vibration values were smaller than conifers in Taiwan such as *Picea morrissonicola*, and *Chamaceyparis formosensis*, etc. The difficulties of verification of false tree-rings and inaccuracies of dating X-ray image tree-ring were caused by the small range of amplitude of vibration values.

【Key words】 *Cinnamomum compressa*, *Michelia cumingii*, Soft X-ray image analysis, Tree-ring density, Tree-ring width, *Zelkova serrata*

I、前言

Soft X-ray 微密度計法應用在樹輪分析上扮演一個很重要的技術方法，尤其在樹輪氣候學、樹輪生態學及森林經營應用非常廣泛；最近森林碳吸存及氣候環境變遷等議題，樹輪分析是重要的研究工具；台灣雲杉透過 Soft X-ray 微密度計法解析樹輪 8 個特徵值並且應用在樹輪氣候學的研究分析上（詹明勳等 1999）。國外對 Soft X-ray 微密度計法的發展更早在 1963 就由法國人 Polge 應用在樹木年輪寬度及密度分析上，獲得精確性很高的密度與寬度值資料（Polge 1963, 1965a, 1965b, 1966, 1967, 1970a, 1970b, 1971a, 1971b, 1971c; Polge and Nicholls 1971）。樹輪分析方法尚隨科技進步而不斷的發展，加拿大林務署 Parker *et al.*（1973），則研發出可以直接對樹芯試片進行掃描的軟 X-射線系統，使分析能更快速的進行。隨著個人電腦快速的進步對資料處理速度與量更快；微密度計在最近 10 年已經迅速的被電腦影像分析方法所取代。

樹輪影像分析軟體，最具代表性及功能性者例如加拿大研發 WIN-DENDRO[®] 應用程式，且目前廣泛的被歐美、日本地區等溫帶針葉樹為主的這些國家為樹輪分析研究之用；其

他影像分析軟體如加拿大林務署西北研究中心（Varem-Sanders 1996）出版的 DENDROSCAN[®] 應用軟體。另外美國 Knoxville, TN 公司研發附屬在 Soft X-ray 機器上 QMS Tree Ring Analyzer 之 QTRS-01X 影像分析軟體，還有法國發展之 Itrax Wood Scanner 可以對木材密度及多種元素進行掃描分析。這些影像分析軟體大都為溫帶地區國家所研發，用在針葉樹種樹輪分析較多，對闊葉樹樹輪分析較少。

本研究目的在嘗試發展並建立目前已有之影像分析套裝軟體 Image Pro Plus 4.5.0.29[®] version for Windows 版軟體、統計應用軟體 Sigma Plot 2001 for Windows Version 7.0、時間序列擷取軟體 TsapWin Professional 0.23b Version 5.1 及 Tree Ring X-ray 32（野堀嘉裕，1994）樹輪寬度及密度擷取軟體的進行整合，除取代傳統 Soft X-ray 微密度計法應用在樹輪構造單純的針葉樹技術方法，及耗費大量的時間與人力對資料處理與分析造成龐大承載與負擔外；整合建立的應用軟體可以較有彈性處理分析闊葉樹組成複雜之樹輪構造，尤其闊葉樹排列不規則的導管，樹輪境界（boundary）劃分上很困難，尤其春秋材的境界幾乎無法做劃分。應用程式軟體發展迅速，整合多個應用程式軟體

分析的主要功能與特性可以降低研究上購買單一分析儀器附帶儀器上分析軟體帶來的高成本以及將來軟體版本更新上的不便，並且可以進行多種闊葉樹種樹輪分析不受國家地區發展軟體分析針葉樹種的限制。

本試驗研究主要以台灣地區重要經濟闊葉樹種樟樹、烏心石及台灣檫樹樹輪為分析對象；一般闊葉樹種木材又稱為有孔材 (Pored wood)，導管在橫斷面 (cross section) 之排列分佈方式，大致上通常分為下列 6 種環孔材：半環孔材、散孔材或半散孔材、幅射狀孔材、紋樣狀孔材、無孔狀材。樟樹、烏心石屬於散孔材年輪尚明顯，抽出內含物後年輪明晰；台灣檫及榔屬環孔材年輪明顯清晰。其他榕樹、雀容、茄苳及刺桐屬散孔材年輪不明顯，同屬桑科朴樹屬於散孔材至半環孔材年輪不明顯。

II、研究材料與方法

(I) 取樣試驗地及材料

本試驗研究選擇神木溪保護林，保護林係台灣中部地區典型「樟櫟群叢」優勢之闊葉天然林，位於海拔 1300-2180 公尺範圍內，TW67 二度分帶座標位置 (X coordinate 2601969, Y coordinate 235225)；保護林完整豐富的暖、溫帶闊葉樹林相，早在 1922 年日據時代即受到日人重視，台灣總督府頒佈禁伐林予以保護。保護林於 2003 年已設置完成 18 個長期觀察森林

動態樣區，每個樣區 50 m × 50 m 第 1 樣區海拔 1350 m 至第 18 樣區海拔 2200 m，海拔垂直高差 900 m，樣區總面積 0.25 ha，並完成胸徑 6 cm 以上木本植物每木定位 (二度分帶座標位置) 及植物種類調查，樣區位置與詳細地形如圖 1。本研究材料台灣檫、樟樹及烏心石樹芯材料的取自 3、4、7 等 3 個樣區之樣木，計 3 個樹芯樣本，詳細資料如表 1。

(II) 研究方法

1. 樹芯樣本前處理

樹芯樣本先以甲醇 (98%) 冷抽出，抽出液更換直到抽出液透明不再變色為止；隨後以冷水抽出程序步驟與甲醇抽出一樣直到抽出

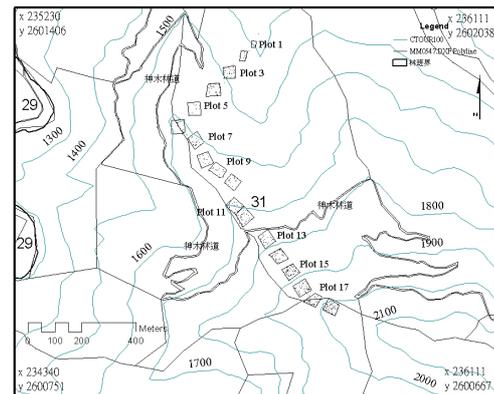


圖 1 神木溪保護林 1-18 樣區，採樣位置為 3、4、5、7 樣區位置

Fig. 1 Locations of sample plots 1-18 sampling trees are from plot 3, 4 and 7

表 1 台灣檫、烏心石、樟樹取樣樣區及樣木基本資料表

Table 1 Basic data of the Sampling trees of *Zelkova serrata*, *Cinnamomum camphora*, and *Michelia compressa*

species	plot	Number of tree	DBH (cm)	TH (m)	Y coordinate	X coordinate
台灣檫	3	67	20.0	15	2601862.27	235109.51
烏心石	7	7	57.5	22	2601611.85	234973.23
樟 樹	4	3	63.5	29	2601818.15	235052.90

*X、Y coordinate 為 TW67 二度分帶座標

液透明不在變色為止。樹芯先風乾後調整木材含水率為 12-15%。並以動物性蛋白膠膠合樹芯於阿拉斯加扁柏製之占木上並切割成 2 mm 樹芯，有關樹芯樣本前處理詳細技術方法請參考（詹明勳，1999）。

2. Soft X-ray 照射

拍攝樹芯樣本之軟 X-射線機器為（HP CABINE X-ray system series MODEL 43855B），照射條件 X-射線光源距離樹芯 40 cm，範圍為 25.4 cm × 11.5 cm (10 in × 4.5 in)，所使用的底片為（Kodak Industrex film M (ready pack II)）。X-射線強度為 9 PkeV，3 mA，照射 50 分鐘。底片顯影與定影 5 分鐘定影，1 分鐘沖水，20 分鐘顯影，再沖水 5 分鐘。定影與顯影藥水溫度保持在（35℃）。放入烘箱（60℃）烘乾底片。

3. X-ray 底片掃描

本研究樹芯樣本照射底片尺寸（4.5 in × 10 in），掃描前底片需經過切割成適合大小尺寸，使用 AGAFA 大型穿透式掃描器，掃描解析度 1200 dpi 灰階（Gray Level），儲存附屬檔名 TIF，X-ray 底片掃描時通常採用 8 bit 進行掃描色階解析度 2⁸ 為 256 個色階，AGAFA 掃描器可以用 12 bit 模式進行掃描 2¹² 為 4096 個色階，設定值為穿透模式（transmit model）灰階，色階解析度越高分析所得資料值的變化也更精確。底片放置於掃描器的位置必須要放置到掃描器邊緣與底線平行或切線位置，樹芯才不會因為掃描造成影像偏斜。

4. 影像分析方法

- (1) Image Pro-Plus 4.5 影像分析應用軟體是由 media Cyberntics, inc. 公司出版，應用範圍包含生物學、醫學、電子顯微鏡學、工業等之物件大小、角度、面積等影像分析測量功能。

樹輪影像分析需先 2 個步驟的校正工作 1. 空間度量的校正（Spatial calibration）2. 密度校正（Intensity calibration），空間度量校正是從

既有已知影像尺寸大小作為校正依據，從物件已知點到另一點間直線距離有多少以設定的距離單位，本試驗研究以 Wedge 已知寬度 1.5 cm 為影像校正單位，點選直線距離詳細如圖，經過校正後影像每個掃描點解析度為 0.0426138 mm。

Image Pro-Plus 4.5 應用軟體密度校正步驟主要有 2 個不同型態，分別為 free form 及 standard optical density 2 種型態。Free form 型態，單位名稱（unit name）為 Gray Level，灰階曲線圖為 x 軸與 Y 軸同為 4096 灰階的直線圖。standard optical density 型態為一般光學濃度底片要選擇標準光學密度選項，單位名稱為（optical density）為 OD 灰階曲線圖為 x 軸 4096 個色階，相對應於 Y 軸則為 0-3 之光學濃度值如圖 3 所示為負指數函數。函數式如下；一般 X-ray 底片影像分析為 standard optical density 型態點選。標準光度穿透過物質的強度計算光學密度，公式可以假設為光線穿透過物質的負指數（exponential decay）

$$OD(X,Y) = -\log \left[\frac{Intensity(x,y)}{Incident - Black} \right]$$

Where

OD = optical density

Intensity (x,y) = intensity at pixel (x,y)

Black = intensity generated when no light goes through the material,

Incident = intensity of the incident light .

(2) 楔形密度校正器（Calibration Wedge of Intensity）

用來作為木材密度校正用之楔形器材質為醋酸纖維（Cellulose acetate），密度為 1274 mg/cm³，Wedge 劃分成不同 14 個厚度梯度由穿透的 Level 0（厚度 0 mm）開始到 Level 13（厚度 3.229 mm），楔形密度校正器由 WALESCH Electronic GmbH 06.07.01 ES 公司生產，出廠前已先經過光學校正。Wedge 密度校正設定為相對應光學濃度 Level 0 階密度 0 mg/cm³ 開始到 Level 13 階密度為 1274 mg/cm³。

(3) Wedge 密度轉換

每張 X-ray 底片拍攝設定相同條件，因為放置樹芯數量及沖洗條件控制的因素造成每張底片光學濃暗產生微小差異，因此每張底片的 Wedge 都要經過光學濃度與密度的轉換，使用配合的應用程式包括 Excel 及 Sigma-plot 軟體，詳細方法步驟如下

A. Wedge 光學濃度

在 Image pro plus 4.5 軟體「Calibration」功能選設定為 Std. Optical Density 後進入「Measure」--「Line Profile」功能選項，對 X-ray 底片上 Wedge 進行光學濃度測量，詳如圖 2，Line profile 功能選項中選擇「Report」--「Tick Horiz.」--「Tick Option」選擇「Average」可以避免底片光學濃度的不均值引起的數值不穩。Line profile 功能鍵畫一線段由 Wedge 最暗畫到最淡的地方 Line profile 對話匣選擇「FILE」可將 DDE to Excel 可 Wedge 分析的光學濃度數值 Export 到 EXCEL 試算表，只會將光學濃度值 (Intensity) Y 值，由 X 軸 distance (mm) 由左邊到右邊依順序在 Excel 試算表由上到下列出一行。光學濃度值每一點掃描的距離並不會轉到 Excel 試算表上；這時候必須要在 Line Profile 對話匣內選擇「Report」表單內選擇「Table」列出 X 軸每點的距離 (mm) 與 Y 軸的 OD 的值，再參考 X 軸每點的距離寫入 Excel 試驗算表內。

B. 密度轉換

將 Wedge steps 的梯度式光學濃度擬合並以負指數函數方式表示；步驟為由 Image-pro Plus 4.5 影像分析的數值資料轉入 Excel 後，下一步驟使用 Sigma-plot 統計軟體進行曲線擬合 (Fitting)，擬合以負指數函數 (Exponential decay) 之 single 2 parameter

$$Y = ae^{-bx}$$

Y = 光學濃度 (Intensity)

X = Wedge 長度 (wedge length)

擬合後求算出 X 光學濃度預測值 (Predicted

value) 並用內差法將擬合之光學濃度負指數函數轉換為密度，轉換公式如下：

$$wd = \frac{(1274 \times odp_{n1} - 1274 \times odp_{n0})}{-(odp_{n0} - odp_{n3000})}$$

wd = wedge 密度梯度變化

odp_{n0} = wedge 第 0 mm 厚度處光學濃度值

odp_{n1} = wedge 第 n0+1 mm 厚度處光學濃度值

odp_{n3000} = wedge 第最末點處光學濃度值

C. 梯度式密度校正 (Step tablet calibration)

Wedge 光學濃度轉換為密度值，將密度值填寫入 Image pro 階段式表內，表可以允許輸入 28 個 steps 的校正值。本試驗研究之 wedge 共有 14 個梯度，可以從 wedge 轉換之密度值所在位置 0-130 mm 每隔 10 mm 輸入以轉換之密度值，詳細輸入如圖 3。完成 wedge 密度轉換後可以直接進行樹芯試片連續密度的測量，得到樹輪密度連續的變動，這些樹輪連續變動的密度值轉換到 Excel 然後進入到 Tree-Ring Analysis Program 分析。

D. 樹輪密度解析與定年

樹木年輪密度連續的資料，解析為 8 種樹

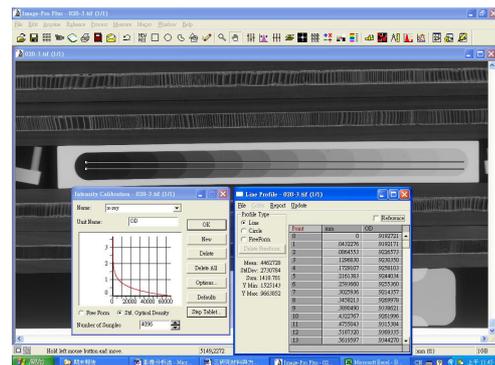


圖 2 X-ray 底片的光學濃度校正, wedge 共 14 階光學濃度, 以 Std. Optical Density 模式分析影像，為負指數函數

Fig. 2 The X-ray film calibration negative exponential fitting wedge 14 step optical concentration application image analyses

木年輪的特徵值。日本山形大學農部野堀嘉裕 (1989) 撰寫的 Tree-Ring Analysis Program 可以用來解析樹木年輪密度連續資料。該程式可以在 Windows XP 業系統執行。該程式主要功能可以增加或削除早晚材部份以利定年

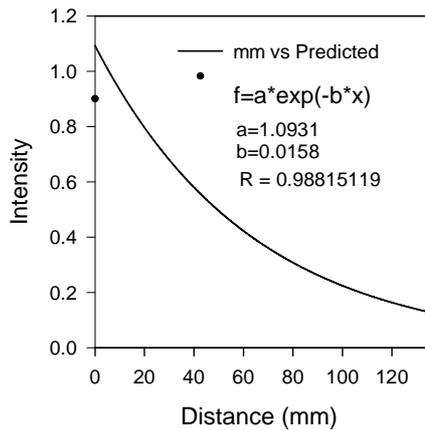


圖 3 wedge 光學濃度經負指數函數擬合預測值之曲線圖

Fig. 3 Nonlinear Regression Exponential Decay of wedge

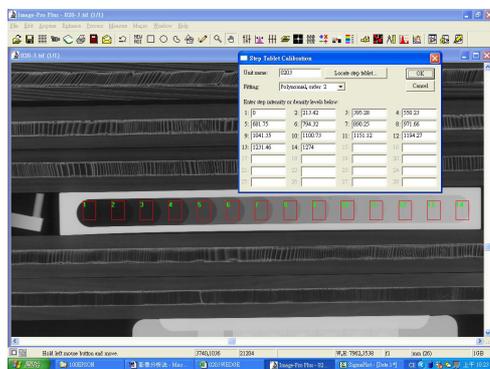


圖 4 X-ray 底片顯示之密度校正楔(wedge)光學濃度值轉密度 14 個梯度。第一階密度為 0 mg/cm³-到第 14 階密度為 1274 mg/cm³, 依序填入表內, 並點選 locate step tablet 功能, 將 14 階密度標出

Fig. 4 The X-ray film transforming optical intensity to density in mg/cm³.The first swep density is 0 mg/cm³and the fourteenth step is 1274 mg/cm³.writing in the step tablet and process locate step table function

(dating) (精確的定出樹芯試片每一年的寬窄變化), 並且由樹木年輪密度連續的圖譜變

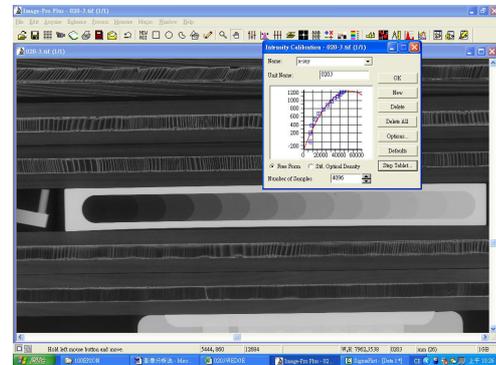


圖 5 密度校正楔負指數函數密度圖, y 軸為轉換後的 wedge 密度; x 軸為 4096 色階分佈

Fig. 5 Exponential decay function for the calibration wedge. Y axis is wedge density; x-axis is 4096 gray level

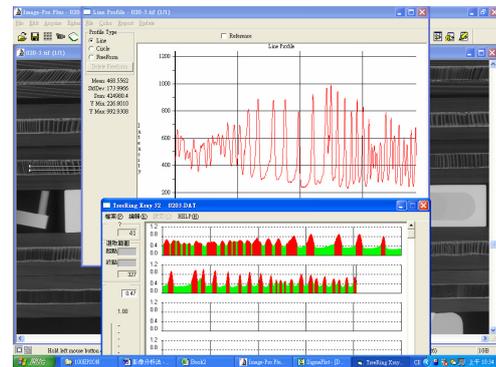


圖 6 樹芯經密度校正楔 (wedge) 轉換後之密度, x 軸為樹芯長度; y 軸為光學濃度經轉換之樹芯密度。圖譜可以對照 tree-ring analysis program 解析樹木年輪 8 個特徵值; 早材與晚材境界以平均密度為分界, 並採用目視及浮動之早晚材境界定年

Fig. 6 The mage analysis of tree core after wedge density transformation. The x-axis is the tree-ring analysis program. resolution of 8 tree-ring width and density characteristic values. The boundaries between the wood were assigned at their average density

化計算 8 個樹木年輪的特徵值，自動儲存為附屬檔名為 prn 的文字格式，文字格式中包含(表 1)之 8 種樹木年輪特徵值，及附屬檔名為 bmp 的圖形格式，該圖可以與 X-射線負片進行定年比對，增加定年的快速及精確性。

經由 EXCEL 軟體處理的樹木年輪密度連續資料，每次擷取 5000 點，拷貝後轉入 SIGMAPLOT 軟體，將密度資料格式由單一向量的資料，改為橫向的資料格式，並且拷貝轉入小作家軟體轉存成 ASCII 文字檔的格式附屬檔名為 dat，即可進入本分析程式使用。

IV、結果與討論

(I) 台灣檫、樟樹、烏心石樹輪 8 個特徵值

早晚材境界的決定與樹輪 8 個特徵值的擷取密切關係，本試驗研究早晚材決定，採樹芯所有樹輪的平均密度作為劃分點，未達平均密度之晚材與春材採用浮動式早晚材境界密度決定，因此早晚材寬度有很大差異。以平均密度作為劃分之早晚材境界與形成層細胞分裂、細胞壁加厚在生物學上還需要進一步觀察其形成的過程與季節氣候變化的關係。

3 種天然生闊葉樹種樹輪 8 個特徵值詳如表 2，樟樹平均每年樹輪寬度 4.32 mm 最寬；早材寬度為晚材寬度 3 倍，樹輪寬度特性與針葉樹比較相似。平均密度為 520 mg/cm³ 度與王松永 (1983) 商用木材絕乾密度 420 mg/cm³，有差異可能與取樣試材樹種生長生育地海拔有關所造成，本研究樟樹樹芯樣本取自海拔

1350 m 處，生長與休眠季節較明顯，因此晚材率可能會比生長於低海拔樟樹有偏高趨勢，平均密度也會偏高。

台灣檫樹輪 8 個特徵值的變動詳如圖 8，經過定年後 DBH 處樹齡為 44 年詳如圖 7，台灣檫樹輪 8 個特徵值平均值統計表詳如表 2，特別注意台灣檫為環孔材早晚材比例與其他樹種不同，晚材為早材寬度之 3.3 倍，主要是環孔材大導管部分所佔比例少的緣故，目前還不清楚形成層細胞分裂及細胞壁加厚的意義，值得進一步觀察研究；樹輪平均密度為 957.33 mg/cm³ 高於王松永 (1983) 商用木材所列絕乾密度 845 mg/cm³，是否與樟樹樹芯樣本取自天然林及生育地海拔較高造成相同結果，值得進一步研究觀察，但是早晚材密度差異比較小僅有 98.44 mg/cm³。

烏心石屬於半散孔材早晚材寬度比例相近約為 1:1，樹輪平均每年寬度為 3.14 mm，經過定年後 DBH 處樹齡為 46 年詳如圖 11，樹輪平均密度為 598.86 mg/cm³ 與王松永 (1983) 商用木材所列絕乾密度 532-667 mg/cm³ 之間；早材與晚材密度差異約為 99 mg/cm³ 詳如圖 12。

(II) 偽年輪與定年誤差

台灣檫、樟樹、烏心石早材與晚材密度相差 98.44-101.58 mg/cm³，最大密度與最小密度相差 201.75-247.26 mg/cm³，顯示早材與晚材間的振幅比一般針葉樹如台灣雲杉、紅檜等樹種最大與最小密度差異相差 400 mg/cm³ 小。振幅太小造成早晚材境界劃定及定年的困難；特

表 2 台灣檫、樟樹、烏心石樹輪寬度及密度 8 個特徵值

Table 2 The eight characteristic values of tree-ring width and density for *Zelkova serrata*, *Cinnamomum camphora*, and *Michelia compressa*

樹種	width (10 ⁻² mm)			Density (mg/cm ³)				
	means	early wood	later wood	means	early wood	later wood	minimum	maximum
台灣檫	222.47	51.78	170.68	957.33	886.00	984.44	818.00	1034.00
樟樹	432.35	313.67	118.68	520.35	492.63	594.21	434.74	636.49
烏心石	314.37	171.42	142.95	598.86	547.50	646.59	471.59	718.86

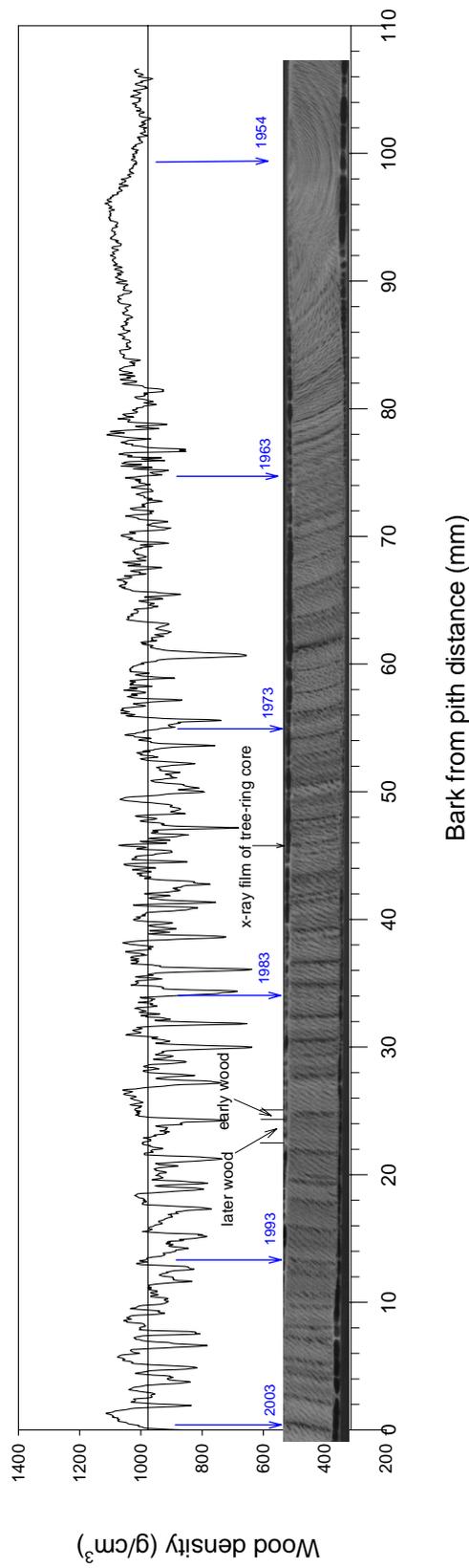


圖 7 台灣櫟樹芯之 x-ray 底片影像，X 軸為樹芯從樹皮到髓心之長度，Y 軸為木材密度。

環孔材黑色部分係大孔徑導管形成環孔部分定義為早材，顏色灰色部分屬於小孔徑導管孔徑定義為晚材

Fig. 7 Soft x-ray image and the corresponding tree-ring width and tree-ring density of *Zelkova serrata*; X-axis represents the distance measured from bark to pith; Y-axis represents wood density

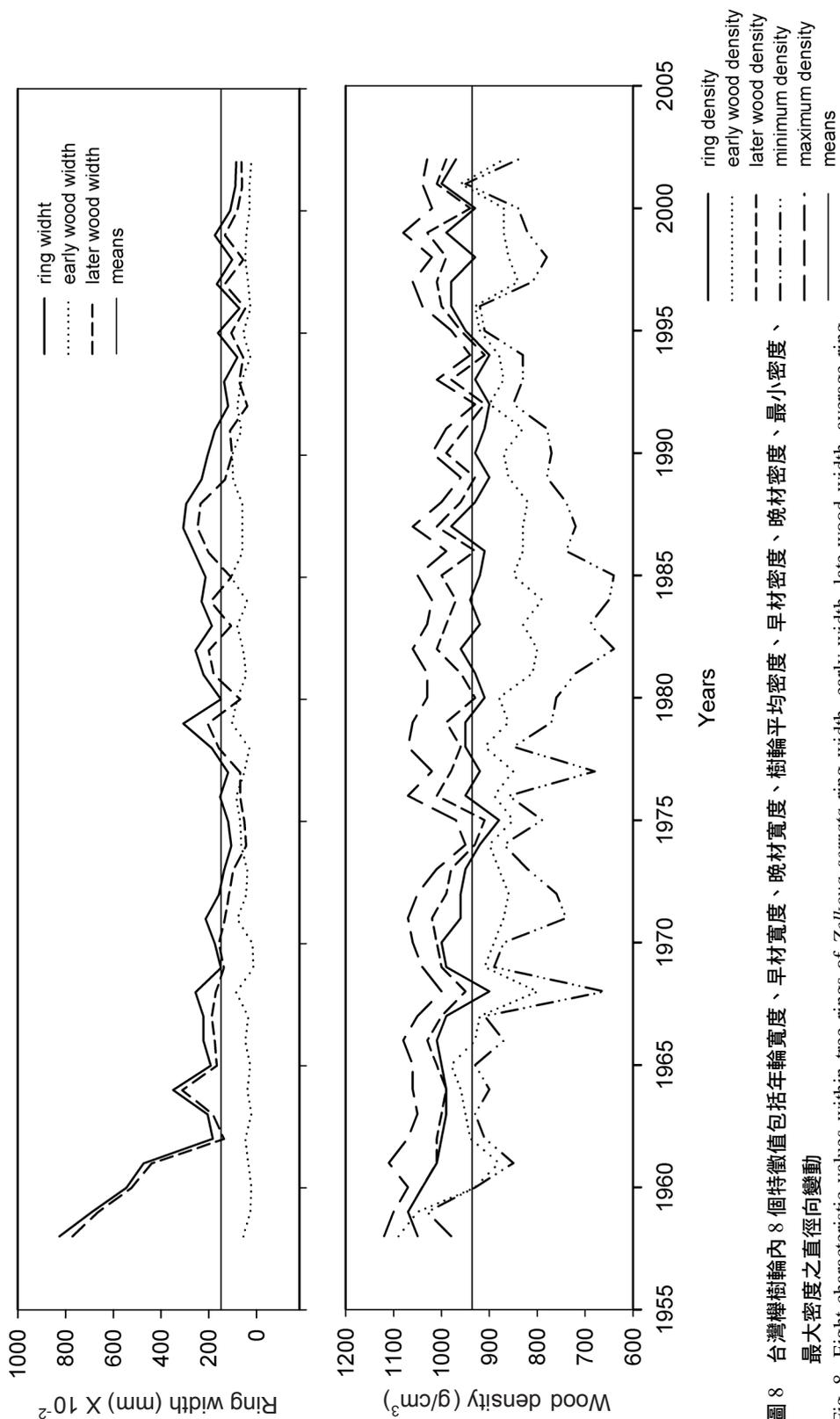


圖 8 台灣欒樹輪內 8 個特徵值包括年輪寬度、早材寬度、晚材寬度、樹輪平均密度、早材密度、晚材密度、最小密度、最大密度之直徑向變動

Fig. 8 Eight characteristic values within tree rings of *Zelkova serrata* ring width, early width, late-wood width, average ring density, early density, late-wood density, minimum density, and maximum density

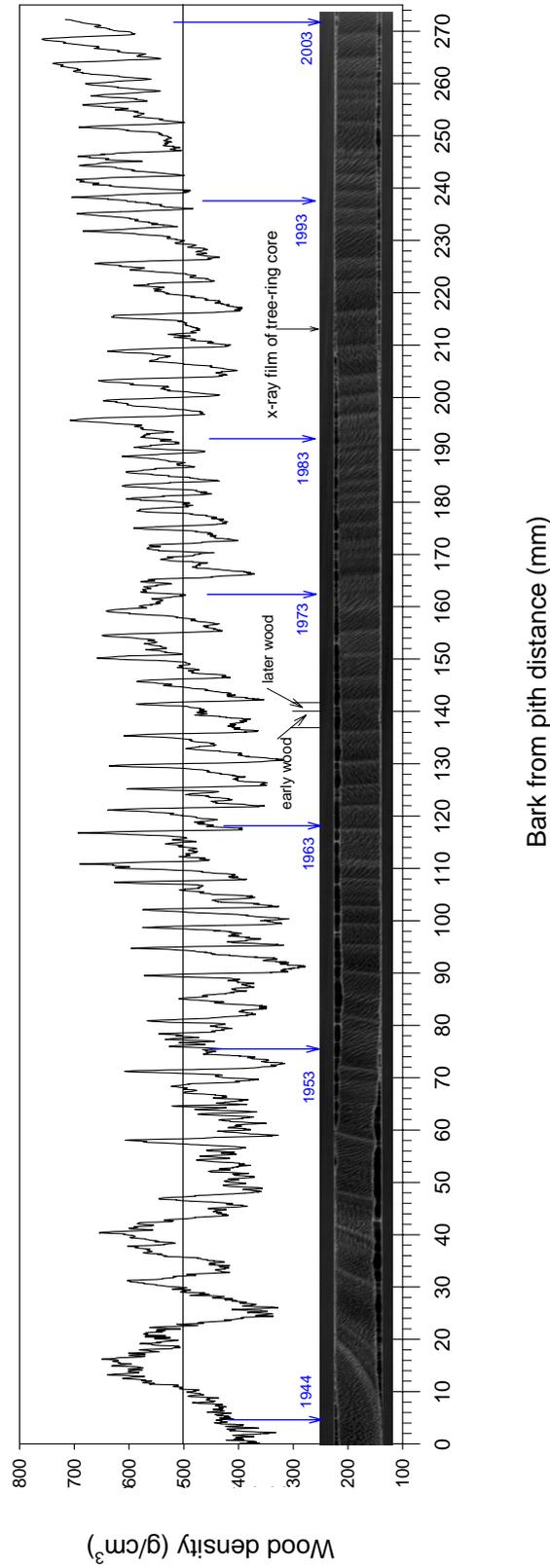


圖 9 樟樹樹芯 x-ray 底片，及經影像分析法解析所得到的樹輪寬度與密度變動曲線。X 軸為樹芯從樹皮到髓心之距離，Y 軸為木材密度。樟樹屬散孔材，黑色部分係大導管孔徑定義為早材；顏色灰色部分屬於小導管孔徑，定義為晚材

Fig. 9 Soft x-ray image analysis of tree-ring width and density of *Cinnamomum camphora*; X-axis represents the distance measured from bark to pith; Y-axis represents wood density

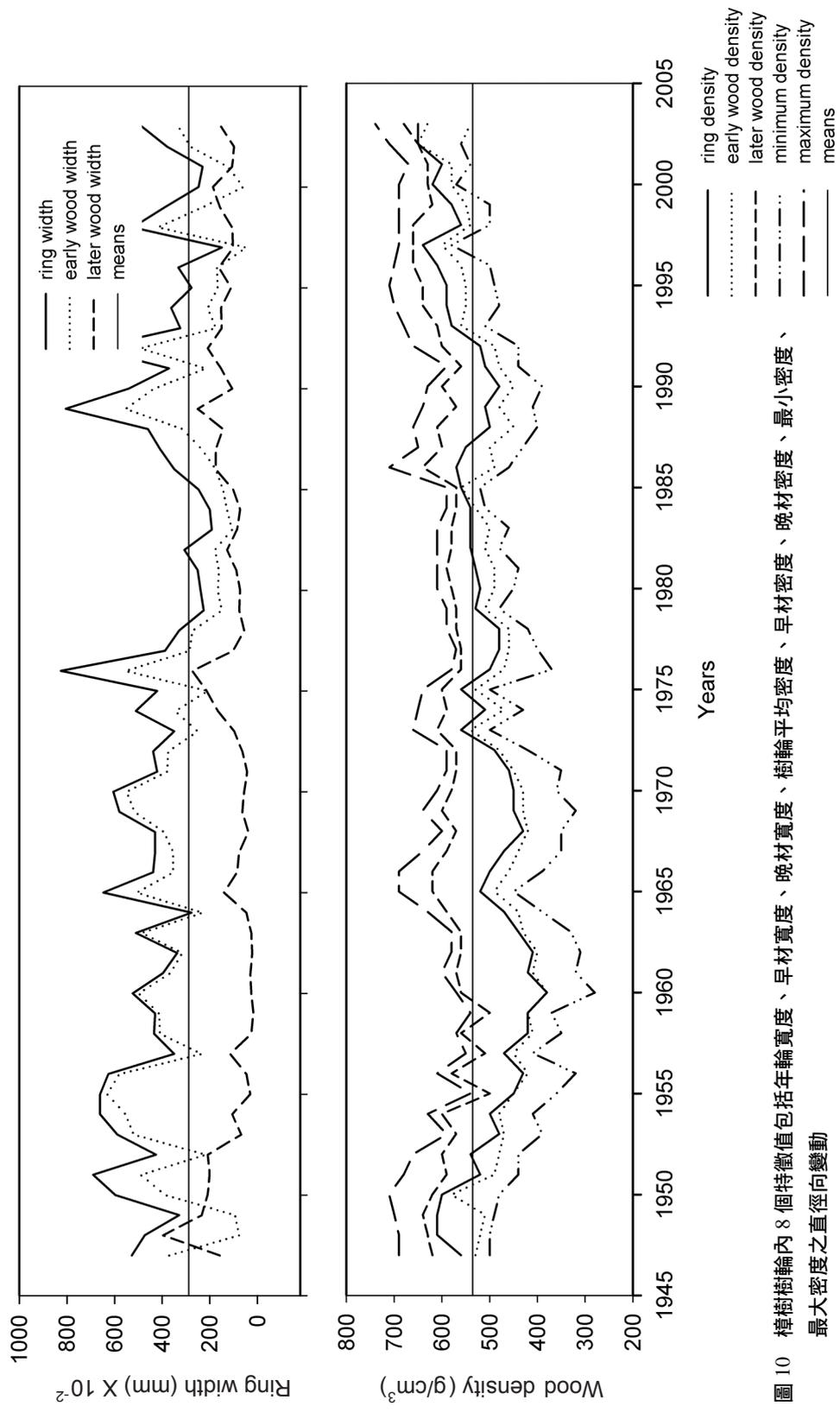


圖 10 樟樹樹輪內 8 個特徵值包括年輪寬度、早材寬度、晚材寬度、樹輪平均密度、早材密度、晚材密度、最小密度、最大密度之直徑向變動

Fig. 10 Eight characteristic values within tree rings of *Cinnamomum Camphora* ring width, early width, late-wood width, average ring density, early density, late-wood density, minimum density, and maximum density

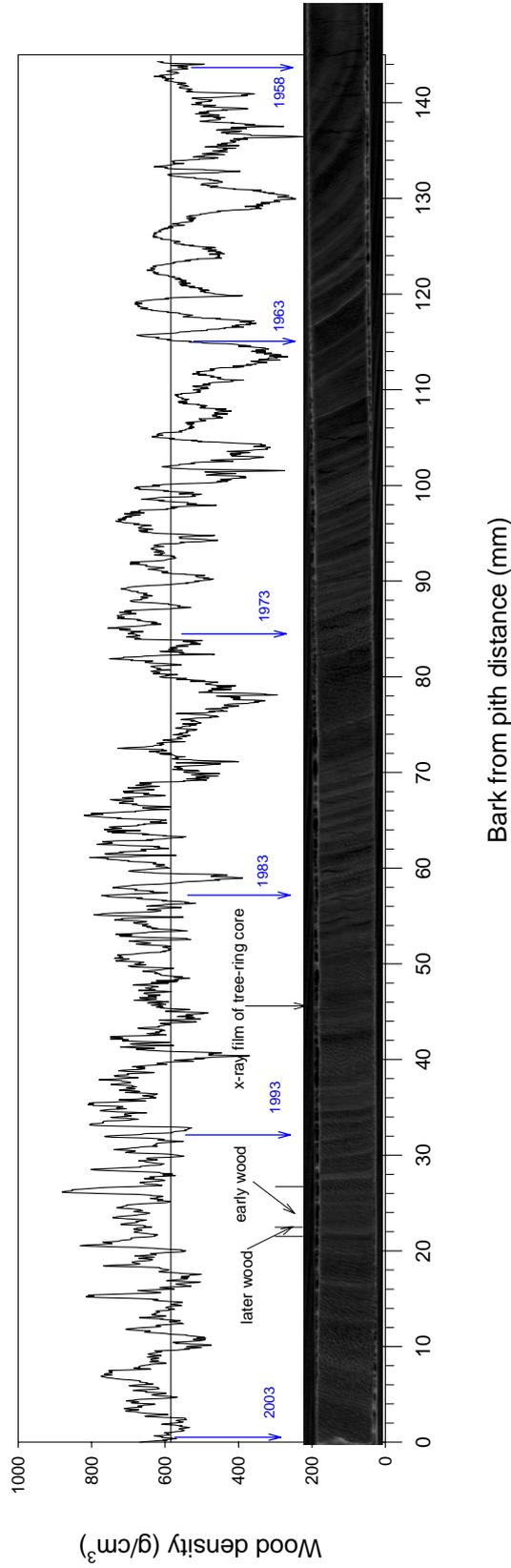


圖 11 烏心石樹芯 x-ray 底片，透過影像分析法解析樹輪寬度與密度變動，X 軸為樹芯從樹皮到髓心長度，Y 軸為木材密度。烏心石屬半散孔材黑色部分係大導管孔徑定義為早材，顏色灰色部分屬於小導管孔徑定義為晚材

Fig. 11 Application of soft x-ray image analysis resolution tree-ring width and tree-ring density of *Michelia compressa*; X-axis represents distance from bark to pith; Y-axis represents wood density

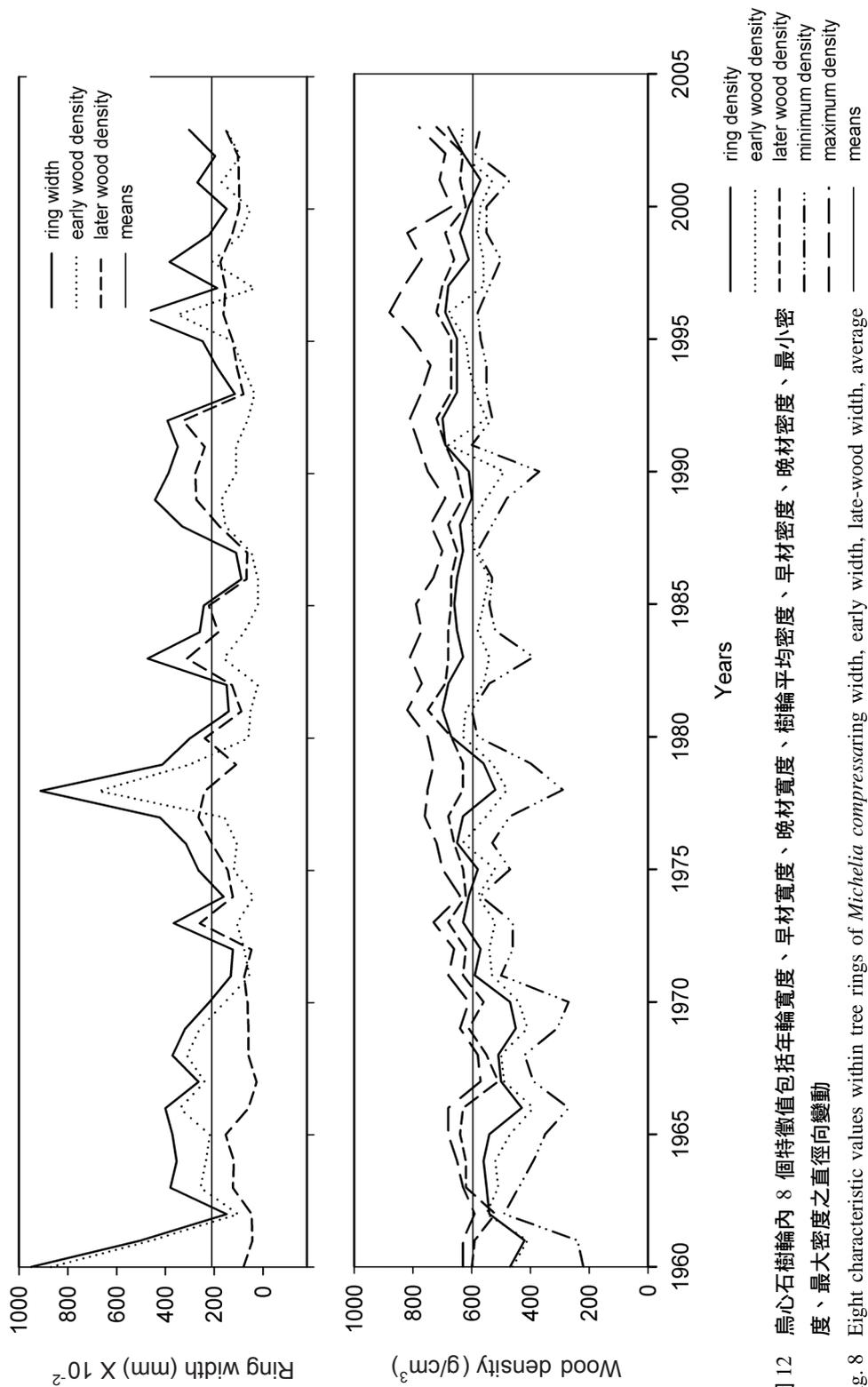


圖 12 烏心石樹輪內 8 個特徵值包括年輪寬度、早材寬度、晚材寬度、樹輪平均密度、早材密度、晚材密度、最小密度、最大密度之直徑向變動

Fig. 8 Eight characteristic values within tree rings of *Michelia compressarum*, ring density, early wood density, late-wood density, average ring density, early density, late-wood density, minimum density, and maximum density

別值得注意的是偽年輪在早晚材振幅不大狀況下判定困難以致於造成定年的誤差。減少誤差的方法除了鑽取樹芯開始必須要有品質管制外，樣本的前處理及切割需要精細，才能夠降低並減少定年上的誤差。

VI、參考文獻

- 王松永 (1983) 商用木材 林產工業叢書。中華民國林產事業協會 pp. 377。
- 詹明勳 (1999) 軟 X-射線-微密度計應用於台灣雲杉立木年輪寬度及密度曲線分析之探討。中華林學季刊 32(4) : 555-567。
- Nobori, Y. (1989) Shin-Nenrin Kaiseki Program (Tree Ring Analysis Program) ver. 2.1. Oij co. Institute of forestry Improvement. Kuriyama, Hokkaido.
- Parker, M. L., and L. A. Jozsa (1973) X-ray scanning machine for tree-ring and density analysis. Wood and Fiber 5(3): 192-197.
- Polge, H. (1963) Une nouvelle Method de determination de la texture du bois: l'analyse densitometrique de cliches radiographique. Ann. Sci. Forest. 20: 533-580.
- Polge, H. (1965a) L'etude du bois par les rayons X. Compte-rendu Academie d'Agriculture de France, séance du 16 Juin.
- Polge, H. (1965b) Study of wood density variations by densitometric analysis of X-ray negatives of samples taken with a pressler auger. IUFRO, Section 41, Melbourne.
- Polge, H. (1966) Etablissement des courbes de variation de la densite du bois par exploration densitometrique de radiographies d'echantillons preleves a' la tariere sur arbres vivants-Applications dans les domarines technologique et physiologique. These Docteur es-Sciences Appliquees, Faculte des Sciences de l'Universite de Nancy.
- Polge, H. and R. Keller (1969) La xylochrologie, perfectionnement logique de la dendrochronologie. Ann. Sci. For. 26: 225-256.
- Polge, H. (1970) The use of X-ray densitometric methods in dendrochronology. Tree-Ring Bull. 30: 1-4.
- Polge, H. (1971a) Perfectionnements recents de l'analyse densitometrique du bois. Note de Recherche No. 10 du Departement d'Exploitation et Utilisation des Bois. Quebec, Universite Laval, Fevrier.
- Polge, H. (1971b) Le "Message" des arbres. La Recherche 11: 331-338.
- Polge, H. and S. Garros (1971) Influence de defolisations sur la structure du bois de Pin maritime. Ann. Sci. For. 28: 195-206.
- Varem-Sanders T. M. L. and I.D. Campbell (1996) DendroScan: A tree-ring width and density measurement system. *Canadian Forest Service Northern Forestry Centre* . pp.131