

老樹巨木樹齡估測之研究¹

詹明勳² 王亞男³ 黃憶汝² 林瑞進²

(收件日期：民國 94 年 4 月 13 日、接受日期：民國 94 年 5 月 24 日)

【摘要】老樹巨木樹齡因半徑長度及未取樣部分至髓心長度的樹輪寬窄隨時間變化速率二個重要參數難以準確估算，造成樹齡估測偏差極大；本研究以非破壞性檢測技術生長錐法取樣估測取自台灣北部、中部及南部針闊葉樹 9 種老樹巨木，以生長錐技術方法決定半徑長度，同時避免反應材過寬或過窄年輪的取樣，並且由樹心樣本估測樹齡。本研究應用樹輪分析之軟 X-射線影像法，分析樹心樹輪寬度與密度，判視偽年輪加以精確定年，獲得樹心樹輪寬度與密度 8 個特徵值；同時參考美國世界爺之經驗模式估算老樹巨木之樹輪寬度隨時間變化 d_i 值，6 種針葉樹除鐵杉外 $d_i < 1.1$ ，另 3 種針闊葉樹 $d_i > 1.2$ ，研究顯示僅有紅檜、台灣肖楠 2 樹種 $d_i < 1$ 。生長錐所鑽取之樹心年輪數估算樹齡，針葉樹樹齡 274-3353 年，闊葉樹樹齡 43-700 年，每一樹種樹齡信賴區間估算，將有待樹輪生長經驗模式的建立。

【關鍵詞】老樹巨木、樹齡、樹輪、軟 X-射線影像分析、非破壞性檢測

AGE ESTIMATION OF THE OLD AND GIANT NATIVE TREES IN TAIWAN¹

Ming-Hsun Chan² Ya-Nan Wang³ I-Ru Hong² Lei-Chin Lin²

(Received: April 13, 2005; Accepted: May 24, 2005)

【Abstract】The purpose of this research was to apply a new calculation technique on the age estimation of giant and old trees by increment bore method. Because to the trunk of giant old tree had compression wood and non circumferential; increment bore could not acquire the sample with correct pith position. Radius length, and d_i value. A method was developed in order to estimate the above information. The width and density characteristic of tree ring were analyzed by soft x-ray image analysis. An estimation model, d_i value, from tree ring growth of sequoias was applied in the research. Thus, the six softwood species were $d_i < 1.1$ and three hardwood species were $d_i > 1.2$; this study show red cypress, camphor $d_i < 1$. We apply nondestructive testing method (NDT) to investigate tree core tree ring number estimate tree age. The results shows softwood age was 273-3353 year and hardwood age was 43-700 year respectively; and We will establishment tree ring growth experiment model statistic age confidence interval.

【Key words】 Old giant tree, Tree age, Tree ring, Soft x-ray image analysis, Nondestructive testing diagnostic (NTD)

¹ 本研究計劃經費承農委會林務局補助 (計劃編號：92-00-2-05)，謹予致謝。

This study was supported by Forestry Bureau, Council of Agriculture. The authors are highly thankful.

² 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及研究助理。

Assistant Research Fellow and Research assistant, Administration of Experimental Forest, College of Bio-resource and Agriculture, National Taiwan University.

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兼實驗林管理處處長 (通訊作者)。

Profesor and Chairperson, Administration of Experimental Forest, College of Bio-resource and Agriculture, National Taiwan University.

I、前言

台灣地形特殊，多高山少平原，巨木生長在高山峻嶺中，適應坡地生長樹幹產生反應材；這種受到生育地坡度局部影響，樹幹生長通常不會是正幾何圓形，因此髓心（pith）通常不會在半徑上的位置，是所謂偏心生長。反應材普遍存在於各樹種間，生育地坡度越大偏心存在狀況更加明顯，紅檜為在下坡處根張尤其明顯。一般針葉樹壓縮材方向生長在坡下樹皮距離髓心屬於長半徑，生長在坡上方屬引張材，樹皮距離髓心屬短半徑；另外闊葉樹壓縮材方向生長在坡上，樹皮距離髓心屬於短半徑，生長在坡下方屬引張材樹皮距離髓心屬長半徑。

巨木半徑生長通常不是正中心圓形，同時樹幹的一邊是壓縮材則正對面是引張材；因而支持我們僅用一個方向樹芯資料估測樹齡的理論是髓心是在樹幹的正中心圓形，且半徑恰好為直徑的一半。假如我們從壓縮材方向鑽取 60cm 樹芯，那麼透過方程式估算則會高估樹齡，相反的我們從正對面方向鑽取引張材 60cm 樹芯那麼我們將會低估樹齡；這也意味著，2 個不同方向鑽取的樹芯，會得到截然不同的生長速率。因此過去對樹齡估測都是假設樹齡及大小之間的相互關係為線性，那麼 $d_i = 1$ （樹輪寬度隨時間變化是一個線性常數），而且 b （直徑）是一條通過原點（髓心）的直線。估測的樹齡通常受取樣樹幹位置（壓縮材、引張材）及估算方程式的影響造成偏誤，通常估測樹齡過大。

老樹巨木樹齡估受到老樹巨木反應材生長影響，樹幹非正圓形，老樹巨木髓心位置、半徑長度無法正確測量，另外生長錐無法取樣部分，髓心位置及樹輪寬度長度隨時間變化 d_i 值也無法得知，這 2 個變數影響老樹巨木樹齡估測的準確性，同時影響非破壞性檢測技術生長錐技術方法之準確性。

國有林常見針葉老樹巨木一般為紅檜、扁

柏、巒大杉、台灣杉、台灣肖楠及台灣鐵杉等種；闊葉老樹巨木以台灣櫟、烏心石及樟樹等種，應用軟 x-ray 影像分析技術方法可以使用在樹輪科學研究上，尤其應用在闊葉樹樹輪分析上可得較佳的解析度（詹明勳等，2005）。另外在非破壞性檢測生長錐技術方法，尤其對樹芯品質檢驗上與樹芯前處理成樹芯試片可以永久保存樹芯樣本，這些技術方法的改進與使用對樹齡估測造成的偏誤將可以降低，配合生長模式統計的修正將可使樹齡估測更具準確性。

過去研究對老樹巨木樹齡的估測因反應材造成樹輪寬窄不一變化，影響生長率少有討論；本研究嘗試發展非破壞性檢測生長錐法對老樹巨木反應材取樣決定髓心位置及半徑長；並以軟 X-射線影像分析樹芯樹輪，判視偽年輪並定年，獲得樹芯樹輪寬度與密度特徵值；透過精確定年建立樹齡年表；同時參考美國世界爺既有之經驗模式估算本研究老樹巨木之樹輪寬度隨時間變化 d_i 值，估算樹芯處樹齡。

II、前人研究

台灣巨木樹齡估測方法一般用該樹種既有生長量資料並將量取之巨木胸高直徑做換算，台灣對於估測老樹巨木的樹齡有（楊等，1974），另外有（洪良斌等，1971）對阿里山眠月紅檜大神木樹齡之研究。對棲蘭山紅檜巨木樹齡測定，同時並對達觀山紅檜、扁柏巨木樹齡測定。對溪頭紅檜巨木進行測定包括樹高 38m，地際幹圍：13.6m（換算直徑為 4.33m），上坡（南側）1.2m 高處：12.6m（直徑 4.00m）材積約 214m³ 處樹齡為 1810 年。

樹齡推估的方法一般由已知樹木生長情形（直徑方法）利用統計方法間接推算之一般樹木年輪寬度，因樹種、氣候、樹齡、土壤養分、酸鹼度、水分、日照或生長空間等生育條

件而異。樹木通常於幼年時，年輪寬度隨年齡之增加而加大，到一定年齡後，則逐漸減小而趨於一定。樹齡推估的方法大多先鑽取巨木樹芯估算單位長度年輪數目後在依下列步驟估算無法取樣部分的生長速率（楊等，1974）。

- (I) 選擇巨樹鄰近，同樹種，天然生，平均分配在各胸徑之參考木多株，用生長錐在胸高處鑽取木條，計算平均每公分之年輪數，可得每年之半徑生長量。
- (II) 繪製胸徑與生長量之關係圖，橫軸為胸徑值，縱軸為半徑生長值，修正後繪製胸徑與生長量之關係曲線。
- (III) 自曲線上讀得各胸徑階之半徑生長量，乘以 2 得直徑生長量。
- (IV) 以胸徑階距除以直徑生長量得各徑階所需之生長年數。
- (V) 總計各徑階生長所需年數得估計樹齡。

巨木樹齡很難準確的表示，列報的巨木所估計樹齡多有偏高的傾向（陳明義等 1994）。巨木樹齡估算有其研究技術方法上之困難性；晚近研究指出具備明顯清晰年輪之巨木透過軟 X-射線微密度計法再進行交互定年方法（cross-dating）。

根據美國農部林務署認定樹齡之 30 個單株，資料庫中最老樹齡為 *Pinus longaeva* 樹齡經過正確定年（dating）為 4844 年。樹齡最老的被子植物或闊葉樹在資料庫中為 *Quercus alba* 樹齡經過正確定年為 407 年。目前國際樹輪資料庫提供作為樹木年輪年代學研究的樹種共有針葉樹 40 屬 299 種，闊葉樹 169 屬 418 種。依據 Schweingruber (1993) 所列舉之樹種共有針葉樹 22 屬 111 種，闊葉樹 11 屬 29 種。其中刺柏屬有 12 種，木材平均密度為 0.405-0.550 g/cm³，通常樹齡可達 2000 年。冷杉屬有 18 種，木材平均密度為 0.331-0.412 g/cm³，通常樹齡較不固定，大約在 150-300 年左右。鐵杉屬有 3 種，木材平均密度為 0.400-0.500 g/cm³，通常樹齡 300-500 年左右，其中加拿大鐵杉 (*Tsuga canadensis*) 最大可達 1000

年。雲杉屬有 14 種，木材平均密度為 0.347-0.500 g/cm³，通常樹齡可達 450-550 年左右。

III、研究材料方法

(I) 樹芯材料取樣及定位

每株巨木在與坡度垂直方向鑽取樹芯樣本 2 支，並在盡可能避免腐朽與空洞的情形下取得最長的樹芯；同時並記錄林班編號、樹種、樹芯處半徑、二度分帶座標位置、海拔及方位等參數如表 1。GPS 二度分帶座標位置採用 Trimble (Zeiss) 測量，以便於將座標位置轉點於數化之相片基本圖上，進行核對。巨木樹芯材料取自台灣北、中、南國有林 6 種針葉樹紅檜、扁柏、巒大杉、台灣杉、台灣肖楠、鐵杉及 3 種闊葉樹包括烏心石、台灣櫟及樟樹計 9 個樹種。每株沿坡度垂直方向鑽取 2 支樹芯，表 1 所列巨木共 27 株，鑽取樹芯處半徑由烏心石最小 42 cm-至鹿林神木最大 366 cm。

(II) 研究方法

1. 非破壞性檢測生長錐取樣法

為避免壓縮材與引張材之樹輪寬度過高或過低的取樣，以及造成生長錐鑽取不到的部分至髓心的距離，因此反應材取樣與正確髓心的方向位置所估測的半徑長度為本研究發展生長錐取樣技術重要的方法。本研究以生長錐法決定髓心與半徑方法，反應材之生長錐取樣技術方法步驟，首先在巨木上坡處找到樹幹引張材或壓縮材頂點位置如圖 1 之 D 點，並用小鉛釘定出位置點。然後決定巨木樹幹與坡垂直方向，依據不同樹種（針葉樹或闊葉樹）如圖 1 之 B 或 E 位置，先初步判斷選擇樹幹形狀較為較規整圓弧形之一面用生長錐試探性鑽取 5-10 cm 長度樹芯，並且要把握在上、下坡垂直兩側之位置，並且盡量貼近地際處鑽取，量取地際處到鑽取樹芯位置垂直高度；判斷樹芯品質樹輪分佈在樹芯是否為修正之同心圓形，依據現場經驗每支可用樹芯取樣至少

表 1 取樣樹種、樹芯處半徑及 GPS 二度分帶座標位置摘要表

Table 1 sampling core radius length and GPS TW67 coordinate system position of tree species list

編號	樹種	樹芯處半徑 (cm)	二度分帶座標		海拔 (m)	方位	備註
			X 座標(m)	Y 座標(m)			
1	紅檜	124.20	193088	2721235	1540	SE	棲蘭山歷代神木園
2	巒大杉	82.50	293212	2720408	1661	SE	棲蘭山 170 線林道
3	巒大杉	82.50	288053	2713581	1859	NE	棲蘭山 170 線林道
4	巒大杉	64.50	288043	2713573	1859	NW	棲蘭山 170 線林道
5	扁柏	69.00	287760	2713393	1911	NE	棲蘭山 170 線林道
6	扁柏	78.00	288026	2713597	1878	E	棲蘭山 170 線林道
7	扁柏	100.30	288016	2713608	1867	N	棲蘭山 170 線林道
8	紅檜	82.00	287763	2713396	1919	N	棲蘭山 170 線林道
9	紅檜	141.72	292923	2720400	1684	SW	棲蘭山歷代神木園
10	紅檜	160.83	292980	2720334	1684	NW	棲蘭山歷代神木園
11	紅檜	130.58	293112	2720453	1670	SE	棲蘭山 170 線林道
12	扁柏	149.68	293146	2729465	1646	SE	棲蘭山 170 線林道
13	台灣杉	133.76	238134	2515094	1720	NE	小鬼湖
14	台灣杉	160.83	238224	2514967	1830	NE	小鬼湖
15	台灣杉	136.95	293001	2514876	1965	NE	小鬼湖
16	扁柏	155.00	269668	2633659	2120	NW	卡社溪
17	扁柏	57.00	268780	2633879	2010	NE	卡社溪
18	扁柏	100.30	268516	2633823	2050	NE	卡社溪
19	巒大杉	150.00	269752	2633567	2028	NE	卡社溪
20	台灣肖楠	80.00	242200	2602258	1550	NW	沙里仙溪
21	台灣肖楠	73.50	242133	2602398	1550	NW	沙里仙溪
22	台灣檫	42.50	230520	2601818	1350	N	神木溪保護林
23	烏心石	45.00	230520	2603300	1550	E	神木溪保護林
24	烏心石	43.00	230433	2602570	1750	S	神木溪保護林
25	樟樹	238.50	230520	2601421	1300	NE	神木溪保護林
26	紅檜	366.00	223124	2613220	2500	NE	自忠鹿林
27	鐵杉	96.00	223420	2613180	2650	SW	塔塔加鞍部

需要試驗 7-8 次左右；偏上或偏下造成如圖 1 A,C 位置之樹輪分佈，可以作為判斷髓心鑽取位置向上或向下的調整依據。找到 B 點位置後盡可能鑽取一段完整且最長的樹芯，遇到腐朽空動或節的部分可在樹幹垂直位置向上或向下調整鑽取位置，同時坡上反應材頂點位置應一併調整高度與平行，並量取 B 至 D 的線段長度 a；E 的位置則用 a 線段長度決定，量取時應注意高度要平行位置才不會偏移影響半徑的測量與取樣位置的正確性。

2. Soft x-ray 影像分析法

取樣樹芯以甲醇（98%）溶液浸洗冷抽

出，並置換抽出液直到顏色變為澄清，再用蛋白膠固定樹芯後，以高精密度平台鋸切割樹芯成厚 2 mm、寬 5 mm。樹芯樣本在恆溫恆濕箱中調整含水率至 12-15%。

拍攝樹芯樣本之軟 X-射線機（HP CABINE X-ray system series MODEL 43855B）為惠普公司生產，照射條件：(1)X-射線距離樹芯 62.5 cm，照射負片的範圍 25.4cm x 11.5cm（4.5 in x 10 in），（Kodak Industrex film M（ready pack II））；(2)X-射線強度 14 PkeV，3mA，照射 7 分鐘。

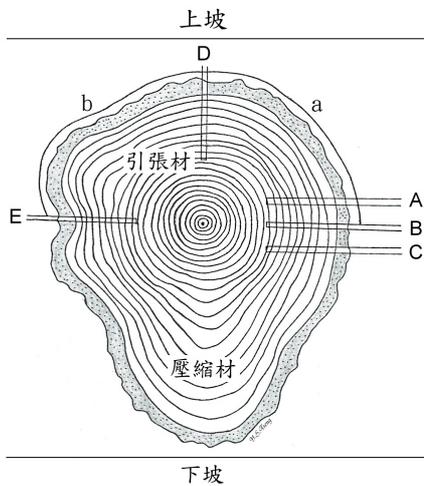


圖 1 針葉樹巨木反應材生長錐取樣方法示意圖

Fig. 1 The application of increment bore sampling technique on the reaction wood of conifers.

A, C: incorrect position (increment bore)
 B, D, E: correct position
 a: B to D length (cm)
 b: D to E length (cm)
 core radius (r) = $(a+b)/\pi$

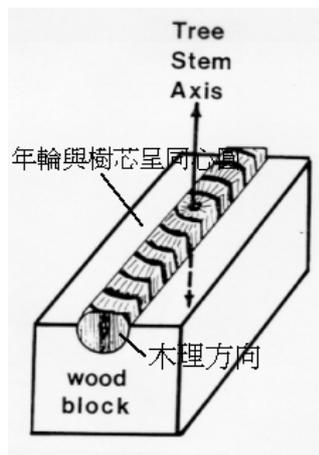


圖 2 樹芯品質檢驗

Fig. 2 The quality tests of tree core

樹芯樹輪 8 個特徵值的獲得使用影像分析法 (詹明勳等, 2005), 整合影像分析套裝軟

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 (Norbori, 1989) 等軟體對樹芯樹輪寬度及密度擷取。這 8 個特徵值中, 年輪寬度包括: 年輪平均寬度、早材平均寬度及晚材平均寬度, 密度部分則包括: 年輪平均密度、早材平均密度及晚材平均密度、最大密度以及最小密度。

3. 交互定年 (cross-dating)

交互定年原理是取自不同來源樹種的樹輪樣本, 可以藉著樹輪寬的變化型態互相比對, 並且能夠向前延伸年表時間 (Cook, 1985), 目的是正確定出每一個年輪的形成年代, 才能建立準確的年輪寬度變化年表。生長在相同生態環境中的樹木, 其接受外界的氣候及限制條件是一樣, 因此年輪變化也應該一致, 但是實際上樹木受微環境變動或本身生理的影響, 而有如偽輪、丟失輪等變異現象發生。

交互定年的步驟包括: (1)辨識出每一年輪的界限、寬度變化的特徵; (2)檢查上述特徵在各樣本中的一致性; (3)找出與眾多樣本吻合的個例; (4)判斷不一致的原因, 是偽輪或丟失輪等所造成的差異, 再進一步予以調整; (5)根據年輪寬窄型態將眾多序列連貫起來; (6)最終建立起精確的年輪寬度年表。本研究以 CDendro 程式 (Elektronik, 2005) 對 27 株 40 個樹芯樣本試材的樹輪寬度值進行交互定年的相關檢驗, 以確定量測和交互定年的準確性, 同一地區性生育地不同樹種間樹輪寬窄變化的序列與主序列間平均相關係數一般設定在 0.25-0.45 之間低於或超過都不能接受。

4. 樹齡估測法

樹齡估測參考美國世界爺已發展有關 d_i 值既有經驗模式估算的方法 (Stephenson *et al.*, 1995)。Di 值是測單位時間內年輪寬度變動樹木生長速率, 一般世界爺樹輪在 0.2-0.5

rings/mm 或 5~2mm/rings ($d > 1$) 表示處在年輕生長快速時期，因此樹輪寬度隨樹齡改變極小。另一方面假如我們發現非常窄樹輪 0.3-0.4 mm/ring，換算過來 2.5~3.3 rings/mm ($d < 1$)，所估測樹齡差異很大。

$$a = br^d \quad \text{一般估測線性模式} \quad [1]$$

a = 樹齡

b = 生長率 ($\frac{\text{rings}}{\text{mm}}$)

r = 半徑 (m)

d 樹輪寬度隨時間改變的速率

$d = 1$ 樹輪寬度隨時間變化是一個線性常數

$d < 1$ 樹輪寬度隨時間變化樹齡增加

$d > 1$ 樹輪寬度隨時間變化樹齡減少

$$a = br^d - b(r-g)^d \quad [2]$$

c = 樹芯樹齡 (樹芯樹輪數目)

g = 樹芯長度 (cm)

$$a = \frac{cr^d}{r^d - (r-g)^d} \quad [3]$$

合併方程式[1]及[2]後估算生長錐鑽取部位樹齡

$$a = (c - c_i) + \frac{c_i r_i^{d_i}}{r_i^{d_i} - (r_i - g_i)^{d_i}} \quad [4]$$

$a = (c - c_i) + a_i$

a = 生長錐鑽取處樹齡

r = 半徑 (cm)

g = 樹芯長度 (cm)

c = 樹芯樹輪數目

a_i = 樹芯最內面 $2i$ 個樹輪數目

g_i = 樹芯最內面 i 個樹輪長度

r_i = 樹芯最內面 $2i$ 個樹輪長度

c_i = 樹芯最內面 i 個樹輪數目

d_i = 樹輪寬度變化隨時間改變的速率

$$d_i = \frac{\ln\left(\frac{[a_i - c_i]/a_i}{[r_i - g_i]/r_i}\right)}{\ln\left(\frac{[r_i - g_i]/r_i}{r_i}\right)} \quad [5]$$

本研究用最內面樹芯 (inner core) 樹輪估測 d_i 值比用整支樹芯做樹輪估測相對精確，內面樹芯有足夠的年輪數目將氣候改變、林火或者彼此間的競爭對年輪寬度變異的效應最小化；一般而言是靠近內部樹芯樹輪寬度變異對於環境變遷反應較小，但是僅有少數的樹輪可以在未取樣的樹幹半徑部分精確地反映出生長。

公式 5 之 d_i 值估算本研究用以樹芯樹輪 200 年以上用樹芯內面 $i = 100$ 個樹輪估算 d_i 值，樹輪 200-100 年之間用樹芯內面 $i = 50$ 個樹輪估算 d_i 值，樹輪在 100 年以下用樹芯內面 $i = 25$ 個樹輪估算 d_i 值。

VI、結果與討論

本研究以台灣北、中、南國有林 6 種針葉樹包括紅檜、扁柏、巒大杉、台灣杉、台灣肖楠、鐵杉及 3 種闊葉樹包括烏心石、台灣欒及樟樹合計 9 個樹種。每株沿坡度垂直方向鑽取 2 支樹芯，表 1 所列巨木共 27 株，鑽取樹芯處半徑由烏心石最小 42 cm-至鹿林神木最大 366 cm。

生長錐決定髓心與半徑位置方法被應用塔塔加地區台灣雲杉之生長錐使用法對立木與圓盤樹齡估測上初步試驗驗證；決定壓縮材頂點位置 D 點後並且用生長錐定出 B 點並量取 D 至 B 點圓弧長度 a，並由 D 點用 a 弧長決定 E 點，所推測之半徑長度與實際測量正常材位置由樹皮到髓心之半徑誤差約在 3-5 cm 範圍內，表 2 樹芯處半徑之用本研究方法測量所得，傳統森林經營所用胸高直徑測量方法比較不適合應用在本研究上髓心位置與半徑長度的估算上。由本研究方法對針葉樹可以比較正確的貼近髓心位置鑽取並且估算合理的半徑長度，對於生長錐鑽取不到的部分距髓心的長度部分，樹齡的估測將得到較小的偏誤。

表 2 25 株巨木 40 個樹芯樹齡、定年之樹輪寬度與密度 8 個特徵值
Table 2 The giant old 40cores of 25 number trees age and dating 8 tree ring (width and density) value

number	species	core-age	core length $\times 10^2(\text{mm})$	years		$\text{width} \times 10^{-2}(\text{mm})$			density (mg/cm^3)				
				start	end	means	earlywood	laterwood	means	earlywood	laterwood	minimum	maximum
2	巒大杉	326	34984.02	1677	2003	106.98	55.52	50.51	604.48	483.74	733.37	426.23	851.23
3	巒大杉	367	33123.26	1636	2003	90.01	51.35	38.66	552.09	440.30	673.70	389.51	794.32
4	巒大杉	398	34879.98	1605	2003	87.42	45.82	41.57	564.10	484.52	645.03	435.13	719.87
4	巒大杉	372	35853.31	1631	2003	96.12	46.08	49.93	567.80	511.83	617.20	478.74	672.93
6	扁柏	502	31205.78	1501	2003	62.04	32.39	29.55	536.12	331.61	640.16	374.20	782.41
7	扁柏	548	35667.57	1455	2003	64.85	31.26	33.59	680.46	601.84	745.57	564.13	820.47
7	扁柏	434	33323.87	1569	2003	76.78	36.08	40.71	696.60	618.18	759.91	573.26	828.25
8	紅檜	536	45525.55	1467	2003	84.78	43.73	41.05	572.07	523.84	632.85	492.29	687.21
8	紅檜	402	34182.60	1601	2003	84.82	43.79	41.03	700.22	650.47	759.06	621.51	821.02
9	紅檜	873	65679.37	1130	2003	75.15	40.19	34.96	517.85	451.41	590.43	414.74	663.15
9	紅檜	561	55449.91	1442	2003	98.67	52.12	46.54	440.75	348.11	548.83	297.33	677.94
10	紅檜	543	42923.72	1460	2003	78.90	40.85	38.05	632.85	512.30	751.64	455.50	858.24
11	紅檜	548	48272.00	1455	2003	87.93	44.40	43.53	459.23	376.03	541.58	325.92	642.75
11	紅檜	387	53218.91	1616	2003	137.16	70.69	66.47	527.01	456.70	597.14	415.98	677.53
12	扁柏	477	44721.29	1526	2003	93.56	45.25	48.31	779.12	681.46	874.39	628.43	959.92
13	台灣杉	331	67998.38	1672	2003	204.81	103.79	101.03	534.55	472.77	600.81	425.45	687.02
14	台灣杉	476	68201.15	1527	2003	142.98	67.39	75.59	511.05	459.16	557.65	430.27	623.67
14	台灣杉	329	69692.61	1674	2003	211.19	104.07	107.12	516.58	464.24	571.27	420.03	633.73
15	台灣杉	200	67297.68	1803	2003	334.81	167.07	167.74	553.58	483.63	612.59	441.64	704.48
16	扁柏	284	46776.19	1719	2003	164.13	83.76	80.37	766.42	714.49	828.32	677.65	893.02

表 2 25 株巨木 40 個樹芯樹齡、定年之樹輪寬度與密度 8 個特徵值 (續)
Table 2 The giant old 40cores of 25 number trees age and dating 8 tree ring (width and density) value (Content)

number	species	core-age	core length × 10 ² (mm)	years		width × 10 ² (mm)			density (mg/cm ³)				
				start	end	means	earlywood	laterwood	means	earlywood	laterwood	minimum	maximum
17	扁柏	190	41739.63	1813	2003	218.53	101.12	117.42	779.84	724.08	829.95	677.28	627.65
18	扁柏 7	389	41245.37	1614	2003	105.76	55.62	50.14	588.15	455.08	715.44	398.67	832.92
18	扁柏 8	322	38768.06	1681	2003	120.02	53.03	66.99	668.73	596.47	716.16	546.63	773.75
19	巒大杉	423	61259.45	1580	2003	144.48	79.12	65.36	554.46	475.26	657.76	429.13	773.51
19	巒大杉	374	66744.61	1629	2003	177.99	94.00	83.57	573.12	492.64	663.84	439.95	761.04
20	肖楠	228	45910.39	1775	2003	200.48	88.32	112.17	890.57	855.20	923.80	822.10	957.95
21	肖楠	212	43378.64	1791	2003	203.66	107.14	96.52	611.41	563.24	672.25	350.09	745.73
22	台灣檫	42	31398.73	1961	2003	730.20	132.13	598.08	942.09	828.14	969.30	717.67	1043.49
23	烏心石	64	28815.32	1939	2003	443.31	225.66	217.66	630.92	599.54	656.92	566.77	710.62
23	烏心石	53	29950.83	1950	2003	554.65	249.19	305.45	664.26	630.74	695.56	594.07	745.00
24	烏心石	34	31087.86	1969	2003	888.22	318.78	569.45	628.57	599.71	646.29	562.29	698.86
25	樟樹	129	35574.27	1874	2003	273.65	82.33	191.32	162.74	133.00	172.37	121.27	205.66
25	樟樹	178	63479.40	1825	2003	354.63	104.80	249.83	638.72	583.85	663.80	531.90	741.34
25	樟樹	123	27877.06	1880	2003	224.82	48.07	176.74	753.06	666.61	781.61	605.89	891.29
26	紅檜	595	64463.98	1408	2003	108.16	59.03	49.13	436.63	357.89	522.18	306.86	627.67
26	紅檜	474	68552.55	1529	2003	144.32	78.98	65.34	225.12	199.15	256.55	180.81	302.96
27	鐵杉	270	37357.72	1733	2003	137.85	77.65	60.20	406.13	320.66	509.74	276.20	587.53
27	鐵杉	290	40090.47	1713	2003	137.77	72.06	65.71	796.98	711.48	891.03	656.01	964.43
27	鐵杉	250	41517.19	1753	2003	165.41	77.38	88.03	871.27	780.32	951.51	717.13	1007.85
27	鐵杉	303	39297.37	1700	2003	129.27	67.87	61.39	685.07	580.20	794.01	517.01	888.45

樹芯樣本經過前處理(抽出、製作成 2mm 樹芯試片)共有 27 株 54 個樹芯樣本試片,由於 Soft x-ray box 最多僅可容許 350mm 長度樹芯,製作完成之樹芯樣本試片須要截斷。樹芯樣本試片從鑽取、樣本製作及 Soft x-ray 拍攝,可以進入適合影像分析之完整樹芯底片樣本共有 25 株 40 個樹芯試片樣本,約有 25% 樹芯樣本試片無法進入完整之影像分析獲得資料;原因包括樹芯樣本試片製作抽出不完全,切割面因高速燒焦痕跡或樹輪受鋸片高速牽引影響而模糊,總之切割的技術方法要把握在適當的速度。本研究編號 5 之扁柏及編號 1 之紅檜 2 支樹芯都無法進行完整的影像分析,完整 2 支樹芯樣本試片進入影像分析僅有 13 株,約 50% 之巨木僅有 1 支樹芯進行分析。野外鑽取巨木需要有良好的體力與技巧,鑽取的樹芯樣本試片才能夠符合研究上的需要,野外取樣盡可能多取 1-2 支之預備樹芯樣本試片。

樹芯樣本於 2004 年鑽取,當年年輪尚未完整的形成僅見春材或與韌皮部、樹皮連在一起,定年的計算上以完整的 2003 年開始,交互定年使用 CDendro 程式 (Elektronik, 2005) 對 25 株 40 個樹芯樣本試材的樹輪寬度值進行交互定年的相關檢驗,以確定量測和交互定年的準確性,並且找出缺失輪 (lose ring),不同樹種樹輪序列與主序列 (master chronology) 平均相關係數一般設定在 0.25-0.45 之間低於或超過都不能接受。在同一地區性生育地不同樹種樹輪寬窄變化的序列受到生育地氣候影響是一致的,不同樹種間樹輪寬窄變化有一定的相關性,其他的變異來自於單株間內外因子的競爭與干擾的表現;除非取自同一單株的 2 個樹芯,否則交互定相關係數一般不會高於 0.45 以上。表 3 針葉樹樹芯樹輪樹齡由 190-873 年之間,樹芯長度 300-700mm 之間;闊葉樹樹芯樹輪樹木約 42-178 年之間,樹芯長度 270-680mm 之間。

各樹種間樹輪寬度檜木類樹輪平均(紅檜、扁柏) < 1mm/ring, 變大杉樹輪平均 < 1mm/ring, 鐵杉樹輪平均寬度為 1.42mm/ring,

肖楠樹輪平均寬度為 2.00mm/ring 左右,台灣杉樹輪平均寬度為 2.23mm/ring 最大;不同樹種間反映出生長速率的差異,可以從(表 3) 樹芯年輪數/cm 顯示出不同樹種間的差異變化,這些變化對樹齡估算有很重要的關係。闊葉樹以樟樹樹輪平均 2.84mm/ring 最小,其次以烏心石 6.29mm/ring, 台灣樺樹輪平均 730mm/ring 最大。闊葉樹年間生長速率很顯然的要比針葉樹快,可以由以上的初步的統計資料顯示,相同長度單位樹芯的樹輪數,反映在我們所估算的樹齡上的差異,針葉樹要比闊葉樹長壽。

本研究 25 株 40 個樹芯樣本試材的樹輪 8 個特徵值如表 4, 各樹種間樹輪平均密度的變化編號紅檜 9、紅檜 11、烏心石 23、樟樹 25、紅檜 26、鐵杉 27 等 5 支樹芯因為切割 < 2mm 厚度,造成 x-ray 底片濃暗換算密度的誤差,一般經由實際樹芯切割厚度與換算回 2mm 厚度修正密度即可。另外也有可能將樹芯切割 > 2mm, 應用內差法將密度修正轉換。若整支樹芯樣本試材切割的厚度不均則無法修正, x-ray 影像將產生濃暗不均無法判視,因此樹芯樣本試材的切割非常重要,要精確把握住 2mm。上述這些情況對於樹輪寬度的測量並不影響,所以對樹齡的估算也不會產生影響。但是切割上造成樹芯表面燒焦或將鋸片對樹輪拉扯產生破壞, x-ray 底片都無法用影像分析判視,樹齡也無法估計。

樣本年間樹輪寬度、早材寬度、晚材寬度;樹輪密度、早材密度、晚材密度、最小密度及最大密度變化。生長錐鑽取樹芯長度非常有限以 1 株巨木半徑 80cm 而言,可以鑽取 50cm 樹芯樣本對樹齡的可以做較為精確的估算,巨木一般半徑大多在 100-300cm 左右,以目前最長的生長錐 80cm,要鑽取 50-60cm 長度樹芯就有相當的難度,樹芯樣本長度僅有半徑的 1/3-1/5,對樹齡估算上除正確測量髓心位置與半徑長度外,最重要的是估測生長錐鑽取不到部分的樹輪寬度變化隨時間改變的速率。估算生長速率雖為同一樹種因局部生育地

表 3 25 株巨木共 40 個樹芯處半徑、樹芯長、樹芯樹齡及估計樹齡摘要表

Table 3 The 40 core sampling trees number core length ,core age and estimation age of 25 giant trees

編號	樹種	樹芯處半徑 r (cm)	樹芯長 g (cm)	樹芯 年輪數 c	c/g	樹輪寬度 變化速率 d _i	樹芯樹齡 a	估計樹齡
2	巒大杉	82.50	34.98	326	9.32	1.1	717	717
3	巒大杉	82.50	33.12	367	11.08	1.1	851	851
4	巒大杉	64.50	34.88	398	11.41	1.1	692	
4	巒大杉	64.50	35.85	372	10.38	1.1	630	661
6	扁柏	78.00	31.21	502	16.09	1.04	1218	1218
7	扁柏	100.30	35.67	548	15.36	1.04	1430	
7	扁柏	100.30	33.32	434	13.02	1.04	1210	1320
8	紅檜	82.00	45.53	536	11.77	0.87	1060	
8	紅檜	82.00	34.18	402	11.76	0.87	1073	1067
9	紅檜	141.72	65.68	873	13.29	0.87	2087	
9	紅檜	141.72	55.45	561	10.12	0.87	1600	1844
10	紅檜	160.83	42.92	543	12.65	0.87	2294	2294
11	紅檜	130.58	48.27	548	11.35	0.87	1657	
11	紅檜	130.58	53.22	387	7.27	0.87	1058	1357
12	扁柏	149.68	44.72	477	10.67	1.04	1545	1545
13	台灣杉	133.76	68.00	331	4.87	1.1	611	611
14	台灣杉	160.83	68.20	476	6.98	1.1	1046	
14	台灣杉	160.83	69.69	329	4.72	1.1	708	877
15	台灣杉	136.95	67.30	200	2.97	1.1	381	381
16	扁柏	155.00	46.78	284	6.07	1.04	911	911
17	扁柏	57.00	43.38	212	4.89	1.04	274	274
18	扁柏	100.30	41.25	389	9.43	1.04	881	
18	扁柏	100.30	38.77	322	8.31	1.04	774	828
19	巒大杉	150.00	61.26	423	6.91	1.1	964	
19	巒大杉	150.00	66.74	374	5.6	1.1	785	874
20	台灣肖楠	80.00	45.91	228	4.97	0.84	446	446
21	台灣肖楠	73.50	41.74	190	4.55	0.84	376	376
22	台灣檫	42.50	31.40	42	1.34	1.2	52	52
23	烏心石	45.00	28.82	64	2.22	1.2	91	
23	烏心石	45.00	29.95	53	1.77	1.2	72	82
24	烏心石	43.00	31.09	34	1.09	1.2	43	43
25	樟樹	238.50	35.57	129	3.63	1.26	701	
25	樟樹	238.50	63.48	178	2.8	1.26	551	
25	樟樹	238.50	27.88	123	4.41	1.26	848	700
26	紅檜	366.00	68.55	474	6.91	0.87	2871	
26	紅檜	366.00	64.46	595	9.23	0.87	3836	3353
27	鐵杉	96.00	37.36	272	7.28	1.25	591	
27	鐵杉	96.00	40.09	292	7.28	1.25	594	

的變異不同，有時差異也很大。本研究採同一樹種不分地區先就各樹芯樣本算出 d_i 值後再加以平均，平均數作為同一樹種 d_i 值。本研究依據 (Stephenson *et al.* 1995) 發展世界爺巨木樹齡估測之經驗模式修改估算 d_i 值。針葉樹 d_i 值以鐵杉 1.25 最大，其他各樹種紅檜 0.87、台灣肖楠 0.84、扁柏 1.04、台灣杉 1.1； d_i 值越大表示樹芯單位長度之樹輪數目越少例如闊葉樹種，相反的 d_i 值越小表示樹芯單位長度之樹輪數目越多例如針葉樹。一般闊葉樹 $d_i > 1$ ，而針葉樹 $d_i < 1$ ， d_i 值大小幅度變化，對樹齡估算會有很大的變動，在 0.1 個單位的變動，對樹齡估算上可能高達 50-100 年。本研究參考台灣總督府殖產局 (1922) 台灣主要林木生長量調查書於 1907 年調查南投縣信義鄉巒大山所產之紅檜 1 株、扁柏 2 株，闊葉樹部分以羅東地區樟樹 1 株如表 4 所列，針葉樹紅檜 d_i 值為 0.92、扁柏為 0.97-1.01，另闊葉樹樟樹為 1.12 與本研究以樹芯所估算之 d_i 值接近。未來 d_i 值估算應建立檜木類或其他老樹巨木之經驗模式，目前 d_i 值估算已有 (Stephenson *et al.* 1995) 用世界爺砍伐後的樹樁 (stump) 實際估算之驗證模式，可以更準確估算生長錐鑽取不到的部分樹輪寬度隨時間變化速率的精確值，得到具有信賴區間之樹齡估算值，本研究目前上缺少這些資料的驗證分析。

樹齡估算以生長錐取樣法決定半徑位置、並發展 soft x-ray 影像分析法精確定年辨識偽年輪與丟失輪，並參考 (Stephenson *et al.* 1995) 用世界爺針葉所發展 d_i 值估算模式，估算樹齡由針葉樹樹齡 274-3353 年，闊葉樹樹齡估算由 43-700 年。這些估算值受生長錐鑽取樹芯處的半徑影響很大，目前發現台灣地區第 2 大鹿林神木巨木樹芯處半徑 366cm，由 2 支樹芯估算之樹齡從 2871 年與 3836 年，2 支樹芯相差約 1000 年；本研究發現除避免反應材取樣外，可以在 B 點或 E 點與坡度垂直的方向，在樹幹垂直的 B 點或 E 點各多取 1 支樹芯，做樹齡估測參考調整值；本研究 2 支樹芯每單位樹輪數目 6.91ring/cm 及 9.23ring/cm，

相差 2ring/cm。很顯然的生長錐鑽取樹芯樹之半徑越短由 2 支樹芯所估算之樹齡變異也越小。本研究目前尚缺乏樹輪生長經驗模式可應用參考，僅將由生長錐所鑽取之樹芯年輪數估算樹齡，無法對樹齡信賴區間作正確估算，未來樹齡的估算上樹輪生長經驗模式的建立將是重要的部分。

VI、引用文獻

- 王松永 (1983) 商用木材。林產工業叢書。中華民國林產事業協會。377 頁。
- 詹明勳、王亞男、王松永 (2005) Soft x-ray 影像分析法應用於天然林台灣檫、樟樹、烏心石樹輪寬度及密度分析之研究 37(4)：1-12。
- 楊榮啟、陳昭明 (1974) 如何測計巨樹：以大溪事業區第 35 林班紅檜巨樹之測計為例說明。台灣大學森林學系學會印行。森林 8：4-7。
- 洪良斌、陳松藩 (1971) 阿里山眠月紅檜大神木樹齡之估測。林試所所訊 275(22)：76-79。
- 黃英塗 (1990) 溪頭神木之研究。台灣林業 16(11)：22-34。
- 陳明義、楊正澤、陳瑩娟 (1994) 珍貴老樹解說手冊。台灣省政府農林廳及中華民國環境綠化協會出版。103 頁。
- 台灣總督府殖產局 (1922) 台灣主要林木生長量調查。659 頁。
- Cook, E. R. (1985) A time series analysis approach to tree-ring standardization. Tree-Ring Laboratory, Lamont-Doherty Geological Observatory, Palisades, New York. 171pp.
- Elektronik, C. and D. AB (2005) Cybis dendro dating program. Cybis Company.
- Nobori, Y. (1989) Shin-Nenrin Kaiseki Program (Tree Ring Analysis Program) ver.2.1. Oij co. Institute of Forestry Improvement.

Kuriyama, Hokkaido.

- Stephenson, N. L., and A. Demetry (1995)
Estimating ages of giant sequoias. *Canadian
Journal of Forest Research* 25: 223-233.
- Schweingruber, F. H. (1993) *Trees and Wood
in Dendrochronology*. Springer-Verlag Berlin,

Heidelberg, German. 402pp.

- Varem-Sanders T. M. L. and I. D. Campbell
(1996) *DendroScan: A tree-ring width and
density measurement system*. Canadian Forest
Service Northern Forestry Center. 131pp.