

氣候變遷對於台灣亞高山玉山圓柏與
冷杉樹輪氣候學之研究
-以太魯閣國家公園為例

太魯閣國家公園管理處研究生研究報告

中華民國一百年十二月

氣候變遷對於台灣亞高山玉山圓柏與
冷杉樹輪氣候學之研究
-以太魯閣國家公園為例

研究生：陳建璋

指導老師：詹明勳 博士

太魯閣國家公園管理處研究生研究報告

中華民國一百年十二月

目次

表次-----	III
圖次-----	V
摘要-----	VII
第一章、前言-----	1
第二章、研究背景及前人研究-----	3
第一節 玉山圓柏與冷杉-----	4
第二節 地理分布-----	4
第三節 玉山圓柏及冷杉群落分布與氣候之關係-----	4
第四節 樹木在樹芯取樣後的反應-----	5
第三章、研究材料與方法-----	7
第一節 研究地點概況-----	7
第二節 氣候資料-----	9
第三節 研究材料-----	10
第四節 研究方法-----	10
第五節 樹輪寬度量測-----	15
第四章、結果與討論-----	19
第一節 玉山圓柏與冷杉組織解剖-----	19
第二節 樹輪寬對氣候反應-----	20
第五章、結論-----	27
附錄一 樣木資料表-----	29
附錄二 國外文獻針對樹木受樹芯取樣後的反應-----	31
參考文獻-----	37
參考網址-----	39

表 次

表3-1 玉山圓柏資料表-----	11
表3-2 冷杉資料表-----	12
表4-1 標準化年表、殘差年表、自回歸年表-----	21
表4-2 樹輪標準化年表(STD)與溫度、降雨相關分析表-----	22
表4-3 樹輪標準化年表、殘差年表、自回歸年表與氣候相關性-----	22
表4-4 各樣本樹齡生長量-----	24
表4-5 樣本之各齡階生長率-----	25

圖 次

圖2-1 玉山圓柏於臺灣地區分布地點-----	4
圖2-2 樹木在受傷後抵禦腐朽的反應-----	6
圖3-1 試驗地點位置圖-----	8
圖3-2 東北峰樣區概況-----	8
圖3-3 東峰樣區概況-----	8
圖3-4 台灣冷杉樣區內林地概況-----	9
圖3-5 採樣地1960至2009年年均溫氣溫資訊-----	9
圖3-6 採樣地1960至2009年年累積雨量-----	10
圖3-7 針葉樹反應材示意圖-----	11
圖3-8 冷杉樹芯樣本圖-----	13
圖3-9 樹芯品質檢驗-----	13
圖3-10 樹芯年輪數劃計示意圖-----	14
圖3-11 樹芯窄輪劃記示意圖-----	15
圖3-12 樹輪寬度量測系統-----	15
圖3-13 樹輪寬度影像圖-----	16
圖3-14 樹輪寬度正確量測位置-----	16
圖4-1 玉山圓柏橫切面-----	19
圖4-2 玉山圓柏徑切面-----	19
圖4-3 玉山圓柏弦切面-----	19
圖4-4 台灣冷杉弦切面-----	20
圖4-5 臺灣冷杉樹輪輪寬年表示意圖-----	21
圖4-6 樹輪年表逐年平均胸高斷面積增加量(BAI)圖-----	23
圖4-7 斷面積生長率-----	26

摘要

關鍵詞：樹輪氣候學、玉山圓柏、台灣冷杉、南湖大山

氣候變遷是近年來重要的議題，為了瞭解森林因環境衝擊的影響，研究森林林木的樹輪是有用的方法。樹輪學是利用樹輪來標定其年分並研究分析其物理、空間、時間等的一門學問，利用此科學可以研究環境變遷對於林木的影響。

本研究於 2011 年於南湖大山審馬陣山屋及南湖東北峰共計採取玉山圓柏及台灣冷杉各 30 株樹芯，樹輪徑向生長與年均溫呈正相關，溫度變化對生長有正向的影響，在主要生長季節 6-8 月夏季溫度有正相關，特別是與 6 月份溫度有顯著正相關，表示玉山圓柏與台灣冷杉的生長與主要生長季節夏季氣溫有著極大的關係；另外高山地區 3 月份降水量也呈正向相關，在生長季節開始的春季降雨有助於生長，溫度與降雨等氣候因子反應在樹木生長上的初步訊息，尤其夏季生長季節溫度對兩種樹種生長正向關係，顯示氣候變遷特別是溫暖化效應，對於兩種生長於亞高山地區樹種生長有正向增加效應，但是氣候暖化也可能促生長在兩相鄰高低海拔樹種遷移，較低海拔樹種往較高海拔遷移，造成與原來分佈在這個區域樹種對生育地競爭，使分佈於較高海拔樹種產生衝擊效應。

第一章、前言

氣候變遷是近年來重大的議題，其中氣候暖化、異常的氣候型態與極端氣候對生物的衝擊狀態是極需瞭解且有迫切性，而當前更要了解這些環境的變遷對林分動態上的變化，以及其林分生長模式之建立與林木樹齡的分布，進一步建立起林木的標準年表，並由林木的生長狀態可推估過去氣候的變動狀態，也可看出其受環境變化影響，未來林木生長的趨勢或狀態，其中這些資料全部紀錄在樹木的年輪當中，樹輪 (Tree ring) 係具維管束形成層細胞的喬木或灌木，在一整年所產生的一層木質細胞，通常包含生長季節早期所形成的薄壁細胞 (稱之為早材或春材) 及生長季節晚期所形成的厚壁細胞 (稱之為晚材或秋材)。一整個年輪通常由早材開始形成，然後晚材接續形成，環繞樹木的橫斷面而形成一整個圓周。樹輪學係使用樹輪來標定形成樹年輪的正確年度 (定年) 以便分析物理、文化過程裡，時間與空間格局的科學。而也可以應用樹輪去研究現在氣候與重建過去氣候的科學，譬如：分析樹輪的寬度來決定有氣象紀錄以前每年降雨量。樹輪生態學研究對於古環境變遷 (Past Global Changes, PAGES) 與今環境變遷 (長期生態研究) 可以提供有用而且寶貴的資料。

玉山圓柏 (*Juniperus morrisonicola* Hayata) 是特產於臺灣地區海拔位置最高之樹木。而台灣冷杉 (*Abies kawakamii*) 為台灣特有種裸子植物，分布於海拔 3,100m~3,700m 間的山區。從南湖大山朝南延迄至關山，及於雪山周邊坡區、玉山、合歡山等區域；其生長環境為低溫的冷溫帶區，成長相當緩慢 (陳正和，2004)，台灣冷杉對環境有高度的敏感性，使得樹輪寬窄較無一定順序，增加判釋的困難 (賴國祥，1992)，但由於這兩種樹種所處位置海拔很高，受到人為的干擾很少，又處於極端氣候環境中，因此兩者會忠實反應出環境的變化，尤其近年來的氣候異常極可能對高山地區的玉山圓柏與台灣冷杉形成生存壓力。不同區域的玉山圓柏與台灣冷杉對氣候的敏感程度，也是研究上重要的課題。玉山圓柏是長壽的樹種，因此玉山圓柏內的樹輪記錄著長久下來的生長情狀，更記錄著環境的變遷情形。

第二章、研究背景及前人研究

第一節、玉山圓柏與冷杉

柏科(Cupressaceae)植物分為 3 亞科, 15 屬, 約 130 種, 分布於南北兩半球(劉業經等, 1994); 圓柏屬(*Juniperus* L.)植物, 全世界約有 60 種, 是裸子植物中多樣性相當高的分類群(Šoljan, 1991), 而玉山圓柏或稱作香柏(*J. squamata* Buch-Ham. ex D. Don), 葉為針刺狀, 長 3-5 mm, 寬約 1 mm, 先端尖銳, 嫩葉內側稍粉白, 三葉交叉輪生, 毬果卵圓形, 成熟時呈紫黑色, 毬果單一, 長 6-8 mm。

Adams(2000) 利用葉片內揮發性精油和 RAPD(Random Amplified Polymorphic DNAs)針對北半球單一種子的圓柏屬植物系統分類的研究報告中, 發現以葉所含之精油-萜烯(terpenes), 以及在 DNA 方面都顯示, 臺灣地區之玉山圓柏與大陸地區之香柏有明顯的區別, 充分顯示出其地理與生殖隔離, 故而認為其應為一獨立之種, 進而採用由早田文藏在 1908 年所命名之植物學名 *J. morrisonicola* Hayata 根據此一處理, 則玉山圓柏應為特產於臺灣之特有種(endemic species)(王志強, 2009)。

台灣冷杉為台灣特有種裸子植物, 俗稱白松, 因灰白色樹皮而得名, 為常綠喬木, 樹高可達 16m 以上, 胸高直徑可達 1m 以上, 常於海拔 3,100~3,700m 之陽光強烈乾燥地帶形成純林, 為本島最高的森林植群(Flora of Taiwan, 1994)。合歡山地區常可見台灣冷杉純林, 且可明顯觀察出與草原間的推移帶。木材呈淡黃色, 沒有邊材與心材的區分, 質地輕軟, 是良好的建築用材之一(應紹舜, 1980); 早材佔樹輪的大部份, 早、晚材是漸變的, 樹輪分界明顯(洪耀淇, 1991)。鄒佩珊學者在玉山地區對冷杉的研究中, 依據玉山北峰的氣象資料及生態學家之研究, 一般以氣溫 5°C 為林木生長之起始溫度(郭寶章, 1978; Kienholz, 1934), 並得知台灣冷杉的生長季, 約始於五或六月, 至該年九或十月結束, 之後進入休眠階段, 待來年春季環境恢復成適合狀況才繼續生長。台灣冷杉年輪的生長模式分為三種, 第一種受到氣候干擾如旱災、絕對最低溫度等可由年輪上看出生長量明顯降低的痕跡。第二種是年輪因火燒、生物傷害、樹倒擦傷、地形改變等干擾, 形成異常受損, 產生部分的逸失或多輪心現象。第三種是初生苗木和林緣木, 因日照及養分供應充分, 平均生長量大; 大徑木或被壓木, 因逐漸老化或養份競爭的壓力下, 平均生長量小。

第二節、地理分布

蘇鴻傑(1974)綜述臺灣地區玉山圓柏林之分布狀況，以中央山系為主軸，而此山系主要由雪山山脈、玉山山脈及中央山脈所組成，分布在主脊海拔高 3,000 m 以上之山脊(蘇鴻傑，1974，1988；應紹舜，1976；楊國禎，1988)，至海拔高 3,500 m 以上可見大面積之玉山圓柏灌叢，例如雪山圈谷、南湖大山，而大面積喬木型森林，僅出現於雪山北峰、翠池至下翠池地區、南湖大山東南稜、南湖池畔、秀姑巒山至馬博拉斯之間鞍部及玉山北峰東側鞍部，另外歐辰雄 (2002) 對大雪山地區植群生態調查研究中指出奇峻山附近亦有一大處面積玉山圓柏喬木純林。

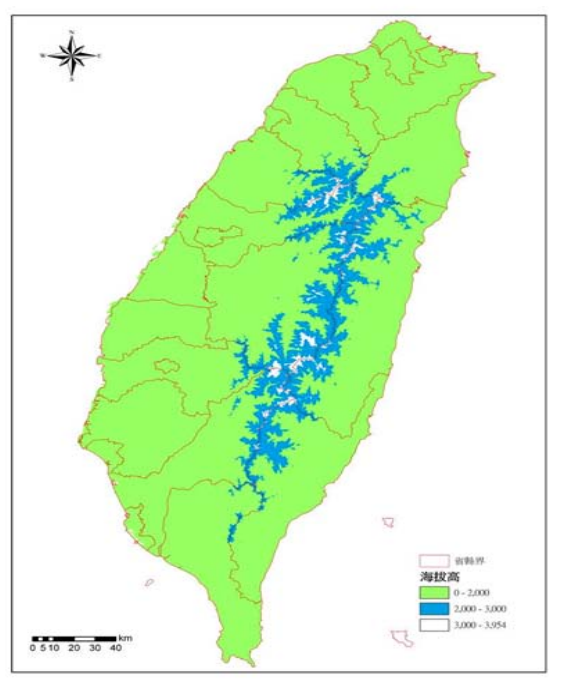


圖 2-1 玉山圓柏於臺灣地區分布地點(王志強，2009)

第三節、玉山圓柏與冷杉群落分布與氣候之關係

日本學者鈴木時夫於 1935~1936 年在秀姑巒山之東南鞍部發現有關玉山圓柏之 4 種群落(蘇鴻傑，1974)，在柳樞(1968)論述臺灣植物群落時，將玉山圓柏劃入寒原(tundra)及針葉樹林(coniferous forest)兩種群系(formation)；在臺灣植物群落之分類研究中，探討高山寒原及針葉樹林群系，論及雪山主峰翠池地區玉山圓柏純林，調查結果顯示：胸高直徑介於 25~ 60 cm 之間，平均樹高約 12 m，樹冠密度約 40 %，平均每公頃約 250 株，最大胸高直徑有 180 cm，惟大部分大徑木之老樹幹多呈空洞，由於此等空洞老木枯死後，林下常有幼苗出現，故此一植物群落將為安定之植物群落(柳樞，1971)。而台灣地區山地植群由高海拔至低海

拔分別為高山帶高山植群帶、亞高山帶冷杉林帶、山地上層帶鐵杉雲杉林帶、山地上層帶鐵杉雲杉林帶、山地帶櫟林帶(上層)、山地帶櫟林帶(下層)、山地下層帶楠櫛林帶和山麓帶榕楠林帶，在此垂直的植群帶中，冷杉林帶的上界是台灣森林的分布極限，也是木本植物與高山草本植物的分野，於生態及環境都是重要的樹種(蘇鴻傑, 1992)。

關於群落之分布與氣候之關係，依據 Su (1984)對於臺灣中部地區山地植群帶分布的劃分看法，認為氣候主要與年均溫及溫量指數有顯著的相關性，可大致以海拔、年均溫、溫量指數對植群帶作初步的劃分，藉此可用以了解族群目前可能的植群分布，大致上可區分為：高山植群帶(Alpine vegetation Zone)和冷杉林帶(Abies zone)，其植物社會特徵分述如下：

1. 亞寒帶—高山植群帶

位於海拔 3,600 m 林木界線以上，年雨量約 2,800 mm，年均溫概在 5°C 以下，生育地多為不良之裸岩或岩床，土壤乾燥、風力強大、日照強烈，冬季有積雪，在此惡劣環境之下，已無喬木生長，僅有矮性之灌木或草甸，灌木以玉山圓柏、玉山小蘗、玉山杜鵑最常見。其餘偶見的木本植物尚有刺柏、玉山薔薇(*Rosa sericea* Lindl. var. *morrisonensis* (Hayata) Masam.)、臺灣茶藨子(*Ribes formosanum* Hayata)、巒大花楸等(*Sorbus randaiensis* (Hayata) Kidzumi)；地被層植物除由玉山箭竹(*Yushania niitakayamensis* (Hayata) Keng)所組成的小面積草甸外，以阿里山龍膽(*Gentiana arisanensis* Hayata)、玉山佛甲草(*Sedum morrisonense* Hayata)、玉山薄雪草(*Leontopodium microphyllum* Hayata)等最具代表性。

2. 冷溫帶—冷杉植群帶

分布於海拔 3,100~3,600m 之間，冬季乾燥而寒冷，年均溫在 5~8°C 之間，多為向陽之乾燥山坡或岩礫密布之處，土壤化育仍不完整。代表性植物以臺灣冷杉、玉山圓柏及玉山箭竹最具特色，其中臺灣冷杉偏向北向背陽的谷地，玉山箭竹則在陽光極強的南向山坡或山頂形成草甸。

第四節、樹木在樹芯取樣後的反應

樹木一旦受傷了之後，腐朽菌就會入侵樹幹或是粗枝。而此時樹木本身為了阻止腐朽菌繼續對樹木造成傷害，會形成一道堅固的防衛線以阻擋腐朽菌的行進。樹木受創傷破壞後，為使傷害降至最低樹木有一協調系統，稱為隔離分化作用。隔離分化作用是樹木在受傷組織邊緣形成特定邊界以進行隔離的過程，可以此方式抵抗病原體的蔓延(Shigo 1984, Smith 1988, Norton 1998)。來自科學界，有

關樹心鑽取的報告中指出，鑽取樹心後造成樹木死亡是很罕見的(FAQ 1997)。在1970年代，Peter Dunwiddie在紐西蘭鑽取100根樹芯(主要是貝殼杉屬的樹種)的初步評估中，只有一棵樹在這之後死亡，而且是不明原因(Jonathan Palmer pers. comm. 1997)。

樹木在受到傷害時會有以下4道防線的產生：

第一道防線：由各式各樣的防禦物質填塞於導管或是假導管中所形成之阻止垂直方向腐朽的防禦線。

第二道防線：由年輪的晚材部分或是心材化所形成的防禦線。

第三道防線：放射組織之薄壁細胞產生反應後所形成的防禦線。

第四道防線：由形成層或是長出後1至2年的年輪之薄壁細胞產生反應後所形成的防禦線。

在上述的防禦線中，第四道防禦線是最堅固的，其次是第三道防禦線。而最弱的則為第一道防線。因此，腐朽帶有往樹幹的上下方進行之傾向。

下圖中，已完全腐朽且脆弱不堪的A處為木材被腐朽菌腐蝕殆盡後所殘留下來的痕跡。而腐朽菌最活躍的B處雖已變色，但仍可與堅固之防禦線進行區分。此外，這種形成防禦線的能力可說是與樹本身的狀態息息相關。當樹勢強盛時，形成強力的防禦線之速度會較快。反之，樹勢衰退的時候，則需花相當多的時間才能形成防禦線。

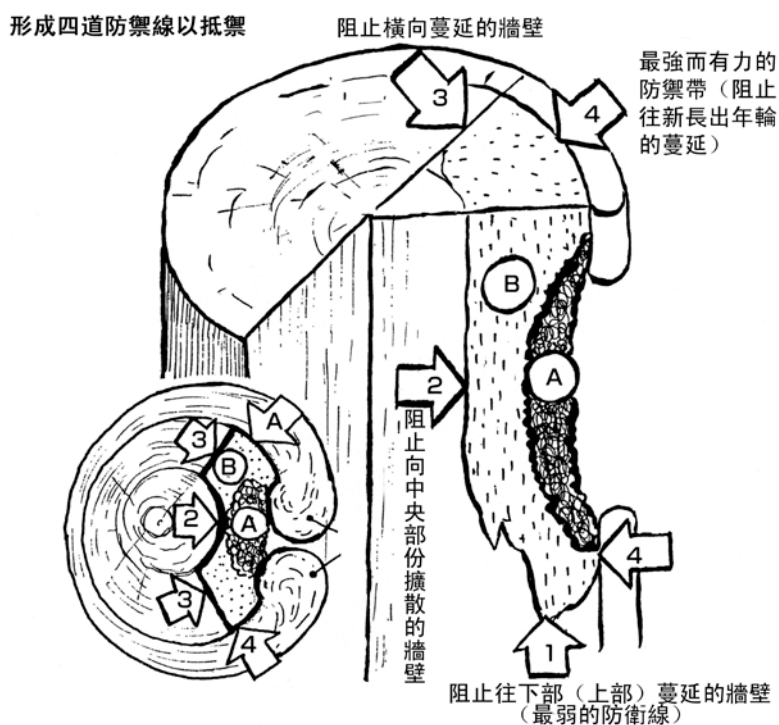


圖2-2 樹木在受傷後抵禦腐朽的反應

第三章、研究材料與方法

第一節、研究地點概況

試驗地點為太魯閣國家公園南湖大山東南稜、南湖池畔。於臺灣冷杉(*Abies kawakamii*)及玉山圓柏(*Juniperus morrisonicola* Hayata)混淆林處進行樣區設置；在研究地點的台灣冷杉及玉山圓柏喬木區各設置 1 個樣區，共 2 個樣區。玉山圓柏樣區位於南湖大山東峰，N24° 22' 12.8"，E121° 26' 24.2"，海拔高 3480 m，樣區大小為 50 ha，南湖大山東峰 3637 公尺，屬於中央山脈，行政區劃屬於臺中市、花蓮縣、宜蘭縣。南湖大山東峰南方有南湖大山，北邊連接馬比杉山。其特色為較為偏僻，與鄰近其他山峰比起來，相較險峻。

太魯閣國家公園海拔分部高度從海平面至 3742 公尺之南湖大山，受到地形之變化影響，造成複雜的氣候帶，及變化萬千的氣象景觀。園區內氣溫隨著海拔高度的上升而遞減，海拔一千公尺處之年均溫為 17.5°C，二千公尺處之年平均溫為 12.5°C，但在南湖大山、合歡山、奇萊連峰一帶三千公尺以上高山，年平均溫則降為 7.7°C，而一、二月間，氣溫多在攝氏零度以下(呂勝由，1989)。

台灣冷杉樣區位於審馬陣山屋附近，步道約 15.5-16 Km，座標位置為 N24° 22' 55.6"，E121° 24' 55.4"，海拔高 3112 m，樣區大小為 20 ha，南湖地區出露之岩層主要為始新世—漸新世之畢祿山層與中新世之廬山層，二者以斷層為界。畢祿山層以灰黑色板岩為主，夾有厚層之變質砂岩、結晶石灰岩與變質礫岩。廬山層以板岩為主。南湖大山地區位於台灣中央山脈北段與雪山之緯度相當。根據中央氣象局玉山觀測站的資料，雪山山區之年均溫 3.8°C，冬季平均溫度可低於 0°C，年降雨量 3000 公釐以上。在台灣高山冰河地形的研究中，依據日據時代 10 多篇報告全部認定台灣高山遺留有第四紀的冰蝕地形。在台灣高山冰河地形研究文獻中，最早見於 1933 年富田芳郎在台灣地學記事第 4 卷中，關於南湖大山圈谷的研究報告。其後還有田中薰、鹿野忠雄、佐佐保雄等多位著名的日本學者，陸續進行台灣高山冰河地形調查與研究。其中鹿野忠雄對台灣高山圈谷的調查最徹底，研究報告也最多。根據鹿野忠雄的調查，台灣高山的圈谷共計 77 個，雪山山區最多，有 35 個。玉山有 19 個。南湖大山則有 12 個。

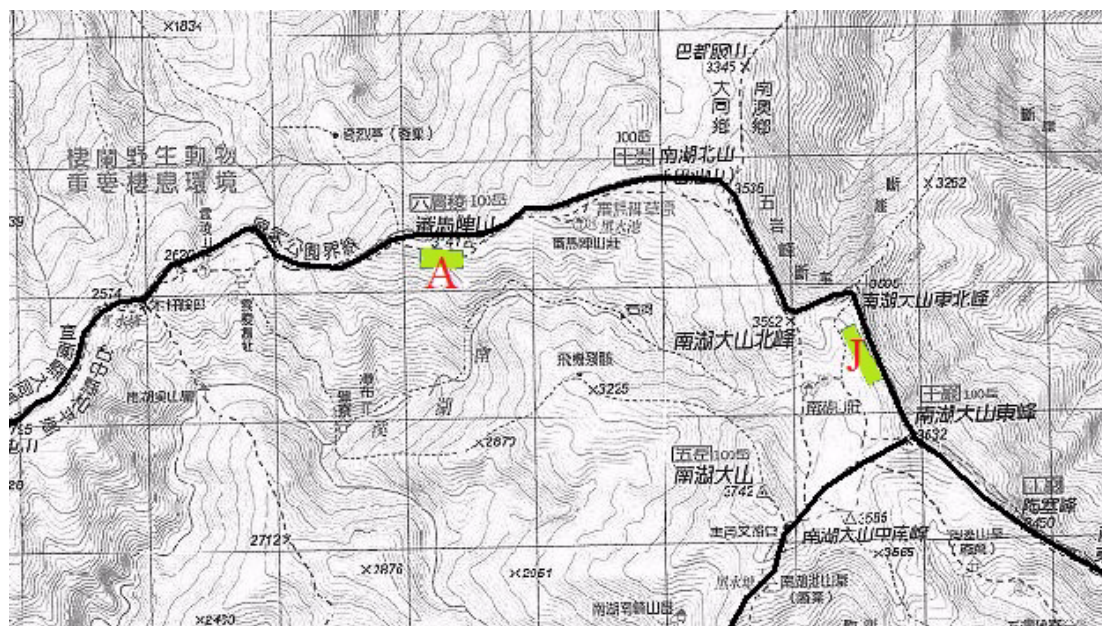


圖 3-1 試驗地點位置圖



圖3-2 東北峰樣區概況



圖3-3 東峰樣區概況



圖3-4 台灣冷杉樣區內林地概況

第二節、氣候資料

本研究之氣象資料由臺灣大學全球變遷研究中心所提供的區域統計降尺度的氣象資料(Lin et al., 2009)，採用 ccs_a2 模式，以氣象軟體(Grads) 讀取試驗地經緯度(N24° 22' 55.6"，E121° 24' 55.4")獲得 1960 至 2009 年之氣溫、雨量資料，如圖 6、7。

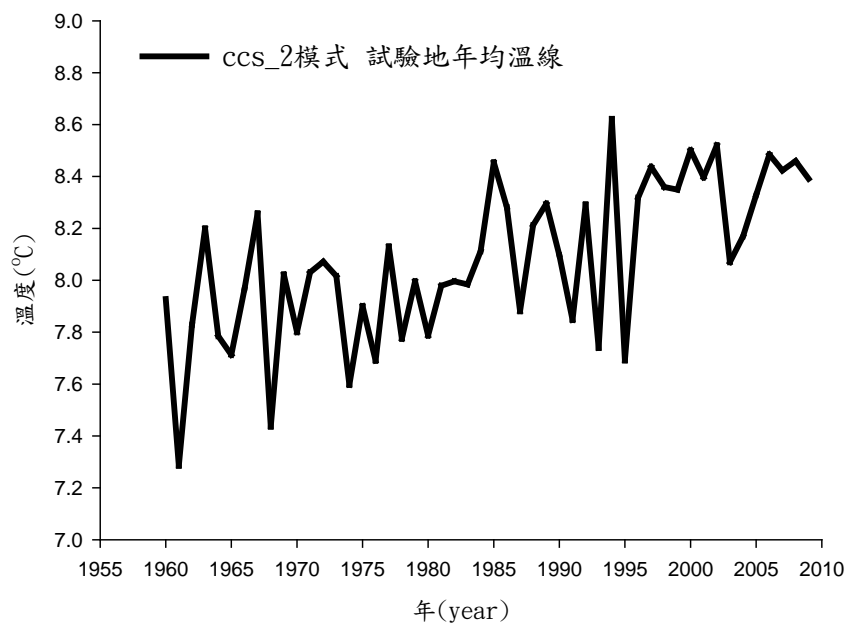


圖 3-5 圖中為臺灣大學全球變遷研究中心所提供，資料由區域統計降尺度所獲得 ccs_a2 模式，經氣象軟體(Grads)讀取採樣地 1960 至 2009 年年均溫氣溫資訊

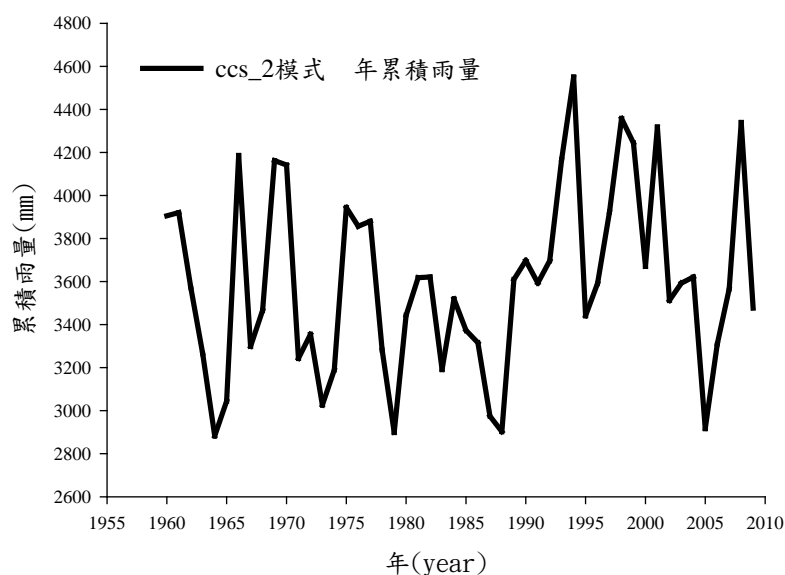


圖 3-6 圖中為臺灣大學全球變遷研究中心所提供，資料由區域統計降尺度所獲得 ccs_a2 模式，經氣象軟體(Grads)讀取採樣地 1960 至 2009 年年累積雨量

第三節、研究材料

研究試驗材料為玉山圓柏(*Juniperus morrisonicola* Hayata)、台灣冷杉(*Abies kawakamii*)。林木調查方面先進行樣區內樣木的胸徑、樹高、枝下高、冠幅等基本資料調查，以了解林木結構。樹輪樣本於試驗研究地點進行生立木的生長錐取樣，每個試驗地點利用生長錐於胸高直徑處1.3m取樣，取樣標準為樹木胸高直徑達30 cm以上，取樣數目各為15株玉山圓柏及台灣冷杉樹芯樣本，每株鑽取樹幹左右各一根樹芯，共60根樹芯，鑽取並於枯立倒木上取圓盤，圓盤共取5個以進行交互定年，而取樣的圓盤大小依據樹木胸徑大小及枯倒的年限加以決定。

第四節、研究方法

1. 樹芯取樣

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才頂點位置如下圖所示，先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)如下圖之左右兩側之位置，先初步判斷選擇樹幹形狀較為較規整圓弧形之一面用，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整正之同心圓形，找到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，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。樹芯鑽取完畢後，須於鑽取孔洞處塗抹殺菌劑，以防止傷口感染等。塗完藥劑後傷口須封白蠟堵住鑽取之孔洞。

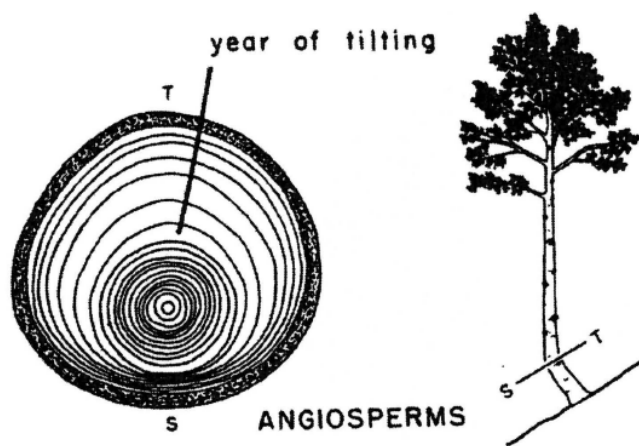


圖3-7 針葉樹反應材示意圖

表 3-1 玉山圓柏資料表

ID	DBH (cm)	TH (m)	Core length (cm)	
			A	B
J01	26.9	4.4	15	23.5
J02	120	6.6	10.5	11
J03	47.2	6.5	20.8	35
J04	23.6	3.5	10.5	10.5
J05	20	4.5	9.2	9.2
J06	42.7	9.8	24	27
J07	58.2	4.5	21.2	14
J08	55	5	22.3	31.3
J09	54.5	8	26.7	31
J10	58.9	6	14.8	18.7
J11	70	12	19	16
J12	72	5	8.6	8.9
J13	41.3	4.5	22	13.9
J14	39.8	5	18.1	18.1

J15	29.1	5	12.5	21.1
-----	------	---	------	------

玉山圓柏15株樣木的平均胸高直徑為49.6 cm，樹高為5.9 m，根據柳楸(1971)的「台灣植物的群落之分類ii台灣高山寒原及針葉樹林群系」一文中指出，雪山地區的玉山圓柏純林，立木度疏密適度，胸徑約在35~65公分間。據航空測量調查結果，玉山圓柏平均每公頃約250株，平均樹高約12公尺，樹冠密度約40%，最大胸徑有180公分者，而玉山圓柏的樹高不高，此係玉山圓柏常分布在海拔3400公尺以上之高山寒原帶，是其他高大喬木所無法生存的地方，常在峻嶺絕崖上形成廣大的灌木叢形態。終年常綠的玉山圓柏，本是高拔俊挺、樹形優雅的喬木，但在生長環境不佳的高山峻嶺上，為抵抗寒風侵襲，常呈奇怪的曲折盤桓狀的矮小灌木叢所致。

表 3-2 冷杉資料表

ID	DBH (cm)	Core length (cm)	
		A	B
A01	62.3	26	26
A02	95	39	45
A03	121	49	51.5
A04	117	36	42
A05	105	49	49.8
A06	90	43	48.2
A07	26	13	13
A08	102	50	48
A09	58.2	29.1	29.1
A10	105	40.5	41.5
A11	83	51	48.5
A12	83.5	36.5	47
A13	80	44.3	44.3
A14	121	49	51
A15	83	51	48

台灣冷杉平均胸高直徑為86.8 cm，根據陳榮欽(1996)台灣冷杉林的樹齡與胸高直徑具有直線的回歸模式存在 ($y=2.334x+3.8409, r=0.767$ ，標準偏差為37.536，式中 $8 \leq x \leq 103$)。蔡進來(1996)在合歡山區臺灣冷杉林樹齡學之研究指出，台灣冷杉林木徑級的分佈呈現反J型圖形。

2. 樹芯樣本處理

樹芯樣本先取出，放置於阿拉斯加扁柏製之占木，樹芯之木理需與占木垂直，並且檢查樹芯與占木是否緊密，進而貼上紙製膠帶以免反翹，後放置陰涼處陰乾。



圖 3-8 冷杉樹芯樣本圖

3. 固定樹芯

以動物性蛋白膠膠合樹芯於阿拉斯加扁柏製之占木上。樹芯樣本在恆溫恆濕箱中調整含水率至 12-15%。

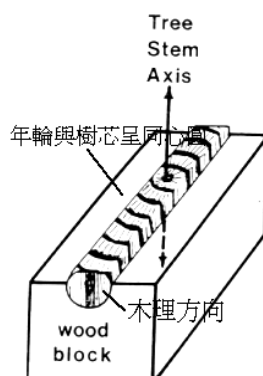


圖 3-9 樹芯品質檢驗

4. 樹芯砂磨處理

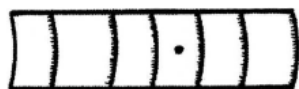
使用砂紙磨樹芯，以400號的砂紙為主要砂磨，砂磨到樹芯可以明顯看見為止。接下來用600號的砂紙砂磨到樹芯光滑為止。

5. 樹芯偽年輪及缺失輪判定

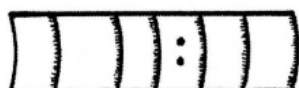
(1) 選擇一個比較寬的年輪，當作是標示輪，其該年輪寬中可能有缺失輪。丟失輪判定係依主觀來看，並與其他相同樹種，同生長地的樹木做比較，可用於交叉定年上，做為寬的年輪間相互比較，因此能對照出缺失輪(lose ring)。或是比較窄的年輪中，比較出偽年輪。

(2) 根據取樣的日期確定最外圈年輪的日期，年輪相對於季節而生長，因此一個晚輪加上一個早輪為一年，依據此規律可以推算出樹木年齡。另外，在夏天剛開始時所鑽取的樹芯通常會包含不完全形成的晚輪。

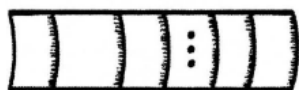
(3) 首先是年輪的最外圈標為鑽取年的年份(如1990、1980等)，年輪由外往內數，在數完後，每個標籤年代以鉛筆(HB)粗系(0.3或0.5mm)劃個點做為每個10年，每50年用鉛筆劃兩個圓點和每個百年用鉛筆劃三個圈。



One pinprick indicates the DECADE.



Two pinpricks in a vertical alignment indicate the 50th YEAR.



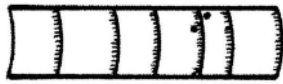
Three pinpricks in a vertical alignment indicate the CENTURY YEAR.

圖 3-10 樹芯年輪數劃計示意圖。以每 10 年劃計一點、每 50 年劃計兩點及每隔 100 年劃計三點。

(4) 在樹芯交互訂年中會出現缺失輪或是偽輪的情況此情下須子記標記缺失年或是偽輪，在樹芯上在晚材的左右兩邊以鉛筆(HB)標記兩黑點。



Two pinpricks, horizontally aligned, indicate the presence of a "MICRO" RING.



Two pinpricks aligned at an angle across a latewood band indicate that a ring is MISSING from the sequence.

圖 3-11 樹芯窄輪劃記示意圖。在樹芯上標示極窄輪，以在窄年的秋材上左右各劃計一點，缺失輪上已在秋材的的年輪上右上左下各劃計一點。

第五節、樹輪寬度量測

樹輪寬度的量測方面，係使用樹輪寬度量測系統(Velmax)進行。本系統硬體方面包含光學立體顯微鏡、Imaging source與樹輪量測試驗平臺(Acu-rite)。量測時需慎選樹輪之切線及法線，以測量出具代表性的樹輪寬度(圖14)。先將樣本至於光學立體顯微鏡下，利用樹輪量測試驗平臺(精度0.005 mm)的移動，每一移動至早晚材境界點時，使用樹輪寬度量測系統紀錄其位置，便可得到所需的資料(年輪數、年輪寬、早材寬、晚材寬與晚材率)，同時在需紀錄的地方，使用Imaging source進行拍照存證紀錄，而當每一樹芯樣本量測完畢之後，還需再進行檢驗，檢驗個別樹輪年序列之間的一致性，並適當調整其樹輪序列年代，進一步確定樹輪樣本的年份區間及樹齡。

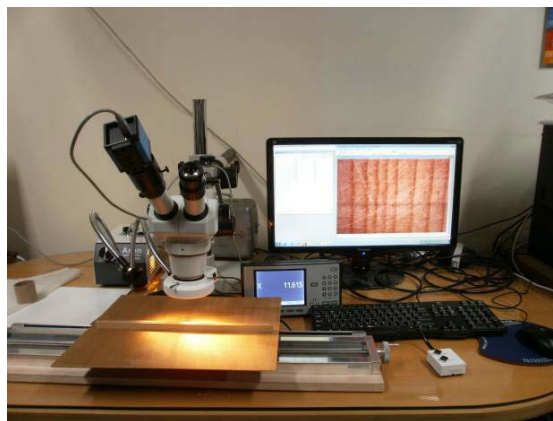


圖 3-12 樹輪寬度量測系統

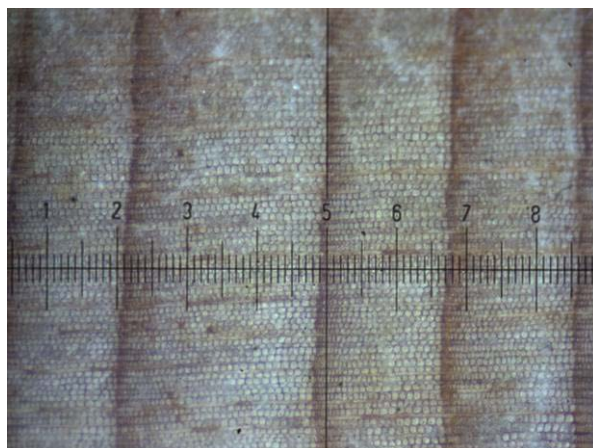


圖3-13 樹輪寬度影像圖。(早材部分顏色較淡，而晚材部分顏色較深。)

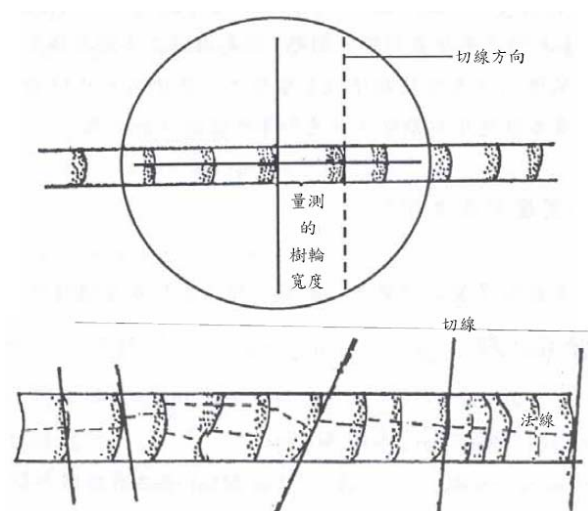


圖 3-14 樹輪寬度正確量測位置。上圖為標準量測位置之選擇。下圖為當樹輪有不規則形狀，應慎選切線及法線方向進行寬度量測(吳祥定等，1990)。

1. 統計交互定年 (Statistical cross-dating)

量測後使用COFECHA程式檢驗目視定年(Holmes, 1983)。使用32年視窗的三次平滑曲線過濾低頻變化，以對數轉換方式突顯窄輪或輪寬的效性，最後將所有序列加總平均以得主序列；再以30年視窗每次移動1年的方式，比較各序列與主序列的相關係數，並以前後1-5年的相關性，來檢查定年或量測的正確性。本研究最後選取相關性大於0.40的樹芯進行分析；經過修正後，移除相關性較差的樣本。

2. 樹輪寬度年表建立

每一樣區之單株樹寬序列經由COFECHA檢驗篩選，確定定年與測量無誤，在合成代表該地區主要寬度年表之前，尚需濾除與樹齡相關的生長趨勢，也就是

標準化，樹輪寬度標準化的意義有二(Cook, 1985)：

(1)從樹輪寬度序列移除非氣候訊息的因素。主要是因樹木年齡造成的不同生長趨勢(壯齡生長快速，老齡生長較緩慢)與干擾的效應(競爭、病蟲害與火災等因素)。

(2)單株林木由於不同生長率及不同林齡，將標準化後的結果進入平均值函數的序列。

樹輪寬度指數(I_t)(5)等於每一樹輪寬度的值(R_t)除以它的期望值(expected value, G_t)。樹輪寬度分別以linear regression進行擬合，再經由雙權重穩健平均法(biweight robust mean) (Mosteller and Tukey, 1997)，將所有輪寬序列的訊息進行合併成標準化年表(STD)、殘差年表(RES)及自迴歸年表(ARS)，這些程序由Holmes在1994年所完成的ARSTAN程式中計算。

$$I_t = \frac{R_t}{G_t} \text{-----}(5)$$

3.樹輪的基本統計值

(1)樹間相關性

樹間相關性(6)為樹芯與主序列的相關性，平均相關性代表，整體樣本間的共同訊號，樹間相關性愈大愈好。

$$r_{xy} = \frac{\sum_{t=1}^n (X_t - m_x)(y_t - m_y)}{(n-1)S_x S_y} \text{-----}(6)$$

x_t ：第t年樹輪值 S_x ：樹輪值標準差

y_t ：第t年主序列值 S_y ：主序列標準差

m_x ：平均樹輪值 n ：樣本總輪數

m_y ：平均主序列值

(2)平均敏感度測試

敏感度為檢測一條曲線本身所呈現的振盪幅度，當振盪幅度大則曲線敏感度高，反之則敏感度低；敏感度太低也就是外界環境對於它的影響不足以造成生長上的延遲或傷害，此樣本即不能作為研究外界因子對其影響之樣本，須與以捨棄。平均敏感度介於0至2的範圍間，數值愈接近0表示敏感度愈低，愈接近2表示敏感度愈高，對樹輪氣候學的研究而言，敏感度愈高所含的高頻訊息愈多，一般而言，敏感度約0.2最好 (Fritts, 1976)。

(3)樣本量總體代表性

樣本總體代表性(Expressed Population Signal, EPS)(7)，表示足夠代表氣候重建可性度的最低樣本量，以EPS 0.85為建議指標；EPS低於0.85，表示年表不

足以代表應有的共同訊息 (蔣麗雪, 2011)。

$$EPS = \frac{t \cdot r_{bt}}{t \cdot r_{bt} + (1 - r_{bt})} \text{-----}(7)$$

t : 樹芯平均數量

r_{bt} : 平均樹間相關性

4. 樹輪寬度對氣候的反應

研究輪寬變化與氣象因子間的關係，一般常用相關函數(Correlateion function)及反應函數(Response function)(Fritts, 1976)。相關函數是計算樹輪寬度與氣候因子間的簡單相關；反應函數是採用多變量分析法，為描述外部因子對樹輪寬度變化的影響，將月均溫及月累積雨量先作主成分分析，再和輪寬值做逐步回歸分析(Stepwise regrestsion)，之後將主分量的回歸系數轉換回對應於原始氣象因子的回歸分析，其值大小和正負代表樹木徑向生長對氣候的反應程度。

第四章、結果與討論

第一節、玉山圓柏與冷杉組織解剖

1. 玉山圓柏

春秋材轉變突然，徑面壁孔單列，旋面壁孔單列春、秋，無射線管胞，具結晶物或結晶細胞，薄壁細胞豐富，帶狀排列，薄壁細胞末端壁平滑，水平壁具壁孔，垂直壁末端平滑，寬為單列鮮少多列，恆常最大細胞數：11-20，柏木型，落羽松型，無樹脂溝。

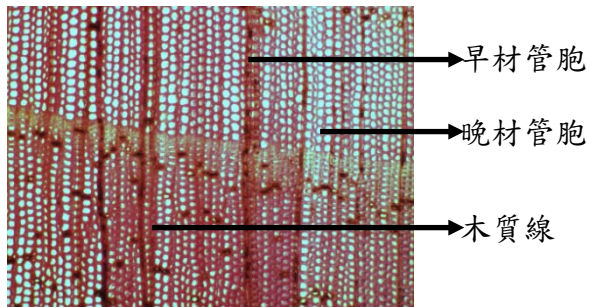


圖4-1 玉山圓柏橫切面200倍

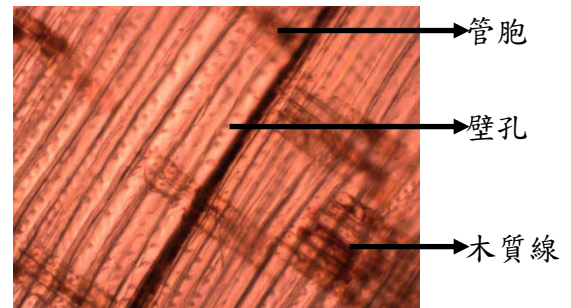


圖4-2 玉山圓柏徑切面200倍

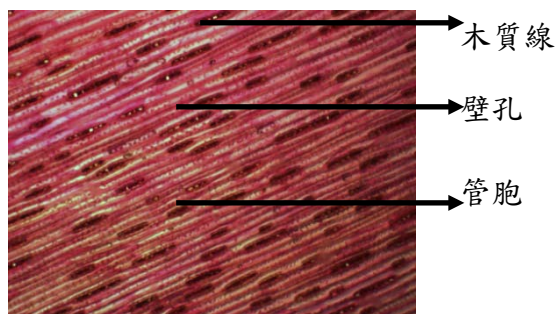


圖 4-3 玉山圓柏弦切面 200 倍

2. 台灣冷杉

春秋材轉變漸進，徑面壁孔單列，旋面壁孔單列春、秋，無射線管胞，具結晶物或結晶細胞，肥厚線，管胞重緣壁孔具阜緣芒突，無縱向薄壁細胞，水平壁具壁孔，垂直壁末端珠節狀，恆常最大細胞數：21-30，雲杉型，柏木型，落羽松型，無樹脂溝。

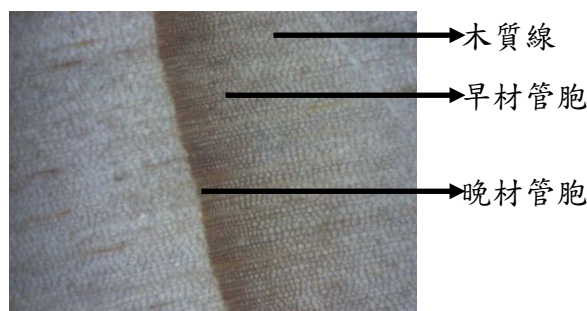


圖 4-4 台灣冷杉弦切面 40 倍

第二節、樹輪寬對氣候反應

(1) 樹輪寬度年表建立

本研究所鑽取玉山圓柏 15 株、冷杉 15 株合計 30 株健康立木，每株立木鑽取 2 支樹芯合計 60 支樹芯，利用 ARSTAN 程式交互定年，經調整後，以相關性 0.40 為標準，共挑選 43 根樹芯進行分析。再以 ARSTAN 程式經 EPS 之檢定，建立樹輪之標準化年表(STD)、殘差年表(RES)、自迴歸年表(ARS)(圖 20)。

由 ARSTAN 的結果可知，樹間相關性介於 0.40~0.72 之間，平均相關為 0.54，表示該地區樹木具有一致的共同訊號，平均敏感度為 0.21。

國內臺灣冷杉樹輪研究以鄒佩珊於 1998 年，在玉山所採集的臺灣冷杉的樹輪分析中所採集的臺灣冷杉的樹輪分析中，其樹間相關性為 0.41-0.59，平均敏感度為 0.14，比較本研究之結果，顯示本研究地區南湖大山的臺灣冷杉一致性的訊號及環境敏感度，皆達一定的水準。

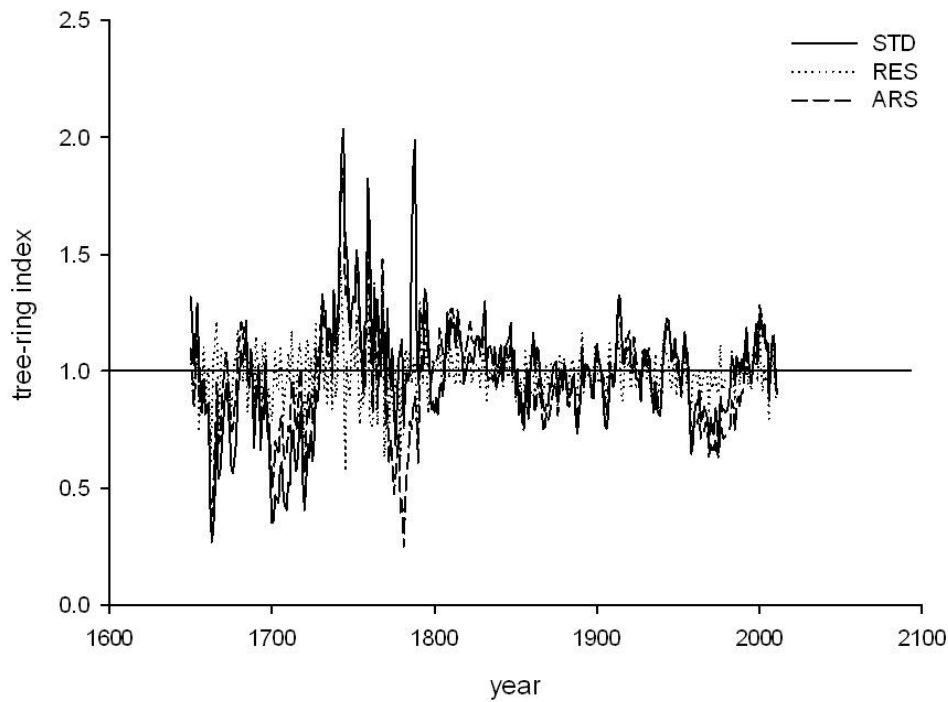


圖 4-5 樹輪輪寬年表示意圖，標準化年表(STD)、殘差年表(RES)、自回歸年表(ARS)

(2)STD、RES、ARS 年表相關分析

三年表所代表的訊號有些許不同，STD 年表為移除生長趨勢，但保留自相關；RES 年表為移除生長趨勢與自相關；ARS 年表則介於 STD 與 RES 中間，年表則介於 STD 與 RES 中間保留部分的自相關。

三個年表間呈顯著相關(表 3)以 STD 與 ARS 年表間的相關性最高(0.964)，依次為 ARS 與 RES 年表(0.775)及 STD 與 RES 年表(0.766)。STD 年表屬於週期較長的低頻訊號，RES 年表為週期較短的高頻訊號，ARS 則界於兩者之間。

表 4-1 準化年表(STD)、殘差年表(RES)、自回歸年表(ARS)相關係數($p < 0.01$)

	STD	RES	ARS
STD	-		
RES	0.766	-	
ARS	0.964	0.775	-

從樹輪與氣候的相關性分析(表 5)得知樹輪年表中僅 STD 年表與氣候的相關性較佳，表示氣象因子對於輪寬的影響以低頻的訊號較好；輪寬年表與氣候的分析顯示，樹輪輪寬與年均溫有顯著相關係且以 6 月的影響最為強烈，顯示溫度愈

高對徑向生長愈寬。溫度對於植物生長與代謝易產生控制，且樣區處於推移帶，溫度對其影響更甚，所以年均溫對於樹輪的生長有明顯的影響；而夏季溫度偏暖有利於樹輪的生長，這是生長在高海拔地區林木的特性，尤其是在林木界線附近的林木，表現得更為明顯(Tranquillini, 1979)，且7-8月為颱風入侵的高峰期，可能因此對於生長有所影響，致使6月對氣溫生長的影響最大。

表 4-2 樹輪標準化年表(STD)與溫度、降雨相關分析表

月份	溫度		降雨	
	correlation	P vale	correlation	P vale
1	0.122	<<0.08	-0.015	<<0.31
2	0.085	<<0.10	0.149	<<0.07
3	0.139	<<0.07	0.302	<<0.05
4	0.212	<<0.07	-0.017	<<0.35
5	0.137	<<0.09	0.148	<<0.07
6	0.382	<<0.10	0.093	<<0.11
7	0.288	<<0.07	0.157	<<0.09
8	0.269	<<0.08	0.200	<<0.08
9	0.244	<<0.07	-0.022	<<0.41
10	0.075	<<0.14	0.055	<<0.25
11	-0.016	<<0.20	-0.069	<<0.53
12	0.080	<<0.16	0.030	<<0.18

表 4-3 樹輪標準化年表(STD)、殘差年表(RES)、自回歸年表(ARS)與氣候相關性

variable	month	STD		RES		ARS	
		correlation	<i>p</i>	correlation	<i>p</i>	correlation	<i>p</i>
溫度	Year	0.307	<<0.05	-	-	-	-
溫度	6~8	0.287	<<0.05	-	-	-	-
溫度	6	0.382	<<0.01	-	-	-	-
雨量	3	0.302	<<0.05	-	-	0.289	<<0.05

表

與雨量的關係中，僅與3月份之雨量有明顯的關係，顯示生長初期的雨量對於臺灣冷杉的生長有明顯的幫助。在加州 Lloyd and Graumlich(1997)的研究中指出樹的生長會受到降雨的影響，而由於南湖大山之氣候型態屬於低溫重濕型，每年的12月底至隔年的2、3月間經常會發生降雪，3月氣溫開始回升溶雪，且生長季前降水提供植物良好的生長環境，誘使光合作用活化發生(Pumijumng and Wanyapget, 2006)，故3月的雨量有助於樹木的生長。

樹輪的寬度變化會受年均溫的影響，而由建立年表樹芯的平均胸高斷面積的

增加量(Basal Area Increment, BAI)，如圖 21 所示，可發現 BAI 大約在 1950 年後，有逐漸增加的趨勢，且顧斌在 1996 年的研究也說明，臺灣冷杉的徑向生長與溫度變化有密切相關，故可推測為 1950 年氣候開始暖化的緣故。

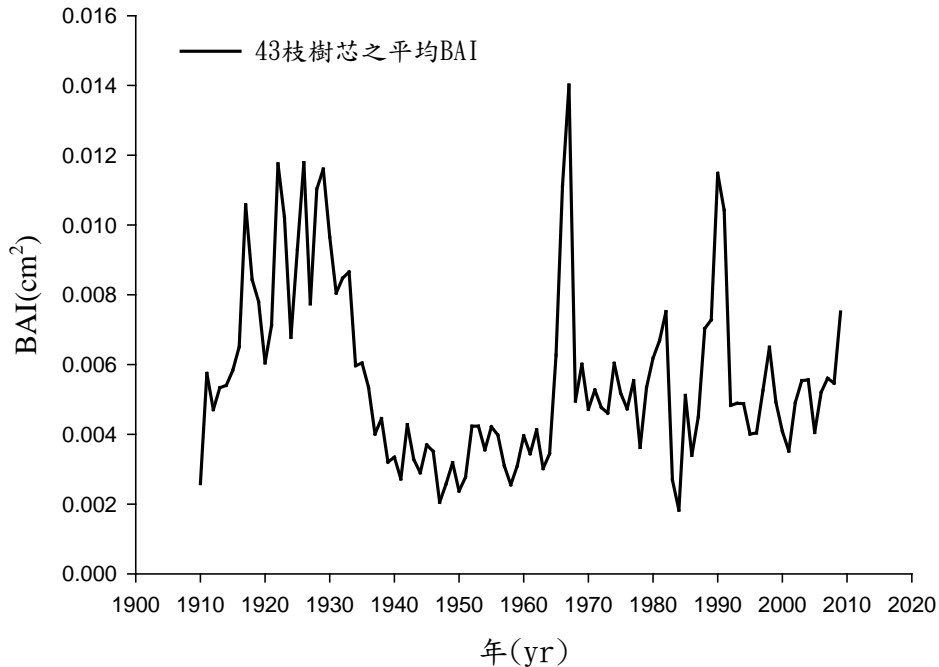


圖 4-6 台灣冷杉樹輪年表逐年平均胸高斷面積增加量(BAI)圖

(3) 樹齡及生長速率

玉山圓柏由於心腐情形嚴重因此獲得樹齡有限，並無法表示實際樹木年齡，由本次分析獲得玉山圓柏樹齡由 151 年到 383 年，台灣冷杉樹齡由 131-279 年，樹輪寬度平均生長量玉山圓柏由 0.784-1.633mm/yr，由於取樣樹齡及生長狀況立第條件不同，得到生長量平均值有差異，台灣冷杉平均生長量由 1.802-3.515 mm/yr 較玉山圓柏大，由分析中可以得之玉山圓柏每年生長量小同時最大生長量僅有台灣冷杉 1/2。

兩樹種斷面積平均生長量為每年樹輪寬度平均生長量之換算值，從表 5 顯示樹輪平均寬度越大斷面積生長量也越大，由 319.544-4888.638 mm²/yr。

表 4-4 各樣本樹齡生長量

編號	date end	date start	年齡	輪寬平均生長量 (mm/yr)	斷面積平均生長量 (mm ² /yr)
J01	2011	1839	173	0.784	319.544
J02	2011	1629	383	1.036	1220.030
J03	2011	1686	326	1.043	1096.514
J04	2011	1798	214	1.076	777.665
J05	2011	1782	230	1.114	896.045
J06	2011	1775	237	1.139	918.755
J07	2011	1781	231	1.181	974.952
J08	2011	1769	243	1.265	1174.418
J09	2011	1806	206	1.270	1088.365
A12	2011	1701	311	1.276	1591.796
A13	2011	1738	274	1.330	1495.067
A08	2011	1757	255	1.380	1439.018
A06	2011	1861	151	1.428	967.583
A10	2011	1788	224	1.612	1748.348
J15	2011	1774	238	1.633	1979.802
A03	2011	1733	279	1.802	2486.867
A09	2011	1859	153	1.808	1473.719
A01	2011	1795	217	1.850	2222.719
J14	2011	1798	214	1.908	2270.468
A15	2011	1815	197	1.917	2255.567
A11	2011	1812	200	1.928	2290.807
J13	2011	1822	190	2.125	2646.953
J12	2011	1808	204	2.135	2922.519
A02	2011	1808	204	2.174	3022.485
A04	2011	1783	229	2.242	1820.510
A07	2011	1823	189	2.409	3322.730
J10	2011	1842	170	2.770	3690.174

J11	2011	1881	131	2.925	3311.428
A14	2011	1860	152	2.926	4034.326
A05	2011	1857	155	2.967	4258.243

分析所有採樣樣本每 10 年為 1 齡階之生長速率，由表 6 顯示 10-70 年生下降速率最快由 16.48%-2.07%，至 80-140 年生由 1.93%-0.92% 下降速率較緩，150 年生以後生長速率維持在 0.75%-0.55% 平緩的趨勢，從不同年齡生長速率下降趨勢可以得到這兩種樹種在 70 年生以前維持較高生長速率，80 年生後生長速率漸漸下降直到 150 年生生長速率維持平緩，直到 250 年生以後趨於生長率小而穩定的趨勢，表 6 說明這兩種樹種在 150 年生以前直徑方向生長較大，而往後則漸漸下降至 250 年生達到生長率小而穩定。

表 4-5 樣本之各齡階生長率

齡階	生長率 (%)	齡階	生長率 (%)
10	16.480	210	0.588
20	7.577	220	0.373
30	5.321	230	0.518
40	3.989	240	0.514
50	3.361	250	0.341
60	2.693	260	0.299
70	2.074	270	0.342
80	1.933	280	0.412
90	1.568	290	0.297
100	1.439	300	0.284
110	1.407	310	0.253
120	1.135	320	0.246
130	1.044	330	0.149
140	0.925	340	0.235
150	0.737	350	0.183
160	0.771	360	0.165
170	0.587	370	0.241
180	0.550	380	0.034

190	0.679		
200	0.549		

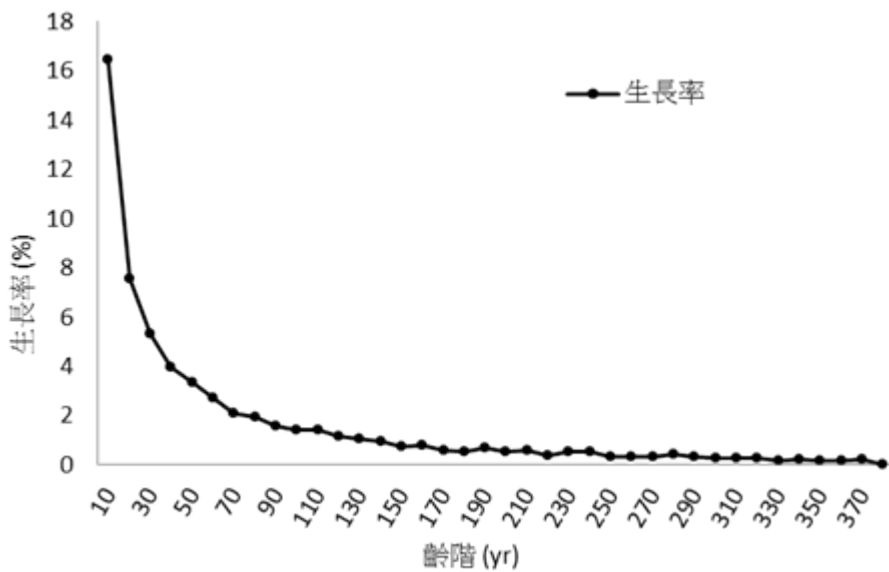


圖 4-7 斷面積生長率

第五章、結論

本研究於 2011 年於南湖大山審馬陣山屋及南湖東北峰共計採取玉山圓柏及台灣冷杉各 30 株樹芯，樹輪徑向生長與年均溫呈正相關，溫度變化對生長有正向的影響，在主要生長季節 6-8 月夏季溫度有正相關，特別是與 6 月份溫度有顯著正相關，表示玉山圓柏與臺灣冷杉的生長與主要生長季節夏季氣溫有著極大的關係；另外高山地區 3 月份降水量也呈正向相關，在生長季節開始的春季降雨有助於生長，溫度與降雨等氣候因子反應在樹木生長上的初步訊息，尤其夏季生長季節溫度對兩種樹種生長正向關係，顯示氣候變遷特別是溫暖化效應，對於兩種生長於亞高山地區樹種生長有正向增加效應，但是氣候暖化也可能促生長在兩相鄰高低海拔樹種遷移，較低海拔樹種往較高海拔遷移，造成與原來分佈在這個區域樹種對生育地競爭，使分佈於較高海拔樹種產生衝擊效應，尤其玉山圓柏為台灣分佈最高海拔的樹種，氣候溫暖化可能使台灣冷杉往高海拔生育地遷移，玉山圓柏生育地限縮，造成玉山圓柏族群縮小，漸漸成為瀕危種，是我們未來對玉山圓柏保育上需要加強監測調查的重點。

玉山圓柏與台灣冷杉樹輪平均生長量分析得知玉山圓柏低於台灣冷杉，而且單一樹種內樹輪平均生長量存有變異，這些訊息有助於對這兩種樹種估算不同直徑級推估樹齡，提供比較正確的樹齡結構分析及老齡樹木保育上參考。

附錄一 樣木資料表

臺灣冷杉樣木位置座標及樣木資訊

Sample ID	Species	Longitude	Latitude	DBH (cm)	Cores (trees)	Altitude (m)
1	Abies	24°22'55.3"	121°24'55.0"	62.3	2(1)	3112
2	Abies	24°22'55.5"	121°24'55.3"	95	2(1)	3112
3	Abies	24°22'55.6"	121°24'55.4"	121	2(1)	3112
4	Abies	24°22'57.5"	121°24'27.4"	117	2(1)	3128
5	Abies	24°22'58.2"	121°24'27.5"	105	2(1)	3104
6	Abies	24°22'56.8"	121°24'26.9"	90	2(1)	3096
7	Abies	24°22'56.8"	121°24'27.0"	26	2(1)	3096
8	Abies	24°22'57.1"	121°24'27.5"	102	2(1)	3096
9	Abies	24°22'57.3"	121°24'27.5"	58.2	2(1)	3096
10	Abies	24°22'57.5"	121°24'27.6"	105	2(1)	3096
11	Abies	24°22'57.6"	121°24'27.8"	83	2(1)	3096
12	Abies	24°22'57.6"	121°24'27.9"	83.5	2(1)	3096
13	Abies	24°22'57.5"	121°24'27.7"	80	2(1)	3096
14	Abies	24°22'57.5"	121°24'28.7"	121	2(1)	3096
15	Abies	24°22'57.5"	121°24'28.2"	83	2(1)	3096

玉山圓柏樣木位置座標及樣木資訊

Sample ID	Species	Longitude	Latitude	DBH (cm)	Cores (trees)	Altitude (m)
1	Junipers	24°22'12.3"	121°26'23.9"	26.9	2(1)	3480
2	Junipers	24°22'12.4"	121°26'24.2"	120	2(1)	3480
3	Junipers	24°22'12.8"	121°26'24.3"	47.2	2(1)	3480
4	Junipers	24°22'12.8"	121°26'24.5"	23.6	2(1)	3480
5	Junipers	24°22'12.9"	121°26'24.3"	20	2(1)	3480
6	Junipers	24°22'12.7"	121°26'21.6"	42.7	2(1)	3474
7	Junipers	24°22'12.9"	121°26'22.7"	58.2	2(1)	3474
8	Junipers	24°22'13.5"	121°26'22.3"	55	2(1)	3474
9	Junipers	24°22'13.9"	121°26'23.1"	54.5	2(1)	3474
10	Junipers	24°22'14.3"	121°26'22.9"	58.9	2(1)	3474
11	Junipers	24°22'13.8"	121°26'23.3"	70	2(1)	3474
12	Junipers	24°22'14.3"	121°26'23.9"	72	2(1)	3474
13	Junipers	24°22'14.7"	121°26'23.7"	41.3	2(1)	3474
14	Junipers	24°22'15.1"	121°26'23.9"	39.8	2(1)	3474
15	Junipers	24°22'14.6"	121°26'24.1"	29.1	2(1)	3474

附錄二 國外文獻針對樹木受樹芯取樣後的反應

Impacts of tree coring on indigenous trees

David A Norton

Conservation Research Group

School of Forestry

University of Canterbury

Private Bag 4800

Christchurch

Published by

Department of Conservation

Head Office, PO Box 10-420

Wellington, New Zealand

This report was commissioned by the Science & Research Division

ISSN 1171-9834

1998 Department of Conservation, P.O. Box 10-420, Wellington, New Zealand

Reference to material in this report should be cited thus:

Norton D.A. 1998

Impacts of tree coring on indigenous trees. *Conservation Advisory Science Notes No. 186*. Department of Conservation, Wellington.

Keywords: tree coring, tree damage, dendrochronology, threatened plants

Abstract

Advice is given on the impact to native trees of taking tree cores for research purposes. Suggested guidelines for DoC decision making on issuing permits for treecoring are provided.

1. Introduction

Cores are extracted from trees in order to obtain information on tree ages, tree growth rates and on the physical and chemical properties of the wood. This information is in turn used to assess such things as population age structures, stand dynamics, site productivity, for dating of historical events (e.g., windthrows and landslides) and for reconstructing past climates (Norton & Ogden 1987). Tree coring has been undertaken extensively in New Zealand indigenous forests and has provided the basis for a large number of studies on forest ecology and palaeoclimatology (e.g., Veblen & Stewart 1982, Ahmed & Ogden 1987, Norton et al. 1989, Duncan 1993, Salinger et al. 1994).

Except for cutting trees down, there is at present no alternative to coring trees in order to obtain this type of information, and coring is clearly preferable to felling. However, coring does involve directly injuring the tree, as a hole is created in the tree, and understandably there has been some concern over the potential impact coring may have on indigenous trees and other woody plants. The purpose of this note is to review what is known about the impacts of tree coring on trees and to suggest guidelines to assist Department of Conservation staff when they consider applications for permits to core trees.

2. Nature of core extraction

The normal increment borers used in New Zealand comprise a steel shaft with a tapered cutting thread at one end which draws the borer into the tree when turned, the borer holder which slots on the end of the shaft to allow it to be turned, and a shallow extraction spoon for removing the core. Borers typically extract cores of wood 5-7 mm in diameter and can be from 20-100 cm long (usually 30 cm). Cores are usually extracted at about breast height as this is the most convenient height for turning the borer, although in some studies cores are extracted from as close to the ground as possible (e.g., in order to more accurately age a tree).

Depending on the nature of the study, one to four cores per tree are extracted; studies of tree population dynamics usually involve extracting one core per tree from as many trees as possible at a site, while dendroclimatic studies usually require a minimum of two cores per tree but from only a small number of trees at a site (usually 20-30 trees). The core is extracted using the shallow extraction spoon while the borer is still in the tree, and then the borer is removed. Following extraction, the holes may be left open or plugged with a variety of compounds including vaseline and various fungicide pastes. Most increment coring undertaken in New Zealand is done using hand-powered borers, although motorised borers (e.g., driven by a petrol engine) have been used elsewhere. Motorised borers are capable of extracting much larger diameter cores from trees.

3. Impacts on trees and tree responses

Extracting a core wounds the tree. Much of the concern about tree coring centres around the impacts this wounding has and is often based on misunderstandings about the way trees respond to wounds. Wounds damage trees, but trees have a coordinated system for limiting this damage called compartmentalisation (Shigo 1984, Smith 1988). A good understanding of the process of compartmentalisation is essential for making informed decisions about the effects of coring on tree health.

Compartmentalisation in trees is a defence process by which boundaries are formed to isolate injured tissues and thus resist the spread of pathogens (Shigo 1984).

Compartmentalisation is a two-stage process. In the first stage, the effects of injury are confined by chemical changes in the tissues present at the time of injury. This may involve the production and accumulation of antimicrobial substances that retard the spread of pathogenic organisms that develop after wounding or it may involve the formation of tyloses and other plugs that limit water loss from damaged xylem cells. In the second stage, chemical and anatomical boundaries form after the infection, as the living cambium forms a barrier zone between the tissues that were present at the time of wounding and the new tissues formed after wounding. A barrier zone is a zone of protective tissue consisting of unique cells that serve to isolate or separate the infected wood on the inside from the healthy wood that continues to form on the outside after the barrier zone is complete.

The process of compartmentalisation provides a very efficient and effective means by which trees are able to isolate the effects of wounds (especially pathogens) from new tissues that are formed after wounding, thus allowing trees to continue growing despite the presence of wounds and pathogens.

Compartmentalisation is different from callus formation. While callus tissue can grow over a wound, a callus does not create the barrier that compartmentalisation does and is not able to isolate damaged tissue and associated pathogens.

While tree coring does have an effect on trees and can lead to discoloration of wood (Lorenz 1944, Toole & Gammage 1959, Schweingruber 1983), it appears that trees respond to the borer hole as they would to any other wound through compartmentalisation. In normal circumstances, this should not lead to more rapid tree death than would be expected from any wound the tree receives. Certainly, reports from scientists involved in tree coring suggest that tree death as a result of tree coring is very uncommon (FAQ 1997). In a preliminary assessment of c. 100 trees cored by Peter Dunwiddie in New Zealand in the 1970s (mainly species of *Agathis*, *Libocedrus* and *Phyllocladus*), only one tree has since died (Jonathan Palmer pers. comm. 1997), and the cause of death is at present unknown. However, when the borer breaks through into a zone of compartmentalised decay (e.g., heartrot), coring might break the boundary that was keeping the infection isolated in the tree centre. This may result in the infection spreading out into the sapwood and ultimately the accelerated death of the tree,

although the active sapwood may again compartmentalise the infection.

The degree of sensitivity to tree coring appears to vary depending on the species being cored and the coring process. North American studies have suggested that some tree species are better able to compartmentalise coring damage than other species, but there is no objective information on the relative ability of New Zealand trees to compartmentalise such damage. North American studies do, however, suggest that resinous conifers may more quickly seal borer holes than many angiosperm trees, and this may also be the case for some New Zealand conifers (e.g., kauri).

The negative impact of tree coring is greatest when a blunt borer is used (Smith 1988). A blunt borer can, through ripping tissue as it is driven into the tree, lead to much greater cambial damage, thus delaying the formation of functional sapwood around the damaged area (the barrier zone) and thereby providing a longer time for microbial organisms to establish and spread through the sapwood.

4. Minimising impacts on trees from coring

A number of approaches have been suggested for minimising impacts of coring on trees. Traditionally, holes have been plugged in order to prevent infections entering the tree. However, the degree of infection appears to be independent of the presence of a plug, suggesting that pathogens can pass through the damaged tissue around the plug (Lorenz 1944). Dowels and other plugs in fact have the potential to increase the rate of cambial dieback and infection spread, as they cause further damage to the cambium and sapwood as they are forced into the borer hole. Although some studies have suggested that use of wound dressings can reduce fungal damage (Schweingruber 1983), more recent studies have suggested that these can also hinder the compartmentalisation process (Smith 1988), as boundary formation is forced further back from the wound site, resulting in an increase in the volume of infected tissue.

The best approach to minimising damage as a result of tree coring is through the use of a clean sharp increment borer. Keeping increment borers clean would seem particularly important when sampling at different sites. While there are no documented cases of pathogen movement associated with tree coring, the spread of *Phytophthora* by vehicles and people through Western Australian forests is a salutary warning. Angling the borer slightly upwards ensures that water and dirt will not run into the hole. Coring during the growing season may also give the tree a better chance to react to the injury through active new growth, although Schweingruber (1983) has suggested that for European conifers, coring during summer causes considerably more damage than in winter. Finally, the fewer holes bored in a tree, then the greater the chance that unwanted infections will not occur.

5. Suggested guidelines for tree coring

Trees growing in natural forests are subject to a wide range of wounding events ranging from branch breakages during wind storms or under heavy snow loads to trunks being scarred

by falling rocks or snow avalanches. In these circumstances, trees are able to successfully compartmentalise the damage and usually continue growing. The extraction of increment cores from trees is a further, although very minor, form of wounding that is likely to affect a very small percentage of trees within any area of forest. The response of the tree to wounding resulting with increment boring will be similar to the response of the tree to other types of wounding. The approach taken by Department of Conservation staff in dealing with applications for permits to extract increment cores from indigenous forest trees must be made within the context of the ongoing wounding and subsequent compartmentalisation of damage that occurs in all trees. As Shigo (1984) stated, the processes of compartmentalization explain "the very longevity and capacity of perennial plants to survive countless wounds and subsequent development of even more countless pathogenic and parasitic microorganisms".

The following are some guidelines that Department of Conservation staff could use when evaluating permits for extracting increment cores from trees and other woody plants on lands managed for conservation purposes.

1. Increment cores should not be extracted from any species listed in the New Zealand threatened plant list (Cameron et al. 1995) unless there is an overriding conservation management reason for doing this. In this latter situation, cores should be restricted to one per tree and, if possible, not all trees in any one population should be cored.

2. If there are any long-term effects associated with tree coring (e.g., through breaking the barrier surrounding a central core of heartrot), then these effects are likely to be greatest in small, fragmented tree populations. It would therefore seem prudent to limit tree coring in small forest fragments to essential conservation management work only

3. All permits for coring should require that the researchers keep their increment corers clean and sharp, and that increment cores should be angled slightly upwards into trees. However, there should be no requirement for plugging of holes, as such plugging may in fact hinder the process of compartmentalisation.

4. The number of increment cores extracted from a tree should normally be limited to one, except for dendroclimatic studies where a minimum of two cores per tree is usually required. Much of the above discussion has been based on North American studies, as there are no New Zealand data on this topic. It might be useful if DoC, in granting future permits for tree coring, asked researchers to mark some or all of the cored trees as a basis for longer-term observations of tree health after coring.

6. References

- Ahmed, M. & Ogden, J. 1987. Population dynamics of the emergent conifer *Agathis australis* (D. Don) Lindl. (kauri) in New Zealand I. population structure and tree growth rates in mature stands. *New Zealand Journal of Botany* 25, 217-229.
- Cameron, E.K., de Lange, P.J., Given, D.R., Johnson, P.N., & Ogle, C.C. 1995. New Zealand Botanical Society threatened and local plant lists (1995 revision). *New Zealand Botanical*

Society Newsletter 39, 15-28.

Duncan, R.P. 1993. Flood disturbance and the coexistence of species in a lowland podocarp forest, south Westland, New Zealand. *Journal of Ecology* 81, 403-416.

FAQ 1997. Frequently asked question about dendrochronology.

<http://aqua.civag.unimelb.eciu.au/-agent/treefreq.html>

Lorenz, R.C. 1944. Discolourations and decay resulting from increment borings in hardwoods. *Journal of Forestry* 42, 37-43.

Norton, D.A. & Ogden, J. 1987. Dendrochronology: a review with emphasis on New Zealand applications. *New Zealand Journal of Ecology* 10, 77-95.

Norton, D.A., Briffa, K.R. & Salinger, M.J. 1989. Reconstruction of New Zealand summer temperature back to 1730 A.D. using dendroclimatic techniques. *International Journal of Climatology* 9, 633-644.

Salinger, M.J., Palmer, J.G., Jones, P.D. & Briffa, K. R. 1994. Reconstruction of New Zealand climate indices back to AD 1731 using dendroclimatic techniques. Some preliminary results. *International Journal of Climatology* 14, 1135-1149

Schweingruber, EH. 1983. *Der Jahrring. Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie*. Paul Haupt, Bern.

Shigo, A.L. 1984. Compartmentalization: a conceptual framework for understanding how trees grow and defend themselves. *Annual Review of Phytopathology* 22, 189-214.

Smith, K.T 1988. Wounding, compartmentalization, and treatment tradeoffs. *Journal of Arbos6vulture* 14, 226-229.

Toole, E.R. & Gammage, J.L. 1959. Damage from increment borings in bottomland hardwoods. *Journal of Forestry* 57, 909-911.

Veblen, T.T & Stewart, G. H. 1982. On the conifer regeneration gap in new Zealand. The dynamics of *Libocedrus bidwillii* stands on South Island. *Journal of Ecology* 70, 413-436.

參考文獻

- 王志強、林志銓 (2009) 台灣地區玉山圓柏分類地位及族群分布。台灣林業 35(6):35-43。
- 王鑫 (1984) 太魯閣國家公園地理、地形及地質景觀。太魯閣國家公園出版，124 頁。
- 呂勝由 (1989) 太魯閣國家公園植物資源一線，太魯閣國家公園管理處，花蓮。
- 吳祥定 (1990) 樹木年輪與氣候變化。氣象出版社，北京，369 頁。
- 柳楮 (1961) 大雪山示範林區森林植物生態之研究。台灣大雪山林業公司印行，36 頁。
- 柳楮 (1968) 台灣植物群落分類之研究。林業試驗所研究報告第二百零三號，24 頁。
- 柳楮 (1971) 臺灣植物群落之分類 II、高山寒原及針葉樹林群系。林試所報告 203：1-24。
- 郭寶章 (1978) 台灣之森林及樹木分布與溫量指數之關係。中華農學團體 67 年聯合會特刊 105-113。
- 陳正和 (2004) 臺灣地區三種具代表性的杉樹-臺灣杉、臺灣雲杉和臺灣冷杉。臺灣林業 30(4):73~77。
- 馮豐隆、詹明勳 (2005) 年輪應用於森林與環境的關係。林業研究季刊 27(3):37~50。
- 楊國禎 (1988) 臺灣冷杉、玉山圓柏—兩種臺灣高海拔優勢植物。科學月刊 19(12): 894-899。
- 詹明勳、王亞男、黃憶汝、林瑞進 (2005) 老樹巨木樹齡估測之研究。中華林學季刊 38(2)：139~150。
- 劉業經、呂福原、歐辰雄、賴國祥 (1984) 台灣高山箭竹草生地之植物演替與競爭之機制。中華林學季刊 20(4):65-76。
- 歐辰雄 (2002) 雪霸國家公園植群生態調查—大雪山地區。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 賴國祥 (1992) 台灣亞高山針葉樹林與草生地間推移帶動態結構之探討。中興大學植物學研究所博士論文，188 頁。
- 應紹舜 (1976) 雪山地區高山植群的研究。中華林學季刊 9(3)：119-135。

- 應紹舜 (1980) 台灣的高山植物。渡假出版社有限公司，215 頁。
- 蘇鴻傑 (1974) 臺灣高山地區之香柏群落。臺大實驗林研究報告 113：101-112。
- 蘇鴻傑 (1988) 雪山香柏保護區植群生態之研究。林務局保育研究系列。
- 蘇鴻傑 (1992) 台灣之植群：山地植群帶與地理氣候區。中央研究院植物研究所專刊 11:39-53。
- 洪耀淇 (1991) 木材識別。台灣省林務局，92 頁。
- 莊貴瑜 (1998) 合歡山台灣冷杉群落樹齡結構與草原推移之研究。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文，44 頁。
- 鄒佩珊 (1998) 台灣地區近五百年的氣候變化：樹輪寬度的證據。國立台灣大學地質學研究所博士論文，181 頁。
- 陳榮欽 (1996) 合歡山區臺灣冷杉林樹齡學之研究。國立中興大學植物學研究所碩士論文，78 頁。
- 蔣麗雪 (2011) 臺灣中部威氏帝杉樹輪變化與當地氣候及聖嬰南方震盪現象之關係，73 頁。
- 顧斌 (1996) 玉山冷杉樹輪面積、穩定碳同位素及溫度效應之研究。國立中山大學海洋地質研究所碩士論文，67 頁。
- Cook, E. R. (1985) A time series analysis approach to tree-ring standardization. Tree-ring Laboratory, Lamont-Doherty Geological Observatory, Palisades, New York, pp. 171.
- Cook, E. R. and L. A. Kairiukstis (1990) Methods of dendrochronology. Dordrecht Kluwer, pp. 394.
- Fritts, H. C. (1976) Tree-ring and climate. Academic Press, New York, 567pp.
- Holmes, R. L. (1983) Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-Ring Bulletin, 43: 69-95.
- Holmes, R. L. (1994) Dendrochronology Program Library User's Manual. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson.
- Kienholz, R. (1934) Leader, needle, cambial, and root growth of certain conifers and their interrelations. Botanical Gazette 96:73-92.
- Lloyd, A. H. and L. J. Graumlich (1997) Holocene dynamics of treeline forests in the Sierra Nevada. Ecology 78: 1199-1210. Pumijumnong, N. and T. Wanyaphet. (2006) Seasonal cambial activity and tree-ring formation of *Pinus mekusii* and *Pinus kesiya* in Northern Thailand in dependence on climate. Forest Ecology and Management, 226: 279-289.
- Lorenz, R.C. 1944. Discolourations and decay resulting from increment borings in hardwoods. Journal of Forestry 42, 37-43.

- Norton D.A. 1998 Impacts of tree coring on indigenous trees. *Conservation Advisory Science Notes No. 186*. Department of Conservation, Wellington.
- Pumijumnong, N. and T. Wanyaphet. (2006) Seasonal cambial activity and tree-ring formation of *Pinus mekusii* and *Pinus kesiya* in Northern Thailand in dependence on climate. *Forest Ecology and Management*, 226: 279-289.
- Shigo, A.L. 1984. Compartmentalization: a conceptual framework for understanding how trees grow and defend themselves. *Annual Review of Phytopathology* 22, 189-214.
- Smith, K.T 1988. Wounding, compartmentalization, and treatment tradeoffs. *Journal of Arborescence* 14, 226-229.
- Su, H. J. (1984a) Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan (I): Analysis of the variations in climatic factors. *Quarterly Journal of China Forest* 17(3):1-14.
- Su, H. J. (1984b) Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan (II): Altitudinal vegetation zones in relation to temperature gradient. *Quarterly Journal of China Forest* 17(4):57-73.
- Tranquillini, W. (1979) *Physiological ecology of the alpine timberline*. Springer Verlag, Berlin. pp. 307.

參考網址

- FAQ 1997. Frequently asked question about dendrochronology. <http://aqua.civag.unimelb.edu.au/-agent/treefreq.htm>