

以玉山圓柏樹輪結構探討雪山地區氣溫變化趨勢

By dendrochronology (*Juniperus morrisonicola* Hayata) to
discussion change of temperature in Xueshan area.

內政部營建署雪霸國家公園管理處委辦研究報告

中華民國一零七年十二月

目 錄

摘要.....	1
Summary.....	4
第一章 前言.....	7
第二章、前人研究.....	8
一、樹輪學的特性及相關研究.....	8
(一)樹輪研究的歷史.....	8
(二)樹輪氣候學基本原理.....	8
(三)樹輪氣候學的相關研究.....	10
(四)利用樹輪學探討族群結構與生態之研究探討.....	13
二、玉山圓柏相關研究.....	14
(一)玉山圓柏分類地位之變遷.....	14
(二)玉山圓柏群落相關研究.....	16
三、樹輪研究方法.....	18
(一)樹輪研究內容及其工時.....	18
(二)電腦軟體輔助定年.....	18
(三).TSAPWin 交互定年方法和 COFECHA 之比較.....	19
第三章、研究材料與地區.....	21
一、研究材料—玉山圓柏.....	21
二、研究地區—雪山翠池地區.....	22
三、玉山圓柏之森林結構分析.....	24
(一)森林垂直分層.....	24
(二)林木性態值.....	24
第四章、研究方法.....	26
一、生育地環境文獻蒐集及調查.....	26
(一)蒐集及調查翠池地區之玉山圓柏伴生植群、植相及其生育之環境特性.....	26
(二)環境因子觀測與評估方法.....	26
二、雪山山區玉山圓柏分布與數量估算.....	28
三、翠池地區玉山圓柏樹輪取樣調查及分析.....	28
(一)樹芯取樣.....	28
(二)交互定年與樹輪特性標記.....	30
(三)樹輪寬度測量與平均敏感性檢測.....	30
(四)樹間一致性 GLK 值檢測.....	32
(五)臺灣山區 500 年氣候之比較.....	32
四、玉山圓柏樹輪之徑向生長速度與樹齡之分析.....	33
第五章、結果與討論.....	34
一、生育地環境文獻蒐集及調查.....	34
(一)蒐集及調查翠池地區之玉山圓柏伴生植群植相.....	34

(二)翠池地區之王山圓柏生育環境調查.....	34
二、植群類型之歸群分析.....	36
(一)玉山圓柏型.....	37
(二)臺灣冷杉型.....	37
三、雪山山區玉山圓柏分布與數量估算.....	39
(一)玉山圓柏分布區域.....	39
(二)玉山圓柏立木推估.....	39
四、翠池地區玉山圓柏樹輪取樣調查及分析.....	42
(一)樹芯取樣.....	42
(二)樹輪寬度年表.....	44
(三)樹木間一致性 GLK 值檢測.....	49
(四)臺灣山區 500 年氣候資料之比對.....	54
五、玉山圓柏徑向生長速度.....	64
第六章、結論與建議.....	72
第七章、參考文獻.....	73
第九章、附錄.....	77
附錄一雪山主峰及翠池地區玉山圓柏林樣區植物名錄.....	77
附錄二雪山翠池地區玉山圓柏林植群分析資料表.....	81
附錄三期末報告審查會議紀錄及意見回覆表.....	82
附錄五樹芯取樣環境照片.....	88
附錄六樹芯取樣樣木照片.....	89

圖表目錄

圖 1 樹輪年表和降水的相關性分析	10
圖 2 樹輪年表和溫度的相關性分析	10
圖 3 樹輪年表和日照時數的相關性分析	10
圖 4 1990 年來最高氣溫和樹輪推估比較	12
圖 5 大鬼湖標準年代表 (STD) 重建八、九月份 (1605-1994) 溫度變化	13
圖 6 玉山圓柏喬木林胸高直徑與年齡之關係	17
圖 7 玉山圓柏形態圖	21
圖 8 研究區域圖	22
圖 9 翠池地區照片及玉山圓柏生育地	23
圖 10 玉山圓柏永久樣區位置圖	24
圖 11 樣區形狀及小區分布情形	26
圖 12 以方位表示之水分梯度級	27
圖 13 林分樣區之全天光空域(單斜線部分)與直射光空域(雙斜線部分).....	27
圖 14 生長錐(左)與樹芯鑽取示意圖(右).....	29
圖 15 樹芯樣本的採集與保存	29
圖 16 目視定年標記圖	30
圖 17 樹輪寬度正確量測位置	31
圖 18 Velmex 量測硬體設備圖	31
圖 19 GLK 值評分方法示意圖。	32

圖 20 玉山圓柏林植群調查樣區位置圖	35
圖 21 雪山翠池地區玉山圓柏林 10 個樣區喬木層之矩陣群團分析連結樹形圖..	36
圖 22 雪山地區玉山圓柏分布圖	40
圖 23 雪山地區玉山圓柏分布照片	41
圖 24 樹芯取樣樣區位置圖	42
圖 25 玉山圓柏喬木主年表	46
圖 26 玉山圓柏矮盤灌叢主年表	47
圖 27 玉山圓柏喬木與灌叢主年表比較圖	48
圖 28 喬木間最低相關性比較圖	50
圖 29 喬木間最高相關性比較圖	51
圖 30 矮盤灌叢間最低相關性比較圖	52
圖 31 矮盤間最高相關性比較圖	53
圖 32 喬木主年表與冬季重建氣溫比對圖	55
圖 33 喬木主年表與夏季重建氣溫比對圖	57
圖 34 矮盤灌叢主年表與冬季重建氣溫比對圖	59
圖 35 矮盤灌叢主年表與夏季重建氣溫比對圖	60
圖 36 歷年聖嬰現象與年表比對圖	61
圖 37 胸徑 < 20 cm 生長速率示意圖	67
圖 38 20 cm ≤ 胸徑 < 40 cm 生長速率示意圖	68
圖 39 胸徑 ≥ 40 cm 生長速率示意圖	69

圖 40 矮盤灌叢生長速率示意圖	70
表 1 玉山圓柏林不同垂直分層族群結構屬性表	25
表 2 重建氣溫表(鄒佩珊，1998).....	33
表 3. 玉山圓柏林植物名錄各分類群統計表	34
表 4 玉山圓柏林植群調查樣區	36
表 5 玉山圓柏型之植物相主要組成	37
表 6 臺灣冷杉型之植物相主要組成	38
表 7 玉山圓柏分布調查使用圖幅資料表	40
表 8 玉山圓柏樹芯鑽取資料表	43
續表 8 玉山圓柏樹芯鑽取資料表	44
表 9 玉山圓柏樹芯樣本平均敏感度計算總表	45
表 10 喬木樹間一致性配對表	49
表 11 矮盤灌叢樹間一致性配對表	49
表 12 喬木主年表與冬季氣候比較	54
表 13 喬木主年表與夏季氣候比較	56
表 14 灌叢主年表與冬季氣候比較	58
表 15 喬木主年表與夏季氣候比較	58
表 16 1950 年起聖嬰現象紀錄表	62
表 17 胸徑 < 20 cm 樹芯輪寬資料推估	64

表 18 20 cm < 胸徑 < 40 cm 樹芯輪寬資料推估	65
表 19 胸徑 > 40 cm 樹芯輪寬資料推估	66

摘要

關鍵詞：雪霸國家公園、玉山圓柏、樹輪、氣溫變化、年表

一、研究緣起

工業革命後，人類活動使大氣中溫室氣體濃度快速增加，在 200 多年內使全球氣溫大幅上升，造成氣候變遷，暖化、降雨頻率與強度改變、極端氣候等，這些因素對於生物的影響程度極需被瞭解，研究氣候的變化，需要長期穩定的記錄資料，儀器記錄雖精密正確，卻無法提供長期性的歷史氣候資訊。樹木為地球上最長壽的物種，部分種類之壽命可達上千年，且樹木具有不可移動之特性，若能瞭解樹木生長狀況之變動，可間接推測出過去影響生長之因子變動程度，進而推估樹木所在地區之氣候變化。

林木在不同環境之下，會將環境訊號表現在各式的細胞上。樹木年輪可以記錄短期或長期的氣候資訊，如溫度改變、降雨多寡。研究限制因子與樹輪的關係可以重建當地氣候資料，並可能提供作為推估未來的氣候變化趨勢。

雪山翠池地區海拔高約 3,500 m，擁有全臺灣面積最大的玉山圓柏喬木純林，處於成熟穩定的極盛相(Climax)演替階段。此地生長季短暫，植群帶(Vegetation zone)屬於亞高山針葉樹林(Subalpine coniferous forest)，樹木生長的主要限制因子為溫度。根據研究，玉山圓柏、臺灣冷杉兩樹種之樹輪寬度與年均溫有顯著相關，且玉山圓柏之主要限制因子應為溫度。又受人為活動干擾少，因此合乎樹木氣候學基本原理之均一性原理(The Uniformitarian Principle)與限制因子原理(The Principle of Limiting Factors)，因此，玉山圓柏可能成為研究氣候變化的良好材料之一。

二、研究方法及過程

本計畫以雪山地區之玉山圓柏樹芯資料進行樹輪寬度特徵之測量與交互定年技術，建立玉山圓柏之主年表並建構與比對臺灣過去 500 年之氣候資訊，了解雪山地區數百年來之氣溫變化與樹輪寬度年表是否符合臺灣山區溫度變化趨勢及其與聖嬰與反聖嬰現象發生

時間表之相關性，探討氣候特徵對目前雪山主要森林生態系之影響，並提供雪霸國家公園管理處對於經營管理計畫之參考。

- (一)調查分析翠池地區玉山圓柏樹輪，以 TSAPWIN 進行交互定年、建立樹輪寬度年表、樹間一致性 GLK 值檢測、平均敏感度檢測，並探討喬木、矮盤灌叢的差異。
- (二)探討翠池地區玉山圓柏之徑向生長速度。
- (三)探討樹輪寬度年表是否符合臺灣山區溫度變化趨勢。
- (四)用相關圖資及調查，進行雪山山區玉山圓柏分布與數量估算。
- (五)探討氣候特徵對目前雪山主要森林生態系之影響趨勢，並提供雪霸國家公園對於經營管理計畫之參考。

三、重要發現

研究結果顯示：

- (一)玉山圓柏林樣區內之維管束植物組成計有 36 科 69 屬 85 種，樣區具有較高之受光環境。土壤 pH 值之平均值為 4.12，屬於偏酸性之土壤。
- (二)雪山地區玉山圓柏喬木型玉山圓柏林之面積計 131.11ha；矮盤灌叢型玉山圓柏林面積計 183.53ha。立木株數推估為 527,944 株。
- (三)玉山圓柏喬木、矮盤灌叢年表僅有部分之吻合，喬木較能反映出大環境之變化並且一致反映在樹輪生長上，矮盤灌叢之生長則因為生育地環境因子變動，樹間一致性較低。喬木主年表比矮盤灌叢主年表較能正確地反應過去 500 年來溫度之變化趨勢。
- (四)由樹芯長度及年輪數進行分析顯示，玉山圓柏喬木胸徑小於 20 cm 時，胸徑每年增加 0.0525 cm；胸徑介於 20 cm~40 cm 時，胸徑每年增加 0.0435 cm；胸徑大於 40 cm 時，每年增加 0.0410 cm。而玉山圓柏灌叢型胸徑每年僅增加 0.0206 cm，直徑生長速率遠較喬木型個體為低。玉山圓柏胸徑最大者樹齡可能超過 3,000 年而接近 4,000 年。

四、主要建議事項

持續針對玉山圓柏分布範圍進行生物學特性、植物相及環境研究。

主辦機關：雪霸國家公園

協辦機關：林務局、苗栗縣政府

長期、充分而詳實的調查監測與了解是生態環境與物種的的必要方式，建議後續研究方向如下：

- 1.現有監測樣區之持續調查。
- 2.玉山圓柏林族群結構及動態之調查與分析。
- 3.玉山圓柏因應環境變遷衝擊之方法及改變。

Summary

Key word: Shei-Pa National Park, *Juniperus morrisonicola*, Dendrochronology, Temperature change, Chronology

Introduction.

Due to the greenhouse gases and temperature increase rapidly by human activity after the industrial revolution, that causes the change of climate, global warming, and the rate of precipitation. Understand the impact of these factors with biology is necessary. In order to study climate change, long-term stable records are needed. The climate data for instrument records are precise and correct, but they cannot provide long-term historical climate information. By tree-ring chronology, that is much we can learn about the past climate(temperature, precipitation), how freak season-long weather conditions, or periods of climate change have affected tree growth and how it may affect our climate in the future.

In Cui Pond area (3,500 m), the vegetation zone is subalpine coniferous forest, the main limiting factor of growth is temperature. We can be found the biggest population of the *J. morrisonicolain* Cui Pond area, and succession stage of the forest was the climax in this area. The *J. morrisonicola* is the appropriate target to study climate. According to the study, the tree-ring width of the *J. morrisonicola* and *Abies kawakamii* is significantly correlated with the annual average temperature, and the main limiting factor of the *J. morrisonicola* is temperature. Because the interfered by human activities is less in Cui Pond area, so it conforms to the basic principles(the uniformitarian principle and the principle of limiting factors) of dendroclimatology.

Research methods.

In order to understand the relationship between climate change and tree-ring width chronology in Xue Mountain area, and the relationship between temperature change in Taiwan mountain area and the timetable with El Nino and La Nina. we measure tree-ring width and cross dating of the *J. morrisonicola* in Xue Mountain area, and establish the chronology of *J. morrisonicola* and climate data over the past 500 years. The result will discuss the impact of climatic characteristics on the forest ecosystems in Xue Mountain area and provides a reference for the management plan of the Shei-Pa National Park Management Office.

1. Measure tree-ring width and of the *J. morrisonicolain* Cui Pond area and cross dating by TSAPWIN, establish tree-ring width chronology, GLK value detection, average sensitivity detection, and discuss the differences between the arbor and dwarf shrubs.
2. Discuss the growth rate of the *J. morrisonicola* in Cui Pond area.
3. Discuss the relationship between tree-ring width chronology and the temperature change trend in Taiwan mountainous areas.
4. Estimate distribution and population of the *J. morrisonicola* by drawings and investigations
5. Discuss the impact of climatic characteristics on the forest ecosystems in Xue Mountain area and provides a reference for the management plan of the Shei-Pa National Park Management Office.

Result.

1. The sample plots were found 36 families, 69 genera and 85 species. The environment of sample plots is high light-receiving; the average pH value of the soil is 4.12, which is a soil that is acidic.
2. The area of the arbor-type of *J. juniperus morrisonicola* in the Xue Mountain area is 131.11ha, the area of the dwarf shrubs type of *J. morrisonicola* is 183.528106ha and the individual number of trees was estimated to be 527,944.
3. The chronology of *J. morrisonicola* that was few consistent between the arbor type and dwarf shrubs type. The arbor type of *J. morrisonicola* reflects the change of the environment and is consistently reflected in the growth of the tree. The other side, the growth of the dwarf shrub was due to the change of the micro-environmental environmental factors. The consistency between the arbor type and dwarf shrubs type was low.
4. The result of the length of the tree-ring and the number of annual rings that show, when the DBH of the dog is less than 20 cm, the DBH increases by 0.0525 cm per year; the DBH is between 20 cm and 40 cm, the DBH increases by 0.0435 cm per year; the DBH is more than 40 cm, the DBH increases by 0.0410 cm per year. The dwarf shrubs type is increased by 0.0206 cm per year, and the growth rate of the diameter is much lower than the arbor type, and we estimate the largest diameter of *J. morrisonicola* is more than 3,000 years old and

close to 4,000 years.

Suggest.

In order to understand the relationship between species and ecological environment, adequate and detailed investigations, and monitoring are necessary. We suggested follow-up research directions are as follows.

1. Investigation of existing monitoring sample plots.
2. Study the biological characteristics, flora and environment of the distribution range of the *J. morrisonicola*
3. Investigation and analysis of the population structure and dynamics of the *J. morrisonicola*.
4. The method of the *J. morrisonicola* in response to environmental changes.

第一章 前言

工業革命後，人類活動使大氣中溫室氣體濃度快速增加，在 200 多年內使全球氣溫大幅上升，造成氣候變遷，暖化、降雨頻率與強度改變、極端氣候等，這些因素對於生物的影響程度極需被瞭解，研究氣候的變化，需要長期穩定的記錄資料，儀器記錄雖精密正確，卻無法提供長期性的歷史氣候資訊。樹木為地球上最長壽的物種，部分種類之壽命可達上千年，且樹木具有不可移動之特性，若能瞭解樹木生長狀況之變動，可間接推測出過去影響生長之因子變動程度，進而推估樹木所在地區之氣候變化。

雪山翠池地區海拔高約 3,500 m，擁有全臺灣面積最大的玉山圓柏喬木純林，處於成熟穩定的極盛相(Climax)演替階段。此地生長季短暫，植群帶(Vegetation zone)屬於亞高山針葉樹林(Subalpine coniferous forest)，樹木生長的主要限制因子為溫度。根據研究，玉山圓柏、臺灣冷杉樹輪之生長與氣候變遷，發現該兩樹種之輪寬與年均溫有顯著相關，且玉山圓柏之主要限制因子應為溫度。又受人為活動干擾少，因此合乎樹木氣候學基本原理之均一性原理(The Uniformitarian Principle)與限制因子原理(The Principle of Limiting Factors)，因此，玉山圓柏成為研究氣候變化的良好材料。

本計畫以雪山地區之玉山圓柏樹芯資料進行樹輪寬度特徵之測量與交互定年技術，建立玉山圓柏之主年表並建構與比對臺灣過去 500 年之氣候資訊，了解雪山地區數百年來之氣溫變化與樹輪寬度年表是否符合臺灣山區溫度變化趨勢，探討氣候特徵對目前雪山主要森林生態系之影響，

第二章、前人研究

一 樹輪學的特性及相關研究

(一) 樹輪研究的歷史

1930 年代，樹輪的相關研究引起科學家的注意與關切。美國天文學家道格拉斯(A.E. Douglass)研究太陽黑子活動週期，並證實太陽黑子活動是以 11 年為週期，且發現當地樹木年輪寬窄變化與太陽黑子活動週期類似，認為樹木年輪可能反應出太陽黑子活動週期及當地之降水變化，並由此建立樹輪學的基本原理與方法。樹木年輪生長的快慢受到外界環境和氣候影響甚大，會將環境的變化忠實地反映在樹輪中，讓樹輪資料能用於判定年代，包括氣候、水文、環境汙染、地震、火山爆發、部落遷徙等。在 1970 年代以後，分析工具和技術日益進步，加上樹輪本身具有可以精確定年的特性，逐漸成為探討古全球環境變遷的一項重要工具(鄒佩珊，2003)。

(二) 樹輪氣候學基本原理

樹輪氣候學在研究對象和研究方法及原理上，十九世紀美國科學家 A. E. Douglass 從取樣到定年，確定了樹輪資料的可靠性，樹輪氣候學至今已建立完整之分析原理及原則(Fritts, 1976；鄒佩珊，1988)，其特性整理有：

(1)均一性(Uniformitarianism)：均一性原理是科學界在研究古氣候時普遍使用的原理。此假設為英人 James Hutton 所提出，他認為在過去出現的氣候形態，日後必定會再出現；現在出現過的氣候類型可以從過去的歷史氣候中找到相似的氣候類型。此種原理運用在樹輪氣候學上，透過現今的氣象資料找出樹輪與氣候之間的關係，來推知沒有氣象資料的時期氣候變化情形。但若樹木過去的生長環境條件和現在不同，均一性原理便不成立，因此經過移植的樹木，並不符合均一性原理，這類的樹木便不適合作為樹輪氣候分析的樣本。

(2)限制因子(Limiting factor)：樹輪氣候學的研究，主要是依據樹輪的變化，了解過去的氣候變化趨勢，而樹木生長的過程，往往會受到環境因子的影響和制約，造成樹木生長的速度不可能比主要限制因子所允許的速度還快。因此在採集樹輪樣本時應盡可能地尋找受限制因子影響生長的樹木，例如要推測該地過去的溫度變化，應挑選高海拔或高緯度的樹

木作為採集的對象，讓溫度成為限制因子；如為了解某地區過去的降水變化，則樣本的採集地點應選擇乾旱地區，使降水量成為主要限制因子。從此定理可知，並非所有樹木都適於氣候分析，而是要選擇主要受到氣候因子影響的樹木，作為首要選擇。

(3)生態幅度與採樣地點選擇(Ecological amplitude and site selection)：生物對某一環境的適應力，有寬狹不等的耐性極限，此範圍便稱為生態幅度(Ecological amplitude)(劉崇瑞、蘇鴻傑，1983)。從限制因子的特性我們得知並非所有樹木都適合做氣候分析，需選擇在生態幅度中受到限制因子作用的樹種。從限制地點採集的樣本，其樹輪的逐年變異可達到最大，而附近樹木的年輪寬窄變化趨勢也會較為一致，能顯示較多的訊息。若各方面生長條件良好，樹輪逐年寬度就會較為平均，相對的能反映出環境因子變化的訊息也較少。因此在選擇採樣地點時，應盡可能選擇林木生長界限地區，排除人為干擾因子，少病蟲害、腐朽、樹齡長、輪紋清晰的樹木，較能反應出地區的氣候變化。**(4)敏感性(Sensitivity)**：樹輪寬窄的逐年變化通常視為樹木對於氣候的敏感度，大多是以相鄰樹輪寬度的差值表示，當敏感度大時，表示氣候因子對於樹木的限制作用較為明顯，相對非氣候因子干擾少，標本所保留的氣候訊息較多。通常以平均敏感度(Mean sensitivity; M. S.)表示某一地區所有樹芯(Tree core)樣本樹輪寬的平均變化如下：

$$M.S. = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \left| \frac{2(X_{i+1} - X_i)}{X_{i+1} + X_i} \right|$$

式中： X_i 為第 i 個樹輪寬度值； X_{i+1} 為第 $i+1$ 個樹輪寬度值； n 為樣本樹輪總數。

平均敏感度的值在 $0 \leq M.S. \leq 2$ 之間，若 $M.S.=0$ ，則代表樹輪寬度值都相同，但通常在實際情況下是不會發生的，一般值都落在 0.1 至 0.6 之間。

(5)交互定年(Cross-dating)：樹輪因為具有精確定年的特性，所以廣泛的被應用在考古學上。樹輪氣候學以樹輪寬度變化探討過去氣候的變化，在自然界中有著“活的監視器”(Living monitors)之稱(Jacoby et al., 2000)。生長在相同生態幅度的樹木，接受的限制因子是相似的，因此樹輪寬度的變合理應一致。但實際上樹木受本身生理遺傳因子或環境的變動影響，造成偽輪、缺失輪等變異年輪發生。交互定年的目的是定出樹輪形成的正確年代，在定年的過程中應該剔除這些生長趨勢不一致的樣本，來得到正確的樹輪年代表。

(三)樹輪氣候學的相關研究

樹輪學自二十世紀以來，從取樣到分析技術日漸成熟完備(吳祥定等，1990；Stokes et al., 1996)。世界各地皆有許多利用樹輪氣候學來進行研究的相關文獻。Ping et al.(2012) 在中國的秦嶺黃山地區，以黃山松(*Pinu swangshanensis*)配合溫度及降雨資料，分析樹輪寬度和樹輪密度對於氣候因子的反應情形，指出交互定年可以得到準確的樹輪年代表；高溫 and 日照對樹木的生長有積極的作用，降水則是能助長樹木徑向發展(圖 1)；樹輪寬度在春季生長期時和溫度呈現正相關(圖 2)，樹輪密度在夏季時和日照時數呈現正相關(圖 3)。

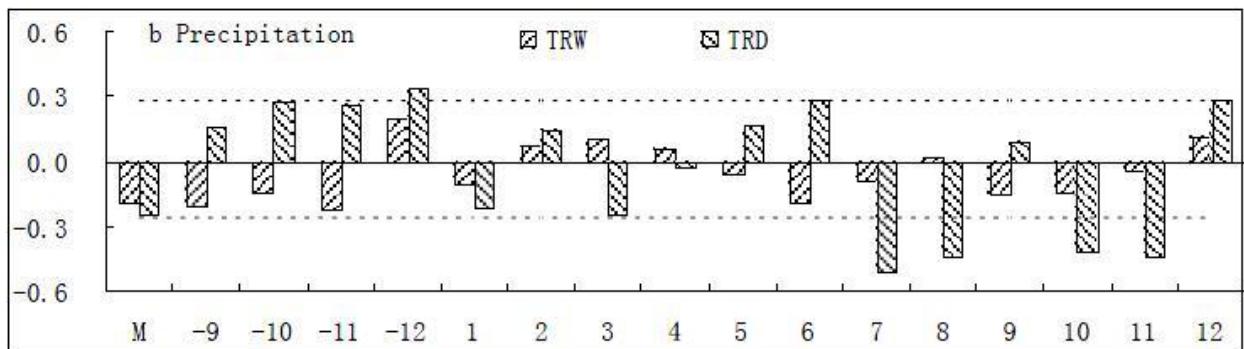


圖 1 樹輪年表和降水的相關性分析(Ping et al., 2012)。

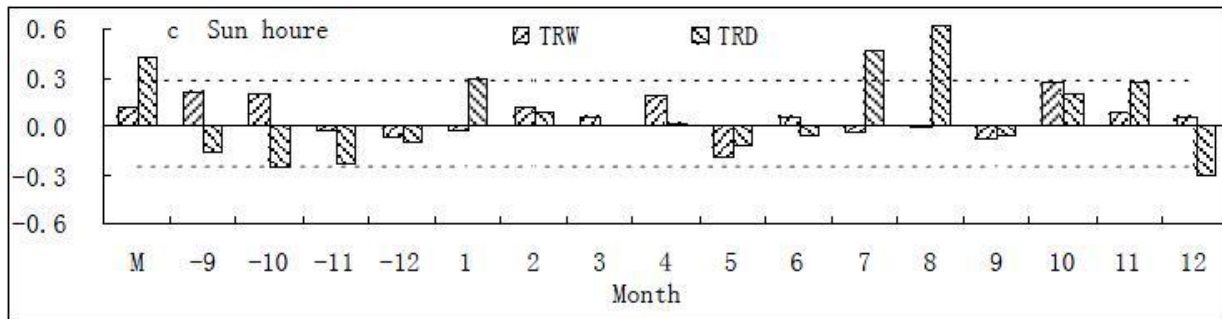


圖 2 樹輪年表和溫度的相關性分析(Ping et al., 2012)。

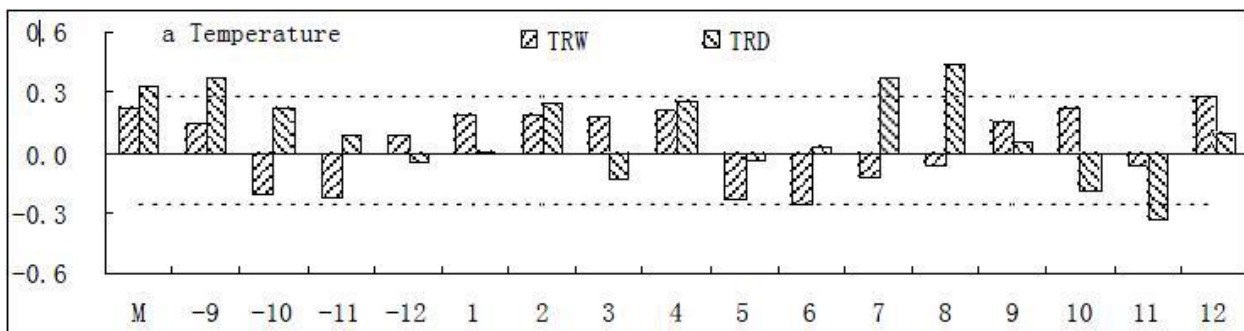


圖 3 樹輪年表和日照時數的相關性分析(Ping et al., 2012)。

Knapp et al.(2002)以西洋刺柏(*Juniperus occidentalis* var. *occidentalis* Hook.)年輪重建近五百年於太平洋西北地區內陸極端乾旱事件，在該區域設置了 9 個監測降雨指數的測量站，得到北美圓柏(*Juniperus occidentalis* var. *occidentalis* Western Juniper.)在每年都有實質性的成長，在東部和西南部比較時得到巨大的差異，可能原因就是定期發生的聖嬰-南方震盪現象(El Niño-Southern Oscillation, ENSO)，造成西岸高溫 and 春冬季的降水減少，影響到樹木徑向生長。

Feliksik et al.(2003)在南波蘭山區以北美黃杉(*Pseudotsuga menziesii* Franco)建立近百年之樹輪年表，確定了樹木徑向生長期是在每年的冬季前，夏季的降水量對於木質部細胞在形成過程中的變化只有些微影響，冬季氣溫和大陸型氣候才是主要條件。雖然存在著差異，但蘇臺德山脈的樹輪寬度年變化和喀爾巴阡及羅茲特茲地區比較仍有其相似的規律性。

Jacoby et al.(2000)在北西伯利亞地區，曾採取落葉松(*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen)建立樹輪年表來重建過去四個世紀 5 月至 9 月的溫度變化，發現 20 世紀氣候已經不尋常的變暖，1970 年有缺失的年輪，之後又有因氣候回暖造成年輪寬度增加(圖 4)。大多數主要的變暖和變冷的趨勢和其他高緯度地區利用溫度重建樹木年輪分析只有一些地區差異。

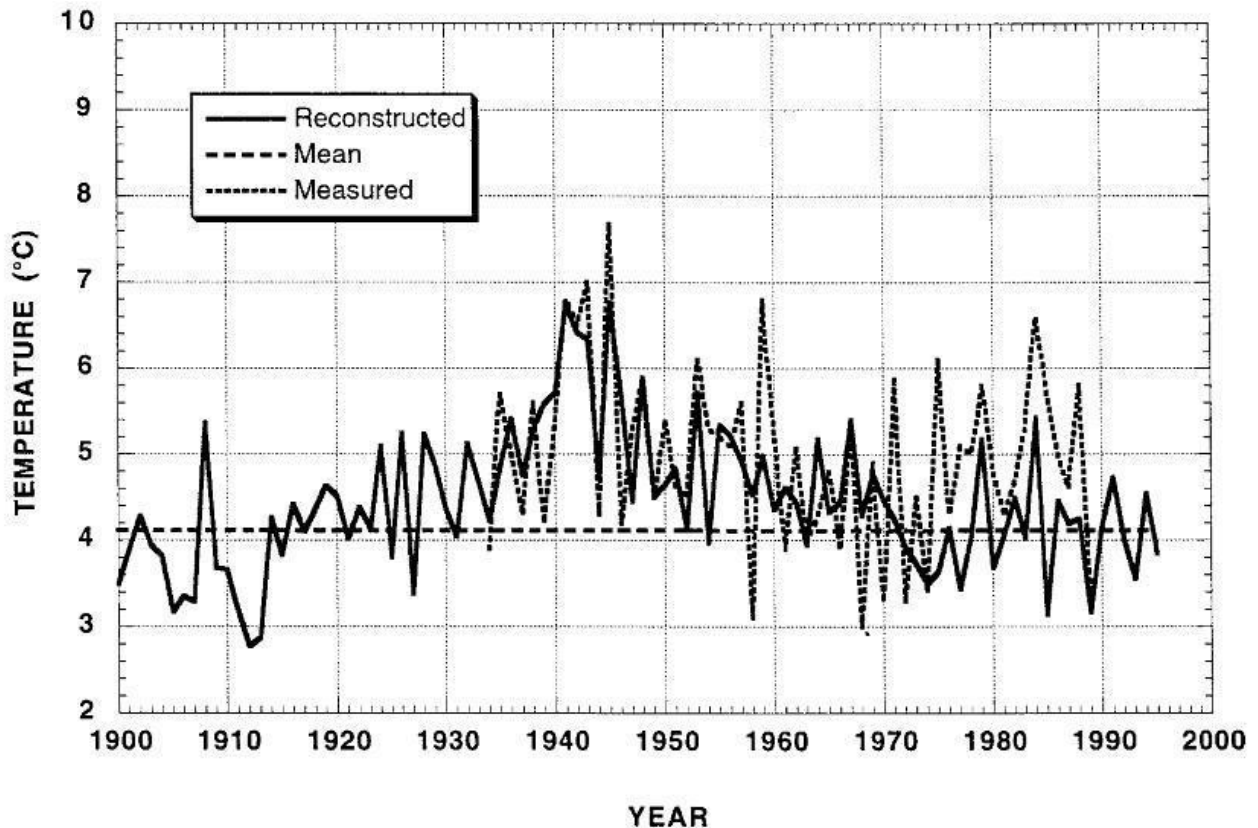


圖 4 1990 年來最高氣溫和樹輪推估比較(Jacoby et al., 2000)。

關於臺灣在樹輪與氣候因子之間的相關研究見於下列各學者：陳柏因(2012)探討溪頭地區柳杉(*Cryptomeria japonica* (L. f.) D. Don.)人造林，在不同初始栽植距離下，林木的氣候訊號表現有何差異。研究發現，林木初始栽植距離較小者，與氣候因子間的關係較強，林木生長前期的樹輪寬度也與氣候因子的關係較強。因此推導出本研究區域的柳杉，在競爭作用強的環境下時，有較好的氣候訊號擷取能力。陳姿彤(2011)利用中部塔塔加山區的雲杉利用傳統樹輪及總體經驗模態分解法來重建臺灣三百年來古氣候，本研究以中部塔塔加山區的臺灣雲杉樹輪寬度資料建立樹輪寬度年表，作為探討過去氣候變化的依據，總共重建了 373 年(1636-2008)的樹輪寬度年表。分析其結果有幾個較明顯的暖期，分別是 1718-1726 年、1908-1916 年與 2002-2008 年，反映出臺灣夏季受西太平洋夏季季風影響，在少雨時西太平洋副熱帶高壓擴大並往西延伸，阻擋了西南氣流及梅雨鋒面，因而產生異常溫暖且乾燥的夏季，並對應到較大輪寬發生的年份。

劉婉霞(2009)透過不同海拔地區樟樹樹輪徑向生長與氣候因子相關之研究探討，結果得知樹齡為影響樟樹徑向生長最主要因子，溫度、雨量及 CO₂ 濃度對樟樹生長影響則在低海拔地區反應較為明顯，高溫對於低海拔地區樟樹徑向生長較不利，若雨量充足可降低高

溫的不利影響。CO₂ 濃度對高海拔地區樟樹樹輪徑向生長影響比氣候因子更為顯著，但以目前大氣 CO₂ 濃度為 385 ppm 的情況下，尚不致於成為生長的限制因子。

另有張世振(2006)利用樹木對環境氣候之敏感度，藉由相關函數及反應函數分析臺灣西南部大武山區氣候對樹輪寬度變化之影響。結果經由分析顯示，臺灣杉和臺灣鐵杉年表皆反映出與 1 月份的最大瞬間風速之相關性。聖嬰現象影響著氣溫及降雨，而臺灣杉與臺灣鐵杉樹輪寬度年表於聖嬰年大多有偏寬，而於反聖嬰年大多偏窄之情形。臺灣杉樹輪寬度重建結果顯示，1992-1997 年冬季溫度偏低。大鬼湖地區臺灣鐵杉樹輪寬度重建結果顯示，17 世紀末、19 世紀末和 20 世紀中秋季溫度偏低，而在 17 世紀前半期和 20 世紀初溫度偏高(圖 5)。

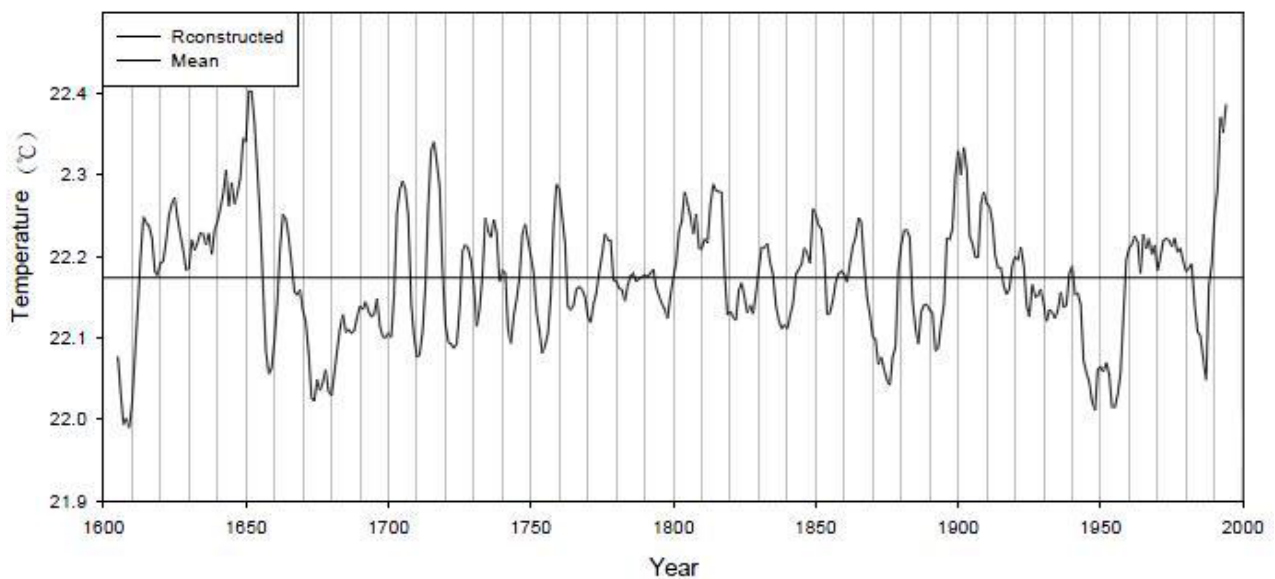


圖 5 大鬼湖標準年代表 (STD) 重建八、九月份 (1605-1994) 溫度變化(張世振，2006)

(四)利用樹輪學探討族群結構與生態之研究探討

在探討森林歷史的過程中，會使用不同形式的證據來了解森林過去的演變，如：化石、

航空照片、冠層孔隙、樹輪等。樹輪在樹木的生長過程中會將自身或周遭環境的變化記錄下來，樹輪具有保存良好、不易變質的特性，對於探討森林歷史是極好的資料。臺灣多以樹輪生長特性來觀察氣候響應和環境因子之間的關係，關於使用於族群結構探討的國內外部分文獻如下：

美國內華達山脈北部的紅杉(*Larix potaninii* Batalin.)森林因森林結構複雜，其遮蔭和干擾使紅杉幼樹難以更新，Andrew(2006)在該地選取 4 個不同森林結構的樣區採取紅杉樹芯進行交互定年，並以火疤的樣本對照火災發生的日期，發現火災災害對於紅杉林的族群結構和更新有長久的影響力。

湯繼禹、詹明勳(2012)在臺灣中央山脈南湖大山玉山圓柏林分生長特性及年齡結構的研究中指出，玉山圓柏生育地干擾少，影響其生長主要環境因子為氣候及地形。並從其樣區取樣 126 支樹芯，以標準樹輪年代學方法(Standards dendrochronological method)進行分析統計，從樹輪年表得知 1750 年後開始有生長增加的趨勢，1980 年前後環境發生逆境，造成年表年輪寬度下降。並指出樹齡結構與徑級結構在樹齡較小時有顯著正相關，但當樹齡增加時，兩者間之關係會逐漸降低，故對於樹齡高達數百年的玉山圓柏進行樹齡結構之研究時，僅以徑級結構做為分析可能是不恰當的。

詹婉婷(2004)於棲蘭山地區以臺灣扁柏皆伐木根株所得之橫斷截面積圓盤九片，經由樹輪影像分析(Image analysis)，建立樹輪寬度年表，探討該地區臺灣扁柏生長過程及遭受擾動(Disturbances)的時間點。由所得的資料推論，研究地點平均每 150~200 年會有一中或小尺度之擾動，每一次擾動的效應約持續 100~200 年。可推斷擾動從未間斷。推論臺灣扁柏可經由小尺度更新之方式維持當地族群，而非僅依靠大規模的擾動來維持更新。

二玉山圓柏相關研究

(一)玉山圓柏分類地位之變遷

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)；為一個分布區域不斷縮小的植物類群，單種屬及寡種屬占很高的比例，其明顯的旱生型態，與中生代時對乾旱氣候的適應及後來對寒冷氣候或高山氣候的適應有關，但在第三紀時期種類數目及分布區域均較現在廣泛。圓柏屬(*Juniperus* L.)植物全世界約有

60 種，是裸子植物中一個多樣性相當高的分類群。玉山圓柏或稱作香柏(*J. squamata* Buch.-Ham.)，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，成熟時紫黑色，毬果單一，長 6~8 mm(Li and Keng, 1994)。

產臺灣地區圓柏屬之原生植物除玉山圓柏外尚有清水圓柏(*J. chinensis* L. var. *tsukusiensis* Masamune)及刺柏(*J. formosana* Hayata) (Li and Keng, 1994)。玉山圓柏為早田文藏(Hayata)1908 年以採集地點玉山做為此新種之種小名(陳玉峰，1997)。過去對於玉山圓柏的分類地位和群落各界都有不同的論述。金平亮三(1936)於臺灣樹木誌將玉山圓柏與大陸香柏視為同一種。Li and Keng 在 1954 年認為玉山圓柏應視為香柏之一變種，遂將其植物學名重新組合為玉山變種 *J. squamata* var. *morrisonicola* (Hayata) Li & Keng。柳楮(1961)認為玉山圓柏地處高寒環境單純，分布地區環境因子變異極小，適應力弱，對於生育環境限制較嚴格，變異的可能性不大，故將其與大陸地區之香柏定為同種植物。Li and Keng (1975)在第一版臺灣植物誌(*Flora of Taiwan*)中，將玉山圓柏視為香柏之一變種，並引用其發表之學名，在第二版臺灣植物誌中又將其恢復為香柏之原種名 *J. squamata* Buch.-Ham. (Li and Keng, 1994)。Adams (2000)利用葉內揮發性精油(Leaf essential oils)和 RAPD(Random Amplified Polymorphic DNAs)對東半球單一種子的圓柏屬植物系統分類報告中，發現葉所含精油-萜烯(terpenes)和 DNA 方面都顯示臺灣產玉山圓柏與大陸之香柏有所區別，顯示其地理與生殖隔離，故又將學名回復由早田文藏所命名的 *Juniperus morrisonicola* Hayata。因此玉山圓柏可視為臺灣特有種(Endemic species)植物，亦為臺灣高山林木界線的主要樹種，在生物學、物種保育及環境變遷的研究更顯其重要性。

在植株型態上玉山圓柏可分為喬木型與灌木型(金平亮三，1936；劉業經等，1994；Li and Keng, 1975、1994)，植株型態的差異亦為玉山圓柏分類地位的爭論點。傅慧雯(2002)應用 ISSR 研究臺灣地區玉山圓柏之遺傳變異，以 AMOVA(Analysis of Molecular Variance)分析結果發現：玉山圓柏族群之外部形態無明顯差異，在臺灣雪山等 8 個地區間遺傳變異並無顯著差異，喬木及灌木間之遺傳分化上亦無明顯差異。邱其德(2010)以 AMOVA 分析遺傳變異，結果顯示玉山圓柏族群的族群分化程度低，推測是由於玉山圓柏物種的生活史與特性所造成的。STRUCTURE 模擬分群的結果呈現各族群保有部分的祖先型遺傳特徵，暗示著可能來自共同的祖先族群。

(二)玉山圓柏群落相關研究

自 1908 年早田文藏命名發表玉山圓柏後，陸續有日本學者對其分類地位及群落特徵提出報告。蘇鴻傑(1974)引述日本學者鈴木時夫於 1935~36 年在秀姑巒山東南方鞍部發現有關玉山圓柏之 4 種群落。柳楮(1968)論述臺灣群落時，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(柳楮，1971)。臺灣地區以玉山圓柏為優勢的植物社會，大致分為森林與灌叢兩種不同的群系級(Formation class)，皆分布於海拔 3,000 m 冷溫帶以上的高山。玉山圓柏群團屬亞高山冷溫帶針葉林群系，林相極為單純，玉山圓柏是優勢種亦為特徵種，下層小苗仍以玉山圓柏為主，而玉山圓柏於迎風面土壤貧脊的岩屑地，形成低矮匍匐的灌叢，其形相與森林完全不同，應自成一玉山圓柏灌叢群團(林鴻志，2005)。

呂金誠、王志強(2006)在翠池地區的玉山圓柏林族群結構調查中依據 TSTRAT Model 將森林垂直結構分為 9 層，在林分不同的發育階段，其空間分布之聚集強度從幼數至大樹有逐漸減少之現象，而森林結構層次屬穩定之倒 J 型，在直徑生長至 15~30 cm 時植株數急速下降，推測幼苗時期的林分處於互相競爭階段，結構較不穩定。曾彥學、王志強(2010)於同一地區小苗更新複查調查結果顯示，小苗有大量死亡的現象，各植株生長空間變大，長期的變化趨勢需要持續監測調查。林志銓等(2012)透過密度—胸高直徑半對數圖，利用簡單線性迴歸驗證玉山圓柏林三種生長階段對數林分密度中，各生長階段之直徑階間的負斜率，可瞭解不同生長階段之遞減速率的差異，反映出老熟林不對稱 U 型死亡率之現象，即玉山圓柏為長壽型，且為長期處優勢之樹種表現。林志銓(2012)提出無論在喬木型玉山圓柏林樣區、交會帶玉山圓柏林樣區。在不同胸高直徑階方面，小徑級植株的競爭強度較大，而大徑級植株的競爭強度較小。玉山圓柏在 TSTRAT 分層下，平均競爭指數分成 4 群，以樹冠分層之最上面 4 層(Y1~Y4 層)競爭強度較小，第 Y8~Y9 層之競爭強度較高，即所受的競爭壓力較大。玉山圓柏達到第 Y4 層高度後，其所受的競爭壓力變小，可推斷此高

度為林木生長能否達到樹冠層的門檻。

蘇鴻傑(1988)測定 18 株玉山圓柏胸高直徑與年齡之關係，得知中小徑木之胸高直徑與年齡正相關，迴歸係數已達顯著水準($r=0.867$) (圖 6)，結果顯示胸高直徑生長在晚年為逐漸下降之曲線，因而推估本林分之玉山圓柏林，最高樹齡可能超過 3,000 年，並得出玉山圓柏直徑生長速度每生長 1 cm 約需 22.8 年，然陳玉峰(1997)在秀姑坪下方測量 8 株玉山圓柏小喬木，推算出其直徑生長 1 cm 僅需 8.33 年。呂金誠、王志強(2008)年針對雪霸自然保護區翠池地區進行玉山圓柏之更新研究，分別記錄小苗之地徑或胸徑及植株高等屬性資料，繪製成林木分布圖，並進行徑級分析，生長空間的計算、物候調查、種子庫及種實兩調查。結果顯示喬木型樣區之種子庫有較高的種子量，種子庫主要分布於表層，越往下層土，種子量越少。歐辰雄(2004)於大小劍地區植群生態調查研究中，結果顯示開放區域玉山圓柏林之天然更新狀況不佳。曾彥學、王志強(2010)於雪霸地區玉山圓柏永久樣區進行更新複查，2008 年樣區小苗存活率調查結果極高，皆有 88% 以上，但在 2010 年複查時小苗大量死亡。

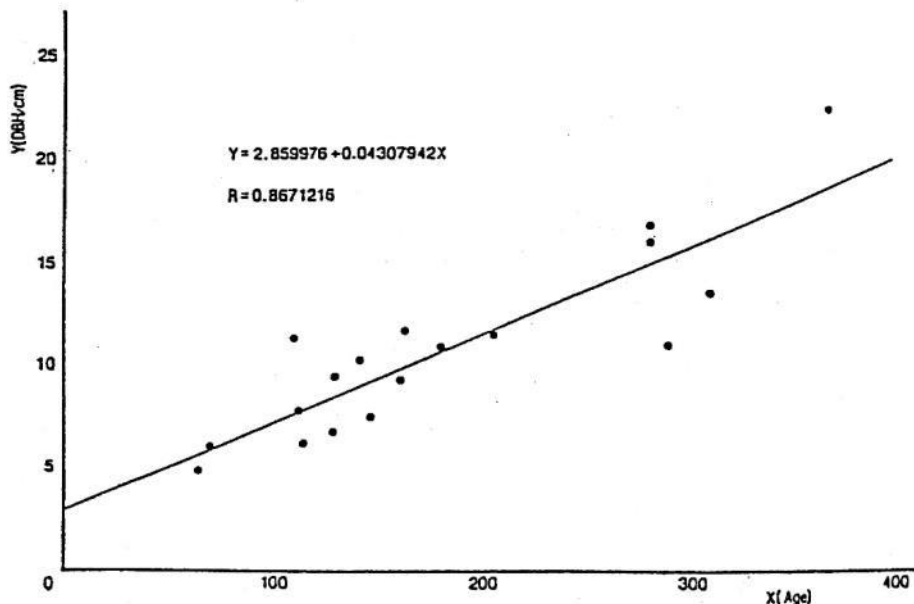


圖 6 玉山圓柏喬木林胸高直徑與年齡之關係(蘇鴻傑，1988)

三、樹輪研究方法

(一)樹輪研究內容及其工時

樹輪的研究起始於西元 1400 年，直到西元 1900 初由 A. E. Douglass 發展出一套完整的樹輪研究法之前，C. Linnaeus 在 1700 初便以目視數年輪來確定樹木的年齡，A. C. Twinning 在 1800 初使用交互定年來記錄不同地區的不同訊號(Webb, 1986; Dean, 1978)，近代則是以 COFECHA 和 TSAPWin 兩種軟體來進行交互定年的主要檢測。

在樹輪學的研究中，有許多步驟必須進行，Fritts(1976)指出，以 20 株林木建立 200 年的主年表各項步驟所需的時間依序為野外採樣、樣本準備及製作、定年、樹輪寬度量測、使用 COFECHA 軟體輔助檢測定年、基本氣候反應分析、主題報告呈現等 7 項。其中整體耗費時間以定年、樹輪寬度量測、使用 COFECHA 軟體輔助檢測定年占所有時間的 75%，顯示出重複檢測修正定年的重要性。

(二)電腦軟體輔助定年

經過目視定年後，其準確性及樹輪寬度顯示的基本訊息須再以其他工具來輔助檢測定年，因此，便產生許多專用軟體如 COFECHA、TSAPWin 或 LignoVision。電腦輔助測量及分析程式在定年過程的前段，被設計成可手動、半自動及自動辨識樹芯表面輪寬界線來量取樹木年輪間的距離。部份包含在這些分析工具裡的程式則是可以幫助檢測交互定年的品質及年表的建立(Schweingruber, 1988; Cook and Kairiukstis, 1990)。

樹芯樣本通常放置在具有顯微鏡的平臺上來做年輪界線判定、標記及測量(Cook and Kairiukstis, 1990)，在加以儲存並使用樹輪分析軟體來做進一步分析，交互定年為樹輪研究分析中最為耗時的部分，從早期的識圖定年法(skeleton plot)(Stokes and Smiley, 1968)、目視比對樣本或輪寬曲線(Pilcher, 1990)至標誌年法(Schweingruber et al., 1990)等陸續問世，但是在使用上這些方法還是太耗時，近年來較常使用電腦軟體來輔助定年，軟體輔助以 COFECHA(Holmes, 1983)及 TSAPWin(Rinntech, 2003)為兩個軟體為主。近年來有很多樹輪研究使用 COFECHA 做定年檢驗及偽年輪的修正(Cook et al., 2003; Pei et al., 2012)，也有使用 TSAPWin 配合 COFECHA 來做交互定年檢驗(Maxwell et al., 2011; Wilset al., 2010)。

(三).TSAPWin 交互定年方法和 COFECHA 之比較

交互定年目的在於藉由樹內與樹間的比對，找出缺失輪及偽年輪並進行修正達到樹輪寬窄變化一致的結果。COFECHA 與 TSAPWin 兩種軟體都是進行交互定年時常用的軟體，在使用上可以看出有很大的不同。

1.COFECHA 定年

COFECHA 軟體是由美國的 Richard L. Holmes 所寫成的程式，近幾年來廣被其他國家使用，主要用在對於樹芯的品質檢驗，相關性 r 值的高低，是從年表與年表之間的寬窄變化斜率的平行角度做決定。若兩條年表的寬窄變化越平行則 r 值越高， r 值隨兩年表斜率不同而降低。數據經由 COFECHA 分析後會產生一個報表，內容主要如上述所列，計有 7 個部分。其中，第 7 部分為總表，會將各樹芯的長度與主年表的相關性以及平均敏感度(mean sensitivity)列出。樹芯與主年表的相關性及平均敏感度對樹輪學研究是非常重要的資訊。平均敏感度為某一地區所有樹芯樣本樹輪寬的平均變化明顯程度，會介於 0~2 之間，太低表示樹輪寬窄無明顯變化，太高為樹輪寬窄產生劇烈變化，兩者皆不適合用作樹輪學分析。

2.TSAPWin 定年

TSAPWin 為一個整合輪寬量測、資料整理、分析、折線圖呈現與樹輪時間序列的交互定年軟體，由 F. Rinn 及其團隊所研發。TSAPWin 也支援大部分樹芯資料檔案格式。TSAPWin 的製圖能力，為交互定年及標準化時提供許多選擇(Rinntech, 2003)。TSAPWin 最常被拿來使用的部份是樹輪寬度測量及一致性 Glk 值(Gleichläufigkeit value)的檢測，Glk 值的計算是以 n 年及 $n+1$ 年樹輪寬度寬窄變化來給分。若兩樹芯 n 年到 $n+1$ 年間的寬度變化是一致的，包含同時變寬或變窄及不變，則給 1 分。若兩樹芯 n 年到 $n+1$ 年間的寬度變化是相反的，一變寬一變窄則給 0 分。若一變寬或窄而另一不變則給 0.5 分，最後加總分數當分子，總年數為分母換算成百分比為最後得分。

在 TSAPWin 中會將各樹芯樹輪寬度以線性回歸處理將其變成以均值為 0 的折線圖，再將各樹芯的值平均後製成主年表，主年表建立完成後再與原始資料做一致性的檢測，而 GSL(Gleichläufigkeit significance level)即是看 Glk 值是否達到設定的顯著性。顯著性分為 3 種信賴水準 95%、99%及 99.9%，若達到信賴水準則分別標示*、**及***。其顯著性隨分析的年表長度不同而會有所調整，年表越短則需要較高的一致性才能達到顯著。

3.COFECHA 與 TSAPWin 的比較

TSAPWin 與 COFECHA 兩種都是進行交互定年時常用的軟體，這兩種方法因為在交互定年上檢驗的統計值及標準不同，在使用上也會有所限制。TSAPWin 可以在圖形上直接對樹輪寬度資料進行修正，COFECHA 則是在每次修正完後需再重新運算，且無法中途修正。在統計結果上 TSAPWin 較為簡略，COFECHA 在呈現上較為完整，美國地區認為 COFECHA 的結果較具有公證性，歐洲地區則是多以 TSAPWin 做檢測。不管是 TSAPWin 的一致性檢測或是 COFECHA 的相關性檢測，在交互定年沒有出現重大問題的情況下，兩者所產生的主年表相似度很高。

第三章、研究材料與地區

一、研究材料—玉山圓柏

本研究以雪山翠池地區之玉山圓柏為研究材料，玉山圓柏之分布狀況，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，玉山圓柏以不同植株型態出現於海拔高 3,000 m 之山脊（蘇鴻傑，1974、1988；應紹舜，1976a；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，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處大面積玉山圓柏喬木純林。玉山圓柏為臺灣地區分布海拔最高之喬木樹種，其高樹齡及分布特性，適合作為樹輪與生長、氣候變遷等因子之探討。

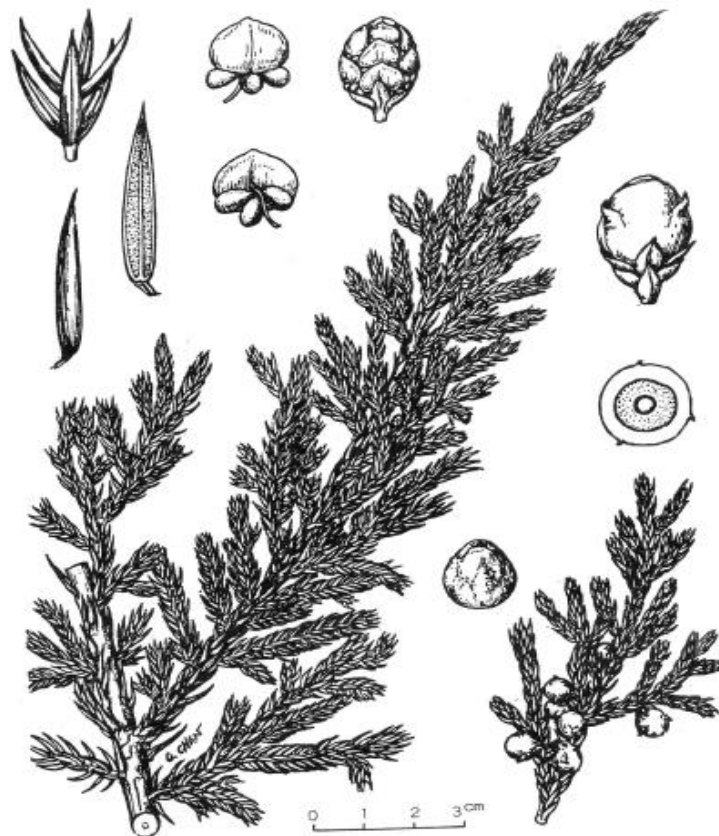


圖 7 玉山圓柏形態圖

資料來源：(Li and Keng, 1994)。

二、研究地區－雪山翠池地區

雪霸國家公園之雪山翠池地區，位於苗栗縣與臺中市之交界地區，居雪山主峰以西之林地，海拔高度約在 3,500 m 上下，其間生育有玉山圓柏原生林、特殊地形景觀、冰河遺跡及野生動物等，區內翠池地區之玉山圓柏為國內少見之大面積純林。本研究以雪霸自然保護區之雪山主峰及翠池地區（圖 8,圖 9）為主要研究區域，範圍由雪山主峰（3,886 m）至北稜角（3,880 m），下切至翠池谷地，西至下翠池，西南至翠池三叉山（3,565 m），面積約 100 ha 玉山圓柏林進行調查。

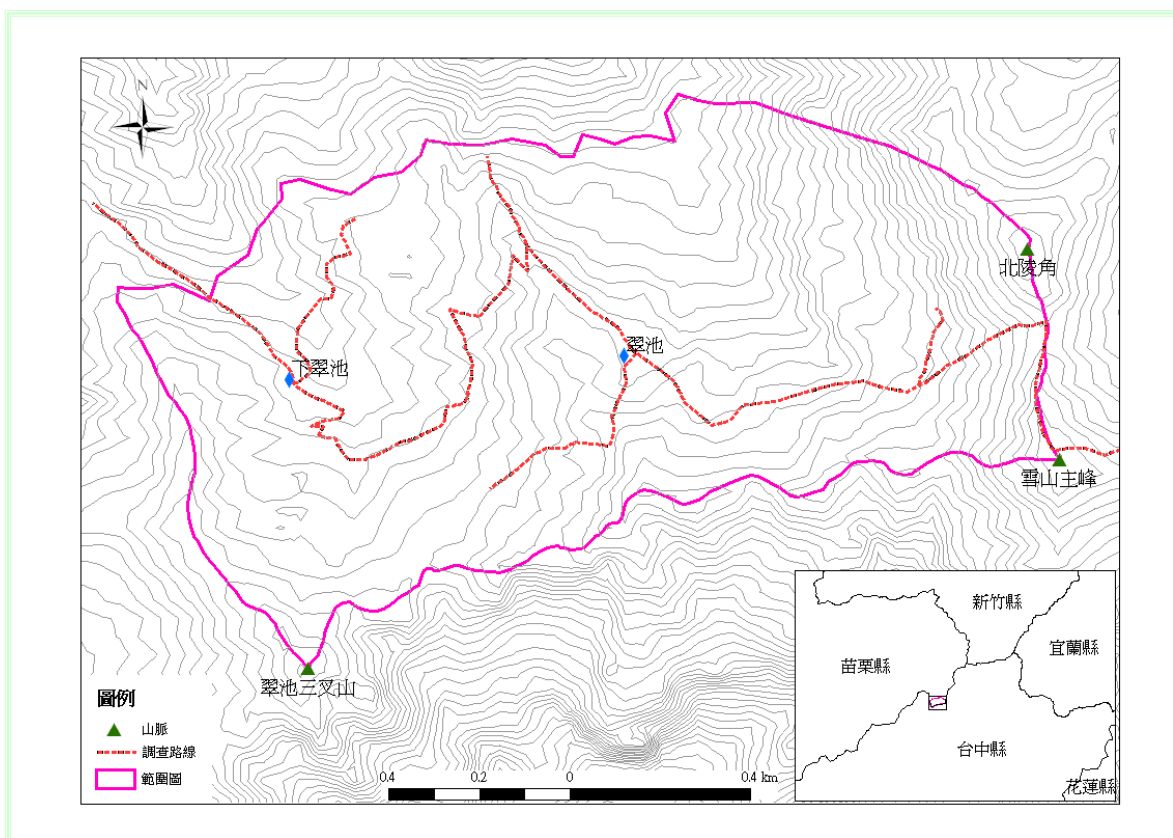


圖 8 研究區域圖

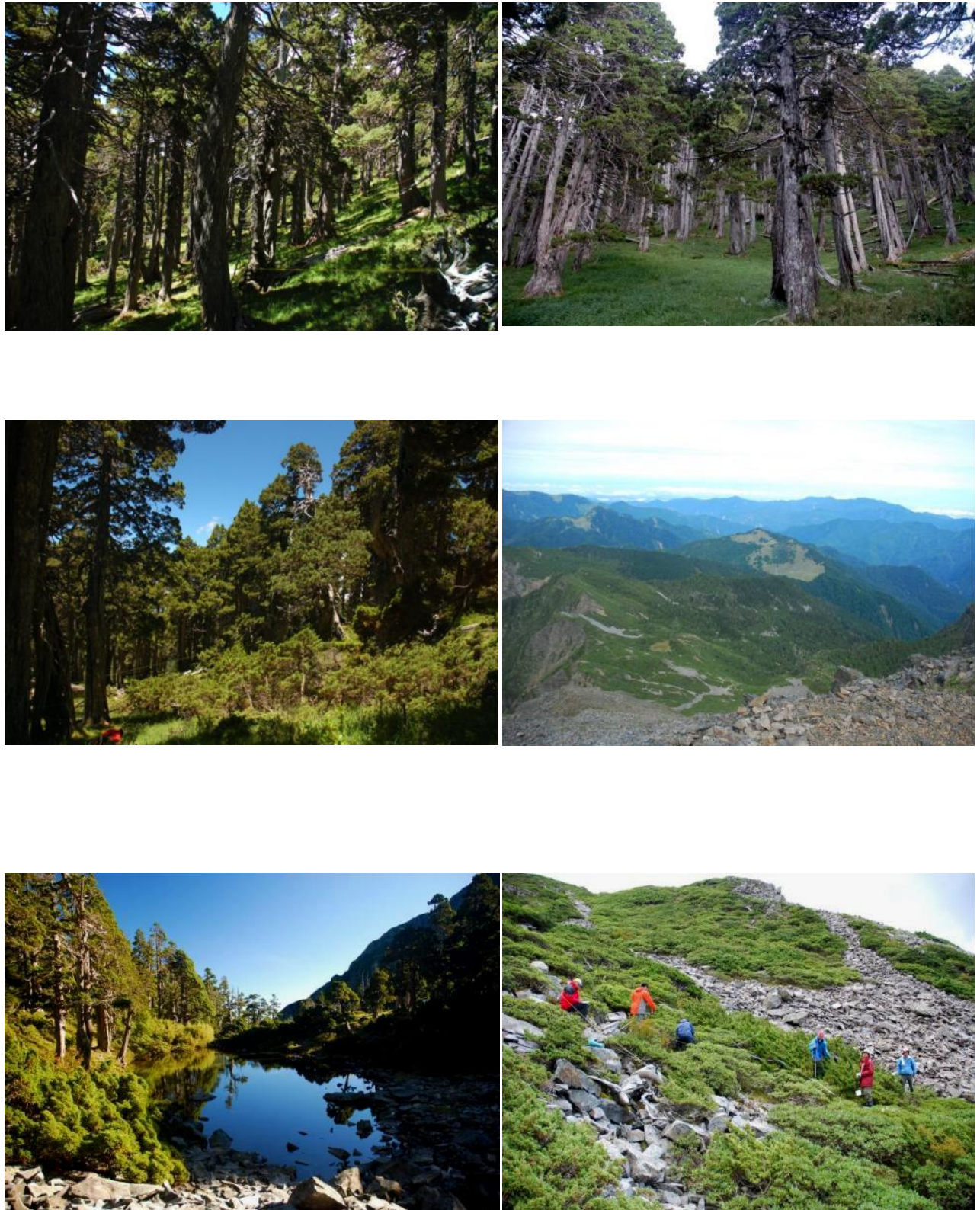


圖 9 翠池地區照片及玉山圓柏生育地

三、玉山圓柏之森林結構分析

(一)森林垂直分層

本團隊 2006 年於翠池西南方設置 1 ha 之永久樣區(圖 10)，依據森林具有之垂直結構屬性，層次的劃分有其必要性，以了解植物社會之演替的脈絡，本研究森林垂直分層依據 TSTRAT Model 標準(Latham et al., 1998)，共計分為 9 層(表 1)，視為森林林分內不同發展階段，玉山圓柏樹高 14.84 m 以上之植株，於該森林群落中居於優勢之地位，僅占喬木之 3.72%(72 株)，以第 8 層計有 734 株為最多，占喬木之 38.01%，而第 9 層計有 143 株，其中有 62.8%之植株屬於倒伏喬木。

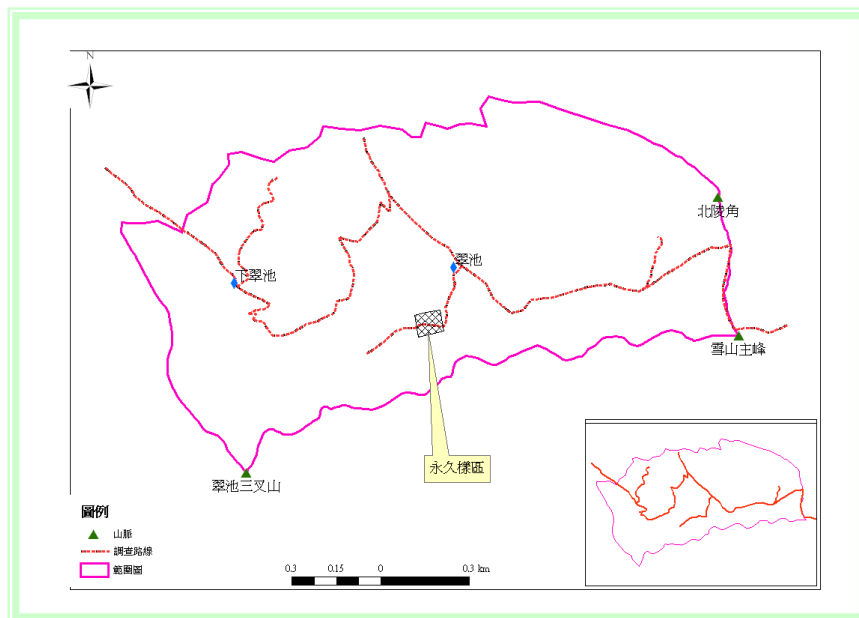


圖 10 玉山圓柏永久樣區位置圖

(樣區中心座標TWD67 X:271573 Y:2697706)

(二)林木性態值

玉山圓柏 1ha 永久樣區內之總株樹為 2,544 株，其中喬木總株數為 1,931 株，最高樹高為 23.06 m，最低樹高 0.50 m，平均樹高 5.04 m，最大胸徑 162.0 cm，最小胸徑 1.0 cm，平均胸徑 28.3 cm，最高枝下高 12.24 m，最低枝下高

0.05 m，平均枝下高為 2.54 m；而玉山圓柏地被層株數為 612 株。森林冠層各層次之胸高直徑由第 1 層至第 8 層，依層次遞減，而第 9 層因多半屬倒伏喬木，其平均之胸徑反而大於第 8 層。

表 1 玉山圓柏林不同垂直分層族群結構屬性表

層次	分層高度 (m)	代表樣區	代表樹高 (m)	代表枝下高 (m)	分層平均胸徑(cm)	分層平均樹高(m)	平均枝下高 (m)	株數 (棵)
1	14.84	5-8	23.06	9.36	52.3	16.36	7.99	72
2	10.20	4-7	14.84	7.12	47.3	12.43	6.14	331
3	7.45	8-5	10.14	5.66	45.2	8.99	4.27	113
4	5.50	6-1	7.44	4.22	36.4	6.46	3.40	29
5	4.00	8-8	5.50	3.00	12.0	4.51	2.06	92
6	2.80	7-10	4.00	2.00	7.8	3.56	1.64	217
7	2.26	10-10	2.80	1.90	5.8	2.72	1.46	300
8	1.38	3-9	2.26	0.80	4.3	1.83	0.90	734
9	0.90	10-3	1.35	0.60	5.0	0.75	0.28	143

依研究計畫之結果，生長速率為胸徑每增加 1cm，約須 24.39 年(每年增加 0.0410 cm)，則林分樹齡約為 690 年。又胸高直徑生長在晚年逐漸為漸下降之曲線，因而推估本林分之玉山圓柏林中，最高樹齡者可能超過 3,000 年而接近 4,000 年。其胸高直徑由第 1 層(最上層)至第 8 層依序遞減，亦可由此看出第 5 層的平均胸徑 12 cm 至第 4 層 36.36 cm，其間有達 24.36 cm 落差，推估該時期具有競爭或某種干擾的效應發生。又從樹芯鑽取資料中，胸高直徑超過 30 cm 者，樹幹皆已呈現中空腐朽狀態，且於林下倒木狀態中，多有胸高直徑接近上述，並為實心且尚通直者，本研究亦推論另一原因可能為在此等淺薄土壤、冬季降雪及風強之地，加以玉山圓柏少有板根現象作為支撐樹體之功能，以致於此等胸高直徑者若呈樹幹中空狀態，其全株重量不若實心者，故尚可立足，反之則易於傾倒，惟此一推論尚待更多資料，方可證實。

第四章、研究方法

一、生育地環境文獻蒐集及調查

(一) 蒐集及調查翠池地區之玉山圓柏伴生植群、植相及其生育之環境特性

本研究除了蒐集植群調查之資料外並進行代表性樣區取樣，採用多樣區法(Multiple plot method)進行取樣，以期瞭解區域內植物社會之組成。用於分類法及分布序列法之樣區，須要求樣區均質性(homogeneity)與均勻性(uniformity)，儘量在沒有明顯的結構分界線或層次變化處設立(蘇鴻傑、劉靜榆，2004)。樣區之設置主要以玉山圓柏為主要組成之環境。樣區大小為10m×25m，由10個5m×5m之小區組成(圖11)，灌木樣區大小為10m×10m，以4個小區組成；草本樣區大小為2m×2m，劃分為4個小區，並針對樹高1.5 m以上之喬木進行樹種鑑定、胸高直徑量測等工作；胸徑小於1cm之樹種、草本及蕨類，記錄植物種類及覆蓋度。本研究所記錄到植物學名主要以臺灣植物誌第2版第6卷及其補遺為參考依據(Boufford et al., 2003；Wang and Lu, 2012)。

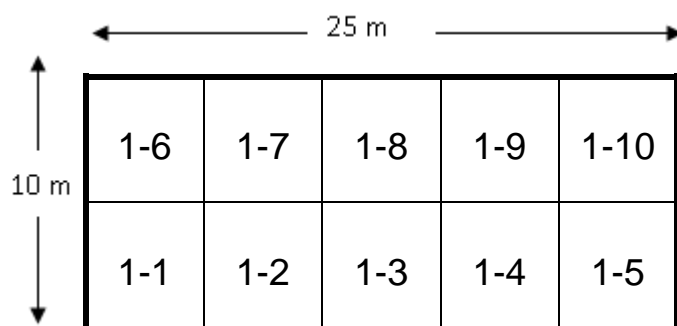


圖 11 樣區形狀及小區分布情形(本研究繪製)

(二) 環境因子觀測與評估方法

本研究針對各樣區之下列環境因子加以直接觀測或以間接方式評估，其中將坡向之方位轉換成水分梯度，並採取土壤樣品，攜回實驗室進行分析：

(1) 海拔高(Altitude, Alt.)

海拔高度係以全球衛星定位系統(Global Position System, GPS)及氣壓式高度計測定樣區所在之海拔高度，並記錄 TM 二度分帶座標值，以標定樣區在圖面之位置。

(2)坡度(Slope, Slo.)

以羅盤儀或手提水準儀測出樣區所在坡面之仰角或俯角，若林分樣區為傾斜率不均一的生育地，則取多次測值的平均。

(3)坡向方位(Aспект, Asp.)與水分梯度(Moisture gradient, Mois.)

現場以羅盤儀測得樣區或生育地最大坡度所面臨的方向。本研究將方位視為水分梯度之對應值，通常以北半球而言，西南向最乾燥，東北向最陰濕，故給予 1(最乾)至 16(最濕)之相對值(圖 12)。

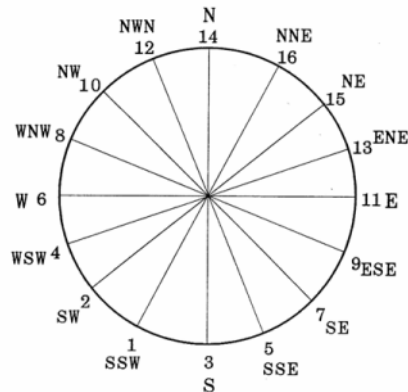


圖 12 以方位表示之水分梯度級(Day and Monk, 1974)

(4)全天光空域(Whole Light Sky, WLS)

觀察樣區四周之十二個固定的方位角，測出遮蔽物之高度角(altitude angle)，然後於研究室以製圖方式，求出未受遮蔽之天空範圍百分率，作為全天光空域(圖 13)。

(5)直射光空域(Direct Light Sky, DLS)

直射光空域係於樣區林分中直接看到太陽在空中運行天域之大小，其大小相當於太陽夏至與冬至軌跡之範圍，再扣除直射光被稜線所遮蔽之部份。

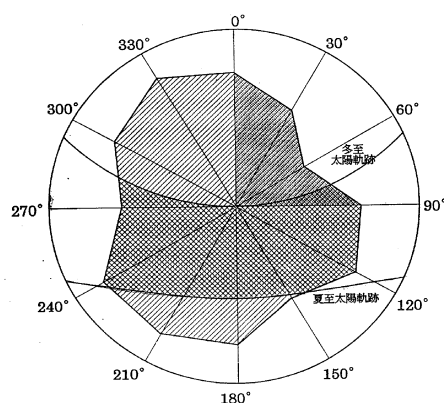


圖 13 林分樣區之全天光空域(單斜線部分)與直射光空域(雙斜線部分)

(6)土壤性質：

本研究進行土壤 pH 值的檢測。

二、雪山山區玉山圓柏分布與數量估算

利用航空照片、地形圖冊、現地調查及樣區調查資料，採用地理資訊系統圖資及分析方法，估測雪山地區玉山圓柏分布地區、面積及數量。

三、翠池地區玉山圓柏樹輪取樣調查及分析

(一)樹芯取樣

採集能夠反映出主要氣候因子的樹芯樣本，是樹輪氣候學分析中最為重要且基本的程序之一，樣本選擇是整個樹輪氣候研究成敗的關鍵。在樹輪氣候學中，樹芯樣本盡可能符合樹輪氣候學基本原理外，應選擇樹木表面較少有其他植物攀生，減少其他非氣候因子之影響，較能反應出此地區之氣候條件(吳祥定等，1990)。

本研究鑽取喬木和矮盤灌叢進行目視定年與交互定年，生長錐長度有 30 至 90 cm 等長度，依樹木胸徑和其髓心可能腐朽程度來決定使用的長度。鑽取時盡可能貼近地際處鑽取以求取最多的樹輪，並且量取地際處到鑽取樹芯位置垂直高度，鑽取位置應平行樹木橫截面且不偏離髓心(圖 14)。把握其在上、下坡垂直兩側之位置，判斷鑽取後之樹芯是否有通過髓心，每木鑽取至少 2 個方向的樹芯，盡可能選正常材鑽取。鑽取樹芯後，需以凡士林塗抹於樹木鑽孔內壁，再以油漆封住樹皮，避免蟲菌侵害。

取出之樹芯則以蠟質紙吸管裝置保存(圖 15)，避免樣本折損，同時可吸收樣本的水分，防止樣本有霉菌生長或潰爛現象。野外取樣所鑽取的樹芯必須經過風乾處理，並將各樹芯以動物性蛋白膠固定於阿拉斯加扁柏砧木上。以 240grit 的砂紙砂磨至可看見樹輪，再以 600grit 的砂紙砂磨至清晰。目視定年後以 TSAPWin 輔助 Velmex 量測系統進行樹輪寬度的測量。



圖 14 生長錐(左)與樹芯鑽取示意圖(右)



圖 15 樹芯樣本的採集與保存

(二)交互定年與樹輪特性標記

目視定年時先以年輪較寬或較窄的樹輪當成標誌年，藉由樹間的交互比較定出準確的年數，計算年數時由樹皮往髓心方向計算，以每 10、50、100 年分別在樹芯上做 1、2、3 個黑點；且將樹芯上的不正常年輪作特別的標記(圖 16)，如偽年輪將以樹皮往髓心方向由下往上畫線、缺失輪在其兩側標記兩點、細輪在其年輪兩側標記兩點；樹皮方向較髓心方向高、細輪伴隨著缺失輪以其兩側標記兩點並在靠近樹皮方向下方標記一點、缺失輪伴隨細輪以其兩側標記兩點並在靠近髓心上方標記一點(Ltrr, 2004)。

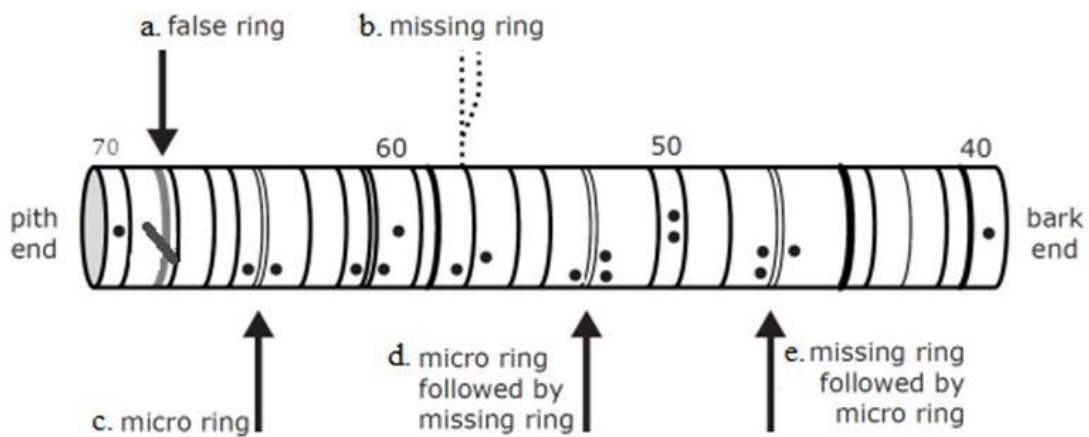


圖 16 目視定年標記圖(a)偽年輪樹皮往髓心方向由下往上畫線。(b)缺失輪在兩側各標記 1 點樹皮方向較髓心方向高。(c)細輪在兩側各標記 1 點。(d)細輪伴隨著缺失輪在兩側標記 2 點，靠近樹皮方向下方標記 1 點。(e)缺失輪伴隨細輪在兩側標記 2 點，靠近髓心上方標記 1 點(修改自 Ltrr, 2004)。

(三)樹輪寬度測量與平均敏感性檢測

以 COFECHA 及 TSAPWin 輔助 Velmex 量測系統的方式測量樹輪寬度，Velmex 量測系統硬體部分包含 Nikon 的立體顯微鏡、樹輪寬度量測載臺等(圖 16)；樹輪寬度量測載臺精度達 0.001mm。測量時開啟 TSAPWin 軟體的量測功能，將樹芯置於寬度量測載臺上，在立體顯微鏡下以十字絲對準秋材邊界，樹輪寬度則以樹輪間切線距離為準(圖 17)。將平

均敏感性不足 0.2 與超過 0.6 之樹芯剔除，再進行主年表的製作。

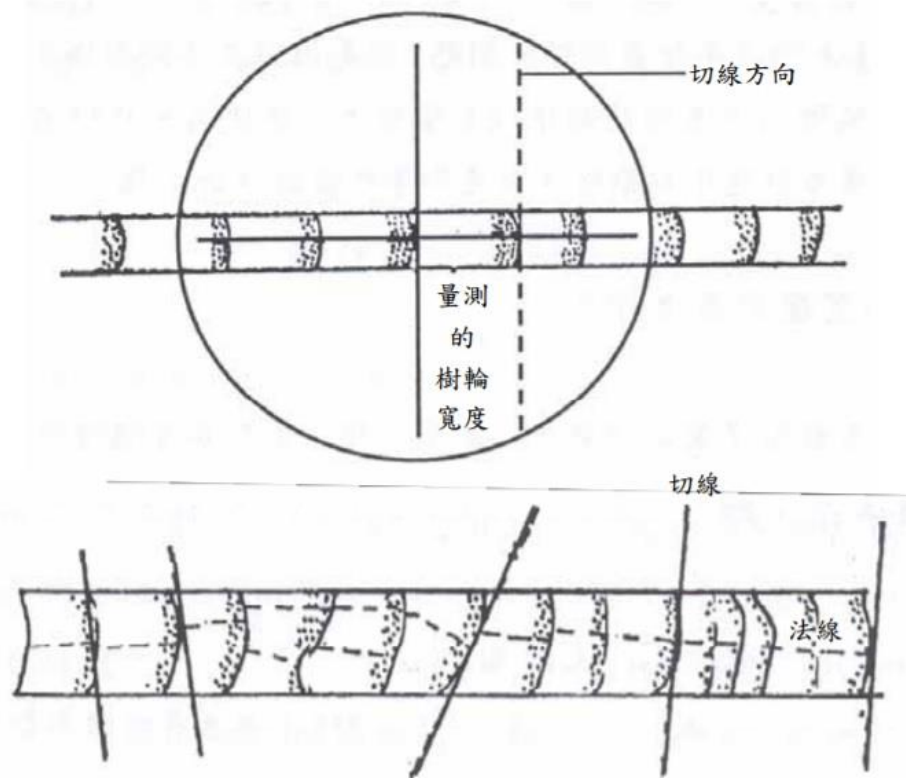


圖 17 樹輪寬度正確量測位置。上圖為標準量測位置之選擇。下圖為當樹輪有不規則形狀，應慎選切線及法線方向進行寬度量測（修改自吳祥定等，1990）。

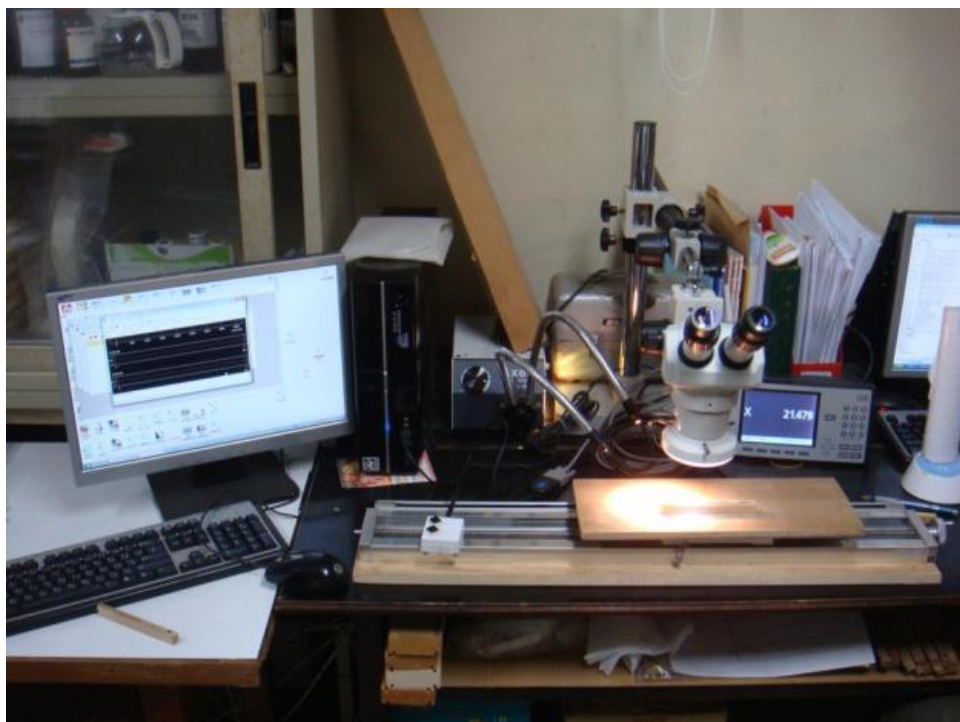


圖 18 Velmex 量測硬體設備圖

(四)樹間一致性 GLK 值檢測

TSAPWin 在樹輪研究上最常被拿來使用的部份是樹輪寬度測量及一致性 GLK 值 (Gleichläufigkeit value) 檢測, GLK 值的計算是以 n 年及 $n+1$ 年樹輪寬度寬窄變化來給分。若兩樹芯 n 年到 $n+1$ 年間的寬度變化是一致的如皆是變寬或變窄或不變, 則給 1 分。若兩樹芯 n 年到 $n+1$ 年間的寬度變化是相反的如一變寬一變窄則給 0 分。若一持平一變寬或窄則給 0.5 分。最後總分數當分子, 總年數為分母, 換算成百分比為最後得分(圖 19)。

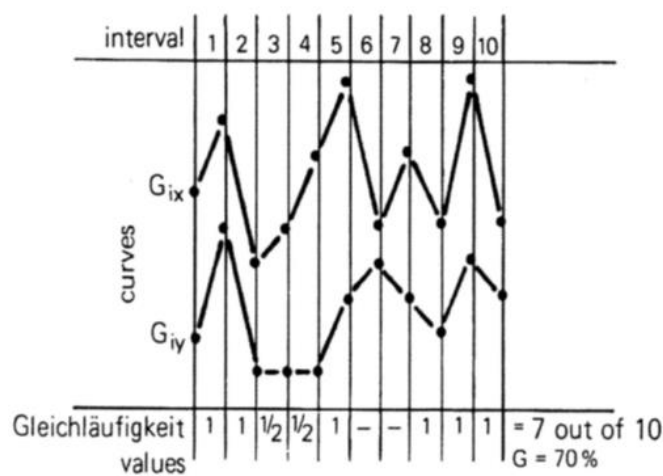


圖 19 GLK 值評分方法示意圖。兩樹芯寬度生長變化一致給 1 分, 一上升或下降另一持平則給 0.5 分, 寬窄變化相反則得 0 分 (Schweingruber, 1988)。

(五)臺灣山區 500 年氣候之比較

利用交互定年建立之樹輪寬度年表, 與臺灣山區近 500 年的氣候重建資料中的冬季重建氣溫、夏季重建氣溫(鄒佩珊, 1998)進行比較。臺灣山區 500 年來由樹輪寬度年表重建的冬季氣溫可劃分為 5 個主要時期, 夏季氣溫可劃分為 7 個主要時期如表 2。

以喬木、矮盤灌叢之主年表與冬、夏季重建氣溫之趨勢進行比對, 探討喬木、矮盤灌叢對應冬季、夏季重建氣溫趨勢之差異性。

表 2 重建氣溫表(鄒佩珊，1998)

冬季氣溫	夏季氣溫
1560~1740 年的低溫期	1550-1700 年偏低溫
1740~1820 年偏暖	1700-1720 年溫暖期
1820~1890 的低溫期，1840~1860 年明顯偏暖	1720-1765 年穩定期
1900~1920 年暖期	1765-1780 年溫暖期
1920 年之後為偏冷期	1780-1920 年期間，1810-1830 年明顯偏低
	1920-1970 年偏低
	1970 年後逐年增溫

四、玉山圓柏樹輪之徑向生長速度與樹齡之分析

本研究考量玉山圓柏喬木型、矮盤灌木型生長所受的環境因子不盡相同，故將分別討論兩者之直徑生長速度。

以本研究以 Sigma Plot10.0 進行統計與軟體製圖，對鑽取之所有樹芯進行樹芯長度與年輪數做相關性迴歸分析，探討玉山圓柏之徑向生長速度及樹芯長度與年輪數之相關性，並算出玉山圓柏喬木型、矮盤灌叢型之直徑生長速度。

第五章、結果與討論

本調查研究期間共計進行 7 次之樣區調查及樹芯取樣，調查分析結果如下。

一、生育地環境文獻蒐集及調查

(一) 蒐集及調查翠池地區之玉山圓柏伴生植群植相

1. 植物組成

於雪山主峰及翠池地區調查玉山圓柏林之植群現況，共計調查及複查本區域內 12 個樣區。結果顯示，植物組成計有 36 科 69 屬 85 種(含種以下分類群)植物(附錄一)，植物名錄各分類群統計表如表 3。調查路線沿雪山主峰與北稜角鞍部經碎石坡，往上翠池、翠池、下翠池及翠池三叉山等地區執行植群調查工作，樣區位置如圖 20 所示，位在海拔高度 3,385 m 至 3,886 m 之間，樣區資料如表 2 所示。

表 3. 玉山圓柏林植物名錄各分類群統計表

類 別	科數	屬數	種數 (含種以下分類群)
蕨類植物	5	7	12
裸子植物	2	2	2
雙子葉植物	24	47	58
單子葉植物	5	13	13
總 計	36	69	85

(二) 翠池地區之玉山圓柏生育環境調查

本研究選取 12 個樣區(含 2 個矮盤灌叢)(圖 20,表 4)，海拔高度在 3,380-3,886 m，水分梯度除了樣區 CC_05、06、07 等 3 個樣區外，其餘樣區水分梯度介於 10-14 之間，是屬於濕潤之地區，全天光空域及直射光空域，約介於 0.7-1 之間，其中 CC_05 樣區位於

雪山主峰頂，其四週環境山脈無遮蔽之作用，故全天光空域及直射光空域的值均為 1，顯示具有較高之受光環境。土壤 pH 值平均值為 4.12，屬於偏酸性之土壤。

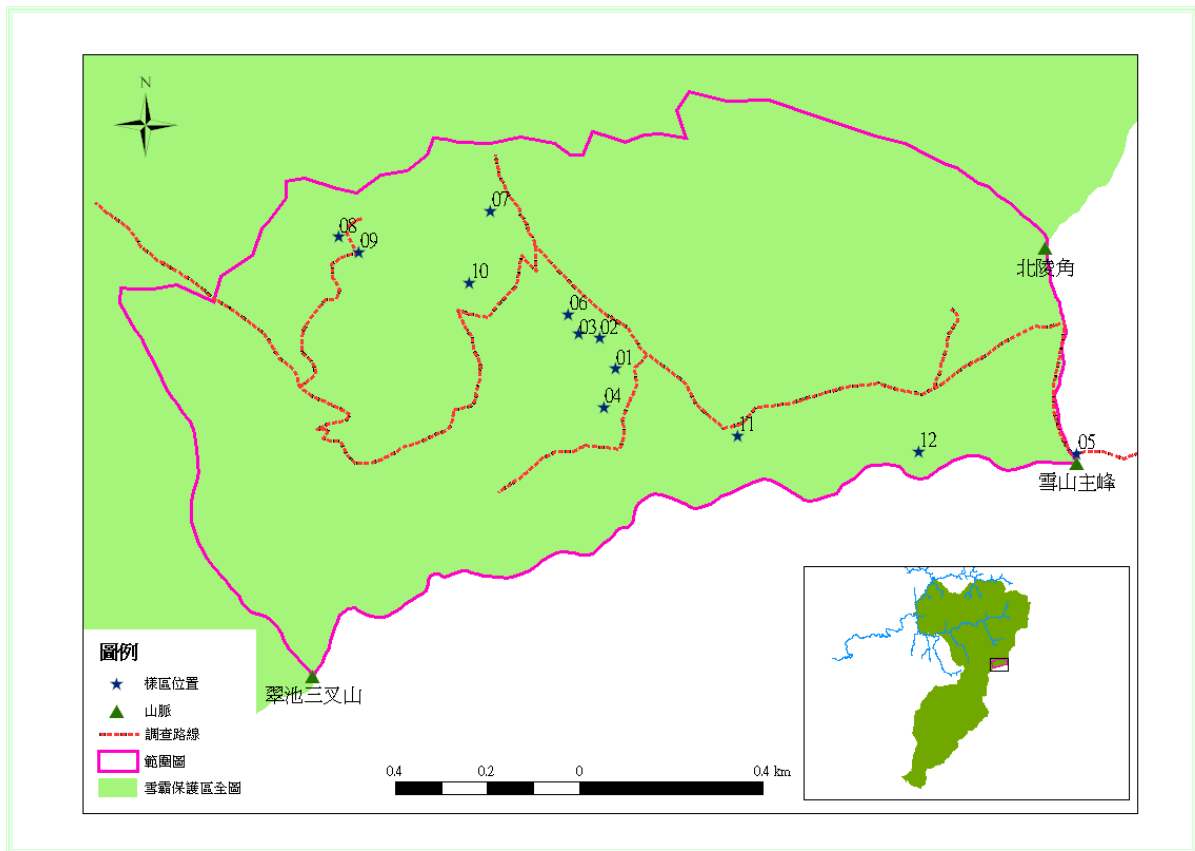


圖 20 玉山圓柏林植群調查樣區位置圖

表 4 玉山圓柏林植群調查樣區

樣區 編碼	林 型	IVI 值	胸高斷 面積 (m ² /ha)	座標(TWD67)		海拔 高(m)	坡 度	坡 向	水分 梯度	全 天 光 空 域	直 射 光 空 域	pH 值
				X	Y							
CC_0 1	玉山 圓柏	263.32	17.89	271677	2697918	3,530	11	97	11	0.77	0.77	4.2
CC_0 3	玉山 圓柏	300	42.19	271597	2697995	3,535	13	45	15	0.83	0.86	4.21
CC_0 4	玉山 圓柏	300	28.32	271652	2697834	3,555	8	55	15	0.83	0.88	4.16
CC_0 6	玉山 圓柏	230.73	13.85	271575	2698036	3,535	25	265	6	0.73	0.88	4.13
CC_0 9	玉山 圓柏	300	33.17	271118	2698171	3,385	12	320	10	0.71	0.73	4.57
CC_1 0	玉山 圓柏	300	37.49	271359	2698104	3,420	14	315	10	0.72	0.82	4.15
CC_11	玉山 圓柏	300	26.14	271943	2697772	3,575	14	85	11	0.66	0.71	4.43
CC_0 2	臺灣 冷杉	68.65	4.22	271643	2697984	3,520	11	100	11	0.94	0.99	4.65
CC_0 7	臺灣 冷杉	84.55	4.97	271405	2698260	3,450	30	245	4	0.75	0.85	4.57
CC_0 8	臺灣 冷杉	57.69	2.25	271074	2698204	3,380	29	75	13	0.70	0.88	4.02
CC_0 5	矮盤 灌叢	12.6	0	272683	2697733	3,886	27	160	5	1.00	1.00	3.95
CC_1 2	矮盤 灌叢	9.6	0	272338	2697737	3,670	30	350	14	0.73	0.82	4.06

二、植群類型之歸群分析

將所調查玉山圓柏 12 個樣區，除了 CC_05 及 CC_12 為分別位於雪山主峰及上翠池之矮盤灌叢樣區，並無喬木，故不列入喬木層之分析外，其餘 10 個樣區概分為兩型，分別為玉山圓柏林型及臺灣冷杉林型(圖 21)。

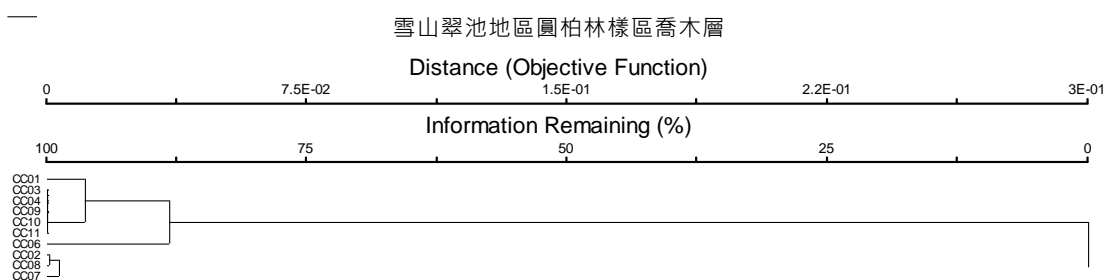


圖 21 雪山翠池地區玉山圓柏林 10 個樣區喬木層之矩陣群團分析連結樹形圖

(一)玉山圓柏型

玉山圓柏型(表 5)分布於翠池至下翠池沿線區域，海拔約 3,400~3,600 m。本植群型以玉山圓柏占絕對優勢，幾近為玉山圓柏純林。林冠下尚有玉山圓柏與臺灣冷杉幼齡木、玉山杜鵑及玉山小蘗，地被尚有曲芒髮草、臺灣鵝觀草、高山珠蕨、宿蹄蓋蕨、玉山金梅、玉山卷耳、冷蕨、傅氏唐松草、能高鱗毛蕨、高山烏頭、瓦氏鱗毛蕨、早田氏香葉草等植物為其主要組成。

表 5 玉山圓柏型之植物相主要組成

植群型	玉山圓柏型						
代表樣區	CC_01	CC_03	CC_04	CC_06	CC_09	CC_10	CC_11
林冠	玉山圓柏						
低層林冠 灌木層	玉山圓柏、臺灣冷杉、玉山杜鵑、玉山小蘗						
草本層	曲芒髮草、臺灣鵝觀草、高山珠蕨、宿蹄蓋蕨、玉山金梅、玉山卷耳、冷蕨、傅氏唐松草、能高鱗毛蕨、高山烏頭、瓦氏鱗毛蕨、早田氏香葉草						

(二)臺灣冷杉型

臺灣冷杉型(表 6)分布於翠池至下翠池沿線，海拔約為 3,400~3,500 m。本植群型以臺灣冷杉為最優勢樹種，在重要值所占的比率約為 75%，其次為玉山圓柏，約為 25%。除了臺灣冷杉與玉山圓柏在上層林冠佔盡絕對優勢外，林下的植物在木本植物方面包括了臺灣冷杉與玉山圓柏的幼齡木或其萌蘗、玉山杜鵑等，地被植物因各樣區之地理環境及微氣候等之差異，其組成有所不同，草本植物包含了臺灣鬼督郵、宿蹄蓋蕨、曲芒髮草、大霸尖山酢醬草、矮菊、臺灣鹿藥、高山珠蕨等。

表 6 臺灣冷杉型之植物相主要組成

植群型	臺灣冷杉型		
代表樣區	CC_02	CC_07	CC_08
林冠	臺灣冷杉、玉山圓柏		
低層林冠 灌木層	玉山杜鵑、玉山圓柏、臺灣冷杉、玉山小蘗		
草本層	臺灣鬼督郵、宿蹄蓋蕨、曲芒髮草、大霸尖山酢醬草、 矮菊、臺灣鹿藥、高山珠蕨		

三、雪山山區玉山圓柏分布與數量估算

(一)玉山圓柏分布區域

本研究計畫利用航空照片(圖幅資料如表 7)、地形圖冊、以及現地調查進行玉山圓柏分布地點之標定及分析,區分為喬木型及矮盤灌叢,並採用地理資訊系統圖資及數化方法,估測雪山地區玉山圓柏分布地區、面積及數量。如圖 22 所示,截至目前為止,本計畫對於雪山主峰至北峰、翠池至下翠池、翠池三叉山此一區域,進行上述之調查及數化,其中喬木型玉山圓柏林之面積計 131.106588ha ;矮盤灌叢型玉山圓柏林面積計 183.528106ha。矮盤灌叢主要分布於稜線一帶及圈谷,喬木型玉山圓柏林則集中分布於翠池至下翠池、翠池三叉山。

(二)玉山圓柏立木推估

喬木林型內之玉山圓柏株數利用呂金誠、王志強(2008)、曾彥學、王志強(2010)及林志銓等(2012)於前述永久樣區之數量作為推估之依據,在該等林分內 1ha 永久樣區內之總株樹為 2,543 株,其中喬木總株數為 1,931 株,屬於地被層之株數為 612 株;矮盤灌叢樣區人之玉山圓柏則參酌廖敏君(2016)於雪山圈谷設立之 0.2ha 樣區,區內計玉山圓柏 212 株(1060 株/ha),玉山杜鵑計 191 株。估算上述分布地區玉山圓柏數量如下:

喬木林型內之玉山圓柏株數 $2,543 \times 131.106588 = 333,404$ 株

矮盤灌叢型內之玉山圓柏株數 $1,060 \times 183.528106 = 194,540$

計 $333,404 + 194,540 = 527,944$ 株

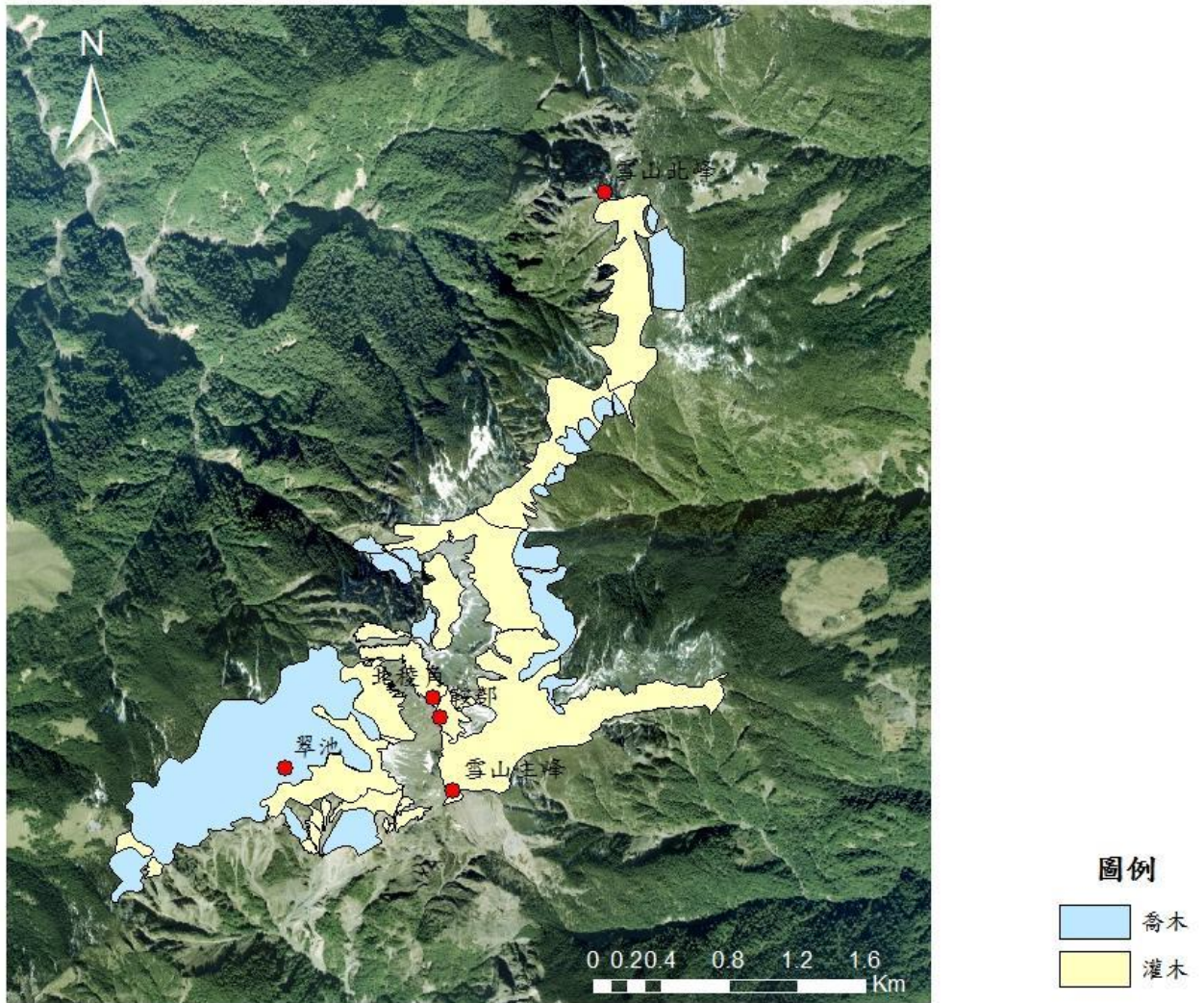


圖 22 雪山地區玉山圓柏分布圖

表 7 玉山圓柏分布調查使用圖幅資料表

	圖幅編號	航照編號	解析度	時間
左上	96214039	96214039_100131i_49~0201_hr4.tif	0.25*0.25	20100131
左下	96214049	96214049_100131i_49~0197_hr4.tif	0.25*0.25	20100131
右上	96214040	96214040_100131i_50~0224_hr4.tif	0.25*0.25	20100131
右下	96214050	96214050_100131i_50~0228_hr4.tif	0.25*0.25	20100131



圖 23 雪山地區玉山圓柏分布照片

四、翠池地區玉山圓柏樹輪取樣調查及分析

(一)樹芯取樣

本研究樹芯取樣區域位於林志銓(2012)年調查所設置1 ha玉山圓柏喬木型永久樣區F樣區以及翠池周邊為主要調查區域(圖24)。本研究共採取喬木29株和矮盤灌叢25株，共87支樹芯，進行目視定年，再以TSAPWin進行交互定年製作喬木與灌叢之主年表來對比過去氣候趨勢。喬木樹芯每木至少鑽取2個方向，其中鑽取通過髓芯樣本數喬木約24%，灌叢約96%，喬木樣本多在鑽取時確認髓芯已有腐朽，故樣本多無法順利取得樹芯部分。灌叢鑽取方向因樹枝幹扭轉嚴重，無法判定鑽取角度，僅記錄鑽取胸徑(表8)。

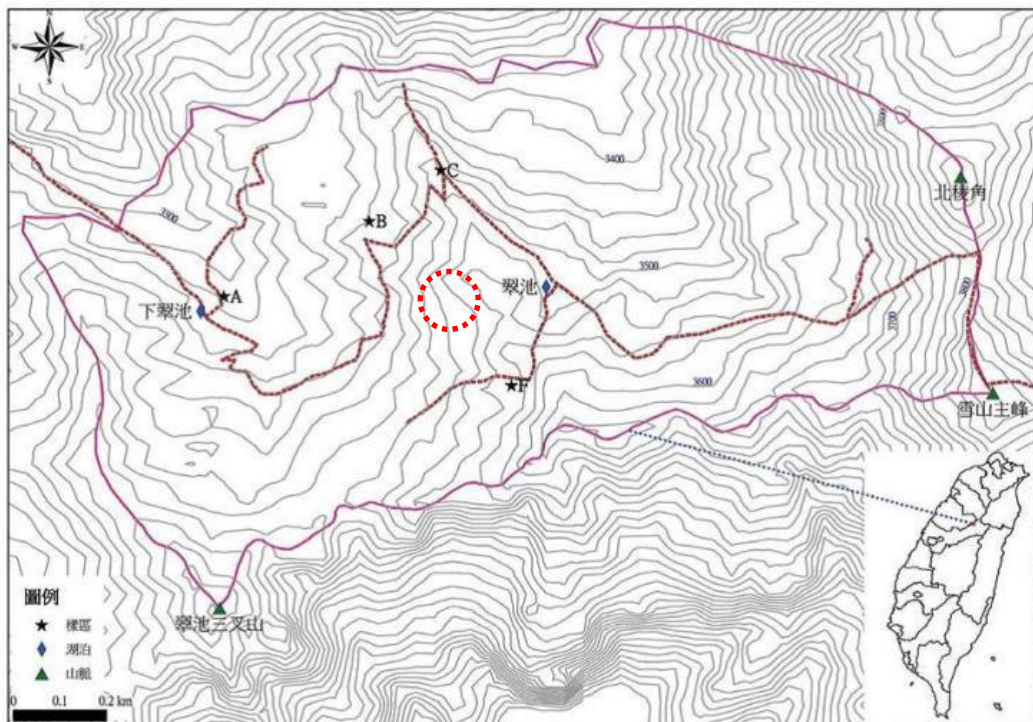



圖 24 樹芯取樣樣區位置圖  樣木分布區域

表 8 玉山圓柏樹芯鑽取資料表

樣本	TWD97 經緯度	DBH(cm)	樹高(m)	髓芯	鑽取方位	鑽取高度
喬木 01	118.536274,24.366288	44.0	8	N	240、150	1.3
喬木 02	118.536272,24.366388	39.6	9.5	N	240、60	1.3
喬木 03	118.536278,24.366099	42.6	8.5	N	110、270	1.3
喬木 04	118.536278,24.366019	57.2	6	N	60、170	1.3
喬木 05	118.536281,24.365955	36.5	7	N	0、220	1.3
喬木 06	118.536283,24.365847	47.3	12	N	120、240	1.3
喬木 07	118.536286,24.365657	50.4	10.5	N	10、130	1.3
喬木 08	118.536286,24.365657	49.9	11	N	0、120	1.3
喬木 09	118.536289,24.365531	40.0	9.5	N	60、210	1.3
喬木 10	118.536288,24.365576	39.0	9.5	N	60、300	1.3
喬木 11	118.536288,24.365576	44.8	9	N	80、340	1.3
喬木 12	118.536286,24.365657	16.9	5.3	Y	170、350	1.3
喬木 13	118.536286,24.365657	13.2	5	Y	175、355	1.3
喬木 14	118.536286,24.365657	13.2	4.5	Y	20、200	1.3
喬木 15	118.536282,24.365901	60.8	10.5	N	90、180	1.3
喬木 16	118.536282,24.365892	54.5	10	N	30、0	1.3
喬木 17	118.536281,24.365946	39.1	8	N	165、240	1.3
喬木 18	118.536281,24.365955	37.8	8.5	N	50、155	1.3
喬木 19	118.536279,24.366054	39.2	6.5	N	65、195	1.3
喬木 20	118.536278,24.366099	19.5	6	Y	150、330	1.3
喬木 21	118.536291,24.365405	44.9	6	N	110、340	1.3
喬木 22	118.536296,24.365152	51.6	8	N	195、130	1.3
喬木 23	118.536296,24.365127	41.8	10	N	105、280	1.3
喬木 24	118.536297,24.365098	12.8	3.5	Y	20、200	1.3
喬木 25	118.536298,24.365018	17.3	4.5	Y	90、270	1.3
喬木 26	118.536279,24.366036	55.0	—	N	0、90、180、270	1.3
喬木 27	118.536281,24.365946	13.0	—	Y	0、90、180、270	1.3
喬木 28	118.536302,24.364845	38.5	—	N	0、270	1.3
喬木 29	118.536321,24.363862	52.0	—	N	0、270	1.3
灌叢 01	118.536312,24.364349	5.5	—	Y	—	—
灌叢 02	118.536312,24.364324	7.3	—	Y	—	—
灌叢 03	118.536312,24.364322	5.9	—	Y	—	—
灌叢 04	118.536312,24.364331	4.8	—	Y	—	—
灌叢 05	118.536312,24.364334	3.4	—	Y	—	—

續表 8 玉山圓柏樹芯鑽取資料表

樣本	TWD97 經緯度	DBH(cm)	樹高(m)	髓芯	鑽取方位	鑽取高度
灌叢 06	118.536312,24.364322	2.9	—	Y	—	—
灌叢 07	118.536313,24.364295	6.3	—	Y	—	—
灌叢 08	118.536313,24.364277	6.1	—	Y	—	—
灌叢 09	118.536313,24.364277	4.2	—	Y	—	—
灌叢 10	118.536313,24.364268	5.4	—	Y	—	—
灌叢 11	118.536313,24.364277	5.2	—	Y	—	—
灌叢 12	118.536313,24.364268	6.2	—	Y	—	—
灌叢 13	118.536313,24.364295	5.1	—	Y	—	—
灌叢 14	118.536311,24.364403	3.8	—	Y	—	—
灌叢 15	118.536310,24.364430	3.5	—	Y	—	—
灌叢 16	118.536310,24.364457	7.8	—	Y	—	—
灌叢 17	118.536310,24.364439	3.4	—	Y	—	—
灌叢 18	118.536311,24.364403	3.7	—	Y	—	—
灌叢 19	118.536310,24.364448	5.2	—	Y	—	—
灌叢 20	118.536310,24.364439	8.3	—	N	—	—
灌叢 21	118.536311,24.364403	4.7	—	Y	—	—
灌叢 22	118.536311,24.364403	4.6	—	Y	—	—
灌叢 23	118.536311,24.364394	6.4	—	Y	—	—
灌叢 24	118.536311,24.364385	6.7	—	Y	—	—
灌叢 25	118.536310,24.364439	5.7	—	Y	—	—

(二)樹輪寬度年表

共取喬木29株、矮盤灌叢25株(表8)，共87支樹芯以TSAPWin進行交互定年，樣本樹芯經過敏感度計算後，汰除敏感度不在0.1至0.6之間的樣本(表9)，再進行交互定年。建立喬木年表521年(1497-2017)(圖25)；矮盤灌叢年表174年(1844-2017)(圖26)，年表中樹輪寬度變化，設定玉山圓柏生長之限制因子：溫度，作為主要考量因素。

表 9 玉山圓柏樹芯樣本平均敏感度計算總表

喬木樹芯	平均敏感度	喬木樹芯	平均敏感度	灌叢樹芯	平均敏感度
J01240	0.98*	J17165	0.29	JMS01	0.53
J01150	1.31*	J17240	0.14	JMS02	0.32
J02240	0.16	J18050	0.66*	JMS03	0.36
J02060	0.64*	J18155	1.26*	JMS04	0.65*
J03110	0.75*	J19065	0.15	JMS05	0.20
J03270	0.16	J19195	0.38	JMS06	1.04*
J04060	0.79*	J20150	0.16	JMS07	0.42
J04170	0.29	J20330	0.87*	JMS08	0.03*
J05000	0.41	J21110	0.84*	JMS09	0.57
J05220	0.02	J21340	0.13	JMS10	0.27
J06120	0.66*	J22195	0.72*	JMS11	0.35
J06240	0.97*	J22130	0.93*	JMS12	0.48
J07130	0.64*	J23105	0.66*	JMS13	0.24
J07010	0.19	J23280	0.19	JMS14	0.36
J08000	0.55	J24020	0.17	JMS15	0.73*
J08120	0.55	J24200	0.21	JMS16	1.01*
J09060	0.57	J25090	0.91*	JMS17	0.53
J09210	0.91*	J25270	1.03*	JMS18	0.71*
J10060	0.56	J26090	0.05*	JMS19	0.55
J10300	1.08*	J26000	1.03*	JMS20	0.33
J11080	0.11	J26180	0.42	JMS21	0.23
J11340	0.10	J26270	0.50	JMS22	0.45
J12170	0.81*	J27000	0.56	JMS23	0.80*
J12350	0.03*	J27090	0.18	JMS24	0.70*
J13175	0.68*	J27180	0.96*	JMS25	0.07*
J13355	0.89*	J27270	0.41		
J14020	0.06*	J28000	0.41		
J14200	0.95*	J28270	0.01		
J15180	0.35	J29000	0.68*		
J15090	1.26	J29270	0.17		
J16030	0.19				
J16000	0.29				

*為超出一般值範圍的樹芯樣本

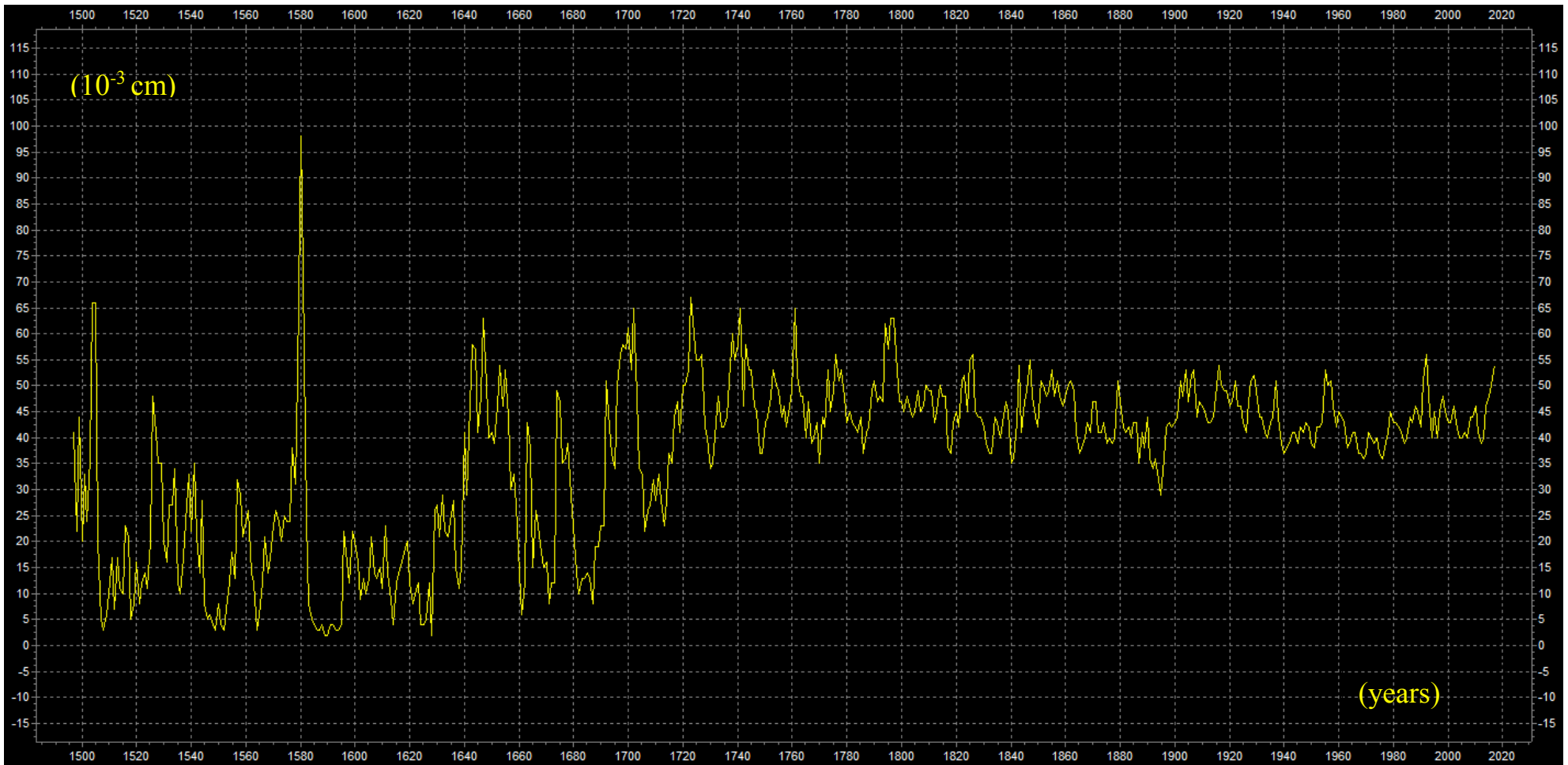


圖 25 玉山圓柏喬木主年表(X 軸為輪寬間距，Y 軸為年份)。

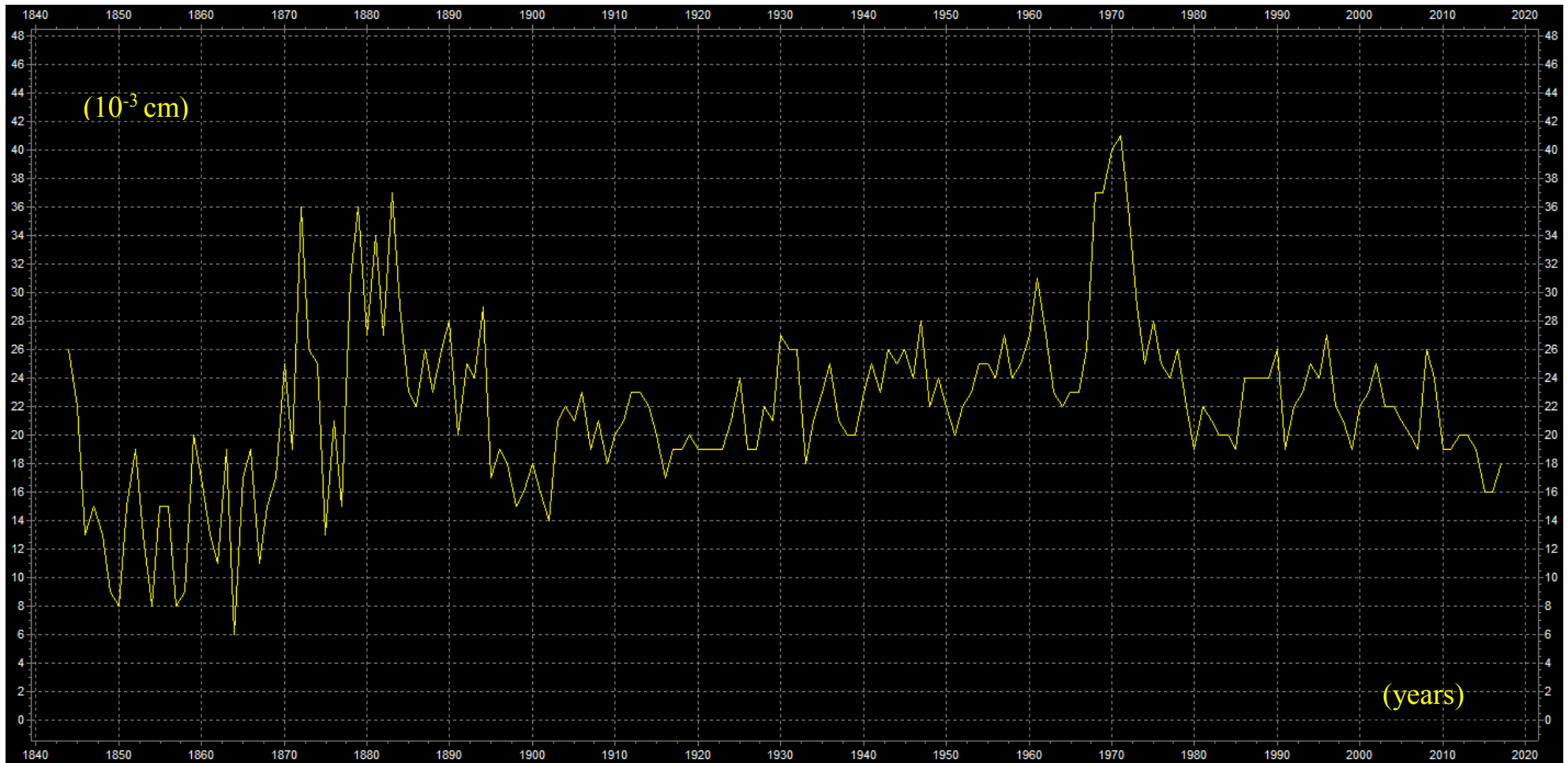


圖 26 玉山圓柏矮盤灌叢主年表(X 軸為輪寬間距，Y 軸為年份)。

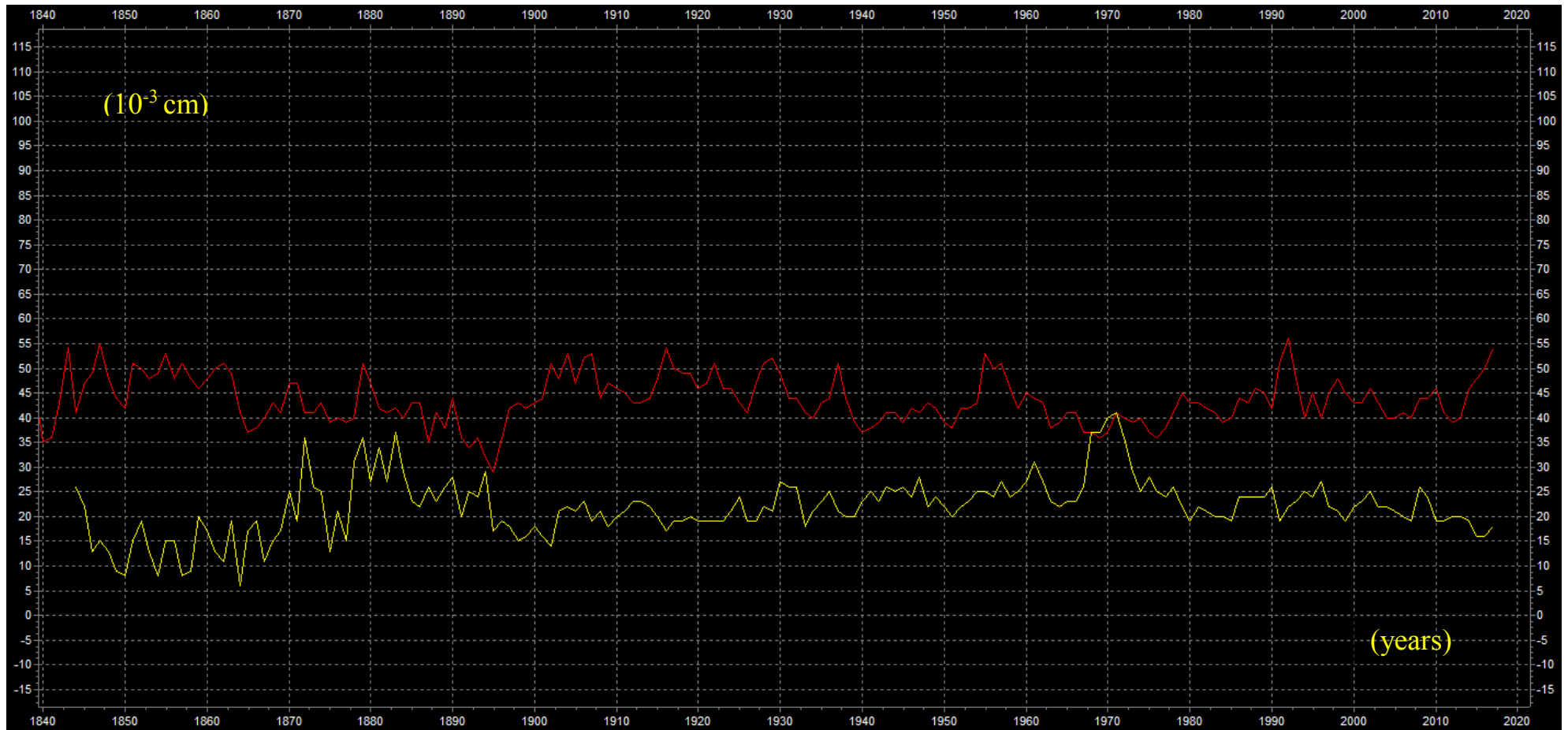


圖 27 玉山圓柏喬木與灌叢主年表比較圖，紅色為喬木黃色為灌叢(X 軸為輪寬間距，Y 軸為年份)。

圖 27 為玉山圓柏喬木、矮盤灌叢年表之比較，兩年表之一致性檢定，相關性 GLK 值僅 48%，若僅以溫度作為探討年表變化之主要依據，則兩者之年表應具有高度之相似，實際上則否，兩年表僅有部分之吻合，顯示喬木、矮盤灌叢所受環境因子之影響並非只有溫度，推測矮盤灌叢之生長尚受到其他環境因子影響如：土壤、日照、風勢，應列入影響年表變化之因素

(三)樹木間一致性 GLK 值檢測

喬木樹間相關性 GLK 值最低為 45% (喬木 12 與 20)圖 28，最高為 66% (喬木 28 與 29)圖 29，矮盤灌叢最低為 44% (11 與 22)圖 30，最高為 57% (3 與 19)圖 31，整體而言喬木樹間相關性高於矮盤灌叢，顯示喬木對於環境因子變化的反應，其一致性高於矮盤灌叢，推論玉山圓柏喬木較能反映出大環境之變化並且一致反映在樹輪生長上，矮盤灌叢之生長則因為微棲地環境因子變動，樹間一致性較低。

表 10 喬木樹間一致性配對表

樹間配對	GLK 值(%)	GSL
喬木 28、29	66	***
喬木 2、28	58	**
喬木 2、24	60	*
喬木 24、26	60	*
喬木 12、20	45	無

表 11 矮盤灌叢樹間一致性配對表

樹間配對	GLK 值(%)	GSL
矮盤 3、19	64	***
矮盤 3、14	64	***
矮盤 2、6	64	***
矮盤 5、16	59	**
矮盤 2、20	59	**
矮盤 11、22	43	無
矮盤 17、23	45	無

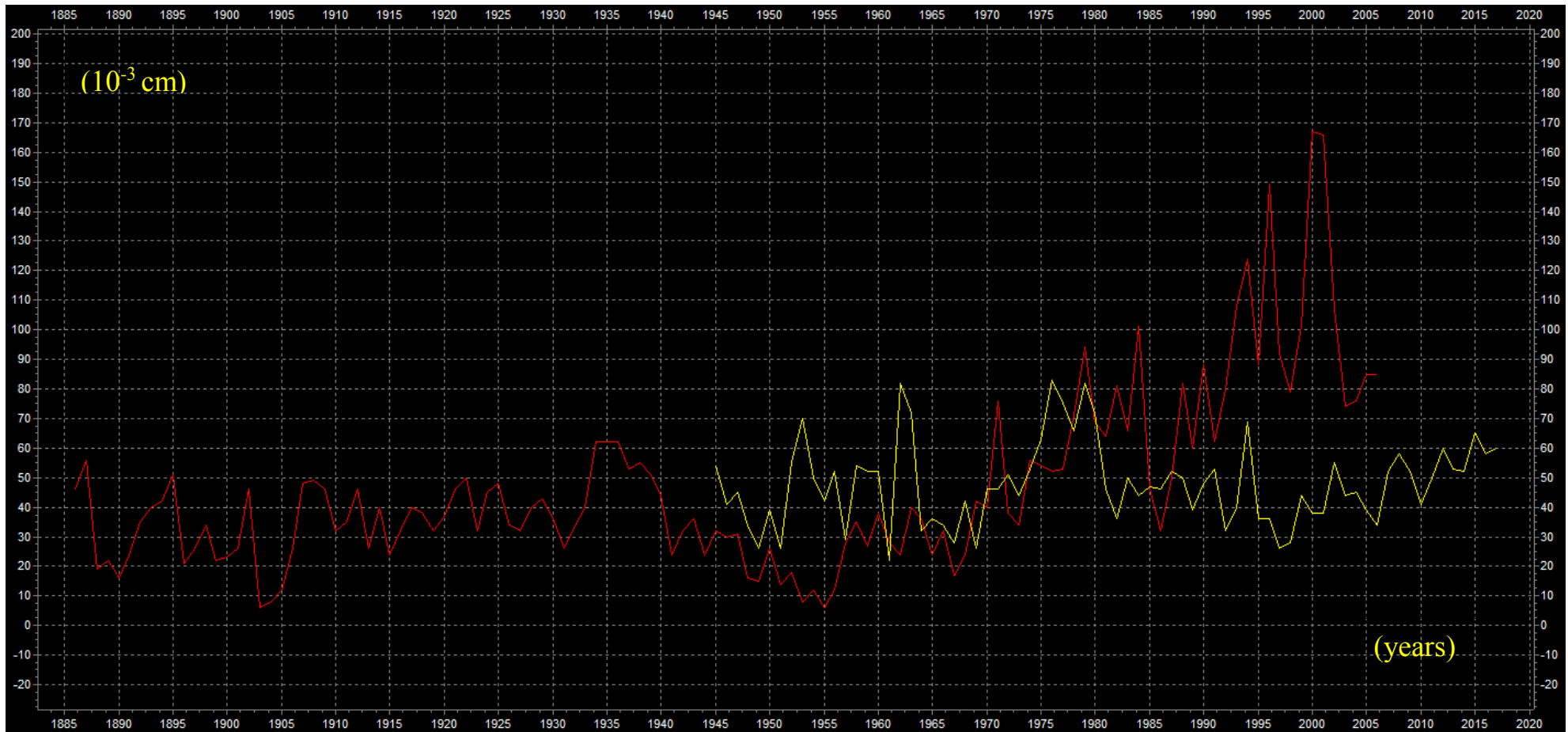


圖 28 喬木間最低相關性比較圖，紅色為喬木 12 黃色為喬木 20(X 軸為輪寬間距，Y 軸為年份)

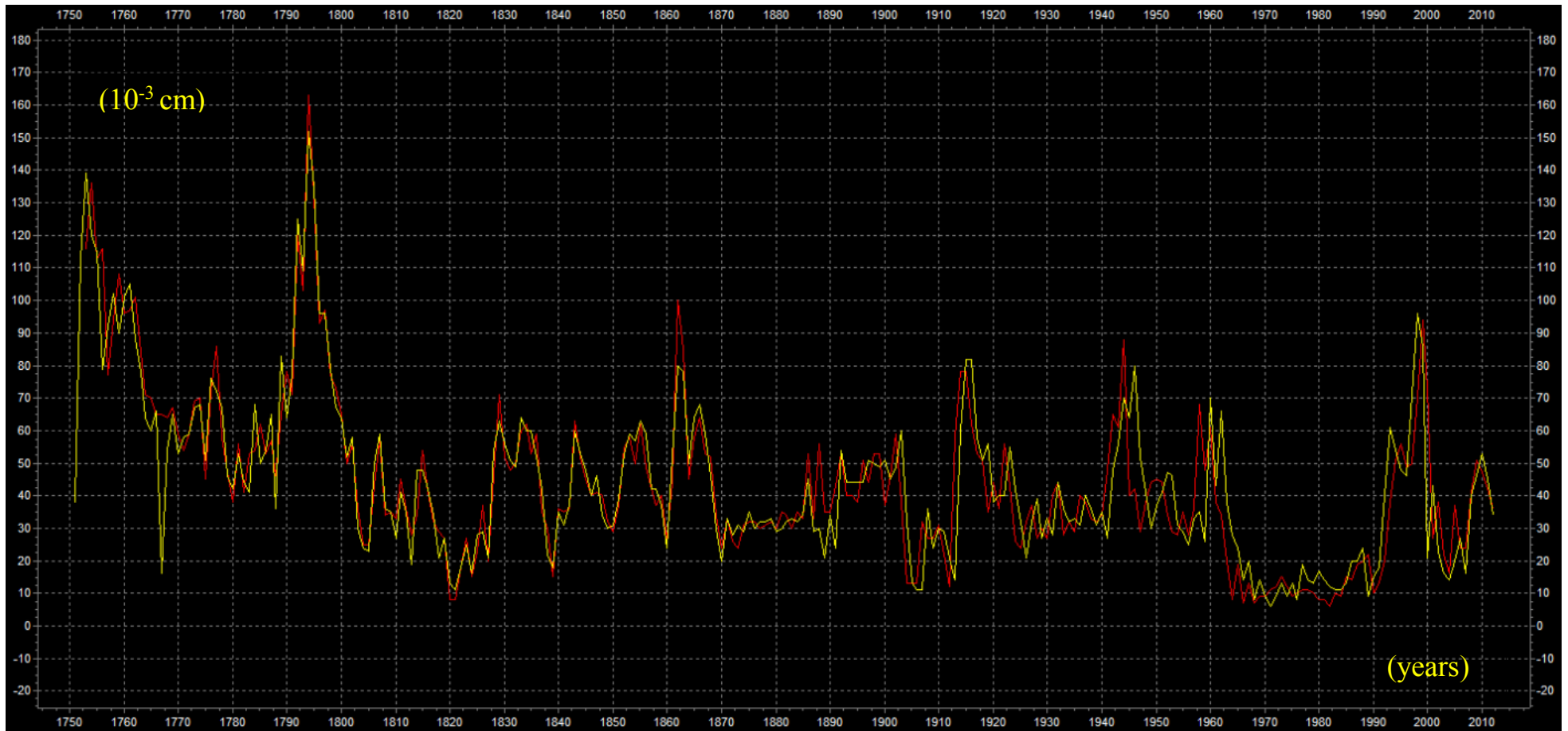


圖 29 喬木間最高相關性比較圖，紅色為喬木 28 黃色為喬木 29(X 軸為輪寬間距，Y 軸為年份)

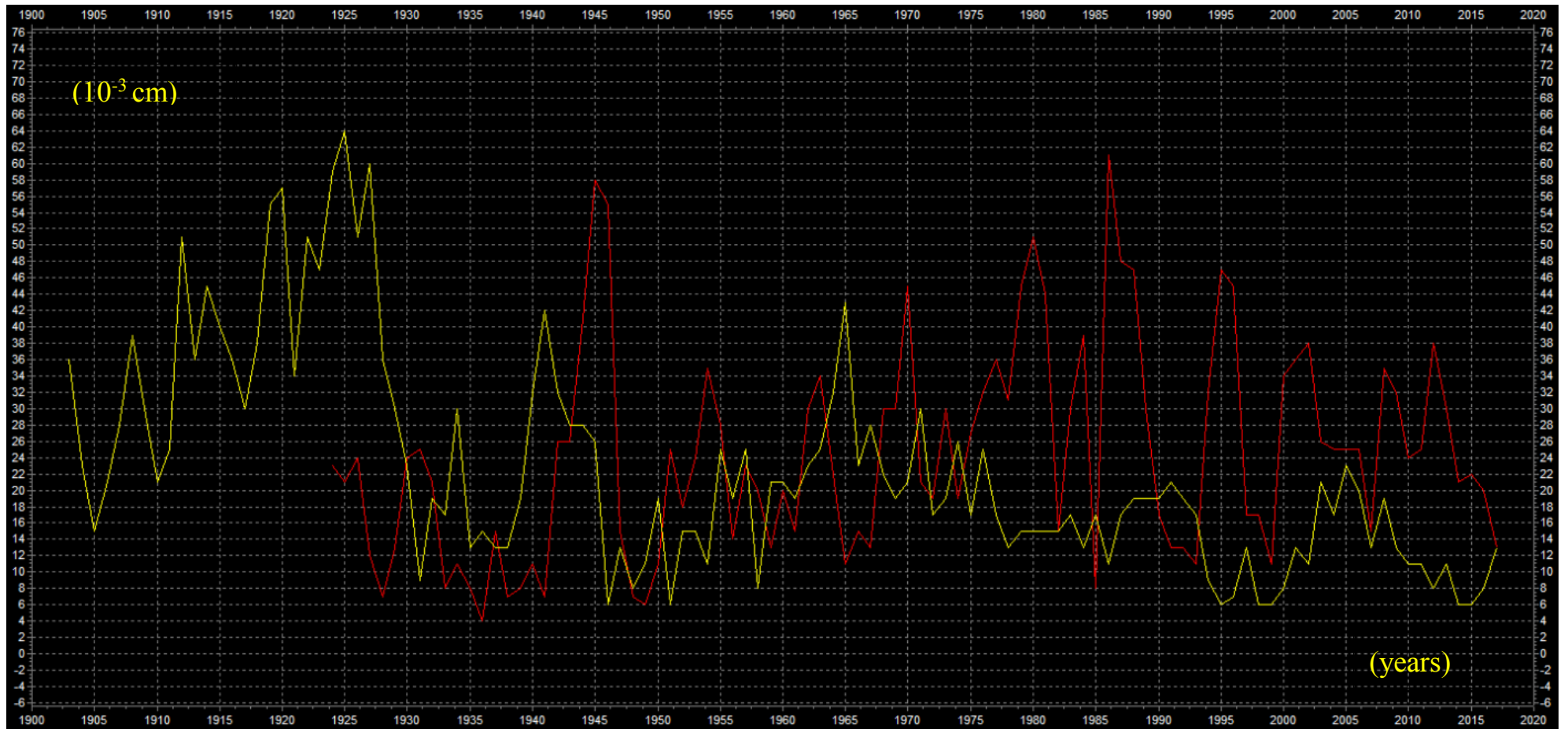


圖 30 矮盤灌叢間最低相關性比較圖，紅色為灌叢 11 黃色為矮盤 22(X 軸為輪寬間距，Y 軸為年份)

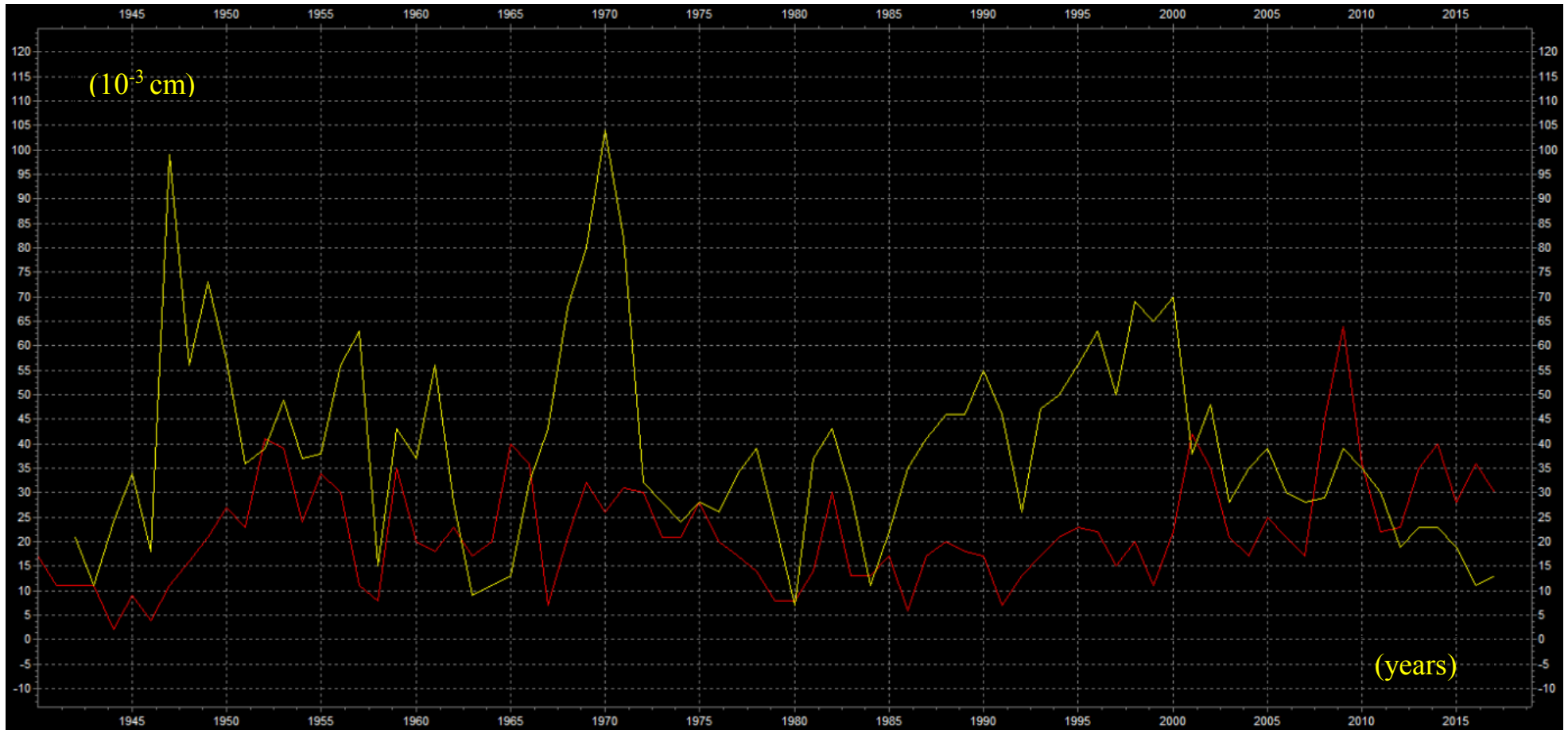


圖 31 矮盤間最高相關性比較圖，紅色為灌叢 3 黃色為矮盤 19(X 軸為輪寬間距，Y 軸為年份)

(四)臺灣山區 500 年氣候資料之比對

結果顯示，喬木主年表比矮盤灌叢主年表較能正確地反應鄒佩珊(1998)重建過去 500 年來溫度之變化趨勢，推論玉山圓柏喬木生長受溫度之影響較大，矮盤灌叢之生長除了溫度外尚受到其他環境因子之限制作用，且每株矮盤灌叢所接受的微棲地環境因子皆有所不同，造成矮盤灌叢較無法反映出大尺度的溫度變化趨勢。

(1)喬木主年表

喬木主年表明顯吻合冬季重建溫度分別之低溫期、偏暖期、低溫期、暖期、偏冷期之趨勢變化(圖 32)；夏季重建溫度之 1550 年~1700 年低溫期期間可見 1590 年~1640 年明顯低溫生長速度趨緩、1765 年~1780 年之暖期、1780 年~1920 年期間 1810 年~1830 年的溫度明顯偏低，以及 1920 年後的偏低溫與增溫期(圖 33)。發現喬木主年表與冬季重建溫度的吻合程度相對高於夏季，推測玉山圓柏之生長受冬季低溫的限制作用較大，夏季溫度對於玉山圓柏之生長之限制作用較小。

表 12 喬木主年表與冬季氣候比較

冬季氣溫	喬木主年表
1560~1740 年的低溫期	輪寬成長緩慢，1580 年異常增高尤以 1590~1640 年期間影響最甚，1640~1660 年間生長較高
1740~1820 年偏暖	平均輪寬生長相對高於低溫期，最高年代為 1760 和 1796 年
1820~1890 的低溫期，1840~1860 年明顯偏暖	平均輪寬生長較偏暖期低，1840~1860 年有生長上升趨勢，但隔年又下降，一直到 1887 年
1900~1920 年暖期	無明顯變化，1910 年前後生長緩慢，但整體生長高於低溫期
1920 年之後為偏冷期	生長較 1920 年前趨緩，1940~1950 年、1960~1980 年較緩慢，1952 與 1996 年達到生長高峰



圖 32 喬木主年表與冬季重建氣溫比對圖

表 13 喬木主年表與夏季氣候比較

夏季氣溫	喬木主年表
1560~1740 年的低溫期	輪寬生長變化大，平均生長緩慢，唯 1640~1655 年生長偏高
1550-1700 年偏低溫	1630 年後輪寬生長變化劇烈，趨勢為逐 步提升
1700-1720 年溫暖期	輪寬生長並未提高，反而降低
1720-1765 年穩定期	無明顯變化
1765-1780 年溫暖期	輪寬生長逐步提升，但不明顯
1780-1920 年期間，1810-1830 年明顯偏低	整體輪寬生長偏低，但偏低期無明顯變 化
1920-1970 年偏低	1935 年後生長逐步下降，1955 年又提 升
1970 年後逐年增溫	輪寬生長上升趨勢明顯



圖 33 喬木主年表與夏季重建氣溫比對圖

(2)矮盤灌叢主年表

矮盤灌叢主年表與冬季、夏季重建溫度之吻合程度皆明顯低於喬木主年表，惟夏季低溫期稍微符合，由於矮盤灌叢樣本樹齡太短(1844~2017)，資料不足加上輪寬變化無明顯波動，推論玉山圓柏矮盤灌叢年表較無法反映出大尺度的溫度變化趨勢(圖 34 及圖 35)。

表 14 灌叢主年表與冬季氣候比較

冬季氣溫	灌叢主年表
1560~1740 年的低溫期	無輪寬比對資料
1740~1820 年偏暖	無輪寬比對資料
1820~1890 的低溫期，1840~1860 年明顯偏暖	1865 年輪寬生長上升，但 1875 年又急遽下降，整體 1865 年後呈上升趨勢
1900~1920 年暖期	無明顯變化
1920 年之後為偏冷期	整體平均輪寬生長提升，生長最高峰在 1962~1971 年 10 年間，其餘無明顯變化

表 15 喬木主年表與夏季氣候比較

夏季氣溫	喬木主年表
1560~1740 年的低溫期	無輪寬比對資料
1550-1700 年偏低溫	無輪寬比對資料
1700-1720 年溫暖期	無輪寬比對資料
1720-1765 年穩定期	無輪寬比對資料
1765-1780 年溫暖期	無輪寬比對資料
1780-1920 年期間，1810-1830 年明顯偏低	無輪寬比對資料
1920-1970 年偏低	無明顯變化
1970 年後逐年增溫	1970 年達生長最高後，隔年輪寬生長逐年下降

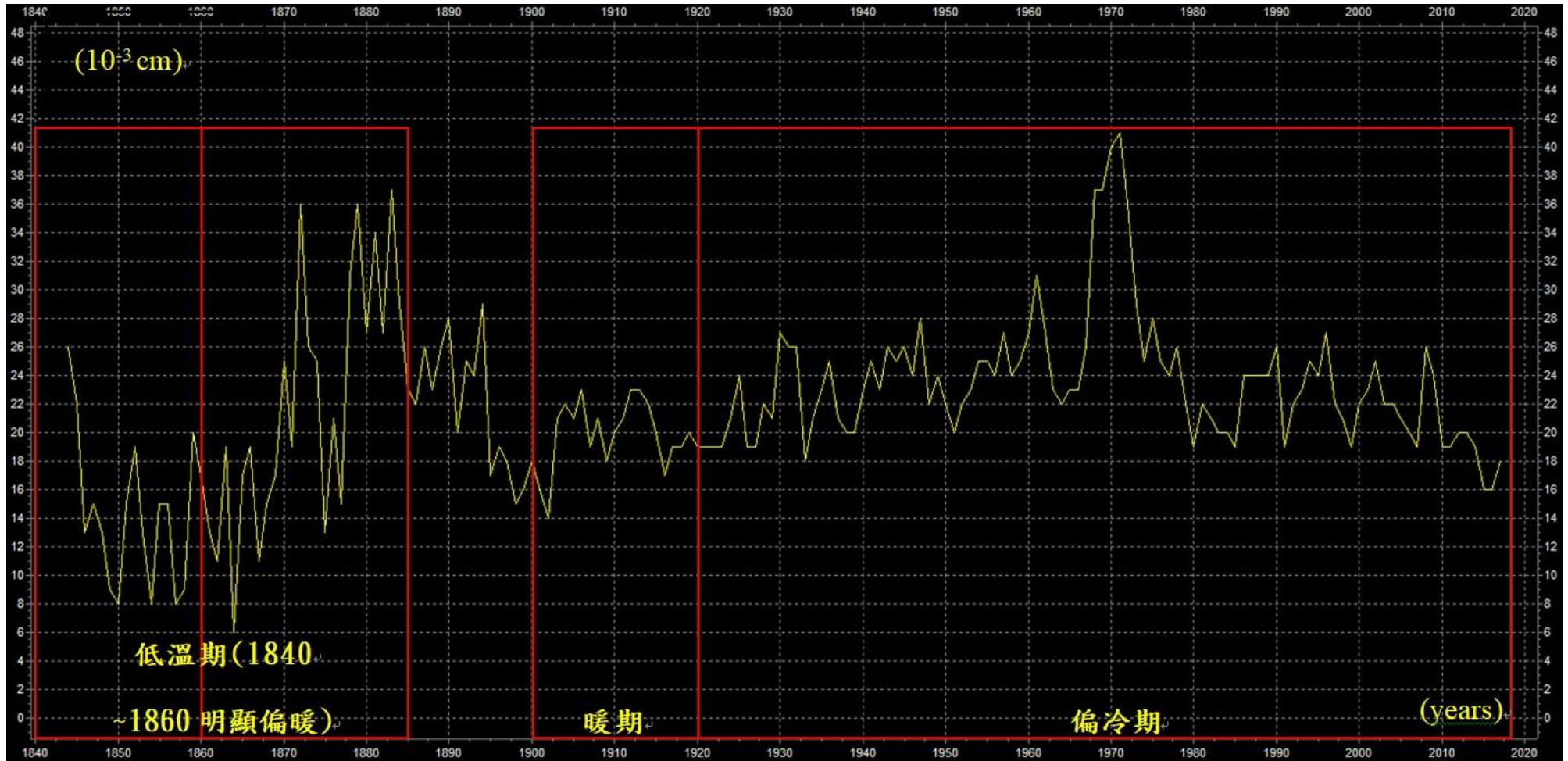


圖 34 矮盤灌叢主年表與冬季重建氣溫比對圖

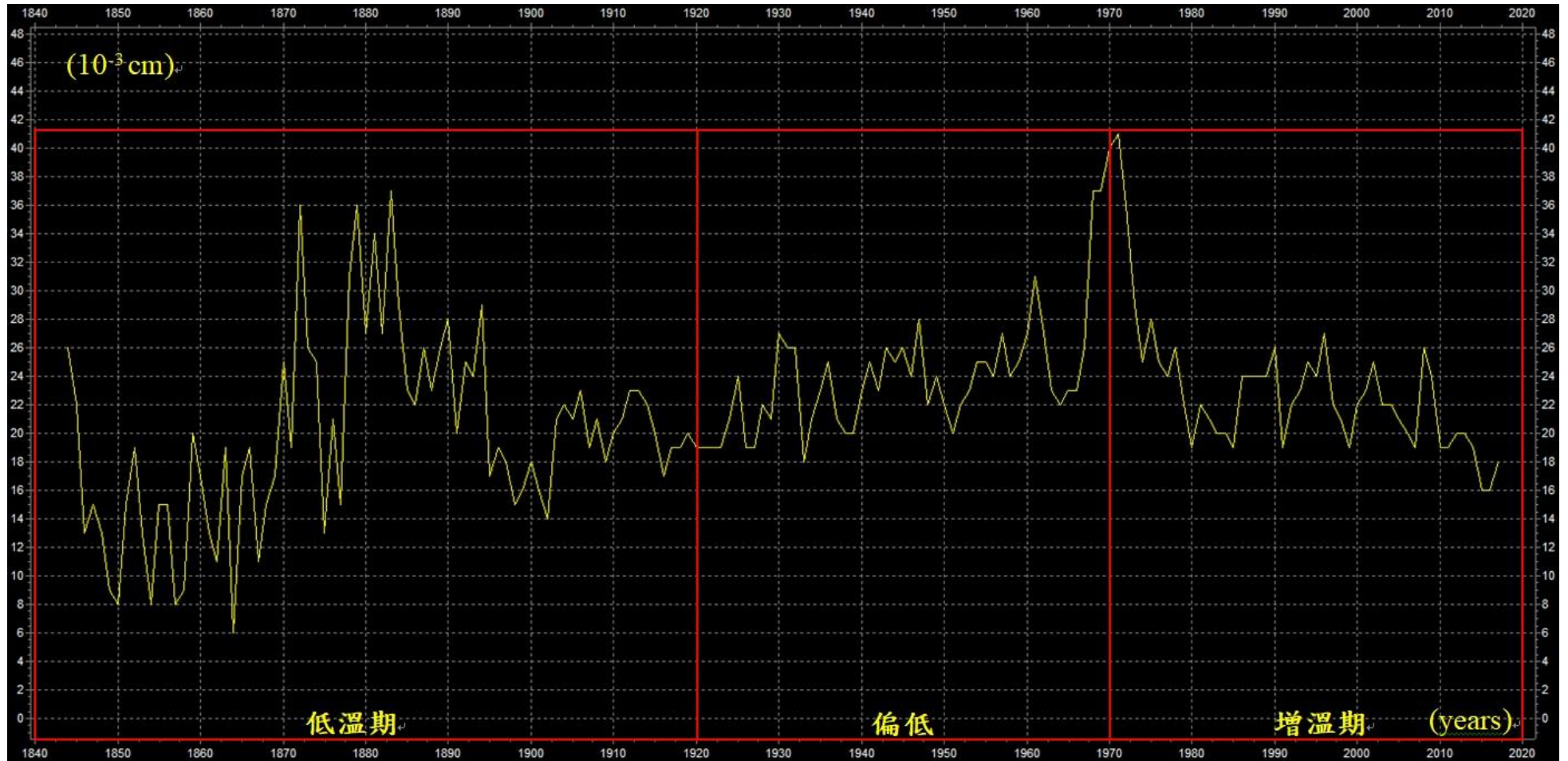


圖 35 矮盤灌叢主年表與夏季重建氣溫比對圖

本研究建立玉山圓柏喬木樹輪主年表，嘗試與聖嬰現象發生時間做比對，歷年聖嬰現象的紀錄約從 1950 年開始，聖嬰和反聖嬰指標(簡稱 $Nin \sim 0.3.4$ 指標)：是以赤道中太平洋 ($170^{\circ}W \sim 120^{\circ}W, 5^{\circ}S \sim 5^{\circ}N$) 區域 平均的海表面溫度和氣候平均值的差(即距平值)為主。而聖嬰和反聖嬰事件定義標準：主要參考美國 的氣候預報中心(CPC)的定義，若 ONI(Oceanic Nino Index, 即 3 個月平均的 $Nin \sim 0.3.4$)，連續 5 個月高於(低於)攝氏 $+0.5(-0.5)$ 度，定義該段時期為聖嬰(反聖嬰)事件。表列出了從 1950 年 以來到最新的 ONI 指標。圖 36 為 NOAA 紀錄海面溫度異常震盪，因聖因現象造成大片海域溫度上升與下降 3 度，下圖 36 為喬木年表 1950~2017 年擷取段落。

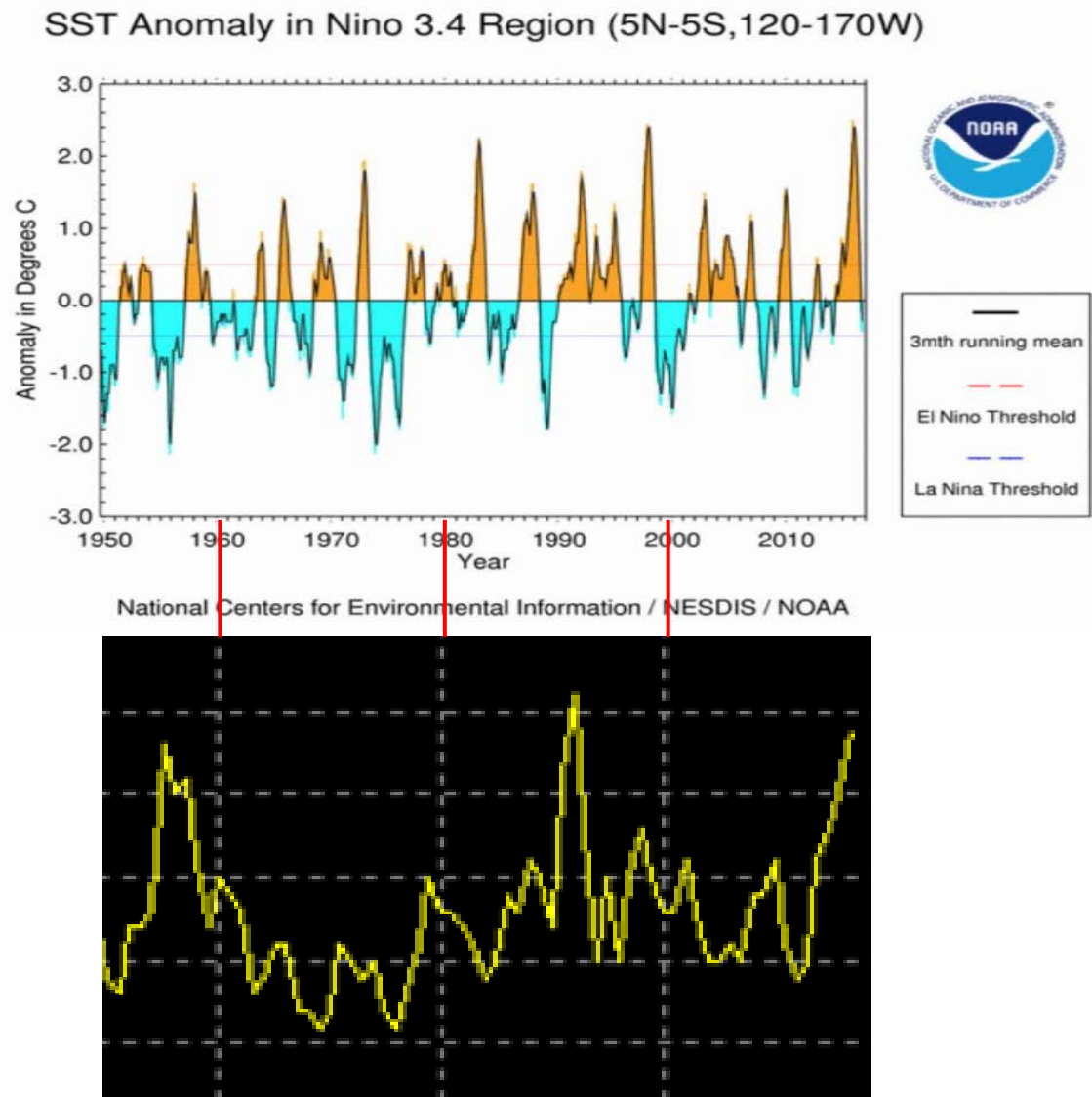


圖 36 歷年聖嬰現象與年表比對圖

聖嬰現象記錄與年表對照比較(圖 36)，1951 下半年、1969 年初、1977 年末、1982~1983 年、1994 年~1995 年初、1997~1998 年、2002 年、2004 年、2009~2010 年這些期間聖嬰現象造成的低溫，在年表可見輪寬生長下降的趨勢；1954~1957 年、1964 年、1970~1972 年、1984 年末~1985 年，1989 年、1996 年初、1998 年、2008 年初受到反聖嬰現象生長輪有明顯上升趨勢。圖為雪霸地區測站近年來的地表溫度變化圖，整體結果玉山圓柏喬木生長推測受到聖嬰現象影響，未來應長期監測並持續調查。表 16 列出了從 1950 年 以來到最新的 ONI 指標，紅色字體為聖嬰事件，藍色字體則為反聖嬰事件，黑色字體為正常年。

表 16 1950 年起聖嬰現象紀錄表

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1950	-1.7	-1.5	-1.3	-1.4	-1.3	-1.1	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-0.9	-1.0
1951	-1.0	-0.9	-0.6	-0.3	-0.2	0.2	0.4	0.7	0.7	0.8	0.7	0.6
1952	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	-0.1	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	0.0
1953	0.2	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
1954	0.5	0.3	-0.1	-0.5	-0.7	-0.7	-0.8	-1.0	-1.2	-1.1	-1.1	-1.1
1955	-1.0	-0.9	-0.9	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.4	-1.8	-2.0	-1.9
1956	-1.3	-0.9	-0.7	-0.6	-0.6	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8	-0.9	-0.9	-0.8
1957	-0.5	-0.1	0.3	0.6	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.2	1.5
1958	1.7	1.5	1.2	0.8	0.6	0.5	0.3	0.1	0.0	0.0	0.2	0.4
1959	0.4	0.5	0.4	0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2
1960	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2
1961	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.0	-0.3	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4
1962	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
1963	-0.6	-0.3	0.0	0.1	0.1	0.3	0.6	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0
1964	0.8	0.4	-0.1	-0.5	-0.8	-0.8	-0.9	-1.0	-1.1	-1.2	-1.2	-1.0
1965	-0.8	-0.4	-0.2	0.0	0.3	0.6	1.0	1.2	1.4	1.5	1.6	1.5
1966	1.2	1.0	0.8	0.5	0.2	0.2	0.2	0.0	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3
1967	-0.4	-0.4	-0.6	-0.5	-0.3	0.0	0.0	-0.2	-0.4	-0.5	-0.4	-0.5
1968	-0.7	-0.9	-0.8	-0.7	-0.3	0.0	0.3	0.4	0.3	0.4	0.7	0.9
1969	1.0	1.0	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8	0.7
1970	0.5	0.3	0.2	0.1	0.0	-0.3	-0.6	-0.8	-0.9	-0.8	-0.9	-1.1
1971	-1.3	-1.3	-1.1	-0.9	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-1.0	-0.9

1972	-0.7	-0.4	0.0	0.2	0.5	0.8	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.1
1973	1.8	1.2	0.5	-0.1	-0.6	-0.9	-1.1	-1.3	-1.4	-1.7	-2.0	-2.1
1974	-1.9	-1.7	-1.3	-1.1	-0.9	-0.8	-0.6	-0.5	-0.5	-0.7	-0.9	-0.7
1975	-0.6	-0.6	-0.7	-0.8	-0.9	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.6	-1.7	-1.7
1976	-1.6	-1.2	-0.8	-0.6	-0.5	-0.2	0.1	0.3	0.5	0.7	0.8	0.7
1977	0.6	0.5	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7
1978	0.7	0.4	0.0	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1
1979	-0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	-0.1	0.0	0.1	0.3	0.4	0.5	0.5
1980	0.5	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.1	-0.1	0.0	-0.1
1981	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
1982	0.0	0.1	0.1	0.3	0.6	0.7	0.7	1.0	1.5	1.9	2.2	2.3
1983	2.3	2.0	1.5	1.2	1.0	0.6	0.2	-0.2	-0.6	-0.8	-0.9	-0.7
1984	-0.4	-0.2	-0.2	-0.3	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.6	-0.9	-1.1
1985	-0.9	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.4
1986	-0.5	-0.4	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.2
1987	1.2	1.3	1.2	1.1	1.0	1.2	1.4	1.6	1.6	1.5	1.3	1.1
1988	0.7	0.5	0.1	-0.2	-0.7	-1.2	-1.3	-1.2	-1.3	-1.6	-1.9	-1.9
1989	-1.7	-1.5	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
1990	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
1991	0.4	0.3	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0	0.9	0.9	1.0	1.4	1.6
1992	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2	0.8	0.5	0.2	0.0	-0.1	0.0	0.2
1993	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8	0.7	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2
1994	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.9	1.2	1.3
1995	1.2	0.9	0.7	0.4	0.3	0.2	0.0	-0.2	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
1996	-0.7	-0.7	-0.5	-0.3	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4
1997	-0.4	-0.3	0.0	0.4	0.8	1.3	1.7	2.0	2.2	2.4	2.5	2.5
1998	2.3	1.9	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-0.8	-1.0	-1.1	-1.3	-1.4
1999	-1.4	-1.2	-0.9	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-0.9	-1.0	-1.1	-1.3	-1.6
2000	-1.6	-1.4	-1.0	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7
2001	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	-0.1	-0.1
2002	-0.1	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.5	1.4
2003	1.2	0.9	0.5	0.1	-0.1	0.1	0.4	0.5	0.6	0.5	0.6	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8
2005	0.7	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	-0.1	-0.4	-0.7
2006	-0.7	-0.6	-0.4	-0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6	0.9	1.1	1.1
2007	0.8	0.4	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-1.0	-1.1	-1.3

2008	-1.4	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.3	-0.6
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.1	0.2	0.6	0.7	0.8	0.9	1.2	1.5	1.8
2010	1.7	1.5	1.2	0.8	0.3	-0.2	-0.6	-1.0	-1.3	-1.4	-1.4	-1.4
2011	-1.3											

五、玉山圓柏徑向生長速度

本研究所取玉山圓柏樹芯樣本大多數無通過髓芯，無通過髓芯之樣本經交互定年後僅能推斷部分年份，遂假設不同生長階段之玉山圓柏生長速率相異，將喬木型玉山圓柏以胸徑區分為 3 個生長階段，胸徑 < 20 cm(圖 37)；20 cm < 胸徑 < 40 cm(圖 38)；胸徑 > 40 cm(圖 39)，分別分析不同胸徑樣木之生長速率，並將不同生長速率再銜接起來作為最終玉山圓柏可能的生長速率，矮盤灌叢樹芯製成之樹芯長度與年輪數直線迴歸圖如圖 40。

表 17 胸徑 < 20 cm 樹芯輪寬資料推估

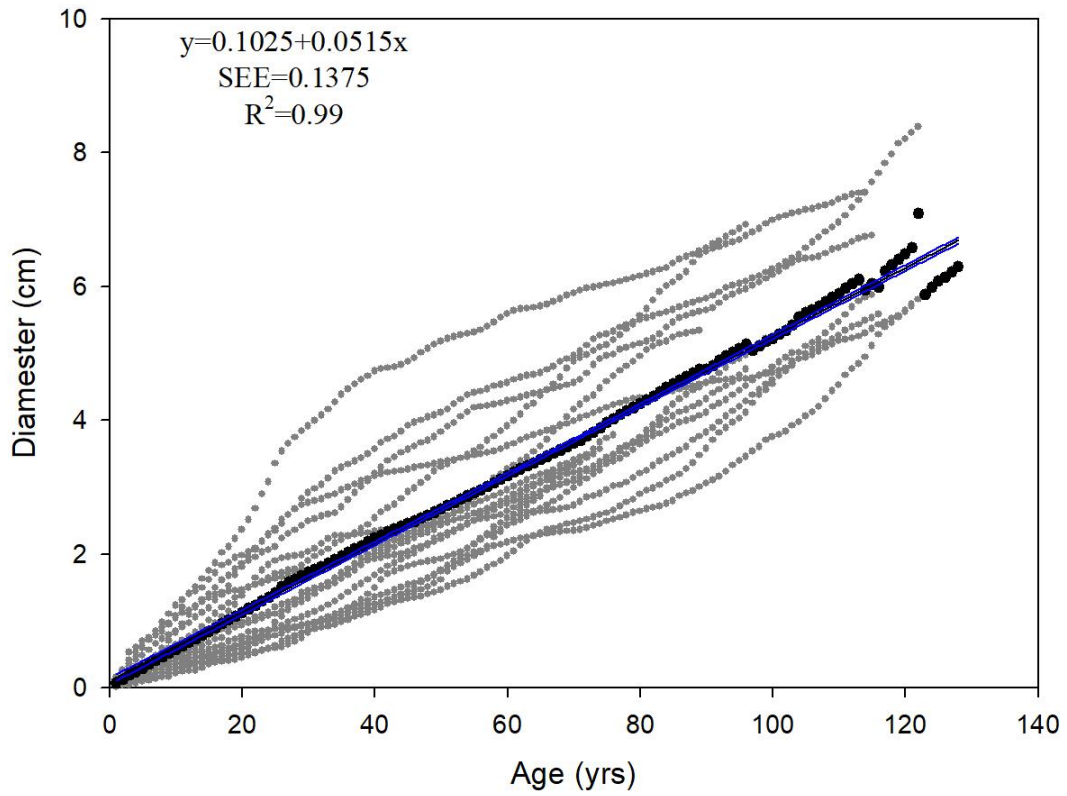
樹芯編號	DBH	樹芯長度(cm)	髓心-樹芯推估缺少長度	輪寬數
J12170	16.9	6.919	1.531	96
J12350	16.9	3.492	4.958	73
J13175	13.2	5.223	1.377	99
J13355	13.2	4.755	1.845	96
J14020	13.2	6.297	0.303	128
J14200	13.2	5.001	1.599	103
J20150	19.5	8.381	1.369	122
J20330	19.5	5.701	4.049	121
J24020	12.8	3.772	2.628	76
J24200	12.8	3.561	2.839	74
J25090	17.3	7.395	1.255	113
J25270	17.3	6.76	1.89	115
J27000	13	5.578	0.922	116
J27090	13	5.335	1.165	89
J27180	13	5.869	0.631	115
J27270	13	4.617	1.883	91

表 18 20 cm < 胸徑 < 40 cm 樹芯輪寬資料推估

樹芯編號	DBH	樹芯長度(cm)	髓心-樹芯推估缺少長度	輪寬數
J02240	39.6	13.996	5.804	317
J02060	39.6	10.612	9.188	278
J05000	36.5	8.627	9.623	274
J05220	36.5	15.204	3.046	296
J09060	40	11.506	8.494	180
J09210	40	14.019	5.981	129
J10060	39	11.299	8.201	262
J10300	39	6.059	13.441	227
J17165	39.1	12.148	7.402	240
J17240	39.1	7.247	12.303	219
J18050	37.8	7.668	11.232	299
J18155	37.8	4.336	14.564	293
J19065	39.2	9.133	10.467	261
J19195	39.2	13.848	5.752	373
J28000	38.5	8.134	11.116	226
J28270	38.5	11.666	7.584	262

表 19 胸徑>40 cm 樹芯輪寬資料推估

幼齡木	DBH	樹芯長度(cm)	髓心-樹芯推估缺少長度	輪寬數
J01240	44	7.69	14.31	246
J01150	44	6.668	15.332	150
J03110	42.6	17.67	3.63	449
J03270	42.6	14.673	6.627	326
J04060	57.2	4.832	23.768	187
J04170	57.2	5.627	22.973	85
J06120	47.3	4.039	19.611	259
J06240	47.3	18.535	5.115	354
J07130	50.4	4.702	20.498	201
J07010	50.4	8.251	16.949	247
J08000	49.9	8.472	16.478	207
J08120	49.9	7.491	17.459	145
J11080	44.8	6.154	16.246	131
J11340	44.8	6.587	15.813	126
J15180	60.8	14.929	15.471	255
J15090	60.8	16.873	13.527	257
J16030	54.5	9.672	17.578	250
J16000	54.5	13.272	13.978	330
J21110	44.9	11.735	10.715	286
J21340	44.9	13.347	9.103	521
J22195	51.6	8.184	17.616	299
J22130	51.6	12.651	13.149	265
J23105	41.8	8.465	12.435	267
J23280	41.8	7.395	13.505	306
J26090	55	12.73	14.77	241
J26000	55	12.526	14.974	335
J26180	55	21.339	6.161	384
J26270	55	11.222	16.278	204
J29000	52	8.152	17.848	225
J29270	52	11.526	14.474	260



- years vs J12170
- years vs J12350
- years vs J13175
- years vs J13355
- years vs J14020
- years vs J14200
- years vs J20150
- years vs J20330
- years vs J24020
- years vs J24200
- years vs J25090
- years vs J25270
- years vs J27000
- years vs J27090
- years vs J27180
- years vs J27270
- years vs mean
- X軸 vs Y軸
- 95% Confidence Band

圖 37 胸徑 < 20 cm 生長速率示意圖

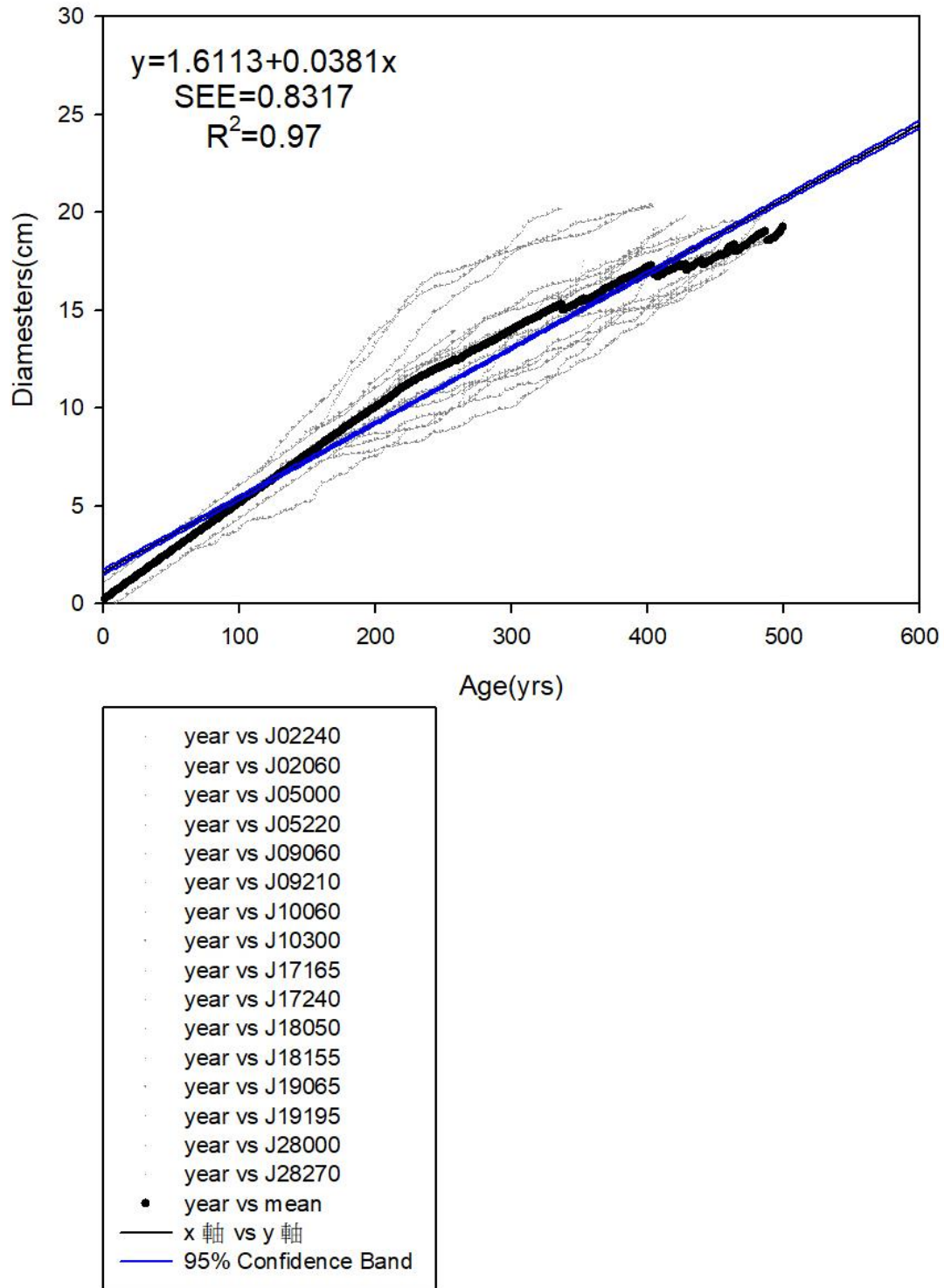
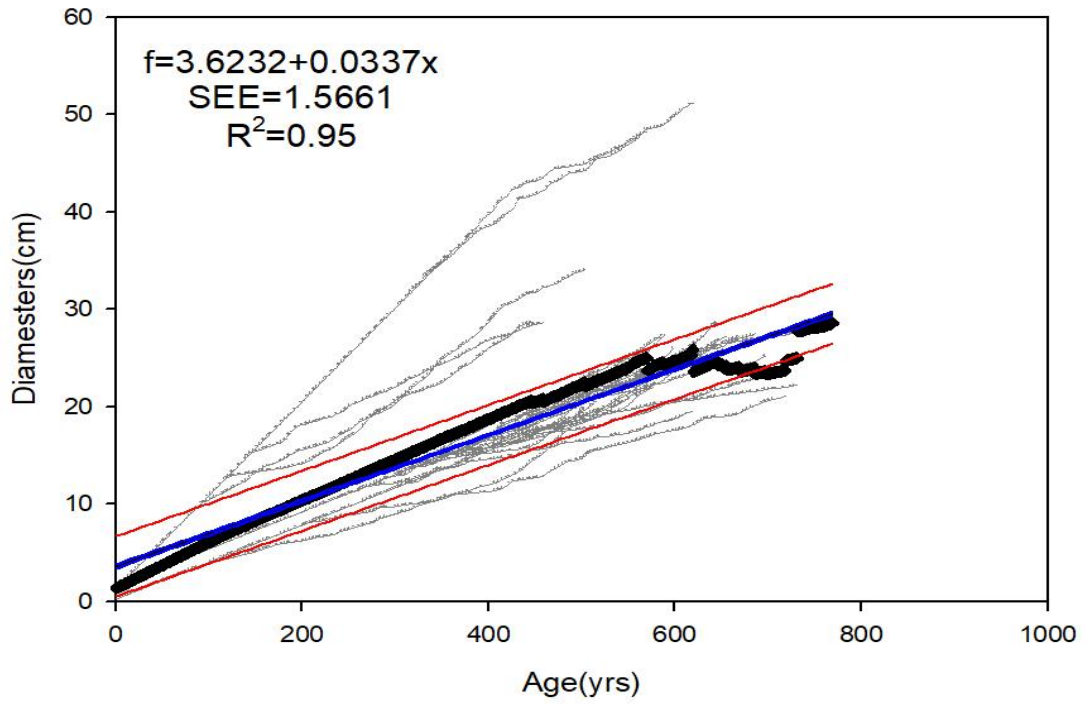


圖 38 20 cm ≤胸徑<40 cm 生長速率示意圖



- year vs J01240
- year vs J01150
- year vs J03110
- year vs J03270
- year vs J04060
- year vs J04170
- year vs J06120
- year vs J06240
- year vs J07130
- year vs J07010
- year vs J08000
- year vs J08120
- year vs J11080
- year vs J11340
- year vs J15180
- year vs J15090
- year vs J16030
- year vs J16000
- year vs J21110
- year vs J21340
- year vs J22195
- year vs J22130
- year vs J23105
- year vs J23280
- year vs J26090
- year vs J26000
- year vs J26180
- year vs J26270
- year vs J29000
- year vs J29270
- ◆ year vs mean
- x column vs y column
- 95% Confidence Band
- 95% Prediction Band

圖 39 胸徑 ≥ 40 cm 生長速率示意圖

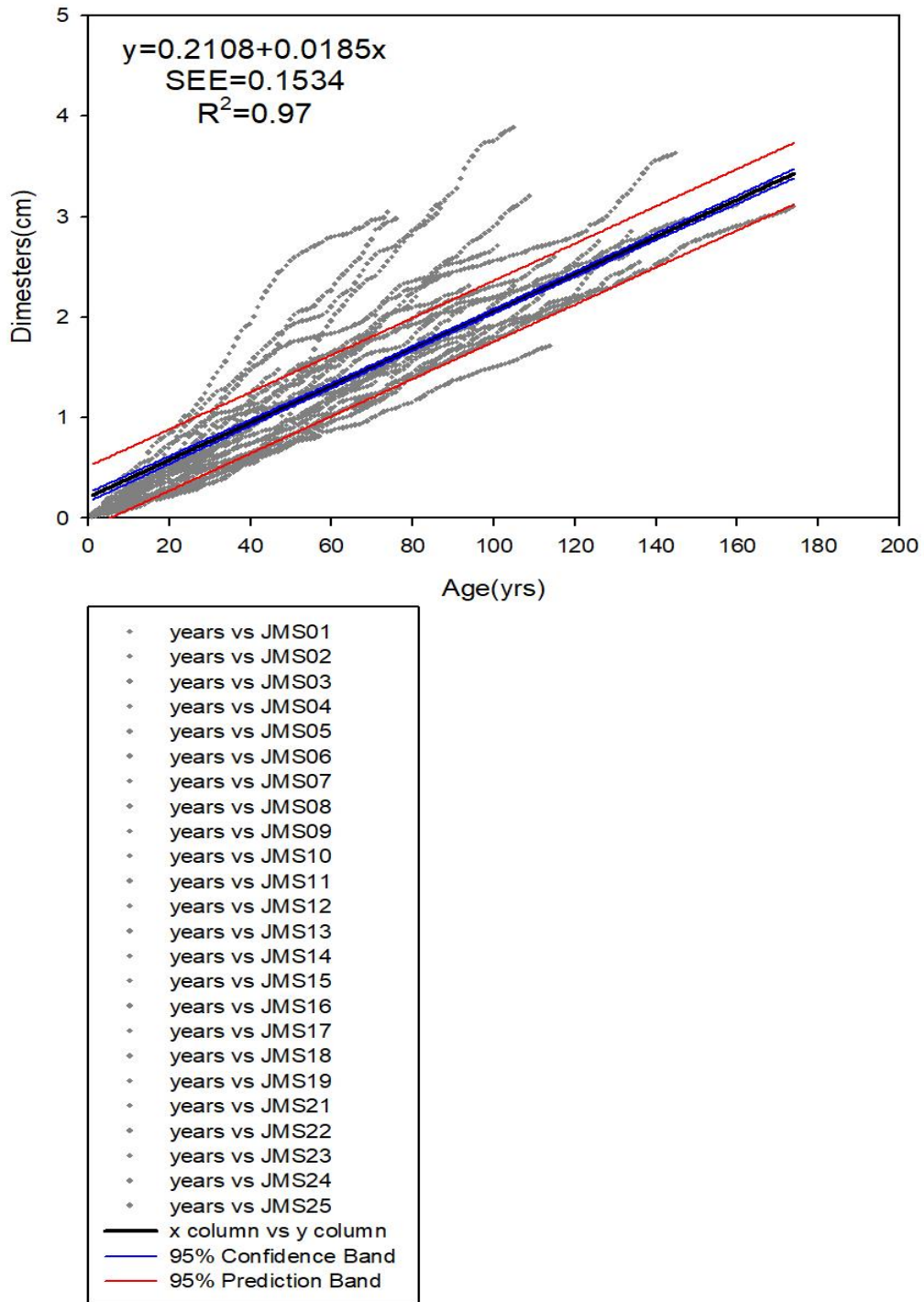


圖 40 矮盤灌叢生長速率示意圖

蘇鴻傑(1988)測量雪山地區 18 株玉山圓柏中、小徑木之樹輪，以及陳玉峰(1997)於秀姑坪下方測量 8 株玉山圓柏小喬木，所得之結果雖有不同，但兩研究皆以胸高直徑、年齡進行直線回歸分析推算出玉山圓柏之徑向生長速度，因蘇鴻傑(1988)測量玉山圓柏中、小徑木研究之結果未將喬木型、矮盤灌叢型分開討論，本研究則將此二者區分後進行分析，並探討喬木型、矮盤灌叢型之差異，結果如下：

以年輪數及胸徑進行直線迴歸分析所得出之迴歸方程式顯示，玉山圓柏喬木胸徑小於 20 cm 時， $(y = 0.1025 + 0.0515x)$ ，若以年輪數 100 代入計算，則 $y = 5.2525$ cm；即表示，此一階段之生長速率為胸徑每增加 1cm，約須 19.047 年(每年增加 0.0525 cm)；玉山圓柏喬木胸徑介於 20 cm~40 cm 時 $(y = 1.6113 + 0.0381x)$ ，若以年輪數 300 代入計算，則 $y = 13.0413$ cm；即表示，此一階段之生長速率為胸徑每增加 1cm，約須 23.004 年(每年增加 0.0435 cm)；玉山圓柏喬木胸徑大於 40 cm 時 $(y = 3.6232 + 0.0337x)$ ，若以年輪數 500 代入計算，則 $y = 20.4732$ cm；即表示，此一階段之生長速率為胸徑每增加 1cm，約須 24.422 年(每年增加 0.0410 cm)，此一趨勢呈現玉山圓柏喬木在較大直徑階時，其年輪寬度較窄。而玉山圓柏灌叢型生長速率分析結果如圖 38，其迴歸方程式顯示為 $(y = 0.2108 + 0.0185x)$ 。即表示，若以年輪數 100 代入計算，則 $y = 2.0608$ cm；胸徑每增加 1cm，約須 48.525 年(每年增加 0.0206 cm)。玉山圓柏灌叢型之枝幹呈匍匐性生長，受生長應力之影響，樹輪多呈偏心生長現象，且直徑大於 6 cm 以上者，即出現中心腐朽之現象，因其生長環境較喬木型個體惡劣(低溫、強風、土壤淺薄等)，直徑生長速率遠較喬木型個體為低。上述的喬木型生長速率之研究結果與蘇鴻傑(1988)得出玉山圓柏直徑生長速度每生長 1 cm 約需 22.8 年的結果相似。本調查研究計畫之採用之玉山圓柏永久樣區，林分中林木之平均樹齡約為 685 年。胸徑最大者可達 162.0 cm，推估其樹齡可能超過 3,000 年而接近 4,000 年。

林分結構和生長之關係，主要區別是林分生長為動態之變化，即生長量為時間之函數，而林分結構則為某特定時間林木性態值之分布狀態，可顯示林分蓄積為某一特定時間的量，為靜態之意義，可由直徑分布配合特定之材積式推估直徑階之蓄積量，而林分結構變化和林分生長實為一體之兩面，為動態之意義，且二者具可逆性(顏添明，1997)。未來尚可利用上述結果，進行生長量及族群動態之相關推估。

第六章、結論與建議

- 一、本調查研究以玉山圓柏樹輪結構探討雪山地區氣溫變化趨勢，工作項目及目標包含調查分析翠池地區玉山圓柏生育地環境特性及其生態，並調查其樹輪特徵，以 TSAPWIN 進行交互定年、建立樹輪寬度年表、樹間一致性 GLK 值檢測、比較喬木、矮盤灌叢的差異；並探討翠池地區玉山圓柏之徑向生長速度及樹輪寬度年表是否符合臺灣山區溫度變化趨勢、且利用相關圖資及調查，進行雪山山區玉山圓柏分布與數量估算。
- 二、於雪山主峰及翠池地區調查玉山圓柏林 12 個樣區之植物組成計有 36 科 69 屬 85 種，喬木林型包含玉山圓柏林型及臺灣冷杉林型；矮盤灌叢則以玉山圓柏及玉山杜鵑為主要組成；樣區環境之全天光空域及直射光空域之值均高，具有較高之受光環境。土壤 pH 值之平均值為 4.12，屬於偏酸性之土壤。
- 三、雪山地區玉山圓柏喬木型玉山圓柏林之面積計 131.17ha；矮盤灌叢型之玉山圓柏林面積計 183.53ha。立木株數推估為 527,944 株。
- 四、玉山圓柏喬木、矮盤灌叢年表僅有部分吻合。喬木樹間相關性 GLK 值一致性高於矮盤灌叢，顯示玉山圓柏喬木較能反映出大環境之變化並且一致反映在樹輪生長上；矮盤灌叢之生長則因為微棲地環境因子差異，樹間一致性較低。喬木主年表比矮盤灌叢主年表較能正確地反應過去 500 年來溫度之變化趨勢。翠池地區玉山圓柏確實受到聖嬰現象的溫度變化造成輪寬變化幅度變化增大，推測過去幾百年來的聖嬰現象對玉山圓柏的生長有一定的影響。
- 五、由樹芯長度及年輪數進行分析顯示，玉山圓柏喬木胸徑小於 20 cm 時，胸徑每年增加 0.0525 cm；胸徑介於 20 cm~40 cm 時，胸徑每年增加 0.0435 cm；胸徑大 40 cm 時，每年增加 0.0410 cm。而玉山圓柏灌叢型胸徑每年僅增加 0.0206 cm，直徑生長速率遠較喬木型個體為低。玉山圓柏永久樣區林分中林木之平均樹齡約為 685 年。胸徑最大者樹齡可能超過 3,000 年而接近 4,000 年。
- 六、本研究建議仍持續針對玉山圓柏分布範圍進行生物學特性、植物相及環境研究，包含現有監測樣區之持續調查、玉山圓柏林族群結構及動態之調查與分析以及玉山圓柏因應環境變遷衝擊之方法及改變。

第七章、參考文獻

- 吳祥定、孫力、程志剛、湛緒志 (1990) 樹木年輪與氣候變化。氣象出版社，北京。369 頁。
- 呂金誠、王志強 (2006) 雪霸自然保護區翠池地區的玉山圓柏林族群結構調查。農委會林務局東勢林區管理處委託研究報告。
- 呂金誠、王志強 (2008) 雪霸自然保護區翠池地區玉山圓柏天然更新調查。農委會林務局東勢林區管理處委託研究報告。
- 林志銓(2012) 雪山翠池地區玉山圓柏植物社會群聚之研究。中興大學森林學系博士學位論文。145 頁。
- 林志銓、曾喜育、王志強、蔡尚惠、呂金誠 (2012) 翠池地區玉山圓柏林林分結構林業研究季刊 34(1) :53-62 國立中興大學實驗林管理處。
- 林鴻志 (2005) 雪霸國家公園植群之研究。國立中興大學森林學系碩士論文。
- 邱其德(2010)以微衛星 DNA 基因序列探討臺灣玉山圓柏之族群遺傳結構。國立成功大學生物學系碩士論文。
- 金平亮三 (1936)臺灣樹木誌。臺灣總督府中央研究所。
- 柳樞 (1961) 本省最新發現之一種寒帶林-香柏林林試所通訊 109：859-862。
- 柳樞 (1971) 臺灣植物群落之分類□--高山寒原及針葉樹林群系。林試所報告 203：1-24。
- 柳樞 (1968) 臺灣植物群系之分類。臺灣省林業試驗所報告第 166 號。
- 張世振(2006) 臺灣西南部大武山區氣候對樹輪寬度變化之影響。輔英科技大學環境工程與科學系碩士班碩士論文。102 頁。
- 陳玉峰 (1997) 臺灣植被誌。晨星出版社第 208-319 頁。
- 陳姿彤(2011) 以臺灣中部雲杉樹輪重建三百年古氣候：利用傳統樹輪及總體經驗模態分解法。國立臺灣大學地質科學研究所碩士論文。116 頁。
- 陳柏因(2012) 栽植距離對柳杉樹輪寬與氣候因子關係之影響。國立臺灣大學森林環境暨資源學研究所碩士論文。98 頁。
- 傅慧雯 (2002) 應用 ISSR 研究玉山圓柏之遺傳變異。國立中興大學植物學系碩士論文。共 82 頁。
- 曾彥學、王志強 (2010) 雪霸自然保護區玉山圓柏永久樣區維護、天然更新複查及植物解說手冊編輯。農委會林務局東勢林區管理處委託研究報告。
- 湯繼禹、詹明勳(2012) 臺灣中央山脈南湖大山玉山圓柏林分生長特性及年齡結構之研究。101 年森林資源永續經營研討會論文集。50 頁。

- 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。
- 詹婉婷(2004) 由樹輪分析探討棲蘭山臺灣扁柏更新機制。國立臺灣大學森林學研究所碩士論文。75 頁。
- 鄒佩珊 (1998) 臺灣山區近 500 年的氣候變化：樹輪寬度的證據。國立臺灣大學地質學研究所博士論文。181 頁。
- 鄒佩珊 (2003) 樹輪中的歷史軌跡。科學發展。369: 24-29。
- 鄒佩珊(1998) 臺灣山區近五百年的氣候變化：樹輪寬度的證據。國立臺灣大學地質學研究所博士論文。181 頁。
- 廖敏君 (2016) 臺灣亞高山生態系植群結構之探討-以雪山為例。國立中興大學森林學系博士論文。
- 劉婉霞(2009) 不同海拔地區樟樹樹輪徑向生長與氣候因子相關之研究。國立嘉義大學農學院森林暨自然資源研究所碩士論文。71 頁。
- 劉崇瑞、蘇鴻傑 (1983) 森林植物生態學。臺灣商務印書館，臺北市。462 頁。
- 劉業經、呂福原、歐辰雄 (1994) 臺灣樹木誌。國立中興大學農學院叢書第 70-80 頁。
- 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) 臺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) 大霸尖山高山植群的研究。臺大實驗林研究報告 118：217-238。
- 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 (1987) 森林生育地因子及其定量評估。中華林學季刊 20(1)：1-14。
- 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、劉靜榆 (2004) 論植相社會學之植群分類法。臺大實驗林研究報告 19(1): 129-151。
- Andrew, E. S., and H. T. Alan (2006) Regeneration patterns in old-growth red fir–western white pine forests in the northern Sierra Nevada, Lake Tahoe, USA. *Forest Ecology and Management* 35: 143-154.
- Boufford, D. E. et al. 2003. A Checklist of the Vascular Plants of Taiwan. In: Huang, T.-C. et al. (eds.). *Flora of Taiwan*, 2nd ed., 6: 15-139. Editorial Committee, Dept. Bot., NTU, Taipei, Taiwan.
- Cook, E. and Kairiukstis, L. A.(eds) (1990). *Methods of Dendrochronology. Applications*

- in the environmental sciences. Dordrecht Kluwer. 394pp.
- Cook, E. R., P. J. Krusic, and P. D. Jones (2003) Dendroclimatic signals in long tree-ring chronologies from the himalayas of nepal. *International Journal of Climatology*. 23: 707-732.
- Dean, J. S. (1978) Tree-ring dating in archeology. *University of Utah Miscellaneous*. 24: 129-163.
- Feliksik, E. and Wilczynski, S., (2003). Diversification of increment reactions of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* Franco) from mountainous regions of southern Poland. *Journal of Forest Science*, 49 , 12, 552-558.
- Fritts, H. C. (1976) *Tree-Rings and Climate*. Academic Press, New York: 567 p.p.
- Fritts, H. C. (1976) *Tree-rings and Climate*. Academic Press, New York. 567pp.
- Holmes, R. L., R. K. Adams, and H. C. Fritts (1986) *Tree-Ring chronologies of Western North America: California, Eastern Oregon and Northern Great Basin with procedures used in the chronology development word including users manuals for computer programs COFECHA and ATSTAN*. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson. 182pp.
- Jacoby, G. C., N. Lovelius, O. I. Shumilov, O. V. Raspopov, J. M. Karbainov, and D. C. Frank (2000) Long-term temperature trends and tree growth in the taymir region of Northern Siberia. *Quaternary Research* 53: 312-318.
- Jagels, R., and F. W. Telewski (1990) Computer-aided image analysis of tree rings. In: *Methods of Dendrochronology: applications in the environmental sciences*. (Eds.) E.R. Cook and L. Kairiukstis. Reidel Press, Dordrecht. 77-93pp.
- Knapp, P.A., Grissino-Mayer, H.D. and Soulé, P.T., (2002). Climatic regionalization and the spatio-temporal occurrence of extreme single-year drought events (1500-1998) in the interior Pacific Northwest, USA. *Quaternary Research* , 58, 226-233.
- Li, H. L., and H. Keng (1975) *Cupressaceae in Huang, T. C. et al. Flora of Taiwan* 1st ed. Vol. I p.534-544.
- Li, H. L., and H. Keng (1994) *Cupressaceae in Huang, T. C. et al. Flora of Taiwan* 2nd ed. Vol. I p.586-595.
- Maxwell, R. S., A. W. Joshua, and A. E. Hessel (2011) A comparison of two techniques for measuring and crossdating tree rings. *Dendrochronologia* 29: 237-243.
- Pei, X., Q. B. Zhang, and J. B. Patrick (2012) Age and radial growth pattern of four tree

- species in a subtropical forest of China. *Trees* 26: 283-290.
- Ping, X., Y. Song, and J. Jiawu (2012) ` tree-ring chronology and its response to climate. *Procedia Environmental Sciences* 13: 307- 315.
- Rinntech, F. (2003) TSAPWin Time Series Analysis and Presentation for 33
- Schweingruber, F. H. (1988) *Tree rings: Basics and Applications of Dendrochronology*. Kluwer, Holland. 276 p.p.
- Schweingruber, F. H., D. Eckstein, F. Serre-Bachet, and O. U. Bräker (1990) Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia* 8: 8-38.
- Stokes, M. A., and T. L. Smiley (1968) *An Introduction to Tree-Ring Dating*. University of Chicago Press, Chicago. 110pp.
- Stokes, M. A., and T. L. Smiley (1996) *An Introduction to Tree-Ring Dating*. The University of Arizona Press, 73pp.
- Wang, Z. Z. and Lv C. G.,(2012)*Flora of Taiwan, Second Edition - Supplement*.
- Webb, G. E. (1986) *Solarphysics and the origins of dendrochronology*. Institute for Science and International Security. 77: 291-301.
- Wils, T., I. Robertson, Z. Eshetu, R. Touchan, U. Sass-Klaassen, and M. Koprowski (2010) Crossdating *Juniperus procera* from North Gondar, Ethiopia. *Trees-Struct Funct.* 20(6): 837-848.
- Ltrr. (2004) <http://ltrr.arizona.edu/>

第九章、附錄

附錄一雪山主峰及翠池地區玉山圓柏林樣區植物名錄

*蕨類植物

1. SELAGINELLACEAE 卷柏科
 1. *Selaginella labordei* Hieron. ex Christ 玉山卷柏
2. PTERIDACEAE 鳳尾蕨科
 2. *Cryptogramma brunoniana* Wall. ex Hook. Et Grev. 高山珠蕨
3. ASPIDIACEAE 三叉蕨科
 3. *Ctenitis transmorrisonensis* (Hayata) Tagawa 玉山肋毛蕨
4. DRYOPTERIDACEAE 鱗毛蕨科
 4. *Dryopteris costalisora* Tagawa 能高鱗毛蕨
 5. *Dryopteris hendersonii* (Bedd.) C. Chr. 小苞鱗毛蕨
 6. *Dryopteris serrato-dentata* (Bedd.) Hayata 鋸齒葉鱗毛蕨
 7. *Polystichum hecatopterum* Diels 鋸齒葉耳蕨
 8. *Polystichum morii* Hayata 玉山耳蕨
 9. *Polystichum wilsonii* H. Christ 福山氏耳蕨
5. ATHYRIACEAE 蹄蓋蕨科
 10. *Athyrium anisopterum* Christ 宿蹄蓋蕨
 11. *Athyrium reflexipinum* Hayata 逆葉蹄蓋蕨
 12. *Cystopteris fragilis* (L.) Bernh. 冷蕨

*裸子植物

6. PINACEAE 松科
 13. *Abies kawakamii* (Hayata) Ito 臺灣冷杉
7. CUPRESSACEAE 柏科
 14. *Juniperus squamata* Buch.-Ham. apud Lamb. 玉山圓柏

*雙子葉植物

8. POLYGONACEAE 蓼科
 15. *Polygonum filicaule* Wall. ex Meisn. 高山蓼
9. CARYOPHYLLACEAE 石竹科
 16. *Cerastium trigynum* Vill. var. *morrisonense* (Hayata) Hayata 玉山卷耳
 17. *Dianthus pygmaeus* Hayata 玉山石竹
 18. *Stellaria saxatilis* Buch.-Ham. 疏花繁縷
10. RANUNCULACEAE 毛茛科

19. *Aconitum fukutomei* Hayata 臺灣烏頭
 20. *Clematis grata* Wall. 串鼻龍
 21. *Ranunculus junipericola* Ohwi 高山毛茛
 22. *Thalictrum myriophyllum* Ohwi 密葉唐松草
 23. *Thalictrum urbaini* Hayata var. *majus* T. Shimizu 大花傅氏唐松草
11. BERBERIDACEAE 小檗科
 24. *Berberis morrisonensis* Hayata 玉山小檗
12. CRUCIFERAE=BRASSICACEAE 十字花科
 25. *Arabis lyrata* L. ssp. *kamtschatica* (Fisch. ex DC.) Hulten 玉山筷子芥
 26. *Barbarea taiwaniana* Ohwi 高山山芥菜
13. CRASSULACEAE 景天科
 27. *Sedum erythrospermum* Hayata 紅子佛甲草
 28. *Sedum morrisonense* Hayata 玉山佛甲草
14. SAXIFRAGACEAE 虎耳草科
 29. *Hydrangea anomala* D. Don 藤繡球
 30. *Parnassia palustris* L. 梅花草
15. ROSACEAE 薔薇科
 31. *Potentilla leuconota* D. Don 玉山金梅
 32. *Potentilla tugitakensis* Masam. 雪山翻白草
 33. *Rosa sericea* Lindl. var. *morrisonensis* (Hayata) Masam. 玉山薔薇
 34. *Sibbaldia procumbens* L. 五蕊莓
16. OXALIDACEAE 酢漿草科
 35. *Oxalis acetocella* L. ssp. *griffithii* (Edgew. & Hook. f.) Hara 山酢醬草
 36. *Oxalis acetocella* L. ssp. *taemoni* (Yamamoto) Huang & Huang 大霸尖山酢醬草
17. GERANIACEAE 牻牛兒苗科
 37. *Geranium hayatanum* Ohwi 早田氏香葉草
18. ONAGRACEAE 柳葉菜科
 38. *Epilobium amurense* Hausskn. 黑龍江柳葉菜
 39. *Epilobium nankotaizanense* Yamamoto 南湖柳葉菜
19. UMBELLIFERAE=APIACEAE 繖形科
 40. *Angelica morrisonicola* Hayata 玉山當歸
 41. *Oreomyrrhis involucrata* Hayata 山薰香
20. PYROLACEAE 鹿蹄草科
 42. *Pyrola morrisonensis* (Hayata) Hayata 玉山鹿蹄草
21. ERICACEAE 杜鵑花科
 43. *Gaultheria itoana* Hayata 高山白珠樹
 44. *Rhododendron pseudochrysanthum* Hayata 玉山杜鵑

22. PRIMULACEAE 報春花科
 45. *Primula miyabeana* Ito & Kawakami 玉山櫻草
23. OLEACEAE 木犀科
 46. *Ligustrum morrisonense* Kanehira & Sasaki 玉山女貞
24. GENTIANACEAE 龍膽科
 47. *Gentiana arisanensis* Hayata 阿里山龍膽
 48. *Gentiana davidii* Franch. var. *formosana* (Hayata) T. N. Ho 臺灣龍膽
 49. *Tripterospermum lanceolatum* (Hayata) Hara ex Satake 披針葉肺形草
25. RUBIACEAE 茜草科
 50. *Galium echinocarpum* Hayata 刺果豬殃殃
26. BORAGINACEAE 紫草科
 51. *Cynoglossum alpestre* Ohwi 高山倒提壺
27. SCROPHULARIACEAE 玄參科
 52. *Ellisiophyllum pinnatum* (Wall. ex Benth.) Makino 海螺菊
 53. *Euphrasia nankotaizanensis* Yamamoto 南湖碎雪草
 54. *Hemiphragma heterophyllum* Wall. 腰只花
 55. *Pedicularis ikomai* Sasaki 南湖大山蒿草
 56. *Pedicularis verticillata* L. 玉山蒿草
 57. *Veronica morrisonicola* Hayata 玉山水苦蕒
 58. *Veronica oligosperma* Hayata 貧子水苦蕒
28. OROBANCHACEAE 列當科
 59. *Boschniakia himalaica* Hooker & Thomson 川上氏肉苳蓉
29. CAPRIFOLIACEAE 忍冬科
 60. *Lonicera kawakamii* (Hayata) Masam. 川上氏忍冬
30. DIPSACACEAE 續斷科
 61. *Scabiosa lacerifolia* Hayata 玉山山蘿蔔
31. COMPOSITAE=ASTERACEAE 菊科
 62. *Ainsliaea macroclinidioides* Hayata 阿里山鬼督郵
 63. *Ainsliaea latifolia* (D. Don) Sch. Bip. subsp. *henryi* (Diels) H. Koyama 玉山鬼督郵
 64. *Anaphalis nepalensis* (Spreng.) Hand.-Mazz. 尼泊爾籟簫
 65. *Artemisia oligocarpa* Hayata 高山艾
 66. *Cirsium arisanense* Kitam. 阿里山薊
 67. *Cirsium kawakamii* Hayata 川上氏薊
 68. *Leontopodium microphyllum* Hayata 玉山薄雪草
 69. *Myriactis humilis* Merr. 矮菊
 70. *Picris hieracioides* L. subsp. *morrisonensis* (Hayata) Kitam. 玉山毛蓮菜
 71. *Senecio morrisonensis* Hayata 玉山黃菀
 72. *Senecio nemorensis* L. var. *dentatus* (Kitam.) H. Koyama 黃菀

*單子葉植物

32. LILIACEAE 百合科

73. *Aletris formosana* (Hayata) Sasaki 臺灣粉條兒菜

74. *Maianthemum formosanum* (Hayata) LaFrankie 臺灣鹿藥

33. JUNCACEAE 燈心草科

75. *Luzula taiwaniana* Satake 臺灣地楊梅

34. CYPERACEAE 莎草科

76. *Trichophorum subcapitatum* (Thwaites & Hook.) D. A. Simpson 玉山針藺

35. GRAMINEAE=POACEAE 禾本科

77. *Agropyron formosanum* Honda 臺灣鵝觀草

78. *Aniselytron agrostoides* Merr. 小穎溝稈草

79. *Brachypodium kawakamii* Hayata 川上氏短柄草

80. *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin. 曲芒髮草

81. *Festuca ovina* L. 羊茅

82. *Phleum alpinum* L. 高山梯牧草

83. *Trisetum spicatum* (L.) Rich. var. *formosanum* (Honda) Ohwi 臺灣三毛草

84. *Yushania niitakayamensis* (Hayata) Keng f. 玉山箭竹

36. ORCHIDACEAE 蘭科

85. *Platanthera brevicarata* Hayata 短距粉蝶蘭

附錄二雪山翠池地區玉山圓柏林植群分析資料表

雪山翠池地區玉山圓柏林喬木層各樣區植物之重要值(%)

物種\樣區	cc 05	cc06	cc 07	cc 04	cc 08	cc 10	cc 12	cc 11	cc 09	cc 03
玉山圓柏	263.3	68.7	300	300	230.7	84.6	57.7	300	300	300
臺灣冷杉	24.4	231.4	0.0	0.0	69.3	215.5	242.3	0.0	0.0	0.0
玉山杜鵑	12.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
總計	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300

雪山翠池地區玉山圓柏林喬木層根據 MOTYKA 公式所計算
各樣區間之相似性指數矩陣(%)：

樣區 cc 05	100.0									
樣區 cc06	31.0	100.0								
樣區 cc 07	87.8	22.9	100.0							
樣區 cc 04	87.8	22.9	100.0	100.0						
樣區 cc 08	85.0	46.0	76.9	76.9	100.0					
樣區 cc 10	36.3	94.7	28.2	28.2	51.3	100.0				
樣區 cc 12	27.4	96.3	19.2	19.2	42.3	91.0	100.0			
樣區 cc 11	87.8	22.9	100.0	100.0	76.9	28.2	19.2	100.0		
樣區 cc 09	87.8	22.9	100.0	100.0	76.9	28.2	19.2	100.0	100.0	
樣區 cc 03	87.8	22.9	100.0	100.0	76.9	28.2	19.2	100.0	100.0	100.0
樣區 cc 05	cc06	cc 07	cc 04	cc 08	cc 10	cc 12	cc 11	cc 09	cc 03	

附錄三期末報告審查會議紀錄及意見回覆表

「以玉山圓柏樹輪結構探討雪山地區氣溫變化趨勢」
 期末報告審查會議紀錄及意見回覆表

壹、會議時間：107 年 12 月 5 日（星期二）下午 2 時 0 分

貳、會議地點：本處第 1 會議室

委員意見	意見回覆及處理	備註
<p>楊委員國禎</p>		
<p>(一) P.40 表 8 是以喬木 29 棵，灌木 25 棵當作分析的基礎，這樣的取樣可否代表玉山圓柏推估的依據？因為除了溫度，還有其他的因素，但如何把那些影響在這裡排除掉，讓取樣可代表溫度的變化或處理？亦沒提到溫度的變化對於玉山圓柏的影響情況。</p>	<p>(一) 以目前之取樣數量，無法完全涵蓋所有之分布地區及環境，因此本計畫取樣採取均質一致之生育地環境，以減少其也變因之影響；目前之文獻顯示，溫度對於玉山圓柏的輪寬生長變化影響為最明顯的一個因子</p>	
<p>(二) 鑽取樹芯的長度有多長？可分析的範圍到何情況？可用不同生長時期做銜接（交互定年），小徑木的生長速度可取代中大徑木或可換算來取代，但報告中沒有看到實質的運作，只看到小徑快、大徑慢，並無看到資料呈現出這 50 幾棵的研究過程，應有可透過科學的方式</p>	<p>(二) 已將樹芯資料加入，p43,44,45,64,65,66。目前已樹先建立年表喬木有 521 年，灌叢有 174 年。小徑木生長速度差異已附圖於文中，相關計算</p>	

- (過程)來驗證最後的成果，可讓大家更相信研究結果
- 數據資料一併在光碟中。
- (三)冷杉、雲杉與圓柏相關的研究如何銜接做相關討論？在比較這些的過程中，如何做對比或相關性的情況，應於報告中敘明。
- (三)本研究僅針對玉山圓柏年表對溫度變化趨勢做比對。並無氣候年表可做比對，未來應可加入研究。
- (四)能否標出實際的分布？生態環境對灌木的影響較大，報告中沒有讓林區來解決分布不同的比較，需排除統計中會有誤差的因子，讓結果更具代表性。統計上要有正負偏差（標準偏差、變異情況）的數值表示出來，個體變異（在不同情況下呈現）與當地條件的不同來比對，才可更清楚了解。
- (四)分布位置圖會套入圖面上，p42。
- (五)以圓柏的年表和冷杉年表來比對、討論，但樣本的問題如無差異變化實際的值，則無法做出變異的情形，假如標準偏差（SD）太大，則不可信，因為代表非來自同一個母族群。在運作中如何讓樣本與運作結果可循環應用，在科學研究上才可進行一些討論或修正的空間，並越來越接近事實。
- (五)相關之樣本取樣及分析過程檢附於光碟之電子檔中，未來可供持續檢核及比對使用。
- (六)雪山氣象站 10 年的資料可否與其他氣象站比對，是否有明確相關性，假使有，則推估可用 100 年的資料來使用。
- (六)目前僅有 10 年之資料可供比對，經比對玉山及阿里山氣象站資料，溫度具相關性，然降水量則有較

大差異。

-
- | | |
|---|---|
| (七) 玉山圓柏在臺灣非常具有代表性，而玉山圓柏在這片森林的運作應如何定位？ | (七) 雪山地區之玉山圓柏森林具有氣候變遷下高山物種適應及族群動態之觀察研究價值。 |
| (八) 年輪應個別算出真實狀況，有座標、編號等資料，以後若要重新被研究，則可以找到該取樣個體繼續研究。 | (八) 謹依委員建議辦理，檢附相關資樣本資料(p p43, 44, 45, 64, 65, 66) 及光碟之電子檔。 |
| (九) 國外有否圓柏同時具有喬木與灌叢的變化？臺灣的玉山圓柏特殊性與代表性到何種程度？ | (九) 目前蒐集之文獻中，尚未見到特別針對同一圓柏樹種之不同形態之詳述，多僅指出因環境因子(風、坡度、溫度、土壤等)會造成生長習性及形態上之差異。 |
-

賴委員國祥

-
- | | |
|---|-----------------|
| (一) 本計畫以玉山圓柏年輪探討過去氣候之變遷，取樣及分析都不容易，成果值得參考肯定。 | (一) 感謝委員肯定。 |
| (二) 報告書中有些錯誤之處：P.6、7、50、51 圖表有跑位重疊，內文圖 P.29 圖 9，表 8 其實是表 3，表中的數字亦有錯誤。 | (二) 謹依委員建議辦理修正。 |
-

-
- (三) P.24 示意照片與說明不符(取樣高度)。(三) 已修改, 謹依委員建議辦理。
- (四) P.27 何為 RES 寬度? 請說明。(四) RES 為殘差寬度年表, 為觀察直與預測值差距所做成輪寬年表。
- (五) 研究方法建議加入(二) 樹輪特性標記及(四) 平均敏感度計算及交互定年。(五) 謹依委員建議辦理, p30。
- (六) P.50-53 圖 35-38 之迴歸式, 一個樣本數值對應一對點, 另加入相關係數。生長速率圖是以何種軟體製作, 請於材料方法中註明。(六) 謹依委員建議辦理, p50-53,67-69。
- (七) P.43-47 有關年表宜說明: 1. 縱軸為何? 2. 偏冷與偏暖的基準點為何? 3. 如何用主年表重建夏季或冬季氣溫? 4. 如果可能, 應該以自己的資料年表重建過去夏季及冬季氣溫, 再與別人的成果比對、討論。(七) 已補充標記與說明, p46-48。
-

本處同仁審查意見:

(一) 保育研究課:

1. 報告書格式: 請補上英文摘要, 另外也請將討論列入報告書。 1. 謹依委員建議辦理。
2. 灌叢型的玉山圓柏生長速度年輪長 1 公分需 48 年, 在永久樣區中, 喬木型的 DHB 最大可達 162 公分, 灌叢型的最大是多少? 是否在壽命上, 喬木大於灌叢, 請增加壽命相關敘述。 2. 灌叢目前無相關資料可推估, 未來可加入調查內容; 喬木的壽命確實大於灌叢, 灌叢本研究樣本數最高年齡為 174 年。
-

- | | |
|--|--------------------------------|
| 3. 報告中請加入探討氣候特徵對雪山主要森林生態系之影響趨勢的相關討論內容。 | 3. 謹依委員建議辦理 |
| 4. 請補充玉山圓柏的更新（健康）之狀況，將可提供本處經營管理之建議。 | 4. 健康度相關報告將於林務局之另一計畫調查完成後提供參考。 |

(二) 企劃經理課：

- | | |
|--------------------------|---------------------------------|
| 1. P.37 圖 21 建議加入圖例說明。 | 1. 謹依委員建議辦理 |
| 2. 雪霸園區中的玉山圓柏分布是否只有在這區？ | 2. 主要分布於雪山北峰往西南翠池方向一帶，主峰圈谷往東一帶。 |
| 3. 表 3 與表 8 請統一使用同一座標系統。 | 3. 已修正為同一座標系統，p40。 |

(三) 陳秘書俊山：

- | | |
|---|------------------------------|
| 1. 委託工作項目在內文中較無呈現出來。 | 1. 已將內容修正，謹依委員建議辦理。 |
| 2. P.7 陳述中有圖 1、2、3，但只有兩個圖。 | 2. 已將內容修正，謹依委員建議辦理，p10。 |
| 3. 1900 年以來有 30 個較大的聖嬰現象，聖嬰為每次 1-2 年的現象，假使在 100 年間來做對比，內文需再多著墨。 | 3. 已補充聖嬰現象比對內容，謹依委員建議辦理，p61。 |

主席：

- | | |
|---------------------------------|---------------------|
| 1. 最早的邀標書的工作項目要呈現出來。 | 1. 已將內容修正，謹依委員建議辦理。 |
| 2. 研究標題為探討雪山地區氣溫變化，在第七章（P.55）結論 | 2. 已將內容修正，謹依委員建議辦理。 |
-

推導出這 500 年來應有小冰河期，溫度上上下下，應該探討與這些歷史事件或前人研究有否吻合？結論中較少探討雪山氣溫變化。

3.臺灣的所有喬木中，玉山圓柏的生長速度 1 公分需 48 年是否是最慢的？

3.由目前文獻資料顯示，玉山圓柏之徑向生長速度可能是最慢的樹種。

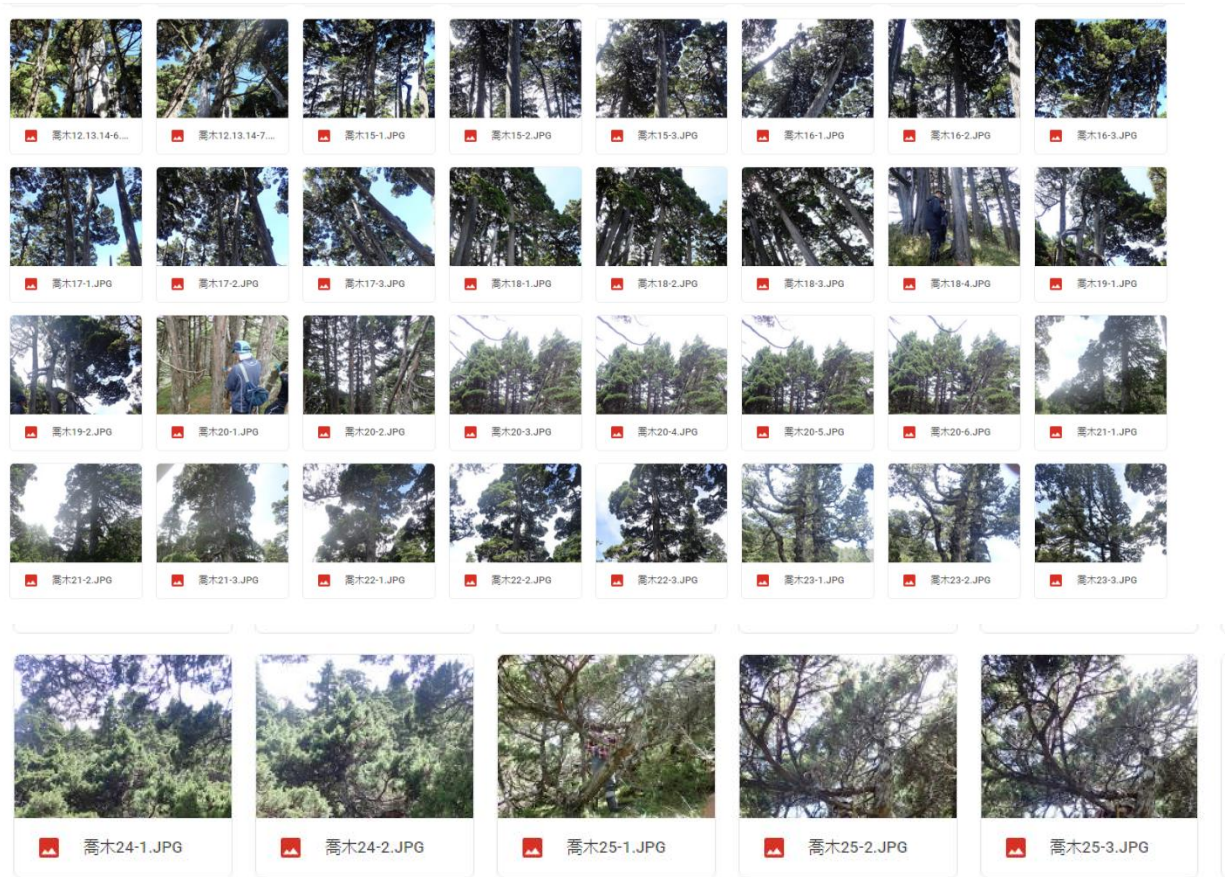
附錄五樹芯取樣環境照片



附錄六樹芯取樣樣木照片

喬木





矮盤灌叢



