

林木健康指標評估方法之建立

—以棲蘭地區老熟檜木為例

Constructing the evaluation method of tree health indicators

— an example of old growth cypress trees in Chi-Lan area

主辦機關：行政院農業委員會林務局羅東林區管理處

執行機關：國立宜蘭技術學院森林系

中華民國九十一年十二月

林木健康指標評估方法之建立

——以棲蘭地區老熟檜木為例

Constructing the evaluation method of tree health indicators

—— an example of old growth cypress trees in Chi-Lan area

計畫主持人：王兆桓、陳子英

研究設計、野外調查、資料處理及報告撰寫

協同研究人員：林文亮、林世宗、梁亞忠、許秀英、張錫鈞

專業諮詢、野外調查事項協助、資料提供

協同研究生：陳家玉

文獻資料蒐集、野外調查、資料處理、統計分析

協助大專生：黃兆吟、吳楊浚、游婉婷、陸羿伶、張耕華

野外調查、資料電腦建檔、電子地圖查詢

摘要

老熟檜木健康監測是件困難的工作，但卻也是民眾所關心的事。健康是一個抽象的概念，較難去直接測量。本研究以棲蘭老熟檜木為對象，測量與健康有關的變數，應用因素分析與鑑別分析，建構老熟檜木的健康指標協助評等，並建立鑑別函數協助健康狀況的預測。結果顯示，因素分析歸類出五個林木健康因素：(1)葉子活力衰退指數；(2)樹冠損傷指數；(3)林木競爭指數；(4)樹幹附生物覆蓋指數；(5)根部損傷指數。此 5 個因素的共同性總和佔總變異的 85%，具有相當高的解釋能力，並用於林木健康的分級。在鑑別分析方面所得到鑑別函數的擊中率非常準確，使用前述五個林木健康指標所得到鑑別函數的擊中率為 96%，表示因素分析可有效的協助林木健康狀況的分級；而使用原始調查的觀測變數所得到鑑別函數的擊中率為 100%，表示此鑑別函數的預測能力很高。此種分析程序不僅可以建構老熟檜木的健康指標，同時可以評估個別林木的健康狀況，有助於保育工作的進行。

【關鍵詞】 林木健康指標，因素分析，鑑別分析，森林健康監測

Abstract

Monitoring tree's health of old growth cypress is difficult, but people are concerning about their health. Health is an abstract construct, so it is difficult to measure directly. This study investigated the old growth cypress trees in Chi-Lan, and measured those variables related to tree's health. Factor analysis was applied to construct health indicators in order to make classification of tree's health more easily, and discriminant functions were also constructed to predict trees' health conditions. The result of factor analysis had classified those health related variables into 5 factors: (1) foliage vigor declining indicator, (2) crown damage indicator, (3) tree competition indicator, (4) stem's epiphyte coverage indicator, (5) root's damage indicator. The above 5 factors could explain 85% of the total variance, and then they were used to classify trees' health. The result of discriminant analysis had showed that the hit rate of predicted classification was very high. The hit rate using the above 5 factors was 96%, and it represented that the indicators produced by factor analysis were useful to complement tree's health classification. The hit rate using the original observed variables was 100%, and it represented that the constructed discriminant functions were with highly predictive ability. The above procedure not only can construct health indicators of old growth trees, but also can evaluate trees' health conditions, and it is conducive to implement the conservation tasks.

【Keyword】 Tree health indicator, Factor analysis, Discriminant analysis, Forest health monitoring

目 次

一、前言	1
二、材料與方法	4
(一)試驗地概述	4
(二)調查方法與項目	6
1.單木測量	6
2.林木競爭指數調查	11
(三)分析方法	11
1.因素分析(factor analysis)	13
2.鑑別分析(discriminant analysis)	14
三、結果與討論	16
(一)調查資料之敘述統計分析	16
(二)因素分析	22
1.因素之抽取	22
2.因素之命名	24
(1) 葉子活力衰退指數	24
(2) 樹冠損傷指數	24
(3) 林木競爭指數	24
(4) 樹幹附生植物覆蓋指數	25
(5) 根部損傷指數	25
3.單指標之林木健康分級	25
4.雙指標之林木健康分級	28
5.綜合指標之林木健康分級	30
(三) 鑑別分析	34
1.以因素分析所抽出因素作為解釋變數	34
2.以原始調查的觀測變數作為解釋變數	37
四、結論	41
五、致謝	42
六、參考文獻	43
七、附錄	47
八、照片	

表 目 錄

- 表 1：因素分析轉軸法
- 表 2：單木樣木數及其胸徑、樹高、樹高與胸徑比值、枝下高和樹冠直徑的全距
- 表 3. 因素個數抽取
- 表 4：轉軸後因素結構矩陣
- 表 5：棲蘭老熟檜木林木健康因素指數之加權分數
- 表 6：依照加權因素分數排名與分級結果
- 表 7：抽出因素作為解釋變數之典型鑑別分析假說檢定
- 表 8：抽出因素作為解釋變數之典型鑑別分析的典型係數
- 表 9：抽出因素作為解釋變數之典型鑑別函數組均值
- 表 10：抽出因素作為解釋變數之歸類矩陣
- 表 11：抽出因素作為解釋變數之歸類矩陣的錯誤歸類比率
- 表 12：原始觀測變數作為解釋變數之典型鑑別分析假說檢定
- 表 13：原始觀測變數作為解釋變數之典型鑑別分析的典型係數
- 表 14：原始觀測變數作為解釋變數之典型鑑別函數組均值
- 表 15：原始觀測變數作為解釋變數之歸類矩陣

圖 目 錄

- 圖 1：棲蘭神木園區標示圖
- 圖 2：冠幅測量之四個方向
- 圖 3：樹冠狀態判定準則依據
- 圖 4：老熟檜木健康指標評估方法之流程圖
- 圖 5：神木樹齡分佈圖
- 圖 6：徑級株數分佈圖
- 圖 7：樹高株數分佈圖
- 圖 8：林木存活株數分佈圖
- 圖 9：根部損傷等級分佈圖
- 圖 10：樹幹附生植物覆蓋率分佈圖
- 圖 11：枝梢枯萎百分比株數分佈圖
- 圖 12：樹冠大枝條枯萎比率分佈圖
- 圖 13：葉子掉落百分比株數分佈圖
- 圖 14：樹幹白化百分比株數分佈圖
- 圖 15：葉子活力衰退指數分數分佈圖
- 圖 16：樹冠損傷指數分數分佈圖
- 圖 17：林木競爭指數分數分佈圖
- 圖 18：樹幹附生植物覆蓋指數分數分佈圖
- 圖 19：樹幹附生植物覆蓋指數分數分佈圖
- 圖 20：葉子活力衰退指數與樹冠損傷指數因素軸
- 圖 21：葉子活力衰退指數與樹冠損傷指數因素軸細部圖
- 圖 22：葉子活力衰退指數與林木競爭指數因素軸
- 圖 23：樹冠損傷指數與林木競爭指數因素軸
- 圖 24：林木健康指標加權因素分數圖

一、前言

永續森林經營準則與指標的發展過程，以及森林經營觀念的改變，都迫切需要調查資料與之配合。面對著社經變遷、地球溫室效應，以及維持適當的生物歧異度，建立長期森林生態健康的監測系統有其必要性。所謂森林健康，美國林務署將其定義為「森林在提供人類所需之餘，仍維持一定複雜性、多樣性和生產力的狀況」。為了調查及量測森林健康現況和變化，森林健康監測(Forest Health Monitoring, FHM)計畫的目的在於透過長期監測指標，來評估森林健康的狀況、變化和趨勢(馮豐隆，1996；邱祈榮和聶齊平，2000；Conkling et al., 2002；Smith, 2002)。

許多歐洲國家自 1984 年，在「長距離越界空氣污染會議」(the Convention of Long Rang Transboundary Air Pollution)的贊助與「歐洲聯合經濟委員會」(the United Nations Economic Commission for Europe)的建議下，陸續進行大面積的森林健康狀況調查，以瞭解其受空氣污染的影響情形(Kohl et al., 1994)。美國自 1990 年基於制訂相關法令與政策的需要，由林務署與環保局共同發展監測計畫，採取大規模系統取樣，進行國家森林生態健康的監測，由各州或各區域提供調查報告，以瞭解森林生態系現況、變化和長期趨勢的資訊(Conkling and Byers, 1993；Alexander and Palmer 1999)。在實際調查方面，影響因素錯綜複雜，森林健康狀況的評估較難去定義和測量，如何建立有效的監測系統則是相當重要的課題。

美國的 FHM 計畫包括檢核監測(Detection Monitoring)、評估監測(Evaluation Monitoring)、集約立地監測(Intensive Site Monitoring)與監測技術研究(Research on Monitoring Techniques)四個部分(Rogers, 2002；Rogers et al., 2001；Burkman et al., 1998)。前三個部分是相關聯的，首先檢核監測依據大規模的調查資料，建立目前的基準線(baseline)狀況，以時間序列中的變化來評估其長期趨勢，再進一步決定森林的變遷是否正常。如果檢核到有重要無法解釋的變化，則以評估監測再進一

步調查研究此異常變化的嚴重程度，及是否有快速衰退而需要特別關注的情形。如果評估結果為此異常變化情形需要特別關注和深入研究，則以集約立地監測方式建立一個小的國家立地網絡，針對特定的生態型式，研究與其變化要素相關的生態程序。第四個部分為監測技術研究，其目的在於發展可靠的森林健康指標 (Alexander and Palmer, 1999 ; Rogers et al., 2001)。

監測可分為樣區監測及非樣區監測。在樣區監測方面所記錄的資訊涵蓋地形、海拔、土地利用型和林型；定期森林現況調查包括林木本身每年或定期林分結構、生長、枯死、樹冠狀況和形狀、損害(受病蟲害、氣象為害)及更新、生物歧異度以及地被植物及周圍環境等指標的調查。調查項目及變數會隨著研究者對於調查林分特性的判定作更好的修正和改變。在非樣區監測方面可配合航測資料進行不同階段性的檢核，以獲取大尺度或全面性狀況的資料，加以評估森林健康(馮豐隆 1996)。美國 FHM 野外調查，對樣區的記錄包括地形、海拔、以及樣區的識別資料，對林木的測量包括林木生長、枯死、更新、樹冠狀況、以及損傷(Conkling and Byers, 1993 ; Rogers, 2002)。

時代的變遷與保育概念提升，對於森林經營的觀念也不斷地推陳出新，強調以生態系的永續性為考量遠超出林木生產的概念，但在不破壞保育，提升林木生產力才是‘有效率’及‘有競爭力’的經營方式。針對台灣大面積的森林以往觀點是以林木資源的生產與收穫為導向，以及消費行為的擴大化，都以林木資源相關項目進行森林資源調查，針對森林其他狀態的描述和測量並不多。就森林生態系經營實務而言，傳統的資源調查項目稍顯不足，較缺乏生態系健康方面的調查，因此無法完整反映出森林健康的監測。

森林面積佔台灣總面積的比例甚高，由於進行全省的森林健康監測常受限於調查經費和人力的不足，所以此類研究傾向針對某些特殊林分或林型進行監測。近年來長期試驗已涉及森林的生長與衰退，並致力於森林及林木活力的研究，然而森林衰退過程的生理基礎尚無法完全被了解，對於老熟林木更是很難從林木的

年生長率(例如：樹高生長和直徑生長)測定其是否衰退。非突發破壞性的林木衰退包含樹冠的逐漸退化及即將伴隨的生長衰退，不單就枯死或生長耗損便可判定的，因此監測方式也因偵測的對象為單木或林分而有所差異。為求瞭解某些特殊林木(例如：老熟木)的發展狀況，採取單木監測背景以單木小尺度(micro scale)測量變數為主，針對有無嚴重衰退的情形進行調查，在林木極速衰退前偵測出，並提出預警；相較之下，以林分監測背景為主的監測系統，講求大尺度(macro scale)的林分測量變數，對於單木的枯死較不關注，而關心整體發展的趨勢，單木(個體)的枯死並非是林分健康的關鍵，其關鍵在死亡和生長是否維持在正常穩定的範圍內，達成生長、死亡與更新間的平衡。

台灣現存各地的檜木巨木，不論樹齡與數量，世界上其他巨木除美國加州之世界爺和纓果松外皆難望其項背(榮民森林保育專業管理處，1999)，其單株巨木的市場價值很高，而非市場價值更高，故以單木的發展背景較林分適當。因此針對檜木巨木群的健康監測傾向於以單木的發展為中心，而非以林分整體趨勢為中心。檜木巨木健康的判定較難定義，則人的主觀判斷也非不可採信，可能初期夾雜人為的主觀判斷，再利用指標(index)來指引監測的方向，後續可以利用長期監測的資料，加以修正而產生新的指標。目前在台灣所剩下的檜木老熟林並不多，這巨木景觀是大自然的遺產，目前列入巨木群景觀保育者，只有北橫巴陵上方達觀山自然保護區之拉拉山檜木巨木群與棲蘭山神木園之檜木巨木群(榮民森林保育專業管理處，1999)，在數量上棲蘭山 51 株神木為台灣目前已紀錄的檜木巨木群中數量最多的，尤其紅檜在世界上僅有台灣分布，在棲蘭檜木巨木群佔其大宗，尤應更加重視，因此本研究將針對森林健康擬定具體可行的調查項目，以建立目前棲蘭山歷代神木園區老熟檜木巨木群健康監測的基準線。

二、材料與方法

林木的健康狀況的程度可以用不同的變數來描述，歐洲與北美 FHM 在評估林木健康所使用的變數是以樹冠狀況的變數為主，有的以樹冠透視度、樹冠梢枯、或樹冠密度等單一變數作為不同程度的分類(Alexander and Palmer, 1999; Kohl et al., 2001)，亦有同時以樹冠透視度小於 30%，樹冠密度大於 50%，且樹冠梢枯小於 20% 作為林木健康之門檻(Metzger and Oren, 2001)。然而樹冠密度與樹冠透視度兩者精確測量困難度高，目前實際技術並無精確的測定方法，容易受人為的主觀性而造成測量的誤差(Gertner and Kohl, 1995; Metzger and Oren, 2001)。國內在林木健康或活力監測方面尚在啓蒙階段，雖已有研究報告初步涉及（陳子英和王兆桓，2001；呂坤旺等，2002），但其尚未包括前述重要的樹冠變數。因此近程的研究應以檢核監測所需的技術為主，尤其是有關樹冠變數的測量與評估，以便建立林木健康指標現況的基準線；中程研究目標則以評估監測所需的技術為主，針對健康指標異常變化的林木，再進一步調查研究其嚴重程度，及是否有快速衰退而需要特別關注的情形；長程研究目標則以集約監測所需的技術為主，針對各區域異常變化嚴重的林木，建立一個跨越區域的網絡，結合氣候、土壤、酸雨等環境因子，研究與其變化要素相關的生態程序。本研究將以樹冠狀況的變數為分析的重點，透過量化與可實測的調查項目，建立目前老熟檜木巨木健康指標的基準線，並進行評估個別林木的健康現況，以提供經營單位在管理上的參考。

(一)試驗地概述

世界上檜木屬(*Chamaecyparis*)的植物共有六種，其中台灣原產一種及一變種，主要有紅檜(*Chamaecyparis formosensis*)與台灣扁柏(*Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*)，均為樹幹巨大之喬木，居東亞針葉樹的巨木之一，同時也是台灣針葉

採而一併伐採闊葉樹。園區內次生紅檜原為天然下種，惟因園區內的母樹為老齡木，故改以人工紅檜造林，林相整理後，台灣擦樹增加。

(二)調查方法與項目

1. 單木測量

單木的生長活力通常依序反應在 (1) 冠層 (2) 高生長 (3) 直徑生長，本研究主要的測量變數將以樹冠、樹高、胸徑為主，另外包括老熟木之枝葉枯死狀況、林木損傷(damage)程度及存活記錄，測量變數詳述如下。

(1) 胸高直徑(DBH)：

胸徑為立木關鍵性之變數，也是森林生長與枯死模式中最基本的解釋變數之一，可用來描述林分結構狀況。胸高直徑總生長量與林齡所形成之生長曲線(growth curve)，其幼齡木生長速度較老熟木快且變化明顯，幼、壯時期的林木，直徑生長量可作為林木健康指標的重要解釋變數，而老熟木的年直徑生長量很小，不易測得精確數值，故不適合直接做為林木健康指標。不過可利用直徑與樹高或冠幅的比值查看林木是否有特殊異常狀況。

(2) 樹高(H)：

樹高常是林木材積推算的最重要因子之一，但精確地測計樹高是件費時且艱鉅的工作。利用雷射測距儀配合測高桿，直接測定死全高（含頂枯的高度）和活全高(不含頂枯的高度)。檜木根盤甚淺，樹梢及枝梢又極易遭受風害，逐漸影響林木之樹高生長與衰退，根據調查之樹高基本資料可作為另一項重要變數，且藉由H與DBH的比值查看是否有特殊值以偵測異常狀況。

(3) 枝下高(HCB)：

由枝下高間接可測得樹冠比(live crown ratio)資料，推測林木健康程度。愈健康的林木，其與樹冠比呈正相關。

(4) 樹冠狀態(crown condition)：

樹冠為林木淨生產力主要構成要素之一，其空間結構易反映一般林木健康。寬大、鬱閉的冠層與潛在或早期林木生長活力息息相關；狹小、稀疏的樹冠則反映出立地(site)和弊情形(例如林木競爭、水分壓力)或其他蟲害落葉、植物病害的結果。林木樹冠的資訊更提供許多關鍵森林生態系生物歧異度(biodiversity)、生產力(productivity)、永續性(sustainability)、森林美學(aesthetics)、森林環境(forest environment)和野生動物(wildlife)等屬性的調查(USDA Forest Service, 2002a)。成熟期樹冠生長勢強容易測得冠層生長量，老熟木則難看出活力的強度，但容易看出衰退的現象，偵測冠層衰退是重要的關鍵。林木樹冠狀態由樹冠直徑、活冠比、樹冠密度、樹冠透視度、樹冠梢枯五個重要變數所評估。

a. 樹冠直徑(樹冠幅，crown diameter)

立木之樹冠直徑為量測林分密度變化的主要因子，為方向垂直的兩個冠幅之平均直徑，且其中一個冠幅為樹冠的最長冠幅(USDA Forest Service, 2002a；Leininger, 2002)。實務上，可以林木上坡左側依序量測樹冠距林木中心點四個方向的長度。

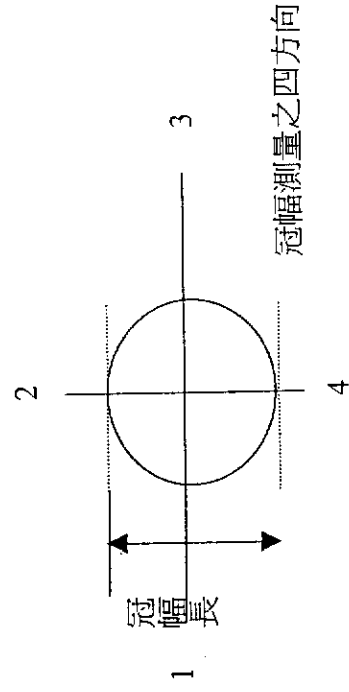


圖 2：冠幅測量之四個方向

b. 活冠比(live crown ration)

為活冠長佔全樹高生長的比率(USDA Forest Service, 2002a；

Leininger, 2002), 由枝下高間接可測得樹冠比(live crown ratio)推測林木健康程度。此變數易顯現出林木活力且可間接瞭解胸徑生長。

c. 樹冠密度(crown density)

為光線無法穿透部分之樹冠面積的百分比，包括林木側枝(tree branch)、主幹(main stems)，以及樹冠葉子部分(USDA Forest Service, 2002b; Leininger, 2002; Koch et al., 2001; Metzger and Oren, 2001; Rogers et al., 2001; Strand, 1996)，亦有稱作葉密度(foliage density)。如圖 3 所示，樹冠密度即一維向度(one-dimensional)中全樹冠視域之林木側枝和葉子的面積百分比。樹冠密度常與直徑生長(radial growth)有關，為林木活力的另一指標。

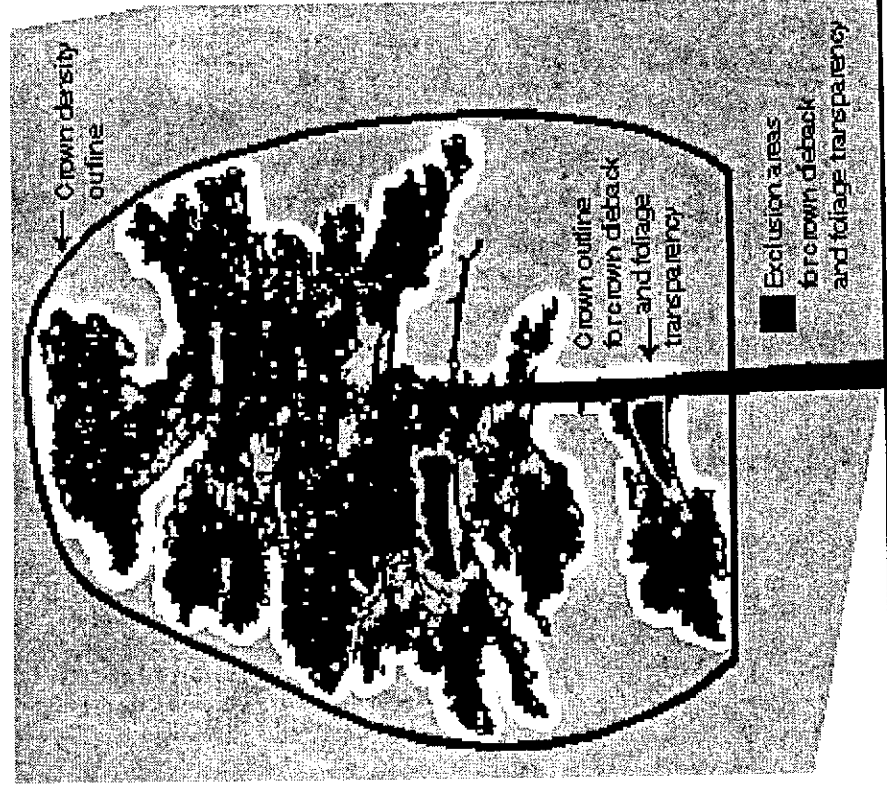


圖 3：樹冠狀態判定準則依據，資料來源：Conkling 和 Byers (1993)

d. 樹冠透視度 (crown transparency)

觀測方式類似於樹冠密度，如圖 3 所示，為活樹冠、正常有葉子透光部分的百分比，扣除林木側枝(tree branch)和主幹(main stems) (USDA Forest Service, 2002b; Leininger, 2002; Cumming, 2001; Kohl et al., 2001; Metzger and Oren, 2001; Rogers et al., 2001)。因此樹冠透視度並非為樹冠密度的補數，兩者加起來並非百分之百，而樹冠透視度與林木活力有強烈的關聯性(Gertner and Kohl, 1995)。美國國家森林生態系健康的監測，對於樹冠透視度的測量現無直接由儀器測量，採取視覺觀測對照標準照片(standard photographs)以平均值進行估算(Kohl et al., 1994)。人為的主觀性造成的測量誤差已有許多研究報告探討(Gertner and Kohl, 1995; Metzger and Oren, 2001)，但目前實際技術並無精確的測定方法。樹冠密度與樹冠透視度兩者測量困難度高且準確性不穩定，調查人員於野外調查前應做充分的訓練，以獲得較穩定的判定值。

e. 樹冠梢枯(crown dieback)

樹冠枝梢死亡比率之測量，發生於橫向枝梢末端持續朝向樹幹或由樹頂向下縱向的枯死，常出現在樹冠上半部(upper portions)和外部(outer portions)(USDA Forest Service, 2002b; Koch et al., 2001; Rogers et al., 2001; Alexander and Palmer, 1999; Walters et al., 1997)。林木梢枯(dieback)狀態是林木衰退徵兆敘述的最佳特徵(Renaud and Mauffette, 1991)，最簡單、容易了解且為視覺評定的指標之一(Alexander and Palmer, 1999)。林木梢枯(dieback)狀態是由於根部系統受損，缺乏水分或遭受病蟲害，造成樹冠蓄積量的減少導致枝條枯死、異常的葉子變色、異常的葉子大小和形狀、以及提早落葉(Ling and Ashmore, 1999)。

f. 樹冠形狀(crown form)：

本研究利用雷射測距儀由量測樹幹高度和直徑以及樹冠幅寬度，描繪出平面樹冠面積與樹冠形狀，亦可求算出樹冠梢枯比率。

(5) 視覺辨識輔助變數：

森林健康普遍使用的指標是視覺判定(visual estimators)，樹冠判釋較其他視覺指標已被廣泛地使用(Alexander and Palmer, 1999；Dwyer et al., 1995)。葉(leave)、樹枝(branches)、樹幹(stems)和根(roots)的視覺調查(visual inspections)可顯現出林木遭受壓力所反應出來的指標(Cumming et al., 2001)。野外調查講求簡化與效率，視覺辨識為另一輔助工具，觀測變數包括存活與否、根部裸露損傷程度、樹皮損傷程度(枝下高以下分為上下兩部分)、枝梢枯萎百分比、葉子顏色、葉子掉落百分比、有無新葉、以及樹幹白化狀況。其受損程度分為八等級，等級程度以 0：無；1：1~10%；2：11~25%；3：26~50%；4：51~75%；5：76~90%；6：91~100% 以及 7：100%。

a. 存活：0 代表存活，1 代表自然死亡，2 代表雷擊死亡，3 代表瀕臨死亡。

b. 根部：0 為正常無損傷；1 為根部裸露但無害，2 為裸根且有害；並記錄樹幹基部的根部裸露與受害程度，測量方式以 360 度的百分比為基準。

c. 樹幹覆蓋程度：將枝下高以下的樹幹分為上下兩段，每段各為 100% 計算。

d. 枝梢枯萎百分比：0 為無枯萎；1 為全部枝條末梢 1~10% 枯萎，2 為枯萎 11~25%，以此類推共分八等級。

e. 葉子顏色：以 RGB 的 G 值來表示綠色的程度，G 值越小顏色越深。但尤於巨木的樹冠很高，很難進行葉的比色，故粗略以 0 代表深綠 (RGB ≤ [0,100,0])，1 代表退色 (RGB > [0,100,0])。

f. 葉子掉落：0 為無掉落；1 為全部葉子 1~10% 掉落，依據八等級進行觀測。

g. 有無新葉：1 代表有新葉，2 代表無新葉。

h. 樹幹白化：白化程度 0 為無白化；1 為樹幹 1~10% 白化，2 為 11~25%，以

此類推共分八等級。

2. 林木競爭指數調查

林木的競爭也是造成生長衰退的主要因素之一，因此為探討林木本身是否有無競爭問題，進行周圍林木調查，推算出周圍其他林木對單株檜木巨木的競爭指數(Competition Index, CI)。本研究採用 Hegyi 所提出的距離相依之競爭指標公式：

$$CI = \sum_{j=1}^n \left(\frac{D_j}{D_i} * \frac{1}{L_{ij}} \right);$$
 其中， D_j 為競爭木胸高直徑、 D_i 為主體木胸高直徑、 L_{ij} 為競

爭木與主體木間之距離。表示當競爭木的胸高直徑愈大，競爭木與主體木間愈短，對主體木所造成壓力愈大，且將競爭指數分為所有樹種競爭指數及非檜木樹種的競爭指數。調查方式採用修正型的水平樣點取樣法，以單株巨木作為樣區的測量中心點，BAF 設為 $4 \text{ m}^2/\text{ha}$ ，而最大取樣半徑設為 25m ，在最大半徑內針對大徑木做變動樣點取樣調查，利用 Relaskop、雷射測距儀與胸徑尺測出範圍內立木是否為樣木；並設立半徑為 5 公尺的小樣區，在此固定樣區內針對小徑木做取樣調查(王兆桓，2001)。該研究以棲蘭山 160 綠林道旁天然檜木林 1ha 永久樣區內的林木計算相當於 0.1ha 固定樣區時，樣點取樣法所需採用的 BAF 值約為 $3\sim 6\text{m}^2/\text{ha}$ ，而在此範圍內 Relaskop 以 $\text{BAF}=4 \text{ m}^2/\text{ha}$ 最易於使用，故採用此值以增加工作效率。測量林木之胸徑、樹高、枝下高、樹種及與中心木之距離；在最小半徑 5 公尺範圍內，測量所有針葉樹胸徑 5 公分以上($5\sim 20\text{cm}$)以及胸徑 10 公分以上闊葉樹($10\sim 20\text{cm}$)樣木並記錄編號。在最大半徑 25 公尺範圍內，以 $\text{BAF}=4 \text{ m}^2/\text{ha}$ 的樣點取樣法選取 20cm 以上的樣木，當不確定調查的林木是否為樣木時，利用雷射測距儀與胸徑尺測量林木至中心點之水平距和此林木的 DBH 進行推算，以便判斷其是否為樣木。

(三)分析方法

健康是一個抽象的構念，較難去直接測量，因此調查人員常常依據學理和經驗去測量許許多多的與健康有關的變數，但是卻因為這些變數間的關係錯綜複

雜，很難直接由測量變數中客觀地分出健康的等級。本研究應用因素分析與鑑別分析，建構老熟檜木的健康指標以協助評等，並建立鑑別函數協助健康狀況的預測，其分析流程如圖 4 所示。

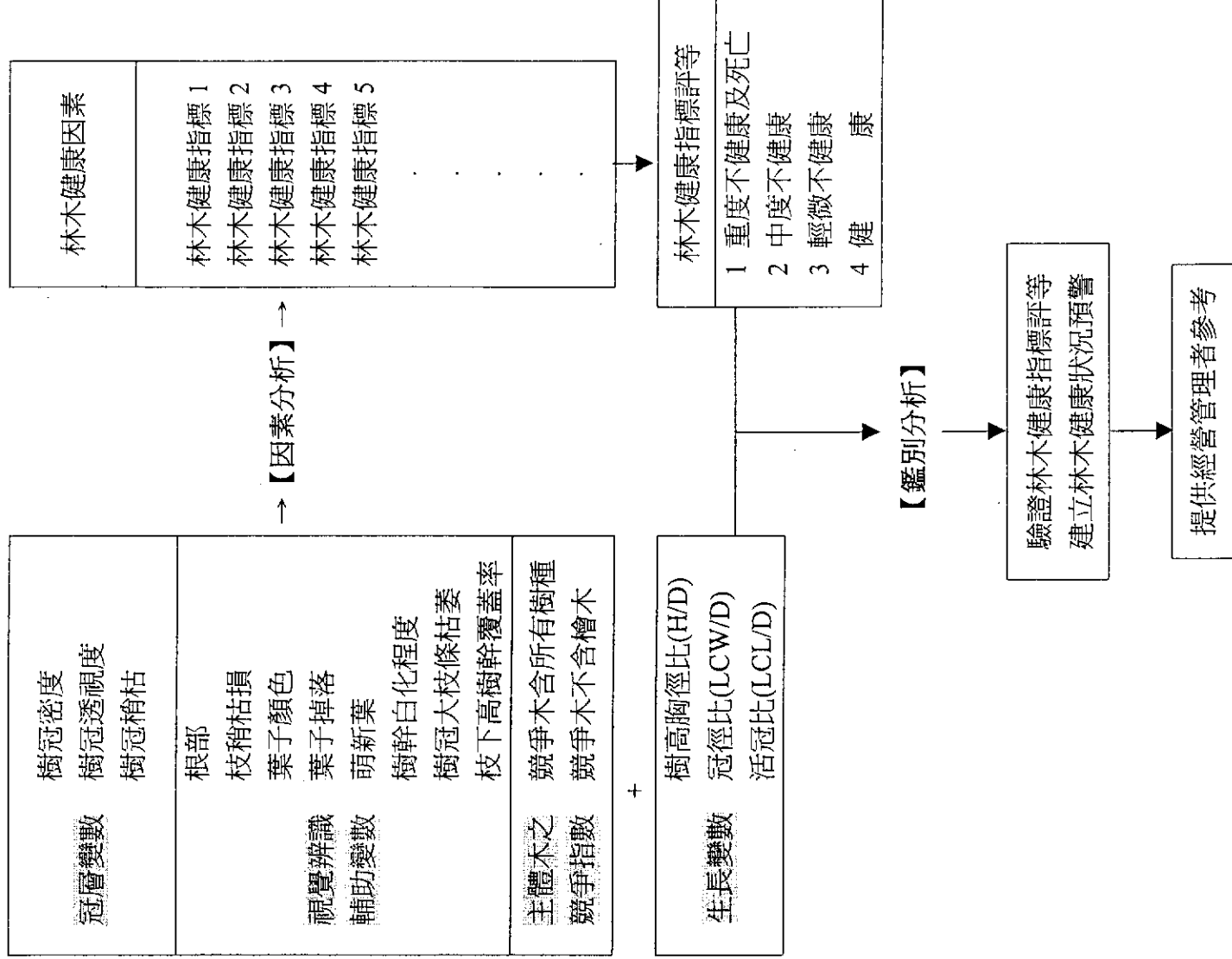


圖 4：老熟檜木健康指標評估方法之流程圖

1. 因素分析(factor analysis)

因素分析的目的是希望能夠降低變數的數目，在一群具有相關性的資料中，找出幾個影響原始資料的共同因素。在本研究數個變數中可能某幾個變數彼此間的相關係數高，而事實上會影響這些變數觀測值的結果，很可能是其背後看不到的某些共同原因所造成的。由彼此相關的變數中捕捉其背後真正影響結果的主要因素，即抽取變項中的共同因素，屬於探索性因素分析(exploratory factor analysis)。

可使用 SAS 統計套裝軟體，選擇欲分析的變數，並準備相關矩陣以估計共通性。共通性估計方法常用的有最高相關係數法(PRIOS=MAX)、複相關係數平方法(PRIOS=SMC)及反覆因素抽取法。依據保留特徵值 λ 大於 1 的共同因素、特徵值大於 0 的共同因素或在抽取之因素能解釋 75% 之變異量以決定因素的數目。從相關矩陣中抽取共同因素，可利用主成分法(PCA, Principal Components)、主軸法(PF, Principal Factors)或最大概似法(Maximum likelihood)進行；另外可加以轉軸增加變項與因素之間關係的解釋，轉軸的原則使經過轉軸後的因素矩陣中每一個變數都只歸屬於一個或少數幾個因素上，使矩陣中 0 或接近 0 的因素負荷量(loading)增多，以減少因素的複雜性，使因素的解釋由繁雜趨向簡單，以突顯變數與潛在因素間之關係。最常用的轉軸方法為最大變異數法(Varimax)和最佳斜交法(Promax)，並以正交先進行轉軸其後再考慮斜交方式，如表 1 所示。

表 1：因素分析轉軸法

轉軸方法	類型
最大變異數法(Varimax)	正交(orthogonal) \checkmark
四次方最大值轉換法(Quartimax)	正交(orthogonal)
平衡最大值座標轉換法(EqualMax)	正交(orthogonal)
最佳斜交法(Promax)	斜交(Oblique) \checkmark
四次方最小值轉換法(Quartimin)	斜交(Oblique)

因素分析包括潛在因素之命名、潛在結構之繪製、因素相關之探討、因素分數之計算。實務上，因素分析可應用於林木健康型態之萃取，形成健康指標之準則變數。林木健康型態為一抽象的構念，須以各種變數加以衡量，本研究將以生長活力之衡量變數為主，捕捉具有代表性之健康型態因素，從而瞭解林木健康狀況。

2. 鑑別分析(discriminant analysis)

林木健康與否屬於分類性反應變數，利用鑑別分析探討哪些因子會影響棲蘭山檜木老熟林的健康，找出造成林木死亡(dead)、衰退(decline)的相關變數，衡量老熟木活力之鑑別力，建構鑑別函數監控現有林木死亡的風險，接續預測未來潛在老熟木死亡的機率。

鑑別分析始於 R.A. Fisher，其後廣泛應用於各研究領域，係探討單一分類性反應變數(A)對多個分析性解釋變數(X_1, X_2, \dots, X_k)間函數關係之統計分析模式，以其估測事件的發生機率，函數關係如下所示。

$$A = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$$

$$A : \text{檜木林木健康與否}, \quad A = \begin{cases} 1 & \text{重度不健康及死亡} \\ 2 & \text{中度不健康} \\ 3 & \text{輕微不健康} \\ 4 & \text{健康} \end{cases}$$

$x_1 \dots x_k$: k 個分析性解釋變數

式中，A 為反應變量，屬於人為判釋實際歸類(actual classification)，進而推測各觀測樣木之鑑別函數、鑑別機率與預測歸類(predicted classification)。鑑別分析目的是用圖形或代數方式描述組別之差異的特性，以尋找一組區別函數使組間差異相對組內差異極大化。估計鑑別函數，由函數探討反應變量與解釋變數間之關係，並預測事件發生率，由鑑別函數求得反應變量應有的歸類，用於產生樣本內預測，評估出模式之良窳及樣本外預測探討觀察值最適的歸類。鑑別分析目的為檢定與

預測，包括數種鑑別法，如費雪(R. A. Fisher)法、正典鑑別法(CANDISC, CANONICAL DISCRIMINANT ANALYSIS)、默氏(Mahalanobis)法。其中，費雪法只適用於鑑別分析概念之了解，缺乏嚴謹的假說檢定，且無法產生鑑別函數來預測；正典鑑別法是以解釋變數與反應變量間之正點相關極大化所構成正典鑑別函數，可以用來衡量個別解釋變數之鑑別力，選出最顯著解釋力之變數；默氏法可進行樣本內與樣本外預測。鑑別分析可以建構配適度與預測正確率皆高之鑑別函數，藉以預測個案在反應變量所屬組別，在實務上，則多運用默氏法建構鑑別函數，再以正典鑑別法探討模式之配適度及解釋變數之鑑別力，最後再用默氏法計算預測正確率。預測正確率達 60%以上之鑑別函數，才用來進行樣本外預測，預測結果則為決策擬定之依據。正典鑑別法運用正典相關分析之概念，構建正典鑑別函數及單、多變量之檢定統計量，不僅可以衡量個別解釋變數的鑑別力，以得知其影響程度，亦可進行變數之檢定；運用默氏法所得之預測最為準確。正典鑑別法無法產生機率進行預測，但默氏法卻也無法衡量個別解釋變數之鑑別力。因此兩者相輔相成，先以正典鑑別分析法衡量個別解釋變數之鑑別力，再以默氏法由鑑別力顯著者中構建鑑別機率函數。觀測資料為構建鑑別函數之依據，藉由鑑別函數取得樣本之預測歸類，而此估計樣本預測為樣本內預測，是評估鑑別函數配適度的依據。可應用鑑別分析建立一套林木健康預警系統，此一預警系統可針對快速衰退的林木提出預警，提供經營者管理是否採取防護措施之參考，以降低老熟木快速衰退與死亡的風險。

三、結果與討論

(一) 調查資料之敘述統計分析

棲蘭山歷代神木園 51 株神木調查之基本統計資料如 2 所示，平均胸徑約 222cm，(5)號神木為園區內最大之神木，胸徑高達 430cm；平均樹冠直徑為 15.9m，最大冠幅達 25m。

表2：單木樣木數及其胸徑、樹高、樹高與胸徑比值、枝下高和樹冠直徑的全距
Table 2: The number of sample trees and the range of DBH, height, H/D, HCB and crown diameter

變數	樣木數	平均	全距	標準差
胸徑(cm)	51	222.15	100.0-429.7	73.98
樹高(死全高, m)	51	31.69	18.4- 43.9	4.99
樹高(活全高, m)	51	29.59	0.0- 43.9	7.64
枝下高(m)	51	10.29	2.8- 17.9	3.76
樹冠直徑(m)	51	15.78	0.0- 25.1	4.95
樹高與胸徑比值(H/D)	51	14.69	0.0- 25.1	5.39

圖 5 顯示神木樹齡以 500~2000 年眾多，年齡最老為 (6) 號神木。在徑級分佈部分，圖 6 顯示出神木的胸徑皆大於 100cm，且以 151~250cm 的神木居多。參究森林保育處棲蘭山神木園區 1989 年調查資料，本研究胸徑調查值較大，推測是由於保育處調查依據檢尺方式於上坡測量最長長度之胸徑，而此次調查使用胸徑尺環繞樣木量測，其量測標準不同，且為保持現況並無大肆清除附生植物與藤類，故有測量上的差異。另外有 1、2 株神木因地勢險惡，無法使用胸徑尺測量，改以雷射測距儀直接量測。

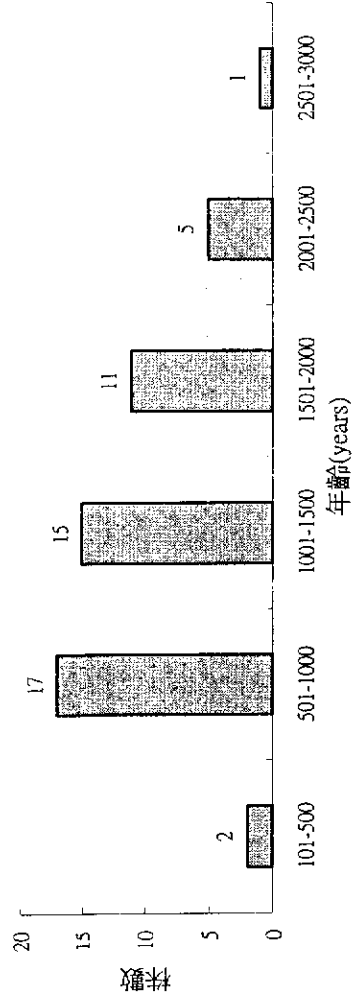


圖 5：神木樹齡之株數分佈圖

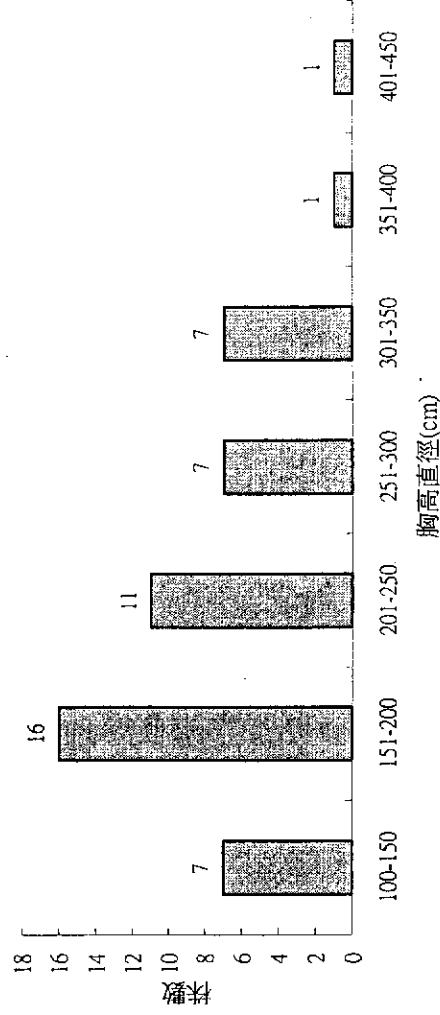


圖 6：胸高直徑之株數分佈圖

另外樹高部分有量測死全高和活全高兩個樹高值，由於(7)號和(45)號兩株神木其樹冠枯死情形較為嚴重，所測得的活全高都低於10m，而(16)號更是整株神木死亡，其活全高等於0m，但大多數神木樹高皆分佈在20~40m(如圖7)。近年來測高儀器發展快速，測量精密度比早期儀器精確，降低了測量誤差，致使此次調查樹高值大部分小於先前的調查。

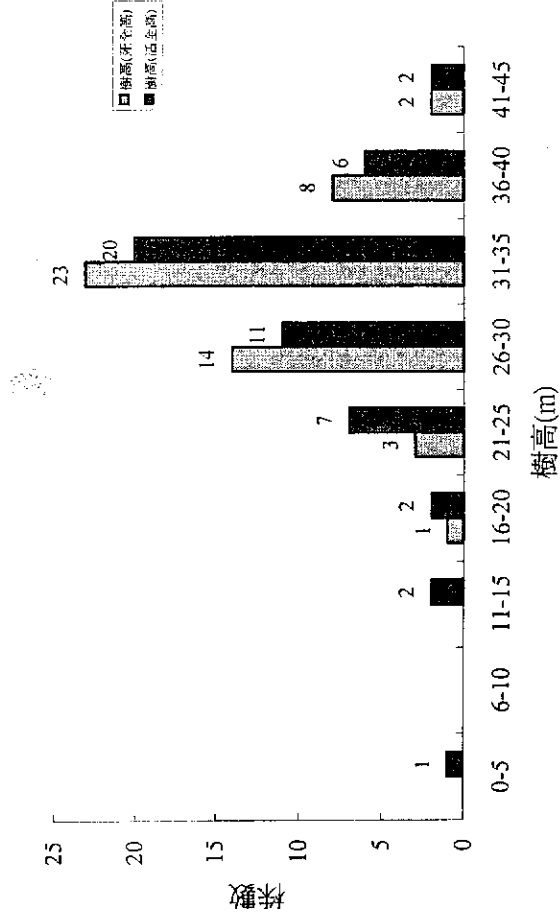


圖 7: 樹高之株數分佈圖

圖 8 顯示出 51 株神木存活狀態，其中 (16) 號神木根據樹冠狀態與視覺辨識變數，已判定為死亡，因現場調查無雷擊痕跡，將其歸類為自然死亡，原因尚且不明。瀕臨死亡的神木為 (7) 號與 (45) 號，兩者樹冠蓄積量大幅減少，但還有少許葉子矗立，(45) 號神木亦少量萌發新葉。

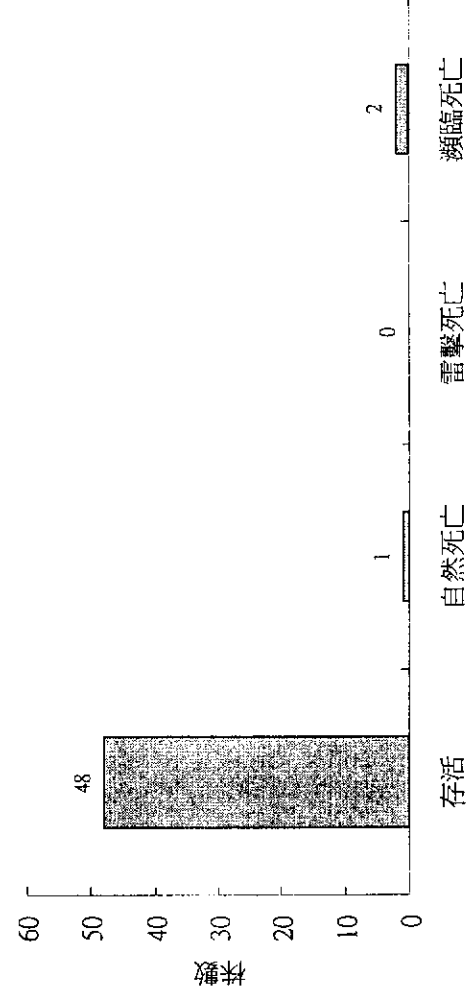


圖 8: 林木存亡之株數分佈圖

根部狀態方面，如圖 9 所示，有 10 株神木屬於正常且無裸根，裸根百分比以 1%~25% 占絕大多數；大部分的裸根是屬於無損傷的裸根，裸根有害僅 9 株神木，其中以 (14) 號神木根部受損較為嚴重達 25% 以上。

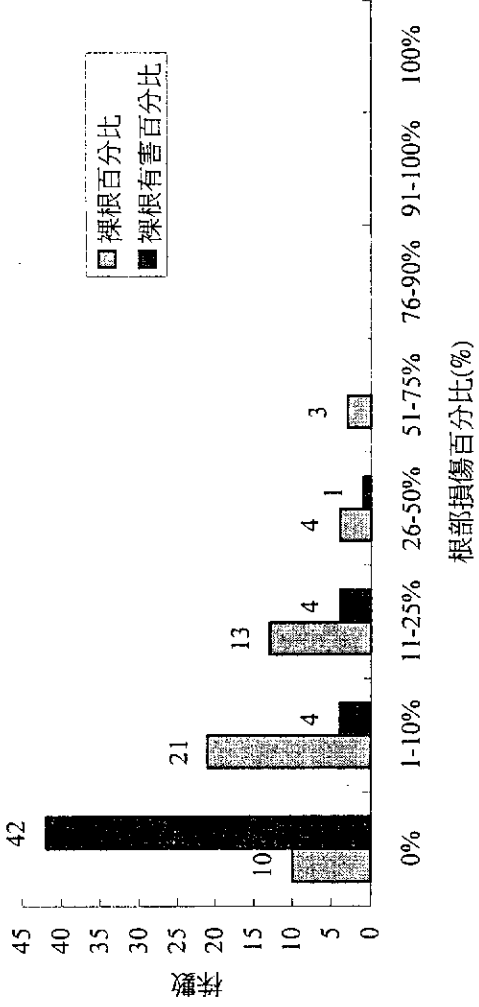


圖 9：根部損傷百分比之株數分佈圖

樹幹附生植物覆蓋方面，如圖 10 所示，將枝下高以下的樹幹分為上下兩段，每段各為 100% 計算，下半部附生植物覆蓋程度較上半部大，且多半低於 20%，有些樹皮受損是由於附生闊葉樹和藤類的纏繞所造成的。

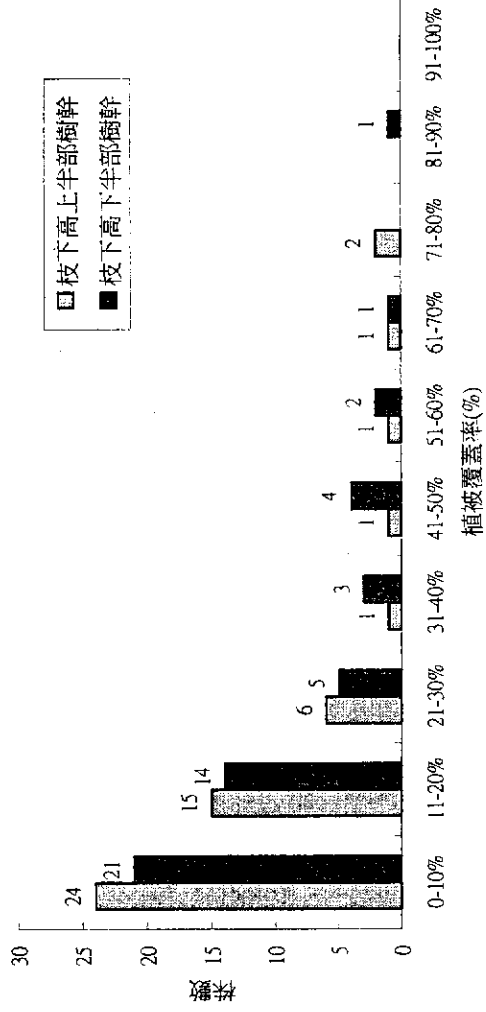


圖 10：樹幹附生植物覆蓋率之株數分佈圖

圖 11 顯示枝梢枯萎 1-10%佔絕大多數，判斷為瀕臨死亡之（7）號與（45）號兩株神木其枝梢枯萎達 90%以上，（16）號神木更是 100%的枝梢枯萎，存餘枯枝上的為闊葉樹之葉片。

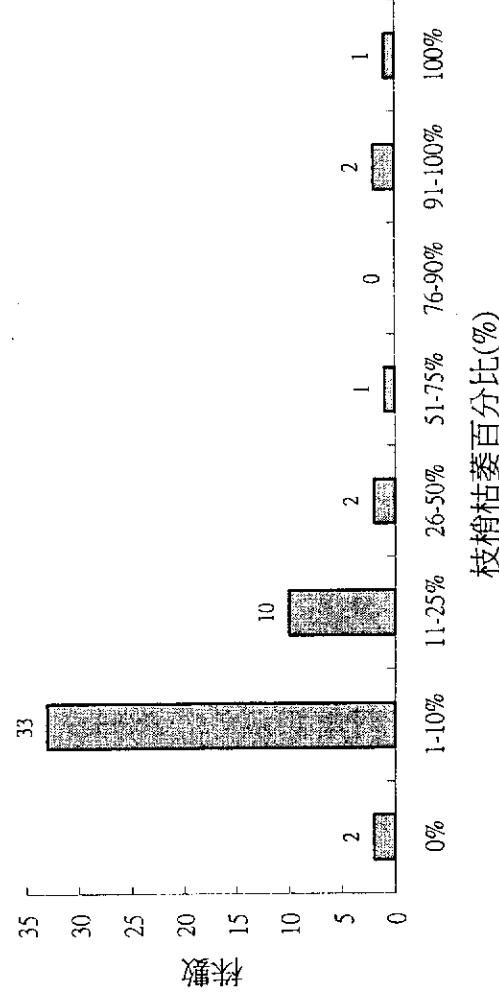


圖 11：枝梢枯萎百分比之株數分佈圖

圖 12 顯示樹冠大枝條枯萎比率，其中枯萎 0-10%佔絕大多數，判斷為瀕臨死亡之（7）號與（45）號兩株神木的樹冠大枝條枯萎比率達 90%以上，而已死亡的（16）號神木則設定其值為 100%，其餘神木的樹冠大枝條枯萎比率皆在 50%以

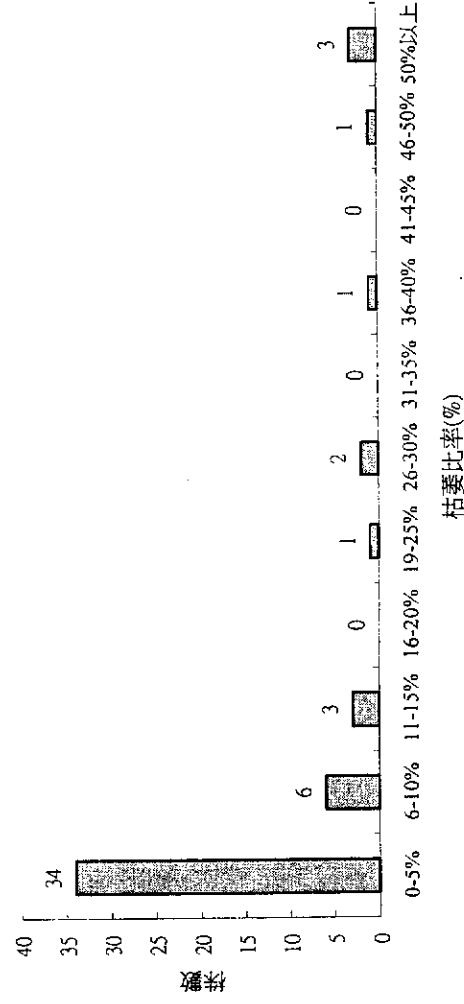


圖 12：樹冠大枝條枯萎比率之株數分佈圖

葉子掉落的程度與枝梢枯萎相呼應，異常的落葉可顯現出檜木巨木的健康狀況，大多數神木低於 50%，大於 50% 之神木則需加強關切。另外觀測中只有 (7) 號和 (16) 號神木無萌發新葉；像 (7) 號神木葉子已變為枯綠(RGB> [0,100,0])，顯示異常葉子變色的徵兆；(16) 號神木則是完全地落葉。檜木正常的葉子顏色呈現深綠色(RGB<= [0,100,0])，前端萌發新葉顏色較淡為淺綠色，整體還是以深綠色為主，葉子顏色正常的神木有 49 株，且都有萌發新葉。

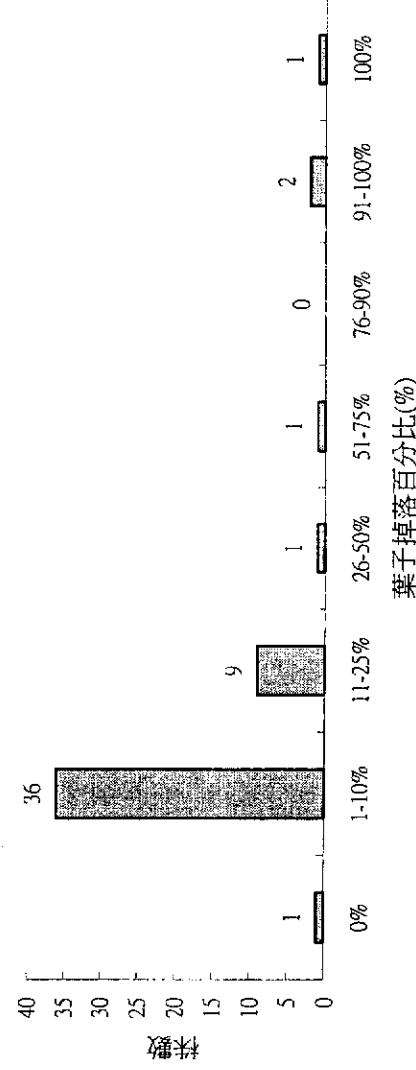


圖 13：葉子掉落百分比之株數分佈圖

樹幹白化是指樹幹頂端枯萎，養分、水分不足造成樹皮脫落，產生白化現象，常由樹幹頂端開始發生，因此大多數神木樹幹白化現象皆低於 50%，只有 (45) 號神木白化較為嚴重。

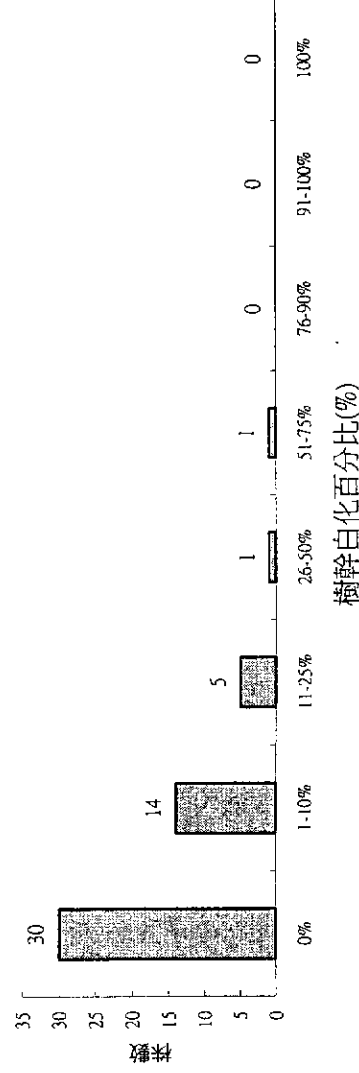


圖 14：樹幹白化百分比之株數分佈圖

(二) 因素分析

因素分析應用於林木健康型態因素之萃取，形成健康型態之準則。林木健康係一抽象概念，須以不同的變數加以衡量，依據歐洲與北美 FHM 在評估林木健康所使用的變數是以冠層變數為主，再加入一般化視覺辨識及林木競爭變數為衡量變數，捕捉出具代表性影響因素。國內外相關文獻目前尚未有評估林木健康分析法的提出，僅以描述性統計資料粗略判定。在研究尚在啓蒙階段時期，模式尚在發展中，不確定的因果關係則採用探索性因素分析(exploratory factor analysis)來逐步建構。

1. 因素之抽取

探索性因素分析可以使用主成份法(Principal Component Analysis)與主軸法(principal Factors) 兩種因素抽取方法，而在實務上主要是以主軸法進行抽取。共通性估計方法對應主軸法採用複相關係數平方法(PRIOS=SMC)，在抽取之因素能解釋 75%之變異量後，繼續抽取之因素對變異量之解釋少於 5%，則不予以選取。結果如表 3 所示，選取了 5 個因素。

表 3. 因素個數抽取

因素個數	Eigenvalue	Difference	Proportion	Cumulative
1	7.1856	5.0616	0.5696	0.5696
2	2.1240	0.4948	0.1684	0.7379
3	1.6292	0.6843	0.1291	0.8671
4	0.9449	0.1204	0.0749	0.9419
5	0.8245	0.6966	0.0654	1.0073
6	0.1279	0.0639	0.0101	1.0174
.....				

在共同性估算方面，除了裸根等級與樹冠密度變數外，其他所有變數之共同性皆高於 0.6，即共同高之變數，潛伏因素之變異量解釋力高；且共同性的總和為

12.71，佔總變異的 85%(12.71/15)。說明了這五個林木健康型態因素之解釋力相當高，足以代表 15 個林木健康型態變數。

另外以最佳斜交法(Promax)轉軸增加變項與因素之間關係的解釋，轉軸的原則使經過轉軸後的因素矩陣中每一個變數都只歸屬於一個或少數幾個因素上，使矩陣中 0 或接近 0 的因素負荷量(loading)增多，以減少因素的複雜性，使因素的解釋由繁雜趨向簡單，以突顯變數與潛在因素間之關係。實證結果如表 4 顯示，五個林木健康因素，即可代表原始的 15 個林木健康型態變數，並加以命名。

表 4：轉軸後因素結構矩陣

	Factor1 葉子活力衰退 指數	Factor2 樹冠損傷指數	Factor3 林木競爭指數	Factor4 樹幹附生植物 覆蓋指數	Factor5 根部損傷指數
萌新葉	0.81974	-0.05763	-0.01482	-0.01122	-0.04647
葉子顏色	0.77401	-0.05314	-0.00924	-0.01058	0.02102
樹冠透視度	0.69439	0.10244	-0.06191	0.08531	-0.03763
梢枯	0.66330	0.15756	0.03079	-0.04703	0.00942
枝梢枯損	0.25000	0.55096	-0.02686	0.03895	0.01156
葉子掉落	0.27074	0.52939	-0.00382	0.03776	0.05860
樹幹白化程度	-0.16122	0.78827	-0.04278	0.05835	-0.06685
樹冠密度	-0.16913	-0.43268	-0.11260	-0.01110	-0.03734
樹冠大枝條枯萎	0.23864	0.57951	0.03309	-0.09827	0.00685
所有樹種競爭指數	-0.01902	-0.00539	0.95854	0.03900	-0.02976
非檜木競爭指數	-0.01021	0.02464	0.95726	-0.03138	-0.02766
枝下高樹幹 上半部覆蓋率	-0.02459	0.08194	-0.17075	0.80063	-0.07156
枝下高樹幹 下半部覆蓋率	0.04224	-0.04271	0.25322	0.72237	0.11263
裸根等級	-0.01897	-0.10950	-0.07793	0.11311	0.70074
裸根有害等級	-0.01329	0.16264	0.00434	-0.10044	0.69955

2.因素之命名

依據因素結構矩陣進行因素命名，林木健康型態因素如下列所示：

(1) 葉子活力衰退指數

萌新葉、樹冠梢枯、樹冠透視度、葉子顏色等變數為葉子活力的展現；萌新葉的判定最為明顯且易辨識，因此共同性值也高達 0.98，對潛伏因素之變異量解釋力相當高。葉子顏色粗略以紅藍綠 RGB 的 G 值來進行葉的比色，更容易表現出的葉子活力，共同性略低於其他三個變數。樹冠透視度為活樹冠、正常有“葉子”透光部分的百分比，扣除林木側枝和主幹部分，與林木活力有強烈的關聯性，樹冠透視度愈低，葉子生長活力旺盛愈為健康。樹冠梢枯比率之測量，常出現在樹冠上半部和外部之橫向枝梢末端持續朝向樹幹或由樹頂向下縱向的枯死，造成樹冠蓄積量的減少導致枝條枯死、異常葉子變色、葉子大小和形狀及提早落葉情形，活力下降甚至衰退死亡，其共同性解釋力僅次於萌新葉之變數。

(2) 樹冠損傷指數

樹冠大枝條枯萎、葉子掉落、枝梢枯損、樹幹白化程度、樹冠密度可代表樹冠損傷程度；枝梢枯損和葉子掉落目前以樹冠整體比例觀測，枯萎與掉落比率愈高，樹冠破損愈多愈不健康。樹幹白化為老熟檜木衰退的獨特現象，當枝條枯萎，水分與養分逐漸喪失由樹冠上半部之樹幹產生樹皮脫落、白化的情形，但產生白化情形是須較長時間後才易察覺，在林木衰退初期並無法展現。樹冠密度包括林木側枝、主幹，以及樹冠葉子部分為光線無法穿透部分之樹冠面積的百分比，量測基準為一維向度中全樹冠視域之林木側枝和葉子的面積；由於樹冠密度亦包括枯死的枝、幹，與某些觀測變數屬性重覆，降低了共同性的解釋能力。樹冠大枝條枯萎是調查老熟檜木所察覺到的明顯特徵，可作為樹冠損傷另一辨認的變數。

(3) 林木競爭指數

林木間水分、養分、空間的競爭表現主要發生在林木樹冠或根部，偏重於有害方面的探討，在棲蘭老熟檜木部分更受到闊葉樹攀附於主幹的獨特競爭現象，

受到競爭壓力具有放大效果。因此利用林木競爭與生長間密切的關聯性，將競爭指數導入後，作為林木健康型態預測的效力。

(4) 樹幹附生植物覆蓋指數

枝下高以下樹幹分上、下兩個部份，覆蓋率各以 100%來計算，包括木本、草本、蕨類等植被覆蓋，但不代表覆蓋率愈高林木愈不健康，植被的覆蓋與周遭環境有關，以棲蘭神木園區為例，在容易起霧處之林木植被(草本、蕨類)的覆蓋率較高；木本的覆蓋率則是闊葉樹競爭的結果所造成的。

(5) 根部損傷指數

園區內主要樹種紅檜屬於淺根性林木，易有盤根、根部裸露及根張等情形產生，區內大部分林木根部裸露情形並不嚴重，且根部受損結果易反映在冠層上，造成共同性解釋力低。

3. 單指標之林木健康分級

利用單一林木健康指標的因素分數分佈圖，作為鑑別分析林木健康分級的依據。葉子活力衰退指數方面，分數愈高代表活力耗損愈大；在圖 15 中，(16) 號與 (7) 號神木的因素分數遠高於其他神木，葉子活力下降相當多甚至死亡。另外 (45) 號還有少數萌新葉的現象，因此在葉子活力衰退指數分級，實際分類先將 (16) 號與 (7) 號神木分類為第 1 級，代表重度不健康及死亡。

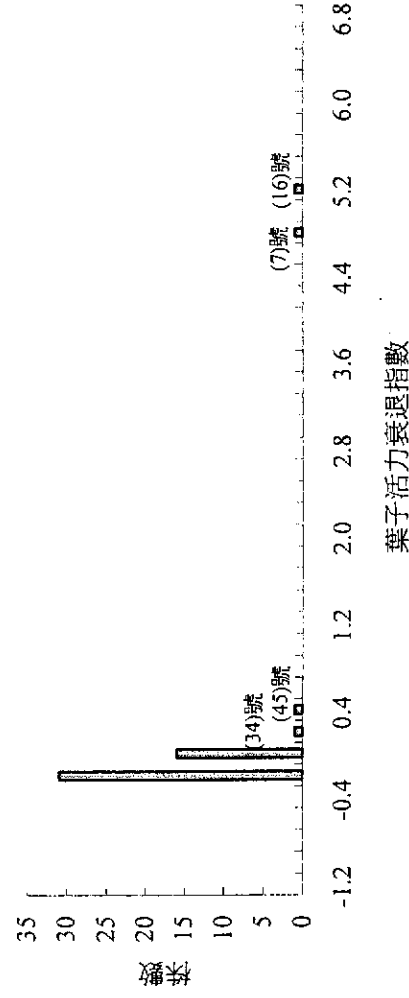


圖 15：葉子活力衰退指數之株數分佈圖

樹冠損傷指數分數，最高者(45)號神木，其後依序為(16)號、(7)號、(15)號及(8)號神木，分數愈高代表樹冠損傷愈大；分級上，(45)號神木與前述的(16)號與(7)號神木並列為第一級-重度不健康及死亡。

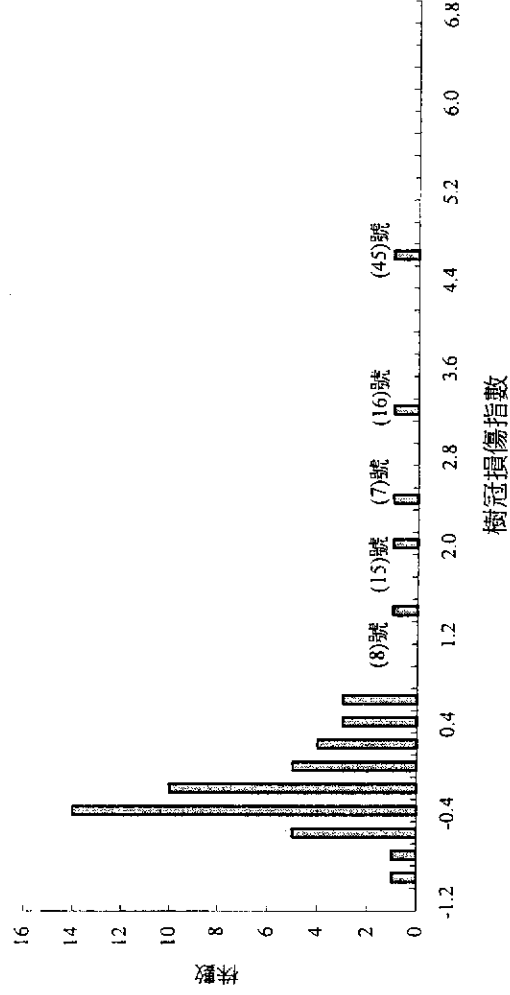


圖 16：樹冠損傷指數之株數分佈圖

(25)號神木與周圍闊葉樹競爭激烈，林木競爭指數分數最高，與其他神木差距相當大，但在前述的兩個因素中並無明顯受損情形，實際分類則將(25)號神木與(15)號併為第二級，代表中度不健康。目前建立的基準線以時間序列中的變化來評估其長期趨勢，林木競爭對於健康影響程度多寡尚不明確，可在後續連續調查中，再進一步進行調整森林健康指標。

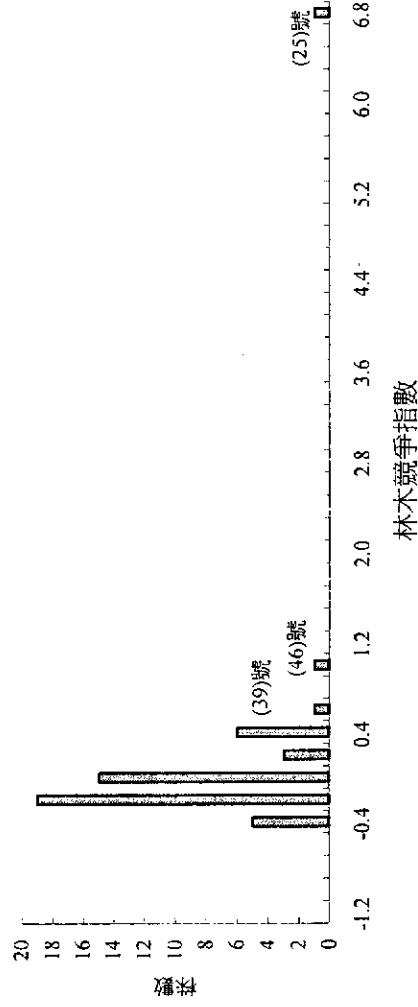


圖 17：林木競爭指數之株數分佈圖

樹幹覆蓋率指數和根部損傷指數相較於前三者解釋力稍低，因此僅輔助作為分級的依據；將其他明顯差異的神木列為第三級，代表輕微不健康，其餘歸類為第四級，代表健康的神木。

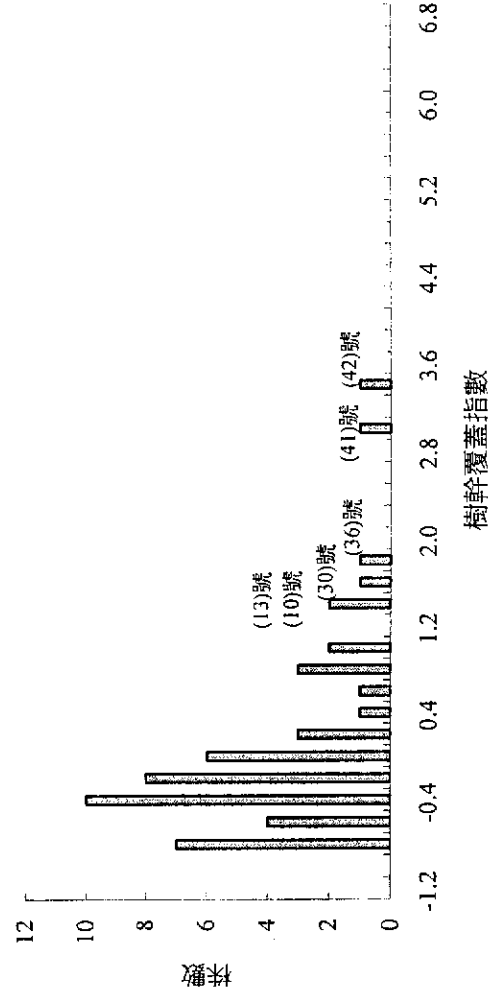


圖 18：樹幹附生植物覆蓋指數之株數分佈圖

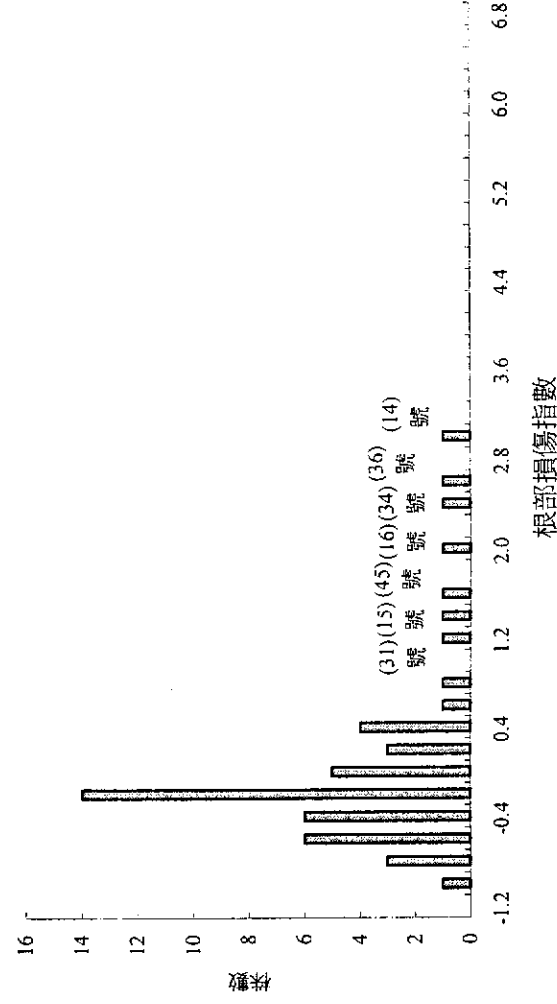


圖 19：樹幹附生植物覆蓋指數之株數分佈圖

4. 雙指標之林木健康分級

另外亦採用葉子活力衰退指數與樹冠損傷指數因素軸，區分出林木健康等級；由圖 20 中可知 (16) 號、(7) 號及 (45) 號神木偏離族群有相當大的距離，非常容易歸納出屬於第一級-重度不健康及死亡。由於 (16) 號、(7) 號和 (45) 號等特異值(outliner)的影響，致使圖 20 左下方的點過於集中，較難釐清，因此將特異值去除後以協助區分，結果如圖 21 所示。

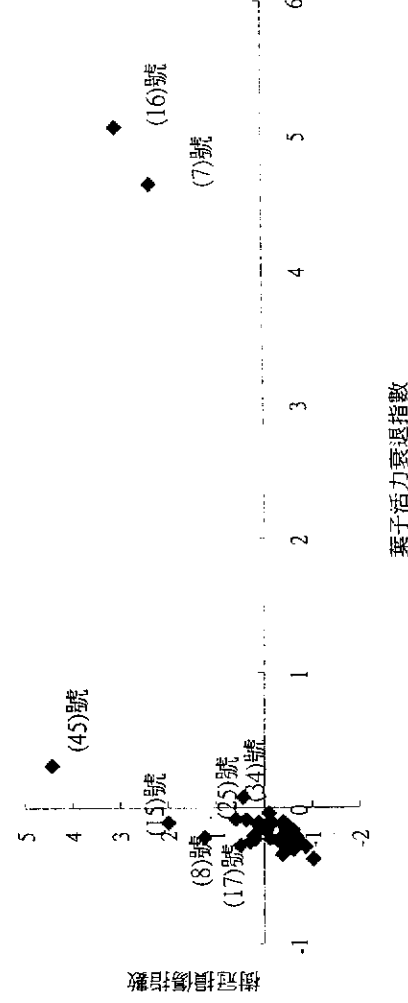


圖 20：葉子活力衰退指數與樹冠損傷指數因素軸

圖 21 中 (34) 號的葉子活力衰退指數分數值，明顯與其他神木有所區隔，而 (15)與(8)號樹冠損傷程度較為嚴重，在樹冠損傷指數因素軸有顯著的差異；另外所標示出的神木則遊走於第三級及第四級的模糊地帶，須以其他方式加以區別。

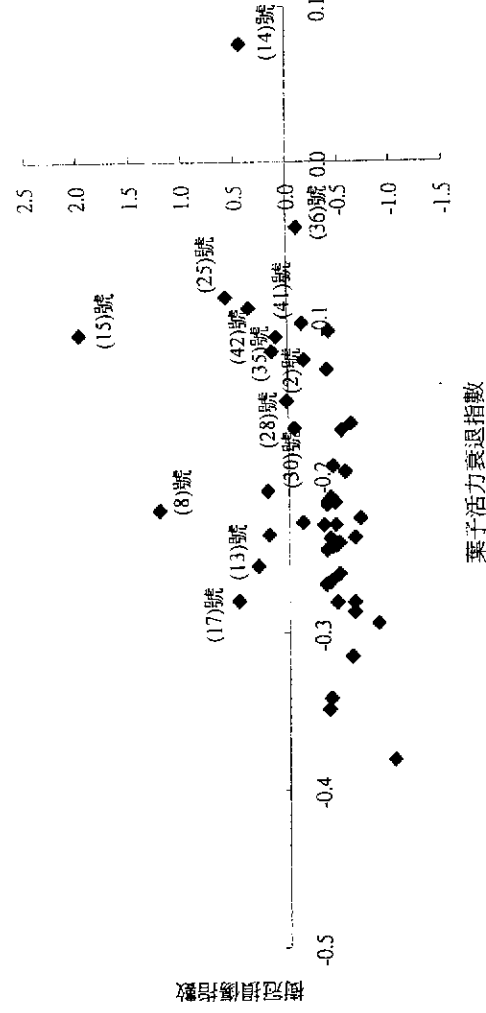


圖 21：葉子活力衰退指數與樹冠損傷指數因素軸細部圖

在圖 22 中，由林木競爭指數因素軸可以明確地區分出 (25) 號與其他神木有顯著的差異，葉子活力衰退指數因素軸則區隔 (16) 號、(7) 號神木，其餘再由加權因素分數詳加區別歸類。

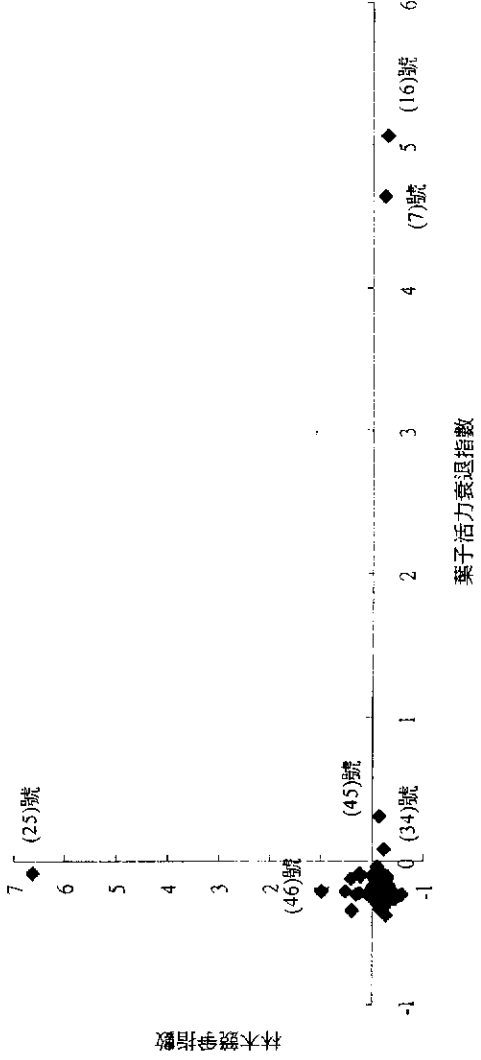


圖 22：葉子活力衰退指數與林木競爭指數因素軸

在圖 23 中，由林木競爭指數因素軸可以明確地區分出 (25) 號神木與其他神木有顯著的差異，由此兩項因素軸，暫將 (25) 號與 (15) 號神木列為第二級-中度不健康。

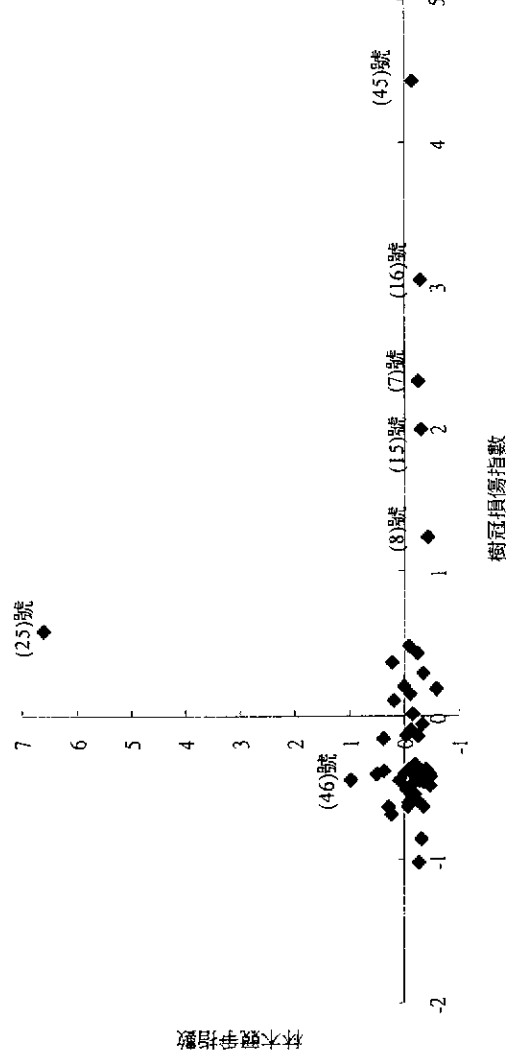


圖 23：樹冠損傷指數與林木競爭指數因素軸

5.綜合指標之林木健康分級

先前單一指標或雙指標的分級，對於差異不明顯的神木無法明確歸類，而且林木健康是一綜合表現的結果，不是一兩個指標就能夠代表；故將林木健康指數依據因素轉軸後的特徵值解釋量為權重，以加權方式計算加權因素分數，如表 5 所示。按加權因素分數排序，依據統計原理先將 3 個標準差(3s)外的樣木((16)號、(7)號、(45)號)剔除後，計算出其平均數和標準差值進行分級，所得結果如表 6 所示。

表 5：棲蘭老熟檜木林木健康因素指數之加權分數

權重 樹號	葉子活力	樹冠損傷	林木競爭	樹幹覆蓋	根部損傷指	加權因素
	指數	指數	指數	指數	數	分數
1	6.17710	5.80541	2.07291	1.51244	1.94868	-6.4944
2	-0.21880	-0.36753	-0.09552	-0.91923	-0.72915	-1.0940
3	-0.12670	-0.15447	0.39002	0.89950	-0.81259	-9.4819
4	-0.38094	-1.02136	-0.27098	-0.14787	-0.21247	-6.4631
5	-0.31527	-0.60252	-0.27623	-0.20119	-0.07230	-4.6366
6	-0.24049	-0.39750	-0.33444	-0.51601	0.32345	-4.0622
7	-0.23784	0.19136	-0.58342	-0.32337	-1.02918	40.3957
8	4.64179	2.32415	-0.24015	-0.39249	-0.34807	3.9748
9	-0.22196	1.23746	-0.41826	-0.01981	-0.48293	-5.3223
10	-0.23171	-0.33636	-0.19452	-0.50516	-0.39567	-2.9743
11	-0.13310	-0.37335	-0.29507	1.23713	-0.63844	-6.1471
12	-0.24590	-0.42205	-0.48623	-0.42139	-0.27338	-6.1779
13	-0.19454	-0.42270	-0.28112	-0.32713	-0.74140	0.7950
14	-0.25782	0.29535	-0.34141	1.31225	-0.30995	8.0573
15	0.07611	0.43506	-0.23846	-0.10155	2.92988	14.3421
16	-0.11005	1.98809	-0.28947	0.94999	1.35653	52.0680
17	5.06486	3.03734	-0.29767	0.13059	1.83118	1.9965
18	-0.27979	0.48502	-0.07957	0.67785	0.02501	-5.7762
19	-0.26970	-0.35640	-0.18994	-0.61047	-0.37160	-6.7899
20	-0.26782	-0.39875	-0.45366	-0.57710	-0.51697	-5.7595
21	-0.28083	-0.46344	-0.35859	-0.44477	0.04192	-6.3040
22	-0.24775	-0.36391	-0.24893	-0.58984	-0.64291	-5.3260
	-0.21676	-0.36986	-0.39834	-0.83659	0.12889	

表 5(續)：棲蘭老熟檜木林木健康因素指數之加權分數

權重	葉子活力		樹冠損傷		林木競爭		樹幹覆蓋		根部損傷指數		加權因素分數
	指數	指數	指數	指數	指數	指數	指數	指數	指數		
樹號	6.17710	5.80541	2.07291	1.51244	1.94868						
23	-0.26313	-0.48242	-0.46890	-0.65200	-0.34246						-7.0515
24	-0.10318	-0.13844	-0.25117	-0.80109	-0.28407						-3.7269
25	-0.08618	0.58948	6.62595	0.27770	-0.78109						15.5228
26	-0.28091	-0.63088	-0.34876	-0.40769	0.45245						-5.8556
27	-0.24512	-0.45213	-0.28500	-0.38633	-0.06495						-5.4406
28	-0.15293	0.01379	-0.15441	0.17627	-0.39931						-1.6962
29	-0.24332	-0.48190	-0.11554	-0.82825	-0.38010						-6.5335
30	-0.17024	-0.05429	-0.32939	1.53377	-0.17308						-0.0671
31	-0.16734	-0.59893	-0.07951	-0.13919	1.00887						-2.9201
32	-0.22741	-0.68608	0.23598	-0.59856	0.38659						-5.0505
33	-0.34855	-0.38199	0.38283	-0.73774	-0.45454						-5.5786
34	-0.17148	-0.50978	-0.03698	0.51470	2.21413						0.9977
35	-0.12154	0.15308	-0.11003	0.69655	0.79001						2.5028
36	-0.04182	-0.09829	-0.11090	1.69468	2.42613						6.2320
37	-0.21585	-0.42266	-0.39849	-0.47854	-0.58789						-6.4824
38	-0.20980	0.20556	0.01333	-0.97215	-0.87542						-3.2512
39	-0.21421	-0.40168	0.50685	-0.79540	-0.39803						-4.5831
40	-0.19788	-0.54151	-0.19186	-0.09024	-0.29813						-5.4812
41	-0.11196	0.11034	0.20691	2.81961	-0.19609						4.2603
42	-0.09312	0.36988	0.23306	3.31707	0.38920						7.8305
43	-0.34200	-0.40065	-0.15746	-0.99010	-0.84861						-7.9160
44	-0.23980	-0.63123	0.29599	-0.88190	-0.75775						-7.3427
45	0.31111	4.43441	-0.14227	-0.30145	1.55932						29.9531
46	-0.21753	-0.44214	0.97548	0.11264	0.20014						-1.3281
47	-0.10814	-0.39803	0.00736	0.64921	-0.41162						-2.7837
48	-0.23002	-0.13087	-0.02952	-0.02879	-0.36807						-3.0026
49	-0.29395	-0.85902	-0.31583	-0.40890	-0.49219						-9.0350
50	-0.23177	-0.44682	0.09892	-0.29708	-0.30395						-4.8622
51	-0.28691	-0.63044	-0.07467	-0.27012	-0.06938						-6.1308

註： 1.全體加權因素分數的平均數(mean)為 0.00；標準差(std)為 11.85。

2.扣除特異值樣木(班超、唐太宗、曹操)之平均數為-2.55；標準差為 5.60。

表 6：依照加權因素分數排名與分級結果

排名	樹號	加權因素分數	分級	排名	樹號	加權因素分數	分級
1	16	52.0680	1	27	5	-4.6366	4
2	7	40.3957	1	28	50	-4.8622	4
3	45	29.9531	1	29	32	-5.0505	4
4	25	15.5228	2	30	9	-5.3223	4
5	15	14.3421	2	31	22	-5.3260	4
6	14	8.0573	3	32	27	-5.4406	4
7	42	7.8305	3	33	40	-5.4812	4
8	36	6.2320	3	34	33	-5.5786	4
9	41	4.2603	3	35	20	-5.7595	4
10	8	3.9748	3	36	18	-5.7762	4
11	35	2.5028	3	37	26	-5.8556	4
12	17	1.9965	3	38	51	-6.1308	4
13	34	0.9977	3	39	11	-6.1471	4
14	13	0.7950	3	40	12	-6.1779	4
15	30	-0.0671	3	41	21	-6.3040	4
16	2	-1.0940	3	42	4	-6.4631	4
17	46	-1.3281	3	43	37	-6.4824	4
18	28	-1.6962	3	44	1	-6.4944	4
19	47	-2.7837	4	45	29	-6.5335	4
20	31	-2.9201	4	46	19	-6.7899	4
21	10	-2.9743	4	47	23	-7.0515	4
22	48	-3.0026	4	48	44	-7.3427	4
23	38	-3.2512	4	49	43	-7.9160	4
24	24	-3.7269	4	50	49	-9.0350	4
25	6	-4.0622	4	51	3	-9.4819	4
26	39	-4.5831	4				

利用加權因素分數的綜合指標，可解決人為與單一指標分級在“模糊地帶”無法區分的樣本，圖中很明顯區分出第一級重度不健康及死亡則有三株神木((16)號、(7)號及(45)號)，第二級-中度不健康有兩株神木((25)號與(15)號)，第三級-輕微不健康及第四級-健康分別有13和33株神木。

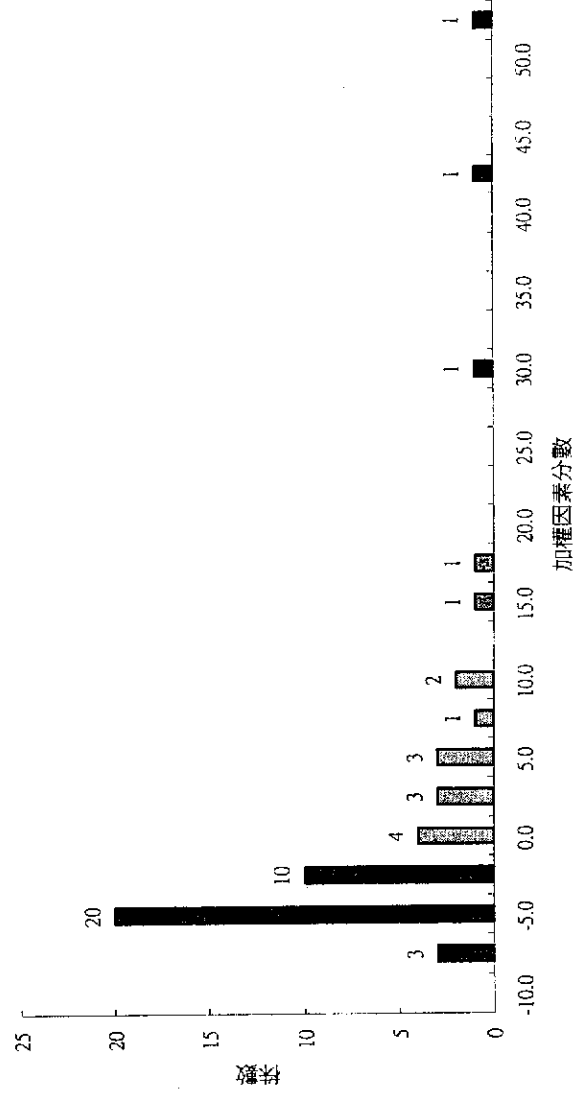


圖 24：林木健康指標加權因素分數圖

鑑別分析則根據此作為林木健康分級反應變量的實際歸類，較為客觀且有所依據，訂定出林木健康等級的株數及其先驗機率分別為“第一級-重度不健康及死亡”3株(0.06)，“第二級-中度不健康”2株(0.04)、“第三級-輕微不健康”13株(0.25)以及“第四級-健康”33株(0.65)。

(三) 鑑別分析

鑑別分析的目的，一為衡量影響林木健康因素之鑑別力，以便構建鑑別函數；另一為預測(其他)林木將來健康狀況之機率，進而研擬經營策略。樣本之觀測資料作為鑑別分析構建鑑別函數之依據，利用鑑別法則極大化(max λ)之構建原則，藉由鑑別函數，取得樣本之預測歸類。估計樣本之預測稱為樣本內預測，是評估鑑別函數配適度之依據，用以探討那些因素顯著影響林木健康。本研究在鑑別分析法中所使用的反應變量是根據因素分析之因素分數(factor scores)加權總和高低，進行人為判釋實際歸類，林木健康等級的株數及其先驗機率分別為“第一級-重度不健康及死亡” 3 株(0.06)， “第二級-中度不健康” 2 株(0.04)、 “第三級-輕微不健康” 13 株(0.25)以及 “第四級-健康” 33 株(0.65)。藉由正典鑑別法進行統計模式及解釋變數之假說檢定，衡量個別解釋變數之鑑別力，選取具顯著解釋力之解釋變數。接著採用默氏法在鑑別函數中融入先驗機率，構建預測機率函數，提高預測準確性。鑑別函數之預測能力，可藉由擊中率(Hit Rate)評估之；所謂擊中率為正確歸類之樣本數相對於總樣本數之比率(周文賢，2002)，其值介於 0 到 1 之間，類似於迴歸分析之判定係數(R^2)。擊中率愈高，即表示鑑別函數之預測能力愈高。

1.以因素分析所抽出因素作為解釋變數

為瞭解以因素分析所抽出的因素在林木健康分級上的效用，特以鑑別分析來驗證這 5 個林木健康指標的鑑別力是否顯著。所使用的解釋變數，除了包括因素分析之五個林木健康指數外，還有樹高胸徑比、活冠比及冠徑比等常用的生長變數。首先在正典鑑別函數之檢定方面，根據 Wilks' Lambda 之 p 值，顯示鑑別函數具有顯著性($p=0.001$)；對於個別解釋變數鑑別力之顯著性檢定方面，表 7 顯示上述的所有解釋變數皆為極顯著($p < 0.01$)，表 8 提供典型鑑別函數的係數，而表 9 提供各健康分級的典型鑑別函數組均值。後續將這些顯著的解釋變數納入鑑別函數中，另用默氏法進行預測歸類。

表 7：抽出因素作為解釋變數之典型鑑別分析假說檢定

變數	F 值	P 值
葉子活力衰退指數	39.6961	0.0001*
樹冠損傷指數	86.7571	0.0001*
林木競爭指數	11.9854	0.0001*
樹幹附生植物覆蓋指數	16.3372	0.0001*
根部損傷指數	5.2779	0.0032*
樹高胸徑比	7.0379	0.0005*
活冠比	21.1176	0.0001*
冠徑比	8.4871	0.0001*

表 8：抽出因素作為解釋變數之典型鑑別分析的典型係數

變數	CAN ₁	CAN ₂	CAN ₃
葉子活力衰退指數	1.577302533	-0.763242820	0.243800129
樹冠損傷指數	3.167958647	0.124604152	-0.382200800
林木競爭指數	0.928414899	0.905961383	-0.848071003
樹幹附生植物覆蓋指數	0.080614558	1.148326132	0.798212064
根部損傷指數	0.340652567	0.422819494	0.261050188
樹高胸徑比	-0.047221171	-0.047247118	0.052235566
活冠比	-2.440617088	0.957638454	-0.638179931
冠徑比	0.086438114	0.007893644	-0.094356899

表 9：抽出因素作為解釋變數之典型鑑別函數組均值

分級	鑑別函數(CAN ₁)	鑑別函數(CAN ₂)	鑑別函數(CAN ₃)
重度不健康及死亡	17.05649566	-2.19769974	0.31576500
中度不健康	7.15176455	3.87217099	-2.78655275
輕微不健康	0.55048016	1.52471642	0.94724640
健康	-2.20088661	-0.63553201	-0.23298160

默氏法的歸類矩陣表如表 10 所示，51 株神木中有 49 株預測歸類正確；僅有 2 株的實際歸類與預測歸類有所出入的，分別是 (28) 號神木和 (46) 號神木。在預測歸類上目前大致分為重度不健康及死亡(3 株)、中度不健康(2 株)、輕微不健康(11 株)及健康(35 株)；其中值得進一步調查與觀測的為中度不健康的(15)號和(25)號這兩株神木。

表 10：抽出因素作為解釋變數之歸類矩陣

實際歸類 \ 預測歸類	預測歸類			總計
	重度不健康及死亡	中度不健康	健康	
重度不健康及死亡	3	0	0	3
中度不健康	0	2	0	2
輕微不健康	0	0	11	11
健康	0	0	33	33
總計	3	2	11	51

表 11 顯示其錯誤歸類機率僅 3.85%，實務上來說錯誤率相當低，表示擊中率高達 96%，預測能力相當準確。因此，因素分析在研究過程中，可作為協助鑑別分析反應變量的實際歸類。

表 11：抽出因素作為解釋變數之歸類矩陣的錯誤歸類比率

林木健康分級	機率	先驗機率
重度不健康及死亡	0.0000	0.0600
中度不健康	0.0000	0.0400
輕微不健康	0.1538	0.2500
健康	0.0000	0.6500
合計	0.0385	

2.以原始調查的觀測變數作為解釋變數

因素分析在研究過程中，主要是協助鑑別分析反應變量的實際歸類；其實，原始調查的觀測變數經因素分析抽取後，其解釋力可能有些耗損，因此上一單元中所得的鑑別函數還不是最好的預測函數。故可將原始解釋變數直接放入鑑別模式中，以提高預測歸類與實際歸類間的正確性。將原始調查的觀測變數作為解釋變數進行假說檢定，首先在正典鑑別函數之檢定方面，根據 Wilks' Lambda 之 p 值，顯示鑑別函數具有顯著性(p=0.001)；對於個別解釋變數鑑別力之顯著性檢定方面，其結果如表 12 所示，每一解釋變數皆為極顯著(p < 0.01)，表 13 提供典型鑑別函數的係數，而表 14 提供各健康分級的典型鑑別函數組均值。同理將顯著的原始觀測變數納入鑑別函數中，利用默氏法進行預測歸類；其結果如表 15 的歸類矩陣所示，預測歸類與實際歸類間完全相符，擊中率為 100%，表示此鑑別函數具有很好的預測歸類能力。

表 12：原始觀測變數作為解釋變數之典型鑑別分析假說檢定

變數	F 值	P 值
萌新葉	29.4902	0.0001*
葉子顏色	22.1176	0.0001*
樹冠透視度	45.3241	0.0001*
梢枯	75.0215	0.0001*
枝梢枯損	92.3692	0.0001*
葉子掉落	166.7742	0.0001*
樹幹白化程度	29.3198	0.0001*
樹冠密度	20.4891	0.0001*
樹冠大枝條枯萎	159.6762	0.0001*
所有樹種競爭指數	11.1096	0.0001*
非檜木競爭指數	12.7125	0.0001*
枝下高樹幹上半部覆蓋率	6.4022	0.0010*
枝下高樹幹下半部覆蓋率	19.0993	0.0001*
裸根等級	3.6834	0.0183*
裸根有害等級	4.4756	0.0076*
樹高胸徑比	7.0379	0.0005*
活冠比	21.1176	0.0001*
冠徑比	8.4871	0.0001*

表 13：原始觀測變數作為解釋變數之典型鑑別分析的典型係數

變數	CAN ₁	CAN ₂	CAN ₃
萌新葉	8.59078339	3.09667901	-22.05688543
葉子顏色	-1.88230238	-0.02605518	2.02457075
樹冠透視度	-0.00643748	-0.01642772	-0.06607496
梢枯	0.02085988	-0.13474007	0.17262299
枝梢枯損	0.22666758	0.82380248	1.13176832
葉子掉落	1.96846145	0.79230365	-1.33553611
樹幹白化程度	1.10508538	-0.31827418	-2.05142708
樹冠密度	-0.02268378	-0.03658094	0.03673366
樹冠大枝條枯萎	0.02043885	-0.04648698	0.13379748
所有樹種競爭指數	0.33609221	-1.70175422	0.09824846
非檜木競爭指數	2.38000115	3.98114121	0.34871212
枝下高樹幹上半部覆蓋率	-0.00860432	-0.01326838	-0.02060933
枝下高樹幹下半部覆蓋率	0.02827956	0.07509452	0.01943528
裸根等級	0.47777200	0.03318356	-0.51319344
裸根有害等級	0.13112257	0.11457850	-0.66556189
樹高胸徑比	0.00512954	-0.08195298	-0.12771025
活冠比	-2.98583850	0.57124831	-1.23258997
冠徑比	0.00064410	0.03153240	0.25537073

表 14：原始觀測變數作為解釋變數之典型鑑別函數組均值

分級	鑑別函數(CAN ₁)	鑑別函數(CAN ₂)	鑑別函數(CAN ₃)
重度不健康及死亡	20.84572822	-3.67869717	-0.09886508
中度不健康	9.62193848	5.88840499	4.52912588
輕微不健康	1.57916112	1.88126491	-1.77763483
健康	-3.10030776	-0.76355037	0.43477564

表 15：原始觀測變數作為解釋變數之歸類矩陣

實際歸類 \ 預測歸類	預測歸類				總計
	重度不健康 及死亡	中度不健康	輕微不健康	健康	
重度不健康及死亡	3	0	0	0	3
中度不健康	0	2	0	0	2
輕微不健康	0	0	13	0	13
健康	0	0	0	33	33
總計	3	2	13	33	51

四、結論

有關於森林健康的監測，歐美從事相關研究的資料蒐集已達十多年，而國內相關研究尚在起步階段。林木健康為一抽象概念，在實際調查方面，所需測量的影響變數錯綜複雜，林木健康狀況的評估較難去定義和直接評等。本研究透過因素分析，將原始 15 個與林木健康狀況有關的變數歸類為五個林木健康因素並命名為：(1).葉子活力衰退指數；(2).樹冠損傷指數；(3).林木競爭指數；(4).樹幹附生植物覆蓋指數；(5).根部損傷指數。此五個因素的解釋能力相當高，其共同性總和佔總變異的 85%。透過此五個林木健康指標的協助以及現場的觀測，順利地將林木健康情況歸類。在鑑別分析方面先以正典鑑別函數進行個別解釋變數鑑別力之檢定，結果顯示除了前述五個因素外，還有樹高胸徑比、活冠比及冠徑比等生長變數具顯著性。另用默氏法進行預測歸類，使用前述五個林木健康指標所得到鑑別函數的擊中率為 96%，表示因素分析可有效的協助林木健康的實際歸類；而使用原始調查的觀測變數所得到鑑別函數的擊中率為 100%，表示此鑑別函數的預測能力很高。

以因素分析捕捉出健康抽象構念的影響因素，再以鑑別分析建立鑑別函數，以預測林木的健康狀況。此種程序不僅可以建立老熟檜木的健康指標，同時可以透過量化指標與可實測的變數，評估個別林木的健康狀況，以提供經營單位在管理上的參考，使經營者能以客觀與有效的方式進行林木的保育與管理。本研究將 51 株神木的健康等級分為“第一級-重度不健康及死亡” 3 株，“第二級-中度不健康” 2 株、“第三級-輕微不健康” 13 株，以及“第四級-健康” 33 株。“第一級-重度不健康及死亡”的 3 株神木已經難逃死亡的命運，而第二級-中度不健康”的 2 株神木為 (15) 號和 (25) 號，值得請林木生理專家進一步監測。由表 5 中可以發現影響 (15) 號神木的健康分等的最主要因素為第二個健康指標：樹冠損傷指

數的分數，它主要是由於大部分大枝條枯損所造成；而由表 5 中亦可以發現影響

(25) 號神木的健康分等的最主要因素為第三個健康指標：林木競爭指數的分數，它的生長活力快速衰退主要是原因在於許多闊葉樹生長在它的樹幹基部上。本區可能受風較大，因此有許多神木有頂枯和大枝條枯損的現象，而保育處在此處進行次生林的建造將有助於此種現象的紓緩；此外，由林木競爭指數顯示，神木目前並未受到次生林造林木的競爭影響。但另一方面，附生在神木樹幹上或生長在神木樹幹基部上的闊葉樹，會對神木產生極大的競爭壓力，為紓解此種壓力，宜採取漸進的方式移除，以避免風害的衝擊。

五、致謝

本研究承蒙行政院農業委員會林務局羅東林區管理處提供經費，並承行政院退輔會森林保育處之協助，以及宜蘭技術學院森林系黃兆吟、吳楊浚、游婉婷、陸羿伶與張耕華同學的幫忙，特此一併致謝。

六、參考文獻

1. 王兆桓 (2001) 雙重變動面積樣區取樣法在天然檜木林調查之應用。中華林學季刊 34(2): 185-194。
2. 呂坤旺、周中華、鍾宜君、王兆桓 (2002) 臺灣東部老樹評估暨活力調查研究。國立宜蘭技術學報 (已接受)。
3. 邱祈榮、聶齊平 (2000) 美國森林健康監測評量體系之介紹。台灣林業 26(3): 46-58。
4. 周文賢 (2002) 多變量統計分析-SAS/STAT 使用方法。智勝文化事業，台北。P.419-488。
5. 陳子英、王兆桓 (2001) 坪林台灣油杉自然保留區植群監測。行政院農業委員會林務局保育研究系列第 89-1 號。p.7-8, 21-30。
6. 榮民森林保育事業管理處 (1999) 棲蘭、明池森林遊樂區 森林資源解說手冊。行政院國軍退除役官兵輔導委員會榮民森林保育事業管理處。p.15-16, 106-107, 125-127。
7. 馮豐隆 (1996) 介紹“美國國有林健康監測計劃”。台灣林業 22(9): 39-42。
8. Alexander, S.A. and Palmer, C.J. (1999) Forest health monitoring in the United States: first four years. Environ. monit. assess. 55: 267-277.
9. Burkman, W.G. and Hertel, G.D. (1992) Forest health monitoring: a national program to detect, evaluate and understand change. J. For. 90(9): 26-27.
10. Burkman, W.G., Vissage, J.S., Hoffard, W.H., Starkey, D.A. and Bechtold, W.A. (1998) Summary report: forest health monitoring in the South, 1993 and 1994. Resource Bulletin SRS-32. Southern Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. pp.1-2.

11. Conkling, B.L. and Byers, G.E. (1993) Forest health monitoring field methods guide. Internal Report. U.S. Environmental Protection Agency, Las Vegas, NV.
12. Conkling, B.L., Hoover, C.M., Smith, W.D. and Palmer, C.J. (2002) Using forest health monitoring data to integrate above and below ground carbon information. Environ. pollut. 116: S221-S232.
13. Cumming A.B., Galvin, M.F., Rabaglia, R.J., Cumming, J.R. and Twardus, D.B. (2001) Forest health monitoring protocol applied to roadside trees in Maryland. J. arboric. 27(3): 126-137.
14. Dwyer, J.P., Cutter, B.E. and Wetteroff, J.J. (1995) A dendrochronological study of black and scarlet oak decline in the Missouri Ozarks. For. ecol. manage. 75:69-75.
15. Gertner, G. and Kohl, M. (1995) Correlated observer errors and their effects on survey estimates of needle-leaf loss. For. Sci. 41(4): 758-776.
16. Innes, J.L.(1998) Role of diagnostic studies in forest monitoring programmes. Chemosphere 36(4-5): 1025-1030.
17. Kohl, M., Innes, J. L. and Kaufmann, E. (1994) Reliability of differing densities of sample grids used for the monitoring of forest condition in Europe. Environ. monit. assess. 29:201-220.
18. Koch, L., Rogers, P., Michelle, F., Atkins, D. and Spiegel, L. (2001) Wyoming forest health report: a baseline assessment, 1995-1998. Rocky Mountain Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. pp.10-11, 48.
19. Leininger, T.D. (2002) Response of tree crown conditions to natural and induced variations in Throughfall. In: Outcalt, Kenneth W., ed. Proceedings of the eleventh biennial southern silvicultural research conference. Gen. Tech. SRS-48, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. p.92-96.
20. Ling, K.A. and Ashmore, M.R. (1999) Influence of tree health in ground flora in the

- Chiltern Beechwoods, England. *For. ecol. manage.* 119:77-88.
21. Metzger J. M. and Oren, R. (2001) The effect of crown dimensions on transparency and the assessment of tree health. *Ecol. Appl* 11(6): 1634-1640.
22. Miller-Weeks, M., Burkman, W. G., Twardus, D. and Mielke, M. (1994) Forest health in the Northeastern United States. *J. For.* 92(7): 30-33.
23. Nash, B. L., Saunders, M. C., Miller, B. J., Bloom, C.A., Davis, D. D. and Skelly, J. M. (1992) ForestHealth, an expert advisory system for assessing foliar and crown health of selected northern hardwoods. *Can. J. For. Res.* 22(11): 1770-1775.
24. Renaud, J. P. and Mauffette, Y. (1991) The relationships of crown dieback with carbohydrate content and growth of sugar maple. *Can. J. For. Res.* 21(7): 1111-1118.
25. Rogers, P. (2002) Using forest health monitoring to assess aspen forest cover change in the southern Rockies ecoregion. *For. Eco. Manage.* 155: 223-236.
26. Rogers, P., Atkins, D., Frank, M. and Parker, D. (2001) Forest health monitoring in the interior west: a baseline summary of forest issues, 1996-1999. *Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-75.* Rocky Mountain Research Station, in cooperation with USDA Forest Service, State and Private Forestry, Regions 1-4. pp4, 35.
27. Schreuder, H. T. and Czaplewski, R.L. (1993) Long-term strategy for the statistical design of a forest health monitoring system. *Environ. monit. assess.* 27: 81-94.
28. Scott, C. T., Kohl, M. and Schnellbacher, H. J. (1999) A comparison of periodic and annual forest surveys. *For. Sci.* 45(3): 433-451.
29. Smith, W.B. (2002) Forest inventory and analysis: a national inventory and monitoring program. *Environ. pollut.* 116: S233-S242.
30. Stapanian, M.A., Cline S. P. and Cassell, D. L. (1997) Evaluation of a measurement method for forest vegetation in a large-scale ecological survey. *Environ. monit.*

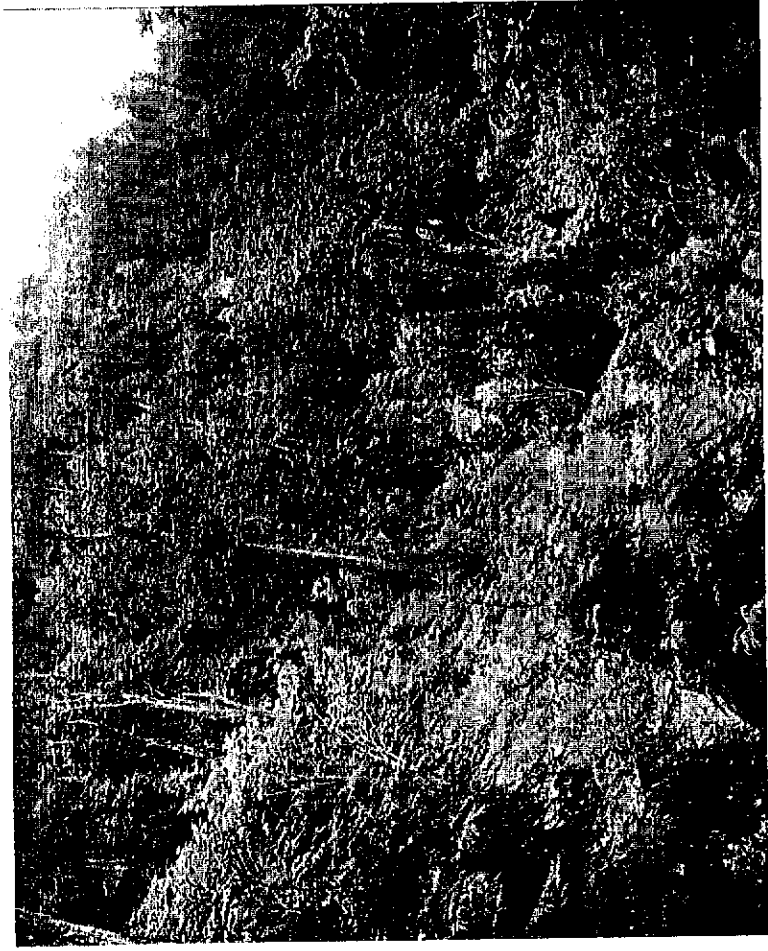
assess. 45: 237-257.

31. Strand G.-H. (1996) Detection of observer bias in ongoing forest health monitoring programmes. *Can. J. For. Res.* 26:1692-1696.
32. USDA Forest Service (2002a) Forest Inventory and Analysis: tree crown condition indicator. FIA Field Methods for Phase 3 Measurements, Crown Condition Classification. <<http://www.fia.fed.us/library.htm#Manuals>>
33. USDA Forest Service (2002b) Summary of indicators sampled by the FIA phase 3 protocols. <<http://www.nature.nps.gov/im/monitor/fhindic.htm> >
34. Walters, G. M. and McCarthy, B.C. (1997) Forest decline and tree mortality in a Southeastern Ohio Oak-Hickory forest. *Ohio J. Sci.* 97(1): 5-9.

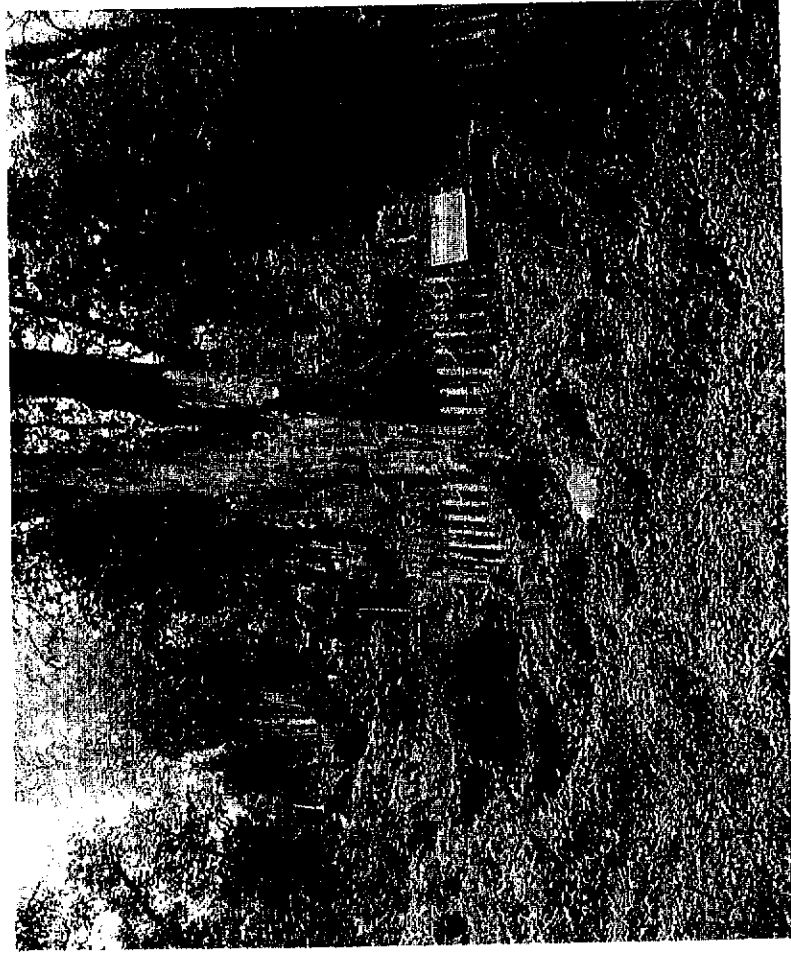
七、附錄

棲蘭神木園區神木樹名一覽表

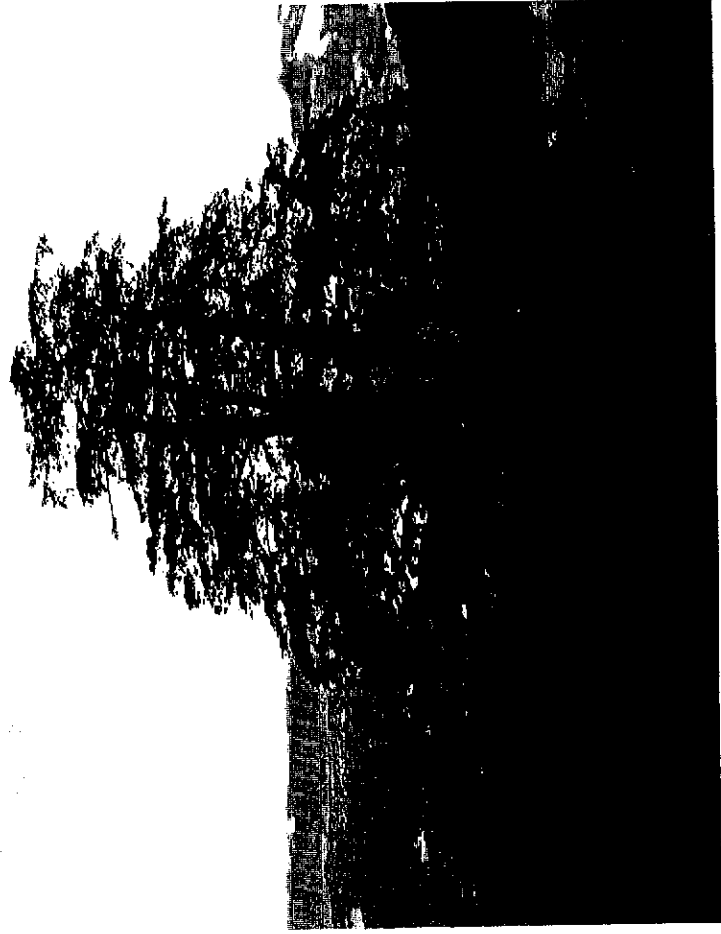
樹號	樹名	樹號	樹名
1	柳宗元	27	班昭
2	陸淵	28	韓愈
3	陶淵明	29	光武帝
4	歐陽修	30	于謙
5	司馬遷	31	司馬光
6	孔太	32	鄭成功
7	唐真	33	華陀
8	顏文	34	朱熹
9	文天祥	35	關羽
10	韓世忠	36	岳飛
11	王羲之	37	元祖
12	諸葛亮	38	李照
13	武則天	39	張衡
14	法顯	40	成吉思汗
15	王昭君	41	宋文帝
16	班超	42	李隱
17	白居易	43	楊妃
18	鄭和	44	蘇東坡
19	郭子儀	45	曹操
20	秦始皇	46	王明
21	王安石	47	柴榮
22	馮道	48	李後
23	宋太祖	49	李靖
24	蘇武	50	施耐
25	明太祖	51	袁崇
26	包拯		煥



棲蘭神木園區的林相：上層有巨木，下層有造林木



園區神木的保護措施



園區入口處 3 號神木的景觀



園區出口處 51 號神木附近的遊憩設施



園區內年齡最大的 6 號神木樹冠分叉且頂枯



園區內胸徑最大的 5 號神木



園區內已死亡的 16 號神木



園區內即將死亡的 7 號神木



園區內瀕臨死亡的 45 號神木



25 號神木樹幹基部附近闊葉樹生長情形