

# 太平山國家森林遊樂區 老熟檜木森林健康指數評估

Assessment of forest health indicators for cypress old growth  
in National Mt. Taiping Forest Recreation 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：國立宜蘭大學自然資源學系

中華民國九十四年六月

太平山國家森林遊樂區  
老熟檜木森林健康指數評估

Assessment of forest health indicators for cypress old growth  
in National Mt. Taiping Forest Recreation Area

計劃主持人：王兆桓、陳子英

協調整體計劃、野外調查、室內分析及報告撰寫

協同研究學生：王光仁、林仁智、李文正、

劉知好、林似俞、周玫利

野外調查、協助室內分析

## 中文摘要

老熟檜木森林健康監測是件困難的工作，但卻也是民眾所關心的事。健康是一個抽象的構念，較難去直接測量。本研究以太平山國家森林遊樂區老熟檜木森林為對象，測計與林木健康有關的變數，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，因素分析歸類出三個林木健康因素：(1)葉子活力指標；(2)樹幹附生植物覆蓋指標；(3)根部損傷指標。上述三個因素的共同性總和佔總變異的 78.4%，具相當的解釋能力，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，使用原始調查的觀測變數所得到鑑別函數的擊中率為 97.02%，表示此鑑別函數的預測能力很高。使用逐步鑑別分析，發現萌新葉為最重要的變數，而常用的樹冠透視度、樹冠密度與樹冠梢枯在林木健康分級中亦佔重要的地位。此外，本研究亦使用森林健康指數空間分佈來顯示太平山原始森林公園檜木健康狀況較脆弱的地方。此種分析程序所建構老熟檜木的健康指標，不僅可以評估個別林木的健康狀況，同時可以偵測出森林健康狀況較脆弱的地方，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

While monitoring the old growth tree health of cypress is difficult, people are concerned about it. Health is an abstract construct, so it is difficult to measure it directly. This study involves the investigation of old growth cypress trees in National Mt. Taiping Forest Recreation Area, and the measurement of those variables related to their health. Factor analysis is applied to construct health indicators in order to make the classification of tree health easier, and discriminant functions are also constructed to predict tree health conditions. After the application of factor analysis those health-related variables have been classified into three factors: (1) foliage vigor indicator, (2) stem epiphyte coverage indicator, (3) root damage indicator. The above three factors can explain 78.4% of the communalities for total variance, and then they are used to classify tree health. The result of discriminant analysis shows that the hit rate of predicted classification is very high. The hit rate using the original observed variables is 97.02%, and it represents that the constructed discriminant functions are with high predictability. Via the stepwise discriminant analysis, new leaf is found to be the most important variable, and crown transparency, crown density and crown dieback are also important. Besides, the space distribution of forest health index is also adopted to display the fragile areas of cypress in the National Mt. Taiping Forest Recreation Area. The above procedure constructing health indicators of old-growth trees can not only evaluate tree health conditions, but also can detect the area with poor health condition within the forest, and it is conducive to the implementation of the conservation efforts.

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

## 目次

中文摘要 .....	I
ABSTRACT .....	I
一、 前言 .....	1
二、 研究目的 .....	6
三、 材料與方法 .....	6
(一) 試驗地概述 .....	7
(二) 調查方法與項目 .....	10
(三) 分析方法 .....	18
1. 因素分析 (factor analysis) .....	18
2. 鑑別分析 (discriminant analysis) .....	20
3. 製作林木健康指數空間分佈圖 .....	22
四、 結果與討論 .....	23
(一) 調查資料之敘述統計分析 .....	23
(二) 因素分析 .....	29
1. 因素之抽取 .....	29
2. 因素之命名 .....	32
(1) 葉子活力指標 .....	32
(2) 樹幹附生植物覆蓋指標 .....	33
(3) 根部損傷指標 .....	34
3. 綜合指標之林木健康分級 .....	34
(三) 鑑別分析 .....	37
1. 解釋變數之鑑別力 .....	38
(1) 依因素分析所抽出因素作為解釋變數 .....	38
(2) 依原始調查的測計變數作為解釋變數 .....	40
2. 逐步鑑別分析 .....	41
(四) 林木健康指數空間分佈 .....	44
五、 結論與建議 .....	46
(一) 敘述統計分析 .....	46
(二) 因素分析 .....	47
(三) 鑑別分析 .....	47
(四) 林木健康指數空間分佈 .....	48
六、 參考文獻 .....	49
七、 附錄 .....	54

## 圖目錄

圖 1：太平山國家森林遊樂區原始森林公園位置.....	8
圖 2：翠峰湖畔的試驗地則位於觀湖台附近登山步道入口處.....	9
圖 3：冠幅測量之四方向.....	11
圖 4：樹冠狀態判定準則依據.....	14
圖 5：樹冠狀態測計方式.....	15
圖 6：樹冠透視度與樹冠密度判定依據之標準照片.....	16
圖 7：胸高直徑級株數分佈圖.....	25
圖 8：樹高株數分佈圖.....	25
圖 9：林木存活株數分佈圖.....	26
圖 10：根部狀態株數分佈圖.....	27
圖 11：根部狀態株數分佈圖.....	27
圖 12：枝梢枯萎百分比株數分佈圖.....	28
圖 13：葉子掉落百分比株數分佈圖.....	29
圖 14：林木健康狀況的空間分佈圖.....	44
圖 15：樹冠比之測計.....	54
圖 16：樹冠密度百分比之測計.....	55
圖 17：樹冠透視度百分比之測計.....	55
圖 18：樹冠梢枯百分比之測計.....	56

## 表目錄

表 1：因素分析轉軸法 .....	19
表 2：檜木樣木數、胸徑(DBH)、樹高(H)、H/DBH、樹冠比和樹冠直徑 .....	23
表 3：太平山原始森林公園的檜木樣木統計值 .....	24
表 4：翠峰湖畔登山步道的檜木樣木統計值 .....	24
表 5：因素個數抽取 .....	30
表 6：轉軸後因素結構矩陣 .....	31
表 7：健康指標之加權標準化因素分數與分級結果 .....	35
表 8：檜木樣木健康等級分佈表 .....	36
表 9：抽出因素作為解釋變數之正典鑑別函數假說檢定 .....	38
表 10：抽出因素作為解釋變數之歸類矩陣 .....	39
表 11：抽出因素作為解釋變數之錯誤歸類機率 .....	39
表 12：原始觀測變數作為解釋變數之正典鑑別函數假說檢定 .....	40
表 13：原始觀測變數作為解釋變數之歸類矩陣 .....	41
表 14：逐步鑑別分析所篩選具鑑別力之變數 .....	42
表 15：逐步鑑別分析所篩選具鑑別力的變數作為解釋變數之歸類矩陣 .....	43
表 16：逐步鑑別分析所篩選變數的個數與其擊中率 .....	43
表 17：太平山原始森林公園 63 個樣區之健康分佈表 .....	45

## 一、前言

森林永續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多樣性，建立長期森林生態系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)。

台灣山中巨木多以檜木為主，而檜木的主要樹種為台灣扁柏和紅檜，二者皆為珍貴的鄉土樹種，目前太平山國家森林遊樂區仍保有數處老熟檜木森林。該地區位居東北季風之衝，全年各月雨量均豐沛，其霧林帶裡極適合檜木生長。然而老熟檜木常受到外在環境的威脅，而這些威脅是否會造成其嚴重的衰退，值得我們予以關注。

此外，近年來台灣受大陸沙塵暴的影響，越來越受到民眾所重視。大陸在經濟方面的發展，已促使其工業逐漸發達，然而其在環保與衛生方面並未等質的提昇。因此，其空氣污染問題將逐年惡化，勢必無法避免，而這種逐年嚴重空氣污染和沙塵暴伴隨著季風，將對台灣北部及東北部造成相當大的衝擊。面對此種問題，最佳的方式是進行森林健康監測，可提供預警之用。



類似的議題在歐美也曾經發生過，許多歐洲國家自 1980 年代，在”長距離跨越國界空氣污染會議”(the Convention of Long Rang Transboundary Air Pollution)與”聯合國歐洲經濟委員會”(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，進行國家森林生態系健康的監測，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)。

美國更於 1999 年將森林健康監測(Forest Health Monitoring, FHM)融入森林資源調查與分析(Forest Inventory and Analysis, FIA)的計畫中，並依據 FHM 的取樣設計和調查時間間隔來修改，以強化 FIA 的調查方式(USDA Forest Service, 2002a)。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；Burkmanet, 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。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，而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面而言，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，所以近年來此類研究傾向針對某些特殊地點或林型進行監測。傳統的試驗雖曾涉及森林的生長與林木的活力之研究，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(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其即將伴隨的生長衰退，無法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(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。

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，許多因素會影響判斷，包括觀測者的經驗、觀測者的偏見、分類時的氣候及林木的外觀，因此目前實際技術並無精確的測定方法，容易受人為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，在啟蒙階段時的研究報告並未包括樹冠透視度、樹冠梢枯、或樹冠密度等重要的樹冠變數(陳子英和王兆桓，2001；呂坤旺等，2002)，近年來的研究雖尚未如歐美大規模的調查，但已有針對特定地點或林型進行健康監測，並已使用前述重要的樹冠變數(王兆桓和陳子英，2002；葉慶龍和邱柏瑩，2003；葉慶龍，2004)。在分析方法上，陳子英和王兆桓(2001)採用鑑別分析篩選解釋變數進行林木健康分級；王兆桓和陳子英(2002)透過因素分析給予林木較客觀的健康分級；陳家玉(2003)進一步使用逐步鑑別分析探討各解釋變數的重要性；葉慶龍和邱柏瑩(2003)將前述的分析方法應用到樣區的健康分級。

國內近程的研究仍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。

老熟檜木森林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老熟檜木森林並不多，太平山國家森林遊樂區仍保有數處，這景觀是大自然的遺產，尤應更加重視。此外，台灣東北部地區因受地形與季風之影響，且將面對大陸空氣污染越界的嚴重威脅，而這些威脅是否會造成老熟檜木森林的嚴重衰退，值得我們予以關注。

## 二、 研究目的

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，建立目前太平山國家森林遊樂區老熟檜木森林健康的基準線(baseline)，並進行評估林木的健康現況，以提供經營單位在管理上的參考。

## 三、 材料與方法

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，同時也是台灣針葉樹一級木，為最優良經濟樹種之冠。

檜木林的分布，紅檜與台灣扁柏間稍有差異，紅檜北起台北縣插天山一帶，南至屏東縣的南大武山一帶，多分布於中央山脈海拔約 800~2600m

上；台灣扁柏北起棲蘭山、拉拉山，而南至阿里山一帶，海拔約 1200~2800 公尺；分布上兩者都屬於濕度較高的霧林帶中，林相上為盛行雲霧帶之範圍，上層木老齡林以檜木為主，第二層則由常綠闊葉樹構成，在樹幹上多附生植物、攀緣及纏勒植物。

### (一)試驗地概述

太平山因地勢及山脈走向關係，使太平洋海洋暖風順山谷而入，氣候濕潤，全年各月份相對濕度均甚高，宜蘭地區相對濕度為台灣最大者，約為 86%，本區更高達 90%以上，屬於重濕型，經常濃霧不開。本區氣溫受海拔高度影響，在 1,000 公尺以上地區冬季可見降霜現象，海拔 1,800 公尺以上則可能降雪。夏日季節海拔高於 1,000 公尺以上的太平山、翠峰湖，都是避暑勝地(行政院農業委員會林務局，2005；伯斯飯店生態策略聯盟，2005)。

本研究於太平山國家森林遊樂區原始森林公園(如圖 1)及翠峰湖畔(如圖 2)各設置一處試驗地，進行森林健康監測調查。太平山原始森林公園處的試驗地，海拔約 1,950m，坡向為東南向，坡度約為 13 度；由於該公園的面積並不大，故採取類似全林調查的方式進行，並按今年可完成的工作量分批進行調查；此外，該公園的界線並不清楚，本研究調查範圍是以步道做為界線，包括森林浴步道及觀音石步道內的老熟檜木森林，面積約為 2 ha。



圖 1：太平山國家森林遊樂區原始森林公園位置

本研究另一處試驗地位於翠峰湖畔觀湖台附近登山步道入口處，海拔約 1,900m，坡向為西南向，坡度約為 22 度；調查範圍為包含登山步道的老熟檜木林的區段，依步道灣沿的現況，採用 70 m\*70 m 的樣區來涵蓋該區段的步道，但由於當地的老熟林分並不大且不方正，造成實際所涵蓋的老熟林面積約為 0.39 ha。

翠峰湖是全省最大的高山湖泊，海拔 1,840m，為一高山湖泊，位於太平山與大元山之間。翠峰湖周圍 1,850 公尺以下為草山地，主要分佈植物為燈心草；鴛鴦為翠峰湖最珍貴的鳥類，湖的北邊水鴨活動頻繁；東側為紅檜、扁柏老熟林(行政院農業委員會林務局，2005；伯斯飯店生態策



略聯盟，2005)。

翠峰湖的生態體系有別於一般湖泊，水源為附近山區雨水匯集而成，滿水期 9 至 11 月時，面積可達 25 公頃，湖深近 7 公尺；枯水期 1 至 4 月，此時湖面呈現一大一小葫蘆狀兩湖區，因湖的東側有頁岩滲水層，湖水不易蓄滿，乾季水位降低，水位差 4 公尺左右，露出大片水草地，每年如此循環(行政院農業委員會林務局，2005；伯斯飯店生態策略聯盟，2005)。



圖 2：翠峰湖畔的試驗地則位於觀湖台附近登山步道入口處



## (二)調查方法與項目

林木的生長活力通常依序反應在冠層、高生長、直徑生長。本研究針對試驗地胸高直徑 20cm 以上的林木進行調查，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(Diameter at breast height, 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(Height, 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。可利用雷射測距儀配合測高桿，直接測定全高。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(Height to crown base, 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)優劣情形(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於森林生態系生物多樣性(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, 2002b)。

成熟期樹冠生長活力旺盛容易測得冠層生長量，老熟木則難看出活力的強弱，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。

##### (1) 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, 2002c；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。

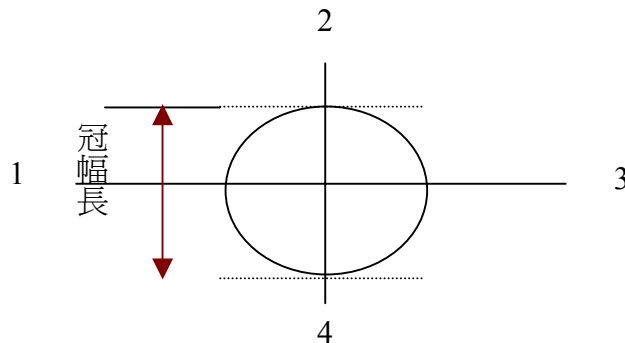


圖 3：冠幅測量之四方向

## (2) 活冠比(live crown ration)

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

## (3) 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, 2002c ; Leininger, 2002 ; Koch et al., 2001 ; Metzger 和 Dren, 2001 ; Rogers et al., 2001 ; Strand, 1996)，亦有稱作葉密度(foliage density)。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。Anderson 和 Belanger (1987)研究顯示樹冠密度與直徑生長(radial growth)呈正相關，為林木活力的另一指標。

## (4) 樹冠透視度 (crown transparency)

觀測方式類似於樹冠密度，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, 2002c ; Leininger, 2002 ; Cumming, 2001 ; Kohl et al., 2001 ; Metzger 和 Dren, 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 和 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目前無法直接由儀器測量，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 和 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。

#### (5) 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, 2002c；Koch et al., 2001；Rogers et al., 2001；Alexander 和 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(Westing, 1966；Houston, 1967；Renaud, 1991)，最簡單、容易了解且為視覺評定的指標之一(Alexander 和 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、異常葉子變色、葉子大小和形狀及提早落葉(Ling 和 Ashmore, 1999)。此外，台灣地區常有颱風或季風侵襲，林木受風害亦會產生梢枯的現象。

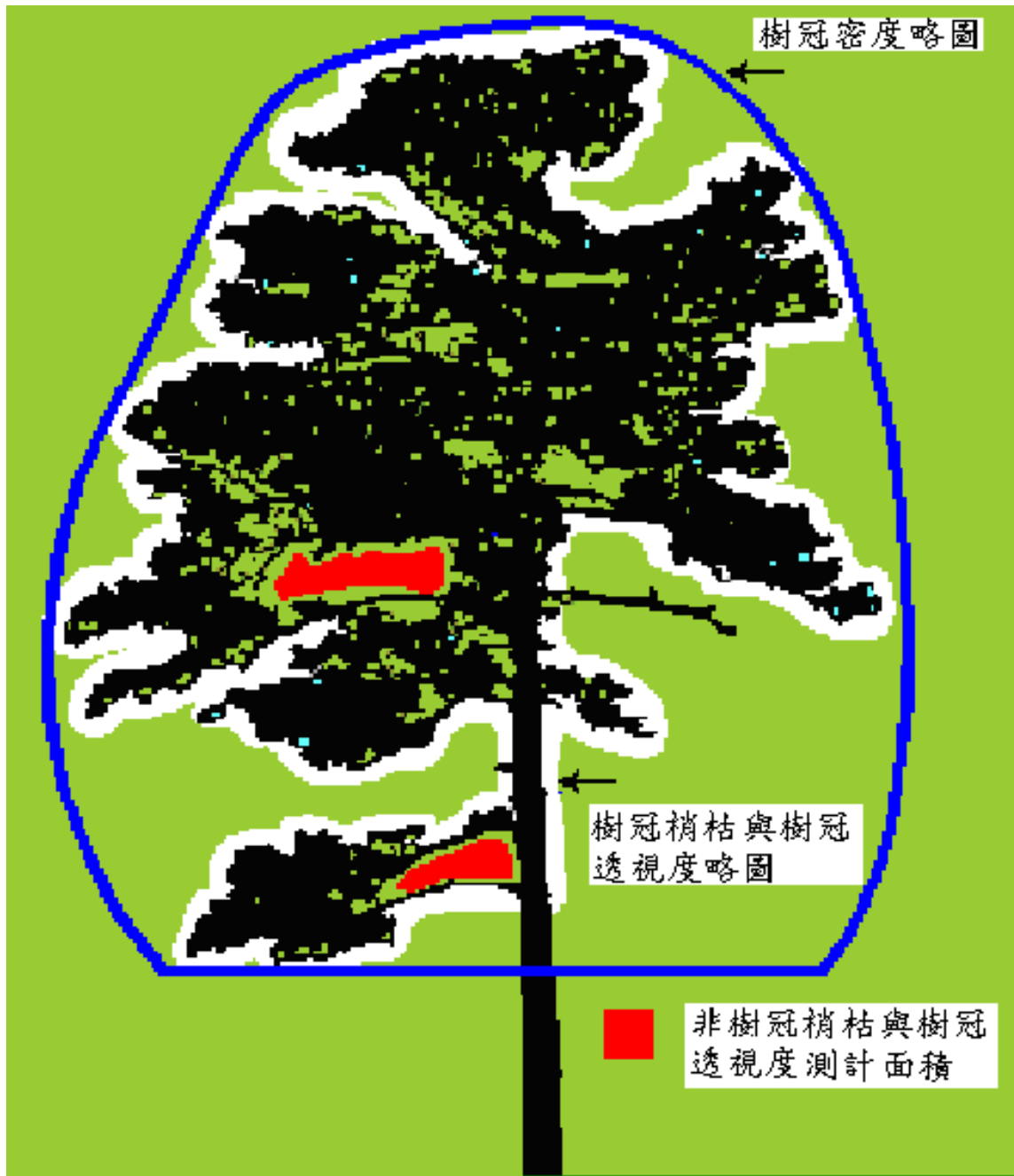


圖 4：樹冠狀態判定準則依據  
(資料來源：Conkling 和 Byers，1993))  
(樹冠密度=50%，樹冠透視度=15%，樹冠梢枯=0%)

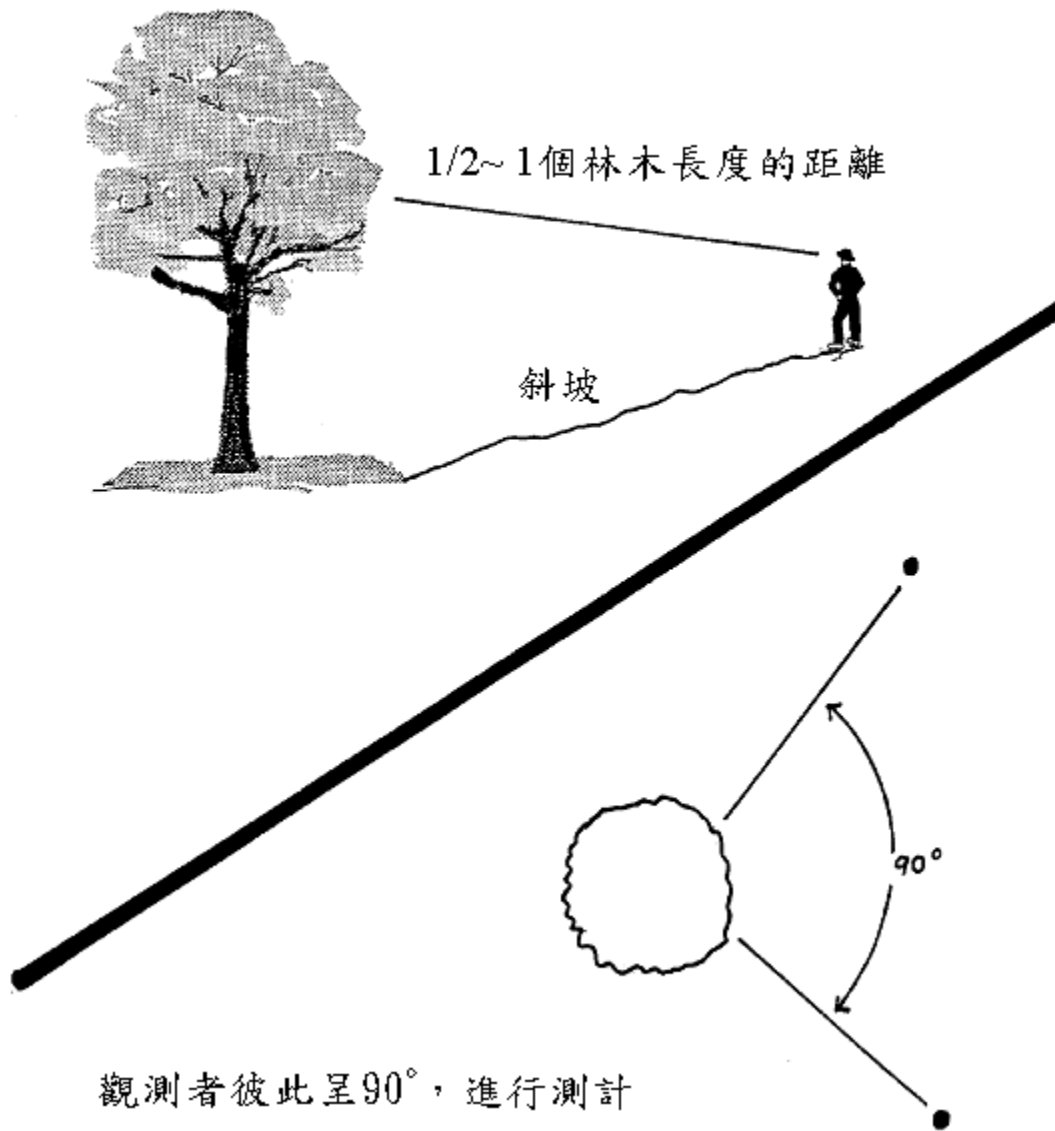


圖 5：樹冠狀態測計方式  
(資料來源：USDA FOREST SERVICE，2002C)

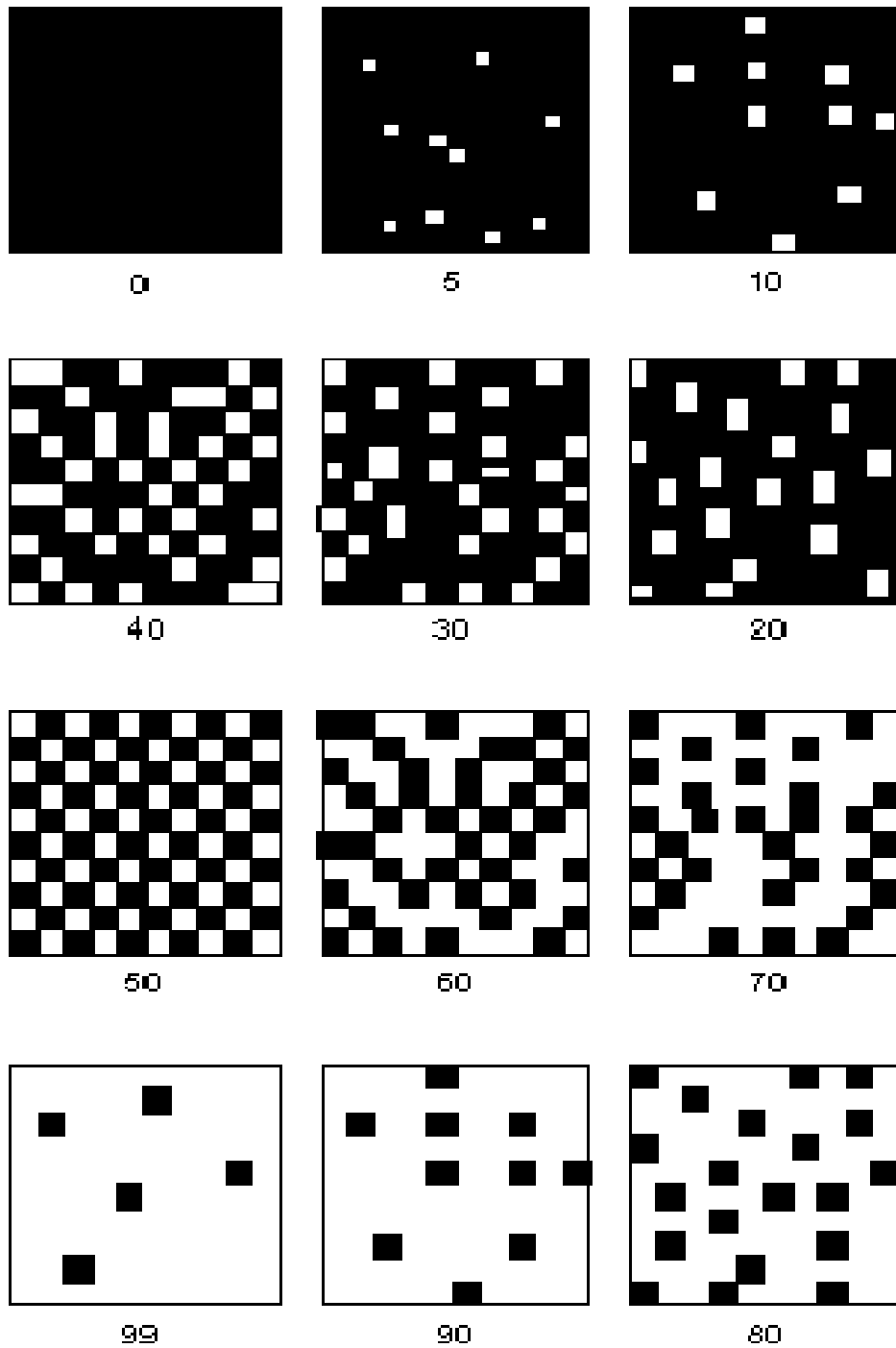


圖 6：樹冠透視度與樹冠密度判定依據之標準照片  
 (資料來源：<http://www.icp-forests.org/pdf/manual2b.pdf>)

## 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 和 Palmer, 1999；Dwyer et al., 1995)。葉(leaves)、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，觀測變數包括存亡、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%；6：90~99% 以及 7：100%。茲分別說明如下：

1. 存亡：0 代表存活，1 代表死亡。
2. 有無新葉：0 代表無新葉，1 代表有新葉。
3. 葉子退色：0 代表無明顯退色，1 代表有明顯退色。
4. 葉子掉落：0 為無掉落；1 為全部葉子 1~10% 掉落，分八等級進行觀測。
5. 枝梢枯萎：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。
6. 樹皮損傷程度：將枝下高以下樹幹分為上下兩段，每段各 100% 計算。
7. 裸根等級：0 為無裸根；1 為 1~10% 的方位有裸根，2 為 11~20% 的方位有裸根，.....，依此類推。
8. 裸根有害等級：0 為無受損裸根；1 為 1~10% 的方位有受損裸根，2 為



11~20%的方位有受損裸根，.....， 依此類推。

### (三)分析方法

健康是一個抽象的構念，較難去直接測計，因此調查人員常常依據學理和經驗去測計許許多多與健康有關的變數，但卻因為這些變數間錯綜複雜的關係，很難直接由測計變數中客觀地分出健康的等級，而綜合指標之評估與權重估算的周延性與主觀性，更是最具爭議性的步驟，故本研究應用因素分析，建立檜木的健康指標以協助評等，且藉由鑑別分析進行驗證，並以鑑別機率密度函數提出對林木健康狀況的預警。此外，亦透過林木位置圖展示林木健康狀況的空間分佈，以瞭解是否有區域具特殊異常的現象。

#### 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所產生的結果，很可能是其背後看不到的某些共同原因所造成的。林木健康不是單一可以衡量的實體，是依據其他一些可直接測計之變數所導引出的概念，由這些彼此相關的變數中尋求其背後真正影響結果的主要因素，而抽取變項中的共同因素，隸屬於探索性因素分析(exploratory factor analysis)。

本研究使用 SAS 統計套裝軟體，選擇欲分析的變數，並求算相關

矩陣以估計共同性 (communalities)。共同性估計法常用的有最高相關係數法 (PRIORS=MAX)、複相關係數平方法 (PRIORS=SMC) 及反覆因素抽取法。依據保留特徵值  $\lambda$  大於 1 的因素、特徵值大於 0 的因素或在抽取之因素能解釋 75% 之變異量等方法以決定因素的數目。

從相關矩陣中抽取共同因素，可利用主成份法 (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，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)√
四次方最大值轉換法(QuartiMax)	正交(orthogonal)
平衡最大值座標轉換法(EquaMax)	正交(orthogonal)
最佳斜交法(Promax)	斜交(Oblique)√
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，尋求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林木的健康，找出造成林木死亡 (dead)、衰退 (decline) 的相關變數，衡量林木活力之鑑別力，建立鑑別函數監測現有林木健康的狀況，爾後預測未來潛在林木健康衰退的機率。

鑑別分析為費雪 (R.A. Fisher) 所創，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，以其估計事件的發生機率，函數關係如下所示。

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

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

$x_1 \dots x_k$  : k 個分析性解釋變數

式中，A 為反應變數，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，由函數探討反應變數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數應屬的歸類，用於產生樣本內預測，評估出模式之良窳及樣本外預測，探討觀測值最適的歸類。

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作預測；正典鑑別法是以解釋變數與反應變數間之正典相關極大化而構成正典鑑別函數，可以用來衡量個別解釋變數之鑑別力，選出具顯著解釋力之變數；默氏法可進行樣本內與樣本外預測。

鑑別分析可以建立適合度與預測正確率皆高之鑑別函數，藉以預測樣本在反應變數所屬組別，在實務上，則多運用默氏法建立鑑別函數，再以正典鑑別法探討模式之適合度及解釋變數之鑑別力，最後再用默氏法計算預測正確率(周文賢，2002)。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，建立正典鑑別函數及單、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建立鑑別機率函數。觀測資料為建立鑑別函數之依據，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，是評估鑑別函數適合度的依據。

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，提供經營者在管理上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，作為監測林木健康狀態的系統化量測工具。

此外，尚可進一步的使用逐步鑑別分析（stepwise discriminant analysis）。逐步鑑別分析是運用在衡量各個自變數對於區別函數的解釋能力，逐步篩檢自變數，以衡量在有效鑑別的情況下，哪些變數較具重要性。有鑒於野外調查工作的人力、經費與時間的侷限性，可利用逐步鑑別分析的概念挑選出具鑑別力強的變數，在往後的野外調查上減少調查項目，以提高工作效率，但仍達到預測的準確性。利用 SAS 統計軟體 STEPDISC 程序進行逐步鑑別分析，選出一組最適區分類別的數值變數。

### 3. 製作林木健康指數空間分佈圖

隨著電腦科技的發達，以及程式軟體功能的提升，本研究以林木位置圖利用電腦進行林地的劃分，產生模擬樣區，進行電腦模擬取樣，計算樣區林木健康指標的平均值，以便進行樣區健康分級。再透過樣區中心位置展示樣區的健康分級，以瞭解森林健康的空間分佈狀況，以查看

是否有區域具特殊異常的現象。

在林業的經營管理上，若能結合電腦科技，使經營者更加瞭解森林生長與健康的情況，並透過電腦模擬方式產生預警的效果，以及早提出因應對策，對於林業經營管理的成效想必會有很大的提升作用。

## 四、結果與討論

### (一)調查資料之敘述統計分析

本研究從太平山國家森林遊樂區老熟檜木森林調查的資料進行整理與分析，635株單木資料如表2所示，而表3和表4各代表太平山原始森林公園和翠峰湖畔登山步道的老熟檜木樣木資料，則分別有503株及132株樣木。

林木測量的變數包括胸徑、樹高、樹高與胸徑比值、樹冠比、樹冠直徑、樹冠密度、樹冠透視度及樹冠梢枯等，統計量則包含樣本數、平均值、全距及標準差。

表2：檜木樣木數、胸徑(DBH)、樹高(H)、H/DBH、樹冠比和樹冠直徑

變數	樣木數	平均	全距	標準差
胸徑(cm)	635	36.40	20.0 – 94.0	14.35
樹高(m)	635	13.12	6.5 – 24.4	3.14
樹高與胸徑比值(H/D)	635	38.82	11.1 – 76.3	9.74
樹冠比	635	0.50	0.0 – 0.84	0.19
樹冠直徑(m)	635	5.70	0.0 – 15.4	2.77
樹冠密度	635	58.91	15.0 – 90.0	17.06
樹冠透視度	635	22.30	5.0–100.0	23.89
樹冠梢枯	635	17.20	5.0–100.0	25.47

表 3：太平山原始森林公園的檜木樣木統計值

變數	樣木數	平均	全距	標準差
胸徑(cm)	503	36.45	20.0 – 94.0	14.97
樹高(m)	503	13.07	6.5 – 24.4	3.28
樹高與胸徑比值(H/D)	503	38.81	11.1 – 76.3	10.10
樹冠比	503	0.50	0.0 – 0.84	0.19
樹冠直徑(m)	503	5.23	0.0 – 15.0	2.55
樹冠密度	503	59.58	15.0– 90.0	17.63
樹冠透視度	503	22.82	5.0–100.0	24.66
樹冠梢枯	503	17.70	5.0–100.0	26.31

表 4：翠峰湖畔登山步道的檜木樣木統計值

變數	樣木數	平均	全距	標準差
胸徑(cm)	132	36.18	20.2 – 75.0	11.74
樹高(m)	132	13.31	7.9 – 19.5	2.51
樹高與胸徑比值(H/D)	132	38.87	19.6 – 59.2	8.22
樹冠比	132	0.52	0.0 – 0.80	0.17
樹冠直徑(m)	132	7.48	0.0 – 15.4	2.84
樹冠密度	132	56.33	15.0 – 85.0	14.43
樹冠透視度	132	20.30	10.0–100.0	20.65
樹冠梢枯	132	15.27	5.0–100.0	21.96

由表 2 的分析結果顯示，太平山國家森林遊樂區老熟檜木的平均胸高直徑為 36.4cm，平均樹高約為 13.12m；而比較表 3 與 表 4 可發現，太平山原始森林公園樣木的平均胸徑與平均樹高分別為 36.45cm 及 13.12cm，而翠峰湖畔登山步道樣木的平均胸徑與平均樹高則分別為 36.18cm 及 13.31cm，兩個樣區的統計量並無明顯的差異。

不過，在樹冠直徑方面，翠峰湖畔的樣木樹冠直徑明顯比原始森林公園的大些，而在樹冠密度、樹冠透視度及樹冠梢枯也有差異，但原始森林公園的平均值及標準差皆較翠峰湖畔的樣木來得大。

在徑級分佈方面，圖 7 顯示樣區內並沒有巨木，所有樣木的胸徑皆小於 100cm，直徑越小數量越多，為天然林的倒 J 型徑級分佈。此外，徑級最大的 4 株樣木皆位於原始森林公園內。

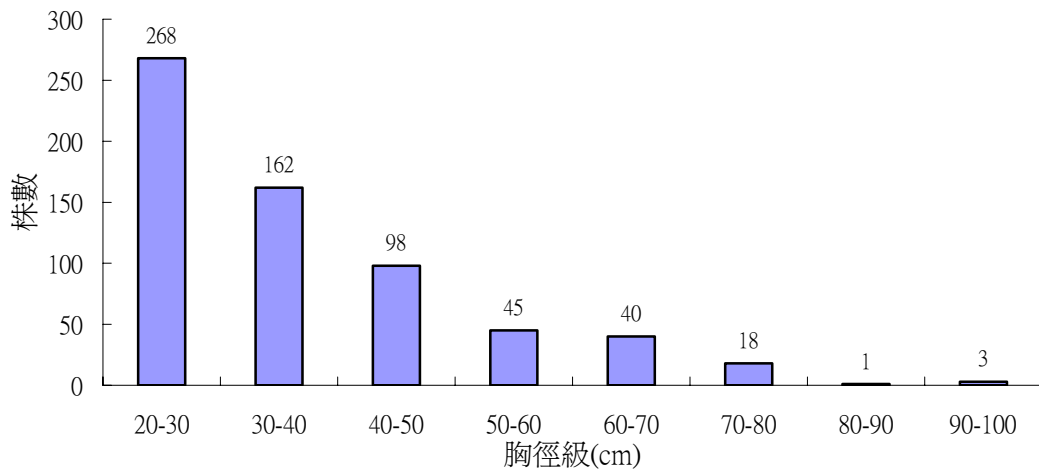


圖 7：胸高直徑級株數分佈圖

在樹高分佈方面，圖 8 顯示樣區內並沒有高大林木，所有樣木的樹高皆小於 25m，而以林木樹高介於 10 到 15m 為最多。

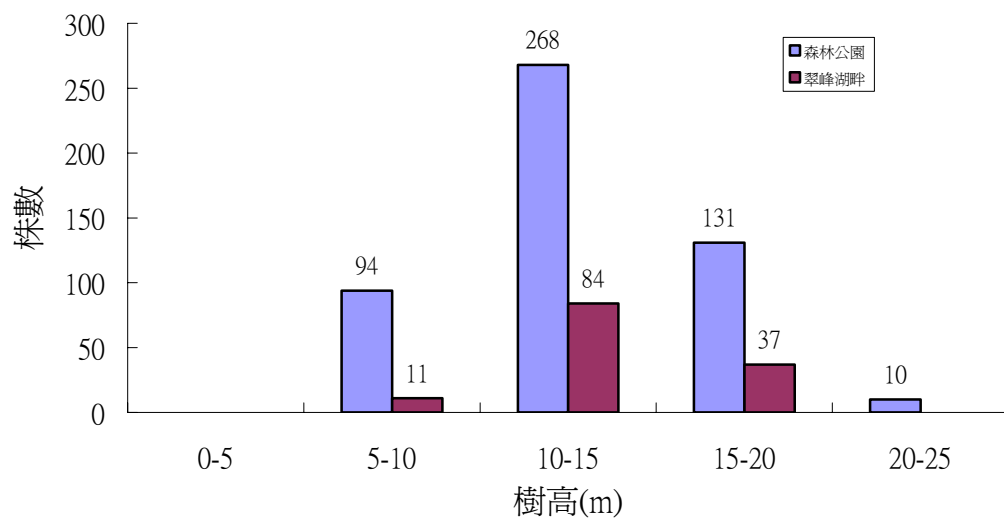


圖 8：樹高株數分佈圖



圖 9 顯示 635 株檜木的存亡狀態，原始森林公園與翠峰湖畔的總枯死木共計 53 株，佔總樣木株數的 8.35%；而原始森林公園的枯死百分比為 8.95%，較翠峰湖畔的 6.06% 為高。

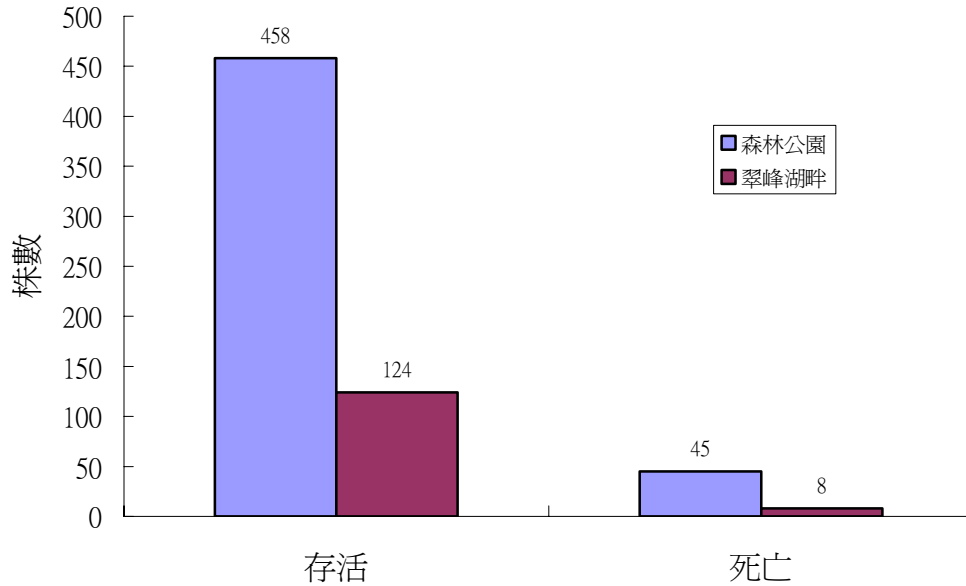


圖 9：林木存活株數分佈圖

在根部狀態方面，除正常無裸根外，其他具裸根之檜木再依其是否有損傷或腐朽而分為裸根無害與裸根有害，本研究將其分由圖 10 及圖 11 進行觀察。在裸根百分比方面，如圖 10 所示，有 87 株屬於正常且無裸根，其餘 548 株有裸根，其中裸根百分比以 26%~50% 佔大多數，計有 171 株。

在裸根有害方面，如圖 11 所示，有 493 株無裸根或裸根無害(無裸根 87 株，有裸根而無害者有 406 株)，而裸根有害的有 142 株，且大部份為輕微受損，其中以 1-10% 損害百分比為最多，計有 99 株，而比較嚴重的根部受損的林木大部份為風倒木和傾斜木。

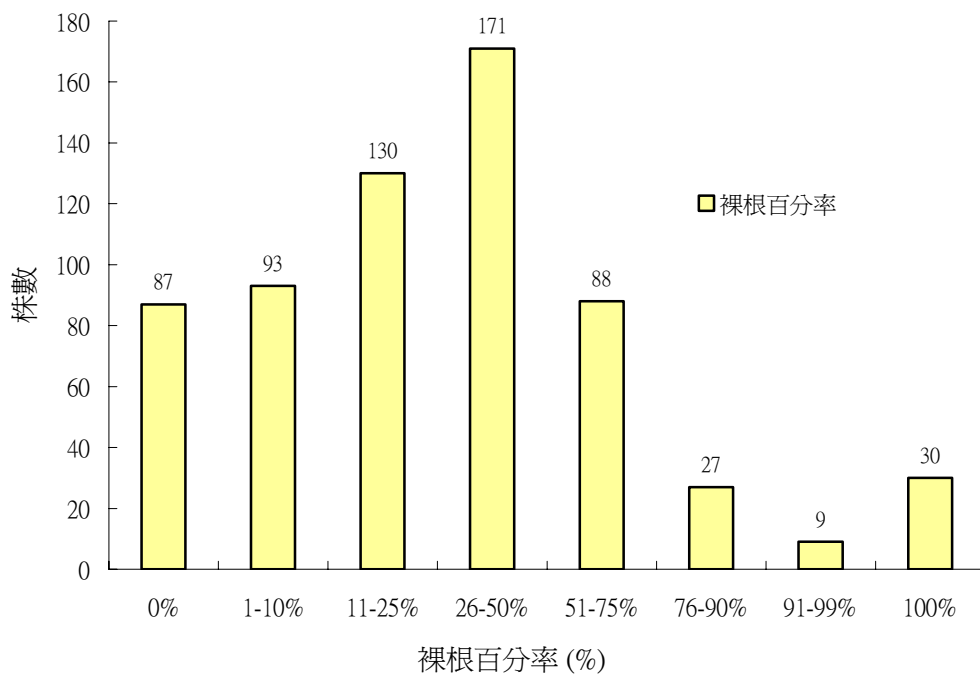


圖 10：根部狀態株數分佈圖

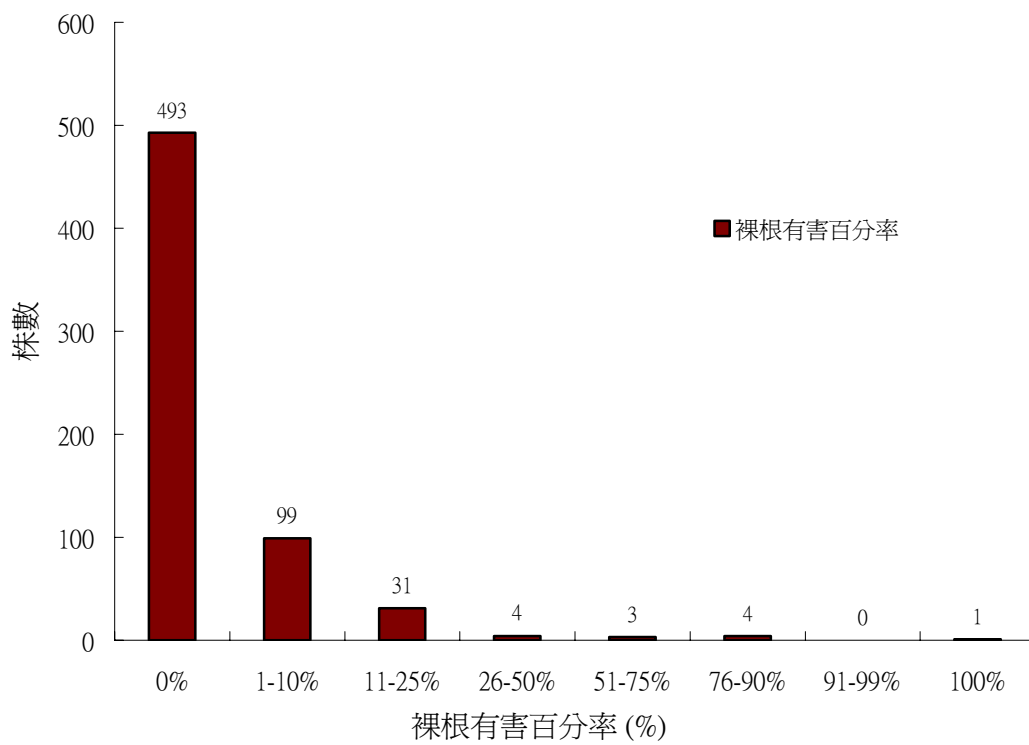


圖 11：根部狀態株數分佈圖

在枝梢枯萎方面，依圖 12 顯示，635 株的樣木皆有枯萎現象，只是程度上有所不同。其中，以 1-25%的枝梢枯萎程度佔絕大多數(計有 545 株)，若再將其細分，枯萎 1-10%的有 289 株，枯萎 11-25%者則有 256 株；其次，枝梢枯萎 100%者，有 53 株。

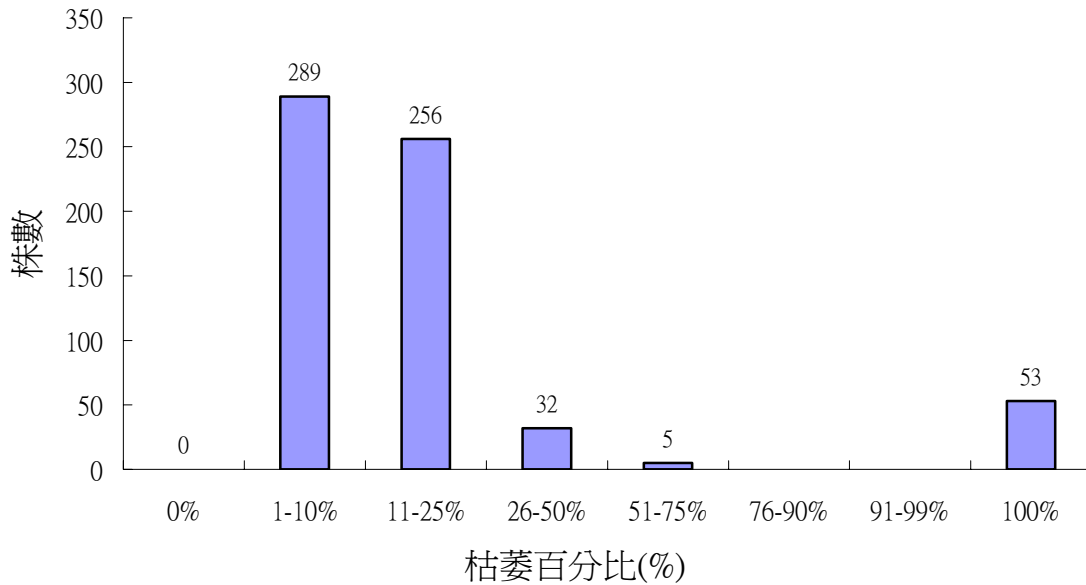


圖 12：枝梢枯萎百分比株數分佈圖

而在圖 13 中，葉子掉落的程度與枝梢枯萎相呼應，亦以 1-25%的葉子掉落程度佔大多數(計有 509 株)，其中落葉程度為 1-10%的有 239 株，11-25%的則有 270 株。異常的落葉可顯現出檜木的健康狀況，大多數檜木低於 50%，但大於 50%之檜木則須注意。

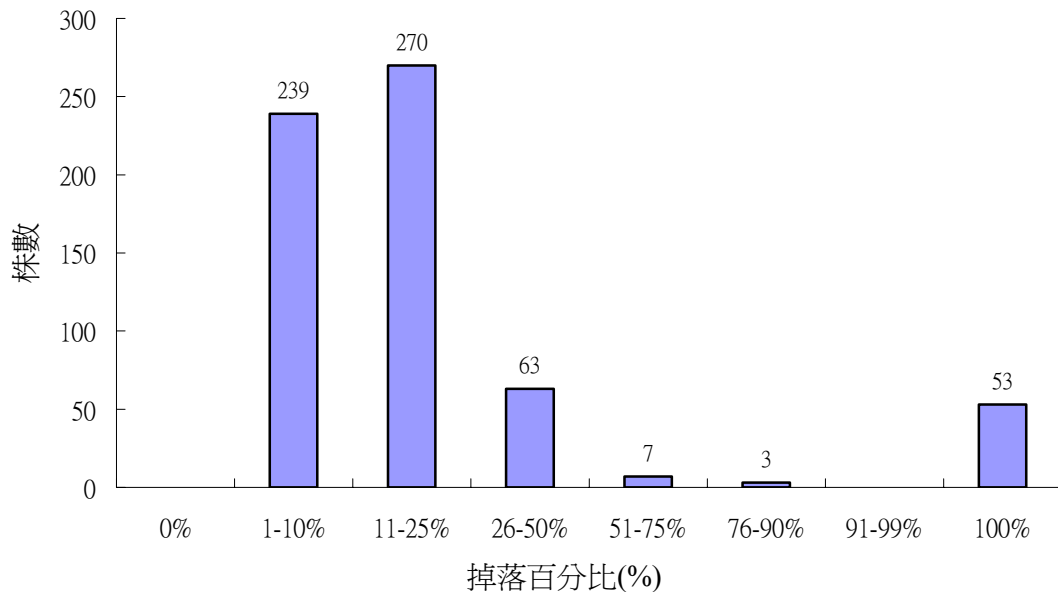


圖 13：葉子掉落百分比株數分佈圖

## (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。林木健康係一抽象構念，須以不同的變數加以衡量，依據歐洲與北美森林健康監測在評估林木健康所使用的變數是以冠層變數為主，再加入一般化視覺判識為衡量變數，找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。當研究尚在啟蒙時期，模式尚在發展中，不確定的因果關係宜採用探索性因素分析（exploratory factor analysis）來逐步建立。

### 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) 兩種因素抽取法，本研究採用主軸法進行抽取。共同性估計法對應主軸法採用最高相關係數法(PRIORS=MAX)，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 5 所示，本研究共選取了三個因素。

表 5：因素個數抽取

因素個數	Eigenvalue	Difference	Proportion	Cumulative
1	6.4302	4.8987	0.7266	0.7266
2	1.5315	0.8757	0.1731	0.8997
3	0.6558	0.3829	0.0741	0.9738
4	0.2729	0.2464	0.0308	1.0046
.....				

在共同性估算方面，除了裸根等級和裸根有害等級兩個變數外，其他所有變數之共同性皆高於 0.7，即共同性高之變數，潛伏因素之變異量解釋力高；且共同性的總和為 8.62，佔總變異的 78.4% (8.62/11)。說明了這三個林木健康型態因素之解釋力可以代表 11 個林木健康型態變數。

另外以最大變異數法 (Varimax) 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，使矩陣中為 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，突顯變數與潛在因素間之關係，使研究者容易對共同因素進行合理的詮釋，也較助於因素的命名。而轉軸後並未改變變數間的相關性，卻可使得某些變數在特定因素上有高負荷量，而對其他因素負荷量極小。

此外，轉軸後的共同因素特徵值會改變，但特徵值總合與轉軸前相同，且每個觀測變數的共同性並不會因轉軸改變，即轉軸後所萃取共同因素對個別觀測變數的總變異量不會改變。實證結果如表 6 顯示，三個林木健康因素，即可代表原始的 11 個林木健康型態變數，並加以命名。

表 6：轉軸後因素結構矩陣

變數名稱	Factor1 葉子活力 指標	Factor2 樹幹附生植物 覆蓋指標	Factor3 根部損傷 指標
樹冠梢枯	0.98563	0.05197	0.08077
樹冠透視度	0.97596	0.09306	0.09546
萌新葉	-0.97561	-0.03640	-0.05250
葉子褪色	0.97344	0.03173	0.04807
枝梢枯萎	0.95398	0.08997	0.12670
葉子掉落	0.93903	0.06431	0.13947
樹冠密度	-0.76608	-0.14564	-0.16797
枝下高樹幹 上半部覆蓋率	0.08752	0.85414	0.00312
枝下高樹幹 下半部覆蓋率	0.06631	0.84809	0.11210
裸根有害等級	0.07901	-0.07680	0.62048
裸根等級	0.11505	0.28154	0.56633
特徵值 (eigenvalue)	6.23366	1.58111	0.80272

## 2. 因素之命名

依據因素結構矩陣進行因素命名，共可萃取出三個林木健康型態因素，茲分別說明如下：

### (1) 葉子活力指標

葉子活力指標為三個因素中解釋力最強的因素，其變數計有樹冠梢枯、樹冠透視度、萌新葉、葉子褪色、枝梢枯萎、葉子掉落、樹冠密度等，皆為葉子活力的展現。其中，以樹冠梢枯的負荷量為最大，達 0.98563。樹冠梢枯百分比之測計，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，造成樹冠體積的減少導致枝條枯死、異常的葉子變色、異常的葉子大小與異常的形狀及提早落葉情形，活力下降甚至衰退死亡，其共同值也高達 0.98，對潛伏因素之變異量解釋力相當高。

負荷量次高的變數為樹冠透視度，負荷量達 0.97596，共同性亦達 0.97。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。

萌新葉為因素 1 負荷量第三高的變數，負荷量為-0.97561，共同性為 0.96。是否萌新葉最易於辨識，但其負荷量為負值。葉子褪色為負荷量第四高的變數，粗略以綠色色階值來進行葉的比色，便容易表現出葉子的活力，其共同性為 0.96，略低於前述三個變數。

枝梢枯萎及葉子掉落分居因素負荷量的第五與第六高，負荷值分別為 0.95398 及 0.93903，而共同性亦分別為 0.93 及 0.91。枝梢枯萎及葉子掉落以樹冠整體比例觀測，枯萎與掉落比率愈高，葉子愈無活力。

最後，樹冠密度為葉子活力的最後一個變數，其負荷量為-0.76608，共同性為 0.64。樹冠密度包括林木側枝、主幹及樹冠葉片部份為光線無法穿透部份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及葉子的面積。由於樹冠密度亦包括枯死的枝、幹與某些觀測變數等屬性的重複，因而降低了共同性的解釋能力。

## (2)樹幹附生植物覆蓋指標

樹幹附生植物覆蓋指標為第二個因素，其以枝下高將樹幹分為上、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。在樹幹附生植物覆蓋的因素 2 下，樹幹上半部覆蓋率的負荷量為 0.85414，而下半部覆蓋率的負荷量為 0.84809，其共同性皆達 0.74。

植被的覆蓋與周遭微環境有關，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。雖然覆蓋率愈高代表林木愈不健康，但是樹幹附生植物覆蓋指標的特徵值較葉子活力指標的特徵值小很多。



### (3)根部損傷指標

根部損傷指標為第三個解釋因素，計有裸根有害等級及裸根等級兩個變數，負荷量分別為 0.62048 及 0.56633，而其共同性在各變數中為最低，分別只有 0.40 及 0.41。

由於老齡林木易有盤根、根部裸露及根張等情形產生，通常會導致林木無法吸收養份與水份，容易影響林木的健康狀態。由於根部受損之結果，亦容易反映在冠層上，因此會造成共同性解釋力的降低。

### 3. 綜合指標之林木健康分級

由於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，為瞭解林木健康指標系統下可觀測變數間對於共同趨勢的貢獻，俾以建立林木健康綜合評估模式，但其常會面臨權重 (weighting) 的周延性與主觀性的爭議。因此，轉軸後的負荷量可詮釋為因素對變數之變異數的貢獻量，可由各因素特徵值的比例，訂定出各共同因素間的相對重要性，以表示所萃取個別因素對所有變數總變異的貢獻或重要性，將之除以所有萃取因素之總和，定義為其「相對權重 (relative weighting)」，作為因素間相對重要性之衡量依據 (張益誠，2001)。

本研究之前已萃取出「葉子活力指標」、「樹幹附生植物覆蓋指標」與「根部損傷指標」三個因素，因此可將各因素特徵值的比例，視為葉子活力指標、樹幹附生植物覆蓋指標與根部損傷指標間之相對重要性，依此計算三個林木健康指標之相對權重，再以加權方式計算加權因素分數。

在計算出加權因素分數的平均數和標準差後(平均數為 0，標準差為 0.7977)，可進行加權因素分數的標準化，以作為林木健康之綜合指標。若按加權標準化因素分數的高低進行健康等級的分類，所得結果如表 7 所示。其中，健康等級(A)共分四級，其分類標準及意義如下：

- A=1     $x' < 0$             (健康)
- 2     $0 \leq x' < 1$         (輕微不健康)
- 3     $1 \leq x' < 2$         (中度不健康)
- 4     $x' \geq 2$             (嚴重不健康或死亡)

表 7：健康指標之加權標準化因素分數與分級結果

樹號	葉子活力 指標	樹幹附生植 物覆蓋指標	根部損傷 指標	加權因素 分數(x)	加權標準化 因素分數(x')	健康等級 (A)
相對權重 →	0.72337	0.18347	0.09315			
1	-0.41412	0.97662	-0.10077	-0.12976	-0.16267	1
2	-0.41515	0.22993	-0.16293	-0.27330	-0.34260	1
3	-0.33056	1.57275	-0.32261	0.01939	0.02431	2
4	3.25305	0.70478	0.61987	2.54022	3.18436	4
5	-0.37017	-0.10056	-0.26617	-0.31101	-0.38988	1
6	-0.43626	-0.19310	-0.32998	-0.38175	-0.47855	1
7	3.22773	-0.05136	0.22839	2.34670	2.94178	4
8	-0.26579	0.47341	-0.36017	-0.13896	-0.17419	1
9	-0.32687	0.34996	1.15072	-0.06505	-0.08154	1
10	-0.28970	-0.05243	-0.39256	-0.25575	-0.32060	1
.....						

註：x 的平均數為 0，標準差為 0.7977，；x' 的平均數為 0，標準差為 1。

本研究利用加權標準化因素分數將樣木進行四種健康等級的分類

後，如表 8 所示，在全體 635 株樣木中，歸類為等級 1(健康)的樣木計有 476 株，佔總樣木的 74.96%，為比率最高的等級。在區分為兩個樣區的情況下，則森林公園中等級 1 的樣木計有 363 株，佔其樣木的 72.17%；翠峰湖則有 113 株，佔其樣木的 85.61%，在比率上相對大於森林公園。

健康等級相對比率次高的為等級 2(輕度不健康)，共計有 102 株，佔總樣木的 16.06%，其主要來自於森林公園的樣木。此外，健康等級 3(中度不健康)所佔的比率為最低，全體樣本僅有來自森林公園的 4 株，佔總樣木的 0.63%。

表 8：檜木樣木健康等級分佈表

樣 區	等級 1		等級 2		等級 3		等級 4		總計	
	株數	百分比	株數	百分比	株數	百分比	株數	百分比	株數	百分比
森林公園	363	72.2%	91	18.1%	4	0.8%	45	8.9%	503	100%
翠峰湖	113	85.6%	11	8.3%	0	0%	8	6.1%	132	100%
全體樣木	476	75.0%	102	16.1%	4	0.6%	53	8.3%	635	100%

上述健康等級分類結果，可作為林木健康等級鑑別分析之反應變數的實際歸類，較為客觀且有所依據。本研究並以林木健康等級的株數作為其先驗機率，分別為「第一級-健康」 476 株 (75.0%)、「第二級-輕微不健康」102 株 (16.1%)、「第三級-中度不健康」4 株 (0.6%)，以及「第四級-嚴重不健康或死亡」53 株 (8.3%)。

### (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，以便建立鑑別函數；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。樣本的觀測資料係為鑑別分析建立鑑別函數之依據，利用鑑別法則極大化之原則，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，是評估鑑別函數適合度之依據，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數，係根據因素分析之因素分數（factor scores）加權平均標準化的高低，進行人為判釋實際歸類。如前述健康等級分類的結果，林木健康等級的株數及其先驗機率分別為「第一級-健康」476株（75.0%）、「第二級-輕微不健康」102株（16.1%）、「第三級-中度不健康」4株（0.6%），以及「第四級-嚴重不健康或死亡」53株（8.3%）。

本研究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，以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，建立預測機率函數，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佳。

## 1. 解釋變數之鑑別力

### (1) 依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等級分類上的效用，特以鑑別分析來驗證這 3 個林木健康指標的鑑別力是否顯著。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 ( $p < 0.0001$ )。

在個別解釋變數鑑別力之顯著性檢定方面，表 9 顯示上述的所有解釋變數皆為極顯著 ( $p < 0.0001$ )。爾後將這些顯著的解釋變數納入鑑別函數中，另用默氏法進行歸類的預測。

表 9：抽出因素作為解釋變數之正典鑑別函數假說檢定

變 數	F 值	P 值
葉子活力指標	7099.87	$<0.0001^*$
樹幹附生植物覆蓋指標	118.45	$<0.0001^*$
根部損傷指標	64.01	$<0.0001^*$

如表 10 所示，為本研究利用默氏法的歸類矩陣，將實際樣木的等級進行歸類的預測。由表中可看出，全部擊中的有等級 1、等級 3 與等級 4，在預測歸類錯誤的機率方面，則如表 11 所示。

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	等級 1 健康	等級 2 輕微 不健康	等級 3 中度 不健康	等級 4 嚴重不健 康及死亡	總計
健康	476	0	0	0	476
輕微不健康	14	86	2	0	102
中度不健康	0	0	4	0	4
嚴重不健康及死亡	0	0	0	53	53
總計	490	86	6	53	635

由表 11 可看出，在先驗機率已知下，顯示等級 1、等級 3 與等級 4 的錯誤歸類機率為 0，只有等級 2 的錯誤率為 15.69%，使總錯誤率為 0.0253，擊中率為 97.47%，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數的實際歸類。

表 11：抽出因素作為解釋變數之錯誤歸類機率

林木健康等級	機率	先驗機率
健康	0.0000	0.750
輕微不健康	0.1569	0.161
中度不健康	0.0000	0.006
嚴重不健康及死亡	0.0000	0.083
合計	0.0253	

## (2)依原始調查的測計變數作為解釋變數

本研究進行因素分析之目的，主要係藉由分析過程去協助鑑別分析反應變數的實際歸類，故可將原始調查的測計直接放入鑑別模式中，以瞭解預測歸類與實際歸類的正確性如何。

本研究將原始調查的觀測變數作為解釋變數，並透過正典鑑別函數進行假說檢定，即根據 Wilks' Lambda 之 p 值，經檢定結果得  $p < 0.0001$ ，顯示鑑別函數具有顯著性。在個別解釋變數鑑別力顯著性的檢定方面，如表 12 所示，所有變數檢定的 p 值皆  $< 0.0001$ ，故每一個解釋變數皆具統計上的顯著性。

表 12：原始觀測變數作為解釋變數之正典鑑別函數假說檢定

變 數	F 值	P 值
樹 冠 密 度	292.56	0.0001*
樹 冠 透 視 度	7715.05	0.0001*
樹 冠 梢 枯	6867.67	0.0001*
萌 新 葉	13645.80	0.0001*
葉 子 褪 色	5861.60	0.0001*
枝 梢 枯 損	1663.79	0.0001*
葉 子 掉 落	1135.01	0.0001*
枝下高樹幹上半部覆蓋率	84.47	0.0001*
枝下高樹幹下半部覆蓋率	86.91	0.0001*
裸 根 等 級	39.93	0.0001*
裸 根 有 害 等 級	10.19	0.0001*
樹 高 胸 徑 比	16.50	0.0001*
樹 冠 比	441.38	0.0001*
冠 徑 比	39.80	0.0001*

同理將上列顯著的 14 個原始觀測變數納入鑑別函數中，利用默氏法進行預測歸類，結果如表 13 的歸類矩陣所示。由表中可看出，預測歸類與實際歸類間完全相符的健康等級有等級 1 與等級 4，等級 3 因為只有 4 株樣木，故錯誤率最高，而整體的錯誤率為 0.0298，即擊中率為 97.02%，此鑑別函數還是具有歸類的預測能力。

表 13：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	等級 1 健康	等級 2 輕微 不健康	等級 3 中度 不健康	等級 4 嚴重不健 康及死亡	總計
健康	476	0	0	0	476
輕微不健康	16	86	0	0	102
中度不健康	0	3	1	0	4
嚴重不健康及死亡	0	0	0	53	53
總計	492	89	1	53	635

## 2. 逐步鑑別分析

本研究利用逐步鑑別分析，在四個健康等級中尋找最具鑑別力的變數，經篩選結果共有 12 個變數最具鑑別力，顯著水準皆達 0.05，其結果如表 14 所示。

自逐步鑑別分析結果得知，萌新葉為最具鑑別力的變數，部份  $R^2$  值為 0.9848，重要性排名第一；其次為樹冠透視度、枝下高樹幹上半部覆蓋



率、樹冠梢枯、樹冠密度等變數，部份  $R^2$  值依序為 0.4220、0.2831、0.1783 及 0.1696 等。

表 14：逐步鑑別分析所篩選具鑑別力之變數

重要性	變數	Partial $R^2$	F	P
1	萌新葉	0.9848	13645.80	<.0001
2	樹冠透視度	0.4220	153.31	<.0001
3	枝下高樹幹上半部覆蓋率	0.2831	82.78	<.0001
4	樹冠梢枯	0.1783	45.36	<.0001
5	樹冠密度	0.1696	42.77	<.0001
6	枝下高樹幹下半部覆蓋率	0.0927	21.32	<.0001
7	裸根有害等級	0.0624	13.86	<.0001
8	葉子掉落	0.0382	8.26	<.0001
9	樹冠比	0.0237	5.04	0.0019
10	裸根等級	0.0191	4.04	0.0074
11	枝梢枯萎	0.0196	4.14	0.0064
12	葉子褪色	0.0144	3.03	0.0289

由於逐步鑑別分析並無法得知預測能力，同理再將上述 12 個變數納入鑑別函數中，利用默氏法進行預測歸類，結果如表 15 所示。經由逐步鑑別分析所篩選的最具鑑別力之變數，等級 1 與等級 4 的擊中率為 100%，而等級 3 的歸類錯誤率較高，但總錯誤率為 0.0298，擊中率為 97.02%，顯示此 12 個變可有效鑑別檜木的健康等級。

本研究將逐步鑑別分析所篩選變數的個數及其擊中率，分別彙整如表 16 所示。由表中可看出，當只篩選一個變數時，其錯誤歸類機率为 0.1670，

二個變數時為 0.1370，其後錯誤機率隨著變數個數的增加而遞減，當篩選變數個數為 12 時，錯誤歸類機率降至 0.0298，擊中率提高為 97.02%。

表 15：逐步鑑別分析所篩選具鑑別力的變數作為解釋變數之歸類矩陣

實際歸類 \ 預測歸類	等級 1 健康	等級 2 輕微 不健康	等級 3 中度 不健康	等級 4 嚴重不健 康及死亡	總計
健康	476	0	0	0	476
輕微不健康	16	86	0	0	102
中度不健康	0	3	1	0	4
嚴重不健康及死亡	0	0	0	53	53
總計	492	89	1	53	635

表 16：逐步鑑別分析所篩選變數的個數與其擊中率

篩選變數個數	錯誤歸類機率	擊中率
1	0.1670	84.30%
2	0.1370	86.30%
3	0.0975	90.25%
4	0.0833	91.67%
5	0.0818	91.82%
6	0.0581	94.19%
7	0.0424	95.76%
8	0.0424	95.76%
9	0.0408	95.92%
10	0.0329	96.71%
11	0.0266	97.34%
12	0.0298	97.02%

#### (四) 林木健康指數空間分佈

本研究以電腦模擬在太平山原始森林公園劃分出 52 個模擬樣區，每個樣區大小為 20m x 20m。如圖 14 所示，透過林木位置圖以各樣區的平均值顯示林木的健康分級，以瞭解林木健康的空間分佈狀況。而各樣區所採用的平均值，係各樣區藉因素分析所獲得之加權標準化因素分數( $x'$ )的平均值。

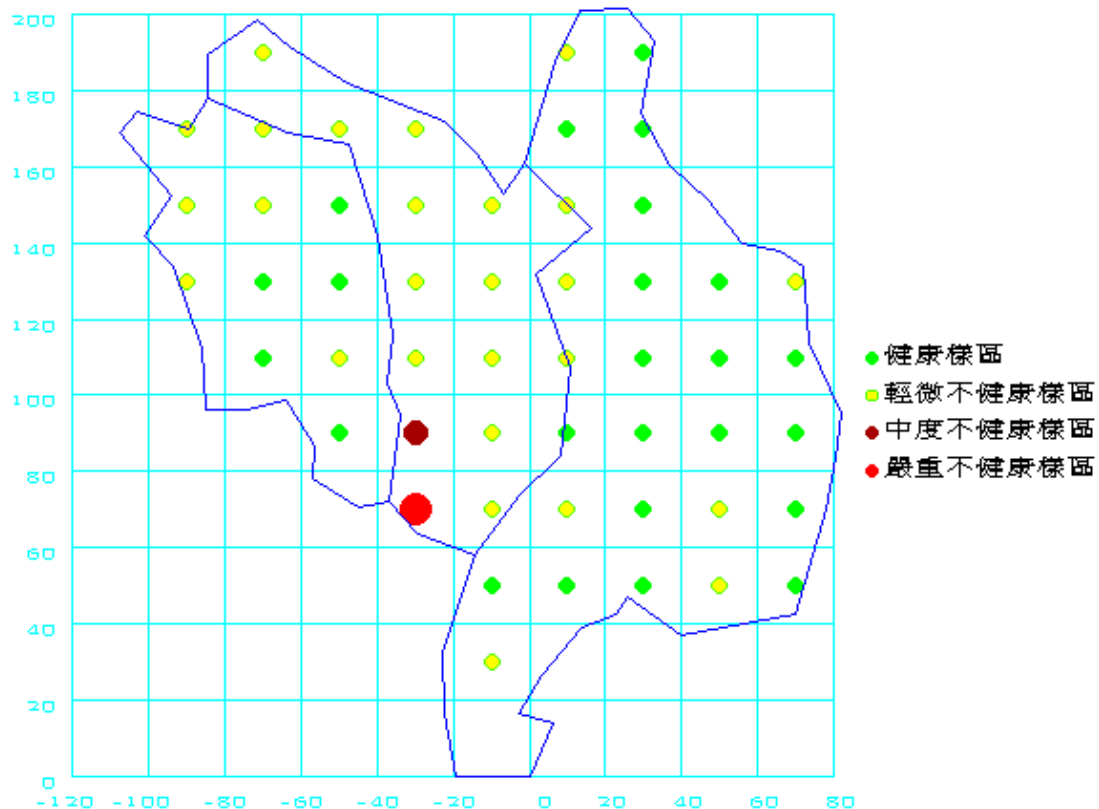


圖 14：林木健康狀況的空間分佈圖

圖 14 的圓點共顯示四種等級的健康狀況，等級 1(健康)以綠底的圓點表示。等級 2(輕度不健康)、等級 3(中度不健康)及等級 4(嚴重不健康)，

則以深淺不同的底色代表，顏色愈深表樣區愈不健康，且圓點愈大愈不健康。至於各健康等級的分類標準及分佈狀況，則如表 17 所示。

表 17：太平山原始森林公園 63 個樣區之健康分佈表

健康等級	分類標準	樣區數
1 (健康)	$x'$ 平均值 $< 0$	24
2 (輕度不健康)	$0 \leq x'$ 平均值 $< 1$	26
3 (中度不健康)	$1 \leq x'$ 平均值 $< 2$	1
4 (嚴重不健康)	$x'$ 平均值 $\geq 2$	1
合計		63

由表 17 可看出，以等級 1 的樣區數為最多，有 24 個，次為等級 2 的 26 個樣區，而等級 3 與等級 4 的樣區數則僅各有 1 個。若對照圖 14 來看，等級 3 與等級 4 所對應的 2 個樣區，分別為圖中次大及最大的深色圓點，其  $x'$  平均值分別為 1.19 及 2.27，表示其為中度不健康與嚴重不健康的樣區。

依樣區的位置顯示，上述最大及次大深色圓點的樣區，係座落於森林浴步道起始點與觀音石步道的交匯處，其為該公園檜木健康狀況較脆弱的地方，未來應進行長期監測，如定期進行數位影像偵測，以確實掌握該樣區及附近樣區檜木的健康狀況。

## 五、結論與建議

關於森林健康，國外研究從事相關資料蒐集已有二十年，而國內相關研究尚在起步階段。本研究以「太平山國家森林遊樂區」的老熟檜木森林為研究對象進行森林調查，調查資料分別為太平山原始森林公園和翠峰湖畔登山步道的老熟檜木樣木資料。分析的重點為樹冠狀況之變數，以鑑別分析與因素分析進行檜木健康指數的建立，透過量化與可實測的項目，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。

此外，本研究亦透過林木位置圖，以樣區的平均值展示林木健康狀況的空間分佈，以瞭解是否有區域具特殊異常的現象。茲將本研究的各項敘述統計分析、因素分析、鑑別分析及林木健康狀況空間分佈的重要結果，分別列述如下：

### (一)敘述統計分析

經敘述統計分析後發現，樣木的平均胸高直徑約為 36cm，平均樹高約為 13m，且原始森林公園與翠峰湖畔登山步道的老熟檜木森林樣區的平均胸徑與平均樹高無明顯差異，但翠峰湖畔的樣木樹冠直徑明顯比原始森林公園的大，以及原始森林公園樣木在樹冠密度、樹冠透視度及樹冠梢枯方面，其平均值及標準差皆較翠峰湖畔的樣木為大。

此外，在樣區內並無巨木或高大林木，胸高直徑的分佈為倒 J 型的徑級分佈，且所有樣木的樹高皆小於 25m。在檜木的存亡狀態及是否有裸根

方面，總枯死木佔樣木株數的 8.23%，且原始森林公園的枯死量較翠峰湖的為高些；計有 87 株樣木無裸根狀態，有裸根而無害者有 406 株，裸根有害者計 142 株，但大部份為輕微受損。

在枝梢枯萎及落葉方面，635 株的樣木在枯萎現象的程度上有所不同。其中，以 1-25%的枝梢枯萎程度佔絕大多數(計有 545 株)；而葉子掉落的程度與枝梢枯萎相呼應，亦以 1-25%的葉子掉落程度佔大多數(計有 509 株)。

## (二)因素分析

本研究透過因素分析，共抽取「葉子活力指標」、「樹幹附生植物覆蓋指表」及「根部損傷指標」三個因素，累積的解釋能力高達 0.9738，其共同性總和為 8.62，佔總變異的 78.4%。

本研究進一步利用此三個因素，作為林木健康分級的綜合指標，將全體樣木的健康狀況分為 4 個等級，等級 1 至等級 4 依序代表「健康」、「輕度不健康」、「中度不健康」及「嚴重不健康或死亡」。在全體 635 株樣木中，等級 1 共有 476 株樣木，佔全體樣木的 75.0%，其中翠峰湖樣木健康的比率高於森林公園。此外，等級 3 的樣木比率最低，僅有 4 株，佔全體樣木的 0.6%。

## (三)鑑別分析

本研究分別依因素分析所抽出的 3 個因素，及原始資料的 14 個測計

變數作為解釋變數，而進行兩組的鑑別分析，透過正典鑑別函數的檢定，發現前述兩類的解釋變數皆極為顯著( $p < 0.0001$ )。此外，利用默氏法進行預測歸類，發現以 3 個因素為解釋變數所得到鑑別函數的擊中率為 97.47%，而以原始資料為解釋變數所得到鑑別函數的擊中率為 97.02%。此外，本研究亦採用逐步鑑別分析進行確認，發現在採用 12 個變數時鑑別函數的擊中率最高，亦為 97.02%。

#### (四) 林木健康指數空間分佈

為瞭解林木健康的空間分佈狀況，本研究透過林木位置圖以各樣區的平均值顯示林木的健康分級。經電腦模擬結果發現，在太平山原始森林公園的 52 個模擬樣區中，等級 1(健康)的樣區數有 24 個，等級 2(輕度不健康)的 26 個樣區，而等級 3(中度不健康)與等級 4(嚴重不健康)的樣區數則各僅有 1 個。

其中，健康等級 3 與等級 4 的樣區，係該公園林木健康狀況較脆弱的地方，其位於森林浴步道起始點與觀音石步道交匯處。建議未來可針對該區附近林木進行定期的數位影像監測，以利於瞭解與掌握附近樣區林木的健康狀況。

為使林業可永續經營與發展，森林健康的經營管理為重要的長期目標，藉由早期的健康監測，能及早提出因應措施並降低損害的成本。期望本研究所發展的林木健康指數，未來能延伸應用於其他地區，使經營者能以客觀並有效率之方式進行森林的保育與管理。

## 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. 王兆桓、陳子英 (2002) 林木健康指標評估方法之建立—以棲蘭地區老熟檜木為例，行政院農業委員會林務局保育研究系列第 91-6 號，47p。
3. 行政院農業委員會林務局 (2005) 國家森林遊樂區。  
<<http://recreate.forest.gov.tw/>>
4. 伯斯飯店生態策略聯盟 (2005) 太平山國家森林遊樂區。  
<<http://www.taiping-shan.com.tw/index.htm>>
5. 呂坤旺、周中華、鍾宜君、王兆桓 (2002) 臺灣東部老樹評比暨活力調查研究。國立宜蘭技術學報 9(生物資源專輯): 211-221。
6. 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。
7. 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。
8. 張益誠(2001) 應用因子分析方法為台灣地區建構永續發展趨勢評估指標系統。國立臺灣大學環境工程學研究所博士論文。P.127。
9. 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.
10. 陳家玉 (2003) 棲蘭山檜木老熟林健康指標評估法。國立台灣大學森林系碩士論文。82p。
11. 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。

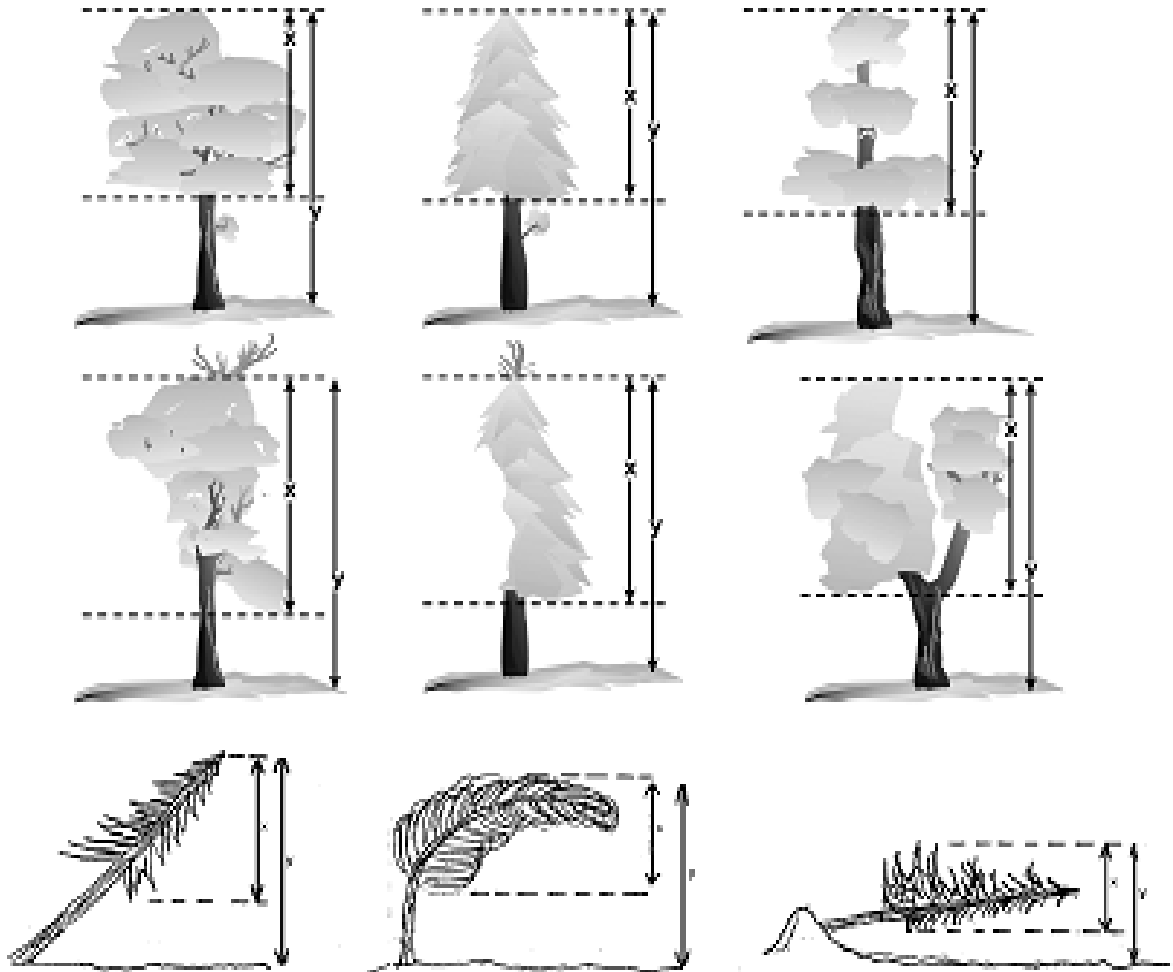
12. 葉慶龍 (2004) 森林健康監測研究—北中部保安林健康監測。行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列 93-00-2-01，90p。
13. 葉慶龍、邱柏瑩 (2003) 森林健康監測研究—西部保安林健康監測。行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列 92-20-13，100p。
14. 榮民森林保育事業管理處 (1999) 棲蘭、明池森林遊樂區 森林資源解說手冊。行政院國軍退除役官兵輔導委員會榮民森林保育事業管理處。p.15-16, 106-107, 125-127。
15. Alexander, S.A. and Palmer, C.J. (1999) Forest health monitoring in the United States: first four years. *Environ. monit. assess.* 55: 267-277.
16. 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.
17. 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.
18. Conkling, B.L. and Byers, G.E. (1993) Forest health monitoring field methods guide. Internal Report. U.S. Environmental Protection Agency, Las Vegas, NV.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
  22. 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.
  23. John, L. I. (1998) Role of diagnostic studies in forest monitoring programmes. *Chemosphere* 36(4-5): 1025-1030.
  24. 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.
  25. 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.
  26. 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.
  27. 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.
  28. 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.
  29. 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.
30. 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.
  31. 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.
  32. Rogers, P. (2002) Using forest health monitoring to assess aspen forest cover change in the southern Rockies ecoregion. *For. Eco. Manage.* 155: 223-236.
  33. 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. pp.4-35.
  34. 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.
  35. Scott, C. T., Kohl, M. and Schnellbacher, H. J. (1999) A comparison of periodic and annual forest surveys. *For. Sci.* 45(3): 433-451.
  36. Smith, W.B. (2002) Forest inventory and analysis: a national inventory and monitoring program. *Environ. pollut.* 116: S233-S242.
  37. 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.

38. Strand G.-H. (1996) Detection of observer bias in ongoing forest health monitoring programmes. *Can. J. For. Res.* 26:1692-1696.
39. 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>>
40. USDA Forest Service (2002b) Summary of indicators sampled by the FIA phase 3 protocols. < <http://www.nature.nps.gov/im/monitor/fhmindic.htm> >
41. USDA Forest Service (2002c) FIA Field Methods Guide for Phase 2 Measurements. <<http://fia.fs.fed.us/library.htm#manuals>>
42. 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



樹冠比 = 樹冠長佔全樹高的比率，即  $X/Y$

圖 15：樹冠比之測計  
(資料來源：USDA Forest Service, 2002c)

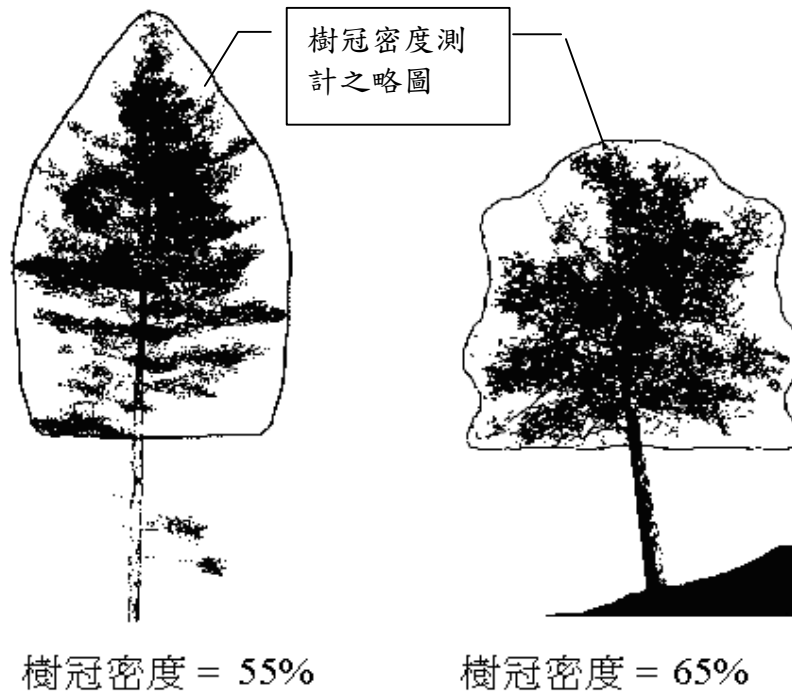


圖 16：樹冠密度百分比之測計  
 (資料來源：USDA Forest Service, 2002c)

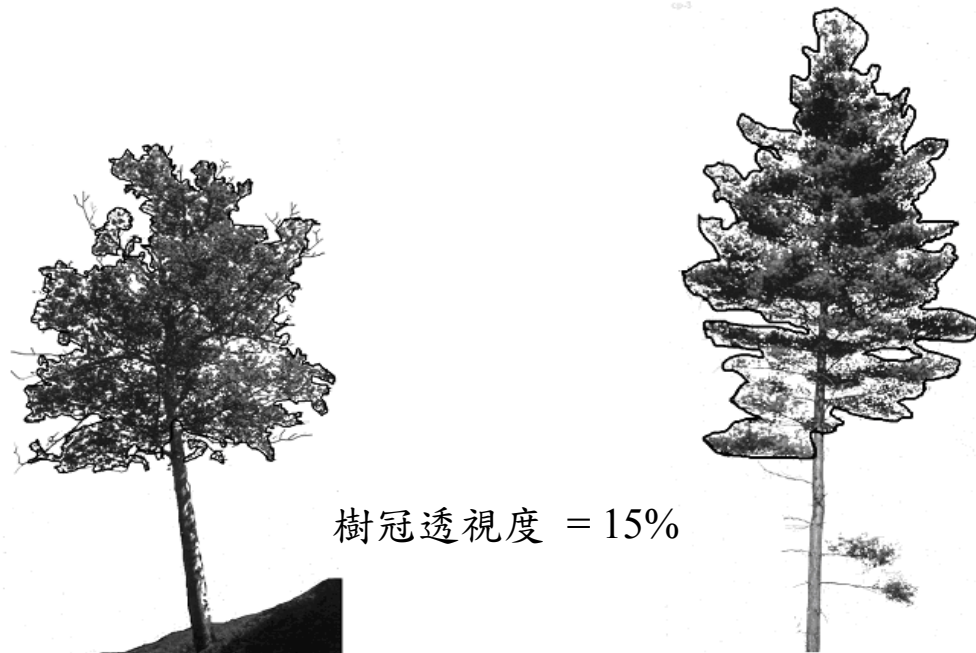
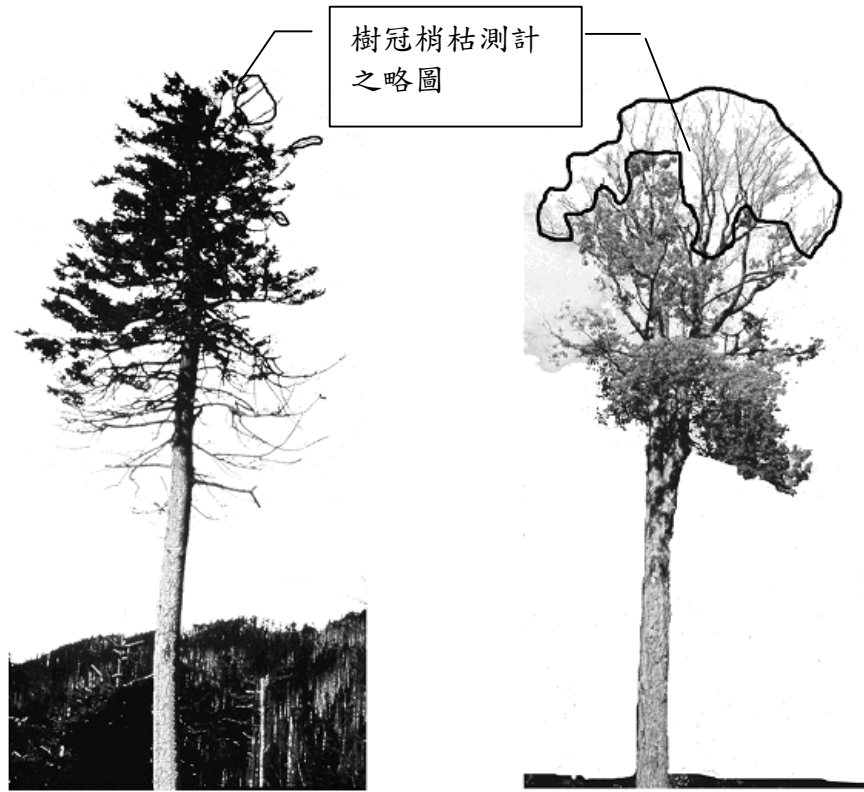


圖 17：樹冠透視度百分比之測計  
 (資料來源：USDA Forest Service, 2002c)



樹冠梢枯 = 0%

樹冠梢枯 = 5%

圖 18：樹冠梢枯百分比之測計  
 (資料來源：USDA Forest Service, 2002c)

因素分數計算的方法：

$$\hat{f}_j = \hat{L}'S^{-1}(x_j - \bar{x}), \quad j=1,2,\dots,n$$

如果是使用相關矩陣，則改用下式：

$$\hat{f}_j = \hat{L}'_Z R^{-1} Z_j, \quad j=1,2,\dots,n$$

其中

$$Z_j = D^{-1/2}(x_j - \bar{x}) \quad \text{and} \quad \hat{\rho} = \hat{L}_Z \hat{L}'_Z + \hat{\Psi}_Z$$

$z_j$  為  $x_j$  標準化之值。

$\rho$  : the covariance matrix

$\hat{\Psi}_Z$  : specific variance matrix





林內森林浴步道



林內較佳的林相



林內觀景平台



林內倒木情形





觀景台附近倒木情形



林內枯木情形