

棲蘭山檜木森林調查與健康監測
Cypress forest survey and health monitoring
in Qi-Lan mountain

委託機關：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

執行機關：國立宜蘭大學自然資源學系

研究計畫主持人：王兆桓

研究人員：

研究助理：王光仁、蘇柏翰

野外調查：王光仁、蘇柏翰、林似俞、周政利、
祝宇恆、洪章記、郭淑珠、陸騫

原始數據輸入：王光仁、蘇柏翰

資料分析報告：王光仁、蘇柏翰、李威震

執行期間：94年5月1日至94年12月31日

中文摘要

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。本研究以棲蘭山檜木森林為對象，測計與林木健康有關的變數，應用因素分析建構林木健康指標以協助健康評分，並使用變異數分析檢定疏伐區與未疏伐區之間健康評分平均是否有差異。結果顯示，從因素分析中萃取出一個林木健康因素，並命名為樹冠活力指標。其共同性佔總變異的 77.9%，具適度的解釋能力，可用於林木健康的評分。在變異數分析方面，由於該地區林分內的變異很大，故必須先剔除不正常的極端值。經剔除兩個差異性很大的樣區後，變異數分析結果顯示，疏伐樣區較未疏伐樣區為健康。本研究的分析程序不僅可以建構林木的健康指標，同時可以評估個別林分的健康狀況，有助於保育工作的進行。

【關鍵詞】 林木健康指標，因素分析，森林健康監測

Abstract

While monitoring forest health 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 the cypress forest in Qi-Lan mountain, and the measurement of those variables related to their health. Factor analysis is applied to construct health indicators in order to score tree health easier. Besides, analysis of variance is applied to test the mean health scores of thinned and un-thinned stands. After the application of factor analysis those health-related variables have been classified into one factor which named crown vigor indicator. This factor can explain 77.9% of the communalities for the total variance, and then it is used to score tree's health. Since there is high variation within the study forest, it's better to separate the abnormal plots before analysis. After eliminating two outliers of plots, the result of analysis of variance shows that the health condition of the thinned stand is slightly better than that of the un-thinned stand. The above procedure can not only construct health indicators of trees, but also evaluate health conditions of forest stands, and it is conducive to the implementation of the conservation efforts.

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

目次

一、前言	1
二、材料與方法	3
(一) 樣區設置	3
(二) 林木調查項目	4
(三) 分析方法	8
1. 因素分析 (<i>factor analysis</i>)	8
2. 變異數分析 (<i>analysis of variance</i>)	8
三、結果與討論	9
(一) 敘述統計分析	9
(二) 因素分析 (FACTOR ANALYSIS)	17
(三) 林木健康分級	19
(四) 地被植群調查結果	22
四、結論與建議	23
五、參考文獻	25

圖目錄

圖 1：健康監測研究流程	3
圖 2：樹冠狀態判定準則依據，資料來源：CONKLING 和 BYERS (1993)	5
圖 3：樹冠透視度與樹冠密度判定依據之標準照片，	6
圖 4：樹冠狀態測計方式，資料來源：USDA FOREST SERVICE 2002.....	6
圖 5：胸高直徑級株數分佈圖	13
圖 6：林木存活株數分佈圖	14
圖 7：檜木根部狀態株數分佈圖	14
圖 8：其他樹種根部狀態株數分佈圖	15
圖 9：枝梢枯萎程度株數分佈圖	16
圖 10：葉子掉落程度株數分佈圖	16

表目錄

表 1：樣木數及其胸徑、樹高、樹冠比、樹冠密度、樹冠透視度和樹冠梢枯..	9
表 2：未疏伐與疏伐樣區之檜木及其他樹種之胸徑、樹高、樹冠比、樹冠密度、樹冠透視度和樹冠梢枯比較.....	10
表 3：未疏伐樣區與疏伐樣區各樹種幼稚木健康等級分配.....	11
表 4：各樣區內小樣區的檜木苗木健康等級分配.....	11
表 5：各樣區中檜木及其他樹種每公頃株數(N)、斷面積(BA)與材積(V)	12
表 6：因素個數抽取	18
表 7：因素結構矩陣	18
表 8：健康指標之標準化因素分數	20
表 9：樣區 Z 值表.....	20
表 10：樣區健康分級表	21
表 11：疏伐與未疏伐樣區健康評分變異數分析表	21

一、前言

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，曾以大面積之天然群落分布於本省中央山脈中，目前本省北部棲蘭地區，仍保持著大面積的檜木林。棲蘭地區位居東北季風之衝，全年各月雨量平均而豐盛具有雨林性質，並且有多棵碩大的老熟檜木被列為神木級之巨木。然而檜木的一生都生活在野外，常受到外在環境的威脅，而這些威脅是否會造成檜木的衰退，值得我們予以關注。此外，適當的森林撫育作業是否能增加檜木森林的健康，亦值得進行研究。面對此種問題，最佳的方式是進行檜木健康監測，建立健康指標以提供評估之用。

近一、二十年來，森林的健康越來越受到重視，許多歐洲國家自 1980 年代陸續進行大面積的森林健康狀況調查，以瞭解其受各方因素影響情形。美國亦於 1990 年由林務署與環保機構共同開始執行森林健康監測，美國林務署將森林健康定義為「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)。

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 等 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 等 2001)。

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。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；劉玲華 2005)。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)、葉慶龍(2004)、劉玲華(2005)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。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，以便建立林木健康指標現況的基準線。為了增加對棲蘭地區檜木健康動態的瞭解，故進行相關之健康監測，以供經營管理機構之參考。

本研究首先確定研究動機與目的、研究方法、內容與範圍，依據研究內容擬定研究流程如圖 1 所示：

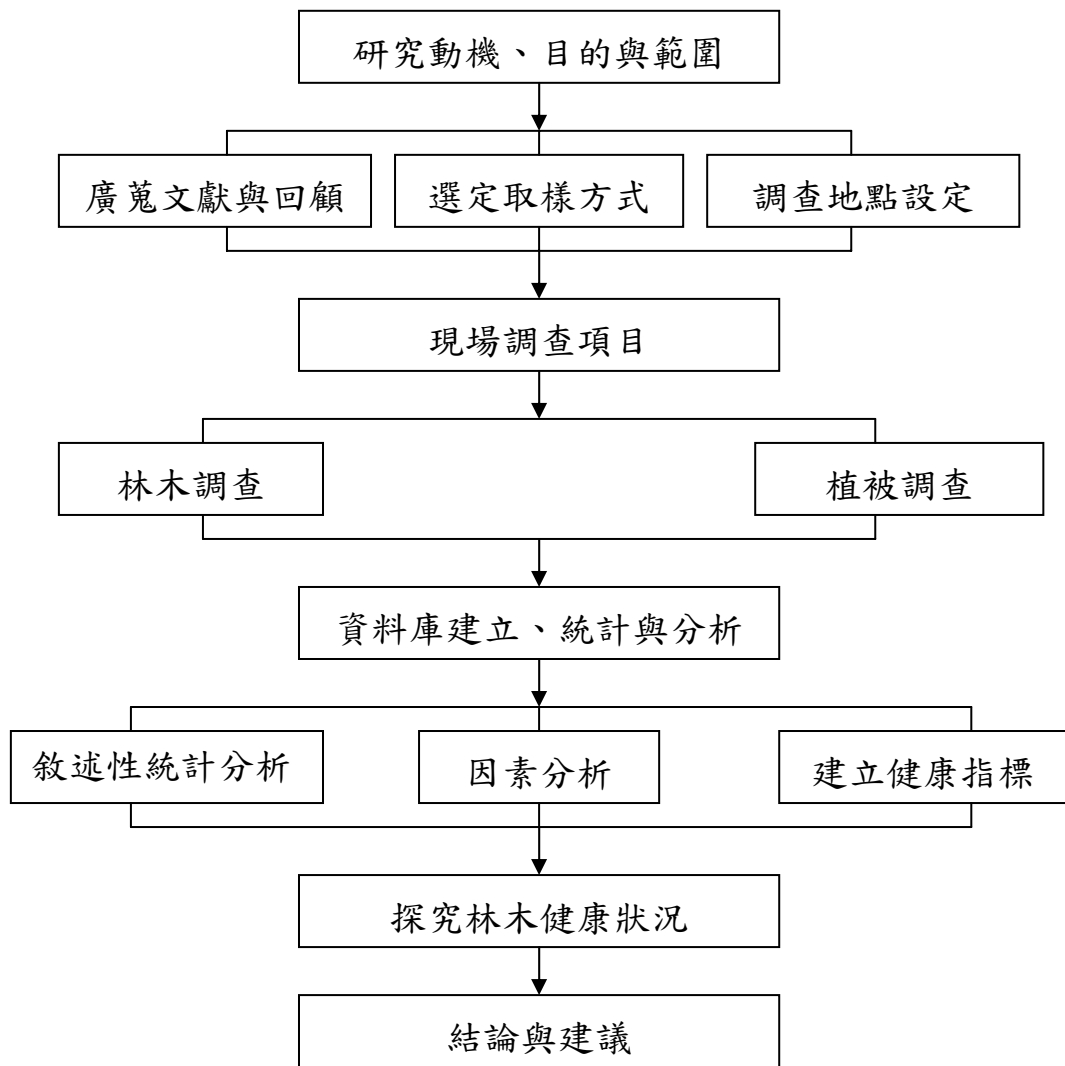


圖 1：健康監測研究流程

二、材料與方法

(一) 樣區設置

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。本研究於 130 林道 53 林班內設置一處試驗地，進行森林健康監測調查。樣區(plot)設置長 40m、寬 25m 之長方形樣區，每個樣區面積為 0.1 ha 進行林木(胸高直徑 $\geq 10\text{cm}$)調查，原先預定設置 10 個樣區，共 1 公頃，實際完成 12 個樣區，共 1.2 公頃。各樣區於 4 個角落處同時設置 5m*5m 小樣區(micro plot)和 2m*2m 植被樣區(vegetation plot)，前者調查幼樹($2.5\text{cm} \leq$ 胸高直徑 $< 10\text{cm}$)和苗木(胸高直徑 $< 2.5\text{cm}$ 且苗木高度大於 30cm)，後者調查地被植物。

(二)林木調查項目

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 0.1ha 樣區內胸高直徑 $\geq 10\text{cm}$ 的林木進行調查，主要的測量變數將以樹冠、樹高、胸徑為主，另外包括林木之枝葉枯死狀況、林木損傷(damage)程度及存活記錄。調查項目如下：

1. 樹種(species)。
2. 胸高直徑(Diameter at breast height, DBH)。
3. 樹高(Height, H)。
4. 枝下高(Height to crown base, HCB)。
5. 樹冠密度(crown density)。
6. 樹冠透視度 (crown transparency)。
7. 樹冠梢枯(crown dieback)。

關於樹冠透視度與樹冠密度判定的準則，請分別參看圖 2 及圖 3，野外調查方式則參考圖 4 所示。

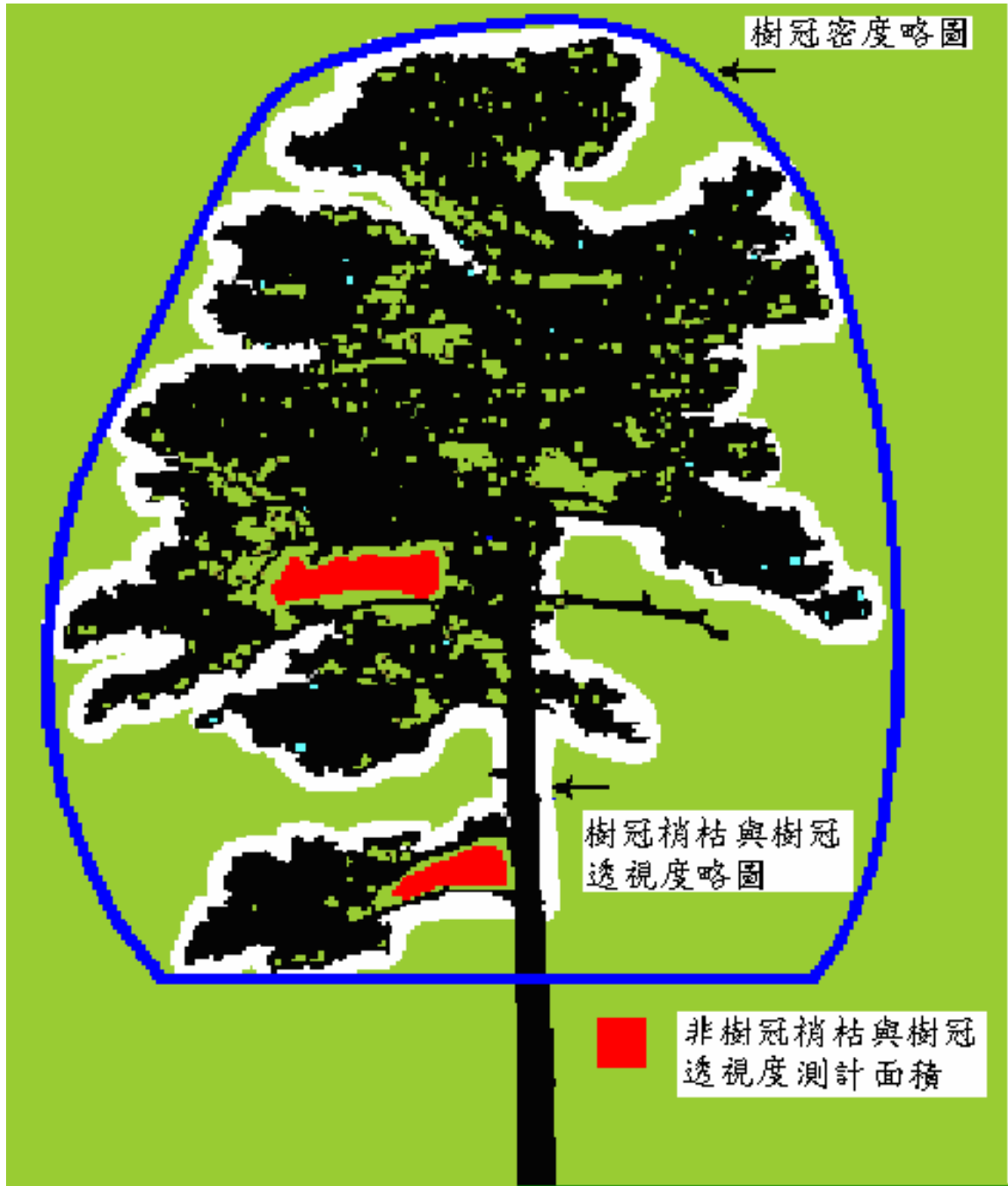


圖 2：樹冠狀態判定準則依據，資料來源：CONKLING 和 BYERS (1993)

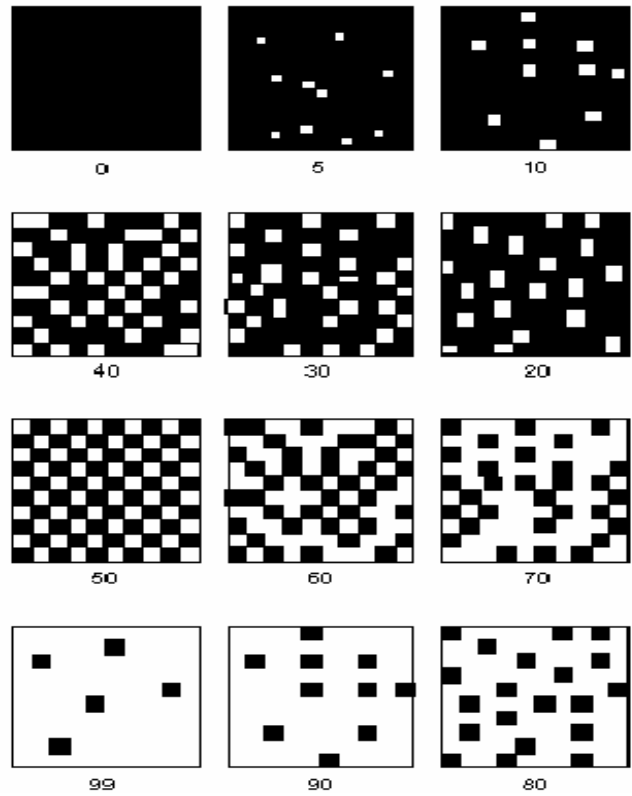


圖 3：樹冠透視度與樹冠密度判定依據之標準照片，
資料來源：<http://www.icp-forests.org/pdf/manual2b.pdf>

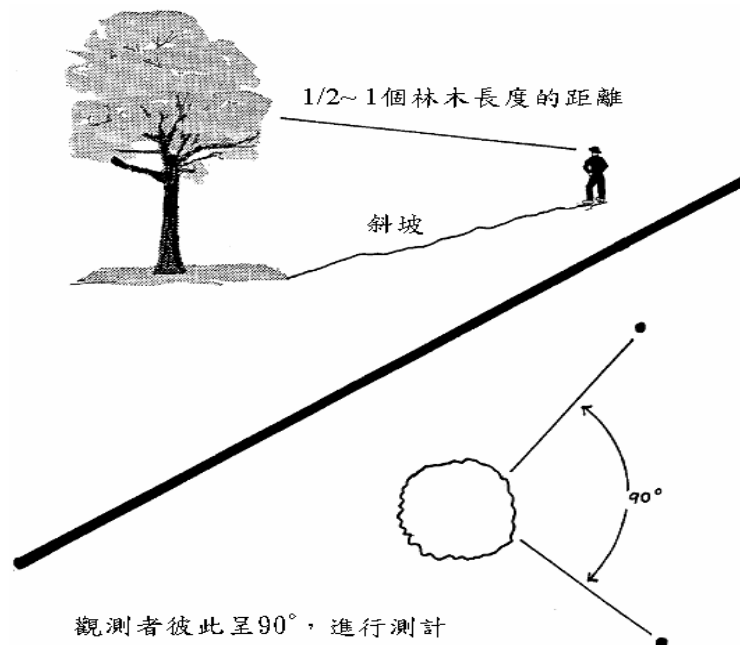


圖 4：樹冠狀態測計方式，資料來源：USDA Forest Service 2002

8. 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 等 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 等 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、以及有無新葉。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%。

- (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 為葉子掉落佔全部的 1~10%，2 為葉子掉落佔全部的 11~25%，依據八等級進行觀測。
- (5) 枝梢枯萎百分比：0 為無枯萎；1 為枝條末梢枯萎佔全部的 1~10%，2 為枝條末梢枯萎佔全部的 11~25%，以此類推共分八等級。
- (6) 樹皮損傷程度：將枝下高以下的樹幹分為上下兩段，每段各為 100%計算。
- (7) 根部裸露程度：以樹幹為中心裸露部份在方位角所佔比率；0 為無裸露；1 為根部裸露部份佔全部方位的 1~10%，2 為根部裸露部份佔全部方位的 11~25% 裸露，以此類推共分八等級。
- (8) 根部裸露且有害程度：0 為正常無損傷；1 為 1~10% 裸根有害，2 為 11~25%，以此類推共分八等級。

(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，故本研究除了使用一般的敘述統計外，也應用因素分析，建立檜木的健康指標以協助評分，且藉由變異數分析進行比較疏伐區與未疏伐區間的健康指標評分是否有差異。

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)。

2. 變異數分析 (analysis of variance)

經前述的因素分析的結果可得各樣區內樣木的健康指標分數，並平均樣區內樣木的分數即可求得各樣區的健康指標分數，更進一步地可以使用變異數分析來檢定疏伐區與未疏伐區間的健康情況是否有差異。

三、結果與討論

(一)敘述統計分析

本研究共計 12 個樣區，其中疏伐樣區有 7 個，未疏伐樣區則有 5 個。在樹種方面，則區分為檜木及其他樹種兩類，檜木共計 237 株樣木，其中林木 223 株，幼稚木 14 株；其他樹種則共計 322 株，其中林木 276 株，幼稚木 46 株，茲將檜木及其他樹種樣木的統計量整理如表 1 所示。由表中可看出，檜木的平均胸徑、樹高及樹冠密度大於其他樹種，而平均樹冠梢枯及平均透視度也較其他樹種為低。

表 1：樣木數及其胸徑、樹高、樹冠比、樹冠密度、樹冠透視度和樹冠梢枯

樹種	變數	樣木數	平均	全距	標準差
檜木	胸徑(cm)	237	39.23	2.5 – 118.8	23.87
	樹高(m)	237	12.61	3.0 – 32.8	5.59
	樹冠比(%)	237	61.98	10.3 – 76.9	11.55
	樹冠密度(%)	223	54.96	5.0 – 90.0	14.40
	樹冠透視度(%)	223	19.75	0.0 – 100.0	15.73
	樹冠梢枯(%)	223	15.65	5.0 – 100.0	14.99
其他	胸徑(cm)	322	16.10	2.5 – 40.1	7.01
	樹高(m)	322	7.81	3.0 – 11.5	1.74
	樹冠比(%)	322	60.00	11.1 – 80.0	11.74
	樹冠密度(%)	276	43.19	5.0 – 80.0	14.39
	樹冠透視度(%)	276	29.89	5.0 – 100.0	19.39
	樹冠梢枯(%)	276	23.26	5.0 – 100.0	19.93

為比較不同樹種在疏伐與未疏伐樣區的差異，茲將檜木與其他樹種分別在兩類不同樣區的林木資料彙整如表 2 所示。由表中可明顯看出，不論是檜木或其他樹種，在疏伐樣區的平均胸徑、樹高、樹冠比及樹冠密度皆大於未疏伐樣區，且平均樹冠梢枯及平均透視度也較未疏伐樣區為低。

表 2：未疏伐與疏伐樣區之檜木及其他樹種之胸徑、樹高、樹冠比、樹冠密度、樹冠透視度和樹冠梢枯比較

樹種	樣區	變數	樣木數	平均	全距	標準差
檜木	未疏伐	胸徑(cm)	151	36.76	3.1 – 98.0	20.37
		樹高(m)	151	11.99	4.0 – 26.1	4.67
		樹冠比(%)	151	61.83	10.3 – 76.9	12.44
		樹冠密度(%)	146	53.90	5.0 – 80.0	15.14
		樹冠透視度(%)	146	21.68	5.0 – 100.0	17.51
		樹冠梢枯(%)	146	16.68	5.0 – 100.0	16.87
	疏伐	胸徑(cm)	86	43.58	2.5 – 118.8	28.64
		樹高(m)	86	13.69	3.0 – 32.8	6.81
		樹冠比(%)	86	62.24	22.0 – 76.9	9.85
		樹冠密度(%)	77	56.95	10.0 – 90.0	12.75
		樹冠透視度(%)	77	16.10	0.0 – 75.0	10.84
		樹冠梢枯(%)	77	13.70	5.0 – 80.0	10.37
其他	未疏伐	胸徑(cm)	247	15.50	2.5 – 33.4	6.66
		樹高(m)	247	7.74	3.0 – 11.0	1.75
		樹冠比(%)	247	58.58	11.1 – 80.0	12.19
		樹冠密度(%)	205	41.93	5.0 – 75.0	14.23
		樹冠透視度(%)	205	32.39	10.0 – 100.0	19.46
		樹冠梢枯(%)	205	23.90	5.0 – 100.0	19.07
	疏伐	胸徑(cm)	75	18.09	2.8 – 40.1	7.79
		樹高(m)	75	8.07	3.0 – 11.5	1.68
		樹冠比(%)	75	64.71	33.3 – 77.8	8.66
		樹冠密度(%)	71	46.83	10.0 – 80.0	14.32
		樹冠透視度(%)	71	22.68	5.0 – 100.0	17.39
		樹冠梢枯(%)	71	21.41	5.0 – 100.0	22.28

在幼稚木的健康等級方面，本研究將未疏伐樣區與疏伐樣區依不同樹種進行交叉比較，其次數分配如表 3 所示，其中等級 A、B、C 分別代表健康等級的高低。由表 3 可知，就比率而言，不論是檜木或其他樹種，疏伐樣區

幼稚木的健康狀況較未疏伐樣區者為佳。

表 3：未疏伐樣區與疏伐樣區各樹種幼稚木健康等級分配

樣區	樹種	等級 A		等級 B		等級 C		合計	
		株數	%	株數	%	株數	%	株數	%
未疏伐	檜木	1	20.00	2	40.00	2	40.00	5	100.00
	其他樹種	3	7.14	23	54.76	16	38.10	42	100.00
疏伐	檜木	4	44.44	5	55.56	0	0.00	9	100.00
	其他樹種	2	50.00	2	50.00	0	0.00	4	100.00

此外，本研究將 12 個樣區之檜木苗木的健康等級分配，彙整如表 4 所示。其中，疏伐樣區共計 7 個，而未疏伐樣區則有 5 個。由表 4 可看出，未疏伐樣區僅見零星的苗木，而疏伐樣區苗木株數遠大於未疏伐的樣區，且其健康等級多為等級 A 及等級 B，僅有少數屬於等級 C。

表 4：各樣區內小樣區的檜木苗木健康等級分配

樣區編號	樣區	等級 A	等級 B	等級 C	合計
		株數	株數	株數	株數
1	疏伐	8	9	0	17
2	疏伐	7	22	1	30
3	疏伐	7	11	2	20
4	疏伐	0	2	2	4
5	未疏伐	0	0	0	0
6	未疏伐	0	0	0	0
7	未疏伐	0	3	1	4
8	未疏伐	0	2	0	2
9	疏伐	12	26	6	44
10	疏伐	15	9	2	26
11	疏伐	5	10	7	22
12	未疏伐	0	0	0	0

為瞭解各樣區中檜木與其他樹種每公頃的株數、斷面積與材積，本研究將統計資料陳列如表 5。其中，以樣區 5 其他樹種的每公頃株數為最高，但以樣區 7 檜木的每公頃斷面積為最高，而其材積亦為最高。若單就檜木樹種而言，各樣區每公頃株數、斷面積及材積的差異程度小於其他樹種，而每公頃株數以樣區 8 為最高，但斷面積及材積卻以樣區 7 為最高。

表 5：各樣區中檜木及其他樹種每公頃株數(N)、斷面積(BA)與材積(V)

樣區	樹種類別	N (株/ha)	BA (m ² /ha)	V (m ³ /ha)
1	檜木	290	13.60	106.07
	其他樹種	250	2.63	8.24
2	檜木	160	25.94	271.94
	其他樹種	390	8.57	34.36
3	檜木	410	30.20	314.97
	其他樹種	130	5.17	22.64
4	檜木	460	36.06	384.51
	其他樹種	220	2.89	10.65
5	檜木	260	35.43	267.74
	其他樹種	1,350	11.20	41.66
6	檜木	430	66.84	495.58
	其他樹種	1,910	14.98	54.30
7	檜木	500	73.24	572.04
	其他樹種	1,430	12.03	41.76
8	檜木	690	26.74	193.41
	其他樹種	1,110	14.33	54.63
9	檜木	100	24.34	222.76
	其他樹種	60	2.40	10.12
10	檜木	90	30.36	271.96
	其他樹種	0	0	0
11	檜木	160	23.72	155.78
	其他樹種	60	1.64	6.84
12	檜木	80	7.57	42.47
	其他樹種	450	13.22	53.30

在徑級分佈方面，圖 5 顯示樣木直徑越小數量越多，且徑級最大的樣木絕大部份為檜木樹種。由於對幼稚木與林木取樣面積不同，故在轉為每公頃林木的徑級分佈時， $dbh < 10$ 的株數先乘擴大係數 100 後再除以樣區數，其他胸徑級則先乘擴大係數 10 後再除以樣區數。

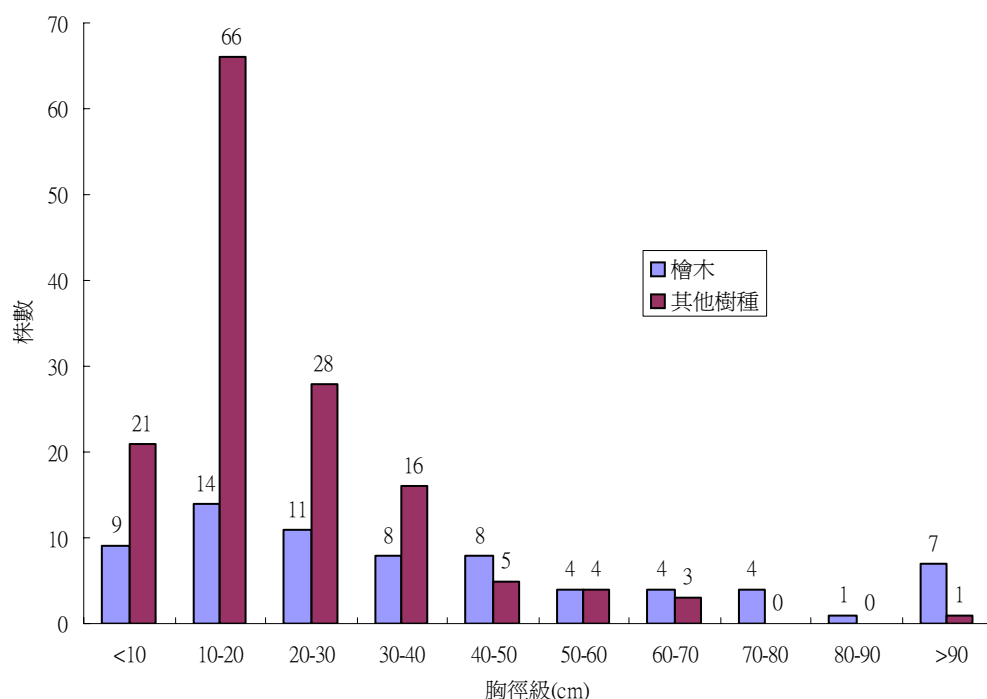


圖 5：胸高直徑級株數分佈圖

圖 6 顯示 237 株檜木及 322 株其他樹種，共計 559 株樣木的存亡狀態，總枯死木所佔株數百分比為 1.97%，其中檜木樹種的枯死率為 2.11%，而其他樹種的枯死率為 1.86%。

在根部狀態方面，圖 7 及圖 8 分別為檜木及其他樹種樣木的裸根或裸根有害等級。在檜木樹種方面，圖 7 所示分別為裸根等級與裸根有害等級，在裸根等級方面，有 44 株樣木無裸根，而以裸根為等級 1 及等級 3 的比率為最高。在裸根有害等級方面，有 215 株為正常無損傷，但裸根有害為等級 1 的有 6 株、等級 2 與等級 3 的則分別有 1 株。

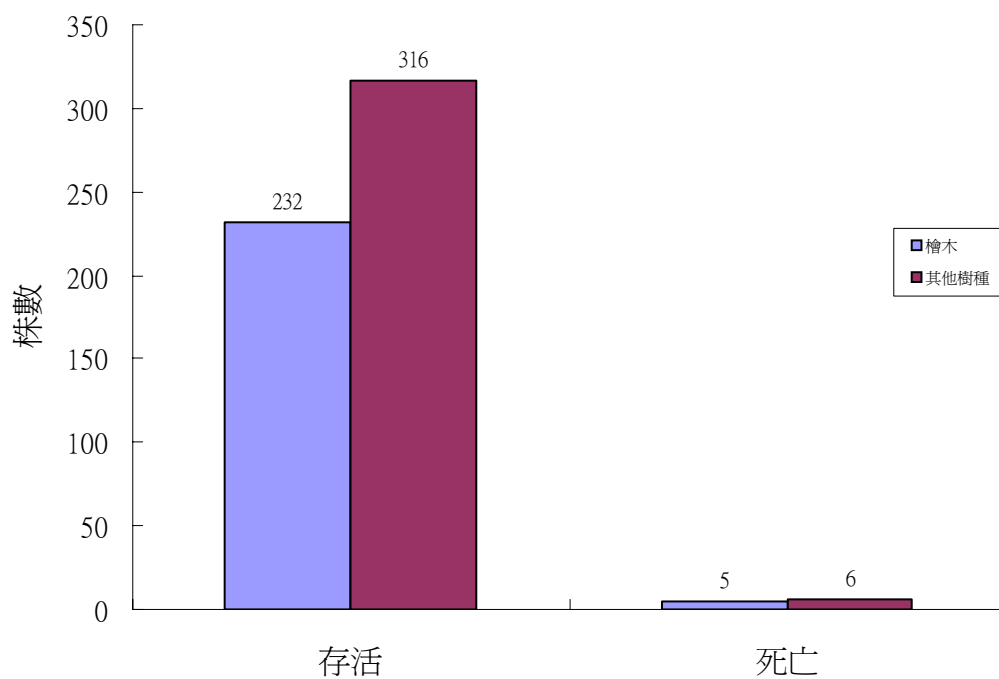


圖 6：林木存活株數分佈圖

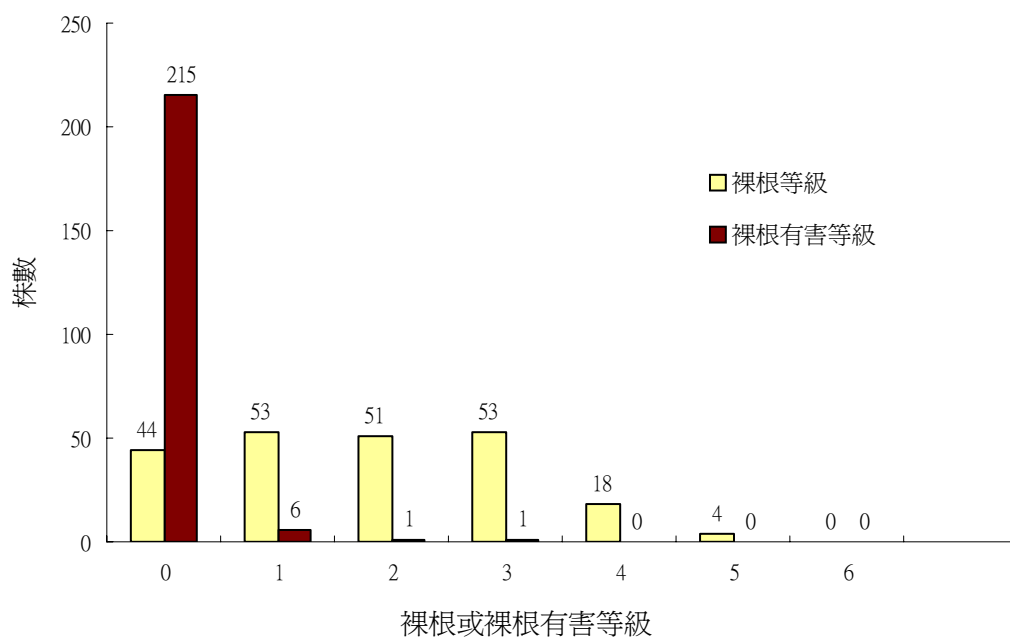


圖 7：檜木根部狀態株數分佈圖

在其他樹種方面，如圖 8 所示，在裸根等級方面，有 127 株無裸根，所

佔比率為最高。在裸根有害等級方面，有 273 株為正常無損傷，但有 3 株為等級 1 的裸根有害等級。

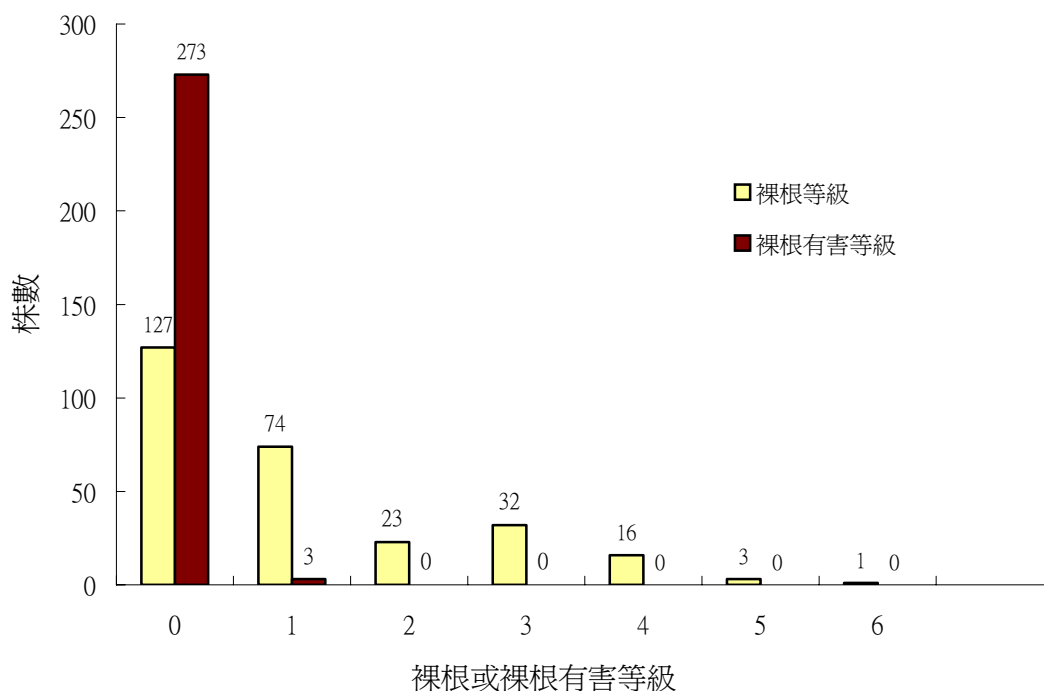


圖 8：其他樹種根部狀態株數分佈圖

在枝梢枯萎方面，依圖 9 顯示，檜木及其他樹種樣木皆有枯萎現象，只是程度上有所不同。在檜木樹種方面，集中在等級 1 與等級 2 兩種枝梢枯萎程度，其中以等級 1 的枝梢枯萎程度佔大多數，佔檜木樣木的 61.88%。在其他樹種方面，則以等級 2 的樣木居多，佔其他樹種樣木的 37.68%。

而在圖 10 中，葉子掉落的程度與枝梢枯萎相呼應，在檜木樣木方面，以等級 1 與等級 2 的葉子掉落程度居最多，分別有 61 株及 132 株，各佔 27.35% 及 59.19%。在其他樹種方面，亦以等級 2 的樣木居最多數，佔 42.39%，次為等級 3 佔 23.91%。

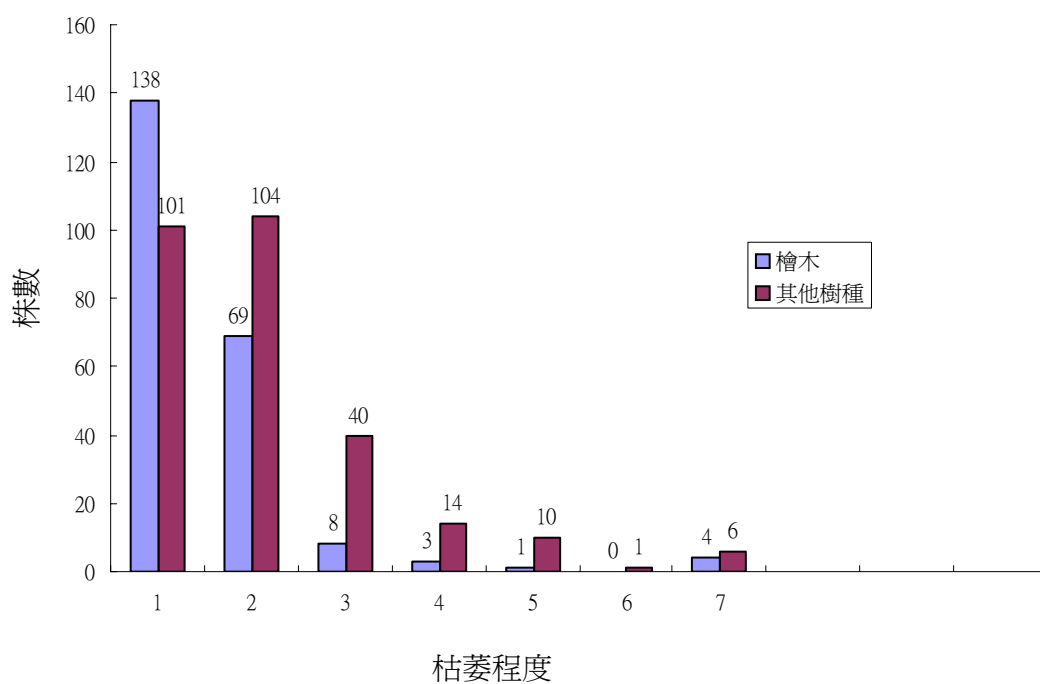


圖 9：枝梢枯萎程度株數分佈圖

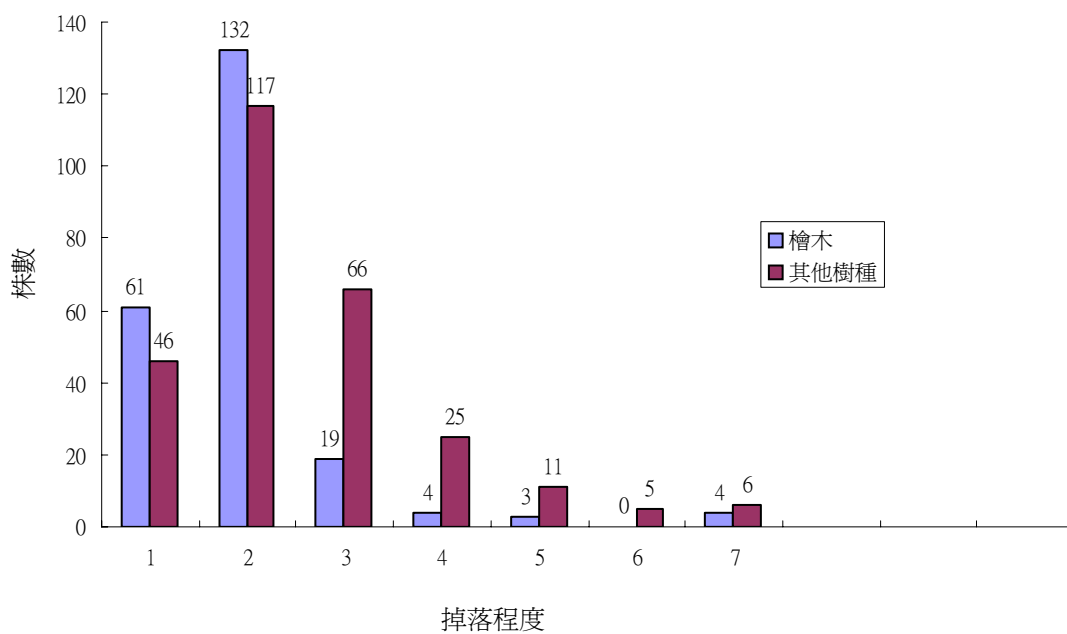


圖 10：葉子掉落程度株數分佈圖

(二) 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。

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。

因素分析可使用主成份法 (Principal Component Analysis) 與主軸法 (Principal Factors) 兩種因素抽取法，本研究採用主成份法進行抽取。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，本研究採用最高相關係數法。依據保留特徵值 λ 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。

1. 因素之抽取

本研究採用主成份法進行因素的抽取，而共同性估計法對應主成份法採用最高相關係數法 (PRIORS=MAX)。本研究共選取了萌發新葉、樹冠密度、樹冠透視度、樹冠梢枯、葉子掉落及枝梢枯萎 6 個變數進行因素分析，結果如表 6 所示，由於第二個因素相對於第一個因素貢獻的成度太少，且其特徵值也很小，故本研究僅選取了一個因素，以利於進行後續的分析。

表 6：因素個數抽取

因素個數	Eigenvalue	Difference	Proportion	Cumulative
1	4.6718	4.3383	0.9196	0.9196
2	0.3335	0.2369	0.0656	0.9852
3	0.0966	0.0708	0.0190	1.0042
.....				

因素抽取結果如表 7 顯示，此林木健康因素，即可代表原始的 6 個林木健康型態變數，並加以命名。在共同性估算方面，除了萌發新葉及樹冠密度外，其他所有變數之共同性皆高於 0.8，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 4.6718，佔變異的 77.86% (4.6718/6)。說明了這個林木健康型態因素之解釋力可以代表 6 個林木健康型態變數。

表 7：因素結構矩陣

變數名稱	Factor1 樹冠活力指標
萌發新葉	- 0.7770
樹冠密度	- 0.7849
樹冠透視度	0.9168
樹冠梢枯	0.9448
葉子掉落	0.9246
枝梢枯萎	0.9295
特徵值 (eigenvalue)	4.6718

2. 因素之命名

依據因素結構矩陣進行因素命名，可將此因素命名為「樹冠活力指標」，其中以樹冠梢枯的負荷量為最大，達 0.9448。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，其共同值達 0.89，對潛伏因素之變異量解釋力相當高。

負荷量第二高及第三高的變數為枝梢枯萎及葉子掉落，負荷量依序為 0.9295 及 0.9246，其共同性分別為 0.86 及 0.85。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，樹冠愈無活力。

其次，樹冠透視度為負荷量第四高的變數，其負荷量為 0.9168，共同性為 0.84。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，枝條活力旺盛愈為健康。

最後，樹冠密度及萌發新葉分別為負荷量次低及最低的變數，負荷量及共同性依序為 -0.7849 及 -0.7770，0.62 及 0.60。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。至於是是否萌發新葉，是最易於辨識，但其負荷量為負值。

(三) 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。

本研究之前已萃取出「樹冠活力指標」因素，在計算出因素分數的平均數和標準差後(平均數為 0，標準差為 0.9859)，可進行因素分數的標準化，以作為林木健康之綜合指標。將因素分數 x 值標準化後得到 x' (表 8)，最後進行林分健康單尾檢定(表 9)。

表 8：健康指標之標準化因素分數

樣區	樹號	樹種	樹冠活力指標	
			因素分數 x	x'
1	1	扁柏	-0.59220	-0.60067
1	2	扁柏	-0.74252	-0.75314
1	3	扁柏	-0.17193	-0.17440
1	8	扁柏	0.23826	0.24167
1	9	扁柏	-0.52361	-0.53110
1	12	扁柏	-0.74252	-0.75314
.

註：x 的平均數為 0，標準差為 0.9859，；x' 的平均數為 0，標準差為 1。

表 9：樣區 Z 值表

樣區	株數	死亡數	枯死率	$\Sigma x'$	y	\sqrt{n}	Z ₀	Z ₁	Z ₂
1	9	0	0.0000	-3.2543	-0.36158	3.00000	-1.08475	-4.08475	-7.0848
2	6	0	0.0000	-3.2304	-0.53839	2.44949	-1.31879	-3.76828	-6.2178
3	11	0	0.0000	-4.1918	-0.38108	3.31662	-1.26388	-4.58051	-7.8971
4	16	0	0.0000	-5.2363	-0.32727	4.00000	-1.30909	-5.30909	-9.3091
5	26	1	0.0385	-0.7593	-0.02920	5.09902	-0.14891	-5.24793	-10.3469
6	43	2	0.0465	-5.7114	-0.13282	6.55744	-0.87098	-7.42842	-13.9859
7	40	0	0.0000	-2.6351	-0.06588	6.32456	-0.41664	-6.74120	-13.0658
8	29	2	0.0690	22.1724	0.76456	5.38516	4.11730	# -1.26786	-6.6530
9	10	0	0.0000	-2.4683	-0.24683	3.16228	-0.78054	-3.94282	-7.1051
10	9	0	0.0000	6.0031	0.66701	3.00000	2.00103	# -0.99897	-3.9990
11	16	0	0.0000	-0.8771	-0.05482	4.00000	-0.21928	-4.21928	-8.2193
12	8	0	0.0000	0.1885	0.02357	2.82843	0.06665	-2.76178	-5.5902

健康分級的結果如表 10 所示，健康林分之樣區為 1~7、9、11~12，共 10 個樣區；輕度不健康林分之樣區為 8 及 10，共 2 個樣區、此外，並沒有樣區為中度或重度不健康。

表 10：樣區健康分級表

健康等級	樣區編號	樣區數	備註
健康	1~7、9、11~12	10	Z ₀ 無#者
輕度不健康	8、10	2	Z ₀ 有#者
中度不健康		0	Z ₁ 有*者
重度不健康		0	Z ₂ 有**者

此外，為比較疏伐樣區與未疏伐樣區林木健康等級的差異，本研究以變異數分析(ANOVA)進行差異性的檢定，檢定結果如表 11 所示。由表中得知，檢定的 p 值大於 0.05，表示在顯著水準 0.05 時，疏伐與未疏伐樣區林木健康等級的差異並不顯著。不過，經殘差分析可以看出，資料受樣區 8 和樣區 10 所影響。

表 11：疏伐與未疏伐樣區健康評分變異數分析表

變異來源	自由度	變異平方和	變異均方	F 值	P 值
模型	1	0.2446	0.2446	1.62	0.2313
誤差	10	1.5062	0.1506		
合計	11	1.7509			

如果將第 8 樣區與第 10 樣區去除，將剩下的 10 個樣區進行比較疏伐樣區與未疏伐樣區林木健康等級的差異，並以變異數分析(ANOVA)進行差異性的檢定，檢定結果如表 12 所示。由表中得知，檢定的 p 值小於 0.05，表示在顯著水準 0.05 時，疏伐與未疏伐樣區林木健康等級有顯著的差異。本研究的健康指標分數是以負值代表越健康，而以正值代表越不健康。疏伐樣區的健康指標分數為-0.3183 較佳於未疏伐區的-0.05108。

表 12：疏伐與未疏伐樣區健康評分變異數分析表

變異來源	自由度	變異平方和	變異均方	F 值	P 值
模型	1	0.1724	0.1714	9.67	0.0145
誤差	8	0.1418	0.0177		
合計	9	0.3132			

註：不含第 8 樣區和第 10 樣區。

(四)地被植群調查結果

在調查棲蘭山 12 個樣區中包含 7 個疏伐樣區和 5 個未疏伐樣區，而於每樣區中內含四個小區，故計調查了 48 個小區。且調查相關的植被植物種類判釋調查並製成植物名錄，供日後資料分析時參用。而調查結果計有 32 科 42 種，其中以華中瘤足蕨 (*Plagiogyria euphlebia*)、深山野牡丹 (*Barthea barthei*)、深紅茵芋 (*Skimmia reevesiana*)、薄葉柃木 (*Eurya leptophylla*) 佔優勢，其次為台灣鵝掌柴 (*Schcfflera taiwaniana*)、紅淡比 (*Cleyera japonica*)、白花八角 (*Illicium anisatum*)、假柃木 (*Eurya. crenatifolia*)，而鱗芽裏白 (*Diplopterygium laevissimum*)、圓葉冬青 (*Ilex goshiensis*) 與山羊耳 (*Symplocos glauca*) 等亦有發現惟佔總樣區比例不高，此外亦發現菊科植物台灣鬼督郵 (*Ainsliaea secundiflora*)，其平均分佈在疏伐樣區內，惟覆蓋度不高介於 20~35% 之間。

植被覆蓋度最佳為未疏伐樣區內第 11 樣區的鱗芽裏白 (*Diplopterygium laevissimum*)，覆蓋度達 100%，而在疏伐樣區內中的第 1、2 樣區亦發現如寒莓 (*Rubus buergeri*)、華中瘤足蕨 (*Plagiogyria euphlebia*)、燈心草 (*Juncus effusus*) 等，佔覆蓋度 80%，足見在疏伐前後之樣區約有 20% 的影響；而覆蓋度最差為未疏伐的第 5、6 樣區中馬兜鈴科的大花細辛 (*Asarum*

macranthum) 僅佔覆蓋度 1%，其次為疏伐樣區中的第 4 樣區，地被植物仍為大花細辛 (*Asarum macranthum*)，佔覆蓋度 2%。第 4 樣區雖為疏伐樣區，但樣區內堆放了很多伐木，故影響地被植物的生長。

若以疏伐樣區與未疏伐樣區覆蓋度做一比擬，則可看出未疏伐的植群地被約佔 15.38%；而疏伐樣區地被覆蓋度較未疏伐樣區高，約佔 17.51%。此謂疏伐樣區可能因疏伐後造成孔隙，使得地被取得大量陽光、水分等有利生長發育之有利因子條件，所以有較高的覆蓋度。

四、結論與建議

本研究以棲蘭山的檜木為研究對象，進行森林健康指標的調查與監測，研究樣區共計 12 個，其中疏伐樣區有 7 個，未疏伐樣區則有 5 個。除進行檜木的相關分析外，並進行與其他樹種的比較。茲將重要研究發現摘錄如下：

(一)敘述統計分析

在敘述統計分析方面，本研究發現檜木的平均胸徑、樹高及樹冠密度遠大於其他樹種，而平均樹冠梢枯及平均透視度也較其他樹種為低。此外，不論是檜木或其他樹種，在疏伐樣區的平均胸徑、樹高、樹冠比及樹冠密度皆大於未疏伐樣區，且平均樹冠梢枯及平均透視度也較未疏伐樣區為低。

在樣區內林木胸高直徑的分佈為倒 J 型的分佈，直徑越小株數越多。而檜木的總枯死木佔樣木株數的 2.11%，略高於其他樹種樣木的枯死率。在裸根狀態方面，檜木樣木多數為正常無損傷；在枝梢枯萎及落葉的程度方面，分別以等級 1 的枝梢枯萎及等級 2 的落葉程度居多數。

(二)因素分析

本研究採用主成份法進行因素抽取的結果，共萃取一個「樹冠活力指標」的共同因素，共同性的總和為 4.6718，佔變異的 77.86%。依負荷量的大小，

共選取了樹冠梢枯、枝梢枯萎、葉子掉落、樹冠透視度、樹冠密度及萌發新葉 6 個變數。

(三)樣區健康分級

本研究利用前述已萃取出「樹冠活力指標」因素，進行因素分數的標準化，以作為林木健康之綜合指標。依健康分級的結果，健康林分之樣區為 1~7、9、11~12，共 10 個樣區；輕度不健康林分之樣區為 8 及 10，共 2 個樣區、此外，並沒有樣區為中度或重度不健康。

(四) 疏伐與未疏伐樣區林木健康狀況的差異性檢定

為比較疏伐樣區與未疏伐樣區林木健康等級的差異，本研究以變異數分析(ANOVA)進行差異性檢定的結果，在顯著水準 0.05 下，疏伐與未疏伐樣區林木健康等級的差異並不顯著。不過，這有可能是因為林地內的變異情形大於疏伐效應，才造成差異性檢定的結果為不顯著。

本研究進一步由殘差分析中，兩個差異性很大的樣區(疏伐和未疏伐樣區各一個)予以移除，將剩下的 6 個疏伐樣區和 4 個未疏伐樣區，再以變異數分析(ANOVA)進行差異性檢定，其結果為在顯著水準 0.05 下，疏伐與未疏伐樣區林木健康等級具顯著的差異，並且顯示疏伐樣區較健康於未疏伐樣區。

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，有助於經營者能以客觀並有效率之方式進行森林的保育與管理。

五、參考文獻

1. 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。
2. 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。
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. 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。
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. 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。
9. 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。
10. 劉玲華(2005) 海岸保安林健康指標評估法之研究—以臺灣北中部為例。國立屏東科技大學森林研究所碩士論文。68 pp。
11. Alexander, S.A. and Palmer, C.J. (1999) Forest health monitoring in the United States: first four years. *Environ. monit. assess.* 55: 267-277.
12. 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.
13. 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.
14. Rogers, P. (2002) Using forest health monitoring to assess aspen forest cover change in the southern Rockies ecoregion. *For. Eco. Manage.* 155: 223-236.
15. 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.
16. Smith, W.B. (2002) Forest inventory and analysis: a national inventory and monitoring program. *Environ. pollut.* 116: S233-S242.