



# 美國林務署調查森林健康的指標 —森林資源與分析

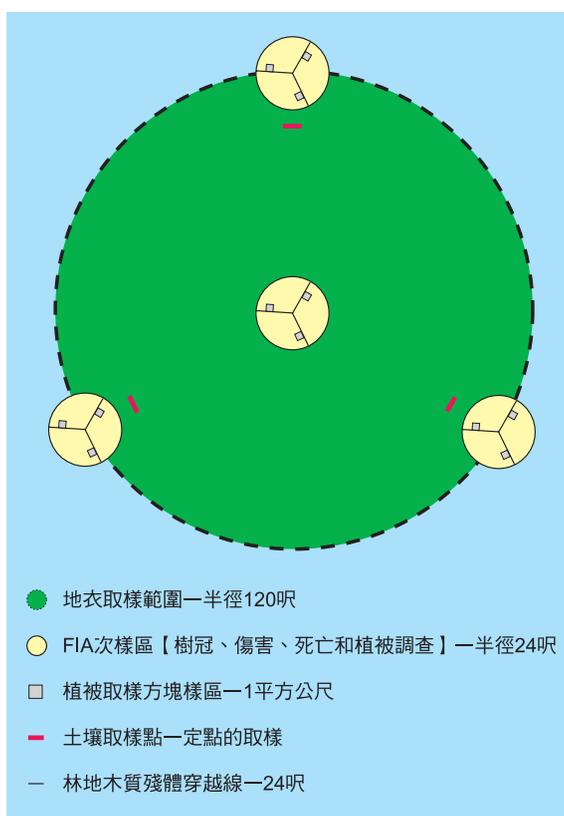
譯 張東柱 行政院邊委會林業試驗所森林保護組研究員兼組長

**譯**緣 / 「森林健康」與「健康森林」已成為目前林業界熱門的議題之一。在我們直覺裡，森林健康應該與森林病蟲害聯想在一起。但美國布希總統於去年提出了「積極經營森林以保持森林健康」痼疾是森林火的問題；那森林健康的內涵到底是什麼？相信很多林業從事人員都感到困惑。筆者最近獲得一本關於美國林務署調查森林健康指標的解說推廣手冊（Stolte, K., Conkling, B., Campbell, S., and Gillespie, A. 2002. Forest health indicators-Forest inventory and analysis program, USDA, Forest Service, FS-746, 23 pp）。該手冊非常精簡說明評估健康森林的調查參數。本文的目的是希望經由翻搞該推廣手冊，提供大家瞭解「健康森林」與「森林健康」的基本觀念。

## 壹、前言

美國林務署執行森林資源調查與分析（Forest Inventory and Analysis, FIA）計畫是屬於國家型連續性的森林普查。自1930年開始，林務署持續調查、分析及報導美國森林的資源調查資訊。其內容包含：美國有多

少森林面積？森林存在哪裡？誰擁有森林及森林如何變遷？如生長、死亡或採收。為符合廣泛消費者之利益，該調查核心計畫發展出一套全美國森林均適用且一致性的調查方法。該核心計畫內容主要包括訂定調查森林健康的取樣指標標準。本文的目的是說明調查美國森林健康的指標項目：如何去測量，



圖一 關於FIA森林健康監測調查的樣區設計

訂定的指標項目為何對森林健康具有指標意義、如何收集及解讀調查所得的資料，和至目前所發現的例子。本文討論FIA的八項森林健康指標項目：樹冠狀況、臭氣損害、樹木傷害、樹木死亡、地衣群落、林地木質殘體、植被歧異度與結構，和土壤狀況。

上述八項指標項目是美國林務署於1990年代，為執行森林健康監測（Forest Health Monitoring, FHM）計畫所研發制定。在1999年，這項計畫才轉移到FIA，並成為FIA格網取樣的一個次樣區（每16個FIA的標準樣區就有1個森林健康監測次樣區）。在森林健康監測次樣區中，除調查FIA的核心測量外（例如株高、胸徑、樹種等），同時測量上述八項森林健康的指標項目。

### FIA的顧客與資料使用者

在美國有一個廣泛和穩定成長的顧客群使用FIA計畫的調查資料，他們不但有興趣於FIA的報告與分析，並且實際使用FIA的基本資料，如國會議員、州議員和州政府的林業官員等，他們長期以來都使用FIA的資料，以提供決策的依據。森林工業、環境機構和一些私人顧問也應用FIA的資料當商業策劃。政府和學術研究人員以FIA的資料為基礎並提供進一步研究分析用。各階層的土地經營者也依賴FIA資料制定森林資源策略和森林規畫的策略尺度。所有使用者皆對FIA測量森林健康的廣泛性指標項目感到興趣。FIA除對美國森林健康提供資料，也提供全球一些國家的評估與分析資料。FIA的

資料也應用於資源規畫綱領（Resource Planning Act）報告的關鍵資料。並廣泛使用於森林規畫的基礎和支持區域性資源評估的應用。

研究人員和政策制定者利用FIA的資料，主要包括森林土壤、林地木質殘體和樹木生物量，以估算碳吸存量和模擬不同經營策略對碳隔離的潛力。林火經營人員是利用森林結構和林地木質殘體資料，以鑑定高危險度林火地區和預防處理林火發生的機會。土地經營者利用下層植生資料以追蹤入侵植物種類可能增加的機會。利用地衣群落組成、樹木傷害和樹冠狀況的資料來呈現森林健康的概況和空氣品質與酸雨沉降的可能影響。

### 手冊的格式

本手冊的主要內容是描述每項健康指標項目，每一個指標項目包括下列內容：

- 什麼是指標項目？
- 指標項目的重要性
- 如何測量指標項目？
- 資料如何被應用？

更多資訊：如欲獲得更多關於FIA計畫和森林健康指標項目，包括林地現場調查方法，請查看FIA的網站<http://fia.fs.fed.us>。關於FHM計畫的資料可於下列網站獲得：<http://www.na.fs.fed.us/spfo/fhm/>。

## 貳、評估森林健康的八項指標

### 一、樹冠狀況（Crown Condition）



### 什麼是樹冠狀況指標

樹冠指標是依據枝葉量、枝葉狀況和枝葉分佈、樹木的分枝和頂梢生長狀況，包括5個指標成份：

比率 - 樹木的寬度/樹木的高度。

密度 - 目測全樹冠，根據樹葉、枝條的花果阻隔的空中光線的量。

葉部之穿透度 - 測度空中光線穿透枝條葉部的量。

枝枯 - 上層樹冠的枯死。

大小 - 樹冠寬度，利用模式估測。

### 樹冠指標的重要性

樹冠提供樹蔭、溫度調節和很多生物的食物與棲息環境，同時也是野火的燃料。樹冠可以提供快速判斷樹木的健康狀況。健康且完整的樹冠可以認為是碳被保存在樹木，樹木是有活力的生長和沒有受病害、蟲害及空氣污染的嚴重影響。

### 如何測量樹冠指標

兩人站在可以完整看到樹冠的不同角度的位置，測量植物的高度、冠幅和樹高。目測每株樹冠指標，須化成百分比（0-5%，5-10%，……95-100%）。但每次目測之指標需要有一致性的標準化。

### 如何應用樹冠指標資料

樹冠狀況指標是一個樹木健康的一般性的指標，可用於：

監測樹冠狀況的可視變化情形。

樹冠狀況與樹木生長或停頓和壓力源和病害、蟲害有關。

評估適合野生動物和鳥種適合的林分。

提供資料評估樹冠火的危險度。

當做土壤肥力與毒性的指標。

當做氣候變遷的指標。

## 二、臭氧傷害 (Ozone Injury)

### 什麼是臭氧傷害指標

有很多種植物在高於正常值的臭氧下會出現受害情形。臭氧生物指標樹種表現之病徵通常出現在樹葉的上表面。在美國森林均使用生物指標樹種來監測臭氧傷害。

### 臭氧傷害指標的重要性

提高臭氧的曝露是空氣品質的問題，空氣中太高臭氧濃度會影響人類的健康，同時也會影響森林健康與生產力。森林中生物指標植物如受臭氧傷害，表示該地區的臭氧濃度過高且影響森林植物的健康，同時可根據指標植物受害情形，評估對森林之負面影響。臭氧濃度過高地區會降低樹木生長，降低樹木因病蟲害或其他不利環境逆壓之傷害恢復的能力，和增加樹木死亡的發生。

### 如何測量臭氧傷害指標

FIA樣區內並沒有臭氧傷害指標，因為特殊監測地點和特殊指標植物可能沒有出現在FIA的樣區內。臭氧生物監測地點需設置在森林中的開闊地。並找尋三種以上的生物指標植物，在森林中敏感的指標植物是很常見。臭氧的傷害是記錄葉片受害的程度，一般葉片受害的高峰期是在盛夏至晚夏時，在秋天可能因樹葉片變色而掩蓋受害病。臭氧受害指數 (Ozone Injury Score, OIS) 可分成三級：0-4.9 (沒有或輕微受害)，5-24.9

(低至中級受害) 和 > 25 (嚴重受害)。

#### 如何應用臭氧傷害指標資料

臭氧傷害的資料可用於鑑定那裡的森林含有高的臭氧，及那些環境是造成臭氧傷害的條件（例如，適當的光線、營養和溫度）。

#### 臭氧傷的資料可用於：

鑑定高臭氧傷害的林地。

嚴重臭氧傷害改變植物的生長、死亡和歧異度的相關性。

嚴重臭氧傷害增加植物對生物及非生物逆壓敏感性的相關性。

嚴重臭氧傷害改變動物、昆蟲對臭氧敏感性植物依賴度的相關性（例如，Monarch butterfly是依賴milkweed, milkweed是臭氧生物指標植物）。

### 三、樹木傷害 (Tree Damage)

#### 什麼是傷害指標

傷害指標是測量樹木被病害、蟲害、暴風和各種人類活動引起的傷害種類，位置和嚴重性。例如記錄樹木的傷口，腐朽末期的病徵、潰瘍和受傷的樹幹、樹根或分枝。

#### 傷害指標的重要性

各種自然及人類引起樹木的傷害會影響樹木的生長與發育。鑑定非預期或無法解釋的傷害是希望引導更深入調查病因及樹木的反應。傷害指標可以幫助回答關於生物及非生物逆壓角色，和它們如何影響群落的生物狀況和過程。

#### 如何測量傷害指標

傷害指標資料在FIA樣區內收集，每一

棵樹最多記錄兩個不同的傷害、個別傷害的區分是根據傷害類型、傷害的位置和傷害的嚴重度。

一般而言，當傷害出現在樹木的下位和面積愈大時，表示對樹木愈有負面影響。要設定什麼是無害的傷害最低門檻，因此如果傷口值零時，表示傷害對樹木的健康是沒有影響的。傷口的原因是不做記錄。

#### 如何應用傷害資料

評估每個樣區的傷害嚴重值 (Damage Severity Index, DSI)。

DSI是根據三項傷害成份計算：傷害類型、傷害位置和傷害嚴重度。一般而言，高DSI表示多重傷害、嚴重傷害類型，或近樹幹基部有很多傷害。DSI值小於15表示輕微傷害如一般健康樹木。DSI的測量樹種不同要分開計算，因為樹種間其生物特性不同。

評估什麼森林或那裡的森林因傷害而導致生長停頓或/和增加死亡的機會。

決定不同傷害程度對森林的生命、發展和存活的影響。

### 四、樹木死亡 (Tree Mortality)

#### 什麼是樹木死亡指標

樹木死亡指標是指，自上次FIA樣區調查後，樹木死亡的數量、大小和材積。它提供了生物或非生物逆壓的改變，是否導致林分的生長條件不利於樹木的生長或存活。

#### 樹木死亡指標的重要性

樹木死亡是所有健康森林生態系重要的



一環。它提供森林生態系的功能和歧異度，因為樹木的死亡提供養份循環的材料，創造林地孔隙以營造森林不同塊狀樹種及齡級，和提供野生動物棲息地。如該林地的經營是以木材生產為導向，樹木死亡也可能降低林地生產力，和死亡的樹木提高林火的危險度。森林樹木死亡速率與死亡量的改變需經由周密的調查，才能區別正常或可接受的死亡程度與不尋常或不可接受的死亡程度。樹木死亡指數可供分析受影響樹種與樹齡，在該區域受干擾的歷史和引起死亡的原因，是提供土地經營者或政策制定者的重要資訊。

#### 如何測量樹木死亡指標

樹木死亡是測量FIA樣區內，死亡樹木的胸徑與樹高與上次檢查記錄的胸徑與樹高做比較。如死亡原因知道也需記錄。

在同一樣區內比較死亡資料和生長資料才有意義。計算的公式為：樹木死亡量(mv)/樹木的生長量(gv)。當mv/gv大於1表示總生長量是負成長。相似的算式為：死亡樹木的平均胸徑(dd)/活樹的平均胸徑(ld)，如果dd/ld大於1表示死樹的平均胸徑大於活樹的平均胸徑。

#### 如何應用樹木死亡資料

樹木死亡指標的測量是提供森林過程的重要參考指標，因此有很多用途，可應用於確定：

高死亡地區 - FIA樣區可以結合蟲害及病害調查以確定死亡的地理分佈、死亡途徑和死因的確定。

適當野生動物棲息地。

燃料量高的地區和林火高危險度地區。

碳循環模式。

林分永續發展模式。

氣候變遷。

## 五、地衣群落 (Lichen Communities)

### 什麼是地衣群落指標

地衣是藻類和真菌的複合體，其可生長於包括樹木的各種基質上。它們有很多重要森林功能，包括養份循環和提供野生動物的食物來源及棲息地。地衣可以當環境品質的指標，因它們對空氣污染和氣候變遷很敏感。它們也可當森林生態系中生物多樣性指標。

### 地衣群落指標的重要性

當森林中的地衣群落組成改變時，可以顯示空氣品質、氣候和生物過程的改變。例如，在樣區內未發現空氣污染敏感地衣，表示過去或現在該地區有空氣污染。如發現很多喜好氮源的地衣種類出現，則表示該地區有氮源的沉降累積，過多氮源的沉降累積會影響生態系的其他組成，例如水質。地衣的歧異度及豐富度也受森林組成、齡級、密度和樹木與其他植物相的空間分佈影響。

### 如何測量地衣群落

地衣群落指標有兩項資料需要收集 - 採集樣本，供鑑定地衣種類（確定每一個樣區地衣的種類）和評估種類的豐富度（每一種類地衣出現的次數）。樣本則採自木本植物（包括針葉樹、闊葉樹和灌木之樹徑大於0.5公尺）和近期掉落的樹幹和分枝。如樣本的

種類不清楚，則寄給專家鑑定。在樣區內的每種地衣需記錄豐富度。另外，也要記錄樣區內地上層的覆蓋率，孔隙度和優勢樹種和灌木樹種。以上資料配合FIA樹木資料，環境資料和地衣群落組成的測量，可以提供地衣群落變異原因的假設。

### 如何應用地衣指標資料

地衣指標資料有兩個主要用途：1. 決定地衣的豐富度與歧異度，2. 鑑定地衣與氣候和空氣污染的相關性。地衣群落資料可應用於：

決定區域的歧異度 - 大區域種的數量。

發展生物指數 - 指數是根據樣區內地衣群落資料與大區域內污染和氣候梯度的比較。科羅拉多和美國東南部已研究可用的梯度模式，其他區域仍在研發梯度模式中。

## 六、 林地木質殘體 ( Down Woody Debris )

### 什麼是林地木質殘體指標

林地木質殘體 ( Down Woody Debris, DWD ) 指標是測量林地內倒木、掉落樹木分枝和大片木頭，如測量分枝的直徑小於3英吋稱為細木質殘體 ( fine woody debris )，而大於3英吋稱為粗木質殘體 ( coarse woody debris )。DWD需記錄樹種、外型、大小、孔洞和腐朽程度。

### 林地木質殘體的重要性

林地木質殘體是具有生產力與生物多樣性森林的重要成份。它是森林生產力、野生

動物棲息地、燃料源、土壤流失和碳儲存的重要組成。當DWD分解時，土壤增加有機物質、營養和溼度。粗木質殘體則提供野生動物的巢穴。細與粗木質殘體也可提供昆蟲之避難所與食物、植物種子發芽的場所；提供微生物和真菌生長的基質，和水、碳和其他養份長期儲存的地方。

### 如何測量林地木質殘體

在FIA每個樣區內的四個次樣區中，自每個次樣區的中心點向次樣區邊緣做三個穿越線調查。在樣線上直徑大於3吋的木質殘體均進行記錄，記錄項目包括樹幹直徑、長度、腐朽程度、樹種和是否有孔洞。細木質殘體僅記錄其數量。如大量堆積的粗木質殘體，則根據其大小和形狀當做一個單位處理。

### 如何應用林地木質殘體資料

DWD的資料與很多生態系過程有關，因此DWD的資料可以提供分析森林健康多重和各種用途。DWD的資料可以協助評估以下項目：

生物量、碳儲存是和養份儲存量。

燃料量和林火的可能散佈 - DWD的燃料量可以根據樹種、腐朽狀態和大小而加以分類。

野生動物棲息地 - 不同DWD的型態和大小可以當做不同野生動物的棲息地。

土壤穩定度。

## 七、 植被的歧異度和構造 ( Vegetation Diversity and Structure )



## 什麼是植被的指標

植被指標是在FIA森林健康樣區內測定維管束植物的型態、豐富度和水平位置。調查森林植生資源與監測目前狀況，可以推估將來可能的改變及改變的趨勢，調查的項目包括植物相歧異度、豐富度和水平結構。

### 植被指標的重要性

植被指標可以提供原生植物的歧異度的資料；外來入侵植物的散佈情形；燃料量和林火散佈的速度；野生動物的食物與棲息地；碳循環；和酸雨影響；氮沉降；臭氧和氣候變遷的效應。它也可用於評估土壤流失的危險度，林地干擾後的耐受度和恢復情形，和提供內樣區詳細的植物群落資料。

### 如何測量植被指標

植被的測量是應用多重尺度群狀方法 (multiple-scale nested approach)。在每一個次樣區內設定三個1 × 1 m<sup>2</sup>的永久四方樣塊，調查永久樣塊內所有維管束植物和種類與數量。樣塊內的林地表面一般特徵也須記錄，如枯枝落葉、蘚苔類、裸露地和石粒地等。在樣塊外之次樣區，如有樣塊內沒有的植物種類也需記錄。在次樣區內的每一種植物，需估算覆蓋情形及其分部之水平層 (0-2, 2-6, 6-16, > 16呎)，如其枝葉層主要分佈的水平位置。樣區附近如有未知的植物，需採樣並請專家鑑定。

### 如何使用植被調查資料

植被調查資料可用於很多方面，一些比較重要的應用如下：

鑑定下層原始植生歧異度。

追蹤入侵植物的散佈途徑和對原生植物的影響。

瞭解植生改變與土壤化學和物理改變，臭氧曝露和氣候變遷的相關性。

評估野生動物棲息地的數量，延伸性和適合性。

提供燃料量和林火擴散危險度的資料。

## 八、土壤狀況 (Soil Condition)

### 什麼是土壤狀況指標

土壤狀況指標是設計於收集土壤侵蝕、緊密度和土壤物理與化學性質的資料。這些基本資料可以描述森林土壤特徵，並可用於鑑定和評估土壤變遷。土壤化學和物理性質包括養份資料，例如可交換的陽離子量、pH值、碳和氮量、有毒物質和重金屬，和土壤密度。

### 土壤狀況的重要性

土壤是森林土地不可缺少的基本成份，因為森林的植物需依賴土壤的五種基本環境因子 - 養份、水、空氣、熱和機械支撐。土壤化學和物理資料是提供森林土壤的物理與肥力狀況，並可應用於不同空間尺度的森林生態模式，例如森林碳量的評估。

### 如何測量土壤狀況指標

土壤測量需在林地及實驗室同時進行，並分成三類：土壤侵蝕、緊密度和土壤取樣。供分析的土壤樣品，取自森林表土和表土以下8吋的兩個位置的土樣。這些土壤供實驗室分析物理與化學性質。

### 如何應用土壤狀況指標資料

有三個主要土壤狀況資料：

化學物理資料 - 土壤特徵資料，如土壤肥力，調查土壤承受逆壓的潛力，例如酸沉積和重金屬，土壤密度，和碳量。在國家樣區內持續監測土壤碳含量，將對瞭解森林土壤如何保存和釋放碳的資訊有很大的貢獻。

土壤侵蝕資料 - 可供評估因經營方式或自然發生的土壤潛在侵蝕速度。例如集水區侵蝕預測計畫（Watershed Erosion Prediction Project, WEPP）模式，目前已利用土壤樣區資料進行評估不同森林齡級和干擾種類的侵蝕預測。

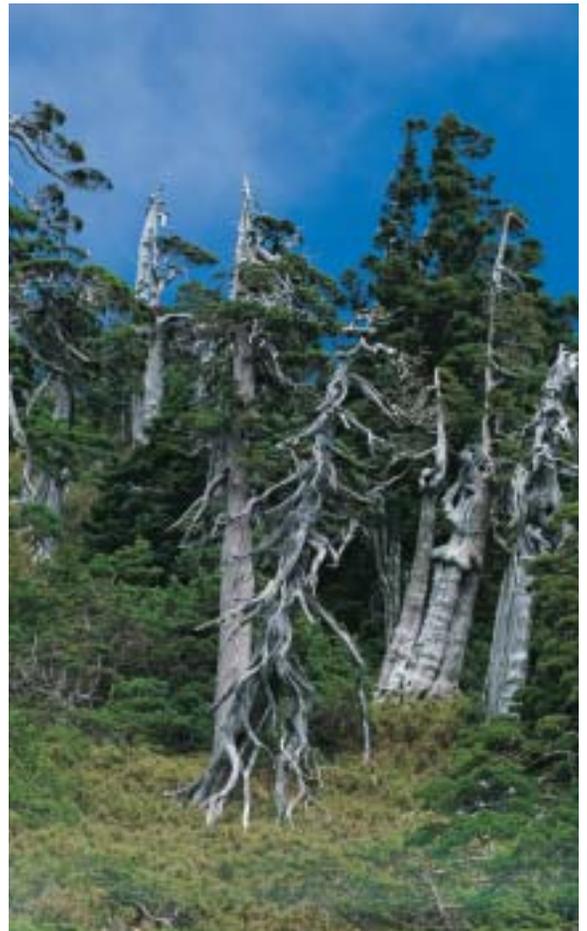
土壤緊密度資料 - 供評估緊密的現況與變遷，例如車道、步道和區域。連續性的重機械或車輪可增加土壤的緊密度。

### 參、後語

美國林務署監測森林健康的八項指標參數，是全面性及持續性的建立森林基本狀況資訊，它應該說是森林健康例行性體檢的工作，有防範於未然的作用。在台灣的森林永久樣區多屬於個別性，沒有類似美國整體性的樣區，如植生調查永久樣區或野生動物監測樣區，因此如何建立類似美國林務署整合式的監測永久樣區，對營造健康森林是非常有助益，或許是我國林業未來需要努力的方向。當然，永久樣區內的調查監測指標參數，可能因區域性不同，不能全然引用美國的模式，因此如何制定適合我國森林永久樣區調查參數，則有賴於我國林業專家學者共

同研究討論。希望不久的將來，我國森林也可設立類似美國森林的永久樣區，監測森林健康現況，以提供明確且正確的森林健康狀況資訊。

原著在每項監測指標都有圖例來說明，因圖例均為美國的例子且圖例與本文是分離說明，因此本譯文省略所有圖例。原著有引用文獻及討論監測品質之管控一章，本譯文也省略。🌲



鐘攝影 / 張正雄誌