

惠蓀林場土地利用之地景排列和變遷

馮豐隆¹ 黃志成²

(收件日期：民國 86 年 4 月 21 日、接受日期：民國 86 年 月 日)

【摘要】 本文以地景生態學之基本原理和概念，配合地理資訊系統之相關技術，探討國立中興大學惠蓀實驗林場土地利用型之地景結構和變化，透過 1964、1977 和 1987 等 3 個不同年代土地利用型圖檔的建立，利用地理資訊系統篩選和套疊功能，擷取土地利用型之地景變化資訊，以期藉由地景生態學和地理資訊系統的結合，提供森林經營和監測一適切之方法。研究中，推估地景單元的母數，如：頻度、周長、形狀指數、內緣比，Shannon-Weaver 歧異度，最大歧異度指數、均勻度指數，優勢度，並用 T 測驗檢核不同時期地景的變遷。結果指出以 GIS 進行土地利用圖檔之管理，可便於擷取各個年代之地景結構參數，並透過前述參數之生態意義，做為地景監測之指標。其中以 T 測驗檢測三期之 Shannon-Weaver 歧異度指數，可知惠蓀林場 1996-1997 年間土地利用地景，具有地景歧異度之統計差異。

【關鍵詞】 地景生態學、土地利用型、地理資訊系統。

¹ 國立中興大學森林系副教授。

Associate Professor, Dept. of Forestry, NCHU.

² 國立中興大學森林系博士班研究生。

Graduate student, Res. inst. of Forestry, NCHU.

Landscape Pattern and Changes of Land Use in Hui-Sun Experiment Forest Station

Fong-Long Feng¹ Chih-Cheng Huang²

(Received April 21 , 1997; Accepted , 1997)

【Abstract】 The objective of landscape monitoring is defined as to monitor the status, function and change of land-use. The conceptual and theoretical basis of landscape ecology are combined with Geographic Information System (GIS) and Remote Sensing (RS) . The paper is focused on analyzing the status of spatial structure of ,and it's diversity and change of land-uses in the Hui-Sun Experiment Forest. We intepret the aerial photographs of different periods (1964, 1977, 1987) in the forest. We digitize those land-use maps in GIS as map layers. In the study, we estimate the parameters of landscape units such as frequency, perimeter, interior-to-edge ratio and shape index in different period of time. Then, Shannon-Weaver diversity index, maxium diversity, eveness index, dominant index is derived. T-test as a tool to check the difference of landscape in different periods. Spatial analysis methods are used to estimate the change of the landscape.The uesults are indicate used GIS as map layers management system can yield landscape structure parameters of different periods,we are explain there parameters ecological of to as indicator of landscape monitoring.The T-test of shannon-Weaver diversity is showed that 1996-1997 aresignificautly different in the landscape diversity to land use.

【Key words】 Landscape ecology 、 land use type 、 GIS.

I、前言

森林是一種覆蓋面積廣闊之自然資源，森林族群的分佈，除了本身之生物特性外，又受到土壤、氣候、地理因子及各因子間複雜之交互作用所影響，然而近年來許多的森林學家及生態學家更為關注的是，人類對於森林資源經濟性開發的態度、技術與速度等，人為因素對於森林資源的影響，在尋求一套經濟行為和資源保育的平衡模式過程中，自然資源的監測概念和步驟自九〇年代起即為國際林業研究機構聯合會 (International Union of Forestry Research Organizations , IUFRO , 1992)所提出並不斷修正，欲擬定出一套可供全球森林監測所能依據之準則。更值得一提的是遙測技術近年來的發展，提供森林資源大面積的覆蓋資料，不僅航測技術之長足進步，來自不同載台和感測器的數位化影像(例如空載多譜掃描、錄影影像、衛星影像)更是為林業經營管理單位提供不同尺度的資料。由於遙測資料所能提供者為森林上層的被覆資料，如何以最符合森林生態系特性之理論和技術來解釋這些大量而豐富之資料，以達成森林資源經營管理和監測的目的，是林業研究上極為重要的方向和課題。地景生態學(Landscape Ecology)是近年來國際間迅速發展且漸受重視之學科，主要在研究地景內部之空間結構和功能、地景組成要素間之相互關係，特別是人類與其所屬空間之相互作用及相互協調之過程，可說是地理學與生態學之間溝通的橋樑。地景生態學一詞最早由德國地理植物學家 Troll(1939)提出，他認為地景生態學起源於一系列之綜合研究，主要研究一個地景(或地區)中不同地景單元(Landscape unit)之自然生物綜合體的相互關係，並且定義地景生態學為：某一地區中生物群落和環境間之主要的、綜合的、因果關係的研究，這些因果關係可以從明確的分佈組合(地景鑲嵌、地景組合)和各種大小不同等級的自然區劃表現出來(Naveh & Lieberman,1993)。目前對地景生態學之定義尚未有一統一之說法，但是這門學科的基本特性，即在將生態學的觀念、原理和方法應用在地表地景的綜合性研究。因此基於地景生態學對於地表地景空間結構分析的理論基礎，以及遙測資料獲取地表上層土地利用/土地被覆的特性，應可將兩者合而為一，運用在林業資源之經營管理和監測。故本文之研究目的旨在於對地景生態學相關原理作一整理與歸納，應用其對地景空間排列和變化之原理，以中興大學惠蓀林場為實例，利用不同年代之土地利用型圖，配合地理資訊系統進行地景空間排列及變化之分析，探討土地利用及地景空間排列變化之監測方法，以提供森林資源調查與監測上的參考。

II、材料與方法

(I)研究材料

用農林航空測量所測製之惠蓀林場 1964 年及 1977 年之土地利用型圖、像片基本圖以及 1987 年拍攝之航空照片。資料處理之主要電腦軟、硬體包括：

- 1.硬體：掃描機、數化板、HP 工作站。
- 2.軟體：Genarave(R to V 軟體)，Genamap(GIS 軟體)，SAS。

(II)研究方法

1.土地利用型圖檔之建立

- (1)航空照片、像片基本圖之申購與蒐集。
- (2)1964 年及 1977 年土地利用型圖檔之建立：以透明紙清繪土地利用型原圖，利用掃描機掃描成網格式圖檔,以網格(Raster,R)/向量(Vector,V)轉換軟體 Genarave 進行格式轉換及線段編修，再將圖檔轉入 GIS 資料庫。
- (3)1987 年土地利用型圖檔之建立，步驟如下：
 - a.航空照片判釋
 - b.像片基本圖清繪，產生土地利用型圖稿
 - c.土地利用型圖以數化板數化建檔
 - d.圖籍編修

2.全區地景結構參數之求導

將已建立位相關係之土地利用型圖檔，分別以 GIS 軟體之查詢功能，擷取各種地景單元(即土地利用類型)之基本屬性，包括：

- (1) 地景單元面積。
- (2) 地景單元頻度。
- (3) 地景單元周長。

(4) 形狀指數。以公式表示為 $SI = \frac{P}{2 * (\pi A)^{-1/2}}$ -----(1)

式(1)中 SI 表嵌塊體之形狀指數，P 表嵌塊體之邊界長度，
A 表嵌塊體之面積

(5) 內緣比(即邊緣效應指數) 以公式表示為 $S = P/A$ -----(2)

式(2)中 S 表該嵌塊體之邊緣效應 P 表嵌塊體之邊界長度

A 表嵌塊體之面積

3.地景生態指標之求算

(1)地景歧異度指數 (H):以 Shannon-Weaver 歧異度指數 (Pielou 1975)描述林場之地景歧異性，以公式表示為：

$$H = -\sum_{i=1}^n P_i * \log_2 P_i \text{ -----(3)}$$

式(3)中 P_i 表第 i 類地景單元之面積比， n 表地景單元之數目

(2)最大歧異度指數(H_{max})：以公式表示為：

$$H_{max} = \log_2 S \text{ -----(4)}$$

式(4)中 S 表嵌塊體種類個數；

(3)地景 均勻度指數(E)：以公式：

$$E = H/H_{max} \text{ -----(5)}$$

(4)地景優勢度(D)：以地景單元之相對頻度及相對覆蓋度之算術平均數(肖篤寧，1993)表示，並分析不同年代之變化情形。

4.地景變化分析

利用已建立之土地利用型圖檔，進行空間資料擷取及 Boolean 運算,以獲得各時期地景之轉移矩陣，並分析不同年代之惠蓀林場地景變化量及地景轉移率，偵測不同地景單元之轉移情形，瞭解地景之變化趨勢。

研究流程圖如圖 1 所示。

流程圖上表示透過 GIS 技術的運用及地景生態學上常用的原理，分別求算惠蓀林場之地景結構參數、地景生態指數及地景變化量(率)，以瞭解森林地景之空間結構及變化。

5.變遷檢定

以 t 測驗檢定 Shannon 歧異度指數之公式，如下所述：

1. Shannon 歧異度指數之變異數

$$\text{VarH} = \{ [\sum P_i (\ln P_i)^2 - (\sum P_i \ln P_i)^2] / N \} - \{ (S-1) / (2N)^2 \} \text{ -----(6)}$$

VarH 表 Shannon 歧異度指數之變異數， S 表土地利用型類別個數，

N 表個數， P_i 表第 i 種類別之豐多度機率， \ln ：自然對數。

2. t 測驗公式

$$t = (H_1 - H_2) / (\text{VarH}_1 + \text{VarH}_2)^{1/2} \text{ -----(7)}$$

上式中： H_1 、 H_2 表 Shannon 歧異度指數。

3. 自由度公式

$$df = (\text{Var}H_1 + \text{Var}H_2)^2 / \{ [(\text{Var}H_1)^2 / N_1] + [(\text{Var}H_2)^2 / N_2] \} \text{-----}(8)$$

上式中： df 表自由度

以 t 測驗檢定 3 個年代二期地景 Shannon 歧異度的變遷

III、結果與討論

(I)惠蓀林場土地利用型圖

土地利用型圖檔是 2 種不同數化方法所建立，以目前 GIS 的軟體、硬體配備而言，數化板是主要的資料輸入工具，掃描機則因需搭配 R to V(網格式資料轉為向量式資料)軟體，或其他影像處理軟體來做圖形數化的工具，受限於成本而不及數化板來的普遍，但未來 GIS 軟體若能加強網格式與向量式資料互轉的功能，將可使 GIS 的應用更為普及。惠蓀林場 1964、1977 年和 1987 年之土地利用型如圖 2~圖 4 所示。

從地景生態學的觀點來看，圖 2~圖 4 之惠蓀林場土地利用型圖可視為一特定的“地景”，地景由地景單元組成，故每一種土地利用類型可視為一地景單元，這些地景單元在空間中的排列可反應出自然或人為因素在地景內部之發展，經由地景結構參數，地景生態指標及地景變化量的求導即可瞭解地景之靜態及動態特性，進而提供森林資源監測之工具和資訊。

(II)惠蓀林場之地景結構參數

經數化建檔之 1964、1977 及 1987 年之惠蓀林場土地利用型圖，可經由 GIS 建立位相關係而產生每種地景單元之面積、周長、頻度等基本資料，詳示於表 1 及圖 5。

由表 1、圖 5 可看出平均周長逐年增加，顯示地景單元能量及物質交互作用的機會增加。單一年代中均以闊葉林所佔面積最廣，在地景生態學中被定義為基質，道路、水體定義為廊道，其他則稱為嵌塊體，惠蓀林場嵌塊體之頻度及周長之增加，顯示地景破碎化程度及島嶼嵌塊體之增加，可對照圖 2~圖 4 得知。每個嵌塊體面積和周長變化的情形可以反應出某類林型擴展之趨勢，例如柳杉、杉木在惠蓀林場之大面積造林及實施林相改良後針闊葉混淆林之增加，以及惠蓀林場森林遊樂區開放後建地的增加等，均可透過嵌塊體周長觀察得知，並指出其與鄰接嵌塊體之接觸關係和競爭程度。形狀指數及內緣比在 3 個年代中逐漸增加(如圖 6)，顯示整體地景及邊緣效應仍逐年增加之中。單一種類之嵌塊體中松樹林型有最高之形狀指數，杉木及針闊葉混淆林型次之，由 3 個年代變化趨勢，均顯示出其地景發展之高度潛能。

(III)惠蓀林場地景生態指數

1.惠蓀林場地景優勢度

地景生態指數是指能反應出地景中某些生態意義的變數而言，利用公式(3)、(4)和(5)

分別計算惠蓀林場土地利用型之地景生態指數，包括各種地景單元之優勢度及覆蓋度、歧異度指數、最大歧異度指數及均勻性指數，詳列如表 2。

表示地景優勢度的方法很多，本研究採用相對頻度及相對覆蓋度的算術平均值，因為優勢度大之植物社會控制了較高地景發展的資源，在物質循環及能量流動中扮演重要的角色，覆蓋度是植物在爭取空間、陽光、水分、養分的一種表現，而相對頻度在此指出地景中地景單元分配的百分率，表示地景單元在空間中發展之機率及潛力。從表 2 之優勢度可顯示，各地景單元優勢度較大者依次為闊葉樹林型、杉木林型及松樹林型，其中杉木林型優勢度逐年上昇而松樹林型則逐年下降，杉木在第 3 林班因為改植其他樹種(油桐、泡桐、孟宗林)，及森林遊樂區國民旅社和停車場的興建而略為減少(黃志成，1993)，但其他林班造林面積的增加，使杉林在全區地景中亦維持較高之優勢度，松樹林型為惠蓀林場中少數面積較大之天然林，受天然干擾(火災)及人為干擾(伐木造林)亦大，其面積轉換率可參考本文後續之相關資料。

建地優勢度的逐年增加，是人為活動介入景觀中的明顯實例，建地集中在第 3 林班顯然與森林遊樂區之開發有關，從 1977 至 1987 年上升為 0.09；覆蓋度未達 0.1%在地景中的比例仍小，故相對頻度的增加極可能是優勢度增加之主因，這也顯示建地在未來地景中發展的趨勢。此外檜木造林地優勢度之降低亦顯示在此 23 年間，長伐期樹種(檜木造林地以紅檜、扁柏為主要優勢種)栽植面積的減少，而裸露地(包括可植、不可植 2 類)均在 10%左右，裸露地中包含了來自林道、建築、伐木及颱風等，人為和天然因素造成之崩場地，顯示出林場在水土保持上的迫切性。

2. 惠蓀林場之地景歧異度變化

表 2 所列之地景歧異性是指：組成地景之地景單元在對存在環境之要求與自身特性均有所不同，在整體地景中可能佔有不同之生態地位。本文採用 Shannon-Weaver 歧異度指數，指數愈高表示地景單元種類愈多，歧異度指數可指出地景單元的豐富度和異質性，Shannon-Weaver 指數無最大的固定值，但若地景中有 s 種地景單元類型，要求這些類型處於最大均勻分佈條件時，每個單元之面積比為 $1/s$ 此時的歧異度稱為最大歧異度指數。此外，利用上述 2 種指數的比值來表示景觀單元在地景中分佈的均勻程度稱為地景均勻度指數，均勻度指數是以 Shannon-Weaver 歧異度指數為主，將變域控制在 0-1 之間，與其他歧異度指數有相同意義。表 2 所列 3 個年代之 Shannon-Weaver 歧異度指數分別為 1.77、2.12 及 1.99，地景異質化程度以 1977 年最高，最大歧異度指數逐年增加，顯示全體地景朝向多樣化的趨勢發展，均勻性指數在三個年代中無明顯變化趨勢。

歧異度指數、最大歧異度指數及均勻度指數之變化，如圖 7 所示。

以 t 測驗檢定 3 個年代二期地景 Shannon 歧異度的變遷，首先將表 1、表 2 中之資料擷取成表 3。

表 3 之個數(N)代表 3 個年代之土地利用型(地景單元)之數目，而種數(S)表土地利用型之類別數目，Shannon 歧異度則依公式(3)計算而得，以公式(6),(7),(8)分別求算惠蓀林場地景歧異度之變遷統計值，如表 4 所示。

由表 3 可知惠蓀林場 3 個年代之 Shannon 歧異度由 1964 年之 1.77 提高至 2.12，至 1987 年再降低為 1.99，由表 4 之結果可知 1964-1977 年間之歧異度有顯著之差異($P < 0.001$)而 1977-1987 年間則無顯著差異($P < 0.05 \sim 0.001$)，從地景生態學的觀點來看，地景歧異度可以顯示全體地景的演化程度及安定狀態，發展中的地景會有歧異度增加的現象，歧異度高表示物質循環及能量流動的管道增多適應環境變化之潛能增強。由本文顯示惠蓀林場整體地景仍在動態變化及發展中，但在人為因素造成地景歧異性及均勻度的變化方面，應再進一步研究，以區隔不同的經營目標下追求不同地景歧異度的適應性經營理念。惠蓀林場在 1964 年之 1.77 提高為 2.12，進而略為降低至 1.99，但下降幅度未達 t 分布統計檢定之差異性，本研究之檢定結果可做為惠蓀林場地景管理之參考，作為控制整體地景多樣性之指標。

(IV) 惠蓀林場地景變化分析

地景變化是透過地景之轉移量和轉移率來量化惠蓀林場在 3 個年代中土地利用型之轉變情形，利用建立之土地利用型圖檔透過 GIS 資料擷取的功能，可將林場中不同位置具有相同屬性的地景單元組成新的圖層，經過不同年代的套疊，再表列各種土地利用型之轉移量，結果如表 5、表 6。

表 5、表 6 指出惠蓀林場 3 個年代中由縱軸之土地利用型轉變為橫軸之土地利用型之轉移量。針對表 5、表 6 所列之計算結果可以看出明顯變化者包括：

1. 檜木類，約 22.56 公頃(19.58%)轉變成針闊葉混淆林(第 1 期)，在第 1 期(1964-1977)時段中檜木類維持了 67.5%之林地面積，至第 2 期(1977-1987 年)更提升為 73%，第一期檜木類面積之增加來自 39.04 公頃(0.77%)之闊葉混淆林，20.8 公頃(12.33%)以上之草地及 22.56 公頃(3.59%)之針闊葉混淆林。檜木為長伐期樹種，且分佈於林場之高海拔地區，人工撫育較不易進行，其地景變化之監測亦應長期進行，若能以遙、航測資料來監測，透過轉移率的統計可提供檜木類林型監測之參考。

2. 杉木林型,在第一期中約 140.48 公頃維持不變,但 143.68 公頃(36.28%)轉移為闊葉樹林,其他的轉移包括了裸露地、針闊混淆林、松樹林型等。杉木為我國最重要的樹種之一,在惠蓀林場之造林面積,更為全區之冠,由表 1 可知其佔人工林比例 50%以上,在早期林場未種植其他針葉樹(柳杉、肖楠、台灣杉)之前其比例更高達 79%,可知杉木在林場林木經營上的重要性,故在林木經營的目標中,以不同時期之地景面積數量轉移表,可有效控制杉木在全區地景中的變化。
3. 闊葉樹林型,第 1 期(1964-1977)維持 77.88%和第 2 期(1977-1987)維持 85%的不變動率,由於惠蓀林場劃定之野生動物保護區及木荷保護區均在闊葉樹林型之中,故在天然林完整林相的保持上闊葉樹的維持率佔了極為重要的角色。變動率的降低顯示闊葉樹經人為干擾之變動和緩,可從闊葉樹轉移為裸露地之比例從 42.8%降低為 0.32%,以及 4.69%和 5.63%的闊葉樹轉移至針闊葉混淆林之趨勢觀察得知。
4. 在建地方面,包括來自竹類(1.79%)、相思造林地(3.93%)、松樹造林地(1.77%)和其他闊葉樹造林地(泡桐、油桐),改建為國民旅社及停車場,建地之變化均發生於第 3 林班,在相關的地景變化中建地常做為一地區的城市化指標,透過地景轉移率描述該地區都市化的速度,在本研究中建地之比率均維持在 0.1%以下,尚不致對地景發生之變化造成影響,但仔細分析建地之轉移情形及地點(均集中於第 3 林班)可瞭解建地之轉移主要來自經營政策產生之人為干擾,其主因來自森林遊樂區之發展,故欲瞭解建地在地景中的空間變化及影響,可縮小研究尺度,首先建立惠蓀林場森林遊樂區之基本資料及圖層,以森林遊樂區局部的尺度來探討建地在地景中的變化情形,應可提供林場針對森林遊樂經營上地景管理上之參考資料。由表 5、表 6,可瞭解惠蓀林場全區土地利用型在空間地景中的轉移情形及轉移量,經由轉移量統計表的列示亦可觀察全區地景在 23 年間的變化趨勢,變化情形可以圖 8 表示 3 個時期各類地景單元之轉化狀況。

圖 8 中方格內數字表示各類土地利用型之面積(公頃),格間連線用以表示地景間之轉移關係及轉移量,連線僅標示出轉移率大於 50 公頃之轉移量者,完整的格間網格可用來瞭解不同時期地景變化的複雜程度。

(V) 結論

本研究透過GIS進行圖層管理的模式,建立不同時期地景結構參數及地景生態指數,可做為地景監測之基本模式。在惠蓀林場之地景結構的研究中,透過形狀指數描述地景發育的潛能,可知在人工林的經營管理上應加強檜木,杉木及柳杉等林型

之撫育管理；透過內緣比描述邊界效應亦可得知在建地及道路等人為措施持續增加的趨勢應加以監測。惠蓀林場在3個時期中之Shannon-Weaver 歧異度指數於1964-1977年間具顯著差異，於1977-1987年間則無顯著差異，地景歧異度可做為求算及檢定地景異質性監測之指標，同時亦可由優勢度分析各林型之發展趨勢，因此，透過生態指數可供林場之經營管理單位地景監測之依據。

IV、引用文獻

肖篤寧 (1993) 地景生態學:理論、方法及應用。地景企業股份有限公司。431 頁。

黃志成 (1993) 地理資訊系統在森林資源調查之研究。中興大學碩士論文。76 頁。

IUFRO (1992) IUFRO Guidelines for World Forest Monitoring. INFRO 4.0 News,31pp.

Naveh,Z. and A.S. Lieberman(1993) Landscape ecology. Spring-Verlag, New York,375pp.

Pielou, E.C. (1975) Ecological diversity. John Wiley & Sons, New York.pp5-17.

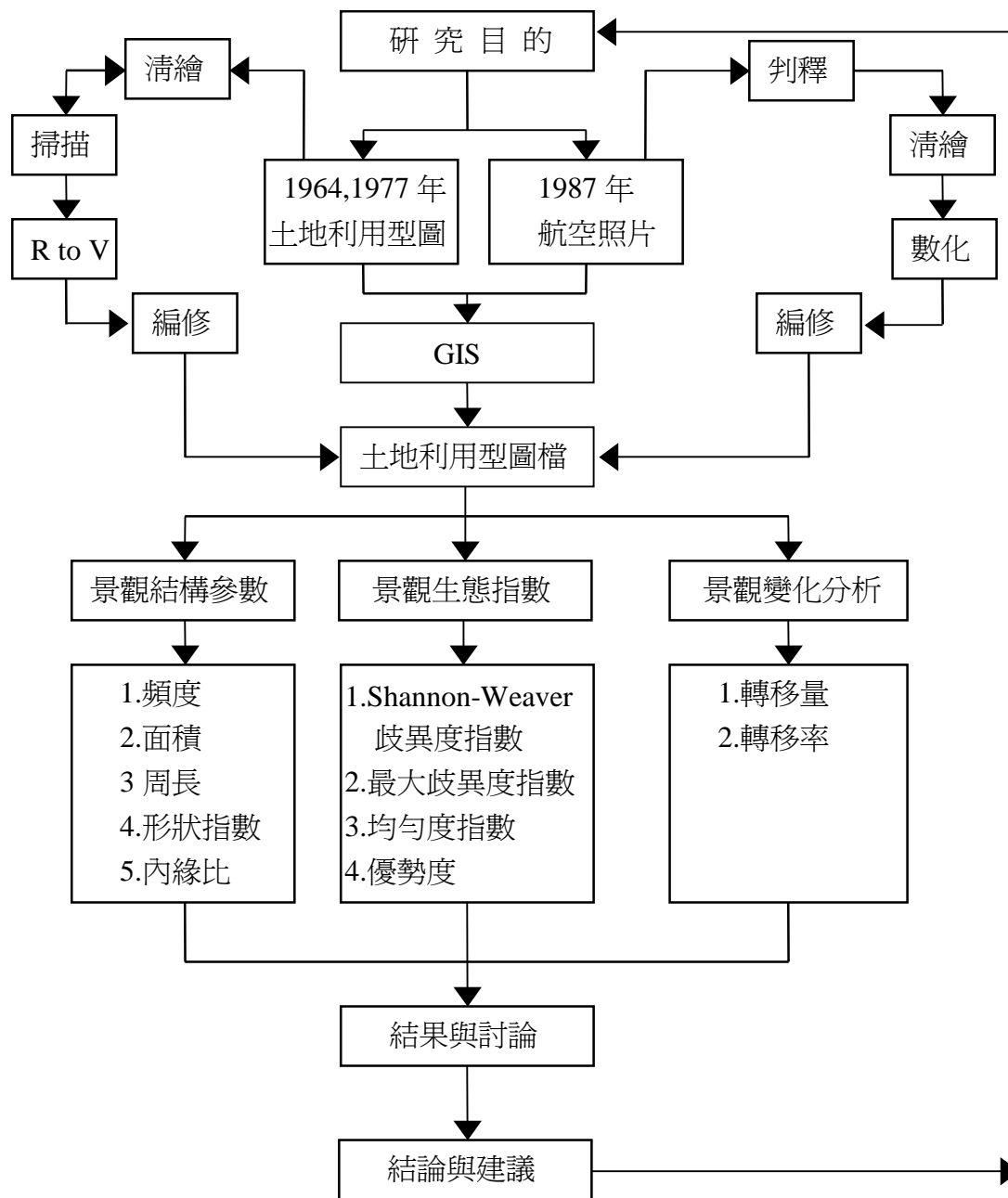


圖 1 惠蓀林場土地利用空間景觀排列和變化之研究流程

Fig.1 The flow chart of spatial landscape pattern and changes of land use in Hui-Sun Forest Station

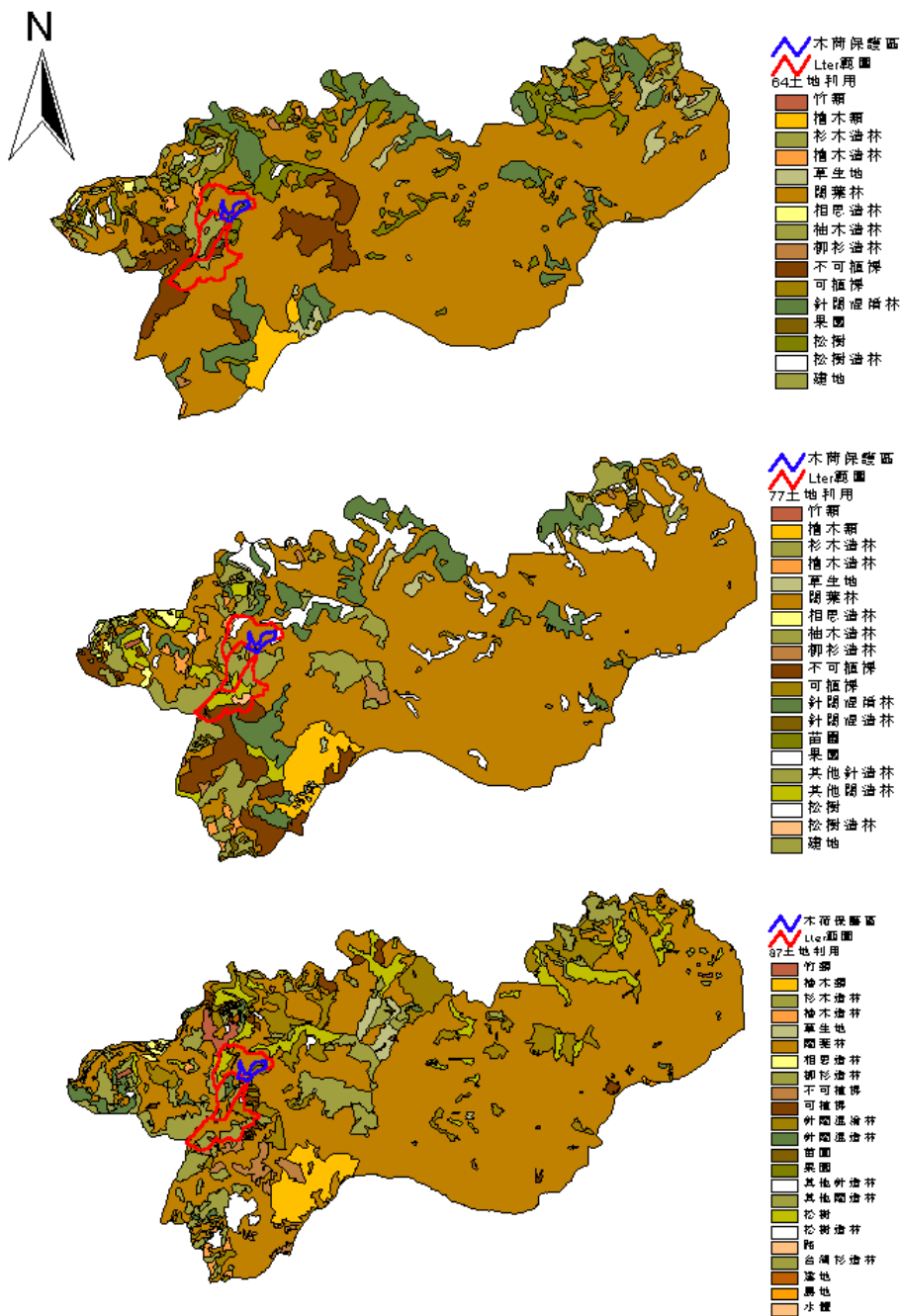


圖 2、圖 3、圖 4 惠蓀林場 1964、1977、1987 年土地利用型圖

Fig.2、Fig.3、Fig.4 The land use map in Hui-Sun Forest Station (1964、1977、1987)

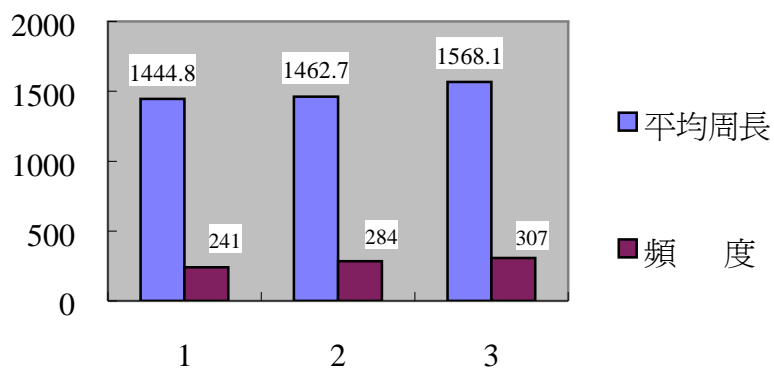


圖 5：惠蓀林場 1964、1977、1987 年平均周長及頻度變化情形

Fig.5 The changes of average perimeter and frequency in Hui-Sun Forest Station (1964, 1977 &1987)

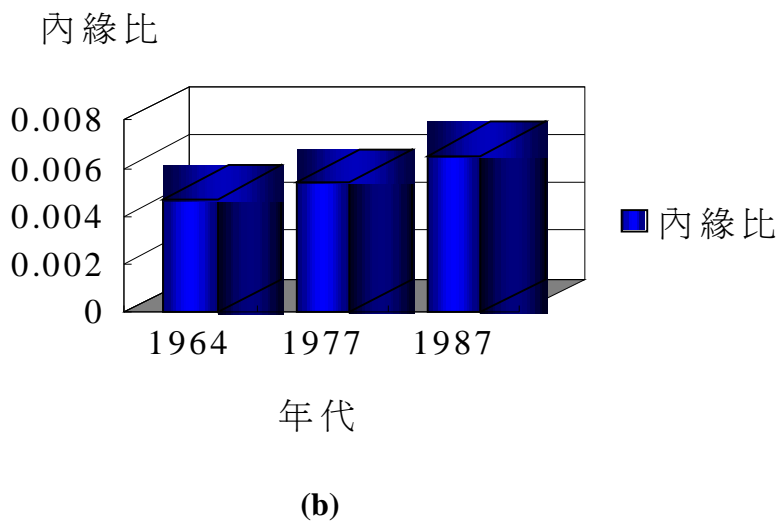
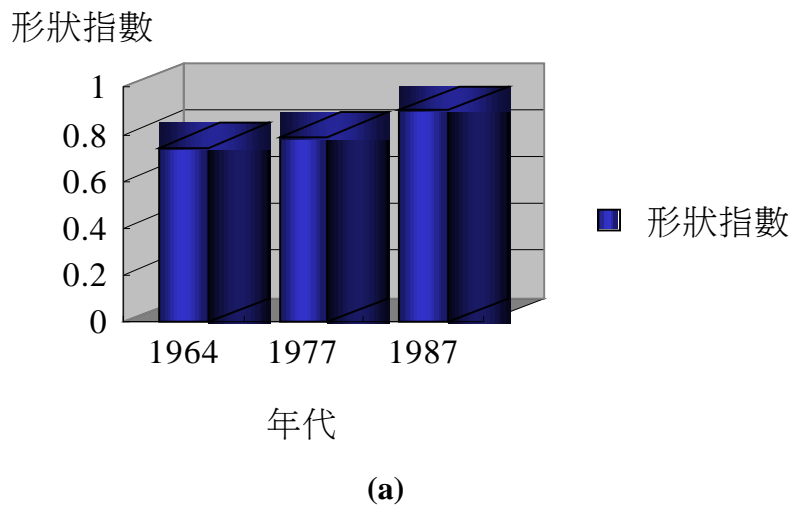


圖 6：惠蓀林場景觀單元形狀指數(a)及內緣比(b)之比較

Fig. 6 The shape index (a) and interior-to-edge ratio (b) of landscape unit in Hui-Sun Forest Station

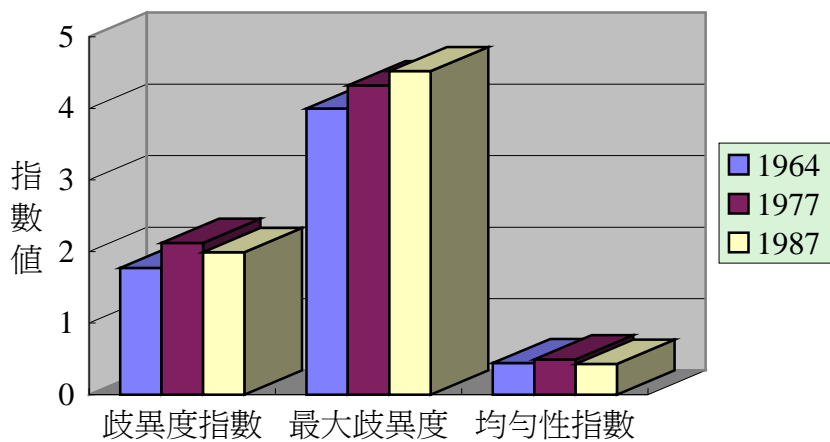


圖 7：惠蓀林場三種歧異度指數在不同年代之變化圖

Fig.7 The changes of three map diversity indices in Hui-Sun Forest Station

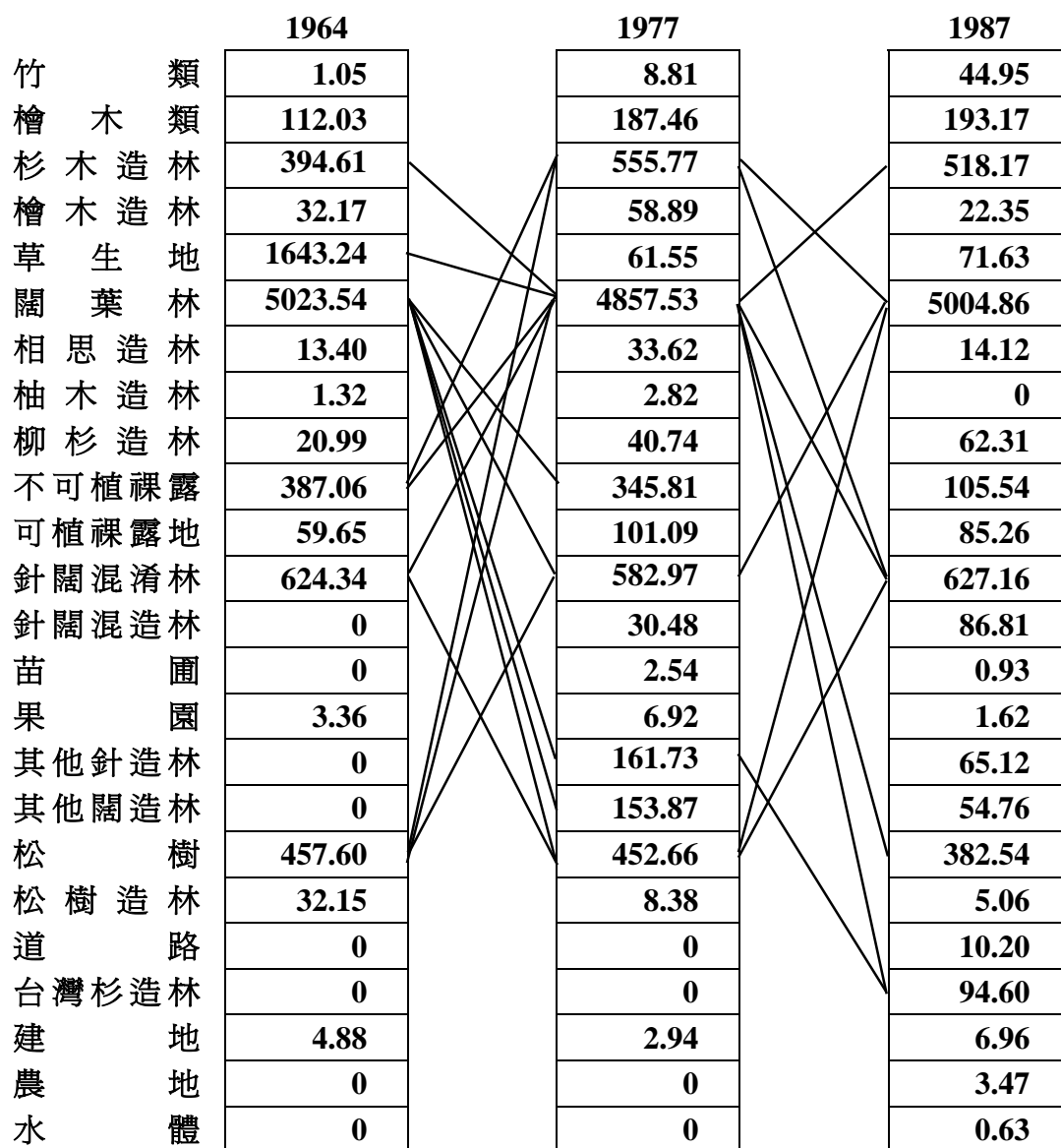


圖 8、惠蓀林場景觀單元 1964、1977、1987 三年轉移情形（連線僅標示出轉移率大於 50 公頃轉移量）

Fig.8 The three period transition area of landscape units in Hui-Sun Forest Station (linkage lines showed transition rates which more than 50ha)

表 1：惠蓀林場 1964, 1977 及 1987 年土地利用型之景觀結構參數

Table 1 : The landscape structure parameter of land use in Hui-Sun Forest Station(1964,1977&1987)

土地利用型	代號	1964 年						1977 年						1987 年					
		周長(m)	形狀指標	內緣比	面積(ha)	頻度	百分比	周長(m)	形狀指標	內緣比	面積(ha)	頻度	百分比	周長(m)	形狀指標	內緣比	面積(ha)	頻度	百分比
竹類	B	401.57	1.11	0.0382	1.05	1	0.01	3432.19	3.26	0.0390	8.81	7	0.12	8064.96	3.39	0.0179	44.95	4	0.60
檜木類	C	7679.88	2.05	0.0069	112.03	2	1.53	13580.69	2.80	0.0072	187.46	1	2.45	10799.79	2.19	0.0056	193.17	1	2.59
杉木造林	CF	53007.21	7.53	0.0134	394.61	41	5.38	62100.38	7.43	0.0112	555.77	41	7.26	83895.24	10.40	0.0162	518.17	57	6.94
檜木造林	CYP	8979.45	4.47	0.0279	32.17	9	0.44	11917.18	4.38	0.0202	58.89	9	0.77	5907.76	3.53	0.0264	22.35	6	0.30
草地	G	36186.61	7.96	0.0220	164.32	31	2.24	15904.94	5.72	0.0258	61.55	17	0.80	11669.93	3.89	0.0163	71.63	11	0.96
闊葉林	H	Matrix	0.00	0.0000	5023.53	25	68.51	Matrix	0.00	0.0000	4857.53	28	63.44	Matrix	0.00	0.0000	5004.86	28	67.07
相思造林	HA	3929.35	3.03	0.0293	13.40	5	0.18	7501.93	3.65	0.0223	33.61	6	0.44	4152.45	3.12	0.0294	14.12	4	0.19
柚木造林	HT	584.25	1.43	0.0441	1.32	1	0.02	1074.27	1.80	0.0381	2.82	2	0.04	0.00	0.00	0.0000	0.00	0	0.00
柳杉造林	JF	5809.99	3.58	0.0277	20.99	9	0.29	8158.83	3.61	0.0200	40.74	11	0.53	12417.54	4.44	0.0199	62.31	14	0.84
不可植裸	LP	35174.92	5.04	0.0091	387.06	7	5.28	18330.53	2.78	0.0053	345.81	9	4.52	23764.51	6.53	0.0225	105.54	18	1.41
可植裸	LU	20825.44	7.61	0.0349	59.64	32	0.81	30450.08	8.54	0.0301	101.09	47	1.32	30939.30	9.45	0.0363	85.26	38	1.14
針闊混淆林	M	66638.17	7.52	0.0107	624.34	23	8.51	65000.29	7.59	0.0111	582.97	25	7.61	80073.46	9.02	0.0128	627.16	39	8.40
針闊混造林	MP	0.00	0.00	0.0000	0.00	0	0.00	8201.59	4.17	0.0266	30.84	7	0.40	31875.22	9.65	0.0367	86.81	13	1.16
苗圃	N	0.00	0.00	0.0000	0.00	0	0.00	1194.10	2.15	0.0487	2.45	2	0.03	760.03	2.22	0.0814	0.93	2	0.01
果園	O	993.77	1.53	0.0296	3.36	1	0.05	2858.41	3.06	0.0413	6.92	4	0.09	1137.60	2.52	0.0703	1.62	2	0.02
其他針造林	OCP	0.00	0.00	0.0000	0.00	0	0.00	21765.45	4.83	0.0135	161.73	9	2.11	8219.64	2.87	0.0126	65.12	6	0.87
其他闊造林	OHP	0.00	0.00	0.0000	0.00	0	0.00	24936.86	5.67	0.0162	153.87	15	2.01	11179.13	4.26	0.0204	54.76	6	0.73
松樹	P	63079.40	8.32	0.0138	457.60	45	6.24	75065.98	9.95	0.0166	452.66	38	5.91	73598.96	10.62	0.0192	382.54	30	5.13
松樹造林	PP	7611.47	3.79	0.0237	32.15	7	0.44	1414.86	1.38	0.0169	8.38	1	0.11	1886.94	2.37	0.0373	5.06	2	0.07
道路	ROAD	0.00	0.00	0.0000	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0	0.00	12572.87	11.11	0.1233	10.20	1	0.14
台灣杉造林	TCP	0.00	0.00	0.0000	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0	0.00	18996.17	5.51	0.0201	94.60	14	1.27
建地	U	1181.19	1.51	0.0242	4.88	2	0.07	1552.98	0.00	0.0528	2.94	5	0.04	3388.67	3.62	0.0487	6.96	9	0.09
農地	V	0.00	0.00	0.0000	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0	0.00	1361.23	2.06	0.0392	3.47	1	0.05
水體	W	0.00	0.00	0.0000	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0	0.00	825.09	2.93	0.1309	0.63	1	0.01
合計		312082.67	10.28	0.3556	7332.45	241	100	374441.5	12.23	0.4629	7456.86	284	100	437486.49	14.29	0.8435	7462.24	307	100.00
平均		1444.83	0.74	0.0047	30.42			1462.66	0.79	0.0054	26.94			1568.05	0.90	0.0065	24.31		

表 2：惠蓀林場土地利用型景觀生態指數

Table 2 : The landscape ecological index of land use in Hui-Sun Forest Station

土地利用型	代號	1964				1977				1987			
		優勢度	頻度	密度	覆蓋度%	優勢度	頻度	密度	覆蓋度%	優勢度	頻度	密度	覆蓋度%
竹 類	B	0.0021	1.0000	0.0041	0.0100	0.0129	7.0000	0.0246	0.1200	0.0095	4.0000	0.0130	0.6000
檜木類	C	0.0118	2.0000	0.0083	1.5300	0.0140	1.0000	0.0035	2.4500	0.0146	1.0000	0.0033	2.5900
杉木造林	CF	0.1120	41.0000	0.1701	5.3800	0.1085	41.0000	0.1444	7.2600	0.1275	57.0000	0.1857	6.9400
檜木造林	CYP	0.0209	9.0000	0.0373	0.4400	0.0197	9.0000	0.0317	0.7700	0.0113	6.0000	0.0195	0.3000
草生地	G	0.0755	31.0000	0.1286	2.2400	0.0339	17.0000	0.0599	0.8000	0.0227	11.0000	0.0358	0.9600
闊葉林	H	0.3944	25.0000	0.1037	68.5100	0.3665	28.0000	0.0986	63.4400	0.3810	28.0000	0.0912	67.0700
相思造林	HA	0.0113	5.0000	0.0207	0.1800	0.0128	6.0000	0.0211	0.4400	0.0075	4.0000	0.0130	0.1900
柚木造林	HT	0.0022	1.0000	0.0041	0.0200	0.0037	2.0000	0.0070	0.0400	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
柳杉造林	JF	0.0201	9.0000	0.0373	0.2900	0.0220	11.0000	0.0387	0.5300	0.0270	14.0000	0.0456	0.8400
不可植裸	LP	0.0409	7.0000	0.0290	5.2800	0.0384	9.0000	0.0317	4.5200	0.0364	18.0000	0.0586	1.4100
可植裸	LU	0.0704	32.0000	0.1328	0.8100	0.0893	47.0000	0.1655	1.3200	0.0676	38.0000	0.1238	1.1400
針闊混淆林	M	0.0903	23.0000	0.0954	8.5100	0.0821	25.0000	0.0880	7.6100	0.1055	39.0000	0.1270	8.4000
針闊混造林	MP	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0143	7.0000	0.0246	0.4000	0.0270	13.0000	0.0423	1.1600
苗 圃	N	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0037	2.0000	0.0070	0.0300	0.0033	2.0000	0.0065	0.0100
果 園	O	0.0023	1.0000	0.0041	0.0500	0.0075	4.0000	0.0141	0.0900	0.0034	2.0000	0.0065	0.0200
其他針造林	OCP	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0264	9.0000	0.0317	2.1100	0.0141	6.0000	0.0195	0.8700
其他闊造林	OHP	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0365	15.0000	0.0528	2.0100	0.0134	6.0000	0.0195	0.7300
松 樹	P	0.1246	45.0000	0.1867	6.2400	0.0965	38.0000	0.1338	5.9100	0.0745	30.0000	0.0977	5.1300
松樹造林	PP	0.0167	7.0000	0.0290	0.4400	0.0023	1.0000	0.0035	0.1100	0.0036	2.0000	0.0065	0.0700
道 路	ROAD	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0023	1.0000	0.0033	0.1400
台灣杉造林	TCP	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0292	14.0000	0.0456	1.2700
建 地	U	0.0045	2.0000	0.0083	0.0700	0.0090	5.0000	0.0176	0.0400	0.0151	9.0000	0.0293	0.0900
農 地	V	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0019	1.0000	0.0033	0.0500
水 體	W	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0017	1.0000	0.0033	0.0100
合 計		1.0000	241	1.0000	100.00	1.0000	284	1.0000	100.00	1.0000	307	1.0000	100.00
歧異度指數 ¹	Hi		1.77				2.12				1.99		
最大歧異度	Hmax		4				4.32				4.52		
均勻性指數	Ei		0.44				0.49				0.43		

¹ 歧異度指數：為 Shannon-Weaner 指數

表 3：惠蓀林場 1964、1977、1987 年歧異度檢定屬性表

Table 3 The attribute of diversity index in Hui-Sun Forest Station
(1967,1977 & 1987)

屬性	年度		
	1964	1977	1987
個數(N)	241	281	307
種數(S)	16	20	23
Shannon 歧異指數	1.77	2.12	1.99

表 4：惠蓀林場景觀歧異度 t 分布統計檢定表

Table 4 The t-distribution statistic of landscape diversity index in Hui-Sun Forest Station

	年代	
	1964-1977	1977-1987
t 值	-5.2117	1.9315
自由度	517	591
檢定結果	** ¹	N.S ²

¹極顯著差異(P<0.001)

²無顯著差異(P<0.05~0.001)

表 5：惠蓀林場 1964-1977 年土地利用轉移量統計表

Table 5: : The transition area of land use in 1964-1977

土地利用轉移量(公頃)

	B ²	C	CF	CYP	G	H	HA	HT	JF	LP	LU	M	MP	N	O	OCP	OHP	P	PP	ROAD	TCP	U	V	W	SUM
B	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.44
C	0.00	77.76	0.00	0.00	7.84	0.64	0.00	0.00	0.00	4.16	0.00	22.56	0.00	0.00	0.00	0.00	2.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	115.20
CF	2.56	0.00	140.48	2.24	3.36	143.68	8.96	0.32	3.52	10.40	3.52	14.56	12.00	2.08	0.80	5.60	24.32	15.04	0.80	0.00	0.00	1.76	0.00	0.00	396.00
CYP	0.00	0.00	3.36	6.88	0.00	11.84	0.00	0.00	0.00	3.52	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	0.32	1.92	2.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.52
G	0.00	20.80	6.08	0.00	24.32	90.24	0.00	0.00	0.00	5.60	0.64	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	168.64
H	2.08	39.04	142.08	36.32	15.52	3925.76	12.32	0.16	16.32	215.68	45.44	236.32	8.32	0.00	1.60	93.12	66.56	176.16	7.36	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00	5040.96
HA	0.00	0.00	1.44	0.00	0.00	2.40	3.04	2.08	0.00	0.00	1.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.92
HT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.96	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.28
JF	0.00	0.00	1.60	0.00	0.00	13.28	0.00	0.00	3.36	1.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	2.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.56
LP	0.80	0.00	153.76	9.12	0.00	101.92	3.20	0.00	17.28	8.96	1.28	12.16	0.00	0.00	0.32	12.32	30.72	8.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	360.16
LU	0.00	0.00	2.56	0.00	0.00	27.04	0.64	0.00	0.00	0.00	13.44	3.84	0.00	0.00	0.00	0.00	1.12	4.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	53.28
M	0.00	22.56	18.40	0.00	3.20	233.76	0.00	0.00	0.00	21.76	18.40	188.64	0.96	0.00	0.00	33.28	7.84	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	628.80
MP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.04
OCP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OHP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	0.16	0.00	50.72	4.64	0.80	148.64	3.36	0.00	0.00	7.04	9.60	79.04	0.00	0.00	0.32	3.84	6.24	154.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	468.48
PP	1.76	0.00	9.44	0.00	0.00	6.72	0.48	0.00	0.32	0.96	0.00	1.60	0.00	0.00	0.16	1.12	8.96	0.64	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	32.48
ROAD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TCP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
U	0.48	0.00	3.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	4.80
V	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

¹縱軸為 1964 年土地利用型，橫軸為 1977 年土地利用型

²各土地利用型之代號如表 1

表 6：惠蓀林場 1977-1987 年土地利用轉移量統計表

Table 6: : The transition area of land use in 1977-1987

土地利用轉移量(公頃)

	B ²	C	CF	CYP	G	H	HA	HT	JF	LP	LU	M	MP	N	O	OCP	OHP	P	PP	ROAD	TCP	U	V	W	SUM
B	3.84	0.00	0.16	0.00	0.16	1.12	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.48	0.32	0.00	0.00	1.28	0.64	0.00	0.48	0.00	0.16	0.00	0.00	8.96
C	0.00	134.08	0.00	0.00	0.00	31.04	0.00	0.00	0.00	18.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	183.68
CF	16.32	0.00	302.72	0.00	0.64	104.96	0.00	0.32	1.92	1.12	8.32	60.16	20.80	0.00	0.00	0.32	0.00	38.08	1.92	2.88	8.64	1.60	0.00	0.00	570.72
CYP	5.60	0.00	12.48	6.88	0.00	7.68	0.00	0.00	1.44	0.00	0.00	10.56	0.96	0.00	0.00	6.88	0.00	3.36	0.00	0.00	2.08	0.00	0.00	0.00	57.92
G	0.00	10.72	3.52	0.00	8.64	13.60	0.00	0.00	0.32	3.36	0.00	4.16	2.24	0.00	0.00	0.00	13.76	4.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	64.64
H	12.80	37.76	81.44	2.24	62.40	4089.92	0.00	0.16	15.36	15.52	35.20	271.04	24.64	0.00	1.28	4.80	20.16	94.88	2.72	3.04	33.92	0.00	2.40	0.16	4811.84
HA	0.00	0.00	4.96	0.00	0.00	12.48	0.00	2.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	4.80	0.00	0.00	1.28	0.96	1.12	0.00	0.00	28.48
HT	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	2.40	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	3.20
JF	0.64	0.00	4.80	0.00	0.00	7.04	0.00	0.00	20.32	0.00	0.00	2.56	2.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.52	0.00	0.00	0.00	41.44
LP	0.00	5.92	49.44	0.00	0.00	184.80	0.00	0.00	0.48	22.08	6.08	6.72	15.68	0.00	0.00	21.44	0.80	0.00	0.00	0.16	4.32	0.16	0.00	0.00	318.08
LU	0.00	0.00	8.64	0.00	0.32	48.64	0.00	0.00	0.00	0.00	27.20	4.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.76	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	95.52
M	0.00	7.36	10.72	0.00	0.00	246.08	0.00	0.00	0.00	47.68	5.12	223.68	0.00	0.00	0.00	2.56	0.00	37.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	580.32
MP	0.00	0.00	8.48	1.12	0.00	7.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.48
N	0.00	0.00	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	1.92
O	0.00	0.00	0.48	0.00	0.00	1.60	0.00	0.00	0.48	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	3.68
OCP	0.96	0.00	14.40	9.92	0.00	41.76	0.00	0.00	11.52	0.00	0.00	6.24	5.12	0.00	0.48	28.80	0.00	2.08	0.00	0.00	35.68	0.00	0.00	0.00	156.96
OHP	4.16	2.56	10.40	0.00	1.28	82.56	0.00	0.00	0.00	1.76	0.00	4.32	16.32	0.00	0.00	1.28	13.76	4.32	0.00	1.92	5.60	2.72	0.00	0.64	153.60
P	1.44	0.00	13.60	2.08	0.00	188.64	0.00	0.00	0.00	0.00	6.24	51.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	200.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	463.52
PP	0.00	0.00	3.84	0.00	0.00	3.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.28	0.00	0.00	0.00	8.48
ROAD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TCP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
U	0.00	0.00	0.80	0.00	0.48	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.16	0.64	0.00	0.00	3.52
V	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

¹縱軸為 1977 年土地利用型，橫軸為 1987 年土地利用型

²各土地利用型之代號如表 1