

玉山國家公園景觀變遷的驅動機制剖析

周鶴樹*

論文收件日期：100年10月18日

論文接受日期：102年4月2日

摘 要

玉山國家公園的複雜、破碎之森林生態系統及其呈現的動態、不規則之土地紋理，為因應全球氣候暖化的趨勢，宜解析其景觀格局與變遷背後的驅動機制，以有效掌握其土地使用之影響衝擊，方能提出更合宜的規劃與經營策略。因此，本研究假設玉山國家公園森林生態環境係造成其景觀格局與變遷的顯著因子，採用遙感探測、地理資訊系統與景觀指數的整合性研究方法，從玉山國家公園森林景觀格局在時間和空間的結構與量之變化及趨勢，剖析其景觀變遷的驅動機制。研究過程係以植被多樣性、破碎性、網絡與廊道、踏腳石等整體景觀結構特性，及綴塊尺寸、數量、位置、邊緣結構、形狀等植群景觀特性，建立景觀指數分析之研究架構；以1972、1979、1990、2000及2010年遙感探測之影像判讀資料，呈現其景觀格局特徵與動態；再以景觀指數解析其景觀格局變遷的驅動機制與意涵。研究中發現整體景觀結構的植群多樣性，呈現不均勻分佈，聚集程度降低等特性；植群破碎性呈現內部棲地減少等特性；植群網絡與廊道呈現連結性低之特性；踏腳石呈現接近性增加之特性；植群景觀特性的綴塊尺寸，呈現邊緣棲地比例增加，重新連結機率增加等特性；綴塊數量呈現綴塊密度增加之特性；綴塊位置呈現綴塊孤立作用降低，重新拓殖性增加，距離穩定等特性；邊緣結構呈現綴塊形狀不規則、複雜化等特性；綴塊形狀呈現綴塊伸展程度漸增，惟變化幅度不大之特性。最後，整體研究結論表明，玉山國家公園的整體景觀結構，“粗細交錯、疏密有秩的景觀結構”是生態物種

*兼任助理教授，國立嘉義大學景觀學系，TEL：+886-919-999768，E-mail：hoshuchou@gmail.com

與能量流動的良好運作基礎，關鍵是“物種與能量的流動”；植群景觀特性上，“婉轉有形、聚散合宜的格局韻律”是生態位置與型態組合的健全運作機制，關鍵是“位置與型態的組合”，而這物種與能量運作基礎及位置與型態操作機制的組合架構，即玉山國家公園景觀變遷的驅動機制之雛形，也就是本研究所設定的目的與成果，除提供作為玉山國家公園永續經營的具體環境資訊，後續將進一步建立台灣高山國家公園之永續規劃架構與空間分析技術。

關鍵詞：景觀格局、景觀變遷、景觀指數

The Driving Mechanism Analysis of Yushan National Park's Landscape Change

Ho-shu Chou*

Abstract

For the complex, fragmented ecosystem and dynamic, irregular landscape texture of Yushan National Park, the park authority should analyze the driving mechanism behind the landscape pattern and changes, for responding to the global warming trend, to effectively grasp the impact land use change and suitably propose the planning and managing strategy. Therefore, assuming that the forest ecological environment of Yushan National Park is the significant factor causing its landscape pattern and changes, this research adopts the integrated research method of remote sensing, geographic information systems and landscape indices, studying the changes and trends of forest landscape pattern in temporal and spatial structure, to analyze the driving mechanism of its landscape change. This research first established the landscape indices analysis framework by the overall landscape structure characteristics of vegetation diversity, fragmentation, networks and corridors, stepping stone, and the vegetation landscape characteristics of patch size, number, location, edge structure, shape, then, presented the landscape pattern characteristics and dynamic by the 1972,1979,1990,2000 and 2010 remote sensing interpretation data, finally, analyzed the driving mechanism and implications of its landscape pattern and changes by the landscape indices. The research found that the vegetation diversity in the overall landscape structure presents the non-uniform distribution and aggregation reduction characteristics; vegetation fragmentation presents internal habitat reduction of characteristics; vegetation networks and corridors presents low connectivity characteristics; stepping stone presents proximity increased characteristics; the patch size in vegetation landscape characteristics presents the edge habitat proportion increased and relink probability increased characteristics; patch amount presents patch density increased characteristics; patch location presents isolation reduction, re-colonization increased and distance stability characteristics; edge structure

* Adjunct Assistant Professor, Department of Landscape Architecture, National Chiayi University, TEL: +886-919-999768, E-mail: hoshuchou@gmail.com

presents irregular patch shape and complexity characteristics; patch shape presents patch stretching increased characteristics. Finally, the research conclusion first indicates that the thick and thin, sparse and dense staggered landscape structure is the well-functioning basis of ecology species and energy flow, for the overall landscape structure of Yushan National Park. The key issue is the flow of species and energy. Then, the circumlocutory pattern with gather, dispersed relationship and rhythm landscape pattern is the perfect operation mechanism of ecological location and pattern combination, for the landscape ecological characteristic of Yushan National Park. The key issue is the combination of location and pattern. Therefore, the combination framework of species - energy operation basis and location – pattern operation mechanism should be the driving mechanism of landscape pattern and change of Yushan National Park, which is the prospective study result of this research. This research excepted provides the specific environment information for the sustainable management of Yushan National Park, further establishing the sustainable planning framework and spatial analysis techniques for Taiwan Alpine National Park in future.

Keywords: landscape structure, landscape changes, landscape indices

一、前 言

(一) 研究緣起與概念

玉山山脈坡陡流急，蘊藏多變的地形與多樣的生態，是台灣本島的命脈，隨著人類逐漸拓展、蔓延，形成複雜、破碎之森林生態系統，呈現動態、不規則之土地紋理。幸而，玉山國家公園的設立與經營，匡正了土地的發展方向。惟近年隨著全球氣候暖化的趨勢，其環境變遷有加速、漸趨嚴重、失衡的趨勢（李培芬，2008）。

本研究整理玉山國家公園管理處71~99年委託研究報告，計有地球科學24篇（監測4篇）、動物81篇（變遷27篇）、植物45篇（演替2篇）、生態8篇（監測2篇）、人文史蹟18篇（變異2篇）、經營管理84篇（多樣性、永續7篇）及環境監控20篇（動植物4篇）。其中，自然資源研究多未涵蓋全區，且偏重生物資源，動物族群和長期變化研究仍闕如，植物僅玉山生態系較完整，且長期監測少。成立前十年以玉山生態系的生物資源調查最多，第二個十年以經營管理研究最多，然國家公園應持續監測環境狀況與遊憩衝擊，及評估生物多樣性與重要組成，惟此類研究國內尚未所見（林良恭，2005）。因此，本研究意欲藉由玉山國家公園環境狀況與變遷之瞭解，試圖解析其背後的驅動機制，方能提出更合宜的規劃與經營策略。

首先，玉山國家公園環境可視為台灣自然森林之土地使用（land-use）模式，呈現著自然的演化過程，及住民在山區的活動痕跡（Clawson and Stewart, 1965），而影響著生態體系中生物的發展（Moran et al., 2005）。為有效掌握玉山國家公園土地使用變遷及衝擊，須先瞭解其動態與機制（Veldkamp and Verburg, 2004）。然而，影響土地使用變遷的因子眾多，包含自然環境或社會經濟的驅動力（Vesterby and Heimlich, 1991；Houghton, 1994；Verburg et al., 2002），具有多時空尺度之時空特徵（林裕彬等人，2004），及累積性影響，要釐清土地使用變遷的驅動因子並不容易（吳振發、林裕彬，2006），而景觀格局是瞭解土地使用變遷的重要方式（Turner and Gardner, 1991）。

其次，若將玉山國家公園視為一生態系統，傳統生態學以自然均衡觀點，強調其平衡態、穩定性、均質性、確定性及可預測性。然而，生態系統並非「均衡」狀態，強調多尺度上空間格局和生態過程相互作用，及綴塊動態的景觀生態學，為解決實際環境問題的更合理、有效架構（鄔建國，2003），著重於景觀單元間能量與物種的流動，及其空間結構、分佈、功能、與時空之關係（Troll, 1968）。因此，本研究採用可有效描述與量化景觀格局的景觀指數（Forman and Godron, 1986；

Hulshoff, 1995 ; Jenerette and Wu, 2001 ; Tischendorf, 2001) , 來解析玉山國家公園。

本研究認為,玉山國家公園的森林土地使用,與環境的自然演化,交互形成其地表覆蓋(land-cover),即景觀格局,反映著自然生態、人類活動在不同尺度上的作用結果(肖篤寧、李秀珍,1997;邱揚、傅伯杰,2000),若直接解析其景觀格局,應能有效釐清其景觀變遷的驅動機制。即本研究以一種整合性意圖(楊沛儒,2001),以景觀指數分析玉山國家公園景觀格局在時間和空間的結構與量之變化及趨勢,探究其景觀變遷的動因和機制(賴明洲與薛怡珍,2000),並以圖形呈現,明瞭其變遷趨勢(李吳嘉、薛怡珍、賴明洲,2005),如此,方能針對玉山國家公園的生態保護措施,提出直接、有效的改善建議;對其森林土地使用規劃、管理與監測,提出確切、彈性的經營策略。

因此,針對玉山國家公園廣泛、起伏、多變、原始的森林生態環境、氣候變遷、地質環境變動的環境特性,本研究假設其係造成景觀格局與變遷的顯著因子,故採用遙感探測、地理資訊系統與景觀指數的整合性研究方法(Luck and Wu, 2002 ; Fitzsimmons, 2003 ; Cifaldi, Allan, Duh, and Brown, 2004),從玉山國家公園森林植群的歷年分佈狀況,即景觀格局,予以剖析其景觀變遷的驅動機制。其中,遙感探測適用於大面積、長時間的地貌觀測(周天穎、杜昌柏、白金城,1992),地理資訊系統來儲存、套疊、分析、展現園區植被分佈空間資訊,景觀指數則探討景觀組成與排列之變遷(鄭祈全,1999),以瞭解景觀結構變化對生態系統的影響(McGarigal and Mark, 1995),並能有效描述確切影響範圍(Ritters et al., 1995)。

(二) 研究目的

時值環境劇烈變遷、永續概念高漲之際,本研究認為需要瞭解玉山國家公園景觀變遷的驅動機制與意涵,以正確指認其永續狀態與方向,故本研究目的有二:

1. 由景觀指數及歷年變遷,解析玉山國家公園景觀格局。

將玉山國家公園森林植被的歷年分佈狀態,以景觀指數分析其整體景觀、植群與綴塊的景觀格局狀態。

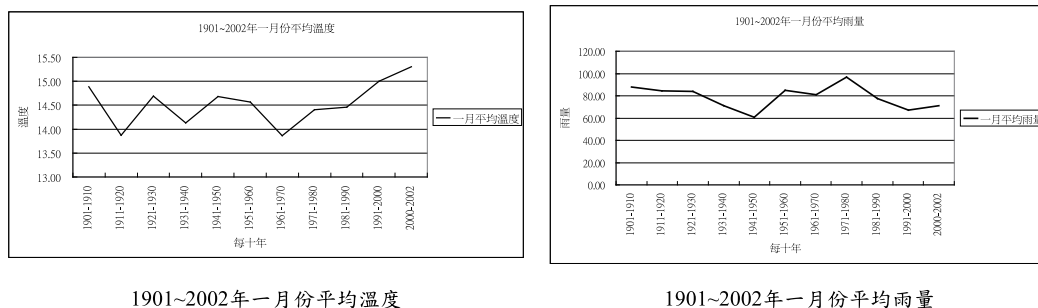
2. 由景觀格局及變遷,剖析玉山國家公園景觀變遷的驅動機制與意涵。

由玉山國家公園整體景觀、植群與綴塊的景觀格局與變遷之解析,詮釋其背後的驅動機制與意涵,以試圖描述其生態環境之演進。

因此，本研究除可瞭解玉山國家公園景觀變遷的驅動機制與意涵，以作為其永續經營的環境資訊，並期建構適合台灣國家公園之永續規劃架構與空間分析技術。

(三) 樣區概述

玉山國家公園屬於較低緯度的台灣高山生態系統，氣候從地球歷史、近兩千年及近兩百年等三種尺度評估，未來變遷朝向逐漸升溫，將造成其植被種類與分佈的變化(周鶴樹，2010)。依1901~2002年的氣候資料(CRU TS 2.1 Global Climate Data, Mitchell and Jones, 2005, http://www.uea.ac.uk/menu/acad_depts/env/cru/)，一月平均溫度自1970年開始上升，1990年已超過過去九十年的平均溫度；一月平均雨量則自1970年開始下降，1990年後趨緩。另依中央氣象局阿里山與玉山觀測站1971~2000年資料，海拔越高，日照時數越長，夏天長於冬天；年均溫多低於10°C，僅河谷與較低高度而升高1~5°C，海拔溫差約6°C左右；雨量介於3000~4000mm，中海拔的夏季雨量較多，高海拔則冬季較多。



1901~2002年一月份平均溫度

1901~2002年一月份平均雨量

圖1 CRU 1901~2002年月平均溫度及月平均雨量分析圖

資料來源：Climatic Research Unit(CRU), University of East Anglia (UEA)，本研究整理。

玉山國家公園地形以玉山山脈與中央山脈的馬博拉斯山至向陽山稜線為主，從西北側玉山主峰的3952m，下降至東方溪谷的300m，3000m以上佔9.89%（本研究稱高海拔），1500~3000m佔71.57%（中高海拔），1500m以下佔18.54%（中海拔）；坡向分佈頗為平均；坡度0~15%區域佔3.33%，15~50%佔40.17%，50~100%佔44.43%，100%以上佔12.07%。地質以板岩、砂岩、頁岩佔78.86%，石灰岩佔19.95%，石英岩、火成岩佔1.19%，顯示岩石節理極為破碎。

玉山國家公園的土地使用計畫，生態保護區佔70.73%，分佈中部、東部；史蹟保存區佔0.27%；特別景觀區佔3.26%，為3500m以上各群峰；遊憩區佔0.16%；一

般管制區佔25.59%，分佈北部、西北部與西南部。土地使用現況依96年度國土利用調查資料（內政部國土測繪中心，2007），森林使用佔86.15%；裸露地、草地佔12.17%；農業使用佔0.39%；其餘佔1.29%。

二、研究方法

（一）景觀生態學理導入

1939年，C. Troll使用航空照片研究東非土地使用，首度結合地理學的空間性、平面性學理及生態學的功能性、垂直性方法（Farina, 1998），稱之為景觀生態學（Landscape Ecology），Forman與Godron（1986）認為是景觀單元間自然與生物的相互關係，即景觀生態學強調景觀格局與生態過程的相互作用，及景觀異質性的成因與結果，探討景觀格局的配置動態（Turner, Gardner, and O'Neill, 2001）。

景觀異質性（Landscape Heterogeneity）是景觀重要屬性與呈現（Ricklefs, 1977；Risser, Karr, and Forman, 1984；Forman and Godron, 1986；Turner, 1987），是各種物理、生物和社會因子相互作用的結果（Huslshoff, 1995；Krummel, Dunn, Eckert, and Ayers, 1993；Turner and Ruscher, 1988；Turner, 1990），對景觀的環境、資源分佈、組合及生態過程有決定性影響（O'Neil et al., 1988），其結構為景觀格局（Landscape Pattern），扮演驅動生態過程的重要角色（Forman and Godron, 1986），可發現潛在有意義的規律性（李哈濱與Franklin, 1988）、確定產生和控制格局的因子和機制（Greig-Smith, 1983），或分析綴塊特徵與動態變化（肖篤寧主編，1991）。

（二）景觀變遷研究剖析

景觀變遷（landscape change）是景觀格局的轉變過程與結果，是構成景觀的各種人文與環境因子，在一定時間內可觀察與測量之變化（楊沛儒，2001），此動態過程取決於景觀內部結構、功能和外來干擾，使景觀元素的特徵與空間結構發生改變，而影響系統內各項生態過程。適度的變化，景觀能回復原來平衡狀態；過大的變化，景觀就脫離平衡而產生不穩定狀態，並朝向新的動態平衡（Forman and Godron, 1986），其狀態取決於生物量多寡、干擾大小及干擾後恢復能力（Forman, 1995）。

研究景觀變遷，必須描述、量化景觀格局（Forman 1995；McGarigal and Marks 1994），由於時空特性，多以“景觀指數”衡量（Turner and Gardener, 1991；McGarigal and McComb, 1994；Turner, Gardner, and O'Neill, 2001），其係高度濃縮

的景觀格局資訊，反映其結構組成或空間配置等特徵的定量指標，可描述、衡量景觀變化 (O'Neill et al., 1988 ; Ritters et al., 1995 ; Lausch and Herzog, 2002) 、檢視景觀破碎化 (Ritters et al., 1995) ，或量化生態過程 (Fahrig and Jonsen, 1998 ; Bender, Tischendorf, and Fahrig, 2000) 。

綜合而言，度量景觀格局與變遷的有效方法 (Forman, 1995) ，係藉由土地使用與生態紋理的週期性遙測資料，以景觀指數分析其景觀格局特徵，再由其歷年特徵 (陳駿賢，2003) ，解析其變遷狀態與趨勢。

(三) 景觀指數應用論述

景觀指數如何選擇，並無明確規則，應根據分析目標、空間特性及生態過程予以審視 (Turner and Gardner, 1991 ; Forman, 1995 ; Gustafson, 1998 ; Farina, 2000 ; Turner, Gardner, and O'Neill, 2001) ，同時能表達於地圖，作為分析結果的討論基礎。然而，什麼可衡量？什麼是生態重要性？存在著模糊界線 (Wu and Hobbs, 2002) 。

Ritters等人 (1995) 曾對55個景觀指標做統計獨立性分析，指出景觀指標具高度相關性，可歸納成優勢度、蔓延度、周長面積比、分維數、平均綴塊周長面積比、正交處理平均綴塊周長面積比和綴塊類型數等六個景觀指標。而本研究分析近十年相關期刊與博士論文143篇，景觀指數的使用如表1。整體而言，使用頻率超過40%的景觀指數依序為：綴塊平均大小、多樣性指數、綴塊數量及均勻度指數。

表1 2000~2010年相關期刊與博士論文使用景觀指數分析表

期	50	44	43	30	27	20	19	23	27	17	22	18	15	15	17	20	13	11	18	11	8	9	6	4	4	4	4	5	4	2	1	1	2	2	2	1	2	2	3	1	1	1	0	0	0
刊	59.52%	52.38%	69.49%	41.19%	35.71%	32.14%	23.81%	22.62%	27.38%	32.14%	20.24%	26.19%	27.12%	17.86%	20.24%	23.81%	15.48%	13.10%	21.43%	13.10%	22.03%	9.52%	10.71%	7.14%	7.14%	4.76%	4.76%	5.95%	4.76%	6.78%	2.38%	1.19%	1.19%	2.38%	2.38%	1.19%	2.38%	3.57%	1.19%	1.19%	1.19%	0.00%	0.00%		
博	43.41	26.28	24.28	28.28	22.18	19.15	16.17	16.14	10.14	15.10	14.15	10.14	13.11	11.11	10.11	14.13	11.11	10.11	10.11	10.11	11.11	9.11	7.11	7.11	7.11	4.11	4.11	4.11	5.11	4.11	3.11	2.11	2.11	1.11	1.11	0.11	0.11	1.11	1.11	1.11	1.11	0.11	0.11		
論	72.88%	69.49%	44.07%	47.46%	40.68%	47.46%	37.29%	30.51%	32.14%	26.22%	20.24%	25.42%	21.43%	28.81%	23.73%	16.95%	23.73%	15.48%	25.42%	16.95%	23.73%	22.03%	18.64%	18.64%	16.95%	11.86%	11.86%	6.78%	8.47%	6.78%	8.47%	8.47%	6.78%	5.08%	3.39%	3.39%	1.69%	1.69%	0.00%	1.69%	1.69%	1.69%	1.69%	0.00%	
綜	66.20%	60.94%	47.63%	41.59%	36.41%	35.63%	35.04%	32.33%	31.33%	26.22%	25.81%	24.27%	23.34%	22.49%	21.98%	20.38%	19.60%	19.26%	19.19%	18.41%	15.78%	14.68%	12.89%	12.05%	8.31%	8.31%	6.62%	6.37%	5.77%	5.43%	4.83%	3.99%	3.73%	2.89%	2.29%	2.04%	2.04%	1.79%	1.44%	1.44%	1.44%	0.85%	0.85%		

資料來源：本研究整理

陳文波、肖篤寧、李秀珍（2002）認為景觀指數的選擇，應考慮三個方向：

1. 指數有否完善的理論基礎、能否描述景觀格局、反應格局與過程的聯繫。
2. 指數除滿足各自要求，還需獨立性，即能從不同面向描述景觀格局。
3. 指數要縱向（相同景觀、不同時期）與橫向（相同時期、不同景觀）比較能力。

此外，景觀格局必須統一解析度，趙文武、傅伯杰、陳利頂（2003）研究發現，為維持分析品質、特徵資訊、分析量勿過大，適宜的解析度為30~40m（楊麗、甄霖、謝高地、陳操操，2007）。

（四）研究方法與架構

本研究以景觀生態學解析玉山國家公園的景觀格局與變遷，先從景觀異質性建立景觀指數分析架構；以歷年遙感探測資料，進行衛星影像分類與判讀，建置其景觀格局的地理資訊系統；再從其綴塊特徵與動態，以景觀指數解析其驅動機制與意涵，進而瞭解玉山國家公園的生態系統運作機制，研究架構詳圖2。

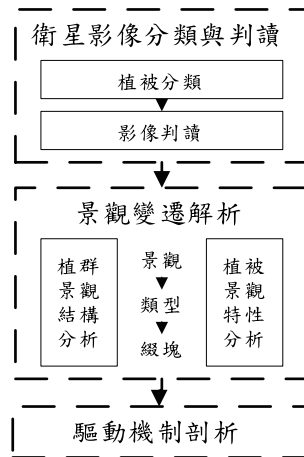


圖2 研究架構圖

1. 衛星影像分類與判讀

遙感探測（Remote Sensing）係以衛星感測器對地表發射電磁波，從反射波中萃取所需資訊（王鑫，1977），本研究採用美國地質署地球資源觀測科學中心（EROS, USGS）Landsat衛星影像資料，其為美國航空太空總署（NASA）太陽同步地球資源衛星，航高705km，軌道傾斜角98.2°，每16天掃描同一地區。L1 & 2波段為2, 3, 4, 6, L4 & 5為1~7, L7為1~8。波段1~5為可見光，波段7為近紅外光，解

析度30m (L1 & 2為60m)；波段6為熱紅外光，解析度120m。

本研究樣區的範圍座標為TWD97 TM2，UL X: 231550, Y: 2608250; LR X: 275610, Y: 2569000，以十年為週期，日期為1972年11月1日 (L1)、1979年2月22日 (L2)、1990年7月6日 (L5)、2000年9月27日 (L7)，及2010年9月27日 (L7)，因週期限制與完全無雲要求，無法精確選擇季節。

本研究以ERDAS Imagine 9.3分類衛星影像，解析度為30m，波段選擇紅光、近紅外光與短波紅外線 (0.61~0.68、0.79~0.89、1.58~1.75 μ m，即波段3、4與5，以植被判別為目的)，將植被分為杉¹、松²、檜³、箭竹⁴、高山芒⁵與闊葉林⁶，再加上溪流與岩石，予以監督式分類 (Supervised Classification)，根據地面真值 (ground truth，林務局第三次森林調查資料，1995)，選取衛星影像之均質樣區為分類模版。

本研究進行監督式分類時，計算均數與共變異矩陣，檢查統計直方圖，分析可能性矩陣 (Contingency Matrix)，經數十次判別與修正，生產者與使用者精確度達70%以上，總體精確度達90%以上，Kappa (資料一致性) 值達90%以上 (Lucas, Frans, and Wel (1994)認為最低標準為70%)，完成分類模版之設定。雖然，分類精確度的高低決定影像分類結果的可靠程度，但目前並沒有統一的分類精確度標準，且項目多，精確度會降低，個別影像需視覺判別予以校正。最後，以最大似法 (Maximum likelihood) 分類、判讀出玉山國家公園森林植被分佈狀況。

1 杉代表冷杉林帶 (蘇鴻傑，1984) 之台灣冷杉 (*Abies kawakamii* (Hayata) Ito)、鐵杉雲杉林帶 (蘇鴻傑，1984) 之台灣鐵杉 (*Tsuga chinensis* (Franch.) Pritz. ex. Diels var. *formosana* (Hayata) Li & Keng) 與台灣雲杉 (*Picea morrissonicola* Hayata) 等較濕冷生長環境之樹種，常由單一樹種形成純林，森林底層多為玉山箭竹、蕨類、蘚苔類，動物可見水鹿、台灣黑熊、長鬃山羊、山椒魚等。

2 松代表鐵杉雲杉林帶之台灣二葉松 (*Pinus taiwanensis* Hay.) 等較乾燥生長環境之樹種，動物可見台灣獼猴、帝雉、白面鼯鼠等。

3 檜代表櫟林帶 (蘇鴻傑，1984) 之紅檜 (*Chamaecyparis formosensis* Matsum.) 等較低海拔針葉樹，動物相類似松植群，惟氣候環境較為濕潤。

4 箭竹代表冷杉林帶玉山箭竹 (*Yushania niitakayamensis* (Hayata) Keng f.)，喜日照強南向坡。

5 高山芒代表鐵杉雲杉林帶高山芒 (*Miscanthus transmorrisonensis* Hayata)，喜東或西向開闊地。

6 闊葉林代表櫟林帶之森氏櫟 (*Cyclobalanopsis morri* (Hayata) Schottky) 等較高海拔闊葉林樹種，及楠櫨林帶 (蘇鴻傑，1984) 大葉楠 (*Machilus japonica* Sieb. & Zucc. var. *kusanoi* (Hayata) Liao) 等較低海拔闊葉林樹種，森林多附生、藤本植物，動物多浣熊、松鼠、台灣獼猴、山羌、穿山甲等。

2. 景觀變遷解析

本研究採美國麻州州立大學自然資源保育系McGarigal教授開發之Fragstats 3.3 景觀格局計算程式 (McGarigal, Cushman, Neel, and Ene, 2002)，根據Dramstad, Olson, and Forman (1996) 的景觀生態規劃原則與建議，本研究先掌握玉山國家公園整體景觀格局，再分別瞭解六種景觀類型 (杉、松、檜、箭竹、高山芒與闊葉林等植群，即森林土地使用類型)，分析中，以整體景觀結構 (景觀、類型尺度) 分析六種植群景觀格局；以植群景觀特性 (類型、綴塊尺度) 分析各植群內部綴塊景觀格局。

本研究的景觀變遷解析上，係根據Dramstad, Olson, and Forman (1996) 的理論，以植被多樣性、植被破碎性、植被網絡與廊道、踏腳石等四項特性，探討其整體景觀結構，而以綴塊尺寸、綴塊數量、綴塊位置、邊緣結構、綴塊形狀等五項特性，探討植群景觀特性，而不特別針對某項景觀指數深入討論。

3. 整體景觀結構分析 (景觀、類型尺度的景觀格局分析)

(1) 植群多樣性

尺度 (Scale) 概念的多種棲地、尺度感知，及集中、相比鄰、散佈等特徵。

a. 綴塊相對豐富度 (Relative Patch Richness, RPR) 呈現多種棲地特徵

景觀豐富度與物種豐富度相關 (McGarigal and McComb, 1994; Peterseil et al., 2004)，對特定生物福祉重要 (Aauri and de Lucio, 2001; Armenteras, Gast, and Villareal, 2003)，豐富度高，生態效益高。

b. Shannon多樣性指數 (Shannon's Diversity Index, SHDI) 呈現多種棲地特徵

多樣性係景觀中各類型綴塊的非均衡分佈狀況 (O'Neill et al., 1988; Ritters et al., 1995; Ricotta and Avena, 2003; Bogaert, Farina, and Ceulemans, 2005)，與生物多樣性為正相關 (傅伯杰與陳利頂, 1996) 多樣性高，生態效益高。

c. Shannon均勻度指數 (Shannon's Evenness Index, SHEI) 呈現多種棲地特徵

景觀均勻度較高，各類型綴塊均勻分佈 (Wickham and Riitters, 1995)，均勻度低，生態效益高。

d. 傳播性指數 (Contagion Index, CONTAG) 呈現尺度感知特徵

破碎、連續棲地可視為綴塊的聚集與連結程度 (McGarigal, Cushman, Neel, and Ene, 2002)，傳播性高，生態效益高。

e. 鄰接性指數 (Contiguity Index, CONTIG) 呈現尺度感知特徵

以綴塊形狀評估其連結性與連續性 (McGarigal and Marks, 1995)，即空間連通程度 (Major, Christie, Gowing, and Ivison, 1999) 或綴塊平均鄰接值 (Mas, Gao, and Pacheco, 2010)，其受尺度影響較小，鄰接性高，生態效益高。

f. 散佈與並列指數 (Interspersion and Juxtaposition Index, IJI) 呈現集中、相比鄰、散佈特徵

棲地的集中、相比鄰、散佈等特性，即綴塊的散佈性 (Crews-Meyer, 2002; McAlpine and Eyre, 2002)，及其與綴塊配置的關係 (Wang et al., 2009)，而非景觀元素 (cell) 鄰接性或聚集性 (McGarigal and Marks, 1995)，並與多樣性較不相關 (Griffith, Martinko, and Price, 2000)，散佈與並列度高，生態效益高。

因此，多樣性景觀生態環境包含精緻與粗糙紋理，較能符合廣泛、彈性的生態效益，其破碎、連續的棲地較適合大範圍移動物種的生存，可形成綴塊間的良好連結，甚至出現優勢綴塊與植群，這種棲地的散佈性及混雜程度，可讓多樣化物種覓得其適宜的生態環境，即多樣性景觀生態環境的生態效益較高。

(2) 植群破碎性

破碎性 (Fragmentation) 概念的內部棲地喪失、不規則碎片等特徵

a. 以核心面積指數 (Core Area Index, CAI) 呈現內部棲地喪失特徵

破碎化是內部物種保育重要課題 (Li, Franklin, Swanson, and Spies, 1993)，核心面積比可平衡面積差及減少形狀影響 (McGarigal and Marks, 1995)，核心比高，生態效益高。

b. 獨立核心區密度 (Disjunct Core Area Density, DCAD) 呈現內部棲地喪失特徵

其次，內部棲地喪失亦表現於核心數量增加，密度低，生態效益高。

c. 形狀指數 (Shape Index, SHAPE) 呈現不規則碎片特徵

形狀越複雜可平衡面積差異 (Batistella, Robeson, and Moran, 2003)，形狀簡單，生態效益高。

d. 聚集指數 (Aggregation Index, AI) 呈現不規則碎片特徵

碎片狀散佈即綴塊的散佈狀況 (Turner and Gardner, 1991; Jaeger, 2000) 或聚集程度 (He, DeZoma, and Mladenoff, 2000; McGarigal, Cushman, Neel, and Ene, 2002)，聚集度高，生態效益高。

因此，破碎性景觀生態環境的綴塊核心數量將增加，綴塊的不規則碎片越小、越不規則、形狀越複雜，或碎片狀散佈，將造成內部棲地的大幅損失，這種棲地的破碎性程度，將影響動物遷移、覓食、植物生產效率等生態機能，或造成內部物種保育的重要問題，即破碎性景觀生態環境的生態效益較低。

(3) 植群網絡與廊道

網絡 (Networks) 與廊道 (Corridors) 概念的連結性與迴路、網絡大小、散佈與連結等特徵。

- a. 連結指數 (Connectance Index, CONNECT) 呈現連結性與迴路特徵
連結性與迴路提供有效的生態運作 (Dramstad, Olson, and Forman, 1996)，影響生物多樣性及其他生態與社會機能 (Forman and Godron, 1986)，連結度高，生態效益高。
- b. 有效網絡尺寸 (Effective Mesh Size, MESH) 呈現網絡大小特徵
廊道網絡尺寸縮減，其物種生存可能性下降 (Dramstad, Olson, and Forman, 1996)，破碎性越高 (Jaeger, Esswein, Schwarz-von Raumer, and Müller, 2001; Saura, 2002)，網絡尺寸大，生態效益高。
- c. 凝聚指數 (Patch Cohesion Index, COHESION) 呈現散佈與連結特徵
網絡、廊道的散佈與連結，可有效提供棲地，以利物種停留、繁殖與生存 (Dramstad, Olson, and Forman, 1996)，凝聚度高，生態效益高。

因此，網絡、廊道的散佈與連結，可藉由帶狀廊道串連點狀棲地，提供更廣泛、有效、多樣的棲地環境網絡，利於物種的停留、繁殖與生存。而廊道網絡尺寸縮減，即破碎性越高，物種生存可能性下降，將影響生物多樣性及其他生態與社會機能。這種棲地的網絡串連程度，也就是綴塊的實質連結性或凝聚能力，可維持整體、有效的生態系統運作，即網絡化景觀生態環境的生態效益較高。

(4) 踏腳石

踏腳石 (Stepping Stone) 概念的距離、連結與喪失等特徵。

- a. 歐幾里德最鄰近距離 (Euclidean Nearest-Neighbor Distance, ENN) 呈現踏腳石距離特徵
踏腳石距離，影響棲地存廢 (Dramstad, Olson, and Forman, 1996)，呈現綴塊距離及面積的影響 (Gustafson and Parker, 1992)，距離小，生態效益高。
- b. 接近指數 (Proximity Index, PROX) 呈現踏腳石連結與喪失特徵
踏腳石可供內部物種跨越 (Dramstad, Olson, and Forman, 1996)；連結喪

失將增加綴塊孤立可能性 (Gustafson and Parker, 1992)，接近度高，生態效益高。

因此，踏腳石的連結，可提供內部物種的跨越，踏腳石的距離，影響著綴塊間物種遷徙或其他生態過程，及棲地的存廢。這種棲地的踏腳石連結程度，可加強整體、有效的生態系統運作，即具踏腳石連結的景觀生態環境之生態效益較高。

4. 植群景觀特性分析（類型、綴塊尺度的景觀特徵分析）

（1）綴塊尺寸

綴塊尺寸 (Patch Size) 概念的邊緣棲地、內部棲地、綴塊大小等特徵。

a. 100 – 核心面積指數 (Core Area Index, CAI) 呈現邊緣棲地特徵

邊緣棲地因綴塊分裂而增加，有助於物種聚集 (Dramstad, Olson, and Forman, 1996)，邊緣面積高，生態效益高。

b. 核心面積指數 (Core Area Index, CAI) 呈現內部棲地特徵

綴塊分裂使內部棲地縮小、內部物種縮減，是生態保育的重點 (Dramstad, Olson, and Forman, 1996)，內部面積高，生態效益高。

c. 綴塊面積指數 (Patch Area, AREA) 呈現綴塊大小特徵

小型綴塊的物種較少、棲地品質較低、生態結構較弱、物種滅絕可能性較高 (Dramstad, Olson, and Forman, 1996)，綴塊面積高，生態效益高。

因此，綴塊因破碎化而分裂，邊緣棲地將增加，適合邊緣、可跨越物種的聚集；內部棲地將縮小，則不適合內部物種的生存；綴塊面積將減小，其生態機能趨弱、物種滅絕可能性增加。這種綴塊的尺寸特性，其增減各有優缺點，惟面積越小，生態機能越弱，即景觀生態環境的綴塊尺寸較大，生態效益較高。

（2）綴塊數量

綴塊數量 (Patch Number) 概念的棲地喪失、集合綴塊等特徵。

a. 綴塊密度 (Patch Density, PD) 呈現棲地喪失特徵

綴塊消失將喪失棲地，使物種、多樣性減少 (Dramstad, Olson, and Forman, 1996)，常量化景觀破碎化 (McGarigal and Marks, 1995；Turner, Gardner, and O'Neill, 2001)，綴塊密度低，生態效益高。

b. 塊狀指數 (Clumpiness Index, CLUMPY) 呈現集合綴塊特徵

相鄰綴塊之聯合功能應較優 (Dramstad, Olson, and Forman, 1996)，團聚性高，生態效益高，CLUMPY係同類綴塊鄰接比與空間隨機分佈期望值的偏差 (McGarigal, Cushman, Neel, and Ene, 2002)。

因此，綴塊數量減少，代表棲地消失，多樣性降低；其次，數量不變，但綴塊團聚性較高，即相鄰同類綴塊之綴塊聯合功能較完備，其生態效益較高，屬於相對比較概念，即景觀生態環境的綴塊數量較大，且較具團聚性，生態效益較高。

(3) 綴塊位置

綴塊位置 (Patch Location) 概念的孤立作用、重新拓殖等特徵。

- a. 歐幾里德最鄰近距離 (Euclidean Nearest-Neighbor Distance, ENN) 呈現孤立作用特徵

孤立綴塊的物種滅絕可能性大 (Dramstad, Olson, and Forman, 1996)，綴塊距離小，生態效益高。

- b. 接近性指數 (Proximity Index, PROX) 呈現重新拓殖特徵

綴塊鄰近之被兼併可能性高 (Dramstad, Olson, and Forman, 1996)，接近性高，生態效益高，PROX係同類型綴塊間鄰近程度 (Gustafson and Parker, 1992)。

因此，孤立綴塊的物種滅絕可能性較大，而鄰近同類型綴塊時，被兼併的可能性較高，一般而言，綴塊距離越小，生態機能越強，即景觀生態環境的綴塊之間距離較小，生態效益較高。

(4) 邊緣結構

邊緣結構 (Edge Structure) 概念的結構多樣性、寬度、型式等特徵。

- a. 形狀指數 (Shape Index, SHAPE) 呈現邊緣結構多樣性特徵

結構多樣性的綴塊邊界可吸引豐富多樣的邊緣物種 (Dramstad, Olson, and Forman, 1996)，綴塊形狀複雜，生態效益高。

- b. 邊緣密度指數 (Edge Density, ED) 呈現邊緣寬度特徵

綴塊邊緣寬度較寬，較能吸引豐富多樣的邊緣物種、較易形成核心區的緩衝帶 (Dramstad, Olson, and Forman, 1996)，邊緣密度小，生態效益高。

- c. 分維指數 (Fractal Dimension Index, FRAC) 呈現邊緣型式特徵

綴塊的自然曲線型邊緣較人工直線型，具複雜且柔軟、物種較能穿越、生態機能等效益 (Dramstad, Olson, and Forman, 1996)，分維數複雜，生態效益高。

因此，綴塊邊緣結構多樣性、較大寬度，可吸引更多豐富的邊緣物種，形成緩衝帶。這種綴塊邊緣結構特性，具有複雜且柔軟、物種較能穿越等特性，可提升生態機能等效益，即景觀生態環境的綴塊邊緣結構較寬、較複雜，生態效益較高。

(5) 綴塊形狀

生態學最理想綴塊形狀 (Ecologically Optimum Patch Shape) 概念。

- a. 相關外切圓指數 (Related Circumscribing Circle, CIRCLE) 呈現形狀特徵
旋繞形綴塊可增加邊緣棲地及綴塊互動，建議圓形核心、曲線形邊緣及樹突狀延伸的生態學最理想綴塊形狀 (Dramstad, Olson, and Forman, 1996)。
CIRCLE係以綴塊與最小外切圓面積比值，描述綴塊伸展程度 (McGarigal and Marks, 1995)，相關外切圓大，生態效益高。

因此，圓形核心、曲線形邊緣及樹突狀延伸的綴塊形狀，是景觀生態學的最理想綴塊形式，為綴塊的伸展程度，可作為森林生物多樣性指標及景觀格局、預測生物多樣性與物種豐富度的描述工具，即景觀生態環境的綴塊形狀結構趨向圓形核心、曲線形邊緣及樹突狀延伸等形式，生態效益較高。

三、研究結果與討論：景觀格局與變遷

(一) 景觀類型變化

本研究先以玉山國家公園前後兩年景觀類型所佔面積 (詳表2)，瞭解其景觀類型之面積變化狀況，整體而言，六種景觀類型所佔比例差異不大，杉面積呈現逐年下降趨勢，檜、箭竹面積緩慢略增。

表2 1972~2010年景觀類型表

	1972	1979	1990	2000	2010
杉	16.02%	10.99%	26.87%	17.21%	14.97%
松	20.46%	26.15%	13.97%	19.45%	19.98%
檜	15.58%	24.48%	17.97%	18.13%	18.62%
箭竹	21.88%	3.73%	1.68%	4.37%	4.49%
高山芒	10.39%	10.42%	12.56%	9.75%	10.02%
闊葉林	7.97%	12.87%	20.28%	27.48%	28.22%
溪流	6.10%	10.22%	5.50%	0.33%	0.34%
岩石	1.49%	1.04%	1.05%	3.17%	3.26%

資料來源：本研究整理

(二) 整體景觀結構分析

1. 植群多樣性 (詳圖3)

多種棲地特徵上，豐富度無變化，則植群物種處於平衡狀態；多樣性降幅趨緩，則植群不均衡面積比例逐漸穩定；均勻度降低，則各植群分佈不均勻，即出現優勢植群。因此，玉山國家公園整體景觀結構的多樣性評估，整體植群物種不變，但所佔比例略改變，分佈不均勻，且均勻度降低趨勢大於多樣性降低趨勢。

尺度感知特徵上，傳播性不高，則植群的聚集、連結度（景觀尺度的鄰接

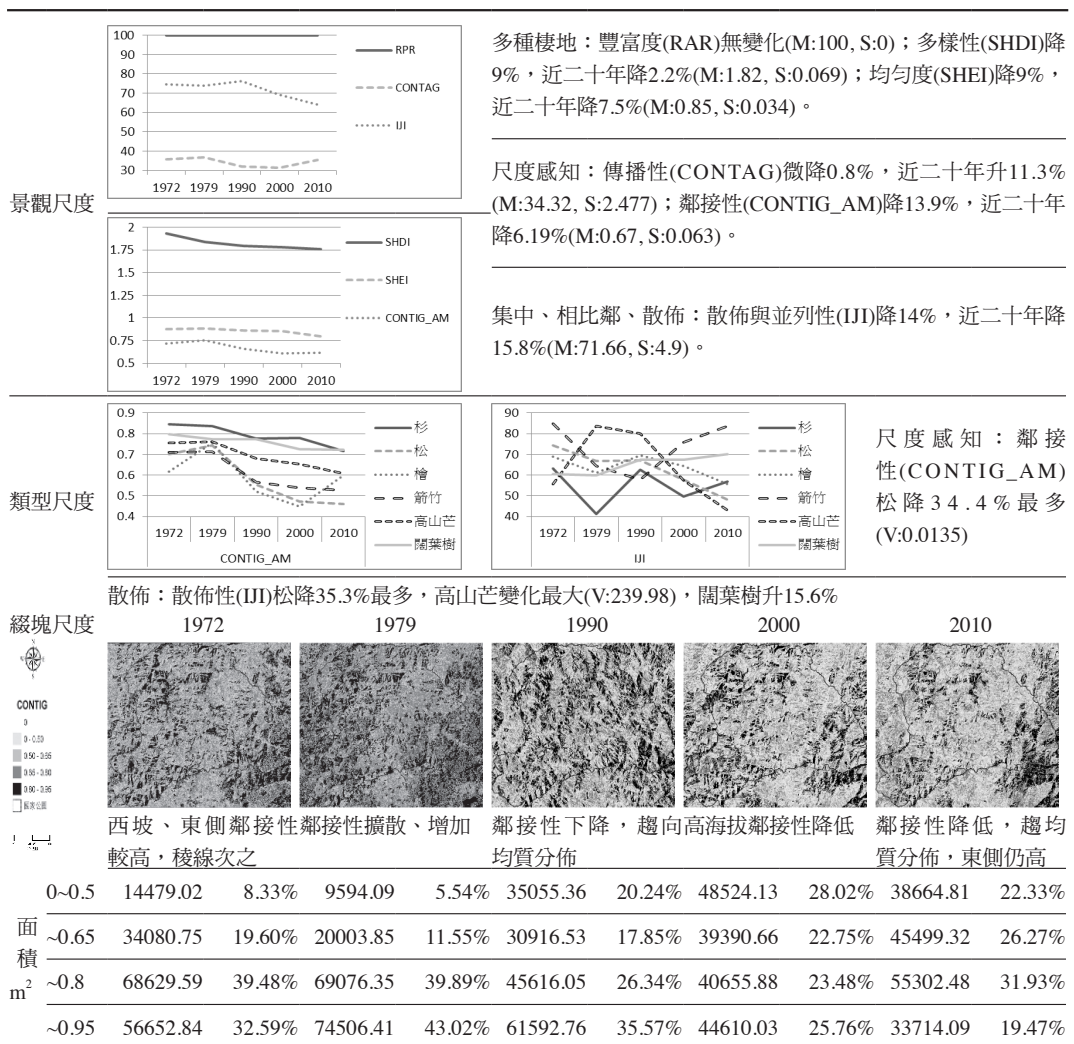


圖3 整體景觀結構—植群多樣性分析圖
(備註：M是平均值，S是標準差，V是變異數)

性)較差,松降最低(低於中間值0.5),鄰接性高值面積(≥ 0.8)降68.1%,低值(< 0.5)升62.6%,東側溪谷變化最小,則植群的連通程度持續下降。因此,玉山國家公園整體景觀結構的尺度感知評估,整體植群聚集度不高,然綴塊形狀改變(如蔓延型趨向幾何型),致使連通程度持續下降,中高海拔區域及松植群是較明顯區域。

集中、相比鄰、散佈特徵上,散佈與並列性逐漸下降,高山芒降至最低,松其次(低於中間值50),為最分散;箭竹升最高,闊葉林其次(高於70),為最均勻,則植群逐漸分散、不均勻。因此,玉山國家公園整體景觀結構的集中、相比鄰、散佈評估,整體植群逐漸分散、分佈不均,中高海拔區域及松植群的影響較大。

綜合而言,玉山國家公園整體景觀結構的植群多樣性,均勻度降低,各植群較不均勻分佈,多種棲地特徵較顯著,符合廣泛的生態效益。然而,整體植群的聚集、連結、連續程度降低,將降低多樣化效益及增加均勻破碎化危機,使物種移動更為困難,中高海拔區域及松植群較為顯著。

2. 植群破碎性(詳圖4)

內部棲地喪失特徵上,綴塊核心面積比逐漸下降,高值面積($\geq 65\%$)降114.5%,低值($< 15\%$)升14.3%,則整體植群的內部棲地減少,中高海拔區域較明顯;綴塊獨立核心密度緩降,箭竹、高山芒降最多,檜、闊葉林升最多。因此,玉山國家公園整體景觀結構的內部棲地喪失評估,整體植群因破碎化而變小或變崎嶇、狹長,致使內部棲地變小,中高海拔植群尤為明顯。

不規則碎片特徵上,形狀指數高值面積(≥ 15)升237.4%,低值(< 2)降37.6%,則整體植群形狀的不規則化,高海拔以下區域較明顯;綴塊聚集度逐漸分散,松最分散,杉、闊葉林則最不分散。因此,玉山國家公園整體景觀結構的不規則碎片評估,整體植被綴塊形狀越不規則,高海拔以下區域較明顯,而植群聚集度變化不大。

綜合而言,玉山國家公園整體景觀結構的植群破碎性,綴塊內部棲地持續減少、形狀越不規則,將影響動物遷移、覓食(Buechner, 1989)、植物生產效率(Hardt and Forman, 1989)等生態機能,中高海拔是須關注區域,而高海拔區域因植群較簡單,中海拔區域因植群極複雜,反而沒有顯著影響其植群生態。

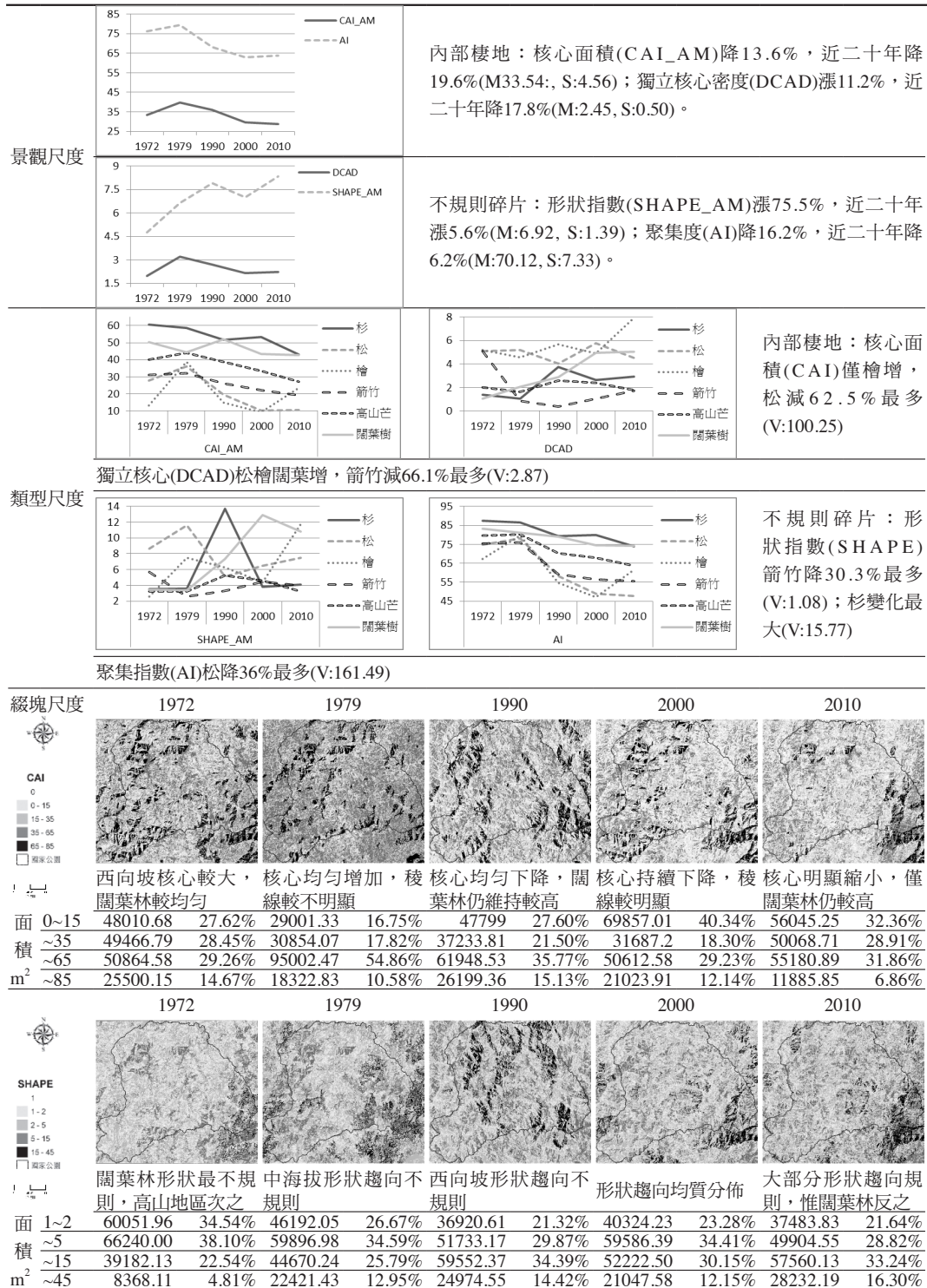


圖4 整體景觀結構—植群破碎性分析圖

(備註：M是平均值，S是標準差，V是變異數)

3. 植群網絡與廊道 (詳圖5)

網絡連接性與迴路特徵上，綴塊連接性很低。因此，玉山國家公園整體景觀結構的綴塊連接性與迴路評估，植群連接性低，不適合跨越能力低的物種生存，尤其中小型動物容易被侷限於其棲地，形成生態孤島。

網絡大小特徵上，綴塊有效網絡尺寸雖漸增，實則各植群皆漸減，僅闊葉林攀升，且只有檜與闊葉林的綴塊大於100公頃，餘皆小於15公頃。因此，玉山國家公園整體景觀結構的網絡大小評估，中海拔植群生態有所助益，高海拔植群持續下降，應與氣候暖化有關，中高海拔植群則變動幅度較大。

散佈與連接特徵上，綴塊凝聚度甚高，波動甚小。因此，玉山國家公園整體景觀結構的綴塊散佈與連接評估，各植群綴塊雖有間隔，但距離不遠，對中海拔植群無甚影響，對高海拔影響較大，綴塊凝聚程度高，其生態機能較佳。

綜合而言，玉山國家公園整體景觀結構的植群網絡與廊道，植群連結性低，故生態效益的關鍵在於物種的跨越能力。其次，綴塊的高凝聚能力，可促使重新連結，中高海拔植群較複雜，綴塊持續地破碎與聚合。

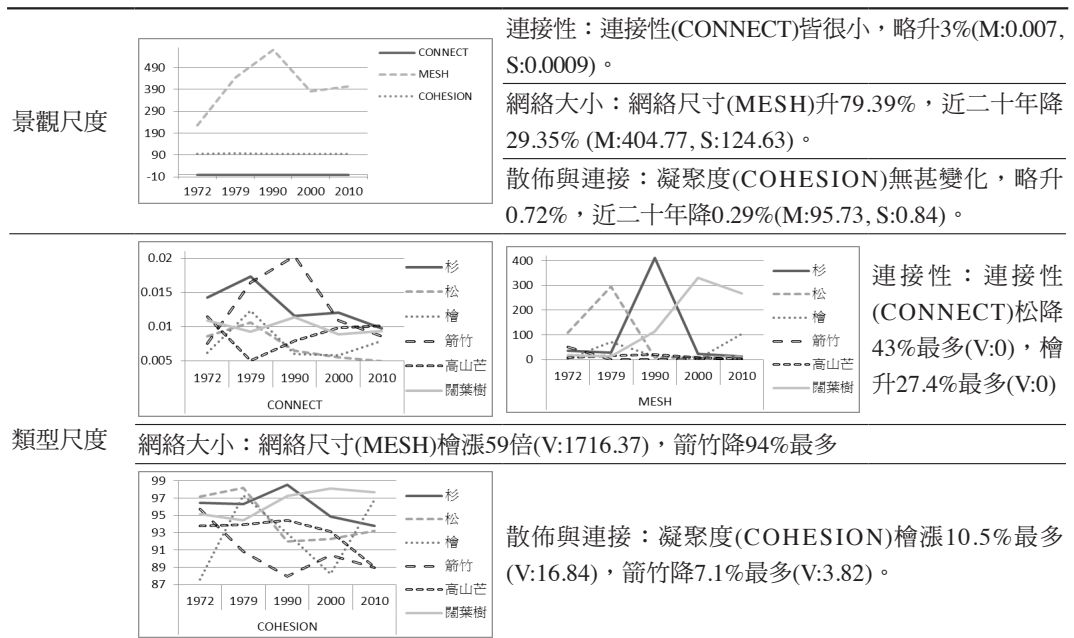


圖5 整體景觀結構—植群網絡與廊道分析圖

(備註：M是平均值，S是標準差，V是變異數)

4. 踏腳石 (詳圖6)

踏腳石距離特徵上，同類綴塊距離趨近65m (兩分離綴塊之核心距離)，最近距離高值面積 (>300m) 1.47%降至0.26%，低值 (<70m) 26.61%升至91.96%。因此，玉山國家公園整體景觀結構的踏腳石距離評估，同類綴塊距離縮減，物種跨越可能性將升高，惟須注意綴塊距離及面積的相互影響 (Gustafson and Parker, 1992)。

踏腳石連接與喪失特徵上，接近性漸增，可增加內部物種跨越的可能性 (傅伯杰與陳利頂，1996)，接近性高值面積 (≥ 2000) 漲19倍，低值 (<10) 降44.7%，中海拔區域增加較明顯，其次為中高海拔區域。因此，玉山國家公園整體景觀結構的踏腳石連接與喪失評估，中海拔植群重新連結可能性較高，而高海拔相對較低。

綜合而言，玉山國家公園整體景觀結構的植群踏腳石，距離縮減，接近性漸增，生態機能較佳。然若綴塊距離持續趨近最小距離，其生態效益將難以評估，中高海拔以下植群因物種多樣且競爭激烈，需特別注意。

(二) 植群景觀特性分析

1. 綴塊尺寸 (詳圖7)

邊緣棲地特徵上，邊緣棲地比例緩升，邊緣棲地面積高值 ($\geq 75\%$) 升19.4%，低值 (<30%) 降84.7%，中高海拔植群較明顯。因此，玉山國家公園植群景觀特性的邊緣棲地評估，綴塊邊緣比例增加，可視為破碎化作用速率，對中高海拔植群影響較大。

內部棲地特徵上，綴塊內部棲地變小，中高海拔區域尤為明顯，松甚至降至10%，杉與闊葉林則維持40%以上。

綴塊大小特徵上，綴塊面積雖增加，實則僅檜、闊葉林遞增，綴塊面積高值 ($\geq 2000\text{ha}$) 漲67.7%，低值 (<10ha) 降10.1%，且中海拔區域的作用較強。因此，玉山國家公園植群景觀特性的綴塊大小評估，植群、綴塊破碎、縮小、分散，只要物種、環境、刺激等條件成熟，且海拔越低，重新連結的機率越高。

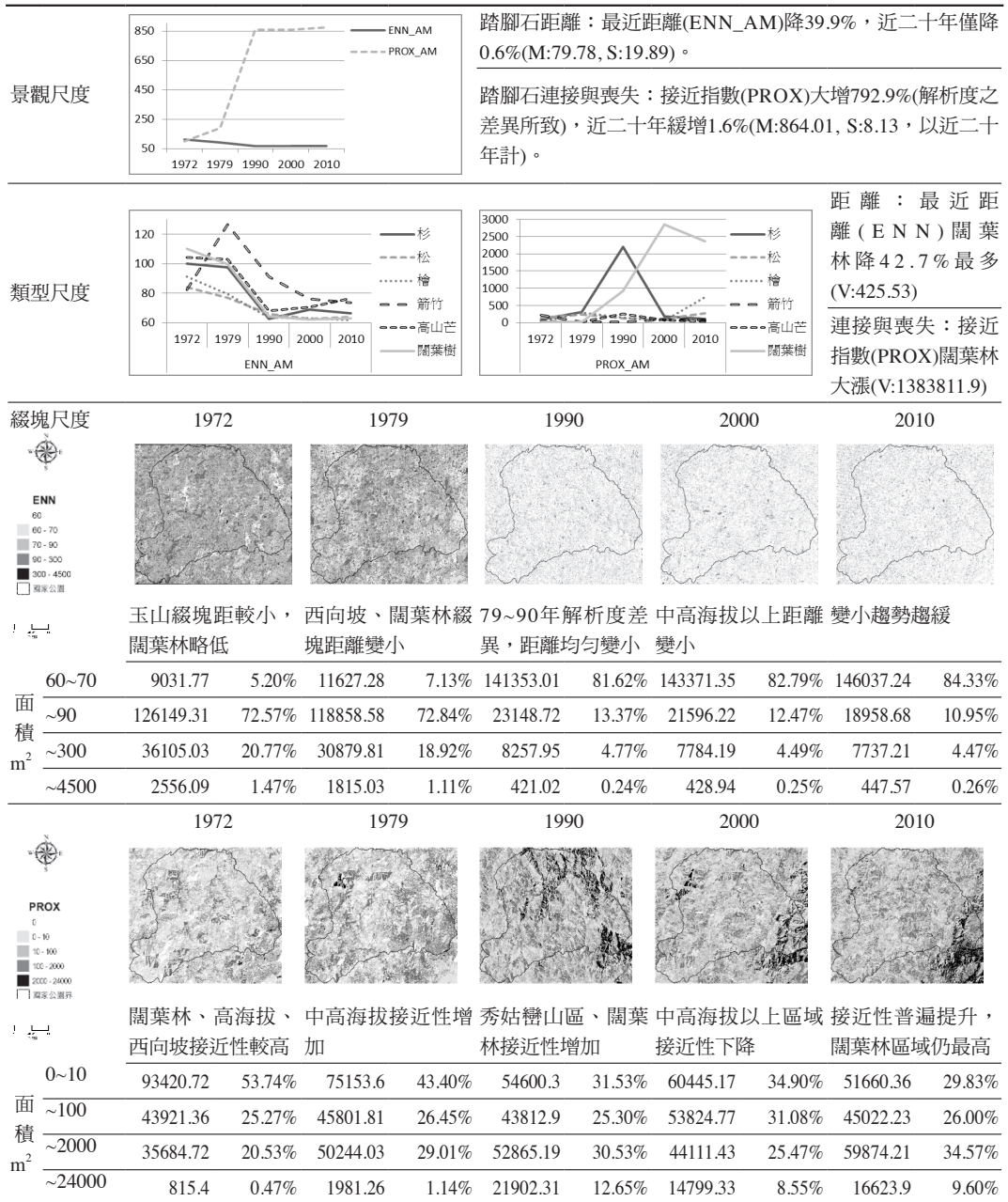


圖6 整體景觀結構—植群踏腳石分析圖
(備註：M是平均值，S是標準差，V是變異數)

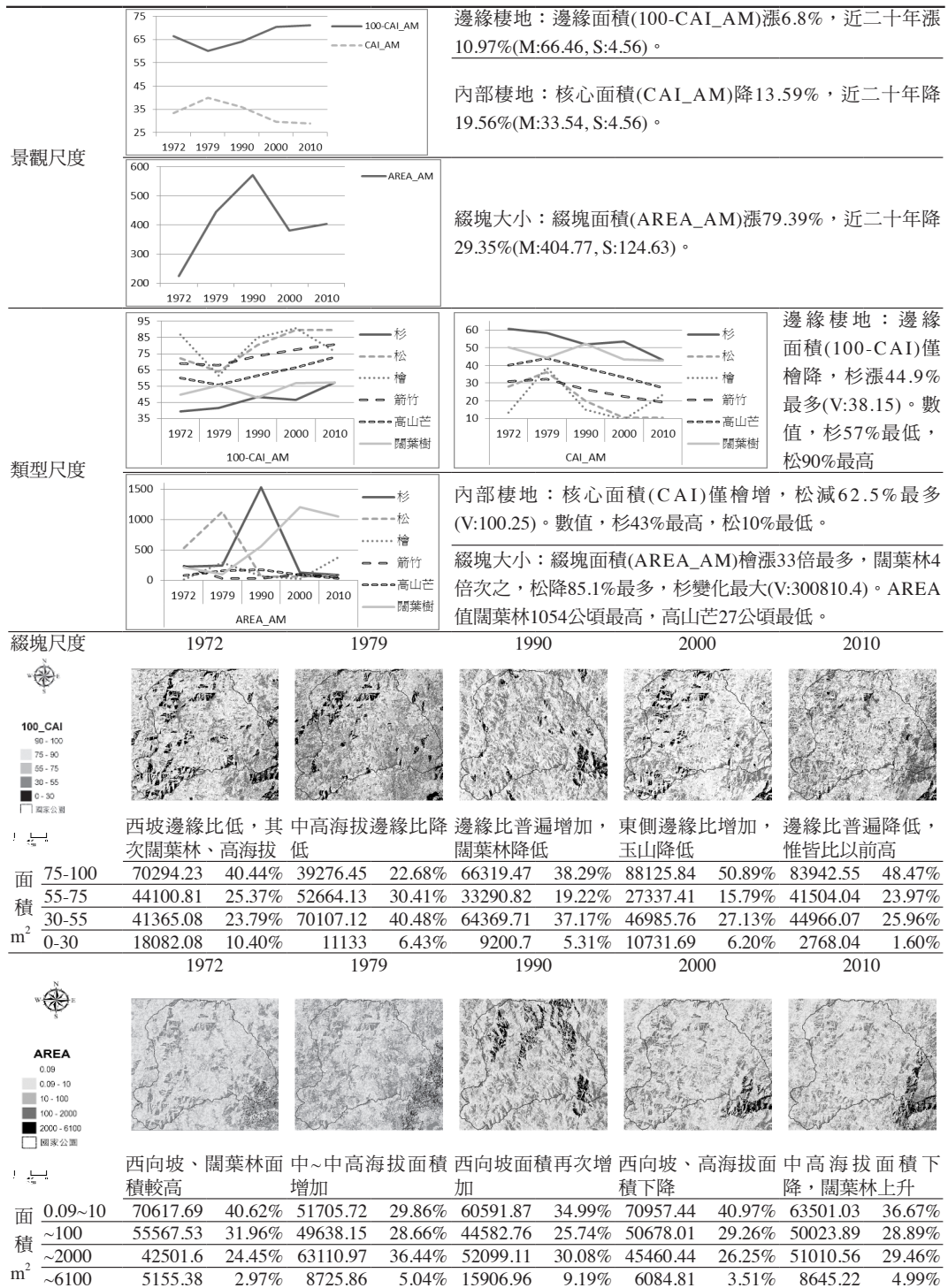


圖7 植群景觀特性—綴塊尺寸分析圖
 (備註：M是平均值，S是標準差，V是變異數)

綜合而言，玉山國家公園植群景觀特性的綴塊尺寸，邊緣棲地比例漸增，內部棲地比例漸減，中高海拔植群較明顯，綴塊形狀趨不規則、變窄、面積變小，核心棲地比例減小，生態機能逐漸下降，而綴塊的重新連結機率，海拔越低，機率越高。

2. 綴塊數量（詳圖8）

綴塊密度特徵上，密度緩升。因此，玉山國家公園植群景觀特性的綴塊密度評估，中高海拔植群綴塊密度增加較為明顯。

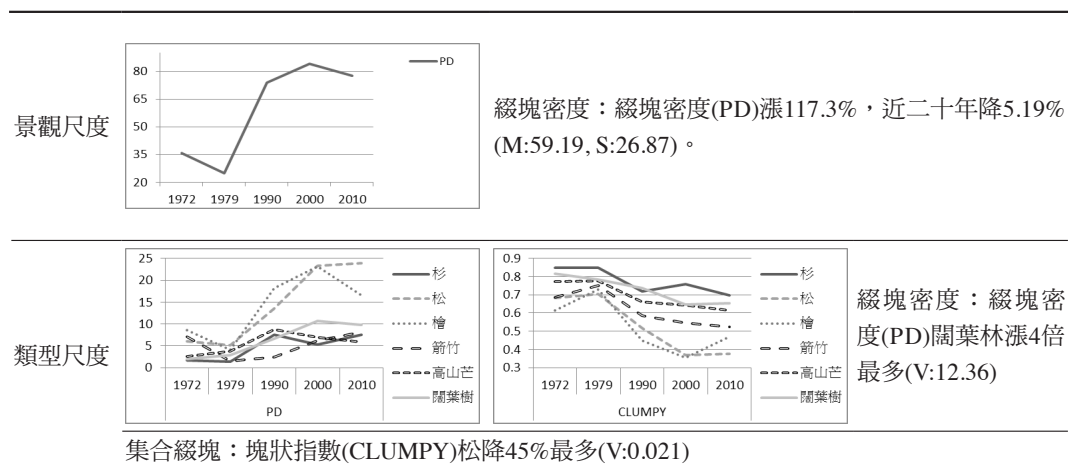


圖8 植群景觀特性—綴塊數量分析圖

（備註：M是平均值，S是標準差，V是變異數）

集合綴塊特徵上，塊狀指數緩降，中高海拔植群逐漸隨機分佈。因此，玉山國家公園植群景觀特性的集合綴塊評估，綴塊逐漸由類型聚集，朝向隨機分佈、分散。

綜合而言，玉山國家公園植群景觀特性的綴塊數量，綴塊密度漸增，顯示近年來氣候暖化等作用對高、中海拔植群產生較大影響，代表棲地的破碎化（McGarigal and Marks, 1995），會引起物種、多樣性的減少，而至棲地喪失（Dramstad, Olson, and Forman, 1996）。而綴塊逐漸分離、分散，中高海拔植群趨於隨機分佈，會增加棲地喪失的可能性與速度，近二十年綴塊密度飆高的中高海拔松、檜須特別注意。

3. 綴塊位置（詳圖6）

綴塊孤立作用特徵上，綴塊距離逐漸降低，孤立效應逐漸降低，物種滅絕可能性降低，物種跨越可能性增加。

重新拓殖特徵上，綴塊重新拓殖性（接近性）漸增，中海拔植群可能性最高，中高海拔的檜及西向坡次之，高海拔植群則相對較低。

綜合而言，玉山國家公園植群景觀特性的綴塊位置，綴塊孤立作用效應逐漸降低，有助於物種的散播，重新拓殖性增加，有助於其重新連結，物種滅絕性降低。目前綴塊距離已趨於穩定，綴塊接近性則尚未達到較穩定狀況，顯示綴塊已較為破碎、細小（初步破碎化狀態），然尚未破碎分散，趨於均勻化（完全破碎化狀態）。

4. 邊緣結構（詳圖9）

結構多樣性特徵上（詳圖4），綴塊形狀趨於不規則，高海拔以下區域較明顯，其較高的結構多樣性，可吸引較豐富多樣的邊緣物種，使生態效益較高。

邊緣寬度特徵上，綴塊邊緣密度緩升，中高海拔密度最高，是其他的2~4倍。因此，玉山國家公園植群景觀特性的綴塊邊緣寬度評估，邊緣密度漸增，代表綴塊邊緣寬度漸減、綴塊漸小、對核心區的緩衝機能漸弱，其中，中海拔植群的影響較為明顯，而中高海拔植群則早受破碎化作用影響而邊緣密度最高。

邊緣型式特徵上，綴塊分維數持續增加，即綴塊形狀持續趨於複雜化，然介於1.17~1.29，代表綴塊形狀趨近於方形等簡單幾何形。因此，玉山國家公園植群景觀特性的邊緣型式評估，綴塊形狀趨向複雜，複雜程度依海拔高度降低而遞增，即高海拔植群綴塊形狀較簡單，中海拔植群綴塊形狀較複雜，惟其差距並不大，皆偏向簡單幾何形。

綜合而言，玉山國家公園植群景觀特性的邊緣結構，綴塊形狀趨於不規則，綴塊邊緣結構多樣性增加，並隨海拔高度降低而增加，同時伴隨邊緣寬度漸減，中高海拔植群需注意。其次，綴塊形狀持續複雜化，惟其形狀仍趨近於簡單幾何形。

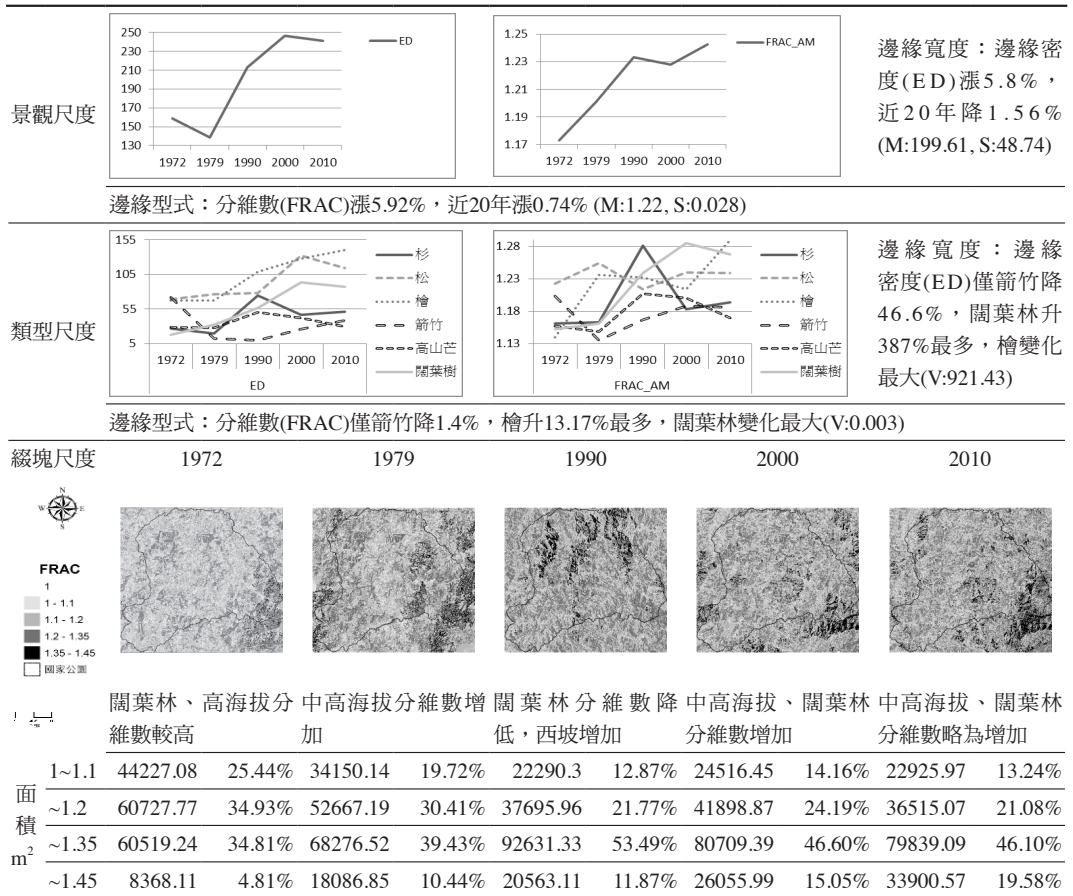


圖9 植群景觀特性—邊緣結構分析圖
(備註：M是平均值，S是標準差，V是變異數)

5. 綴塊形狀 (詳圖10)

綴塊形狀特徵上，相關外切圓係數漸增，檜、闊葉林較顯著，相關外切圓係數高值面積(≥0.85)升164%，低值(<0.65)降35.4%。因此，玉山國家公園植群景觀特性的綴塊形狀評估，綴塊形狀朝狹長、線狀發展，可增加邊緣棲地及綴塊互動，生態效益較高，其中，中海拔較顯著，高海拔則相對穩定。

綜合而言，玉山國家公園植群景觀特性的綴塊形狀，綴塊伸展程度漸增，惟變化幅度不大且近年趨緩，若相關外切圓係數趨近1，綴塊寬度將縮小至一單位，生態機能將大減。

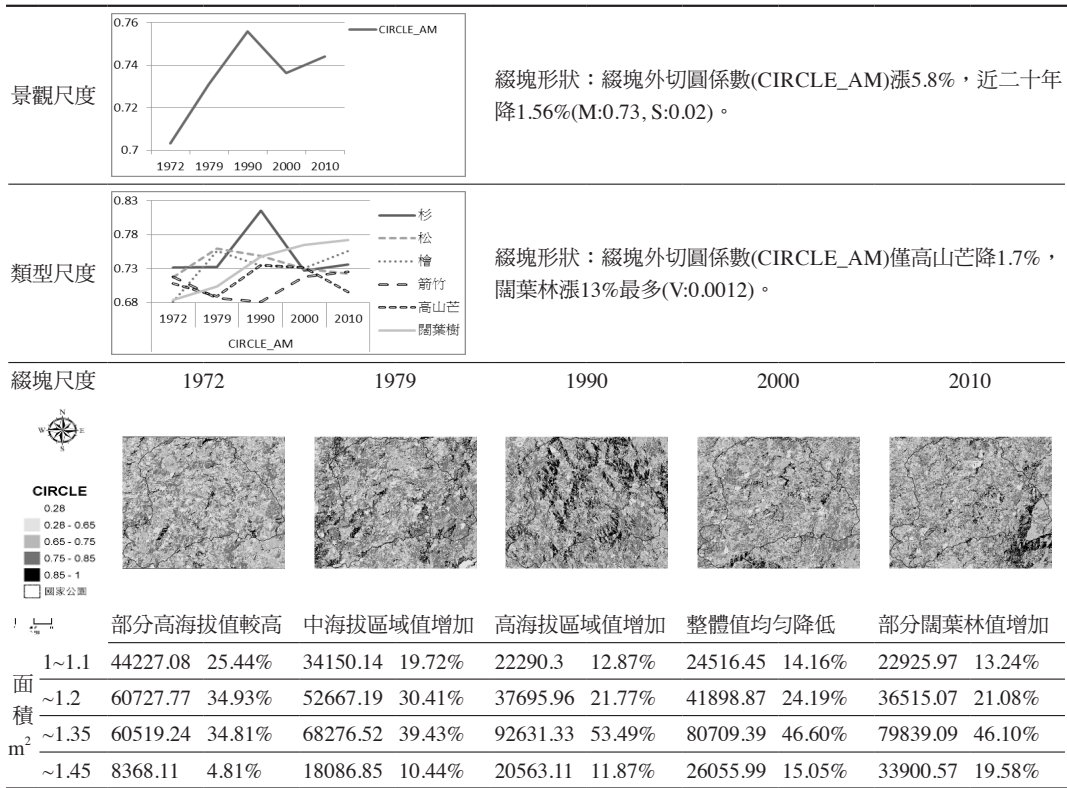


圖10 植群景觀特性—綴塊形狀分析圖
(備註：M是平均值，S是標準差，V是變異數)

四、研究結論與建議：景觀變遷的生態機制

本研究針對玉山國家公園近四十年的森林土地使用紋理變化，即森林景觀格局與變遷，採用景觀指數分析，以整體景觀結構面向，分析杉、松、檜、箭竹、高山芒、闊葉林六種植群的景觀結構，包括：植被多樣性、植被破碎性、植被網絡與廊道、踏腳石等四項植群特性；再以植群景觀特性面向，分析六種植群綴塊的景觀特性，包括：綴塊尺寸、綴塊數量、綴塊位置、邊緣結構、綴塊形狀等五項綴塊特性，而獲致涵括景觀、類型、綴塊三種尺度的玉山國家公園景觀格局與變遷機制與意涵。

因此，玉山國家公園景觀格局與變遷的生態機制之研究結論，本研究以整體景觀結構、植群景觀特性，及六種植群綴塊分別說明。

(一) 整體景觀結構

玉山國家公園植群多樣性的驅動機制可描述為：整體森林生態系統元素與架構沒有變動，數量與分佈則逐漸受氣候暖化、破碎化等影響，如多樣性、均勻度、聚集、連結程度、鄰接性、散佈性等降低，將使生物在景觀類型、綴塊之間移動較為困難，而增加均勻破碎化的危機。其中，高海拔區域因物種單純，植群受影響較小；中高海拔區域因環境多變、植群競爭等因素，影響較大；中海拔區域則因物種極複雜，影響彼此牽制，反而較具彈性。因此，植群多樣性的關鍵在於鄰接性，因為森林植群、綴塊的連結性與連續性，較符合Dramstad, Olson, and Forman (1996) 所言符合廣泛生態效益的精緻與粗糙景觀紋理之植被多樣性特徵，且以綴塊形狀評估，受尺度影響較小。

玉山國家公園植群破碎性的驅動機制可描述為：森林綴塊逐漸變小、內部棲地變小、變崎嶇、狹長，形狀越不規則，逐漸分散，將影響動物遷移、覓食、植物生產效率等生態機能，其中，中高海拔綴塊須特別關注。因此，植群破碎性的關鍵在於綴塊獨立核心密度，其可呈現破碎性的數量特徵，若欲平衡面積差異，則可增加形狀指數之詮釋，以呈現破碎性的型態特徵。

玉山國家公園植群網絡與廊道的驅動機制可描述為：綴塊連接性低，不適合跨越能力低的物種生存，惟綴塊距離不遠，連接與凝聚度隨海拔降低而增加，仍具凝聚與連接的可能性。因此，植群網絡與廊道的關鍵在於凝聚度，可維持整體、有效的生態系統運作，以利物種的停留、繁殖與生存；其次是生物的跨越能力，影響生物多樣性及其他生態機能；最後，植群、綴塊重新連結的關鍵在於植群與環境特性。

玉山國家公園植群踏腳石的驅動機制可描述為，綴塊距離縮減，接近性漸增，有益於物種跨越、能量傳遞與綴塊重新連結。其中，中高海拔以下植群下降較大，重新連結性較高。因此，植群踏腳石的關鍵在於綴塊接近性，可提供內部物種的跨越機會，降低綴塊孤立的可能性。

綜合而言，玉山國家公園整體景觀結構的驅動機制關鍵，在於“紋理”與“網絡”，紋理是精緻與粗糙交錯的紋理多樣性，及獨立綴塊核心密度較低之紋理破碎性；網絡是有效網絡尺寸之綴塊凝聚性，及適當網絡踏腳石之綴塊接近性，組合起來是“粗細交錯、疏密有秩的景觀結構”。

(二) 植群景觀特性

玉山國家公園植被綴塊尺寸的驅動機制可描述為：綴塊因破碎化而變小、崎嶇、狹長，其邊緣棲地增加，內部棲地減小，將逐漸影響整體植群生態及各植群內部生態系統的運作與功能，而綴塊的重新連結機率，海拔越低，機率越高。因此，植被綴塊尺寸的關鍵在於綴塊面積，面積變小，將造成物種減少、棲地品質降低、生態結構減弱、物種滅絕性升高等影響，惟若面積縮小趨勢持續，將影響植群內部生態系統之運作與功能，中高海拔區域較為顯著。

玉山國家公園植被綴塊數量的驅動機制可描述為：植被綴塊逐漸破碎、分裂，密度增加，中高海拔區域較為明顯，而綴塊分佈由類型聚集，朝向隨機分佈、分散。因此，植被綴塊數量的關鍵在於團聚性，其代表同種綴塊的相鄰機率，若團聚性降低，則分離度提高，生態機能將降低，會增加棲地喪失的可能性與速度，及影響其內部生態系統之運作與功能。

玉山國家公園植被綴塊位置的驅動機制可描述為：同類綴塊距離縮減，接近性增加，增加內部物種跨越的可能性，惟若綴塊面積亦縮小，綴塊距離縮減帶來的生態效益將逐漸降低。其次，過去中高海拔區域受破碎化影響較大，惟近年則是中海拔區域降幅較高，代表海拔高度成為綴塊距離縮減的主要因素之一。因此，植被綴塊位置的關鍵在於接近性，接近性增加，綴塊之間距離降低，孤立作用降低，物種滅絕性降低，物種跨越性升高，重新拓殖性增加，其生態效益就增加。

玉山國家公園植被綴塊邊緣結構的驅動機制可描述為：綴塊形狀持續不規則，綴塊邊緣密度增加，將使核心區的緩衝機能變弱、邊緣物種的吸引力變弱。因此，植被綴塊邊緣結構的關鍵在於綴塊邊緣密度，密度過高，將影響綴塊形狀的效益；其次是分維數，即綴塊形狀的複雜性，適當的複雜性、多樣性，較具生態效益。

玉山國家公園植被綴塊形狀的驅動機制可描述為：綴塊形狀向線狀伸展。因此，植被綴塊形狀的關鍵在於圓形核心、曲線形邊緣及樹突狀延伸的組合，首先是圓形核心，面積宜大，以提供較多內部物種穩定棲息；其次是曲線形邊緣，以提供較寬、較互動的邊緣物種跨越、活動區域；而樹突狀延伸則增加內部或邊緣物種的移動可能與機會。

綜合而言，玉山國家公園植被景觀特性的驅動機制關鍵，在於“綴塊”與“分佈”，綴塊是較大尺寸的綴塊面積、較大分維數的綴塊邊緣，及類似生態學最理想綴塊形狀的綴塊形狀；分佈是較高團聚性的綴塊分佈數量，及較高接近性的綴塊分佈位置。組合起來是“婉轉有形、聚散合宜的格局韻律”。

(三) 植群綴塊特性

1. 杉

高海拔的杉植群，其綴塊聚集度最高，塊狀指數降最少。整體而言，杉植群的景觀變遷不大，其驅動機制變化不大。

2. 松

中高海拔的松植群，其綴塊連通度持續下降，連接性最低，塊狀指數大降，距離分散，核心面積比低，邊緣面積比最高，邊緣密度最高，綴塊密度大升。整體而言，松植群的景觀變遷最大，其驅動機制大幅改變，須密切關注其生態變化。

3. 檜

中高海拔的檜植群，其綴塊獨立核心密度較高，密度大升，形狀較複雜、不規則，分維數升最多，邊緣密度最高，有效網絡尺寸緩升，面積遞增且面積較大，同類綴塊距離最近，接近性近年攀升，塊狀指數大降，邊緣面積比最高，相關外切圓係數增加較顯著。整體而言，檜植群的景觀變遷亦相當大，且其驅動機制極為複雜，須持續關注其生態變化。

4. 箭竹

高海拔的箭竹植群，其綴塊最聚集，同類綴塊距離較遠，凝聚度下降最多，獨立核心密度較低。整體而言，箭竹植群的景觀變遷不大，其驅動機制變化甚小。

5. 高山芒

高海拔的高山芒植群，其綴塊最分散，獨立核心密度較低，同類綴塊距離較遠，密度漲幅較高，近年破碎分裂速率較高。整體而言，高山芒植群的景觀變遷不大，因為其是森林火災後先驅物種，環境變遷就會被取代。

6. 闊葉林

中海拔的闊葉林植群，其綴塊最聚集，同類綴塊距離降幅最大，接近性近年攀升，獨立核心密度較高，綴塊密度漲幅較高，形狀較複雜，趨於不規則，有效網絡尺寸增加，綴塊面積遞增且面積大，綴塊相關外切圓係數增加顯著。整體而言，闊葉林植群的景觀變遷較大，其驅動機制變化較大。

(四) 整體研究結論

本研究藉由判讀、分析玉山國家公園近四十年的森林土地使用紋理變化，剖析其森林景觀格局與變遷所蘊含的驅動機制與意涵，整體研究結論表明，玉山國家公園整體景觀結構上，對於其複雜、多樣、彈性、動態平衡的森林景觀、植群生態系統而言，“粗細交錯、疏密有秩的景觀結構”是良好的生態物種與能量流動之生態機制運作基礎，“物種與能量的流動”為運作關鍵，並須注意玉山國家公園森林、植群生態系統的架構性與聯繫性。

玉山國家公園植群景觀特性上，對於其多樣、互動、循環、動態平衡的森林植群、綴塊生態系統而言，“婉轉有形、聚散合宜的格局韻律”是健全的生態位置與型態組合之生態機制運作基礎，“位置與型態的組合”為運作關鍵，並須注意玉山國家公園植群、綴塊生態系統的區位性與彈性。

因此，本研究經由解析玉山國家公園森林景觀格局及變遷，瞭解其所蘊含的驅動機制與意涵，及其植被分佈所呈現的生態意義，而較實質、深入瞭解玉山國家公園森林植被的生態系統運作架構。這種物種與能量運作基礎，及位置與型態操作機制的組合架構，即玉山國家公園景觀變遷的驅動機制之雛形，也就達成本研究所設定之目的。本研究除期望將本研究成果提供作為玉山國家公園永續經營的具體環境資訊，並進一步將研究模式修正為適合台灣高山國家公園之永續規劃架構與空間分析技術。

(五) 後續研究建議

本研究係景觀生態學理的景觀格局與變遷分析，於實際森林生態環境操作的先驅型驗證研究，藉由剖析玉山國家公園的森林景觀格局與變遷，瞭解其驅動機制與蘊涵的生態意義。過程中，若干議題可以作為後續深入研究的範疇。諸如：衛星影像部分，上午斜照陽光對於山陽山陰部分的衛星影像判讀差異；景觀生態規劃原則部分，Dramstad, Olson, and Forman (1996) 的景觀生態規劃原則之理論與實務驗證；景觀指數部分，指數對於規劃原則的詮釋性之檢驗，不同植群的指數標準值差異等部分，皆須進一步予以學理與實驗的驗證。

最後，本研究係研究者以景觀生態理論與技術，解析台灣高山型國家公園永續發展狀況的序列研究之二，以景觀格局與變遷分析，瞭解植被生態運作機制。後續研究將嘗試由生態機制導入景觀生態模擬，以測試景觀生態規劃與預測的可能性，及景觀格局與變遷分析作為永續規劃分析工具的可行性等延伸性發展面向。

參考文獻

- 內政部國土測繪中心，2007，96年度國土利用調查資料，台北：內政部。
- 王鑫，1977，遙測學，台北：大中國出版社。
- 吳振發、林裕彬，2006，汐止市土地利用時空間變遷模式，都市與計畫，第33卷，第3期，頁231-259。
- 李吳嘉、薛怡珍、賴明洲，2005，台灣地區景觀變遷研究發展現況與進展，景觀論壇—永續景觀論文集：中華民國景觀學會，頁47-76。
- 李哈濱、Franklin，1988，景觀生態學—生態學領域裏的新概念構架，生態學進展，第5卷，第1期，頁23-33。
- 李培芬，2008，氣候變遷對生態的衝擊，科學發展，第424期，頁34-43。
- 肖篤寧、李秀珍，1997，當代景觀生態學的進展和展望，地理科學，第17卷，第4期，頁356-363。
- 肖篤寧主編，1991，景觀生態學理論、方法及應用，北京：中國林業出版社。
- 周天穎、杜昌柏、白金城，1992，地理資訊系統及遙測技術應用於空間分析之研究，遙感探測，第17期，頁50-67。
- 周鶴樹，2010，從景觀生態格局與變遷探索台灣國家公園的永續規劃—以玉山國家公園為例，中原大學設計博士論文。
- 林良恭，2005，玉山國家公園玉山生態系結構功能之整合評析研究，南投：內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 林務局，1995，第三次台灣全島森林資源及土地利用調查計畫成果報告，台北：林務局。
- 林裕彬、吳振發、鄧東坡，2004，景觀生態面指數分析汐止地區1990~2001年土地利用時空間鑲對特徵，都市與計畫，第31卷，第3期，頁195-223。
- 邱揚、傅伯杰，2000，土地持續利用評價的景觀生態學基礎，資源科學，第22卷，第6期，頁1-8。
- 陳文波、肖篤寧、李秀珍，2002，景觀指數分類、應用及構建研究，應用生態學報，第13卷，第1期，頁121-125。
- 陳駿賢，2003，遙測及景觀方析技術於崩場地判釋變化之研究，逢甲大學土地管理所碩士論文。
- 傅伯杰、陳利頂，1996，景觀多樣性的類型及其生態意義，地理學報，第51卷，第5期，頁454-462。

- 楊沛儒，2001，地景生態城市規劃 -- 基隆河流域 1980~2000 的都市發展、地景變遷及水文效應，國立台灣大學建築與城鄉研究所博士論文。
- 楊麗、甄霖、謝高地、陳操操，2007，涇河流域景觀指數的粒度效應分析，資源科學，第 29 卷，第 2 期，頁 183-187。
- 鄔建國，2003，景觀生態學：格局、過程、尺度與等級，台北：五南出版社。
- 趙文武、傅伯杰、陳利頂，2003，景觀指數的粒度變化效應，第四紀研究，第 23 卷，第 3 期，頁 326-333。
- 鄭祈全，1999，森林地景變遷之監測研究，台灣林業科學，第 14 卷，第 4 期，頁 493-507。
- 賴明洲、薛怡珍，2000，綠地系統之生態綠化，第三屆造園景觀與環境規劃設計成果研討會論文集，中華民國造園學會、國立中興大學園藝學系，頁 473-486。
- 蘇鴻傑，1984，臺灣天然林氣候與植群型之研究（二）山地植群帶與溫度梯度之關係。中華林學季刊，第 17 卷，第 4 期，頁 57-73。
- Armenteras, D., Gast, F., and Villareal, H., 2003, Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia, *Biological Conservation*, 113, pp.245-256.
- Atauri, J. A. and de Lucio, J. V., 2001, The role of landscape structure in species richness distribution of birds, amphibians, reptiles and lepidopterans in Mediterranean landscapes, *Landscape Ecology*, 16, pp.147-159.
- Batistella, M., Robeson, S., and Moran, E., 2003, Settlement design, forest fragmentation, and landscape change in rondonia, amazonia, *Photogrammetric Engineering Remote Sensing*, 69, pp.805-812.
- Bender, D. J., Tischendorf, L., and Fahrig, L., 2003, Using patch isolation metrics to predict animal movement in binary landscapes, *Landscape Ecology*, 18, pp.17-39.
- Bogaert, J., Farina, A., and Ceulemans, R., 2005, Entropy increase of fragmented habitats: a sign of human impact?, *Ecological Indicators*, 5, pp.207-212.
- Buechner M., 1989, Are small-scale landscape features important factors for field studies of small mammal dispersal sinks?, *Landscape Ecology*, 2, pp.191-199.
- Cifaldi, R., Allan, J. D., Duh, J. D., and Brown, D. G., 2004, Spatial patterns in land cover of exurbanizing watersheds in southeastern Michigan, *Landscape and Urban Planning*, 66, pp.107-123.

- Clawson, M. and Stewart, C. L., 1965, Land use information. A critical survey of U.S. statistics including possibilities for greater uniformity, Baltimore, Md., The Johns Hopkins Press for Resources for the Future, Inc., 402 p.
- Crews-Meyer, K., 2002, Characterizing landscape dynamism using paneled-pattern metrics, *Photogrammetric Engineering Remote Sensing*, 68, pp.1031-1040.
- Dramstad, W., Olson, J. and Forman, R., 1996, *Landscape ecology principles in landscape architecture and land-use planning*, Washington, DC, Island Press.
- Fahrig, L., and Jonsen, I., 1998, Effect of habitat patch characteristics on abundance and diversity of insects in an agricultural landscape, *Ecosystems*, 1, pp.197-205.
- Farina, A., 1998, *The principle and application of landscape ecology*, London: Chapman and Hall.
- Farina, A., 2000, *Landscape Ecology in Action*, The Netherlands: Kluwer Academic Publisher.
- Fitzsimmons, M., 2003, Effects of deforestation and reforestation on landscape spatial structure in boreal Saskatchewan, Canada, *Forest Ecology and Management*, 174, pp.577-592.
- Forman, R. T. T. and Godron, M., 1986, *Landscape ecology*, New York: John Wiley and Sons.
- Forman, R. T. T., 1995, *Land mosaics: The ecology of landscape and region*, Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Greig-Smith, P., 1983, *Quantitative plant ecology*, 3rd ed., Berkeley, CA: California University Press.
- Griffith, J. A., Martinko, E. A., and Price, K. P., 2000, Landscape structure analysis of Kansas at three scales, *Landscape and Urban Planning*, 52(11), pp.45-61.
- Gustafson, E. J. and Parker, G.R., 1992, Relationships between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern, *Landscape Ecology*, 7, pp.101-110.
- Gustafson, E. J., 1998, Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art?, *Ecosystems*, 1, pp.143-156.
- Hardt, R. A. and Forman, R. T. T., 1989, Boundary form effects on woody colonization of reclaimed surface mines, *Ecology*, 70, pp.1252-1260.
- He, H. S., DeZoma, B., and Mladenoff, D. J., 2000, An aggregation index (AI) to quantify spatial patterns of landscapes, *Landscape Ecology*, 15, pp.591-601.

- Houghton, R. A., 1994, The World-wide Extent of Land-use Change, *Bioscience*, 44, pp.305-313.
- Husshoff, R. M., 1995, Landscape indices describing a Dutch landscape, *Landscape Ecology*, 10(2), pp.101-111.
- Jaeger, J. A. G., 2000, Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation, *Landscape Ecology*, 15, pp.115-130.
- Jaeger, J. A. G., Esswein, H., Schwarz-von Raumer, H. -G., and Müller, M., 2001, Landschaftszerschneidung in Baden-Württemberg: Ergebnisse einer landesweiten räumlich differenzierten quantitativen Zustandsanalyse, *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 33, pp.305-317.
- Jenerette, G. D., and Wu, J., 2001, Analysis and simulation of land-use change in the central Arizona-Phoenix region, USA. *Landscape Ecology*, 16, 611-626.
- Krummel, J. R., Dunn, C. P., Eckert, T. C., and Ayers, A. J., 1993, A technology to analyze spatiotemporal landscape dynamics: Application to Cadiz Township, Breckenridge: International workshop in integrating geographic information systems and environmental modeling.
- Lausch, A. and Herzog, F., 2002, Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability, *Ecological Indicators*, 2, pp.3-15.
- Li, H., Franklin, J. F., Swanson, F. J., and Spies, T. A., 1993, Developing alternative forest cutting patterns: a simulation approach, *Landscape Ecology*, 8, pp.63-75.
- Lucas, I. F. J., Frans, J. M., and Wel, V. D., 1994, Accuracy assessment of satellite derived land-cover data: a review, *Photogrammetric Engineering Remote Sensing*, 60, pp.410-432.
- Luck, M., and Wu, J., 2002, A gradient analysis of the landscape pattern of urbanization in the Phoenix metropolitan area of USA, *Landscape Ecology*, 17, pp.327-339.
- Major, R. E., Christie, F. J., Gowing, G., and Ivison, T. J., 1999, Age structure and density of red-capped robin populations vary with habitat size and shape, *Journal of Applied Ecology*, 36, pp.901-908.
- Mas, J. F., Gao, Y., and Pacheco, J. A. N., 2010, Sensitivity of landscape pattern metrics to classification approaches, *Forest Ecology and Management*, 259(7), pp.1215-1224.

- McAlpine, C. and Eyre, T., 2002, Testing landscape metrics as indicators of habitat loss and fragmentation in continuous eucalypt forests (Qld, Australia), *Landscape Ecology*, 17, pp.711-728.
- McGarigal, K. and Marks, B. J., 1994, *Fragstats: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*, v. 2.0. Corvallis, OR: Forest Science Lab, Oregon State University.
- McGarigal, K. and McComb, W. C., 1994, Relationship between landscape structure and breeding birds in the Oregon Coast Range, *Ecological Monographs*, 65(3), pp.235-260.
- McGarigal, K., and Marks, B. J., 1995, *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*, USDA Forest Service General Technical Report PNW-GTR-351, Corvallis, Oregon.
- McGarigal, K., Cushman, S. A., Neel, M. C., and Ene, E., 2002, *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for categorical maps*, computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts. Retrieved, Oct. 12, 2011, from: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- Mitchell, T. D. and Jones, P. D., 2005, An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids, *International Journal of Climatology*, 25(6), pp.693-712.
- Moran, E., Ojima, D., Buchmann, N., Canadell, J., Graumlich, L., Jackson, R., Jaramillo, V., Lavorel, S., Leadly, P., and Matson, P., 2005, *GLP (2005) Science Plan and Implementation Strategy*, IGPB Report No. 53/IHDP Report No. 19, EGBP Secretariat Stockholm.
- Naveh, Z. and Lieberman, A. S., 1994, *Landscape ecology: Theory and applications*, New York: Springer Verlag.
- O'Neill, R. V., Krummel, J. R., Gardner, R. H., Sugihara, G., Jackson, B., DeAngelis, D.L., Milne, B. T., Turner, M. G., Zygmunt, B., Christensen, S. W., Dale, V. H., and Graham, R. L., 1988, Indices of landscape pattern, *Landscape Ecology*, 1(3), pp.153-162.
- Peterseil, J., Wrбка, T., Plutzer, C., Schmitzberger, I., Kiss, A., Szerencsits, E., Reiter, K., Schneider, W., Suppan, F., and Beissmann, H., 2004, Evaluating the ecological sustainability of Austrian agricultural landscapes-the SINUS approach, *Land Use*

- Policy, 21, pp.307-320.
- Ricklefs, R.E., 1977, Environmental heterogeneity and plant species diversity: a hypothesis, *American Naturalist*, 111, pp.376-381.
- Ricotta, C. and Avena, G., 2003, On the relationship between Pielou's evenness and landscape dominance within the context of Hill's diversity profiles, *Ecological Indicators*, 2, pp.361-365.
- Risser, P. G., Karr, J. R., and Forman, R. T. T., 1984, *Landscape ecology: Directions and approaches*, Special Publication No. 2. Champaign, IL: Illinois Natural History Survey.
- Ritters, K. H., O'Neill, R.V., Hunsaker, C. T., Wickham, J. D., Yankee, D. H., Timmins, S. P., Jones, K. B., and Jackson, B. L., 1995, A factor analysis of landscape pattern and structure metrics, *Landscape Ecology*, 10, pp.23-40.
- Saura, S., 2002, Effects of minimum mapping unit on land cover data spatial configuration and composition, *International Journal of Remote Sensing*, 23, pp.4853-4880.
- Tischendorf, L. and Fahrig, L., 2000, How should we measure landscape connectivity? *Landscape Ecology*, 15, pp.633-641.
- Tischendorf, L., 2001, Can landscape indices predict ecological processes consistently? *Landscape Ecology*, 16, pp.235-254.
- Troll, C., 1968, *The Cordilleras of the Tropical Americas. Aspects of climatic, phytogeographical and Agrarian ecology*. In C. Troll (Ed.), *Geo-ecology of the mountainous regions of the Tropical Americas. Proceedings of the UNESCO Mexico symposium August 13, 1966* (pp. 1556). Bonn: F. Dümmlers Verlag.
- Turner, M. G. ed., 1987, *Landscape heterogeneity and disturbance*, New York: Springer-Verlag.
- Turner, M. G., 1990, Spatial and temporal analysis of landscape patterns, *Landscape Ecology*, 4, pp.21-30.
- Turner, M. G. and Gardner, R. H., 1991, *Quantitative Methods in Landscape Ecology*, New York, USA: Springer-Verlag.
- Turner, M. G. and Ruscher, C. L., 1988, Changes in landscape pattern of Georgia, *Landscape Ecology*, 1, pp.241-251.
- Turner, M. G., Gardner, R. H., and O'Neill, R. V., 2001, *Landscape ecology in theory and practice: pattern and process*, New York: Springer-Verlag.

- Veldkamp, A., and Verburg, P. H., 2004, Modelling Land Use Change and Environmental Impact. *Journal of Environmental Management*, 72, pp.1-3.
- Verburg, P. H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldon, V., and Mastura, S.S.A., 2002, Modeling the Spatial Dynamics of Regional Land Use: The CLUE-S model, *Environmental Management*, 30, pp. 391-405.
- Vesterby, M., and Heimlich, R.E., 1991, Land Use and Demographic Change: Result form Fast-Growth Counties, *Land Economics*, 67, pp.273-291.
- Wang, K., Wang, H. J., Shi, X. Z., Weindorf, D. C., Yu, D. S., Liang, Y., and Shi, D. M., 2009, Landscape analysis of dynamic soil erosion in Subtropical China: A case study in Xingguo County, Jiangxi Province, *Soil and Tillage Research*, 105(2), pp.313-321.
- Wickham, J. D. and Riitters, K. H., 1995, Sensitivity of landscape metrics to pixel size, *International Journal of Remote Sensing*, 16, pp.3585-3594.
- Wu, J. K. and Hobbs, R., 2002, Key issues and research priorities in landscape ecology: an idiosyncratic synthesis, *Landscape Ecology*, 17, pp.355-365.

