

景觀生態中塊區結構指數與鳥類物種歧異度 相關性之研究

江彥政¹⁾ 張俊彥²⁾

關鍵字：景觀生態結構、物種歧異度

摘要：本研究之目的乃探討景觀生態結構中各種指標對鳥類物種歧異度之影響，研究以獅頭山風景區內不同景觀生態結構地區為測試樣點，劃定物種調查區域及範圍，進行物種調查。利用 ArcGIS 8.3 版，整合整體的空間資訊，套疊繪製景觀生態結構。並以 FRAGSTATS 2.0 運算景觀結構之各塊區相關指數，包括面積 (AREA)、塊區數目 (NP)、平均塊區大小 (MPS)、平均形狀指標 (MSI)、平均塊區碎形維度 (MPFD)、塊區密度 (PD)、面積權重之形狀指標平均值 (AWMSI) 及面積權重之平均塊區碎形維度 (AWMPFD) 等八項指標，並進行變項之間相關性分析。研究結果顯示景觀生態結構與鳥類物種指標之間相關性，以水體結構最為相關，林地次之，農地和人工地盤最少。

前 言

景觀生態學 (Landscape ecology) 以生態系統中空間結構為研究重點，注重空間結構與生態過程 (Natural process) 之相互影響，重點在於景觀空間中的「結構」(景觀中之元素組合排列情形)、「功能」(生態系統運作過程) 和「變化」(空間持續變動) 三個過程之間相互作用的機制 (Forman, 1995)。

在景觀生態學中「結構」是指提供生態系統運作的空間，其中包含生物物種棲息、覓食及人類使用 (功能)，而在兩者功能無形作用下，其對景觀結構產生變化，因此本研究物種永續共存之景觀生態結構。希望藉由「結構」、「功能」及「變化」三者間相互作用之概念，進行探討環境和生物物種永續共存之景觀生態結構。

1) 國立中興大學園藝學系碩士班研究生。

2) 國立中興大學園藝學系教授，通訊作者。

文 獻 回 顧

一、景觀生態結構相關理論

景觀生態學一般是以研究：結構(Structure)、功能(Function)、變化(Change)三個景觀特徵為重點。以人類和自然協調共生的思想為指導，強調以無機環境為基礎，以生物為中心，並由人類為主導，合理調控現有景觀生態系統並加以規劃設計，達到合理保護與永續利用之目的(傅柏杰, 1993)。景觀生態學強調在一尺度下空間格局(Spatial pattern)與生態過程(Ecological process)間的相互作用，以及所造成的空間異質性之成因與結果，並且提供了新的概念、原理及方法來探討生態系中空間動態的格局配置(Turner et al., 2001)。

景觀生態學上認為景觀上之組成主要包含三種：塊區(Patch)、廊道(Corridor)及基質(Matrix)，其分述如下：

(一)塊區(Patch)：泛指與周圍環境在外貌或性質上不同，但具有一定內部同質性之空間單元，例如：農田、村落、湖泊等。

(二)廊道(Corridor)：指景觀中與相鄰兩邊環境不同之線性或帶狀結構，例如：河流、道路、防風林帶等。

(三)基質(Matrix)：指景觀中分佈最廣、連續性最大的背景結構，例如森林基質、城市基質等。

研究景觀生態學之主要工具為繪圖(Mapping)、遙測(Surveying using remote sensing)、航照(Aerial photography)和 GIS(Geographic Information System)。大多數論及生態的研究，焦點都在於單一物種或兩物種間的影響，或是較小的空間尺度之研究(Antrop, 2001)。景觀生態的研究焦點在於已經使用的土地及中尺度景觀的植被，重點在於結構及空間型態。過去關於景觀生態議題，大多以西方國家為主且著重於自然、森林、鄉村景觀，主要與土地使用、土地覆蓋、空間結構和改變的過程有關(Antrop, 2001)。本研究在景觀生態結構方面，將分為空間、形式二種特性加以探討。

1、空間特性：

從景觀生態塊區的空間特性來看，塊區大小是直接影響動物物種及數量組合的主要參數，能於某些地區有生產力及養分儲存情形(Farina, 1998)。當塊區大小相對較小時，塊區本身的面積比塊區本身的特性更為重要。

塊區面積之大小與其所包含之能量及養分總量成正比，因此塊區面積越大所能蘊含之物種種類及數量越多、生物多樣性越大(Freemark, 1995)。研究結果顯示動植物種數會隨著塊區面積擴大而增加；研究得知塊區面積越小時，生物多樣性亦會隨之下降(Duelli, 1997)。

當景觀中生態塊區只佔總面積之一小部份時，塊區面積和隔離程度對於物種族群之影響甚大，而當生態塊區覆蓋景觀的大部分面積時，動物(或植物)個體行為以及其他景觀結構特徵則顯得更為重要(Hanski and Gilpin, 1997)。

2、形式特性：

塊區邊緣是由：植被、生態區域或人造物界線所組成(Gordon, 1992)。塊區的形狀及周長會影響塊區內動物分配及其食物之分佈(Forman, 1995)。Forman 的研究顯示：塊區的形狀對動植物的移動同樣重要。塊區形狀與邊緣效益有高度相關，因為物種的移動只發生在邊緣地區，因此邊緣地區在沒有其他外界干擾時，會有較多樣化的物種(Forman, 1995)。

景觀元素具有明顯的結構特徵，其形成是受到自然、人為的干擾及環境異質性之綜合影響，其大小(Size)、形狀(Shape)、數目(Number)、類型(Type)與空間排列等特徵皆有特殊之生態意義。其中塊區大小是影響單位面積生物量、物種組成之主要因子，而塊區內之物種多樣性則取決於景觀多樣性與干擾狀況；塊區之形狀則可反映出邊緣效應及空間複雜程度；塊區之空間排列則直接表現出景觀生態之異質性及穩定性(Forman and Godron, 1986)。

二、景觀生態與物種相關理論

景觀結構破碎程度亦為影響生物棲息之重要因子，研究顯示景觀破碎化的增加會伴隨著森林中動物分佈和移動的增加(Blondel et al., 1992)。明確的空間異質性是很重要，因為一個好的標準原則才能完成一個對環境評估改善的目標。總而言之，景觀的異質性及破碎化會影響物種棲息的品質(Li and Reynolds, 1994)。

在美國維吉尼亞州國有林之森林砍伐對景觀變遷之影響的研究中得知連續砍伐森林將造成塊區大小、破碎度、數目及塊區間的距離呈指數之下降，降低了空間的異質性及邊緣效應(Trani and Giles, 1999)。

無論是進行生態學之基礎研究或是自然資源的經營管理，將研究區域做合理的劃分，取得研究單位是一項很重要的工作。景觀要素之特定結構、功能和動態特徵，是受到地貌過程、生物過程及人類活動等影響，因此在進行景觀要素劃分時須考慮到綜合性、景觀變化以及主要因子等三項原則，除此之外尚須考量其研究目的、資料來源等問題。

土地利用分類是地理學研究中傳統且重要的研究課題，土地利用的表現，是人與環境互動展現在地表的現象，透過土地利用的研究，可以瞭解人與環境之間的互動關係(朱健銘, 2000)。

景觀生態學的研究重點，在於探討空間對生物歧異度之決定性因素與塊區結構如何影響族群的豐度和分佈。Farina 指出景觀中動物、植物及人類均是此學科中的研究對象；而將景觀生態研究內容進行分類，包括自然生態系統運作過程(Natural process pattern)的時空、尺度變化、系統等級組織、土地分類、干擾過程、鑲嵌異質性、景觀破碎化、生態交會帶(Ecotone)之特徵及作用(Farina, 1998)。

多樣性為生物族群組織的特徵，並與棲息環境有著密切的關係，可作為生態學上一個靈敏度指標。植物植被的結構會影響廊道內物種的多樣性，梯那蒙原則(Thienemann's Rules)中指出(鄭先祐, 1992)三項定律。

第一定律：一地區的歧異性越大，其生物社區內的種類就越多。也就是說，環境空間越是多樣化，生物的變異性也越大。

第二定律：一地區異於尋常的情形越多，它的生物種類也就越少，而且每一種生物質量也越大。這樣的地區可視為是不成熟的生態系。

第三定律：一地區處於相同情形越久，它的生物相越是豐富。因此按照此原則可知，越複雜的林相將可提供更多樣的微棲地形式，相對地就會擁有更多的物種，也就是說將會擁有更穩定的生態系。

研究並指出植物是造成動物遷徙(Migration)及環境型式(Environmental sorting)的主要原因。在德國，因為植物種類大量的破壞，而導致鳥類物種的大量消失(Jongman, 1995)。同時也證明，景觀結構和景觀多樣性在決定塊區方面扮演重要的角色，其會影響物種的數量(Pino et al., 2000)。鳥類數量的增加或減少可能與土地覆蓋的因素更具相關性，像是植被的類型和數量(Hostetler and Knowles-Yanez, 2003)。由於現有的土地使用，造成許多物種的生存空間在區域中優質化且破碎化。當物種不能夠接受這些改變，其數量便會直線下降或者他們會消失(Langevelde et al., 2002)。

早期許多學者指出當一地區若都市化程度越少，且自然地區越多時，則鳥類物種就會越多，因此鳥類物種的種類和密度會隨著都市化之程度而改變(Hostetler and Knowles-Yanez, 2003)。

至於人為干擾對地區多樣性之影響，則與干擾之空間尺度及強度有關；而對此一影響之認知，主要取決於研究者探討之空間尺度。干擾導致景觀異質性增加，可增加一個地區之鳥類多樣性；但若干擾範圍與程度過大，則使景觀單調，而導致多樣性變低(許皓捷和李培芬, 2003)。

鳥類為高等脊椎動物，在生態金字塔上扮演著消費者之重要角色種類繁多，分佈廣泛，且具有發達之視覺能力，對於環境結構和組成的改變也相當敏感(Forman and Godron, 1986; Langevelde et al., 2000; Savard et al., 2000)。一地區景觀生態結構之改變，通常會反應出植被型態改變、空間配置變化情形，因而直接影響到鳥類種類和數量之分佈。有鑑於此，在觀察一地區中整體生態系統是否良好，可利用鳥類來作為研究指標物種。為探討景觀生態結構對整體鳥類族群之影響，使用描述族群組成之指標如下：

(一)總種數：可有效描述物種族群組成，為描述物種豐度(Species richness)組成之良好指標。

(二)歧異度(Species diversity 公式以 H' 表示)：使用最廣泛應用的多樣性指數為 Shannon- Wiener 的函數公式(Krebs, 1999)，其不但可表現種類數和種的均勻度，且適合運用於鳥類族群歧異度之測量。

$$H' = -\sum_{k=1}^S p_k \log_2 p_k$$

【pk】為各鳥種所出現的機率

【s】為鳥種類數

(三)均勻度(Species evenness，公式以J'表示)：為 Shannon-Wiener 的函數公式(Krebs, 1999)，為物種相對豐度，可表現出不同物種間個體數之分布。

$$j' = H' / \log_2 S$$

【s】為鳥種類數

【H'】為族群歧異度

(四)物種個體數(Species capita)：停留於一範圍內之所有物種數量。

材料及方法

一、研究變項與架構

本研究的主要架構以景觀生態結構指數探討物種生態功能指標之差異，景觀生態結構指數乃依據 McGarigal 等人(1995)所研發的 FRAGSTATS 2.0 軟體來運算景觀結構之各指標(McGarigal and Mark, 1995)；在 FRAGSTATS 軟體當中，其包含之景觀結構指數有 59 種，經文獻內容歸納可知，影響生物棲息的景觀結構主要為面積、周長、形狀及破碎程度等。再者，本研究基地範圍面積小，又以鳥類為代表物種，其活動範圍約 30m 左右，且以 Grain size 生態網格而言，只能以塊區來探討。因此本研究以塊區之面積、周長、形狀及破碎程度等四項為探討重點，所以挑出其中 8 項指標為本研究景觀生態結構指標。

由於研究主要探討塊區大小、形狀、邊緣等變化情形對物種之影響，因此景觀生態結構指數將以塊區特性為主要重點。另外在景觀生態結構方面，由於草地及荒地較少被探討，且基地內較少草地及荒地兩種土地使用類型，因此將分為人工地盤、農地、林地及水體等四種土地使用類型進行研究探討。而物種分佈指標則依據過去相關物種研究之歸納(MacArthur and MacArthur, 1961)，以總種數、歧異度、均勻度及個體數作為物種研究變項，研究方法之詳細架構如下(圖 1)：

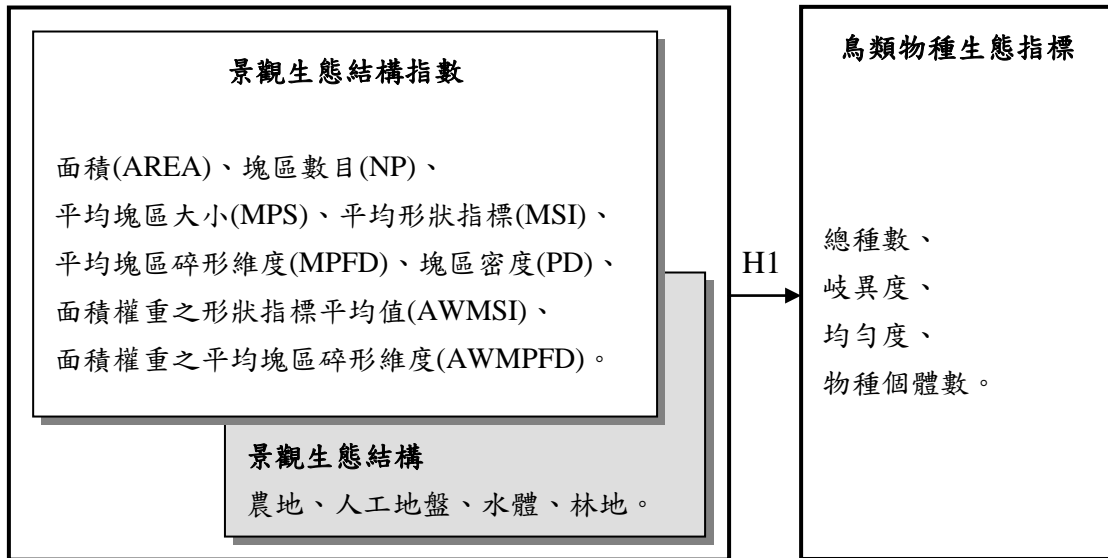


圖 1. 研究架構圖

Fig 1. The assessing model in the study

二、研究操作

(一)研究地點

本研究選擇參山國家風景區之「獅頭山風景區」為主要研究區域。「獅頭山風景區」，從土地開發之角度而言，其涵蓋了高度發展之城鎮容貌、民風純樸之農村建築、田野景色、蜿蜒連綿溪流景觀以及林木茂密之山林等景色；具有開發度高延至開發度低之序列環境。本研究在樣點選點原則上：依據交通可及性、土地開發等級、區域位置及植被覆蓋之多寡等四項因子之不同，概略分為四種不同開發度差異之地點(表 1)，共 12 個樣點。

(二)景觀生態結構數化

以 1/5000 航照圖作為判讀景觀生態結構之基本圖，並使用地理資訊系統 GIS 電腦軟體 ESRI ArcGIS 8.3 進行數化，並於每一個樣點為中心往外分別繪製半徑 50m、250m 及 500m 等三種範圍之環框，土地使用類型區分為：農地、林地、水體及人工地盤等。

再將數化所得之向量檔案格式(Vector format)，匯入 FRAGSTATS 2.0 電腦軟體計算各景觀生態結構數值資料。

表 1. 土地開發程度等級說明表

Table1. The descriptions of different development levels of the selected sites

土地開發程度等級	等級描述
開發地區 Develop	社區或房舍建物聚集區域、道路車輛頻繁之環境。
半開發地區 Semi-Develop	分散的房舍、道路車流量少之環境。
半原始地區 Semi-Primitive	少數分散房舍、僅有產業道路之環境。
原始地區 Primitive	無建物，僅有步道可及之環境。

(三)鳥類物種調查

調查期間自 2004 年 3 月至 5 月為止。利用非假日期間隔週調查一次，鳥類調查員在各點以定點計數法(Point count method)進行物種調查，每點停留 10 分鐘左右，記錄鳥類之種類、數量、行為等。為確實瞭解當地鳥類物種之生存棲地，因此將剔除外來物種、迷逸鳥等。

將鳥類資料之種類及數量基本資料庫，運用 Excel 軟體進行資料庫數值處理，以求得所需要的歧異度、族群均勻度等統計資料。

(四)分析方法

為了解景觀生態結構與鳥類物種多樣化二變項之相關情形，此階段之相關假設使用斯皮爾曼等級相關(Spearman rank order correlation coefficient)進行分析檢定。

結 果

一、景觀生態結構及鳥類物種多樣性分析結果

本研究探討在不同的景觀生態結構下，與鳥類物種間之相關性。因此以面積(AREA)、塊區數目(NP)、平均塊區大小(MPS)、平均形狀指標(MSI)、平均塊區碎形維度(MPFD)、塊區密度(PD)、面積權重之形狀指標平均值(AWMSI)及面積權重之平均塊區碎形維度(AWMPFD)與總種數、歧異度、均勻度及物種個體數進行斯皮爾曼等級相關(Spearman rank order correlation coefficient)，以檢定景觀生態結構與鳥類物種間的相關性(表 2)。

討 論

本研究調查之鳥類物種大多為留鳥，即以陸鳥特性為主之鳥類，如：紅嘴黑鶉、繡眼畫眉、白頭翁等。

本研究之四種景觀生態結構與鳥類物種相關性討論分述如下：

一、農地部份

在密集農耕之景觀生態結構下，會形成景觀上的生物單純化(Biologically simplified)，而且通常顯得更單調且貧瘠。農田為了經濟作物而行使大規模的單一作物栽培，簡化了原有地表和土壤內之生物多樣性，亦動搖了其他物種族群的生態平衡，因此會造成只適合某種物種生存之環境，使得物種逐漸單一化，由於面積大且單一化之農地，會漸漸將一些原本殘留之棲地塊區(林地)面積變小，同時因為棲地面積變小導致彼此之間距離拉遠，所以物種生態功能指標也隨之下降。

二、人工地盤部份

本研究之 12 個研究地點分為 4 類(A、B、C、D)，將各類之人工地盤面積平均值，與鳥類種類數比較之間差異程度，結果顯示：鳥類物種之種類數分佈最多的是 B 類(B1, B2) 和 C 類(C2, C3)，故整體鳥類種類分佈呈現為「倒 U 字型」(圖 2)。

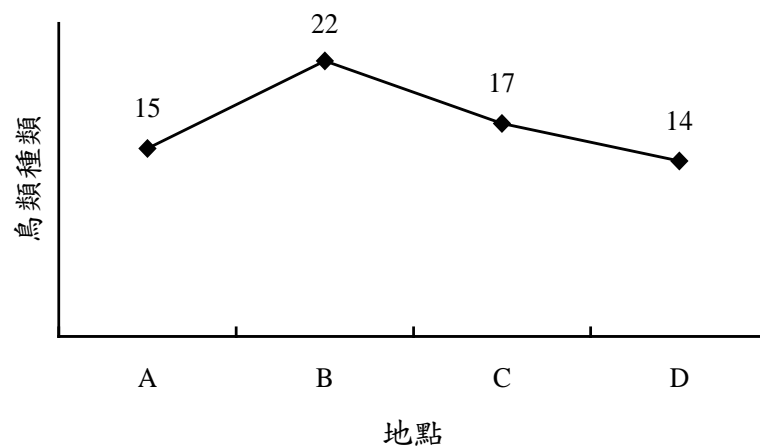


圖 2. 四類地點人工地盤與鳥類種類數比較圖

Figure 2. The comparisons of built area and bird abundance on 4 kinds of testing sites.

鳥類物種在開發地區(A類)和原始地區(D類)這二種兩極化環境，出現之鳥類種類數反而較少，其主要跟食物分佈來源有關，在B類和C類環境中，大部分為邊緣地區(Edge zone)，邊緣地區雖然會受到都市化開發影響，但這些開發會造成塊區邊界改變，相對地也增加了邊界蜿蜒度和長度，除此之外，邊緣地區的植物所受陽光量也多於內部地區，所以在此環境下能創造出較多樣性之空間以吸引更多鳥類。相關研究亦指出，物種分佈與景觀生態結構是以回饋環相連接，自然或人為干擾元素的形成，會影響敏感性物種分佈情形，但有時這些干擾反而有利於其他物種朝向受干擾地區移動、覓食(Forman and Godron, 1986)。

三、水體部份

本研究結果一致指出水體面積越大對於鳥類物種皆有幫助，水體環境無論是湖泊或溪流景觀對於鳥類生態功能指標皆有不錯之結果，故推測水體景觀在環境對物種鳥類整體結構方面均有良好之助益。

四、林地部份

研究結果指出，就塊區面積大小而言，一地區林地面積越大，其所能蘊含之生物量就越豐富，無論是在動物或植物方面，均能提升物種之生存機會。相關研究指出大型塊區與小型塊區之間，大型塊區擁有較多棲息地，因而能蘊含較多之物種在此生存(Dramstad et al., 1996)。

另外就塊區形狀而言，林地塊區邊界若越不規則，其受到周圍環境之影響越高，而這些相互影響，包含正面的及負面的。正面的影響可以增加物種間之交流；反之，負面的影響，因為邊界形狀不規則會造成邊界長度增長，進而使受干擾之面積增多。

表 2. 景觀生態結構指數與鳥類物種指標之相關分析

Table 2. The relationship between landscape ecology index and bird species index

	總種數			歧異度			均勻度			個體數		
	50m	250m	500m	50m	250m	500m	50m	250m	500m	50m	250m	500m
農地												
AREA								-0.63*				
NP												
MPS											-0.58*	
MSI												
MPFD												
PD												
AWMSI												
AWMPFD									0.59*			
人工地盤												
AREA												
NP												
MPS												
MSI					0.62*							
MPFD												
PD												
AWMSI					-0.62*			-0.61*				
AWMPFD												
水體												
AREA			0.60*		0.71**	0.71*						
NP												
MPS			0.63*		0.71**	0.76**						
MSI												
MPFD												
PD			-0.63*			-0.76**						
AWMSI												
AWMPFD												
林地												
AREA												
NP											-0.62*	
MPS												
MSI												
MPFD												
PD												
AWMSI											-0.70*	
AWMPFD									-0.66*	-0.66*		

*表示 0.05 顯著水準。 **表示 0.01 顯著水準。

參 考 文 獻

- 朱健銘。2001。土地利用空間型態之研究。國立臺灣大學地理學研究所碩士論文。
- 許皓捷、李培芬。2003。群聚變異梯度長度對排序結果的影響。臺灣林業科學。18(3): 201-211。
- 傅柏杰。1993。景觀生態學的對象和任務。景觀生態學：理論、方法及應用。地景企業。
- 鄭先祐。1992。生態環境影響評估學。財團法人徐氏基金會。
- Antrop, M. 2001. The language of landscape ecologist and planners—A comparative content analysis of concepts used in landscape ecology. *Landscape and Urban Planning* 55: 163-173.
- Blondel, J., P. Perret, M. Maistre, and P. C. Dias. 1992. Do harlequin mediterranean environments function as source-sink for blue tits? *Landscape Ecology* 6: 212-219.
- Dramstad, W. E., J. D. Olson, and R. T. T. Forman. 1996. *Landscape Ecology Principles for Landscape Architecture and Land Use Planning*. Washington, DC: Island Press.
- Duelli, P. 1997. Biodiversity evaluation in agricultural landscapes: An approach at two different scales. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 62: 81-91.
- Farina, A. 1998. *Principles and Methods in Landscape Ecology*. New York: Chapman and Hall Press.
- Forman, R. T. T. and M. Godron. 1986. *Landscape Ecology*. New York: John Wiley & sons Publishers.
- Forman, R. T. T. 1995. *Land Mosaics*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Freemark, K. 1995. Assessing effects of agriculture on terrestrial wildlife: developing a hierarchical approach for the US EPA. *Landscape and Urban Planning* 31: 99-115.
- Gordon, M. 1992. *Nature Function*. New York: Springer-Verlag Press.
- Hanski, I. A. and M. E. Gilpin. 1997. *Metapopulation Biology: Ecology, Genetics, and Evolution*. San Diego: Academic press.
- Hostetler, M. and K. Knowles-Yanez. 2003. Land use, scale, and bird distributions in the Phoenix metropolitan area. *Landscape and Urban Planning* 62: 55-68.
- Jongman, R. H. G. 1995. Nature conservation planning in Europe: developing ecological networks. *Landscape and Urban Planning* 32: 169-183.
- Krebs, C. J. 1999. *Ecological Methodology Second Edition*. Canada.
- Langevelde, F., A. Schotman, F. Claassen, and G. Sparenburg. 2000. Competing land use in the reserve site selection problem. *Landscape Ecology* 15: 243-256.
- Langevelde, F. V., F. Claassenc, and A. Schotman. 2002. Two strategies for conservation planning in human-dominated landscapes. *Landscape and Urban Planning* 58: 281-295.

- Li, H. and J. F. Reynolds. 1994. A simulation experiment to quantify spatial heterogeneity in categorical maps. *Ecology* 75: 2446-2455.
- MacArthur, R. H. and J. W. MacArthur. 1961. On bird species diversity. *Ecology*, 42: 594-598.
- McGarigal, K. and B. J. Marks. 1995. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA Forest Service-General. Technical Report PNW-GTR-351, pp.123-136.
- Pino, J., F. Roda, J. Ribas, and X. Pons. 2000. Landscape structure and bird species richness: implications for conservation in rural areas between natural parks. *Landscape and Urban Planning* 49: 35-48.
- Savard, J. P. L., P. Clergeau, and G. Mennechez. 2000. Biodiversity concepts and urban ecosystems. *Landscape and Urban Planning* 48: 131-142.
- Trani, M. K. and R. H. Giles. 1999. An analysis of deforestation: metrics used to describe pattern change. *Forest Ecosystem and Management* 114: 459-470.
- Turner, M. G., R. H. Gardner, and R. V. O'Neill. 2001. *Landscape Ecology in Theory and Application*. Springer-Verlag, New York.

The Relationship between Patch Structure Indices and Bird Diversity

Yen-Cheng Chiang ¹⁾ Chun-Yen Chang ²⁾

Key words: Landscape ecology, Species diversity.

Summary

The purpose of this study is to exploring a sustainable environment on the point of landscape ecology, which could benefits bird diversities. The theory of landscape ecological structure analyses were applies to test the wildlife diversity in different landscape settings.

Twelve investigation sites were chosen from the Lion's Head Mountain Scenery Area, which contains various kinds of landscape ecological structures. The ArcGIS8.3 was used to digitize the landscape ecological structure, calculated with the FRAGSTATS for Arc View. The selected variables includes the Area (AREA), Number of Patches (NP), Mean Patch Size (MPS), Mean Size Index (MSI), Mean Patch Fragmentation Dimension (MPFD), Patch Density (PD), Area-Weighted Mean Size Index (AWMSI), and Area-Weighted Mean Patch Fragmentation Dimension (AWMPFD). The relationships among the landscape ecological structure indices and the bird's ecological indices were tested.

The result shows the relationship between landscape ecological structures and bird diversity indices. The water body has most significant relation effects on bird diversity followed by woods, farms, and build areas respectively.

1) Graduate student, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

2) Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University. Corresponding author.

