

影響赫氏角鷹空間分布之環境因子

Environmental Factors Affecting Spatial Distribution of the Mountain Hawk Eagle (*Spizaetus nipalensis nipalensis*)

何錦尚¹ 陳朝圳^{2,*}

Chin-Shang Ho¹ and Chaur-Tzuhn Chen^{2,*}

¹ 國立屏東科技大學生物資源研究所 屏東縣內埔鄉學府路1號

² 國立屏東科技大學森林系 屏東縣內埔鄉學府路1號

¹ Graduate Institute of Bioresources, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan

² Department of Forestry, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan

* 通訊作者: cct@gisfore.npust.edu.tw

* Corresponding author: cct@gisfore.npust.edu.tw

摘要

赫氏角鷹(*Spizaetus nipalensis nipalensis*)為瀕臨絕種野生動植物國際貿易公約(Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora, CITES)所保護之物種。本研究以2004年1月至2006年12月於台東縣所記錄的猛禽調查資料,配合人類開發程度、數值地形模型(digital terrain model, DTM)、植被與土地利用的數位圖層資料,運用地理資訊系統(geographic information system, GIS)探討赫氏角鷹分布與環境因子之關聯性。研究結果顯示,赫氏角鷹的出現頻度與人口密度、道路開發、城鎮區開發、海拔高、坡度、植群及土地利用類型和常態化植生指標(normalized difference vegetation index, NDVI)等因子皆有極顯著關聯性。在人口密度低、距離道路與開發城鎮較遠處,赫氏角鷹有較高出現頻度。赫氏角鷹最高出現頻度在海拔1,001-2,000m、坡度25-45°之間與中、高NDVI之森林覆蓋山區。

Abstract

The mountain hawk eagle (*Spizaetus nipalensis nipalensis*) is an endangered raptor protected by the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES). We conducted a survey on its occurrence in the Taitung Prefecture of Southeast Taiwan from Jan. 2004 to Dec. 2006. Digital coverage of human activities, digital terrain model (DTM), vegetation pattern, and land-use pattern were used as the environmental factors. The relationships between the occurrence frequency and the environmental factors were analyzed with the geographic information system (GIS). The results showed that the occurrence frequency of the eagle was significantly related to human population, road development, urban development, elevation and slope of land, vegetation coverage pattern, and land use pattern. The frequency was higher in areas with lower human population and farther away from road and urban developments. The highest frequency was found in mountains that were covered with forests and had moderate to high normalized difference vegetation indices (NDVI) at elevations of 1,001 to 2,000m and the slopes of 25° to 45°.

關鍵詞：赫氏角鷹、地理資訊系統、空間分析、數值地形模型、破碎化

Key words: mountain hawk eagle, geographic information system, spatial analysis, digital terrain model, fragmentation

收件日期：98年10月1日

接受日期：99年2月23日

Received: October 1, 2009

Accepted: February 23, 2010

緒言

傳統的生物保育工作，常以拯救受到威脅之個別物種為重點，往往忽略了真正需要保育的是整體的生態系統，若要維繫遺傳及物種的多樣性，則非要保育它們所賴以生存的棲地不可。因此，維持物種棲地環境的完整與多樣性，正是生態系多樣性所著重的方向。

瀕危物種分布的研究是許多生態與保育議題的基礎，但此類資訊卻相當難以取得，特別是對於分布範圍廣大的物種而言，通常它們的分布都處於人類難以到達的偏僻地區，資料取

得相對困難。以物種調查資料配合環境特徵因子，建立其間的關聯性及預測物種棲地的適宜性模型，利用預測模型可以推測未來土地利用改變對於物種棲地可能產生的效應，以及建立物種潛在棲地分布的狀態。為快速有效的掌握物種之空間分布，利用具有空間資料處理能力的地理資訊系統(GIS)及有效提供空間資料的遙感探測(remote sensing, RS)，已成為近來在自然資源管理及分析研究之重要工具與資料來源(Austin *et al.* 1996)。陳(1993)指出，國外很多以GIS配合遙測衛星影像進行野生動物棲地分析的研究，其在資料提供方面除了野外調查

之外，空間性資料大部分以遙測影像取得生物因子中之林相類別及林冠密度，而以GIS提供物理環境因子中之坡度、坡向、海拔高、水系及其他經營管理有關圖層。對於猛禽的分布情形、活動範圍或棲地利用分析，也有許多國內外研究使用GIS做為分析工具，應用GIS可以在有限的田野調查之下，以數位高程(digital elevation model, DEM)為材料，利用GIS空間分析法，測計物種調查分布地點的環境變量，推估出某特定物種分布之潛在指標，可準確的建立物種分布的預測模式或分布圖(Austin *et al.* 1996; Guisan *et al.* 1998; He *et al.* 1998; Whitfield *et al.* 2001; Bustamante and Seoane 2004; Sergio *et al.* 2004; 何 2006)。

猛禽位居食物鏈高層，牠們的族群量變化可做為區域生態環境變化的指標，可用來監測生態系的狀態。猛禽類在自然界中占據較大的生育領域，對於環境棲地的要求相當高(許 1995; 高 2001)。以其他動物為食的猛禽，控制著獵物的族群量及一個棲地的多樣性，為維

持一地區生態系穩定的關鍵物種，也是一個地區的生態指標，故猛禽在維持生態系統的平衡，占有十分重要的地位(Newton 1979; Ferguson-Lees and Christie 2001)。

赫氏角鷹(*Spizaetus nipalensis nipalensis*)俗稱熊鷹或鷹鵬(mountain hawk eagle)，為本島體型最大的居留性猛禽(沙 1989)，已依野生動物保育法公告為「瀕臨絕種野生動物」，在國際上赫氏角鷹更受到CITES名錄II保護(中華民國野鳥學會 1997; 方 2005)。

本研究的目的在於了解台東縣境內赫氏角鷹的分布狀況；以GIS為分析工具，探討赫氏角鷹分布與環境因子間的關係，提供瀕危物種研究資料，做為森林資源經營管理之參考。

材料與方法

一、研究區域概述

研究區位於台東縣(不包括蘭嶼和綠島)， $120^{\circ}44'-121^{\circ}37'E$ 及 $21^{\circ}56'-23^{\circ}26'N$ 之間(圖1)。

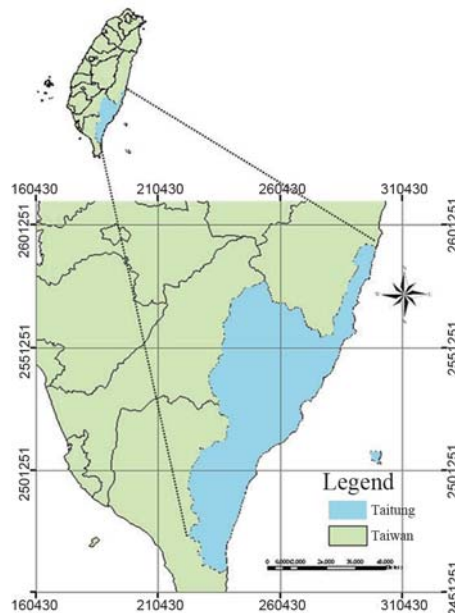


圖 1. 台東縣地理位置圖。

Fig. 1. The location of Taitung Prefecture in Taiwan.

二、研究材料

(一) 數值地形模型

DTM 之地形屬性包括數值高程、坡度和坡向等。本研究使用林務局農林航空測量所提供之解析力為 40×40m 的數位高程(DEM)，經由 ArcGIS 或 Erdas Imagine 軟體分析，推導研究範圍內之坡度及高程等 DTM 屬性資料。

(二) 福衛二號衛星影像

購買 2005 年之彩色多光譜(multi-spectral) 福衛二號(Formosat-II)衛星影像，供為分析土地利用現況。彩色多光譜影像有 4 個波段，即藍光段、綠光段、紅光段及近紅外光段，空間解析度為 8m。

三、調查方法

赫氏角鷹早先的野外調查資料十分稀少，因此針對台東縣各鄉鎮均進行調查。研究期間自 2004 年 1 月至 2006 年 12 月共進行 406 次的調查。受限於各鄉鎮面積差異頗大，且部分地區車輛不易到達，故各鄉鎮樣區調查次數不同，海端鄉主要調查地點為霧鹿林道、錦屏林道及南橫公路台東段沿線等共 89 次；卑南鄉為利嘉林道等計 75 次；延平鄉為延平林道及鸞山等計 60 次；台東市有知本溼地及卑南文化公園等共 54 次；池上鄉主要為大坡池及山棕寮等共 28 次；東河鄉為泰源等地共 25 次；達仁鄉有新興社等計 19 次；太麻里鄉與金峰鄉分別為藥山與依麻林道等各有 18 次；鹿野鄉為永安等地區計 10 次；關山鎮為電光地區計 4 次；另外大武鄉、長濱鄉與成功鎮皆各有 2 次，調查位置分布如圖 2。

由於赫氏角鷹覓食方式主要採伏擊方式，先停於視野遼闊之枝椏上，當獵物出現時，即低空飛近接近獵物，再急速俯衝撲擊(沙 1989; 林 1992; 姚及許 2004)。日本以翼標(wigmarkers)和無線電(transmitter)針對日本亞種的研究指出，其活動範圍每日飛行時間的比例小於 10%，

大部分時間都待在森林邊緣或內部，而飛行主要是為了獵食與展示(Ichinose 2003)。本研究調查方法採用定點計數法(point count)及道路沿線調查法(road count)，前者以在固定樣區地點固定時間內記錄所目擊之猛禽，後者為選擇林道或其他調查路線，以約 2 km/hr 速度步行前進，調查人員為具有野外調查及猛禽辨認能力的台東縣野鳥學會調查人員，每日調查時間主要為日行性猛禽飛行活動能力較高之 8-15 時，先以目擊尋找活動或停棲之猛禽，再以 8-10 倍雙筒望遠鏡，輔以 20 倍高倍單筒望遠鏡，進行猛禽辨識工作。記錄內容包括調查地點、日期、天氣、目擊時間、鳥種、年齡和行為等，並以衛星定位儀(Garmin eTrex Vista T)獲得調查地點的地理座標。

四、資料分析

(一) 人為干擾因子對赫氏角鷹出現頻度之影響

1. 人口密度

本研究收集 2006 年台東縣各鄉鎮市人口統計資料，將各鄉鎮市人口密度分為高(>100 人/km²)、中(20-100 人/km²)、低(<20 人/km²)等 3 個等級，並統計出各鄉鎮市不同人口密度等級中赫氏角鷹的出現次數進行交叉表分析(cross table analysis)，以卡方檢定(chi-square test)，探討各鄉鎮市人口密度與赫氏角鷹出現頻度的關聯性。

2. 道路環域分析

本研究利用全國道路地理圖層，用 ArcGIS 的環域分析(buffer analysis)，將赫氏角鷹出現位置離道路的距離分為 3 級，第 1 級為距道路 2 km 以內，第 2 級為距道路 2-4 km，第 3 級為距道路 4 km 以上。以 GIS 的套疊分析(overlay analysis)萃取道路環域內之調查樣點的屬性資料，統計不同道路環域等級中赫氏角鷹之出現次數，以交叉表之卡方檢定，探討各道路環域等級與赫氏角鷹出現頻度的關聯性。

3. 城鎮位置之環域分析

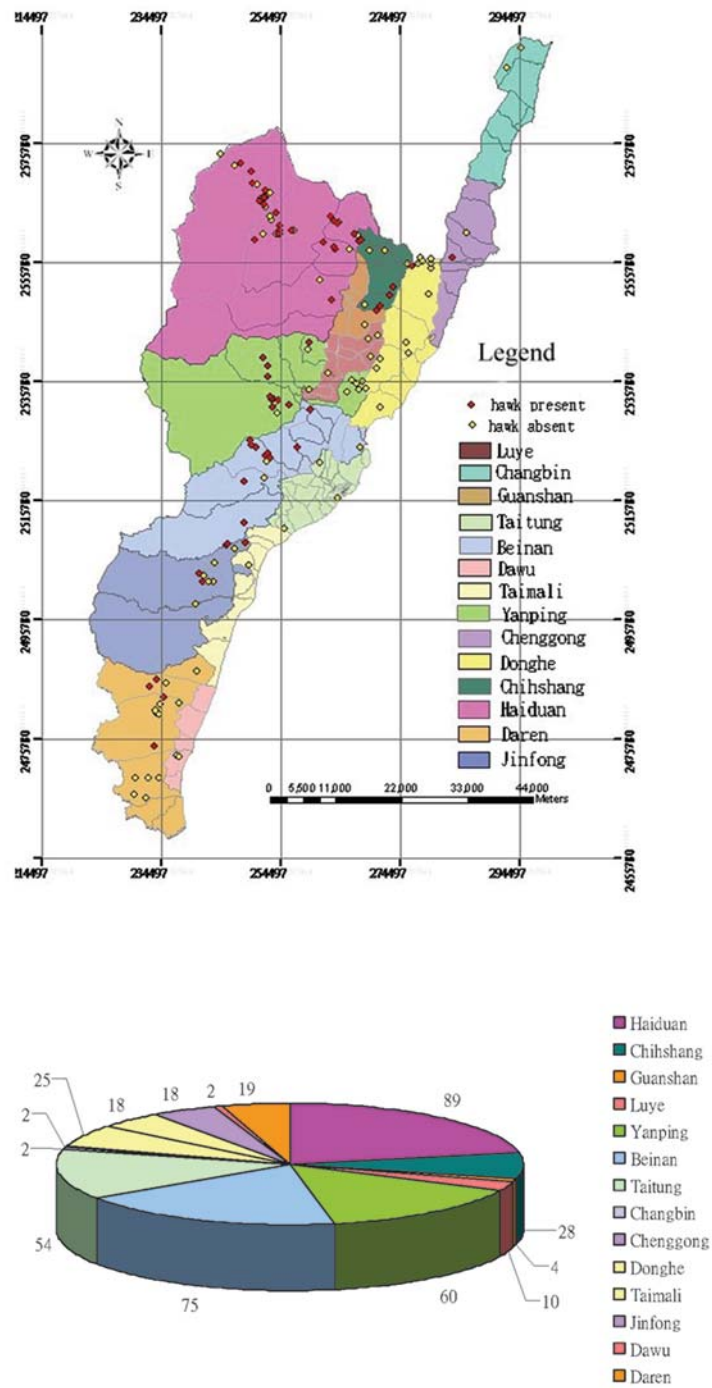


圖 2. 台東縣各鄉鎮赫氏角鷹調查位置及次數分布圖。

Fig. 2. The survey locations of the mountain hawk eagle (upper figure) and its survey numbers (lower figure) in 14 civic administrative restricts of Taitung Prefecture.

本研究以 ArcGIS 的環域分析將城鎮位置與赫氏角鷹出現位置之距離，分為 3 級，分別是第 1 級為距離 5 km 以內，第 2 級為 5-10 km，第 3 級為 10 km 以上。以套疊分析萃取城鎮環域內調查樣區之屬性資料，統計不同城鎮環域等級中赫氏角鷹出現次數，以交叉表之卡方檢定，探討各城鎮環域等級與赫氏角鷹出現頻度的關聯性。

(二) 地形因子對赫氏角鷹出現之影響

1. 地形分析

以 ArcGIS 的地形分析，利用 DEM 建立高程、坡度等 DTM 資料，並以套疊分析萃取調查樣區之地形地貌因子的屬性資料。

2. 出現頻度與地形因子之關聯性分析

在獲得調查樣區之地形地貌屬性資料表後，給予分級。高程區分為 5 級，分別是第 1 級(<500m)、第 2 級(501-1,000m)、第 3 級(1,001-1,500m)、第 4 級(1,501-2,000m)與第 5 級(>2,000m 以上)；坡度區分為 6 級，分別是 1 級坡($0^\circ \leq 1$ 級坡 < 5°)、2 級坡($5^\circ \leq 2$ 級坡 < 15°)、3 級坡($15^\circ \leq 3$ 級坡 < 25°)、4 級坡($25^\circ \leq 4$ 級坡 < 35°)、5 級坡($35^\circ \leq 5$ 級坡 < 45°)與 6 級坡($\geq 45^\circ$)，並分別統計不同地形地貌因子中赫氏角鷹有無出現和各個地形地貌因子之交叉表，以卡方檢定探討各個地形地貌因子與赫氏角鷹出現頻度的關聯性。

(三) 土地利用類型與 NDVI 對赫氏角鷹出現之影響

1. 出現頻度與土地利用之關聯性分析

本研究係以福衛二號衛星影像，以 Erdas Imagine 軟體進行監督性分類(supervised classification)，將土地利用分類為森林(3)、草生農耕地(2)、崩塌裸露建成地(1)與流水水體(0)四類。影像分類完成後，以逢機取樣方式每個類別選取 60 個檢核點，進行精確度評估(accuracy assessment)。計算其生產者精確度(producer's accuracy)、使用者精確度(user's accuracy)、總體精確度(overall accuracy)與 kappa 值，若總

體精確度達 80% 以上，即可提供為土地利用類型之圖層。以套疊分析萃取調查樣區之植群土地利用因子之屬性資料，並統計赫氏角鷹有無出現和各個土地利用類型之交叉表，以卡方檢定探討各個土地利用類型與赫氏角鷹出現頻度的關聯性。

2. 出現頻度與 NDVI 之關聯性分析

本研究使用近紅外光波段與紅光波段數值之差與這兩個波段數值之和的比值定義為 NDVI，其為植物生長狀態及植被空間分布密度的最佳指標。其計算公式為：

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}}$$

其中 ρ_{nir} 為近紅外光反射值， ρ_{red} 為紅光反射值，其值介於 -1.0 至 +1.0 間。NDVI 小於 0 的像元值通常為非植生的雲層、水域、道路和建築物等像元。大於 0 時，表示有植被覆蓋於地表，數值愈大表示綠色生物量之增加，並將 NDVI 分為 3 個等級，低於 0.3 以下為等級 1，介於 0.3-0.6 之間為等級 2，大於 0.6 以上是為等級 3。再萃取調查樣區之 NDVI 等級之屬性資料，並統計赫氏角鷹有無出現與 NDVI 等級之交叉表，以卡方檢定探討 NDVI 等級與赫氏角鷹出現頻度的關聯性。

結 果

一、人為干擾因子對赫氏角鷹出現頻度的影響

(一) 人口密度

本研究在 406 次的調查紀錄中，目擊赫氏角鷹紀錄有 148 次，占 36%；無赫氏角鷹紀錄有 258 次，占 64%。以卡方檢定探討各鄉鎮市人口密度與赫氏角鷹出現頻度的關聯性，所得結果得知赫氏角鷹的出現頻度與各鄉鎮市人口密度具有極顯著的關聯性($\chi^2 = 55.287, p < 0.01$)，進行事後檢定(posteriori comparison)，得知赫氏角鷹的有紀錄出現頻度與在人口密度低的鄉鎮市關聯性大於人口密度中、高的鄉鎮市(表 1)。

(二) 道路開發

由卡方檢定結果得知赫氏角鷹的出現與調查樣區至道路的距離有極顯著關聯性($\chi^2=43.285$, $p<0.01$) (表 2)。進行事後檢定，得知有赫氏角

鷹出現頻度依序為距離最遠的第 3 級(>4 km) 最高(59.6%)、第 2 級(39.5%)和距離最近的第 1 級(23.1%)。

表 1. 鄉鎮市人口密度等級與有無赫氏角鷹出現之關聯

Table 1. Relationships between occurrence frequencies of the mountain hawk eagle and human population densities

Human population density ^a	Hawk eagle		Total	χ^2 - value	Posteriori comparison	
	Presence	Absence			Presence	Absence
High (H)	14 (11.9%)	104 (88.1%)	118 (100.0%)	55.287**	L>M, H	H>M, L
Moderate (M)	34 (33.3%)	68 (66.7%)	102 (100.0%)			
Low (L)	100 (53.8%)	86 (46.2%)	186 (100.0%)			

^a High, >100 people/km²; Moderate, 20-100/km²; and Low, <20/km².
** $p<0.01$, $df = 2$.

表 2. 各調查樣區至道路環域等級與有無赫氏角鷹出現之關聯

Table 2. Relationships between occurrence frequencies of the mountain hawk eagle and road buffer

Road buffer ^a	Hawk eagle		Total	χ^2 - value	Posteriori comparison	
	Presence	Absence			Presence	Absence
1	50 (23.1%)	166 (76.9%)	216 (100.0%)	43.285**	3>1, 2	1>2, 3
2	30 (39.5%)	46 (60.5%)	76 (100.0%)			
3	68 (59.6%)	46 (40.4%)	114 (100.0%)			

^a 1, <2 km; 2, 2-4 km; 3, >4 km.
** $p<0.01$, $df = 2$.

(三) 城鎮區開發

以卡方檢定統計結果(表 3)，得知赫氏角鷹的出現與調查樣區至開發城鎮的距離有極顯著關聯性($\chi^2 = 55.723$, $p<0.01$)。進行事後檢

定，得知有赫氏角鷹出現的頻度，依序為距離最遠的第 3 級最高(54.0%)、第 2 級(45.8%)和距離最近的第 1 級(8.6%)。

表 3. 各調查樣區至開發城鎮環域等級與有無赫氏角鷹出現交叉表

Table 3. Relationships between occurrence frequencies of the mountain hawk eagle and urban buffer

Urban buffer ^a	Hawk eagle		Total	χ^2 - value	Posteriori comparison	
	Presence	Absence			Presence	Absence
1	10 (8.6%)	106 (91.4%)	116 (100.0%)	55.723 **	3, 2>1	1>2, 3
2	104 (45.8%)	123 (54.2%)	227 (100.0%)			
3	34 (54.0%)	29 (46.0%)	63 (100.0%)			

^a 1, <5 km; 2, 5-10 km; 3, >10 km.
** $p<0.01$, $df = 2$.

二、地形因子對赫氏角鷹出現率的影響

(一) 海拔高度

本研究調查地區的海拔高程係將所收到的GPS座標串入數值地形模型。有目擊區域海拔最低在達仁鄉的加羅板(115m)，最高位於向陽(2,419m)。以卡方檢定探討赫氏角鷹有無出現的頻度與調查樣區的海拔高度的關聯性，所得

的結果顯示，赫氏角鷹的出現頻度與海拔高程有極顯著關聯性($\chi^2 = 96.640, p < 0.01$)，並進行事後檢定，結果顯示赫氏角鷹出現頻度最高的海拔範圍為1,501-2,000m (71.0%)及1,001-1,500m (68.5%)，出現頻度最低的海拔為<500m (11.6%)；相對之下，無赫氏角鷹出現頻度最高的海拔範圍500m 以下(88.4%) (表 4)。

表 4. 各調查樣區海拔高度與有無赫氏角鷹出現交叉表

Table 4. Relationships between occurrence frequencies of the mountain hawk eagle and elevation

Elevation ^a	Hawk eagle		Total	χ^2 - value	Posteriori comparison	
	Presence	Absence			Presence	Absence
1	17 (11.6%)	129 (88.4%)	146 (100.0%)	96.640 **	3, 4>1, 2, 5	1>2, 3, 4, 5
2	43 (34.7%)	81 (65.3%)	124 (100.0%)			
3	63 (68.5%)	29 (31.5%)	92 (100.0%)			
4	22 (71.0%)	9 (29.0%)	31 (100.0%)			
5	3 (23.1%)	10 (76.9%)	13 (100.0%)			

^a 1, <500m; 2, 501-1,000m; 3, 1,001-1,500m; 4, 1,501-2,000m; 5, >2,000m.

** $p < 0.01$, $df = 4$.

(二) 坡度

以卡方檢定所得的結果顯示赫氏角鷹出現的頻度與調查樣區的坡度有極顯著關聯性

($\chi^2 = 67.951, p < 0.01$) (表 5)。結果發現赫氏角鷹出現頻度最高的坡度為4級坡(55.6%)和5級坡(54.9%)，最低為1級坡(1.9%)。

表 5. 赫氏角鷹出現頻度與坡度交叉表

Table 5. Relationships between occurrence frequencies of the mountain hawk eagle and slope of lands

Slope ^a	Hawk eagle		Total	χ^2 - value	Posteriori comparison	
	Presence	Absence			Presence	Absence
1	1 (1.9%)	52 (98.1%)	53 (100.0%)	61.951 **	5, 4>1, 2, 3, 6	1>2, 3, 4, 5
2	9 (20.0%)	36 (80.0%)	45 (100.0%)			
3	37 (30.3%)	85 (69.7%)	122 (100.0%)			
4	70 (55.6%)	56 (44.4%)	126 (100.0%)			
5	28 (54.9%)	23 (45.1%)	51 (100.0%)			
6	3 (33.3%)	6 (66.7%)	9 (100.0%)			

^a 1, <5°; 2, 5-15°; 3, 15-25°; 4, 25-35°; 5, 35-45°; 6, >45°.

** $p < 0.01$, $df = 5$.

三、土地利用類型及植生量對赫氏角鷹出現率之影響

(一) 土地利用類型及 NDVI 空間分布之建立

本研究利用監督性分類之最大概似法(maximum likelihood)，針對台東縣福衛二號衛星影像進行土地利用類型分類，依本研究之研究目的，共選取四類土地利用類型，分別是森林(3)、草生農耕地(2)、裸露建成地(1)及水體

(0)。訓練樣區之選取以地面現場調查與航空照片為地真資料，每種類型選取 40-60 個訓練樣區。影像分類完成後，每個類別至少選取 60 個檢核點進行精確度評估，並計算出每個類別的生產者精度與使用者精度，所得總體精確度達 83.83%，kappa 值為 0.7846 (表 6)。此外本研究以 Erdas Imagine 軟體計算台東縣 NDVI 之分布，做為關聯分析之依據。

表 6. 福衛二號衛星影像監督性分類誤差矩陣表

Table 6. The matrix of errors between the ground truth and supervised classification of Formosat-II satellite images

		Ground truth					User's accuracy
		Grass	Forest	Water	Urban	Total	
Supervised classification	Grass	48	16	0	2	66	72.73%
	Forest	6	59	0	0	65	90.77%
	Water	3	2	59	1	65	90.77%
	Urban	8	4	1	57	70	81.43%
	Total	65	81	60	60	266	
Producer's accuracy		73.85%	72.84%	98.33%	95.00%		
Overall accuracy		83.83%					
Kappa		0.7846					

(二) 土地利用類型

本研究以卡方檢定所得的結果顯示土地利用與赫氏角鷹的出現頻度有極顯著關聯性($\chi^2 = 44.477, p < 0.01$) (表 7)。結果發現赫氏角鷹有出現的頻度以森林(44.10%)和草生農耕地(35.5%)為最高，得知赫氏角鷹在森林類型的環境有最高的出現頻度。

(三) 植生指標

本研究以卡方檢定所得的結果顯示植生指標因子與赫氏角鷹的出現頻度有極顯著關聯性($\chi^2 = 26.318, p < 0.01$) (表 8)。赫氏角鷹出現在 NDVI 等級高 (45.3%)與中 (34.10%)之樣區，而在低植生指標樣區的次數為 0。

表 7. 赫氏角鷹出現頻度與土地利用類型交叉表

Table 7. Relationships between occurrence frequencies of the mountain hawk eagle and vegetation-landuse types

Vegetation-landuse types ^a	Hawk eagle		Total	χ^2 - value	Posteriori comparison	
	Presence	Absence			Presence	Absence
1	0 (0.0%)	64 (100.0%)	64 (100.0%)	44.477**	3>1, 2	1>2, 3
2	11 (35.5%)	20 (64.5%)	31 (100.0%)			
3	137 (44.1%)	174 (55.9%)	311 (100.0%)			

^a 1, forest; 2, grass; 3, urban.

** $p < 0.01, df = 2$.

表 8. 赫氏角鷹出現頻度與植生指標等級交叉表

Table 8. Relationships between occurrence frequencies of the mountain hawk eagle and NDVI

NDVI ^a	Hawk eagle		Total	χ^2 - value	Posteriori comparison	
	Presence	Absence			Presence	Absence
Low	0 (0.0%)	34 (100.0%)	34 (100.0%)	26.318**		1>2, 3
Moderate	62 (34.1%)	120 (65.9%)	182 (100.0%)			
High	86 (45.3%)	104 (54.7%)	190 (100.0%)			

^a Low, <0.3; moderate, 0.3-0.6; high, >0.6.

** $p < 0.01$, $df = 2$.

討 論

一、人為干擾與開發因子是否影響赫氏角鷹的出現頻度

由飯田及森本(1995)的研究得知，赫氏角鷹的棲息環境以森林為主，且築巢環境也適合小型動物棲息以做為食物來源，加上人類所干擾不到的殘留天然林。同時赫氏角鷹在繁殖時期，也會因為在繁殖棲地附近人類的活動，而導致繁殖行為的中斷(藤田 1996)。Endo (2003)指出，蒼鷹(*Accipter gentils*)繁殖失敗的原因主要有人類侵擾、盜獵、被掠食及巢樹毀壞等因素。陳等(2001)認為，人為干擾對地景直接的影響，是增加地景類型的多樣性，地景多樣性增加也表示地景系統的不安定較大，相對的地景生態系統較不穩定。葛與李(2003)指出，人類活動的干擾會造成地表植被及地景的改變，進而影響鳥類的分布範圍，如平地及低海拔的鳥類可能因為開發，而造成其鳥種豐富度的降低。徐等(1998)指出，中國野生綠孔雀(*Pavo muticus imperator*)瀕危的主要原因是人類活動的破壞和干擾所造成的適宜棲息地的喪失或因農業活動所造成的人為捕殺。人類活動所帶來的干擾，包括交通、農牧及土地開發及利用等，對赫氏角鷹產生極大的影響。

道路開發不但對於地棲動物的棲息會產生影響，如美洲小灰狐(*Vulpes macrotis mutica*)，造成族群遷移障礙(Gerrard *et al.* 2001)，且對

於非生物環境亦產生衝擊，直接對於棲地環境造成影響，將使得完整的大嵌塊體被切割成為許多小嵌塊體(鄭等 2001)，造成棲地破碎化(fragmentation)。而棲地減少與破碎化正是許多物種瀕臨絕滅的主要原因(Harris 1984; Ehrlich 1986)。Mörberg 及 Wallentinus (2000)針對瀕危物種進行研究，指出大部分被列在紅皮書(red-list)上的森林鳥種，都需要大且有適當連結的棲地，例如鵑頭鷹(*Pernis apivorus*)需要大片的落葉森林；黑啄木鳥(*Dryocopus martius*)需要大範圍、成熟的針葉林，這些鳥類都需要有成熟林相的大片棲地，所以一旦森林面積縮小，這些有著棲地面積以及植群型需求的鳥類會最先受到生存威脅，而地景破碎後造成棲地間距離的遠近，對於生物的遷移行為會造成影響，在某些地區的零碎棲地間即使僅有短距離分隔，其生物族群的豐富度和物種的豐富度仍會有明顯的降低(Stouffer and Bierregaard 1995)，而需要多樣棲地形態的鳥種，棲地間的不連續會使牠們不易在棲地間移動。破碎的嵌塊體愈小，族群的密度降低程度愈大，滅絕的速率愈大(趙等 2003)，雖沒有直接證據指出道路的開發危害到赫氏角鷹的生存，但道路開發對森林而言的直接影響是森林的破碎化，這將使得外部干擾對於森林內部生態的影響增大，對於被認為是森林猛禽的赫氏角鷹有相當程度的影響。

Setiadi *et al.* (2000) 指出對於與赫氏角鷹

同屬之爪哇鷹鵑(*Spizaetus bartelsi*)而言, 砍伐森林是威脅族群量的主要干擾原因之一, 包含非法砍伐、擴張農業種植用地、公共建設與觀光旅遊的發展等。藤田(1996)認為, 森林的砍伐、觀光與開發等行爲, 將使得赫氏角鷹繁殖築巢棲地周邊環境的惡化。鳥類生物多樣性最大的威脅之一, 是來自於人類對於自然棲息地永無休止的入侵, 將土地占爲己有以供建築、工業和農牧等用途(劉等 1997)。

本研究結果指出赫氏角鷹出現頻度隨人口密度上升而下降, 最高爲低密度人口之鄉鎮, 最低爲高密度人口之鄉鎮, 符合前人研究有關人類干擾因素對赫氏角鷹會產生嚴重威脅之論點。距離開發城鎮越近, 赫氏角鷹的出現頻度越低, 顯示赫氏角鷹出現頻度, 明顯受到環境開發的因子影響, 結果可說明赫氏角鷹對人爲干擾相當敏感, 而開發確實對赫氏角鷹有不利之影響。

二、地形地貌因子對赫氏角鷹出現頻度的影響

(一) 海拔高度是否影響赫氏角鷹的出現頻度

依據島嶼生物地理學說(island biogeography theory)的論點(MacArthur and Wilson 1967), 島嶼與大陸的距離越大, 遷入率越小; 物種的豐富度與島嶼面積有關, 越大的島嶼, 物種豐富度越高, 反之亦然。因此海拔較高地區相較於海拔較低之地區有較小的面積且有較大的地理隔離(isolation), 其物種豐富度一般被認爲較低。許等(2004)研究台灣南部地區的鳥種組成與海拔分布, 結果發現所記錄到的平均鳥種數均隨海拔上升而呈峰形分布, 而且均以 1,500-1,999m 海拔區間所記錄的鳥種數爲最高。葛與李(2003)指出, 台灣北部繁殖鳥類之海拔分布型態, 在平地至海拔高度 1,000m, 鳥種數沿海拔有線性遞增的趨勢, 但在海拔 1,000-2,000m 間達到高峰, 而往海拔 2,000m 以上則遞減, 呈現峰形分布。

海拔梯度的變化, 會使得氣溫及降水量等

環境因子的改變, 進而影響到植被及動物的分布(Terborgh 1971; Su 1984)。就台灣山區植群生態而言, 海拔因子是影響植群變異的主要環境因子(蘇 1987)。鹿(1991)指出, 北大武山自然保護區植群的分化最主要是受海拔梯度的影響, 其直接影響因子爲溫度, 其餘的影響因子爲坡向、全天空空域、直射光空域、地形位置及含石率。吳(1997)指出, 沙里仙地區植群社會之空間分布主要受海拔高、坡度、水分梯度及直射光空域等地理環境因子之影響。

本研究中赫氏角鷹出現頻度最高的海拔範圍是海拔 1,001-2,000m, 就台灣山區植群生態而言, 海拔因子是影響植群變異的主要環境因子(蘇 1987)。而台東縣原生植群在此海拔範圍包含有針闊葉混合林與常綠闊葉林(包含櫟林、楠櫟林帶與榕楠林帶), 次生植群主要有松林(*Pinus* spp.)與台灣赤楊(*Alnus formosana*), 上述植群帶仍可能爲赫氏角鷹分布出現頻度較高之植群帶。另外在海拔 1,000m 以下並非完全沒有赫氏角鷹的出現紀錄, 故分布於 600m 以下的榕楠林帶亦屬赫氏角鷹可能分布之植群。但本研究並未直接記錄赫氏角鷹在森林植群的直接棲地利用行爲如築巢或覓食等, 因此只能間接指出赫氏角鷹可能分布之植群帶。

(二) 坡度爲何影響赫氏角鷹的出現頻度

國內對山坡地管制的條例中明定, 坡度大於 2.25°之土地, 其使用應受相關規定之限制。內政部在非都市土地開發審議作業規範第 16 條規定, 基地內之原始地形平均坡度在 18°以上之地區, 其面積之 80% 以上土地應維持原始地形地貌, 且爲不可開發區; 平均坡度 13.5-18°之地區, 不得作爲建築基地; 且第 18 條規定坡度陡峭地區, 即坡度在 18°以上之地區應優先列爲保育區。張(2004)針對坡度的開發利用情形也指出, 在 13.5°上下的山坡, 一般爲深度風化層, 山坡相對較爲穩定, 故常被開發利用; 而坡度大於 45°以上爲容易岩石崩落的極危險邊坡。日本赫氏角鷹的棲息環境被認爲是

在平均坡度 40° 以上的急陡坡面且複雜地形的地方(飯田及森本 1995)。本研究中赫氏角鷹出現頻度最高的坡度在 25-45° 間，無出現的趨勢以 1 級坡(0-5°)與 2 級坡(5-15°)的頻度最高，為現今法令規範容許開發之坡度範圍內。坡度對於赫氏角鷹出現頻度的影響，可能來自於開發因素，在可供開發利用之坡度地域，赫氏角鷹出現頻度小，也間接證實了開發對於赫氏角鷹有不利的影響。

三、植群與土地利用環境因子是否影響赫氏角鷹的出現頻度

植群對於鳥類群聚結構而言，是影響其變異的主要因素之一(許等 1997)。Ferguson-Lees and Christie (2001)認為，赫氏角鷹的棲息環境是原始常綠林或混合落葉林地，也會出現在次生林甚至在平原之林地。飯田及森本(1995)指出，關於赫氏角鷹的棲息環境，有廣大範圍且地形較為複雜的森林林地尤佳。山崎(1996)認為，主要棲息在東南亞熱帶森林的赫氏角鷹，幅度較寬的翅膀適合在空中迴轉和俯衝，有利牠在森林內部的飛行。高(2001)指出，本島同亞種的赫氏角鷹在中國大陸的分布情形是屬於森林的鳥類，在雲南多分布於海拔 2,000-2,600m 的高山森林中。本研究在所有有赫氏角鷹出現紀錄的植群土地利用類型中，統計結果以森林為最顯著。

Setiadi *et al.* (2000)指出，爪哇鷹鵬的主要棲地為天然的熱帶雨林，但野外調查中也在其他的棲地類型如松樹林、農耕地、茶園與合歡樹(*Calliandra* spp.)林中發現，但仍以森林為主要棲地。Thiollay 及 Rahman (2002)研究印尼 Sulawesi 的猛禽時指出在幾種森林猛禽中，蘇拉鷹鵬(*Spizaetus lanceolatus*)的數量隨森林面積增加而增加，在大面積連續的原始林中可達最大量，且容易受到森林破碎化和人為干擾的傷害。

森林對於許多鳥類尤其是猛禽之棲地使用

相當重要，一旦森林面積縮減，這些鳥類將大受威脅(Schmiegelow *et al.* 1997; Mörberg and Wallentinus 2000)。本研究赫氏角鷹出現頻度於統計上在森林類型達極顯著關聯性，符合赫氏角鷹為森林猛禽的論點，但值得注意的是，在草生農耕地類型的出現頻度(35.5%)雖未達統計上的極顯著關聯性，但與森林類型(44.1%)二者差異不大。這或許可以說明就森林棲地破碎化而言，破碎嵌塊體不同的基質(matrix)，可能對赫氏角鷹出現頻度有不同之影響，顯然基質為草生農耕地的環境更勝於裸露建成地。但值得注意的是 Forman (1995)的觀點，即破碎化嵌塊體的小棲地雖然有它的優點，但僅能視為大面積棲地的輔助，大面積棲地是無法被取代的。此結果和 Setiadi *et al.* (2000)對蘇拉鷹鵬的調查結果相同，我們或許可以在環境類型是草生地或農耕地觀察到赫氏角鷹，但不可否認的是森林才是赫氏角鷹族群的最主要分布環境。

植生指標與植物分布密度呈線性關係，因此又可稱為生物量指標。Oindo *et al.* (2000)提出，鳥種的豐富度和植生指標有強烈的正相關。本研究中赫氏角鷹僅出現於中高植生指標之地區，有赫氏角鷹分布地區必定生存著足以供給牠們食物來源的小型動物，也表示這個地區的生態體系相對穩定。

結 論

本研究在 2004 年 1 月至 2006 年 12 月的 406 次猛禽調查中發現，赫氏角鷹的出現頻度在人為干擾因子中與人口密度、道路開發和城鎮區開發的環境因子有極顯著關聯性。在人口密度等級最高之地區，赫氏角鷹出現頻度最低，反之人口密度等級最低之地區，赫氏角鷹出現頻度最高；在與道路距離最近等級出現頻度最低，最遠等級為最高；在與城鎮開發最近等級出現頻度最低，在最遠等級達最高。赫氏

角鷹的出現頻度明顯受到人類干擾與開發因子所影響。

在地形地貌因子中，赫氏角鷹的出現頻度與海拔高及坡度皆有顯著關聯性。赫氏角鷹的出現頻度隨海拔上升呈峰形分布，在海拔 1,001-1,500m 和 1,501-2,000m 有最高的出現頻度，在 500m 以下的無出現頻度最高。赫氏角鷹在地形較為陡峭之處如坡度 25-35° 與 35-45° 之間有較高之出現頻度，在人為開發程度高的較為平坦地區如坡度 5° 以下的無出現頻度最高。

植群土地利用類型與植生指標大小與赫氏角鷹出現頻度有極顯著關聯性，在植群土地利用類型方面，森林類型環境出現頻度最高，故赫氏角鷹在森林類型環境有較高出現的趨勢，證實赫氏角鷹為森林猛禽的論述；在植生指標以中、高等級的地方有較高出現之頻度，在植生指標最低等級的調查樣區沒有赫氏角鷹出現紀錄。

謝 誌

本研究承蒙行政院農業委員會林務局台東林區管理處經費補助，感謝董士良主任、黃群策課長、黃志堅技正及莊家欣小姐在行政上的支持，讓研究工作得以順利進行。研究期間台東縣野鳥學會王克孝、林澤經及方敏慎三位前任及現任理事長率會中資深猛禽調查員協助野外調查工作，十分辛勞地收集每一筆野外調查資料，在此致上十二萬分的謝忱。

引用文獻

- 方偉宏。2005。台灣受脅鳥類圖鑑。貓頭鷹出版社。164 頁。
- 中華民國野鳥學會編譯。Johannes Erritzoe 原著。1997。華盛頓公約鳥類名錄鳥種鑑定手冊。中華民國野鳥學會。206 頁。
- 吳守從。1997。森林植群生態資訊建立之研究。國立台灣大學森林學研究所碩士論文。
- 何錦尚。2006。以地理資訊系統探討台東縣赫氏角鷹之空間分布。國立屏東科技大學森林研究所碩士論文。
- 沙謙中。1989。忽影悠鳴隱山林—玉山國家公園鳥類資源。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 林文宏。1992。台灣地區猛禽調查(I)。80 年度生態研究報告第 33 號。行政院農業委員會。
- 姚正得、許富雄。2004。保育類野生動物圖鑑鳥類篇。行政院農業委員會特有生物研究保育中心。第 77-205 頁。
- 高璋。2001。中國隼形目鳥類生態學。科學出版社。
- 徐延恭、魏天昊、施春明。1998。中國野生綠孔雀瀕危原因及保護對策。第三屆海峽兩岸鳥類學術研討會論文集。中央研究院等主辦。台北：台灣大學。第 111-118 頁。
- 許皓捷、李培芬、許嘉恩。1997。台灣中部海拔山區鳥類群聚與景觀之關係。第一屆鳥類研討會論文集。中華民國野鳥學會主辦。台北：台灣大學。第 27-145 頁。
- 許維樞。1995。中國猛禽鷹隼類。中國林業出版社。
- 許富雄、姚正得、林瑞興、楊吉宗、賴肅如。2004。台灣南部地區的鳥種組成與海拔分布。特有生物研究 6(2): 41-66。
- 陳朝圳。1993。地理資訊系統在森林經營管理上之應用—以自然保護區為例。國立中興大學森林研究所博士論文。
- 陳朝圳、陳正華、吳守從。2001。人為干擾對南仁山保護區地景之影響。林業研究季刊 23(2): 25-34。
- 張石角。2004。太魯閣國家公園大同、大禮聯外交通設施工程之工程地形和地質之調查分析與可行性評估。內政部營建署太魯閣國家公園管理處。

- 鹿兒陽。1991。北大武山針闊葉樹自然保護區植群生態之研究。國立台灣大學森林研究所碩士論文。
- 葛兆年、李培芬。2003。台灣北部繁殖鳥類之海拔分布型態。台灣林業科學 18(4): 349-361。
- 趙羿、賴明洲、薛怡珍。2003。景觀生態學。地景企業股份有限公司。
- 劉小如、張蕙芬、陳奇祿譯著。Diamond, A. W. 原著。1997。救救我們—從鳥類存亡看人類未來。中華民國自然生態保育協會。
- 鄭祈全、許立達、賴玉菁。2001。應用地理資訊系統監測森林地景變遷之研究。台灣林業科學 14(4): 493-507。
- 蘇鴻傑。1987。植群生態多變數分析法之研究(III): 降趨對應分析及相關分布序列法。中華林學季刊 20: 45-68。
- 山崎亨。1996。赫氏角鷹的棲息條件—威脅赫氏角鷹棲息之主要因素。日本赫氏角鷹生態研討會論文集第2回。廣島赫氏角鷹生態研究會主辦。廣島市，日本。第12-14頁。(in Japanese)
- 飯田知彥、森本榮。1995。赫氏角鷹的築巢地形與植生。日本赫氏角鷹生態研討會論文集第1回。草津市，日本。第5頁。(in Japanese)
- 藤田雅彥。1996。關於日本阻礙赫氏角鷹繁殖案例。日本赫氏角鷹生態研討會論文集第2回。廣島赫氏角鷹生態研究會主辦。廣島市，日本。第15-17頁。(in Japanese)
- Austin, G. E., C. J. Thomas, D. C. Houston and D. B. A. Thompson. 1996. Predicting the spatial distribution of buzzard *Buteo buteo* nesting areas using a geographical information system and remote sensing. *Journal of Applied Ecology* 33: 1541-1550.
- Bustamante, J. and J. Seoane. 2004. Predicting the distribution of four species of raptors (Aves: Accipitridae) in southern Spain: Statistical models work better than existing maps. *Journal of Biogeography* 31: 295-306.
- Ehrlich, P. R. 1986. The loss of diversity. pp. 21-27. *In*: E. O. Wilson (ed.). *Biodiversity*. National Academic Press, Washington.
- Endo, K. 2003. Breeding Performance of the Goshawk (*Accipiter gentilis*) in Central Japan over the Last 10 Year. 3rd Symposium on Asian Raptor. Kenting, Taiwan. p. 34.
- Ferguson-Lees, J. and D. A. Christie. 2001. *Raptors of the World*. Houghton Mifflin Company Press, Boston. 992 pp.
- Forman, R. T. T. 1995. *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge University Press, Cambridge. 632 pp.
- Gerrard, R., P. Stine, R. Church and M. Gilpin. 2001. Habitat evaluation using GIS-A case study applied to the San Joaquin Kit Fox. *Landscape and Urban Planning* 52: 239-255.
- Guisan, A., J. P. Theurillat and F. Kienast. 1998. Predicting the potential distribution of plant species in an alpine environment. *Journal of Vegetation Science* 9: 65-74.
- Harris, L. D. 1984. *The Fragmented Forest*. The University of Chicago Press, Chicago. 230 pp.
- He, H. S., D. J. Mladenoff, V. C. Radeloff and T. R. Crow. 1998. Integration of GIS data and classified satellite imagery for regional forest assessment. *Ecological Applications* 8: 1072-1083.
- Ichinose, H. 2003. The Daily Activity Pattern and the Home Range of Japanese Mountain Hawk Eagle Male. 3rd Symposium on Asian Raptor. Kenting, Taiwan. p. 58.
- MacArthur, R. H. and E. O. Wilson. 1967. *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press, Princeton. 224 pp.

- Mörberg, U. and H. G. Wallentinus. 2000. Red-listed forest bird species in an urban environment—assessment of green space corridors. *Landscape and Urban Planning* 50: 215-226.
- Newton, I. 1979. *Population Ecology of Raptors*. T & AD Poyser. London. P. 38-149.
- Oindo, B., R. A. D. By and A. K. Skidmore. 2000. Interannual variability of NDVI and bird species diversity in Kenya. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2: 172-180.
- Schmiegelow, F. K. A., C. S. Machtans and S. J. Hannon. 1997. Are boreal birds resilient to forest fragmentation? An experimental study of short-term community responses. *Ecology* 78: 1914-1932.
- Sergio, F., L. Marchesi and P. Pedrini. 2004. Integrating individual habitat choices and regional distribution of a biodiversity indicator and top predator. *Journal of Biogeography* 31: 619-628.
- Setiadi, A. P., Z. Raknman, M. Muchtar and W. Raharjaningtrah. 2000. Final report of Status, Distribution, Population, Ecology and Conservation Javan Hawk-eagle *Spizaetus bartelsi*, Stresemann 1924 on southern part of west Java. Gibbon Foundation, Bandung. 43 pp.
- Stouffer, P. C. and R. O. Bierregaard. 1995. Use of Amazonian forest fragments by understory insectivorous birds. *Ecology* 76: 2429-2445.
- Su, H. J. 1984. Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan (II): Altitudinal vegetation zones in relation to temperature gradient. *Quarterly Journal of Chinese Forestry* 17: 57-73.
- Terborgh, J. 1971. Distribution on environmental gradients: Theory and a preliminary interpretation of distributional patterns in the avifauna of the Cordillera Vilcabamba. *Ecology* 52: 23-40.
- Thiollay, J. M. and Z. Rahman. 2002. The raptor community of central Sulawesi: Habitat selection and conservation status. *Biological Conservation* 107: 111-122.
- Whitfield, D. P., D. R. A. Mcleod, A. H. Fielding, R. A. Broad, R. J. Evans and P. F. Haworth. 2001. The effects of forestry on golden eagles on the island of Mull, western Scotland. *Journal of Applied Ecology* 38: 1208-1220.

