

研究報告

## 冠羽畫眉(*Yuhina brunneiceps*)族群密度之空間結構 及其與環境之關係

葛兆年<sup>1,3)</sup> 李培芬<sup>2)</sup>

### 摘 要

冠羽畫眉為廣泛分布於台灣中至高海拔地區的特有種鳥類。為了解冠羽畫眉在空間及環境分布上的特性，本研究調查台灣北部141個樣點的冠羽畫眉族群密度，並蒐集各樣點的環境及空間變數。利用空間相關分析及空間迴歸分析等方法，了解冠羽畫眉族群密度在空間上的相關性及結構等特性，應用淨迴歸分析檢視空間結構與環境變數的關係，並分析環境變數對冠羽畫眉族群密度的影響。研究結果發現冠羽畫眉族群為叢聚分布，越靠近的樣點有越相似的族群密度。冠羽畫眉族群密度在空間上的結構可能為傾斜式的梯度型態。人口密度、網格最高海拔高度、寒冷月份(11~3月)總降雨量及自然度指標等4項為最重要環境變數，且其空間結構與大部份的冠羽畫眉族群密度空間結構共有，因此人口密度等4項環境變數可以對冠羽畫眉族群密度空間結構做良好的解釋。人口密度及自然度指標代表人類干擾，與冠羽畫眉族群密度有較密切關係。相對於環境機制，生物機制所可能產生的影響較小。

**關鍵詞：**空間結構、氣候、干擾、變異分割、冠羽畫眉。

葛兆年、李培芬。2005。冠羽畫眉(*Yuhina brunneiceps*)族群密度之空間結構及其與環境之關係。台灣林業科學20(4):283-92。

### Research paper

## Spatial Structure of Taiwan *Yuhina*'s (*Yuhina brunneiceps*) Population Density and Its Correlations to Environmental Variables

Chao-Nien Koh,<sup>1,3)</sup> Pei-Fen Lee<sup>2)</sup>

### 【 Summary 】

*Yuhina brunneiceps*, an endemic Taiwanese bird species, is commonly found in regions of mid to high elevations. In order to better understand the spatial and environmental characteristics

<sup>1)</sup> 行政院農業委員會林業試驗所森林保護組，10066台北市南海路53號 Division of Forest Protection, Taiwan Forestry Research Institute, 53 Nanhai Rd., Taipei 10066, Taiwan.

<sup>2)</sup> 國立台灣大學生態學及演化生物學研究所，10617台北市羅斯福路四段1號 Institute of Ecology and Evolutionary Biology, National Taiwan University, 1 Roosevelt Rd., Sec. 4, Taipei 10617, Taiwan.

<sup>3)</sup> 通訊作者 Corresponding author, e-mail:nien@tfri.gov.tw

2005年3月送審 2005年8月通過 Received March 2005, Accepted August 2005.

of its inhabitation, spatially distinctive populations were surveyed and examined from 141 sites in northern Taiwan. We analyzed the spatial correlation and structure of *Yuhina brunneiceps* population densities, and identified specific environmental variables important and attributable to the population. *Yuhina brunneiceps* populations were shown to have a clumped distribution. Moreover, a spatial correlogram revealed that the closer sites were to one another, the higher were the similarities of the densities themselves. A gradient profile was implied by this spatial structure. Of the environmental variables measured, the maximum elevation within  $1 \times 1$ -km grid, the total precipitation from November to March, the human population density, and a naturalness index were most important and commonly shared in the spatial structure. Interestingly, the latter 2 variables that are representative of human disturbance appeared to have stronger relations with the magnitude of the density than the other 2. By contrast, biological processes might be less influential in this aspect.

**Key words:** spatial structure, climate, disturbance, variance partitioning, *Yuhina brunneiceps*.

**Koh CN, Lee PF. 2005.** Spatial structure of Taiwan *Yuhina*'s (*Yuhina brunneiceps*) population density and its correlations to environmental variables. *Taiwan J For Sci* 20(4):283-92.

## 緒言

要了解大尺度的生物多樣性，一項非常關鍵的問題就是：生物族群在大尺度的地理範圍中，個體到底是怎麼分布的？我們知道大多數族群之個體分布不是均勻或隨機分布，而是叢聚分布(Molles 2002)，並且在空間上呈現出結構，此種空間結構可能來自於生物族群變數本身的自相關性(*autocorrelation*)，或者是受到對生物族群具有影響力的變數所具有的空間結構所影響，使得生物族群豐量產生空間結構(Legendre and Legendre 1998)。目前關於生物族群豐量在此種空間分布上的結構有何特性、空間分布與環境有何關聯、環境變遷對分布有何影響等問題，都是生物保育學者想多所了解的課題(Maurer 1994, Brown et al. 1995, 1996)，這些問題的解答對於大尺度的基因或物種層次的生物多樣性保育將有直接的貢獻。

冠羽畫眉為台灣特有種(Cibois et al. 2002)，廣泛分布於台灣中高海拔地區(Yen 1990, Koh and Lee 2003)，在台灣北部的繁殖鳥類中，是族群密度最高的鳥種(Huang 2001)，本研究選擇台灣北部地區的冠羽畫眉為研究對象，採一致的取樣及調查方法，對其生物豐量、其在空間上的變化型式，以及與環境的關係進行探討。本研究檢驗的項目有三：

(一)冠羽畫眉的族群密度是否具有空間相關性及

結構？並分析該結構的特性；

(二)冠羽畫眉族群密度的空間結構是否因環境而產生？

(三)冠羽畫眉族群密度與環境的相關性。

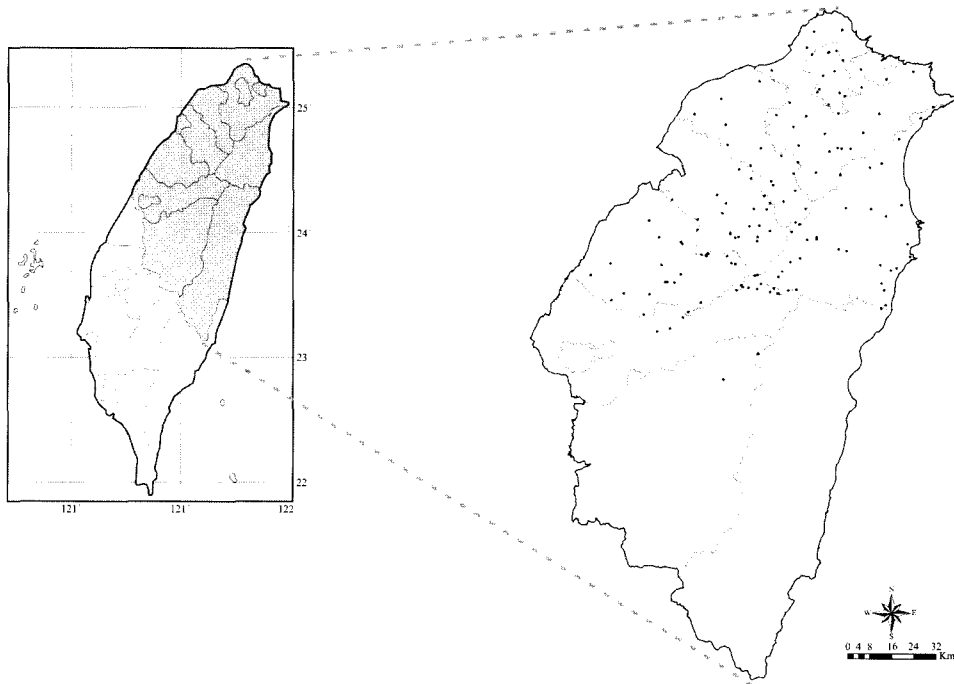
## 材料與方法

### 一、鳥類調查地區

本研究以台灣北部地區為調查範圍，主要包括北台灣七個縣市：台北縣市、基隆市、宜蘭縣、桃園縣、新竹縣、苗栗縣，整個研究區域海拔跨幅超過3,000 m，其中3,000 m以上之高山均位於本研究地區之南端，已由新竹、苗栗及宜蘭等縣橫跨至台中縣、花蓮縣與南投縣，故有部份調查地點延伸至台中縣、花蓮縣與南投縣北境。

### 二、鳥類調查樣點之選取設置

我們參考地理資訊系統之生態分區、海拔高度分布、植被分布、道路交通等分布狀況(Lee et al. 1997)，依照面積比例，盡可能均勻選擇調查樣點，共選取141個樣點(Fig. 1)。於每一樣點設一穿越線，沿線設置5~10個取樣站，取樣站之間至少相距150 m，共設置1,345個取樣站。調查時以全球衛星定位儀定位各取樣站



**Fig. 1. Map of the sampling locations in northern Taiwan using the TM2 coordinate system. Each dot represents a sampling site.**

並記錄該二度分帶座標值及海拔高度值。

### 三、鳥類調查方法

於2001、2002及2003年3至6月之鳥類繁殖季，採用不定半徑圓圈法(Reynolds et al. 1980)，至各調查點調查冠羽畫眉族群密度。調查只在天氣良好時進行，自日出至日出後3小時之間完成。每一樣點調查一次，每一取樣站停留6 min (Ding 1993)，依序記錄目擊或聽到的數量、距離(小於或大於50 m)及取樣站的海拔高度。

各樣點之冠羽畫眉族群密度以下列公式計算(Reynolds et al. 1980)：

$$D = \frac{n * 10000}{\pi * r^2 * C * p};$$

其中D：冠羽畫眉族群密度(隻數 $ha^{-1}$ )， $n$ ：特定基礎半徑內所記錄之總隻數， $r$ ：特定基礎半徑，在此半徑內大部分的鳥隻皆可察覺到，單位為m， $C$ ：調查次數， $p$ ：取樣站數目。

### 四、環境變數資料

採用的環境變數包括氣候及地景兩大類(Table 1)。除海拔高度為調查現場測量值，其餘所有資料均取自台灣地區生態與環境因子地理資訊資料庫(Lee et al. 1997)，其採 $1 \times 1$  km 網格式記錄資料，以各樣點所有取樣站之平均座標位置所在之網格式資料代表該樣點之環境資料。

將所有測量或蒐集到之環境變數對冠羽畫眉族群密度進行相關性檢測，對有顯著相關的變數檢測兩兩變數間的相關性，在相關係數 $> 0.7$ 的變數間，僅選取與冠羽畫眉族群密度相關性最高者，進入迴歸分析，以降低變數間的共線性。

### 五、空間相關分析

利用空間相關式(spatial correlogram)檢驗冠羽畫眉族群密度是否具有空間相關性(Legendre and Legendre 1998)，並尋找其空

**Table 1. Codes and definitions of environmental variables**

| Variable         | Definition                                                                                                            |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Climate</i>   |                                                                                                                       |
| T_MEAN           | Average of 12 months' mean temperature                                                                                |
| T_MIN            | Monthly mean temperature in January                                                                                   |
| T_MAX            | Monthly mean temperature in July                                                                                      |
| T_CV             | Coefficient of variation of 12 months' mean temperature                                                               |
| T_RANGE          | T_MAX - T_MIN                                                                                                         |
| Warmth           | Warmth index                                                                                                          |
| T_PC1            | 1st axis of PCA based on 12 months' mean temperature                                                                  |
| T_PC2            | 2nd axis of PCA based on 12 months' mean temperature                                                                  |
| T_PC3            | 3rd axis of PCA based on 12 months' mean temperature                                                                  |
| P_TOTAL          | Total annual precipitation                                                                                            |
| P_MEAN           | Mean monthly precipitation                                                                                            |
| P_CV             | Coefficient of variation of 12 monthly precipitation values                                                           |
| P_HOT            | Total precipitation from May to September                                                                             |
| P_COLD           | Total precipitation from November to March                                                                            |
| P_RATIO          | P_COLD / P_TOTAL                                                                                                      |
| P_WETH           | Total precipitation for the relatively humid period                                                                   |
| P_WETP           | Total precipitation for the relatively superhumid period                                                              |
| P_PC1            | 1st axis of PCA based on 12 monthly precipitations values                                                             |
| P_PC2            | 2nd axis of PCA based on 12 monthly precipitations values                                                             |
| P_PC3            | 3rd axis of PCA based on 12 monthly precipitations values                                                             |
| <i>Landscape</i> |                                                                                                                       |
| ELEV             | Mean elevation of bird survey stations in a site                                                                      |
| ELEVMEAN         | Mean elevation within 1 × 1-km grid                                                                                   |
| ELEVMIN          | Minimum elevation within 1 × 1-km grid                                                                                |
| ELEVMAX          | Maximum elevation within 1 × 1-km grid                                                                                |
| ELEV_CV          | Coefficient of variation of elevation within 1 × 1-km grid                                                            |
| SLOPE            | Estimated from ELEVMEAN by IDRISI                                                                                     |
| ASPECT           | Estimated from ELEVMEAN by IDRISI                                                                                     |
| HUMIDITY         | Relative humidity based on 16 categorized aspects                                                                     |
| NATURALNESS      | Mean naturalness index within 1 × 1-km grid. Ten classes of naturalness indices were based on land use or land cover. |
| URBAN            | Urbanization index base on ratio of 2nd and 3rd level business population to 1st to 3rd level business population     |
| POPN             | Population density, no. km <sup>-2</sup>                                                                              |
| D2_RIVER         | Shortest distance to a river                                                                                          |
| D2_SEA           | Shortest distance to a sea                                                                                            |
| D2_3000          | Shortest distance to areas at 3000 m elevation and higher                                                             |
| D2_ROAD1         | Shortest distance to major roads of national or provincial level                                                      |
| D2_ROAD2         | Shortest distance to major roads of national or county level                                                          |
| D2_CITY          | Shortest distance to a major city                                                                                     |

間結構的特性。空間相關式是由不同距離的 Moran's I 空間相關係數構成。我們將資料距離分為 10 段，計算得 10 項 Moran's I 空間相關係數，若其中至少一項 Moran's I 空間相關係數有顯著性 (Bonferroni-corrected 顯著水準  $\alpha/10$ )，即表示整項空間相關式有顯著性 (顯著水準  $\alpha$ ) (Bonferroni correction for multiple comparisons)。我們以 R Package 4.0d9 (Casgrain and Legendre 2004) 計算經對數轉換的冠羽畫眉族群密度之 Moran's I 空間相關係數，並建立空間相關式。

#### 六、空間迴歸分析

冠羽畫眉族群密度經對數轉換，其空間結構可由趨勢表面分析 (trend surface analysis) 求得：將冠羽畫眉族群密度調查點的地理座標 (X 及 Y) 對其族群密度進行迴歸分析，首先 X 及 Y 座標值分別減去其平均值，轉換後之 X 及 Y 座標值可降低多次式間的共線性 (collinearity)，但並不會因此改變其迴歸式之建立。Borcard et al. (1992) 建議採用 3 次方以內的 X 及 Y 座標變數，即可以模擬出資料中所具有的區塊 (patch) 或孔隙 (gap) 等較複雜的空間型態。3 次方以內的 X 及 Y 座標變數對物種密度的趨勢表面迴歸式 (trend surface regression) 如下：

$$f(X, Y) = b_0 + b_1X + b_2Y + b_3X^2 + b_4XY + b_5Y^2 + b_6X^3 + b_7X^2Y + b_8XY^2 + b_9Y^3;$$

其次以向後 (backward) 的迴歸方式刪除不顯著的變數，建立新迴歸模式，即為冠羽畫眉族群密度在空間中的迴歸模式。此迴歸模式的決定係數 (coefficient of determination) 為  $r_i^2$ 。

#### 七、淨迴歸分析 (Partial regression analysis)

Borcard et al. (1992) 及 Legendre (1993) 以淨迴歸分析的方式將空間結構與環境變數對生物變數的影響切割成 4 部份，分別為：(1) 可以環境變數解釋，此部份變異不具有空間結構，(2) 可以環境變數解釋，此部份變異與空間變數具有共同的空間結構，(3) 可以空間變數解釋，此部份變異未與環境變數有共同的空間結構，(4) 無法以環境或空間變數解釋的變異；此種劃分

有助於釐清環境變數中的空間結構及非空間結構部份，以及確實探討環境變數與生物變數的關係。因此我們在建立環境-物種密度的迴歸模式時，採用淨迴歸分析方法，以將空間效應納入考量中，該方法分為三步驟如下：

步驟一：首先建立 3 次方以內的 X 及 Y 座標變數對冠羽畫眉族群密度的空間迴歸模式，如前一項空間迴歸分析所述。

步驟二：建立所有環境變數對冠羽畫眉族群密度的迴歸模式，繼之以向後迴歸刪除不顯著變數，建立環境迴歸模式，此迴歸模式的決定係數為  $r_e^2$ 。

步驟三：將步驟一的空間迴歸模式中的座標變數及步驟二的环境迴歸模式中的環境變數合併，作為冠羽畫眉族群密度全迴歸模式 (full model) 中的應變數，此迴歸模式的決定係數為  $r_j^2$ 。

以  $r_j^2 - r_i^2$  所得之值 ( $r_c^2$ ) 即為空間結構被去除後，純粹的環境變數對冠羽畫眉族群密度變異的解釋力。

以  $r_j^2 - r_e^2$  所得之值 ( $r_s^2$ ) 即為環境影響力被去除後，冠羽畫眉族群密度本身所具有的空間結構對冠羽畫眉族群密度變異的解釋力。

以  $r_j^2 - (r_c^2 + r_s^2)$  所得之值 ( $r_u^2$ ) 即為環境變數與冠羽畫眉族群密度所共有的空間結構，對冠羽畫眉族群密度變異的解釋力。

以  $1 - r_j^2$  則為全迴歸模式未能預測的冠羽畫眉族群密度變異。所有迴歸分析以 SYSTAT ver. 9 進行。

## 結果

所有樣點的冠羽畫眉族群密度之頻率分布圖如 Fig. 2，呈現強烈歪斜：密度為 0 的樣點最多，佔 57.4%，密度  $< 10$  individuals  $\text{ha}^{-1}$  的樣點佔 89.4%。冠羽畫眉族群密度空間相關式 (Fig. 3) 具有顯著性 ( $p < 0.01$ )，樣點相距 45 km 以內時，樣點距離越近，Moran's I 值越高。冠羽畫眉族群密度在空間上的趨勢表面迴歸式具有顯著性 ( $p < 0.001$ , Table 2)。

將所有測量或蒐集到之環境變數對冠羽畫

眉族群密度進行相關性檢測，有顯著相關者共有16項：海拔高度、網格內最高海拔高度、網格內最低海拔高度、海拔高度變異係數、年均

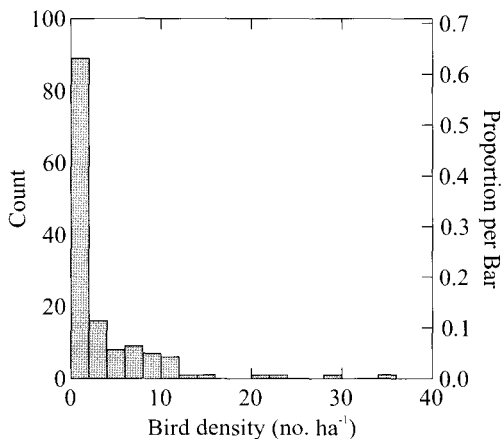


Fig. 2. Histogram of *Yuhina brunneiceps* densities of 141 survey sites in northern Taiwan.

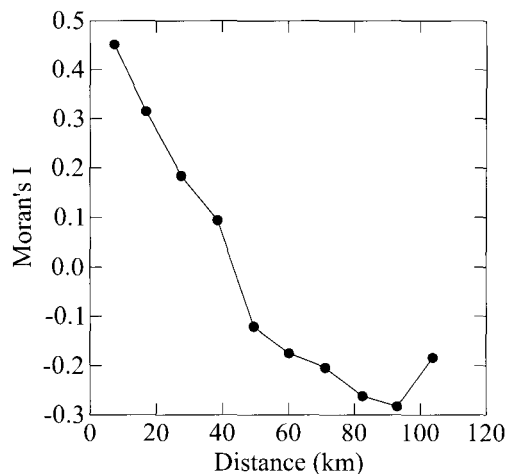


Fig. 3. Spatial correlogram for log-transformed *Yuhina brunneiceps* densities ( $p < 0.01$ ). Black dots represent significant values of Moran's I ( $p < 0.001$ ). The overall correlogram significance was tested using Bonferroni's correction for multiple comparisons.

Table 2. Corresponding variables, coefficients of determination, and  $p$  values for the 3 models in the study

| Model             | Independent variables | Coefficient of determination | $p$     |
|-------------------|-----------------------|------------------------------|---------|
| Space             | Y                     | $r_1^2 = 0.559$              | < 0.001 |
|                   | $X^2$                 |                              |         |
|                   | XY                    |                              |         |
|                   | $Y^2$                 |                              |         |
|                   | $X^3$                 |                              |         |
|                   | $X^2Y$                |                              |         |
|                   | $Y^3$                 |                              |         |
|                   |                       |                              |         |
| Environment       | POP_N                 | $r_2^2 = 0.597$              | < 0.001 |
|                   | ELEV_MAX              |                              |         |
|                   | P_COLD                |                              |         |
|                   | NATURALNESS           |                              |         |
| Space+Environment | Y                     | $r_3^2 = 0.620$              | < 0.001 |
|                   | $X^2$                 |                              |         |
|                   | XY                    |                              |         |
|                   | $Y^2$                 |                              |         |
|                   | $X^3$                 |                              |         |
|                   | $X^2Y$                |                              |         |
|                   | $Y^3$                 |                              |         |
|                   | POP_N                 |                              |         |
|                   | ELEV_MAX              |                              |         |
|                   | P_COLD                |                              |         |
|                   | NATURALNESS           |                              |         |
|                   |                       |                              |         |



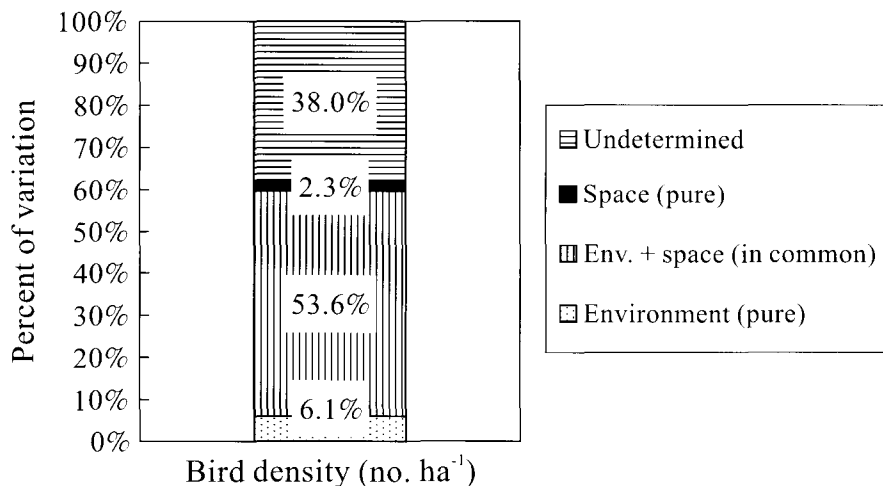


Fig. 4. Variation partitioning of *Yuhina brunneiceps* densities.

溫、最高月均溫、月均溫主成分分析第一軸、溫量指數、溫暖月份(5~9月)總降雨量、寒冷月份(11~3月)總降雨量、人口密度、自然度指標、都市化程度、到達海拔3,000 m之最近距離、到達主要城市之最近距離、到達海岸線之最近距離等變數，故擬以該等變數對冠羽畫眉族群密度進行迴歸分析。相關係數 $> 0.7$ 者有兩群：一群為海拔高度、網格內最高海拔高度、網格內最低海拔高度、海拔高度變異係數、年均溫、最高月均溫、月均溫主成分分析第一軸、溫量指數，僅選取與冠羽畫眉族群密度相關性最高的網格內最高海拔高度，進入迴歸分析；另一群為都市化程度、到達海拔3,000 m之最近距離、到達主要城市之最近距離、到達海岸線之最近距離等，選取與冠羽畫眉族群密度相關性最高的都市化程度，進入迴歸分析。其餘環境變數如溫暖月份(5~9月)總降雨量、寒冷月份(11~3月)總降雨量、人口密度、自然度指標等，與其他任何變數之相關性皆 $< 0.7$ ，故皆進入迴歸分析。

迴歸分析的結果：對冠羽畫眉族群密度之變異有顯著影響的環境變數為人口密度、網格內最高海拔高度、寒季總降雨量及自然度指標，可以解釋59.7%的變異(Table 2)。在空間變數方面，對冠羽畫眉族群密度有顯著影響的變

項為 $Y$ 、 $X^2$ 、 $XY$ 、 $Y^2$ 、 $X^3$ 、 $X^2Y$ 、 $Y^3$ ，可以解釋55.9%的變異。將環境變數及空間變數皆納入冠羽畫眉族群密度的迴歸分析中，則可以解釋62.0%的變異。

淨迴歸分析的結果：純粹環境變數之變異為6.1%，環境變數及空間變數共有之變異為53.6%，純粹空間變數之變異為2.3%，無法解釋的變異有38.0% (Fig. 4)。

## 討論

冠羽畫眉族群密度之頻率分布圖呈現出非常強烈的歪斜，密度為0的頻率最高，密度0以上則隨著密度升高，頻率逐漸下降，亦即在大部份樣點中，冠羽畫眉的族群密度很低，相當少的樣點中有較高的族群密度，此種個體分布集中在少數熱點的叢聚分布型式，與許多種內豐量分布研究結果相符(Root 1988, Brown et al. 1995)。從環境變數及空間變數對冠羽畫眉族群密度的淨迴歸分析中，我們發現空間變數對冠羽畫眉族群密度變異的解釋能力達55.9%，亦證明冠羽畫眉族群密度確實具有空間結構。

冠羽畫眉族群密度的空間相關式顯示相距在45 km以內的樣點，彼此間有顯著的正向空間相關性，代表在此距離以內，冠羽畫眉族群

密度在越靠近的樣點即越相近。Legendre and Legendre (1998)經由模擬各種分布類型的空間相關式，發現如本研究這種隨著樣點相對距離拉長，測量變數之相關性一直下降的空間相關式，乃是反映出測量變數具有梯度狀的分布型態。對照本研究範圍內地形及人口密度(兩者為冠羽畫眉密度主要相關變數)，分別有由北往南遞增及遞減的情形來看，推測冠羽畫眉族群密度可能具有由北往南遞增的梯度。檢驗冠羽畫眉族群密度與Y座標之相關性，兩者間有明顯的負相關( $-0.483, p < 0.001$ )，代表在本研究的冠羽畫眉族群密度空間相關式中，其所反映出的冠羽畫眉族群密度梯度分布型態，可能以北往南遞增的形式存在。

在本研究空間相關式之尾端，也就是當樣點相距約超過100 km時，冠羽畫眉族群密度有回升到正相關的趨勢(Fig. 3)，Brown et al. (1995)曾檢驗北美四種燕雀目豐量的空間相關式，皆得到中間低、兩端高的碗型趨勢，顯示相距很近或很遠的族群會有類似的豐量，他認為相距遠的地區有相近的族群密度，是因為生物分布靠近邊緣時，因環境條件不好，族群會減少，因此在邊緣的族群有較低密度，故相距很遠的邊緣地帶反而有相似的族群密度。本研究調查地區僅及於台中以北地區，未涵蓋冠羽畫眉的所有分布範圍，因此本研究所得到的乃冠羽畫眉局部族群的空間相關式，其全貌是否會如同Brown研究北美鳥類所得之碗型結構？尚需蒐集台灣北部以外地區資料後方可探討。

本研究環境變數對冠羽畫眉族群密度變異的解釋力大部份(89.8%)來自於空間結構的部份，這部份可能是環境變數直接作用於冠羽畫眉族群，使兩者有共同的空間結構，但也可能是因為環境變數及冠羽畫眉族群皆受到某種機制影響而產生的共同反應。從廣義的角度來說，環境對冠羽畫眉族群密度的影響，即包括空間及非空間結構，仍有59.7%的變異解釋力，最主要的變數為人口密度、最高海拔高度、冬季之總降雨量及自然度指標。

人口密度對冠羽畫眉族群密度變異的解釋力最高(34.9%)，在上述主要環境變數中佔

58.5%，是最重要的環境變數，兩者之間為負相關(相關係數-0.59)。人口密度的增加應該只是人類開發土地所產生的效應之一，其他可能伴隨發生的現象還包括棲地的破碎化、適合棲地的流失等，因此人類開發土地的行為可能多方面的影響鳥類的豐量。未來可由不同土地覆蓋類型的相對面積、道路的相對密度、不同植被類型的面積比例等因素，深入探討土地開發對鳥類豐量的影響。自然度指標為土地開發的另一項指標，其係以土地利用型態或土地覆蓋的原始程度做為指標分類之依據，數字越大表示土地受干擾的程度越低，其與冠羽畫眉族群密度有正比關係，亦即干擾程度越低的環境，冠羽畫眉族群密度越大；人口密度及自然度指標皆反映出土地開發對冠羽畫眉族群密度有相當重要的影響。

最高海拔高度在環境變數對冠羽畫眉族群密度變異的解釋力中佔27.1%，但海拔高度只是某一高度位置與海平面的垂直距離，無法成為直接影響鳥類豐量的原因；在台灣山區，海拔每上升1,000 m，年平均溫大致下降5.4°C (Su 1984)，海拔高度可視為年均溫指標，並且本研究最高海拔高度亦與年均溫有高度相關(相關係數0.95)，因此本研究以年均溫來解釋最高海拔高度對冠羽畫眉族群密度的影響。Root (1988)研究北美鳥類群聚的冬季分布指出，當氣溫下降時，鳥類提高基礎代謝率以補充失去的體溫，基礎代謝率提高至2.5倍為鳥類容忍上限，因此鳥類的分布及豐量與氣溫有密切關係。再者，溫度影響綠色植物初級生產力(Rosenzweig 1968)，生產力越高的棲地，可以容納越多的生物族群(Brown 1981)，因此溫度直接(生理)及間接(食物資源量)影響鳥類的豐量；本研究所得冠羽畫眉之族群密度受年均溫影響之結果是符合上述研究結論的。

寒冷月份(11~3月)總降雨量對冠羽畫眉族群密度變異的解釋力在4項環境變數中佔10.9%，降雨量對於植物生長應有直接影響，對鳥類豐量則因植物做為食物資源而產生間接影響。根據Chen and Chou (1999)對福山試驗林之繡眼畫眉食性所做研究，秋末及冬季時植物是



繡眼畫眉最重要的食物，因此對於像繡眼畫眉這種雜食性鳥類來說，該時節之降雨量對其食物資源以至於生存可能有較顯著的影響。冠羽畫眉也是雜食性，是否其食性在寒冷月份也轉偏植物，寒冷月份降雨量對植物性食物資源的提供是否具有影響，需要再調查及蒐集資料以進一步探討。

本研究所蒐集的環境及空間變數，對於冠羽畫眉族群密度仍有38%的變異無法解釋，這部份變異可能來自於族群層次的生物變動如生長、繁殖等，以及群聚層次的生物互動機制如競爭、掠食等，或者是過去發生的歷史事件如自然或人為干擾等，亦有可能來自於未蒐集的環境變數如棲地植被變數等。本研究已知的變異(62%)中，僅2.3%是由純粹的空間結構(即未與環境變數共有)所解釋，這部份空間結構被認為來自於生物性機制(biological process)或歷史事件的成份居多(Borcard et al. 1992, Legendre and Legendre 1998)，其餘59.7%的變異皆與環境機制有關。故根據此項研究結果，我們推測影響冠羽畫眉族群密度變動的主要機制應屬環境機制，相對來說，生物機制可能較不重要。

## 謝 誌

本研究承行政院農業委員會89~92年生物資源調查計畫經費補助，研究期間有諸多資深鳥友協助調查，台灣大學生態學與演化生物學研究所空間生態研究室的黃佩俐、陳一菁、沈聖峰、鄭蕙如協助各項相關調查工作，特此一併致謝。

## 引用文獻

- Borcard D, Legendre P, Drapeau P. 1992.** Partitioning out the spatial component of ecological variation. *Ecology* 73(3):1045-55.
- Brown JH. 1981.** Two decades of homage to Santa Rosalia: toward a general theory of diversity. *Am Zool* 21:877-88.
- Brown JH, Mehlman DW, Stevens GC.**

1995. Spatial variation in abundance. *Ecology* 76:2029-43.

**Brown JH, Stevens GC, Kaufman DM.**

1996. The geographic range: size, shape, boundaries and internal structure. *Ann Rev Ecol Syst* 27:597-623.

**Casgrain P, Legendre P. 2004.** The R Package for multivariate and spatial analysis version 4.0 (development release 9) user's manual. Department de Sciences Biologiques, Montreal, Quebec: Univ of Montreal.

**Chen CC, Chou LS. 1999.** The diet of forest birds at Fushan Experimental Forest. *Taiwan J For Sci* 14(3):275-87.

**Cibois A, Kalyakin MV, Han LX, Pasquet E. 2002.** Molecular phylogenetics of babblers (Timaliidae): revaluation of the genera *Yuhina* and *Stachyris*. *J Avian Biol* 33:380-90.

**Ding TS. 1993.** Avian community of mature forests along an elevational gradient in Yushan. [MS thesis]. Taipei, Taiwan: National Taiwan Univ. 73 p. [in Chinese with English summary].

**Huang PL. 2001.** Distribution pattern of breeding birds in northern Taiwan. [MS thesis]. Taipei, Taiwan: National Taiwan Univ. 70 p. [in Chinese with English summary].

**Koh CN, Lee PF. 2003.** Elevational gradients in breeding birds in northern Taiwan. *Taiwan J For Sci* 18:349-61. [in Chinese with English summary].

**Lee PF, Liao CY, Lee YC, Pang YH, WH Fu, Chen SW. 1997.** An ecological and environmental GIS database for Taiwan. Taipei, Taiwan: Council of Agriculture. 90 p. [in Chinese with English summary].

**Legendre P. 1993.** Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm? *Ecology* 74:1659-73.

**Legendre P, Legendre L. 1998.** Numerical ecology, 2<sup>nd</sup> ed. New York: Elsevier. 853 p.

**Maurer BA. 1994.** Geographical population analysis: tools for the analysis of biodiversity. Oxford, UK: Blackwell Scientific Publications. 130 p.

**Molles MC, Jr. 2002.** Ecology: concepts and applications. 2<sup>nd</sup> ed. Boston: McGraw-Hill. 608 p.

**Reynolds RT, Scott JM, Nussbaum RA. 1980.** A variable circular-plot method for estimating bird numbers. Condor 82:309-13.

**Root T. 1988.** Energy constraints on avian distributions and abundances. Ecology 69:330-9.

**Rosenzweig MR. 1968.** Net primary produc-

tivity of terrestrial communities: prediction from climatological data. Am Nat 102:67-74.

**Su HJ. 1984.** Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan (I): analysis of the variations in climatic factors. Q J Chin For 17(3):1-14.

**Yen CW. 1990.** An ecological study of the timaliinae (Muscicapidae) of Taiwan. Bull Natl Mus Nat Sci 2:281-9.

