

臺北都會區棲地特性與繁殖鳥種多樣性及 性狀組成的相關性

The associations between habitat characteristics and breeding bird species richness and functional trait composition in the Taipei Metropolitan Area

傅淑瑋^{1,2}、柯智仁^{3,4}、丁宗蘇^{2,*}

Shu-Wei Fu^{1,2}, Jerome Chie-Jen Ko³ and Tzung-Su Ding^{2,*}

¹ 農業部林業試驗所森林保護組 100051 臺北市中正區南海路 53 號

² 國立臺灣大學森林環境暨資源學系 106319 臺北市大安區羅斯福路四段 1 號

³ 農業部生物多樣性研究所 552005 南投縣集集鎮民生東路 1 號

⁴ 中央研究院生物多樣性研究中心臺灣生物多樣性資訊機構 11574 臺北市南港區研
究院路二段 70 巷 28 號

¹ Division of Forest Protection, Taiwan Forestry Research Institute, Taipei, Taiwan

² School of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University, Taipei,
Taiwan

³ Division of Resource Management, Taiwan Biodiversity Research Institute, Nantou,
Taiwan

⁴ Taiwan Biodiversity Information Facility, Biodiversity Research Center, Academia
Sinica, Taipei, Taiwan.

* 通訊作者：ding@ntu.edu.tw

*Corresponding authors: ding@ntu.edu.tw

摘要

都市化與外來種正改變全球之生物群聚組成、降低物種多樣性並造成生物同質化。本研究探討臺北都會區繁殖鳥種多樣性及性狀組成與都市棲地特性的相關性，以期為生物友善的都市規劃與原生鳥種多樣性損失的調適提供科學依據。本研究在都市化梯度上選取六類棲地進行鳥類調查，並利用空間迴歸模型、RLQ 及四角分析探討地景與樣區尺度的棲地變數與鳥種多樣性及性狀組成間的關係。結果顯示原生、外來鳥種豐富度和個體數量均隨農業覆蓋比例與地景異質度增加而增加。原生鳥種豐富度與個體數量與植被高度成正相關，這應與樹木提供天然食物與棲枝有關。相對地，外來鳥種偏好不透水層覆蓋較高的區域及河濱草坪，而在植被高度較高的區域數量相對較少，此現象可能與優勢外來種，如野鴿、家八哥偏好地面覓食的習性有關。RLQ 及四角分析顯示，在不透水層覆蓋較高的區域，有較多築巢於人為建築、取食人類食物及食性廣度較寬的鳥種；而在植被高度較高的區域，則出現較多食果性與在樹冠層覓食鳥種。綜合而言，若要維持鳥類在物種與性狀的多樣性，建議臺北都會區應保留農田、森林與草地等半自然地景覆蓋，結合較高的地景異質度規劃，與提升都市綠地植被高度，以提供原生鳥類所需的棲地與資源。同時，應減少都市人為活動所提供的食物來源，降低優勢外來鳥種的利用與族群擴張，達到外來種管理與原生鳥類保育的效益。

關鍵詞：原生鳥種、外來鳥種、多樣性、性狀特徵、都市梯度。

Abstract

Urbanization and the biological invasions are reshaping community composition, reducing biodiversity, and driving global biotic homogenization. This study investigated how urban habitat characteristics were associated with the species diversity and

trait composition of breeding birds across a range of urban environments in the Taipei Metropolitan Area. Our aim was to provide scientific evidence to support biodiversity-friendly urban planning and strategies to mitigate the loss of native avian diversity. Bird surveys were conducted across six habitat types along an urbanization gradient, and spatial regression models, RLQ, and fourth-corner analyses were applied to assess the effects of habitat variables on bird diversity and traits at both landscape and local scales. The results showed that the species richness and abundance of both native and alien birds increased with greater agricultural cover and landscape heterogeneity. Native bird species richness and abundance also increased with vegetation height, likely due to the greater availability of natural food resources and perching sites provided by taller trees. In contrast, alien bird species preferred areas with high impervious surface cover and riparian lawns, while avoiding habitats with taller vegetation. This pattern reflected the ground-foraging behavior of dominant alien species, such as *Columba livia* and *Acridotheres tristis*. RLQ and fourth-corner analyses further revealed that areas with higher impervious surface cover were associated with bird species that nest in artificial structures, feed on human-provided food, and exhibit broader dietary breadth. Conversely, areas characterized by taller vegetation supported a higher proportion of frugivorous and canopy-foraging species, reflecting the structural complexity and resource availability provided by mature vegetation. To maintain taxonomic diversity and trait composition of urban bird communities, this study highlights the importance of maintaining semi-natural landscapes, such as agricultural lands, forests, and grasslands, within the Taipei metropolitan area and promoting landscape heterogeneity. Enhancing vegetation structure complexity in urban green spaces can support native bird communities. Moreover, reducing anthropogenic food sources in urban areas can limit the resource use and population expansion of dominant alien bird species, thereby achieving the dual benefits

of invasive species management and native bird conservation.

Keywords: native bird species, alien bird species, diversity, functional trait, urban gradient.

收件日期：2025 年 8 月 4 日

Received: August 4, 2025

接受日期：2025 年 10 月 28 日

Accepted: October 28, 2025

緒言

都市化透過土地利用方式的改變，重構了生態系的結構與功能，除了導致天然棲地喪失與破碎化，同時也創造出高度人為結構與不透水鋪面的新型棲地，對於全球生物多樣性帶來負面的效應 (McKinney 2008; McDonald *et al.* 2013; Aronson *et al.* 2014; Hastedt and Tietze 2023)。隨都市化程度的增加，物種多樣性降低 (Sol *et al.* 2014)，一些原生鳥種消失 (Davis *et al.* 2013)，外來鳥種則增加 (Sol *et al.* 2012; Cadotte *et al.* 2017)。此外，都市環境的高度相似，使得少數適應都市環境的原生及外來鳥種優勢地存活，造成物種組成同質化 (Marzluff 2001; McKinney 2006)。然而，隨著人口往都市集中，增加都市發展的需

求，實踐生物多樣性友善的都市規劃有助於調適對原生物種多樣性與生態系統功能帶來的負面影響 (McKinney 2006)。

外來種因人類活動引入其自然分布範圍之外，可能透過種間競爭、疾病感染、捕食威脅原生物種生存，造成生態影響 (Simberloff *et al.* 2013)，也導致全球社會的經濟損失 (Vilà *et al.* 2010; Kumschick *et al.* 2013)。外來種成功入侵一個新環境，需經歷運輸、引入新環境 (釋放至野外)、族群建立、擴散等四個階段 (Blackburn *et al.* 2011)。並非所有的外來種引入皆會成功入侵，下列情況可能促進此現象，例如：多次的引入事件、外來種極度適應人類活動且擅於利用人為變更後環境中的資源、新環境中缺少生物控

制互動關係，以及被入侵環境之物種多樣性較低 (Sax and Brown 2000)。都市環境經常成為外來種成功入侵的環境，主要因為環境受到人為高度變更，創造新的生態棲位，減弱生物抵抗，加上較密集的人類活動提高外來種引入的機率 (Sol *et al.* 2017)。釐清都市地區原生、外來鳥種分布與相關的棲地因子，有助於評估現有的外來入侵種問題，並為後續的外來種防治與都市管理提供科學依據 (Cadotte *et al.* 2017; Dyer *et al.* 2017; McKinney and Kark 2017)。

多項全球研究指出，鳥類特定的功能性狀與其在都市環境中的適應能力呈正相關，有助於在天然資源受限的都市中成功存活。觀察到的關鍵功能性狀包含體型、食性、棲地選擇等。體型較大 (Callaghan *et al.* 2019; Palacio 2020) 或較小 (Neate-Clegg *et al.* 2023) 的鳥種曾被報導較為適應都市環境。廣食性鳥種通常較能適應都市環境 (Palacio 2020; Neate-Clegg *et al.* 2023; Yang *et al.* 2023)。此外，偏好取食特定的食物資源，例如：脊椎動物與腐

食 (Palacio 2020)、種子 (La Sorte *et al.* 2018)，或偏向雜食性的鳥種 (Yang *et al.* 2023)，也展現出對都市環境的高度適應力。另外，都市環境特別適合生態棲位較寬廣的鳥種 (Callaghan *et al.* 2019; Neate-Clegg *et al.* 2023)，以及善用人工建物築巢的鳥種 (Neate-Clegg *et al.* 2023; Yang *et al.* 2023)，但對於地面築巢的鳥種則較不利 (Ikin *et al.* 2012; Neate-Clegg *et al.* 2023)。在覓食棲位上，偏好於植被 (La Sorte *et al.* 2018)、地面 (Palacio 2020) 及空中 (La Sorte *et al.* 2018; Palacio 2020) 等不同棲位覓食的鳥種較為適應都市環境。然而，這些與都市鳥類適應性相關的功能性狀可能因都市環境的異質性及生物地理區而有所差異 (Neate-Clegg *et al.* 2023)，這強調了區域性研究的重要性。

臺灣地區過去因鳴禽文化、寵物飼養、宗教放生、賽鴿等活動引入許多外來鳥種 (Su *et al.* 2014)。根據臺灣地區繁殖鳥類大調查在 2011-2019 年間的成果顯示，相較於原生鳥種，外來鳥種在全臺的數量呈現快速成長的

趨勢 (Lin *et al.* 2023)。臺北都會區是臺灣最大的都會區，在近三十年內經歷了 49% 的人口快速成長以及 63.6% 的建地擴張 (Huang and Chiu 2020)。然而，都市周圍仍保留了河濱草地、農田、森林等多樣的土地覆蓋，使其適宜作為探討都市化對鳥類群聚影響的研究區域。

過去在臺灣都會區鳥類多樣性研究，多著重於都市公園綠地 (Lin *et al.* 2008; Chang and Lee 2016; Chang *et al.* 2017; Shih 2018)，因此可能低估周圍其他類型棲地 (如農田) 在鳥類保育上的重要性 (許等 2019; Hastedt and Tietze 2023)。此外，研究若未區分原生種及外來種 (Shih 2018)，可能導致物種多樣性被高估，進而產生對生物多樣性的誤判。Changet *al.* (2017) 分析了臺北市 283 處綠地的鳥種多樣性，並區分原生與外來鳥種，發現當綠地內部具有較高的草坪覆蓋、常態化差異植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index，後稱 NDVI) 及水域覆蓋，觀察到較多的原生鳥種數，而在 NDVI 值較高，但灌叢覆蓋較低

的綠地中，外來鳥種出現機率增加。Shih (2018) 針對臺北市 30 處公園綠地調查發現，整體鳥種數隨水域存在與棲地異質度的增加而增加。在鳥種性狀方面，都市綠地的外來種及高度適應人類的鳥種偏好出現在開闊林地及地面短草坪的環境 (Chang *et al.* 2017)，且多數都市鳥種以雜食及地面覓食為主 (Shih 2018)。這些研究說明了都市綠地中不同土地覆蓋與棲地結構，對鳥類多樣性與性狀的影響。

本研究以臺北都會區環境梯度上的繁殖鳥類群聚為對象，探討地景與樣區尺度多項棲地變數與鳥類多樣性的相關性，並區分為原生、外來鳥種。為了解鳥類群聚組成、棲地特性及鳥種性狀的相關性，透過四角 (Fourth-corner method) 及 RLQ 分析法，整合環境變數 (R)、鳥種組成 (L) 及物種特性 (Q) 等資料，鑑別那些鳥種性狀隨棲地特徵變化而改變 (Dray *et al.* 2014)。預期在鳥種多樣性方面，隨都市環境中不透水層覆蓋的增加，原生鳥種減少，而外來鳥種則增加；相反地，隨植被覆蓋的增加，原生鳥種增

加，外來鳥種減少；而地景異質度則同時促進原生與外來鳥種多樣性。在鳥種性狀方面，則預期隨不透水層覆蓋的增加，外來種、體型較大、食性與棲地廣度較高、偏好地面覓食與築巢於人為建物等鳥種較為適應；相對的，隨植被覆蓋增加，外來種減少、偏好於樹冠層及灌草叢層覓食與築巢、取食果實的鳥種增加。

方法

一、研究區域

位於臺灣北部的臺北都會區(24°N, 121.5°E)，包含臺北市、新北市及基隆市。根據中央氣象署統計，臺北地區近三十年間平均氣溫為 23.3°C，平均降雨量為 2329.5 mm (<https://www.cwa.gov.tw/V8/C/C/Statistics/monthlymean.html>)。臺北盆地是臺灣人口最稠密的區域，都市化發展高度集中，覆蓋大量建物、道路、商業大樓及公共設施，在不同行政區間公園綠地、濱水綠廊則面積分布不均。淡水河及支流大漢溪、基隆河於臺北盆地交會，為了防洪及休閒用，

河川濱岸多維持短草坪覆蓋。臺北盆地周圍山麓覆蓋常綠闊葉森林，淡水河下游關渡、社子島一帶分布農田及濕地，農業生產主要為水稻田及早作。

本研究於臺北盆地內進行，沿都市化梯度選取六類棲地，分別為：闊葉森林、農田、河濱草坪、都市公園、公寓住宅區與商業區。由於都市內土地覆蓋區塊面積較小且呈高度鑲嵌狀，本研究將鳥類調查樣區面積設為 60 × 60 m²。於臺北市及新北市各類棲地中，分別挑選 12 個樣區，共計 144 處。潛在的樣區篩選主要參考衛星影像與現地勘查，綜合考量棲地類型及行政區分布進行挑選。然而，由於都市土地分區規劃（如森林及商業區）與農地面積有限，部分棲地類型的樣區位置出現聚集分布的情形，最終樣區間平均最近距離為 410±176 m（圖 1）。雖然樣區面積不大，但仍可有效在每個調查時段內偵測鳥類於樣區內出沒，即使是都市發展程度較高的商業區及公寓住宅區，仍可於行道樹冠、人行道、灌叢、草坪區塊及建物外牆與陽台上觀察到鳥類活動。

二、鳥類調查

我們在 2020 年 8 月至 2022 年 7 月期間進行鳥類調查，第一年收集位於臺北市 60 處樣區，第二年收集位於新北市及臺北市 84 處樣區的資料。各樣區每月進行 1 次調查，每次 10 分鐘，記錄樣區內 $60 \times 60 \text{ m}^2$ 聽到或看到的鳥種，持續收集 12 個月。調查由 3-4 位有經驗的調查員執行，在日出後至上午 10 點前鳥類活動高峰期間內完成，並避免下雨或強風的天候。高空飛越樣區 (高於 20 m) 的鳥種不予採計。最後完成 143 樣區資料收集，1 個都市公園樣區因轉作為捷運建設而無法調查。為檢視兩年度間調查到的鳥種數、數量間是否具有差異，以廣義線性模型 (Generalized Linear Models) 考慮棲地類型、年度的效應，結果顯示兩年間調查到的鳥種數及數量沒有顯著差異 ($p > 0.05$)，故合併兩年之調查結果。

研究期間共記錄到 108 種鳥種，依據 2023 年臺灣地區鳥類名錄 (Ding *et al.* 2023) 定義為留鳥、夏候鳥、外來種、冬候鳥及過境鳥。為探討繁殖

鳥類性狀與都市棲地變數間的相關性，我們保留留鳥、夏候鳥、外來種，排除 31 種冬候及過境鳥種。進一步以廣義線性模型比較繁殖鳥種於繁殖季節 (3-9 月) 與非繁殖季 (10-2 月) 間調查到的鳥種數、數量是否具有差異，結果顯示考慮棲地類型影響下，在不同季節間的鳥種數具有顯著差異 ($p < 0.001$)，繁殖季較非繁殖季偵測到較多的種類，但數量沒有顯著差異 ($p > 0.05$)。最後我們以繁殖季節調查成果的 71 種 11,200 隻次為代表，進行後續分析。

三、棲地變數

為說明都市化梯度的棲地變化，我們利用不同圖資呈現各樣區在地景尺度 (landscape scale) 及樣區尺度 (local scale) 的棲地變數。考慮鳥類的行動能力，樣區周圍半徑 500 m 為不同鳥種活動範圍常採用的分析尺度 (Rutz 2006; Vangestel 2011; McPherson *et al.* 2019)。因此，地景尺度計算樣區周遭 500 m 半徑圓內不同土地覆蓋類型比例及地景異質度 (landscape

heterogeneity)；樣區尺度則估算每個 $60 \times 60 \text{ m}^2$ 樣區範圍內的植被高度 (vegetation height) 與樹木覆蓋比例 (tree cover)，詳如表 1。圖資來源包括六類土地覆蓋類型，包含水體 (water body)、河川 (river)、不透水層 (impervious surface，如道路、建築物、公共設施)、農田 (agricultural land)、森林 (forest) 與草地 (grassland)。前四項取自臺灣國土測繪中心以航空照片 (解析度為 $0.25 \times 0.25 \text{ m}^2$) 繪製的電子地圖及土地利用圖資。植生部分，區分為森林與草地兩類，判別方式依據衛星影像的植生指標與常態化數位地表模型 (Normalized Digital Surface Model，後稱 nDSM)。首先，利用 PlanetScope 影像 (解析度 $3 \times 3 \text{ m}^2$) 計算 NDVI 值取得植生分布範圍，接著結合 Maxar 太空技術公司 AW3D 產品計算之 nDSM (解析度 $0.5 \times 0.5 \text{ m}^2$)，作為地面物件相對高度的指標。相關研究常採用植被高度 2 m 作為分類閾值 (Takahashi *et al.* 2005; Viana-Soto *et al.* 2022)，將植生高度 2 m 以上分類為森林，低於 2 m 以下者主要為灌叢

與草本植物，在本研究都市環境中則歸類為草地。利用 FRAGSTATS 軟體統計六類土地覆蓋比例與以 Shannon-Wiener 多樣性指數計算地景異質度 (McGarigal *et al.* 2023)。樣區尺度計算每個 $60 \times 60 \text{ m}^2$ 樣區內的植被高度 (m) 與樹木覆蓋 (%) 等棲地變數。六類棲地環境的棲地變數平均值如表 2。

四、鳥類性狀

我們依據臺灣鳥類性狀資料集 (Fu *et al.* 2024) 彙整樣區內各繁殖鳥種的性狀特性 (表 3)，涵蓋外來種 (alien status)、體重 (body weight)、喙長 (bill length)、自然翼長 (wing length)、食性種類 (diet)、食性廣度 (diet breadth)、覓食位置 (foraging stratum)、巢位 (nest location)、棲地廣度 (habitat breadth) 等項。外來種依據 2023 年臺灣地區鳥類名錄 (Ding *et al.* 2023) 定義為二元資料，體重、喙長及自然翼長為連續性數值。食性種類為比例資料，包括：無脊椎生物 (invertebrates)、陸生脊椎生物 (terrestrial vertebrates)、魚 (fish)、果實 (fruits)、種子 (seeds)、花蜜、葉

或其他植物部位 (nectar and leaves) 等項，腐肉 (carrion) 及人類食物 (food remnants) 在該資料集合併為一項，在此依據原始資料區別為兩項，8 項加總合計為 100%。依據各鳥種食性類別數量計算食性廣度 (diet breadth)，代表鳥種在食性上的專一程度，數值越低代表較專一，越高代表資源利用彈性較寬。覓食位置區分為 5 類分別為：空中 (aerial)、水域 (aquatic)、樹冠 (canopy)、灌草叢 (understory)、及地面 (ground)，為 5 項加總合計為 100% 的比例資料。築巢位置區分 6 項，包括：人為設施 (artificial structure)、洞穴 (cavity)、樹木 (tree)、灌草叢 (understory)、土坡 (soil slope)、地面 (ground) 等，依據鳥種是否使用該位置築巢定義為二元資料。棲地廣度 (habitat breadth) 的計算，先依據鳥種是否出現於國際自然保護聯盟 (The International Union for Conservation of Nature, IUCN) 8 項棲地類型，包含森林、灌叢、草地、內陸濕地、岩壁區、海洋潮間帶、陸域人為環境、水域人為環境，定義為二元資料。再以出現

的棲地類別數量計算棲地廣度，數值高代表該鳥種利用的棲地類別較多樣。

一、統計分析

(一) 相關性分析

為確認棲地變數間、性狀間的相關程度，進行 Pearson 相關性分析 (Hazra and Gogtay 2016)。當相關係數高於 0.7 時，顯示變數間具有高度相關，為降低共線性問題，僅保留其中一項作為代表變數以檢視其效應 (Dormann *et al.* 2013)。分析結果顯示，樣區內植被高度、樹木覆蓋與地景尺度森林覆蓋之間的相關係數均高於 0.7 (表 4)。由於植被高度能反應植生的垂直結構發展，並與演替階段密切相關 (Poorter *et al.* 2024)，因此在後續分析中，以樣區內植被高度作為上述三項變數的代表。此外，觀察到草地覆蓋與地景異質度相關係數高於 0.75，依據文獻中此兩棲地變數與反應變數間的相關性，我們在分析多樣性時，保留地景異質度，在分析鳥種性狀時則保留草地覆蓋。性狀之間的相關性，

除體重、喙長、翼長間高度相關 (r 均 > 0.83)，取食魚類與水域覓食間相關係數 ($r = 0.69$) 接近 0.7 外，其餘任兩性狀相關性均小於 0.7，高度相關性狀間僅保留體重與水域覓食進行後續分析。

(二) 棲地變數與鳥種多樣性的關係

我們利用廣義線性模型分析棲地變數對鳥類多樣性指數的影響 (R Core Team, 2024)。模型分別以原生、外來及所有鳥種數與數量作為反應變數，並依據資料特性使用 Poisson 分布或資料轉換後採 Gaussian 分布。各模型確認變異數膨脹因子 (Variance Inflation Factors, VIFs)，若 VIF 值大於 10 顯示模型變數間存在嚴重的共線性 (Menard 2002)。為確認空間自相關的潛在影響，我們利用 `spdep` 套件讀入樣區座標圖層，以 `nb2listw` 函數計算空間權重矩陣 (spatial weights)，再以 `lm.morantest` 函數執行 Moran's I 檢測 (Bivand *et al.* 2013)。結果偵測到原生鳥數量具有顯著的空間自相關效應 (Moran I = 2.02, $p < 0.05$)。為處理此問

題，我們改以空間迴歸分析 (Bivand *et al.* 2013)，執行 Spatial Lag Regression (SAR) 與 Spatial Error Models (SEM)。此分析以 `spatialreg` 套件 `lagsarlm` 和 `errorsarlm` 函數進行，SAR 在模型中考慮空間權重矩陣為變數，SEM 則在殘差內考慮空間權重矩陣的影響 (Gaetan and Guyon 2010)。最後比較 SAR 及 SEM 兩模型間赤池資訊量準則 (Akaike Information Criterion, AIC)，取 AIC 較低者為最佳模型。鳥種數及數量以開平方根或對數 (logarithm) 轉換改善常態分布，並以向後消去法 (backward elimination) 進行模式變數篩選，逐步將最不顯著的變數移除，直到所有不顯著項目均移除。

(三) 棲地變數與鳥種性狀相關性分析

我們利用 RLQ 和四角分析探討都市棲地變數與鳥種性狀的相關性 (Dray *et al.* 2014)。此分析需建置三種表格，分別為表格 R (各樣區 - 環境特性)、表格 L (各樣區 - 出現鳥種) 與表格 Q (所有鳥種 - 性狀)。

RLQ 分析應用序列分析摘要三張表格中的聯合結構 (joint structure)，而四角分析則說明每一棲地變數與性狀之間成對的相關性 (Legendre *et al.* 1997; Dray and Legendre 2008)。進行 RLQ 分析前，先將三表格進行初步序列分析處理，表格 L 樣區內物種數量以對數轉換後進行對應分析 (Correspondence Analysis)，量化數值的棲地變數表格 R 則進行主成分分析 (Principal Components Analysis)，同時包含量化及類別性狀的表格 Q 則進行 Hill-Smith 分析 (Hill and Smith 1976)。最後，合併 RLQ 及四角分析兩方法共同執行 RLQ 整體顯著性檢測，採用 49999 次重複 Monte-Carlo 模擬檢定，同時檢視棲地變數、性狀與 RLQ 序列分析兩軸之間的相關性 (Dray *et al.* 2014)。由於四角分析同時進行多個檢定，增加第一型錯誤的機率，為處理多重檢定問題 (multiple testing problem)，採 False Discovery Rate (FDR) 方法進行校正 (Benjamini and Hochberg 1995)。檢測之虛無假說包括：模型 2 檢測棲地變數未影響鳥

種組成；模型 4 檢測鳥種性狀為隨機分布，鳥種分布與鳥種對樣區的偏好相關，與性狀無關。當模型 2 與 4 的虛無假說被拒絕，再進行模型 6 的檢測 (ter Braak *et al.* 2012)，模型 6 為模型 2 與 4 的結合，虛無假說為鳥種性狀與棲地變數間沒有相關 (Dray *et al.* 2014)。RLQ 與四角分析使用 R 軟體 ade4 套件進行分析 (Dray and Dufour 2007)。

結果

一、鳥種組成

結果顯示，在臺北都會區都市梯度上於繁殖季 3-9 月間共記錄到 71 種鳥種、11,200 隻次 (附錄)，其中原生種 58 種 8,343 隻次 (74.5%)，13 種外來種 2,857 隻次 (25.5%)。在原生種中，麻雀 (*Passer montanus*, 26.1%)、白頭翁 (*Pycnonotus sinensis*, 14.6%)、斯氏繡眼 (*Zosterops simplex*, 14.0%)、家燕 (*Hirundo rustica*, 9.9%)、珠頸斑鳩 (*Streptopelia chinensis*, 7.2%)、紅嘴黑鵯 (*Hypsipetes leucocephalus*,

6.5%) 為優勢物種，佔原生種總隻次 78.3%。在外來種中，野鴿 (*Columba livia*, 32.5%)、家八哥 (*Acridotheres tristis*, 24.4%)、白尾八哥 (*Acridotheres javanicus*, 16.8%)、黑領棕鳥 (*Gracupica nigricollis*, 9.8%)、亞洲輝棕鳥 (*Aplonis panayensis*, 9.4%) 為優勢物種，佔外來種總隻次 92.9%。

二、棲地變數與原生、外來鳥類多樣性的相關性

樣區及地景尺度各棲地變數均與都市鳥種多樣性指數呈現顯著相關 (表 5)。農業覆蓋及地景異質度與原生、外來及所有鳥種數、數量呈正相關 ($\text{all } p < 0.05$)，隨農業覆蓋與地景異質度的增加而增加。不透水層覆蓋與外來鳥種、所有鳥種之種類數及數量呈現正相關 ($\text{all } p < 0.05$)，與原生鳥種的數量間也有相同的趨勢 ($p < 0.001$)，均隨不透水層覆蓋增加而增加。此外，河川覆蓋與外來鳥種數及數量呈正相關 ($\text{all } p < 0.001$)，亦影響所有鳥種數量 ($p < 0.05$)。水域覆蓋則是與原生及所有鳥種數量呈負相關 ($p < 0.01$)，在

水域覆蓋較高的區域，觀察到的隻次數較少。樣區內植被高度與原生、外來鳥種的相關性不同，隨植被高度的增加，原生鳥種數及數量增加 ($\text{all } p < 0.05$)，但外來鳥種數及數量減少 ($\text{all } p < 0.001$)；兩者加總後，植被高度則與所有鳥種數及數量沒有顯著相關。

三、棲地變數與鳥種性狀相關性

RLQ 第 1 軸解釋棲地變數與鳥種性狀整體變異程度為 58.7%，第 2 軸解釋 37.8% 的變異，兩軸共解釋 96.47% 的變異 (表 6)。此外，第 1 軸解釋棲地變數變異的 70.2%，鳥種性狀變異的 78.6%。模型 2 與模型 4 檢測結果均顯著 ($\text{all } p < 0.001$)，顯示都市環境中棲地變數、鳥種性狀影響鳥種組成；此外模型 6 亦為顯著 ($p < 0.001$)，顯示性狀與棲地變數間具有相關性。

四角分析呈現任一棲地變數與性狀間兩兩相關性，在 132 項中共有 7 項呈現顯著性 (圖 2)。於人為建物、設施上築巢 ($r = 0.205, p < 0.05$)，取

食人類食物 ($r = 0.194, p < 0.05$) 與較高的不透水層覆蓋呈現低度正相關。水域覓食的鳥種與較高的農田覆蓋呈低度正相關 ($r = 0.206, p < 0.05$)，而鳥種的食性廣度則與農田覆蓋呈低度負相關 ($r = -0.146, p < 0.05$)。樹冠間覓食的鳥種與河川覆蓋 ($r = -0.195, p < 0.05$)、草地覆蓋 ($r = -0.188, p < 0.05$) 呈低度負相關。植被高度與樹冠層間覓食的鳥種呈現中度正相關 ($r = 0.356, p < 0.01$)。

結合 RLQ 與四角分析都市鳥類群聚的結果如圖 3，所有棲地變數與部分鳥種性狀呈現顯著而相關係數低至中度的相關性結果，包括：利用人為建物設施築巢、取食果實及人類食物、在地面或樹冠覓食，以及食性廣度等。與 RLQ 第 1 軸相關的結果顯示，當研究區域內具有較高的植被高度 ($r = 0.342, p < 0.001$)、較低的草地覆蓋 ($r = -0.163, p < 0.05$) 及河川覆蓋 ($r = -0.185, p < 0.01$) 時，傾向有較多取食果實 ($r = 0.236, p < 0.05$)、於樹冠覓食 ($r = 0.363, p < 0.001$) 與較少地面覓食 ($r = -0.236, p < 0.05$)

鳥種。與 RLQ 第 2 軸相關的結果則顯示，當棲地具有較多水域覆蓋 ($r = 0.107, p < 0.01$) 與農田覆蓋 ($r = 0.240, p < 0.001$)、較少不透水層覆蓋 ($r = -0.305, p < 0.001$) 時，具有較少利用人為建築築巢 ($r = -0.178, p < 0.05$)、取食人類食物 ($r = -0.168, p < 0.05$) 及食性廣度 ($r = -0.180, p < 0.05$) 較窄的鳥種。

討論

本研究以標準化方法調查臺北都會區多樣環境下的繁殖鳥類群聚，並區分原生與外來鳥種。結果顯示，外來鳥種在都市環境中入侵的現象普遍存在，且原生與外來鳥種在棲地偏好上展現出明顯差異，主要影響因子包括植被高度、不透水層覆蓋及河川覆蓋。原生鳥種類與數量隨植被高度增加而上升，而外來鳥種則不偏好較高的植被；此外，外來鳥種偏好不透水層覆蓋及河川覆蓋較高的環境，例如河濱草坪等開闊區域。同時，隨農業覆蓋及地景異質度增加，原生與外來鳥種的多樣性均同步上升。在性狀

層面上，結果顯示不透水層覆蓋較高的區域，常見築巢於人為建築、取食人類食物以及具較寬廣食性廣度的鳥種；相對地，植被高度較高的區域則有較多食果性及在樹冠層覓食的鳥種。綜合而言，本研究驗證了全球都市生態學中有關生物多樣性損失的趨勢，並進一步呈現臺北都會區鳥類群聚對都市棲地結構的反應。這些結果不僅對外來種管理具有重要意涵，也為推動生物友善的都市規劃與調適原生鳥種多樣性損失，提供了關鍵的科學依據 (Petersen *et al.* 2020; Patankar *et al.* 2021)。

一、棲地變數與原生、外來鳥類多樣性的相關性

原生鳥種類與數量隨植被高度增加而增加，這與樹木、灌叢提供原生鳥種食物、巢位及棲息位置等資源有關 (del Hoyo *et al.* 2019)，且增加棲地結構的複雜度 (Evans *et al.* 2009)。本研究中各項植被變數間呈現高度相關，暗示無論在樣區或地景尺度上，樹木覆蓋對原生鳥種的利用有正面效

益，與其他都市研究指出較高的樹木高度、樹木覆蓋有利維持原生鳥種多樣性的結果相符 (MacGregor-Fors 2008; Villaseñor *et al.* 2021)。相較之下，外來鳥種偏好不透水層覆蓋較高的環境與濱岸草坪，而在植被高度較高的區域種類、數量減少 (Chang *et al.* 2017; Arévalo *et al.* 2022; Lin *et al.* 2025)。這現象可能與研究區域內優勢外來鳥種，如野鴿、家八哥、白尾八哥及黑領棕鳥等，多以地面覓食為主要生活習性相關。對這些鳥種而言，不透水層覆蓋高的都市地面與廣闊的濱岸草坪提供充足的覓食空間，然而，由於鳥種性狀的限制，他們較不適應在密林環境中活動。

臺北都會區多樣環境中，隨農業覆蓋、地景異質度增加，觀察到較高的原生與外來鳥種多樣性，顯示資源豐富、棲地異質的環境有利兩者的生存 (McKinney and Kark 2017)，符合解釋原生群聚受外來種入侵影響的「生物接受假說」(Biotic acceptance hypothesis, Stohlgren *et al.* 2006)。農田地景除了作物區之外，經常鑲嵌不同

類型區塊 (Batáry *et al.* 2020)，包括：灌溉用的池塘與溝渠、果園、樹林、草地與廢耕地。這些相鄰的棲地輪流供應生物在生活史不同階段所需的食物、巢位資源，加上生長季期間供應高產量的穀物外，也吸引密度較高的節肢動物，因而支持著較高的物種多樣性 (Batáry *et al.* 2020; Li *et al.* 2020; Petersen *et al.* 2020)。目前臺北地區農業經營除了旱田，還包括水稻，水田及旱田相鄰的灌溉水域，這些棲地吸引水域覓食鳥種出現，提高整體鳥種多樣性。

此外，地景異質度與鳥種多樣性呈正相關 (Lorenzón *et al.* 2016; Lu *et al.* 2024)，強調了地景結構的效應。較高的地景異質度代表多樣化的土地利用彼此鑲嵌，相較於同質地景提供較廣的生態棲位，有利於廣布種生存 (Katayama *et al.* 2014)；也支持不同資源需求的鳥種同時出現，例如農田鑲嵌樹林區塊，出現偏好灌草叢及樹冠覓食的鳥種，造成較高的多樣性。在本研究中，地景異質度與草地覆蓋呈現高度正相關，因此在地景異質度較

高的樣區也可能觀察到較多高草叢與短草地間覓食的鳥種。

值得注意的是，原生鳥種的數量隨不透水層覆蓋增加而上升，這與一般認為都市化導致原生鳥種數量減少的假說不符。此現象可能歸因於少數高度適應人為環境的原生鳥種，如珠頸斑鳩，在都市人類活動中獲得額外食物資源，或由於相對較低的天敵捕食壓力，從而促進這些少數原生鳥種在都市環境中的生存與優勢分布 (Palomino and Carrascal 2006; Paz *et al.* 2024)。這些結果反應了都市棲地特性形塑鳥類群聚，以及外來種與少數原生鳥種在都市環境的適應策略。

研究指出，都市公園內水域濕地環境，搭配栽植多樣的水生植物，有助於提供原生水鳥棲息、築巢及覓食的環境，進而提升其多樣性與群聚組成 (Lin *et al.* 2008; Chang *et al.* 2017; Shih 2018; Dong *et al.* 2023)。然而，本研究結果顯示水域覆蓋與原生鳥種數量呈負相關，可能與試驗設計的取樣範圍及棲地類型有關。本研究主要聚焦於都市化梯度，選取的樣區涵蓋

闊葉森林、農田、河濱草坪、都市公園、公寓住宅區與商業區等六類陸域棲地，並未納入濕地樣區。因此，偏好水域環境的原生鳥種在本研究資料中代表性較低，導致結果與部分先前針對都市公園濕地的研究有所差異。

二、棲地變數與鳥種性狀的相關性

都市研究常以建築物與道路等土地覆蓋比例作為都市化程度的指標 (Syrbe and Chang 2018; Hastedt and Tietze 2023)，其中不透水層覆蓋度高而植被覆蓋低通常代表高度都市發展 (Sol *et al.* 2020)。鳥類在一個地區出現機率，主要受到其演化出的性狀與當地植被結構影響，進而形成當地的生物群聚 (Lizée *et al.* 2011; Ikin *et al.* 2012)。過去針對不同都市環境 RLQ 研究指出，在高度都市化區域，鳥類群聚呈現以下特徵：於地面、灌草叢間覓食及築巢鳥種較少 (Ikin *et al.* 2012)；樹冠層覓食鳥種較多 (Stukenholtz and Stevens 2022)；地面築巢、食蟲者、森林鳥種較少，但築巢高度較高及都市鳥種增加 (Mayorga

et al. 2020)、以及空中食蟲者較多 (Chin *et al.* 2022)。

與此相較，本研究觀察到在不透水層覆蓋度較高的區域，利用人為建築築巢、取食人類食物以及食性廣度較寬的鳥種明顯較多。隨著都市環境中天然食物與巢位的減少 (Geslin *et al.* 2016; Narango *et al.* 2018; Seress *et al.* 2025)，這些性狀有助於鳥類成功適應高度都市化的環境。例如，取食人類食物與食性廣度較寬的鳥種，如野鴿、珠頸斑鳩及家八哥，能有效利用都市中全年可得且來源多樣的動物 (Jones and Reynolds 2008; Ducatez *et al.* 2015)，包括人為餵食、垃圾、行道樹與綠籬提供的季節性果實、草坪種子、土壤中的蚯蚓，以及路殺動物屍體等 (Jones and Reynolds 2008; Coogan *et al.* 2018)。此外，部分鳥種如家燕、鳩鴿科 (Columbidae)、八哥類 (Sturnidae) 及亞洲輝椋鳥，則善用屋簷、陽台、紅綠燈銜管與外牆縫隙等人造結構築巢，這些場所既能提供遮蔽，也降低了人為干擾風險，確保繁殖成功 (Melles *et al.* 2003; Reynolds

et al. 2019)。

本研究透過常態化數位地表模型成果，獲取大範圍的植被高度資訊，相較反應植被水平結構的樹木覆蓋，植被高度更能呈現植生在垂直結構上的發展，且隨演替階段推進而增加 (Akay *et al.* 2009; Poorter *et al.* 2024)。較高的植被代表成熟大樹的存在 (Peper *et al.* 2001)，不僅能生產大量的果實，亦提供樹冠層、樹幹及中層等多樣化的生態棲位 (MacGregor-Fors 2008; Minor and Kobe 2019)，進而吸引以果實為食及偏好於樹冠層覓食的鳥種 (Shanahan *et al.* 2011)。

Galbraith *et al.* (2015) 的研究觀察到都市中人類餵食行為改變了鳥類群聚組成，Sol *et al.* (2012) 也指出無論是主動或非主動提供的食物，皆可能吸引一些都市原生鳥種及外來鳥種加以利用。本研究雖未直接評估人類餵食的具體影響，但透過對繁殖鳥種性狀的分析，觀察到在不透水層覆蓋較高的區域，取食人類食物的鳥種數量有上升的趨勢，間接證實都市區域人為活動對鳥種性狀與群聚組成的潛在

影響。為更全面評估此影響，後續都市鳥類生態研究可考量納入人類餵食行為與活動人數等人為干擾指標進行分析。

在研究區域內，外來鳥種已佔繁殖鳥種總隻次的 25.5%，顯示外來鳥種入侵都市環境的普遍現象，但在綜合考量所有鳥族群聚的四角分析中，並沒有觀察到「外來種」此一性狀與任何單一棲地變數間具有顯著相關性。這結果可能反應本區域可觀察到的 13 種外來鳥種在其他性狀上仍展現變異性，因此無法單以「外來種」一項作為整體代表，解釋所有外來鳥種與單一棲地變數之間的關係。例如，部分優勢外來種 (如野鴿與八哥類) 偏好在地面覓食，然亦有偏好樹冠層覓食的鳥種，如鵲鴝 (*Copsychus saularis*) 與白腰鵲鴝 (*Copsychus malabaricus*)，或偏好水域覓食的埃及聖鸚 (*Threskiornis aethiopicus*)，出現於研究區域的都市公園至農田地景，導致其棲地偏好無法以單一變數概括。這現象也暗示研究區域內各類型棲地皆有外來鳥種入侵的潛在風險

(Petersen *et al.* 2020)，應加以留意與管理。

三、都市環境鳥類保育的建議

本研究分析臺北都會區繁殖鳥類群聚與棲地特性之間的相關性，發現原生鳥種與外來鳥種對都市化梯度上的棲地偏好呈現顯著差異，以及都市人為活動對鳥種性狀與群聚組成的潛在影響。這些發現為未來的都市規劃與鳥類保育提供了具體的科學依據：

提升原生鳥種多樣性之棲地策略：

1. 維持並加強半自然地景覆蓋：本研究觀察到農業覆蓋、植被高度及地景異質度較高時，原生鳥種種類與數量顯著增加。這強調了臺北都會區應積極規劃並保留農田、森林及草地等半自然地景，結合較高的地景異質度規劃。這些地景不僅能提供原生鳥類豐富的食物來源、築巢地點及庇護所 (Matthies *et al.* 2017; Arévalo *et al.* 2022; Lu *et al.* 2024)，亦有助於維護其親緣與功能 β 多樣性，減緩對高度都市化環境不適應物種的消失 (Fu *et al.* 2025)。

增加都市綠地植被高度：原生鳥種偏好植被高度較高的區域。因此，建議在都市公園、河濱草坪及其他空間，補植多樣性的樹木與灌叢，增加植被結構的複雜度 (Paker *et al.* 2014)。高大、成熟的樹木可提供樹冠層覓食、食果性鳥種所需的覓食空間與食物，同時也提供築巢與棲息位置 (Shanahan *et al.* 2011; Minor and Kobe 2019)。在復育樹種的選擇上，應優先考量本地原生植物，以支持其長期演化適應下對昆蟲及果實資源有依賴的原生鳥種 (Burghardt *et al.* 2009; Aronson *et al.* 2014; Narango *et al.* 2018; Seress *et al.* 2025)。

外來鳥種管理策略：

1. 精準管理外來種偏好棲地：本研究發現外來鳥種偏好不透水層覆蓋高的區域及河濱草坪，且數量隨植被高度增加而減少。鑑於外來鳥種在臺北都會區已佔繁殖鳥種總隻次的 25.5%，並普遍分布於各類型棲地，建議針對這些區域增加植被覆蓋，來限制偏好開闊地面覓食的外來種如野

鴿與家八哥的活動空間 (Grarock *et al.* 2014; Paker *et al.* 2014)。

限制人為食物來源供應：研究結果顯示，不透水層覆蓋較高的區域出現較多取食人類食物及食性廣度較寬的鳥種。由於優勢外來鳥種（如野鴿）高度依賴人類供應的食物，建議透過限制人類餵食行為及加強垃圾管理，減少外來鳥種在都市中獲取食物的機會。這有助於管控野鴿及其他依賴人類食物鳥種的族群量 (Krimowa 2012; Lim *et al.* 2023; Chen *et al.* 2025)，進而減少人為活動對鳥族群聚組成的潛在影響。

謝誌

我們感謝紀博瑋、陳睿騏、張瀚柏、賴曉嫻在本研究資料收集與整理的協助，以及多位審查委員提供的寶貴建議。本研究感謝林業試驗所 [109AS-10.6.1-FI-G2] 及國家科學及技術委員會 [109-2621-M-002-006-MY3 and 112-2313-B-002-013-MY3] 的經費支持。

引用文獻

- 許偉斌、陳慈愷、黃冠中、游政翰。2019。濕地明智利用之評估－以關渡平原水田濕地為例。國家公園學報 29(2): 28-39。
- Akay, A. E., H. Oğuz, I. R. Karas and K. Aruga. 2009. Using LiDAR technology in forestry activities. *Environmental Monitoring and Assessment* 151(1): 117-125.
- Arévalo, C., J. D. Amaya-Espinel, C. Henríquez, J. T. Ibarra and C. Bonacic. 2022. Urban noise and surrounding city morphology influence green space occupancy by native birds in a Mediterranean-type South American metropolis. *Scientific Reports* 12(1): 4471.
- Aronson, M. F. J., F. A. La Sorte, C. H. Nilon, M. Katti, M. A. Goddard, C. A. Lepczyk, P. S. Warren, N. S. G. Williams, S. Cilliers, B. Clarkson, C. Dobbs, R. Dolan, M. Hedblom, S. Klotz, J. L. Kooijmans, I. Kühn,

- I. MacGregor-Fors, M. McDonnell, U. Mörtberg, P. Pyšek, S. Siebert, J. Sushinsky, P. Werner and M. Winter. 2014. A global analysis of the impacts of urbanization on bird and plant diversity reveals key anthropogenic drivers. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 281(1780): 20133330.
- Batáry, P., A. Báldi, J. Ekroos, R. Gallé, I. Grass and T. Tschardtke. 2020. *Biologia Futura: landscape perspectives on farmland biodiversity conservation*. *Biologia Futura* 71(1): 9-18.
- Benjamini, Y. and Y. Hochberg. 1995. Controlling the false discovery rate: A practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* 57(1): 289-300.
- Bivand, R. S., E. Pebesma and V. Gómez-Rubio. 2013. *Applied spatial data analysis with R*. Second edition. Springer, New York.
- Blackburn, T. M., P. Pyšek, S. Bacher, J. T. Carlton, R. P. Duncan, V. Jarošík, J. R. U. Wilson and D. M. Richardson. 2011. A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology & Evolution* 26(7): 333-339.
- Burghardt, K. T., D. W. Tallamy and W. G. Shriver. 2009. Impact of Native Plants on Bird and Butterfly Biodiversity in Suburban Landscapes. *Conservation Biology* 23(1): 219-224.
- Cadotte, M. W., S. L. E. Yasui, S. Livingstone and J. S. MacIvor. 2017. Are urban systems beneficial, detrimental, or indifferent for biological invasion? *Biological Invasions* 19(12): 3489-3503.
- Callaghan, C. T., R. E. Major, J. H. Wilshire, J. M. Martin, R. T. Kingsford and W. K. Cornwell. 2019. Generalists are the most urban-tolerant of birds: a phylogenetically controlled analysis of ecological and life history traits using a novel

- continuous measure of bird responses to urbanization. *Oikos* 128(6): 845-858.
- Chang, C. R., H. F. Chien, H. J. Shiu, C. J. Ko and P. F. Lee. 2017. Multiscale heterogeneity within and beyond Taipei city greenspaces and their relationship with avian biodiversity. *Landscape and Urban Planning* 157: 138-150.
- Chang, H.Y. and Y. F. Lee. 2016. Effects of area size, heterogeneity, isolation, and disturbances on urban park avifauna in a highly populated tropical city. *Urban Ecosystems* 19(1): 257-274.
- Chen, W. T., W. T. Yang, C. Y. Ko, S. Y. H. Liou, C. H. Hsu, C. H. Ko, C. H. Hung and H. W. Yuan. 2025. Using feral pigeon (*Columba livia*) to monitor anthropogenic debris in urban areas: a case study in Taiwan's capital city. *Scientific Reports* 15(1): 5933.
- Chin, A. T. M., J. L. W. Ruppert, N. Shrestha and M. J. Fortin. 2022. Urban avian conservation planning using species functional traits and habitat suitability mapping. *Land* 11(10): 1831.
- Coogan, S. C. P., D. Raubenheimer, S. P. Zantis and G. E. Machovsky-Capuska. 2018. Multidimensional nutritional ecology and urban birds. *Ecosphere* 9(4): e02177.
- Davis, R. A., C. Gole and J. D. Roberts. 2013. Impacts of urbanisation on the native avifauna of Perth, Western Australia. *Urban Ecosystems* 16(3): 427-452.
- del Hoyo, J., A. Elliott, J. Sargatal, D. A. Christie and G. Kirwan. 2019. *Handbook of the birds of the world alive*. Lynx Edicions, Barcelona.
- Ding, T. S., C. S. Juan, R. S. Lin, Y. J. Tsai, J. L. Wu, J. Wu and Y. H. Yang. 2023. The 2023 CWBF checklist of the birds of Taiwan. Chinese Wild Bird Federation, Taipei, Taiwan.

- Dong, K., Y. Li, D. Li, W. Hu and G. Xu. 2023. Effects of environmental factors on avian communities in urban parks in small- to medium-sized city: a case study of Fuyang City, Anhui, China. *Environmental Monitoring and Assessment* 195(11): 1347.
- Dormann, C. F., J. Elith, S. Bacher, C. Buchmann, G. Carl, G. Carré, J. R. G. Marquéz, B. Gruber, B. Lafourcade, P. J. Leitão, T. Münkemüller, C. McClean, P. E. Osborne, B. Reinking, B. Schröder, A. K. Skidmore, D. Zurell and S. Lautenbach. 2013. Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography* 36(1): 27-46.
- Dray, S. and A. B. Dufour. 2007. The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. *Journal of Statistical Software* 22(4): 1-20.
- Dray, S. and P. Legendre. 2008. Testing the species traits-environment relationships: the fourth-corner problem revisited. *Ecology* 89(12): 3400-3412.
- Dray, S., P. Choler, S. Dolédec, P. R. Peres-Neto, W. Thuiller, S. Pavoine and C. J. ter Braak. 2014. Combining the fourth-corner and the RLQ methods for assessing trait responses to environmental variation. *Ecology* 95(1): 14-21.
- Ducatez, S., J. Clavel and L. Lefebvre. 2015. Ecological generalism and behavioural innovation in birds: technical intelligence or the simple incorporation of new foods? *Journal of Animal Ecology* 84(1): 79-89.
- Dyer, E. E., P. Cassey, D. W. Redding, B. Collen, V. Franks, K. J. Gaston, K. E. Jones, S. Kark, C. D. L. Orme and T. M. Blackburn. 2017. The global distribution and drivers of alien bird species richness. *PLoS Biology* 15(1): e2000942.
- Evans, K. L., S. E. Newson and K. J. Gaston. 2009. Habitat influences

- on urban avian assemblages. *Ibis* 151(1): 19-39.
- Fu, S. W., J. C. J. Ko and T. S. Ding. 2025. Taxonomic, phylogenetic, and functional β -diversity along an urbanization gradient in Taipei metropolitan area. *Urban Ecosystems* 28(2): 89.
- Fu, S. W., M. C. Feng, P. W. Chi and T. S. Ding. 2024. Combining citizen science data and literature to build a traits dataset of Taiwan's birds. *Scientific Data* 11(1): 1076.
- Gaetan, C. and X. Guyon. 2010. *Spatial statistics and modeling*. Springer, New York.
- Galbraith, J. A., J. R. Beggs, D. N. Jones and M. C. Stanley. 2015. Supplementary feeding restructures urban bird communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112(20): E2648-E2657.
- Geslin, B., V. Le Féon, M. Folschweiler, F. Flacher, D. Carmignac, E. Motard, S. Perret and I. Dajoz. 2016. The proportion of impervious surfaces at the landscape scale structures wild bee assemblages in a densely populated region. *Ecology and Evolution* 6(18): 6599-6615.
- Grarock, K., C. R. Tidemann, J. T. Wood and D. B. Lindenmayer. 2014. Are invasive species drivers of native species decline or passengers of habitat modification? A case study of the impact of the common myna (*Acridotheres tristis*) on Australian bird species. *Austral Ecology* 39(1): 106-114.
- Hastedt, A. and D. T. Tietze. 2023. The importance of unsealed areas in the urban core and periphery for bird diversity in a large central European city. *Urban Ecosystems* 26(4): 1015-1028.
- Hazra, A. and N. Gogtay. 2016. Biostatistics series module 6: correlation and linear regression. *Indian Journal of Dermatology* 61: 593.
- Hill, M. O. and A. J. E. Smith. 1976.

- Principal component analysis of taxonomic data with multi-state discrete characters. *Taxon* 25(2/3): 249-255.
- Huang, S. L. and H. W. Chiu. 2020. Peri-urbanization, land teleconnections, and the equality of ecological exchange: An emergy approach. *Landscape and Urban Planning* 198: 103781.
- Ikin, K., E. Knight, D. B. Lindenmayer, J. Fischer and A. D. Manning. 2012. Linking bird species traits to vegetation characteristics in a future urban development zone: implications for urban planning. *Urban Ecosystems* 15(4): 961-977.
- Jones, D. N. and S. J. Reynolds. 2008. Feeding birds in our towns and cities: a global research opportunity. *Journal of Avian Biology* 39(3): 265-271.
- Katayama, N., T. Amano, S. Naoe, T. Yamakita, I. Komatsu, S. I. Takagawa, N. Sato, M. Ueta and T. Miyashita. 2014. Landscape heterogeneity-biodiversity relationship: effect of range size. *PLoS One* 9(3): e93359.
- Krimowa, S. 2012. Pigeons and People: resource ecology and human dimensions of urban wildlife [dissertation]. Victoria University of Wellington.
- Kumschick, S., S. Bacher and T. M. Blackburn. 2013. What determines the impact of alien birds and mammals in Europe? *Biological Invasions* 15(4): 785-797.
- La Sorte, F. A., C. A. Lepczyk, M. F. J. Aronson, M. A. Goddard, M. Hedblom, M. Katti, I. MacGregor-Fors, U. Mörtberg, C. H. Nilon, P. S. Warren, N. S. G. Williams and J. Yang. 2018. The phylogenetic and functional diversity of regional breeding bird assemblages is reduced and constricted through urbanization. *Diversity and Distributions* 24(7): 928-938.
- Legendre, P., R. Galzin and M. L. Har-

- melin-Vivien. 1997. Relating behavior to habitat: solutions to the fourth-corner problem. *Ecology* 78(2): 547-562.
- Li, D., M.-B. Lee, W. Xiao, J. Tang and Z. Zhang. 2020. Noncrop features and heterogeneity mediate overwintering bird diversity in agricultural landscapes of southwest China. *Ecology and Evolution* 10(12): 5815-5828.
- Lim, K. N., M. C. K. Soh, D. Y. W. Leong, A. H. B. Loo, B. P. Y.-H. Lee and K. B. H. Er. 2023. Proximity to anthropogenic food sources determine roosting and nesting prevalence of feral pigeons (*Columba livia*) in a tropical city. *Ecological Solutions and Evidence* 4(2): e12234.
- Lin, D. L., J. C. J. Ko, T. Amano, C. T. Hsu, R. A. Fuller, M. Maron, M. W. Fan, S. Pursner, T. Y. Wu, S. H. Wu, W. J. Chen, E. Bayraktarov, T. Mundkur, R. S. Lin, T. S. Ding, Y. J. Lee and P. F. Lee. 2023. Taiwan's Breeding Bird Survey reveals very few declining species. *Ecological Indicators* 146: 109839.
- Lin, D. L., T. Amano, R. A. Fuller, T. S. Ding and M. Maron. 2025. Designing biodiversity-friendly landscapes: the effects of landscape heterogeneity across scales on bird species richness in Taiwan. *Landscape Ecology* 40(2): 39.
- Lin, H. T., C. Y. Sun and C. T. Hung. 2008. A study in the relationship between greenery of urban parks and bird diversity in Tainan City, Taiwan. Fifth International Conference on Urban Regeneration and Sustainability. Skiathos, Greece.
- Lizée, M. H., J. F. Mauffrey, T. Tatoni and M. Deschamps-Cottin. 2011. Monitoring urban environments on the basis of biological traits. *Ecological Indicators* 11(2): 353-361.
- Lorenzón, R. E., A. H. Beltzer, P. F. Olguin and A. L. Ronchi-Virgolini.

2016. Habitat heterogeneity drives bird species richness, nestedness and habitat selection by individual species in fluvial wetlands of the Paraná River, Argentina. *Austral Ecology* 41(7): 829-841.
- Lu, X., Y. Jia and Y. Wang. 2024. The effect of landscape composition, complexity, and heterogeneity on bird richness: a systematic review and meta-analysis on a global scale. *Landscape Ecology* 39(8): 132.
- MacGregor-Fors, I. 2008. Relation between habitat attributes and bird richness in a western Mexico suburb. *Landscape and Urban Planning* 84(1): 92-98.
- Marzluff, J. M. 2001. Worldwide urbanization and its effects on birds. pp. 19-47. *In*: Marzluff JM, Bowman R, Donnelly R (ed.) *Avian ecology and conservation in an urbanizing world*. Springer US, Boston, MA.
- Matthies, S. A., S. Rüter, F. Schaarschmidt and R. Prasse. 2017. Determinants of species richness within and across taxonomic groups in urban green spaces. *Urban Ecosystems* 20(4): 897-909.
- Mayorga, I., P. Bichier and S. M. Philpott. 2020. Local and landscape drivers of bird abundance, species richness, and trait composition in urban agroecosystems. *Urban Ecosystems* 23(3): 495-505.
- McDonald, R. I., P. J. Marcotullio and B. Güneralp. 2013. Urbanization and global trends in biodiversity and ecosystem services. pp. 31-52. *In*: Elmqvist T, Fragkias M, Goodness J, Güneralp B, Marcotullio PJ, McDonald RI, *et al.* (ed.) *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: challenges and opportunities: a global assessment*. Springer Netherlands, Dordrecht.
- McGarigal, K., S. A. Cushman and E. Ene. 2023. FRAGSTATS v4: spatial pattern analysis program for categorical maps Published on the In-

- ternet. Computer software program produced by the authors. From: <https://www.fragstats.org/>
- McKinney, M. and S. Kark. 2017. Factors shaping avian alien species richness in Australia vs Europe. *Diversity and Distributions* 23(11): 1334-1342.
- McKinney, M. L. 2006. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation* 127(3): 247-260.
- McKinney, M. L. 2008. Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Urban Ecosystems* 11(2): 161-176.
- McPherson, S. C., M. Brown and C. T. Downs. 2019. Home range of a large forest eagle in a suburban landscape: Crowned Eagles (*Stephanoaetus coronatus*) in the Durban Metropolitan Open Space System, South Africa. *Journal of Raptor Research* 53(2): 180-188.
- Melles, S. J., S. M. Glenn and K. Martin. 2003. Urban bird diversity and landscape complexity: species-environment associations along a multi-scale habitat gradient. *Conservation Ecology* 7(1): 5.
- Menard, S. 2002. *Applied Logistic Regression Analysis*. SAGE Publications, Inc., Thousand Oaks, California.
- Minor, D. M. and R. K. Kobe. 2019. Fruit production is influenced by tree size and size-asymmetric crowding in a wet tropical forest. *Ecology and Evolution* 9(3): 1458-1472.
- Narango, D. L., D. W. Tallamy and P. P. Marra. 2018. Nonnative plants reduce population growth of an insectivorous bird. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115(45): 11549-11554.
- Neate-Clegg, M. H. C., B. A. Tonelli, C. Youngflesh, J. X. Wu, G. A. Montgomery, Ç. H. Şekercioğlu and M. W. Tingley. 2023. Traits shaping ur-

- ban tolerance in birds differ around the world. *Current Biology* 33(9): 1677-1688.e1676.
- Paker, Y., Y. Yom-Tov, T. Alon-Mozes and A. Barnea. 2014. The effect of plant richness and urban garden structure on bird species richness, diversity and community structure. *Landscape and Urban Planning* 122:186-195.
- Palacio, F. X. 2020. Urban exploiters have broader dietary niches than urban avoiders. *Ibis* 162(1): 42-49.
- Palomino, D. and L. M. Carrascal. 2006. Urban influence on birds at a regional scale: A case study with the avifauna of northern Madrid province. *Landscape and Urban Planning* 77(3): 276-290.
- Patankar, S., R. Jambhekar, K. R. Suryawanshi and H. Nagendra. 2021. Which traits influence bird survival in the city? A review. *Land* 10(2): 92.
- Paz, R. V., C. Salustio-Gomes, V. R. Cavalcanti, L. Pinheiro-Silva, A. B. B. Fernandes, M. Pichorim and A. T. Gianuca. 2024. Scale-dependent effects of urbanization on avian diversity in a Neotropical region. *Urban Ecosystems* 28(1): 48.
- Peper, P., E. McPherson and S. Mori. 2001. Equations for predicting diameter, height, crown width, and leaf area of San Joaquin valley street trees. *Journal of Arboriculture* 27(6): 306-317.
- Petersen, T. K., J. D. M. Speed, V. Grøtan and G. Austrheim. 2020. Urban aliens and threatened near-naturals: land-cover affects the species richness of alien- and threatened species in an urban-rural setting. *Scientific Reports* 10(1): 8513.
- Poorter, L., M. T. van der Sande, L. Amissah, F. Bongers, I. Hordijk, J. Kok, S. G. W. Laurance, M. Martínez-Ramos, T. Matsuo, J. A. Meave, R. Muñoz, M. Peña-Claros, M. van Breugel, B. Herault, C.

- C. Jakovac, E. Lebríja-Trejos, N. Norden and M. Lohbeck. 2024. A comprehensive framework for vegetation succession. *Ecosphere* 15(4): e4794.
- R Core Team. 2024. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Reynolds, S. J., J. D. Ibáñez-Álamo, P. Sumasgutner and M. C. Mainwaring. 2019. Urbanisation and nest building in birds: a review of threats and opportunities. *Journal of Ornithology* 160(3): 841-860.
- Rutz, C. 2006. Home range size , habitat use , activity patterns and hunting behaviour of urban-breeding Northern Goshawks. *Ardea* 94(2): 185-202.
- Sax, D. F. and J. H. Brown. 2000. The Paradox of Invasion. *Global Ecology and Biogeography* 9(5): 363-371.
- Seress, G., K. Sándor, V. Bókony, B. Bukor, K. Hubai and A. Liker. 2025. Radio-tracking urban breeding birds: The importance of native vegetation. *Ecological Applications* 35(1): e3095.
- Shanahan, D. F., H. P. Possingham and T. G. Martin. 2011. Foraging height and landscape context predict the relative abundance of bird species in urban vegetation patches. *Austral Ecology* 36(8): 944-953.
- Shih, W. Y. 2018. Bird diversity of green-spaces in the densely developed city centre of Taipei. *Urban Ecosystems* 21(2): 379-393.
- Simberloff, D., J. L. Martin, P. Genovesi, V. Maris, D. A. Wardle, J. Aronson, F. Courchamp, B. Galil, E. García-Berthou, M. Pascal, P. Pyšek, R. Sousa, E. Tabacchi and M. Vilà. 2013. Impacts of biological invasions: what's what and the way forward. *Trends in Ecology & Evolution* 28(1): 58-66.

- Sol, D., C. González-Lagos, D. Moreira, J. Maspons and O. Lapiedra. 2014. Urbanisation tolerance and the loss of avian diversity. *Ecology Letters* 17(8): 942-950.
- Sol, D., C. González-Lagos, O. Lapiedra and M. Díaz. 2017. Why are exotic birds so successful in urbanized environments? pp. 75-89. *In: Murgui E, Hedblom M (ed.) Ecology and conservation of birds in urban environments.* Springer International Publishing, Cham.
- Sol, D., C. Trisos, C. Múrria, A. Jelizkov, C. González-Lagos, A. L. Pigot, C. Ricotta, C. M. Swan, J. A. Tobias and S. Pavoine. 2020. The worldwide impact of urbanisation on avian functional diversity. *Ecology Letter* 23(6): 962-972.
- Sol, D., I. Bartomeus and A. S. Griffin. 2012. The paradox of invasion in birds: competitive superiority or ecological opportunism? *Oecologia* 169(2): 553-564.
- Stohlgren, T. J., C. Jarnevich, G. W. Chong and P. H. Evangelista. 2006. Scale and plant invasions: A theory of biotic acceptance. *Preslia* 78(4): 405-426.
- Stukenholtz, E. E. and R. D. Stevens. 2022. Taxonomic and functional components of avian metacommunity structure along an urban gradient. *PLoS One* 17(8): e0271405.
- Su, S., P. Cassey and T. M. Blackburn. 2014. Patterns of non-randomness in the composition and characteristics of the Taiwanese bird trade. *Biological Invasions* 16(12): 2563-2575.
- Syrbe, R. U. and J. Chang. 2018. Options and challenges for implementing green spaces in urban development. pp. 105-173. *In: Grunewald K, Li J, Xie G, Kümper-Schlake L (ed.) Towards green cities: urban biodiversity and ecosystem services in China and Germany.* Springer International Publishing, Cham.

- Takahashi, T., K. Yamamoto, Y. Senda and M. Tsuzuku. 2005. Estimating individual tree heights of sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantations in mountainous areas using small-footprint airborne LiDAR. *Journal of Forest Research* 10(2): 135-142.
- ter Braak, C. J. F., A. Cormont and S. Dray. 2012. Improved testing of species traits–environment relationships in the fourth-corner problem. *Ecology* 93(7): 1525-1526.
- Vangestel, C. 2011. Relating phenotypic and genetic variation to urbanization in avian species: a case study on house sparrows (*Passer domesticus*). University of Ghent.
- Viana-Soto, A., M. García, I. Aguado and J. Salas. 2022. Assessing post-fire forest structure recovery by combining LiDAR data and Landsat time series in Mediterranean pine forests. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 108: 102754.
- Vilà, M., C. Basnou, P. Pyšek, M. Josefsson, P. Genovesi, S. Gollasch, W. Nentwig, S. Olenin, A. Roques, D. Roy, P. E. Hulme and D. partners. 2010. How well do we understand the impacts of alien species on ecosystem services? A pan-European, cross-taxa assessment. *Frontiers in Ecology and the Environment* 8(3): 135-144.
- Villaseñor, N. R., M. A. H. Escobar and H. J. Hernández. 2021. Can aggregated patterns of urban woody vegetation cover promote greater species diversity, richness and abundance of native birds? *Urban Forestry & Urban Greening* 61: 127102.
- Yang, M., C. T. Callaghan and J. Wu. 2023. How do birds with different traits respond to urbanization? A phylogenetically controlled analysis based on citizen science data and a diverse urbanization measurement. *Landscape and Urban Planning* 237: 104801.

表 1 樣區尺度 (樣區 $60 \times 60 \text{ m}^2$ 內) 與地景尺度 (樣區周圍 500 m 半徑範圍) 的棲地變數與定義
 Table 1 Definitions and scales of habitat variables used in the analysis, including local-scale (within $60 \times 60 \text{ m}^2$ plots) and landscape-scale (500 m radius buffer) habitat variables

Scale	Variable	Acronym	Definition
Local (Within $60 \times 60 \text{ m}^2$ plot)	Vegetation height (m)	In Veg height	The median vegetation height within each plot was used as a proxy for local vegetation structure. Taller vegetation generally indicated the presence of mature trees, while shorter vegetation suggested more open ground or less developed vegetation cover.
	Tree cover (%)	In Tree	Tree cover was defined as the proportion of vegetation equal to or taller than 2 meters within each plot. Higher values indicated greater canopy cover.
Landscape (500m buffer around each plot)	Forest cover (%)	Forest	Forest cover was defined as the proportion of vegetation with a height equal to or greater than 2 meters.
	Grassland cover (%)	Grassland	Grassland cover was defined as the proportion of vegetation with a height less than 2 meters, including areas dominated by tall grass or lawn.
	River cover (%)	River	River cover was defined as the proportion of rivers, streams, and other water flows.
	Water body cover (%)	Water body	Water body cover was defined as the proportion of area occupied by lakes or ponds, whether naturally formed or artificially excavated.
	Agricultural cover (%)	Agriculture	Agricultural cover was defined as the proportion of land used for rice and other paddy crops, dry farming, and fruit tree cultivation.
	Impervious surface cover (%)	Impervious surface	Impervious surface cover was defined as the proportion of area occupied by roads, buildings, schools, and other public facilities.

表 2 臺北都會區六類樣區類型在樣區尺度與地景尺度之棲地變數平均值

Table 2 Mean values of local-scale or landscape-scale habitat variables across six habitat types in the Taipei Metropolitan Area

Habitat type	Local scale		Landscape scale						
	Vegetation height (m)	Tree cover (%)	Forest (%)	Grassland (%)	River (%)	Water body (%)	Agricultural area (%)	Impervious surface (%)	Landscape heterogeneity
Forest	10.16	96.24	67.85	6.80	0.23	0.40	0.01	24.71	0.74
Agricultural lands	1.03	6.09	9.69	24.71	10.42	0.80	22.75	31.64	1.17
Riparian lawns	1.38	6.80	8.05	25.55	21.48	1.24	0.07	43.61	1.16
Urban parks	6.10	58.49	11.51	9.20	1.42	0.56	0.00	77.31	0.69
Multi-story buildings	3.49	7.94	8.17	9.18	1.10	0.41	0.72	80.42	0.61
Commercial areas	0.96	1.89	4.42	6.79	0.80	0.21	0.02	87.76	0.44

表 3 各繁殖鳥種功能性狀，包含型態、食性種類、覓食位置、巢位、棲地廣度、外來種 / 原生種等性狀類別與資料格式

Table 3 Functional traits of breeding bird species, including trait types and data format for morphology, diet, foraging stratum, nesting location, habitat breadth, and alien (or native) status

Traits	Types	Description	Data format
Alien status	Alien or native	Alien birds referred to species that were introduced to Taiwan and were not native to the region.	Binary
Morphology	Body weight	Body weight of each bird species.	Continuous
	Bill length	The distance from the tip to the base of the bill	
	Wing length	The distance from the carpal joint to the tip of the longest primary feather on the unfattened wing	
Diet	Invertebrates	Included hexapods, spiders, annelids, molluscs, crustaceans, multipods, and plankton.	Proportional values
	Terrestrial vertebrates	Mammal, bird, reptile, amphibian	(0~100%).
	Fish	Fish	The sum of all items
	Carrion	Animal carcasses	equals to
	Food remnants	Human food remnants, supplemental food	100%
	Fruits	Fruits	
	Seeds	Seeds	
	Nectar and leaves	Nectar, flowers, leaves, or other plant material.	
Diet breadth		Number of items present in the diet	Count
Foraging stratum	Aerial	Foraging in aerial.	Proportional values
	Aquatic	Foraging under the deep, shallow water, around the water surface, or mudflat.	(0~100%).
	Canopy	Foraging in the canopy, or middle layer in trees, on the trunk.	The sum of all items
	Understory	Foraging in the shrubs, or tall grass.	equals to
	Ground	Foraging on the bare soil, or lawn.	100%
Nest location	Artificial structure	Nesting in artificial structures, buildings, or facilities.	Binary
	Cavity	Nesting in unused tree holes, rock crevices, or hollows.	Binary
	Tree	Nesting within the foliage, on the branches or the trunk.	Binary
	Understory	Nesting on the shrubs or tall grass.	Binary

	Soil slope	Nesting in the soil slope without vegetation.	Binary
	Ground	Nesting on the ground.	Binary
Habitat breadth		The number of habitat categories per species was defined based on IUCN habitat classifications, including forest, shrub land, grassland, inland wetland, rocky area, marine intertidal area, terrestrial artificial area, and aquatic artificial area.	Count

表 4 棲地變數間相關性分析結果

Table 4 Pearson correlation coefficients among habitat variables Highly correlated variables ($r > 0.7$) are assessed and shown in bold to reduce multi-collinearity before inclusion in regression models and trait-based analyses.

Variables	Local scale		Landscape scale						
	Vegetation height	Tree cover	Forest (%)	Grassland (%)	River (%)	Water body (%)	Agricultural area (%)	Impervious surface (%)	Landscape heterogeneity
Vegetation height (m)	1	0.86	0.70	-0.42	-0.31	-0.15	-0.20	-0.21	-0.23
Tree cover (%)		1	0.79	-0.37	-0.32	-0.10	-0.20	-0.30	-0.15
Forest (%)			1	-0.26	-0.28	-0.10	-0.12	-0.58	-0.04
Grassland (%)				1	0.50	0.37	0.10	-0.41	0.75
River (%)					1	0.22	-0.03	-0.32	0.62
Water body (%)						1	0.10	-0.22	0.4
Agriculture (%)							1	-0.44	0.21
Impervious surface (%)								1	-0.61
Landscape heterogeneity									1

Highly correlated variables ($r > 0.7$) are assessed and shown in bold to reduce multi-collinearity before inclusion in regression models and trait-based analyses.

表 5 以空間迴歸分析棲地變數與原生、外來及所有鳥種多樣性指數的相關性
 Table 5 Results of spatial regression analysis examining the effects of habitat variables on native, alien, and overall bird diversity metrics

Response variable	Bird species	Local scale		Landscape scale			
		Vegetation height	Impervious surface cover	Agricultural cover	River cover	Water body cover	Landscape Heterogeneity
Species richness	Overall	-	0.83*	1.17***	-	-	2.06***
	native birds	0.10**	-	0.17***	-	-	0.24***
	alien birds	(-0.24)***	0.59***	0.18***	0.22***	-	0.29***
Abundance	Overall	-	0.33***	0.12**	0.12*	(-0.12)**	0.33***
	native birds	0.12*	0.29***	0.13*	-	(-0.14)**	0.38***
	alien birds	(-0.33)***	0.83***	0.20*	0.47***	-	0.41***

The table presents estimates for significant predictors only (* p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001). Metrics for overall bird species (native + alien) are shown in bold.

表 6 RLQ 分析結果，摘要環境變數 (R), 鳥種組成 (L), and 鳥種性狀 (Q) 在 RLQ 分析第一、二軸解釋能力

Table 6 Summary of RLQ analysis results, showing the explained variance of environmental variables (R), species composition (L), and species traits (Q) along the first and second RLQ axes.

Total inertia: 1.318			
Projected inertia (%):			
	Ax1	Ax2	
	58.68	37.79	
Eigen values decomposition L:			
	eig	covariance	correlation
eig1	0.773	0.879	0.339
eig2	0.498	0.706	0.322
Inertia & coinertia R:			
	inertia	max	ratio
eig1	1.647	2.346	0.702
eig1+2	3.332	3.576	0.932
Inertia & coinertia Q:			
	inertia	max	ratio
eig1	4.094	5.210	0.786
eig1+2	6.937	8.777	0.790
Correlation L:			
	corr	max	ratio
eig1	0.339	0.696	0.486
eig2	0.322	0.524	0.615

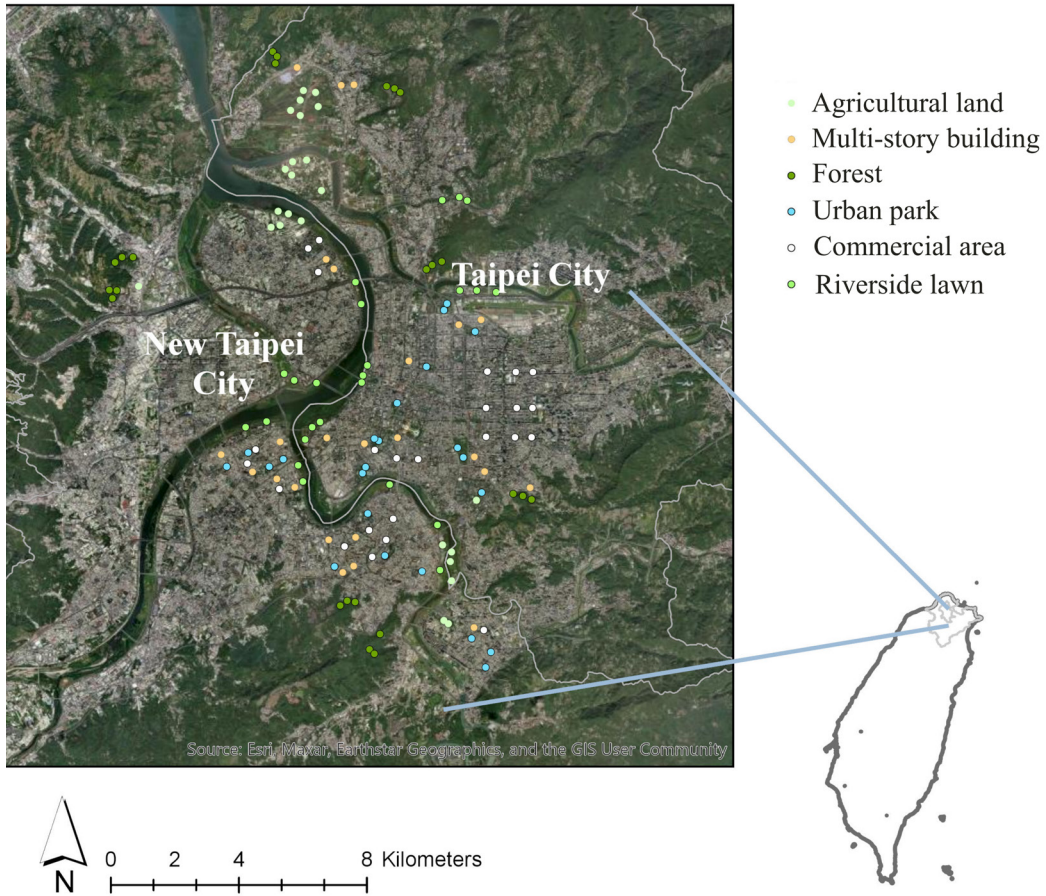


圖 1 臺北都會區研究樣區分布圖，位於臺北市及新北市境內。在都市梯度上選取六類棲地代表，含闊葉森林、農田、河濱草坪、都市公園、公寓住宅區與商業區。

Fig. 1 Location of the study area within the Taipei Metropolitan Area, including both Taipei City and New Taipei City. Six habitat types were selected along an urbanization gradient, including forest, agricultural land, riparian lawn, urban park, residential area (multi-story buildings), and commercial area.

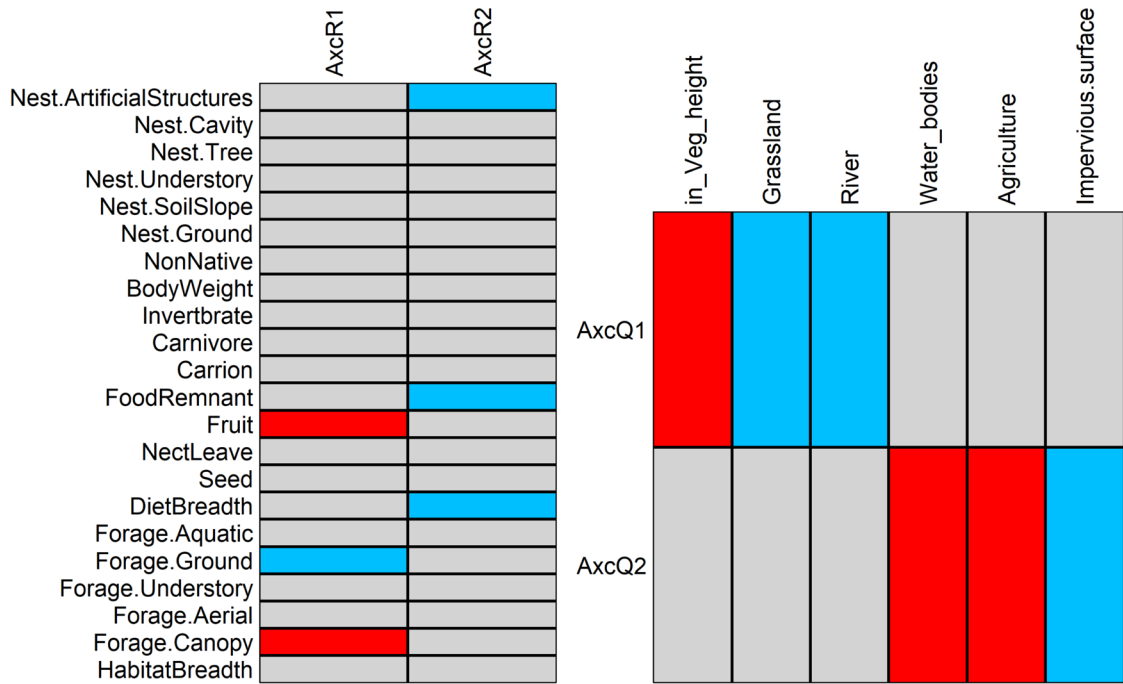


圖 3 結合 RLQ 及四角分析的結果，左、右圖分別顯示與 RLQ 兩軸具顯著相關性的性狀與棲地變數，紅色表示正相關，藍色表示負相關。AxcR1、AxcR2 代表與 RLQ 分析第 1、2 軸相關的棲地變數；AxcQ1、AxcQ2 代表與 RLQ 分析第 1、2 軸相關的性狀。

Fig. 3 Results from the combined RLQ and fourth-corner analyses displaying significant associations between habitat variables and functional traits of bird communities in the Taipei Metropolitan Area. The left panel shows functional traits significantly associated with the first (AxcQ1) and second (AxcQ2) RLQ axes, while the right panel shows the corresponding habitat variables (AxcR1 and AxcR2). Red and blue cells indicate positive and negative associations, respectively. Only statistically significant associations are displayed.

附錄 本研究記錄到的繁殖鳥種與相對數量

Appendix Breeding bird species recorded and their total abundances in this study.

Family	Family (Chinese)	Species	Chinese names	Native/Alien	Abundance	%
Accipitridae	鷹科	<i>Accipiter trivirgatus</i>	鳳頭蒼鷹	Native	10	0.089
Accipitridae	鷹科	<i>Accipiter virgatus</i>	松雀鷹	Native	1	0.009
Accipitridae	鷹科	<i>Elanus caeruleus</i>	黑翅鳶	Native	1	0.009
Accipitridae	鷹科	<i>Milvus migrans</i>	黑鳶	Native	1	0.009
Accipitridae	鷹科	<i>Spilornis cheela</i>	大冠鷲	Native	2	0.018
Alaudidae	百靈科	<i>Alauda gulgula</i>	小雲雀	Native	6	0.054
Alcedinidae	翠鳥科	<i>Alcedo atthis</i>	翠鳥	Native	1	0.009
Anatidae	雁鴨科	<i>Anas zonorhyncha</i>	花嘴鴨	Native	1	0.009
Apodidae	雨燕科	<i>Apus nipalensis</i>	小雨燕	Native	59	0.527
Ardeidae	鷺科	<i>Bubulcus ibis</i>	黃頭鷺	Native	225	2.009
Ardeidae	鷺科	<i>Egretta garzetta</i>	小白鷺	Native	16	0.143
Ardeidae	鷺科	<i>Gorsachius melanolophus</i>	黑冠麻鷺	Native	53	0.473
Ardeidae	鷺科	<i>Ixobrychus sinensis</i>	黃小鷺	Native	1	0.009
Ardeidae	鷺科	<i>Nycticorax nycticorax</i>	夜鷺	Native	27	0.241
Caprimulgidae	夜鷹科	<i>Caprimulgus affinis</i>	南亞夜鷹	Native	1	0.009
Charadriidae	鴉科	<i>Charadrius dubius</i>	小環頸鴉	Native	9	0.080
Cisticolidae	扇尾鶯科	<i>Cisticola exilis</i>	黃頭扇尾鶯	Native	2	0.018
Cisticolidae	扇尾鶯科	<i>Cisticola juncidis</i>	棕扇尾鶯	Native	11	0.098
Cisticolidae	扇尾鶯科	<i>Prinia flaviventris</i>	灰頭鷓鶯	Native	17	0.152
Cisticolidae	扇尾鶯科	<i>Prinia inornate</i>	褐頭鷓鶯	Native	52	0.464
Columbidae	鳩鴿科	<i>Chalcophaps indica</i>	翠翼鳩	Native	5	0.045
Columbidae	鳩鴿科	<i>Columba livia</i>	野鴿	Alien	928	8.286
Columbidae	鳩鴿科	<i>Spilopelia chinensis</i>	珠頸斑鳩	Native	603	5.384
Columbidae	鳩鴿科	<i>Streptopelia orientalis</i>	金背鳩	Native	188	1.679
Columbidae	鳩鴿科	<i>Streptopelia tranquebarica</i>	紅鳩	Native	80	0.714
Columbidae	鳩鴿科	<i>Treron sieboldii</i>	綠鳩	Native	1	0.009
Corvidae	鴉科	<i>Corvus macrorhynchos</i>	巨嘴鴉	Native	3	0.027
Corvidae	鴉科	<i>Dendrocitta formosae</i>	樹鴉	Native	167	1.491
Corvidae	鴉科	<i>Pica serica</i>	喜鴉	Alien	143	1.277
Corvidae	鴉科	<i>Urocissa caerulea</i>	臺灣藍鴉	Native	27	0.241
Dicruridae	卷尾科	<i>Dicrurus aeneus</i>	小卷尾	Native	1	0.009
Dicruridae	卷尾科	<i>Dicrurus macrocercus</i>	大卷尾	Native	38	0.339
Estrildidae	梅花雀科	<i>Estrilda melpoda</i>	橙頰梅花雀	Alien	3	0.027
Estrildidae	梅花雀科	<i>Lonchura atricapilla</i>	黑頭文鳥	Native	12	0.107

附錄 本研究記錄到的繁殖鳥種與相對數量 (續)

Appendix Breeding bird species recorded and their total abundances in this study (continued)

Leiothrichidae	噪眉科	<i>Alcippe morrisonia</i>	繡眼畫眉	Native	6	0.054
Leiothrichidae	噪眉科	<i>Garrulax taewanus</i>	臺灣畫眉	Native	1	0.009
Leiothrichidae	噪眉科	<i>Pterorhinus chinensis</i>	黑喉噪眉	Alien	2	0.018
Megalaimidae	鬚鴛科	<i>Psilopogon nuchalis</i>	五色鳥	Native	226	2.018
Monarchidae	王鷓科	<i>Hypothymis azurea</i>	黑枕藍鷓	Native	37	0.330
Motacillidae	鶺鴒科	<i>Motacilla alba</i>	白鶺鴒	Native	3	0.027
Muscicapidae	鶺鴒科	<i>Copsychus malabaricus</i>	白腰鶺鴒	Alien	5	0.045
Muscicapidae	鶺鴒科	<i>Copsychus saularis</i>	鶺鴒	Alien	36	0.321
Muscicapidae	鶺鴒科	<i>Myophonus insularis</i>	臺灣紫嘯鶺	Native	1	0.009
Passeridae	麻雀科	<i>Passer montanus</i>	麻雀	Native	2178	19.446
Phasianidae	雉科	<i>Bambusicola sonorivox</i>	臺灣竹雞	Native	6	0.054
Picidae	啄木鳥科	<i>Yungipicus canicapillus</i>	小啄木	Native	2	0.018
Psittaculidae	舊世界鸚鵡科	<i>Agapornis fischeri</i>	費氏愛情鳥	Alien	1	0.009
Pycnonotidae	鶇科	<i>Hypsipetes leucocephalus</i>	紅嘴黑鶇	Native	540	4.821
Pycnonotidae	鶇科	<i>Pycnonotus sinensis</i>	白頭翁	Native	1218	10.875
Rallidae	秧雞科	<i>Amaurornis phoenicurus</i>	白腹秧雞	Native	14	0.125
Rallidae	秧雞科	<i>Gallinula chloropus</i>	紅冠水雞	Native	9	0.080
Rallidae	秧雞科	<i>Zapornia fusca</i>	緋秧雞	Native	1	0.009
Sturnidae	八哥科	<i>Acridotheres cristatellus</i>	八哥	Native	104	0.929
Sturnidae	八哥科	<i>Acridotheres javanicus</i>	白尾八哥	Alien	480	4.286
Sturnidae	八哥科	<i>Acridotheres tristis</i>	家八哥	Alien	698	6.232
Sturnidae	八哥科	<i>Aplonis panayensis</i>	亞洲輝椋鳥	Alien	267	2.384
Sturnidae	八哥科	<i>Gracupica nigricollis</i>	黑領椋鳥	Alien	281	2.509
Sturnidae	八哥科	<i>Sturnia malabarica</i>	灰頭椋鳥	Alien	7	0.063
Sylviidae	鶯科	<i>Sinosuthora webbiana</i>	粉紅鸚嘴	Native	1	0.009
Threskiornithidae	鸚科	<i>Threskiornis aethiopicus</i>	埃及聖鸚	Alien	6	0.054
Timaliidae	畫眉科	<i>Cyanoderma ruficeps</i>	山紅頭	Native	31	0.277

附錄 本研究記錄到的繁殖鳥種與相對數量 (續)

Appendix Breeding bird species recorded and their total abundances in this study (continued)

Family	Family (Chinese)	Species	Chinese names	Native/Alien	Abundance	%
Timaliidae	畫眉科	<i>Erythrogenys erythrocnemis</i>	大鸞嘴	Native	7	0.063
Timaliidae	畫眉科	<i>Pomatorhinus musicus</i>	小鸞嘴	Native	50	0.446
Vireonidae	綠鵙科	<i>Erpornis zantholeuca</i>	綠畫眉	Native	13	0.116
Zosteropidae	繡眼科	<i>Zosterops simplex</i>	斯氏繡眼	Native	1168	10.429