

# 以物種分布模型推估多樣性熱點—評「生物多樣性熱點之推估：以台灣特有鳥種為例」

## Using species distribution models to estimate biodiversity hotspots—Comment on "*Estimating Biodiversity Hotspot: A Case Study of Endemic Bird Species in Taiwan*"

許皓捷<sup>1,\*</sup> 吳采諭<sup>2</sup>

Hau-Jie Shiu<sup>1,\*</sup> and Tsai-Yu Wu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 國立臺南大學生態暨環境資源學系 700 臺南市中西區樹林街二段 33 號

<sup>2</sup> 行政院農業委員會特有生物研究保育中心 552 南投縣集集鎮民生東路 1 號

<sup>1</sup> Department of Ecology and Environmental Resources, National University of Tainan, Tainan, Taiwan

<sup>2</sup> Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou, Taiwan

\*通訊作者：shihj@gm2.nutn.edu.tw

\*corresponding author: shihj@gm2.nutn.edu.tw

### 摘要

多樣性分布預測與熱點推估是研擬生物多樣性保育策略的首要工作。呂(2016)提出一套以物種分布模型的分布機率值推估生物多樣性熱點的分析方法，並以臺灣特有鳥種為範例。但是我們發現該方法不論在生態學學理或科學邏輯方面均有嚴重瑕疵，對學術研究或保育政策擬定可能產生嚴重誤導。我們以臺灣繁殖鳥類大調查計畫(BBS Taiwan)的特有鳥種分布資料，重複呂的推估方法。我們也以同樣資料，但以物種的二位元分布模型疊合得到多樣性分布圖，再以之推估熱點。我們以BBS Taiwan 資料的已知熱點，檢驗兩推估方法得到的熱點之正確性，實證呂方法的謬誤。我們認為呂(2016)的方法不應該再被使用於任何多樣性熱點分析或棲地威脅度評估。

## Abstract

Predicting biodiversity distributions and identifying the hotspots are essential in order to design strategies for biodiversity conservation. Lu (2016) proposed a process to estimate biodiversity hotspots based on the probabilities computed from species distribution models (SDM), using Taiwan's endemic bird species as an example. However, we found that Lu's methods were seriously flawed in ecological concepts and scientific logic, and could be misleading in the formulations of academic research or conservation policies. We used a dataset on endemic bird species from the Taiwan Breeding Bird Survey project to build two biodiversity maps: one based on Lu's process and the other one based on binary (i.e., presence/absence) SDMs, a general method reported in the literature. We tested the predicted hotspots from both maps against a set of known hotspots, and found that Lu's methods severely underperformed compared to the general method. We therefore urge that the methods of Lu (2016) should not to be used anymore in biodiversity hotspot analyses or habitat-risk assessments.

**關鍵詞：**生物多樣性熱點、保育、物種分布模型

**Keywords:** biodiversity hotspot, conservation, species distribution model

收件日期：2017 年 10 月 02 日

接受日期：2017 年 12 月 01 日

Received: October 02, 2017

Accepted: December 01, 2017

## 前 言

生物多樣性是人類存活於地球所必須的生命支持系統之一(Rockström *et al.* 2009; Steffen *et al.* 2015)，也是生態系功能與服務的基礎(Millennium Ecosystem Assessment 2003; Maynard *et al.* 2010; Pereira *et al.* 2013)。在有限資源下，生物多樣性保育策略往往需考量優先順序與執行效率。生物多樣性熱點(biodiversity hotspots) (Myers 1988; Myers *et al.* 2000)因為可以提高保育效率，遂成爲近代全球保育行動的主要工具(O'Donnell *et al.* 2012; Sloan *et al.*

2014)，也是保護生物多樣性最有效的途徑之一(Myers *et al.* 2000; Marchese 2015)。

生物多樣性熱點係指具備高度生物特有性，且棲地受到相當程度威脅的地區。此概念最早由 Myers(1988)提出，其後並以至少擁有 1,500 種以上之特有種維管束植物，以及喪失 70%以上原生植被兩項具體標準，選出全球 35 個生物多樣性熱點(Myers *et al.* 2000; Mittermeier *et al.* 2004; Williams *et al.* 2011)。這些熱點扣除受到破壞的棲地後，僅占全球陸地面積的 2.3%，卻涵蓋了全球 50%以上的特有種維管束植物，43%特有種陸域脊椎動物，並

庇護了 60% 受脅的哺乳類、63% 的受脅鳥類，以及 79% 的受脅兩生類(Mittermeier *et al.* 2011)。而因應保育需求，在全球尺度的熱點定義外，也已發展出不同尺度與不同類型的熱點分析(Prendergast *et al.* 1993; Samson and Knopf 1993; Dobson *et al.* 1997; Kerr 1997; Myers *et al.* 2000; Orme *et al.* 2005)，有助於將保育工作直接引導至保護區系統網絡的空白處(Myers *et al.* 2000; Ceballos and Ehrlich 2006; Garcia 2006; Callicott *et al.* 2007; Schouten *et al.* 2010)。

多樣性空間分布資訊是熱點選擇的依據(Mace *et al.* 2008; Peterson and Navarro-Sigüenza 2016)。早期研究以文獻調查資料(*e.g.*, 聶 1999; 林 2002)或圖鑑分布圖(atlas) (*e.g.*, 何 2005)整理多樣性分布。但是調查資料容易有努力量不一致，以及未被調查區域的多樣性分布情形無從得知的缺點。圖鑑的生物分布圖則受限於準確度與精細度，無法應用於小尺度熱點分析。近期研究則多由分布模型獲取生物多樣性資訊：直接在群聚階層建構模型(Ferrier and Guisan 2006; Mokany *et al.* 2011)，或先建構個別物種分布模型(species distribution models, SDM) (Elith and Leathwick 2009; Kearney and Porter 2009)，再疊合得到多樣性分布圖(*e.g.*, Ko *et al.* 2009; Wu *et al.* 2013)。其中，疊合 SDM 的分析程序大致如下：(1)先依據已知分布位置及環境背景值，建構每一物種的 SDM，得到分布機率值；(2)以適當切點判定為分布或未分布，得到二位元之分布模型；(3)疊合所有物種的二位元分布模型，得到物種豐富度(species richness)分布圖。

呂(2016)創立一套獲取多樣性分布資訊及選取熱點的方法。此法先以  $1 \times 1$  km 網格系統，利用 maximum entropy (以下簡稱 maxent)

建構每一物種的 SDM，再依據所有物種 SDM 的分布機率，計算網格的 Shannon 指數 (該文將之簡稱為 SHDI)，並等比轉換為 0–1 之相對值。數值愈高，則物種多樣性愈高。另將威脅棲地之因子(建地、農地、道路、人口密度、崩塌地)以主成分分析(principle component analysis, PCA)線性綜合，再以每一軸的特徵值為權重，計算每一網格在 PCA 前三軸加權排序分數總和(該文簡稱為 HR)，同樣以等比方式轉換為 0–1 之相對值。數值愈高，代表棲地存在之危險度愈高。最後，將轉換後之 SHDI 與 HR 交集，選取兩者之最小值為該網格的生物多樣性熱點分數(簡稱 BioHS)。BioHS 數值愈高，代表 SHDI 與 HR 交集率愈高；藉此，選出生物多樣性熱點範圍。該文以臺灣特有鳥種為例，認為其方法可有效推估特有鳥種之生物多樣性熱點，並可應用於其他生物類群，協助決策者制定正確的保育策略與方針。

我們發現呂的文章存在嚴重錯誤，有必要加以指正，以免相關研究及保育決策被誤導。首先，以 maxent 建構 SDM 所得到的網格預測值，是分布機率(Phillips *et al.* 2006; Merow *et al.* 2013)，而非相對豐量(relative abundance)，不應該被用以計算 Shannon 指數。其次，多樣性熱點的概念，是要將有限保育資源投注在含有大量物種的小範圍區域。因此多樣性熱點的選取，應只考量一地區的物種數，亦即物種豐富度，而非其歧異度(heterogeneity; *e.g.*, Shannon 指數)。第三，在所謂威脅棲地因子存在之下，卻還能有高生物多樣性，就表示這些並不是威脅因子。而如果威脅棲地因子的確有損生物多樣性，則 SHDI 與 HR 的分布應呈現相反趨勢(假設 SHDI 的確可以正確反映生物多樣性)；以兩者交集之較低數值計算出的 BioHS，數值再高，也不會是物種分布的真正熱點。將威脅

因子與推估的生物多樣性交集，以篩選生物多樣性熱點的做法，顯然存在邏輯謬誤。最後，我們發現呂(2016)以 PCA 計算棲地危險度的結果完全不合理；計算過程可能沒有檢查棲地因子在每一軸的主成分負荷 (component loading)，導致以建地、農地、道路、人口密度、崩塌地因子計算的棲地危險度，主要危險區域竟集中在人煙稀少的雪山山脈與中央山脈中高海拔地區。這使得其 SHDI 與 HR 的分布模式類似(呂 2016 的圖 3)。我們懷疑因為這個錯誤，致使其選出的特有鳥種多樣性熱區分布於中高海拔地區，而與前人研究結果(*i.e.*, Ko *et al.* 2014)相符，以致未發現其篩選流程所存在的嚴重邏輯謬誤。

本文比較呂(2016)與學界一般做法的差異。我們以臺灣繁殖鳥類大調查計畫(Taiwan Breeding Bird Survey；以下簡稱 BBS Taiwan) 2009–2015 年資料(柯等 2016)，利用 maxent 建構特有鳥種的 SDM。我們依循呂(2016)的方法計算 SHDI、HR、以及 BioHS，但 HR 公式依據 PCA 每一軸的棲地因子主成分負荷予以修改。我們同時也依照學界一般做法，將每一鳥種 SDM 分布機率值，以適當切點轉換為 0/1 之二位元分布；疊合所有鳥種之分布模型，得到特有鳥種豐富度分布圖。最後，我們以 BBS Taiwan 實際熱點位置，評價兩方法得到的特有鳥種熱點之正確性。

## 研究方法

鳥類分布資料取自 BBS Taiwan 2009–2015 年之調查數據。BBS Taiwan 以  $1 \times 1$  km 網格系統在全臺隨機選取樣區，再於可及者，沿既有道路或步道設置 6–10 個相距 200 m 以上之樣點；樣點位置可延伸至樣區網格外的

方圓 1 km 以內。不計重複調查，2009–2015 年累計已有 453 個樣區。每個樣區在每年三到六月以定點計數法(point count)重複 2 次鳥類調查。每次調查在日出至日出後 4 hr 內完成；每個樣點停留 6 min，記錄 100 m 半徑內發現的鳥種與數量。我們以鳥類在樣區的每一樣點出現情形建構 SDM，因此個別鳥種的出現網格數可能超過 453 個。

我們以海拔、年均溫、年雨量、人口密度，以及建物、農田、森林、果園覆蓋面積比例，做為建構 SDM 的環境背景值。另外，將人口密度(population density)、道路面積(surface area of roads)，以及建物(building)、農田(farm field)、裸地(bare land)覆蓋面積比例，以相關矩陣做 PCA，再依循呂(2016)的方法計算 HR。但是 HR 公式中，每一主成分軸加權的正負號，依環境因子的主成分負荷之正負號修改，以使 HR 數值愈大，反映的環境因子測量值愈大。環境因子中，海拔高度以 30 m 解析度之數值高程模型(Digital Elevation Model)計算而得；來源為 2011 年釋出之 ASTER Global Digital Elevation Model version 2。氣候資料取自臺灣氣候變遷推估與資訊平台(<https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/v2/index.aspx>) 2000–2012 年每月均溫與降雨； $1 \times 1$  km 解析度。人口密度資料取自內政部統計處 2015/3/21 公布之最小統計區人口數。道路面積資料取自交通路網數值圖 2015 年版。土地利用資料取自「國土利用調查成果」及「臺灣現生天然植群圖」。「國土利用調查成果」係內政部依據 2004 年後的遙測影像，於 2006–2008 年建置完成。「臺灣現生天然植群圖」則是依據 2004–2009 年「國家植群多樣性調查及製圖計畫」的現生天然植群分布調查成果繪製而得。環境因子資料庫建置細節，請參考許(2016)之說明。

我們採用 maxent 建構特有鳥種的 SDM；以 MaxEnt version 3.3.3k (Phillips *et al.* 2006) 進行。參數設定：背景值點位最大值(max number of background points) 40000；輸出格式選擇 logistic；測試樣本比例 25%；其餘使用軟體預設值(Merow *et al.* 2013)。特別注意的是，烏頭翁(*Pycnonotus taivanus*)地理分布僅侷限於東臺灣及恆春半島，但 SDM 無法呈現實際之特殊地理分布現象。因此除位於花蓮、臺東、以及屏東縣牡丹鄉、滿洲鄉、車城鄉及恆春鎮的網格外，其餘網格的烏頭翁分布機率值均調整為 0，再進行後續之分析。區分預測有否分布之臨界值，採用 10 percentile training presence 決定之(Norris 2014)。最後，疊合全部鳥種之預測結果，得到每一網格特有鳥種之物種豐富度估計值(estimated species richness; 以下簡稱 ESR)。另外，將每一鳥種在網格的分布機率值，亦即 MaxEnt 輸出的 logistic 數值，依呂(2016)的方法計算 SHDI；再由 SHDI 與 HR 交集之最小值，得到 BioHS。

我們以 BBS Taiwan 觀察到的特有種多樣性熱點，評價不同方法的正確性。臺灣繁殖鳥類物種豐富度沿海拔呈駝形分布(Shiu and Lee 2003; Ding *et al.* 2005; Koh *et al.* 2006a)，大致可用 mid-domain effect (Colwell and Lees 2000) 予以解釋(Koh *et al.* 2006b)。依據 mid-domain effect，物種豐富度峰值是總物種數的 1/2。臺灣特有種鳥類 27 種；若沿地理梯度的分布完全依循 mid-domain effect 的假設(即各物種的分布位置與範圍完全隨機)，則多樣性最高地區的種數應有 13 種。我們以此為熱點臨界值；如果某一 BBS Taiwan 樣區歷年特有鳥種紀錄

種數累計達 13 種(含)以上，則該樣區即認定為已知之特有鳥種多樣性熱點。我們以敏感性(sensitivity；即已知熱點被預測為熱點的比例)及偽陰性(false negative；預測的非熱點中，含有已知熱點的比例)評估多樣性熱點選擇方法的優劣。我們並不檢測非熱點的正確性，即特异性(specificity；已知非熱點被正確預測的比例)與偽陽性(false positive；預測為熱點但實際為非熱點的比例)，因為 BBS Taiwan 樣區目前被判定為非熱點者，可能僅係力量尚不充分之故。將所有網格的預測值由大到小排序，以全部網格的前 5, 10, 25, 50% 為熱點，分別計算 ESR、SHDI、BioHS 的敏感性及偽陰性。

另外，為瞭解 Shannon 指數是否可反映物種豐富度，並用以篩選多樣性熱點，我們分析 Shannon 指數與物種豐富度之間的關係。我們將 BBS Taiwan 2009–2015 年的每年每一樣區視為一獨立樣本，計算其物種豐富度與 Shannon 指數。再將所有年份的樣本依物種豐富度由大到小排序，定義前 10% 樣本為多樣性熱點樣本。另依 Shannon 指數由大到小排序，定義前 10% 樣本的 Shannon 指數最小值為熱點臨界值。

## 結 果

全部 27 種特有鳥種的 SDM 均表現良好。判斷模型表現優劣的 AUC (area under the receiver operating characteristic curve) 數值，都在 0.8 以上。每一鳥種建構 SDM 的網格數及模型的 AUC，詳見表 1。依據 SDM 分布機率計算得到的 ESR 及 SHDI，如圖 1a 及 1b。

表 1. 分析鳥種的紀錄網格數與分布模型的訓練樣本 AUC

Table 1. The number of recorded grids and SDM training AUC of Taiwan's endemic bird species

Scientific names	English names	Number of recorded grids	Training AUC
<i>Arborophila crudigularis</i>	Taiwan Partridge	274	0.83
<i>Bambusicola sonorivox</i>	Taiwan Bamboo-Partridge	789	0.83
<i>Syrnaticus mikado</i>	Mikado Pheasant	16	0.94
<i>Lophura swinhoii</i>	Swinhoe's Pheasant	32	0.86
<i>Psilopogon nuchalis</i>	Taiwan Barbet	990	0.80
<i>Urocissa caerulea</i>	Taiwan Blue-Magpie	238	0.93
<i>Sittiparus castaneiventris</i>	Chestnut-bellied Tit	37	0.89
<i>Machlolophus holsti</i>	Yellow Tit	69	0.94
<i>Pycnonotus taivanus</i>	Styan's Bulbul	143	0.93
<i>Regulus goodfellowi</i>	Flamecrest	60	0.97
<i>Pnoepyga formosana</i>	Taiwan Cupwing	91	0.94
<i>Locustella alishanensis</i>	Taiwan Bush-Warbler	94	0.93
<i>Fulvetta formosana</i>	Taiwan Fulvetta	64	0.97
<i>Yuhina brunneiceps</i>	Taiwan Yuhina	250	0.87
<i>Pomatorhinus musicus</i>	Taiwan Scimitar-Babbler	905	0.81
<i>Megapomatorhinus erythrocnemis</i>	Black-necklaced Scimitar-Babbler	602	0.82
<i>Alcippe morrisonia</i>	Morrison's Fulvetta	675	0.81
<i>Garrulax taewanus</i>	Taiwan Hwamei	207	0.90
<i>Ianthocincla ruficeps</i>	Rufous-crowned Laughingthrush	18	0.91
<i>Ianthocincla poecilorhyncha</i>	Rusty Laughingthrush	75	0.88
<i>Trochalopteron morrisonianum</i>	White-whiskered Laughingthrush	90	0.96
<i>Heterophasia auricularis</i>	White-eared Sibia	328	0.83
<i>Liocichla steerii</i>	Steere's Liocichla	221	0.92
<i>Actinodura morrisoniana</i>	Taiwan Barwing	64	0.94
<i>Myophonus insularis</i>	Taiwan Whistling-Thrush	310	0.85
<i>Tarsiger johnstoniae</i>	Collared Bush-Robin	78	0.97

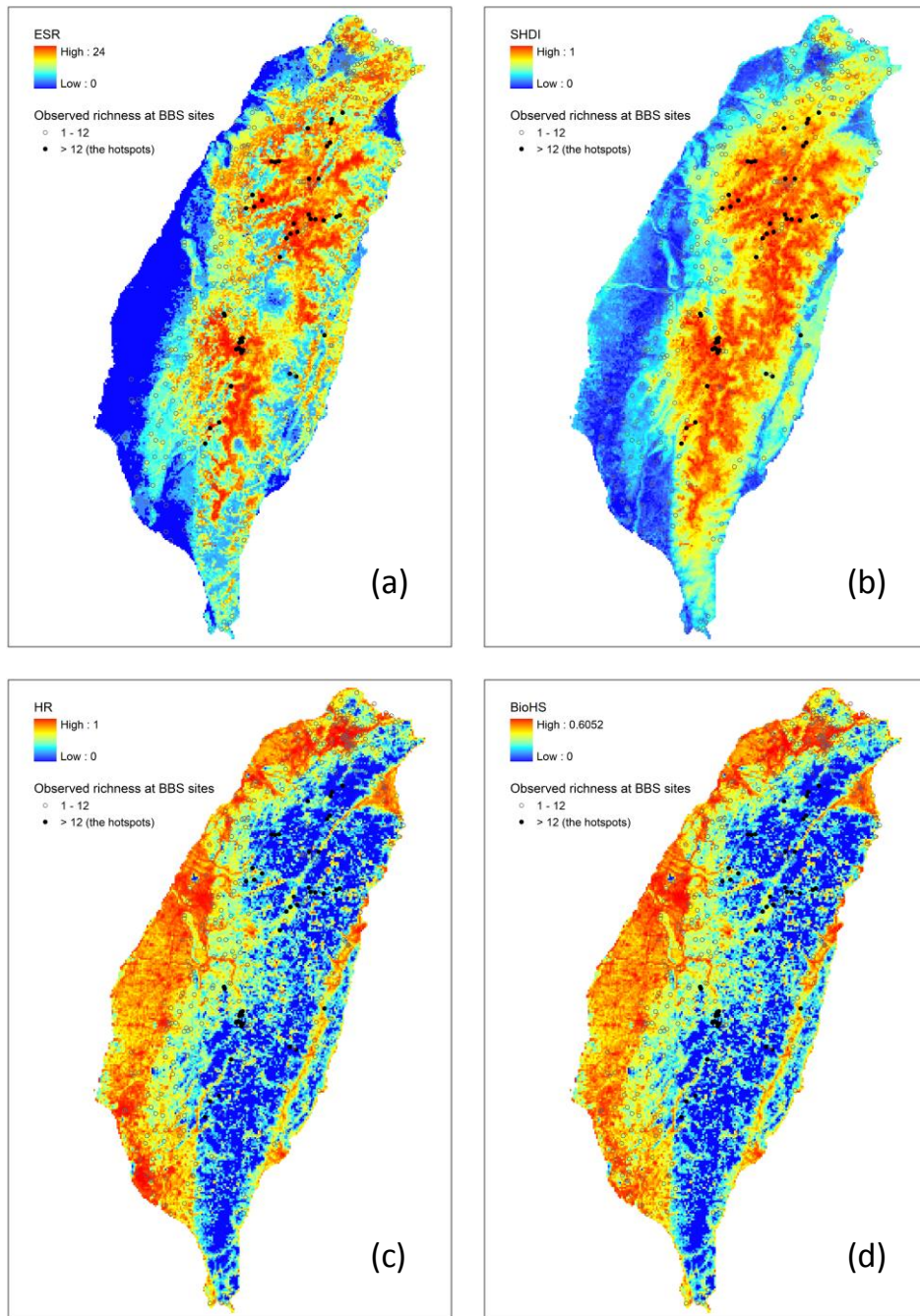


圖 1. 特有鳥種多樣性及棲地威脅風險分布預測圖。(a)估計的物種豐富度(ESR)；(b)呂(2016)的多樣性指數(SHDI)；(c)呂(2016)的棲地威脅風險(HR)；(d)呂(2016)的多樣性熱點分數(BioHS)。

Fig. 1. Distribution maps of Taiwan's endemic bird diversity and habitat-risk: (a) estimated species richness; (b) Lu's Shannon diversity index; (c) Lu's habitat risk index; and (d) Lu's biodiversity hotspot scores.

威脅棲地因子的主成分分析結果之摘要如表 2。仿照呂(2016)做法，取前三軸，可含括原始數據 90.4%之變異。檢視環境因子之主成分負荷，第一軸均為正值。第二軸絕對值最高的是裸地覆蓋面積比例，為負值。第三軸較高者為農田及裸地面積比例，為正

值。因此將呂(2016)之公式(3)修改為  $HR = c_1w_1 - c_2w_2 + c_3w_3$ 。計算得到的 HR 及 BioHS，如圖 1c 及 1d。其中，HR 數值由都市、平地農業區往中高海拔遞減，反映人口密度、道路面積、建物、農田等因子之實際空間變異。

表 2. 威脅棲地因子的主成分分析

Table 2. Summary and component loadings of the principle component analysis based on the habitat-risk factors

Variables	Components		
	I	II	III
Eigenvalues	2.53	1.04	0.96
Proportion of Variance (%)	50.5	20.7	19.2
Cumulative Proportion (%)	50.5	71.2	90.4
Component loadings			
Bare land	0.11	-0.71	0.69
Building	0.92	-0.04	-0.06
Farm field	0.41	0.68	0.58
Population density	0.78	-0.26	-0.38
Surface area of roads	0.94	0.05	0.04

多樣性熱點選擇方法，以 ESR 表現最好，BioHS 最差(圖 2)。敏感性愈高、偽陰性愈低，則熱點選擇方法的表現愈佳。無論以數值最高的前 5、10 或 25% 網格為熱點準則，敏感性都以 ESR 最高；BioHS 則全為 0，也就是完全無法正確預測到已知之熱點。至於偽陰性，前 5 與 10% 網格，以 ESR 最低。前 25% SHDI 最低，但 ESR 與之相差無幾。至於 BioHS，則無論在何種選擇標準，偽陰性均最高。

Shannon 指數與物種豐富度之間呈非線性關係(圖 3)。BBS Taiwan 2009–2015 年每年每樣區視為一獨立樣本，共 1792 個樣本。樣本的物種豐富度介於 3–59。物種豐富度最多的前 10% 樣本之物種豐富度最小值為 33，以此為熱點樣本標準，共 188 個樣本。若以 Shannon 指數較大的前 10% 之臨界值 2.849 為標準篩選之，則上述熱點樣本會有 78 個被遺漏，佔 41.5%。

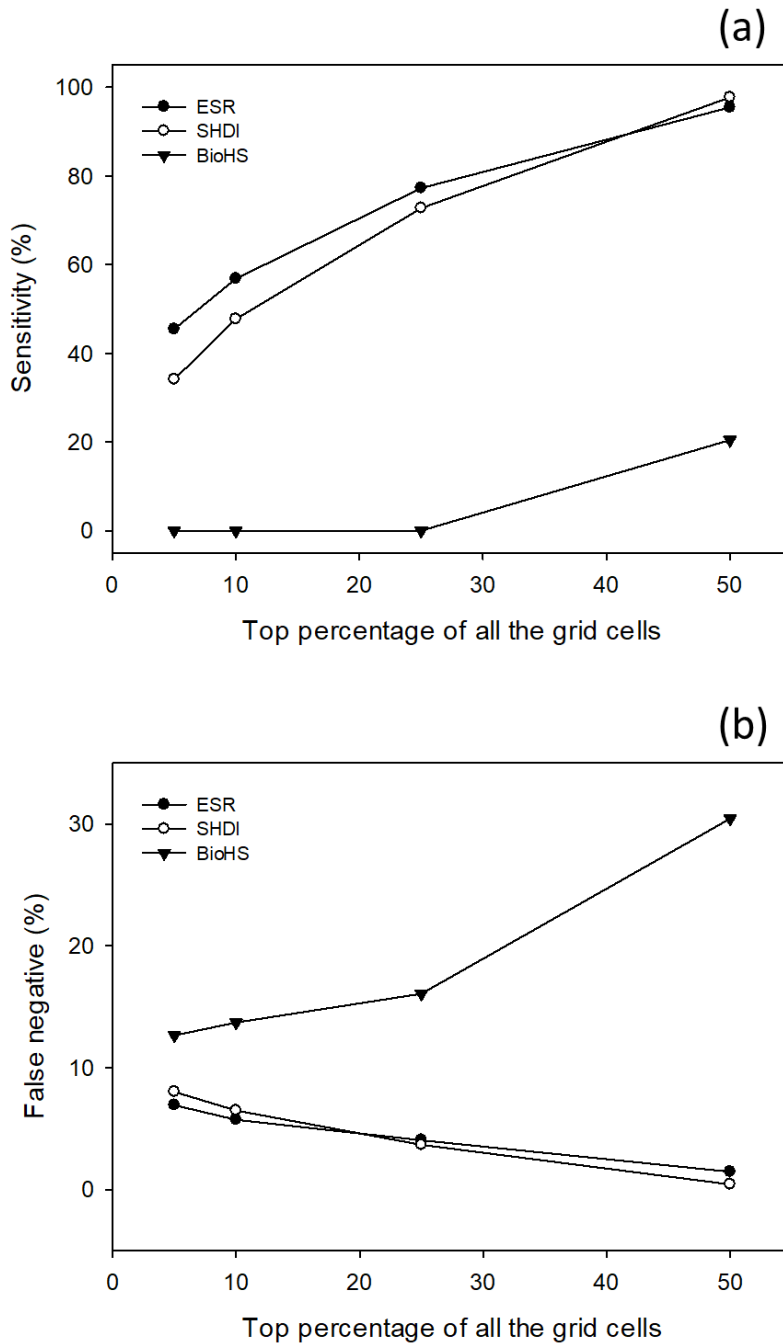


圖 2. ESR、SHDI、以及 BioHS 的多樣性熱點預測準確性之比較：(a)敏感性，即已知熱點被正確預測的比例；(b)偽陰性，預測非熱點樣區中的已知熱點比例。

Fig. 2. The (a) sensitivity and (b) false negative of the predicted hotspots based on the ESR, SHDI, and BioHS indices.

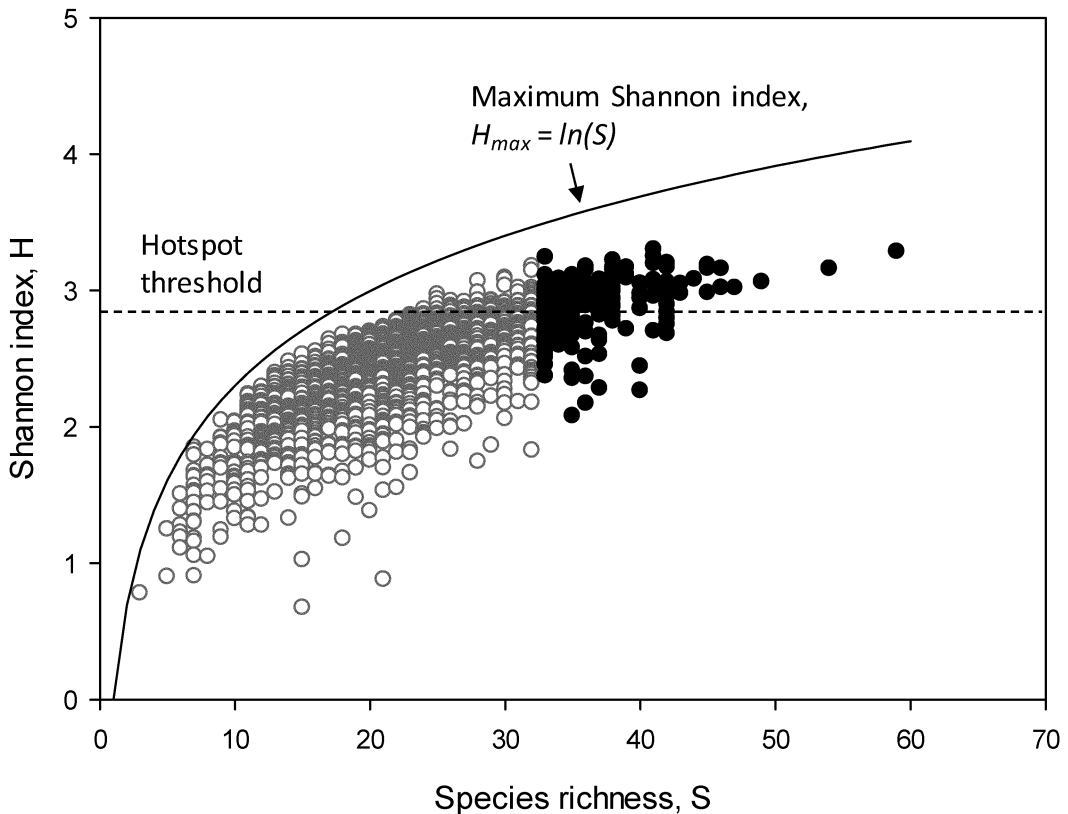


圖 3. 物種豐富度與 Shannon 指數之間的關係。實心圓為物種豐富度最高的前 10% 樣本；虛線為 Shannon 指數最高的前 10% 樣本之指數最小值(以 Shannon 指數判定是否為熱點的臨界值)。

Fig. 3. The relationship between species richness and the Shannon index. Black circles represent the top 10% of species richness, and the solid line represents the threshold value of the top 10% of the Shannon index.

## 討 論

呂(2016)的生物多樣性熱點選取方法經過 3 步驟:(1)以 SDM 預測每一鳥種的分布機率,並以之計算物種多樣性 SHDI;(2)以 PCA 分析棲地受威脅的情形 HR;(3)取 SHDI 與 HR 兩者交集之最小值,得到生物多樣性熱點 BioHS。我們已實證指出,不論 SHDI 或 BioHS,均無法比一般做法(*i.e.*, 本研究的 ESR)更能正確預測已知之熱點。

以 SDM 的分布機率,計算物種多樣性 SHDI,是很奇特的做法。Shannon 指數是歧異度指數,蘊含群聚的物種豐富度與各物種之間豐量分配均勻度(*evenness*)的訊息。指數意義乃正確預測下次調查個體的種類之困難程度;因此計算 Shannon 指數,需要樣區所有物種及其相對豐量資訊。然而 SDM 得到的物種分布機率值,只能指出分布可能性多大,卻無法預測其出現的豐量。同一物種的分布機率與豐量之間,不見得有正相關之關係。而不同物種的同

一分布機率，更難保證其豐量一樣。

而以 Shannon 指數選擇多樣性熱點，就概念而言，也極不恰當。多樣性熱點概念，在於集中有限保育資源於小範圍區域，盼能涵蓋最多物種。因此熱點選擇重點在於物種豐富度，而非歧異度。但 Shannon 指數除了受物種豐富度影響之外，其數值還受到物種之間個體數分配均勻度的左右；個體數分配愈均勻，則指數愈高。設若某地有大量待保育之稀有物種，惟相對豐量分配極度不均，則熱點選擇時，就很可能被忽略。以 Shannon 指數篩選熱點，很可能漏失真正物種數高的區域。

Shannon 指數與物種豐富度之間並不具線性關係(圖 3)。Shannon 指數由物種之間的相對豐量計算而得。在物種之間相對豐量完全相同情形下，Shannon 指數為物種數  $S$  的非線性函數，即  $H_{max} = \ln(S)$  (Magurran 2004)；所有樣本分布被限制在此對數函數之下，呈非線性關係。如果以 Shannon 指數判定多樣性熱點，BBS Taiwan 2009–2015 的熱點樣本會有大量被遺漏(圖 3 虛線以下之實心圓樣本)。而除非所有樣本內的組成物種之個體數分配模式完全一致，亦即完全遵循相同的物種—豐量模型(species-abundance models)，才可能由 Shannon 指數充分反映樣本之間物種豐富度的高低。但就大空間尺度的真實生物群聚而言，幾乎不可能。

呂(2016)另以 PCA 將威脅棲地因子予以線性綜合，試圖找出生物多樣性受威脅之區域。此一過程犯了嚴重邏輯謬誤。這些環境因子分布都是現況，而非未來情境模擬。如果 SDM 的結果可信，且在這些所謂受威脅棲地有高分布機率，那麼這些因子就不是威脅因子。反之，如果物種分布的確受這些棲地因子的威脅，那麼在這些受威脅棲地的分布機率必

然很低，則也不存在物種多樣性豐富，但棲地受威脅壓力大的區域。顯然這方法的設計，存在嚴重邏輯謬誤。我們發現同樣謬誤也出現在作者 2017 年另一篇論文(i.e., 呂及黃 2017)。該文以 SDM 預測 5 種猛禽空間分布，再將建地、農地、道路與人口密度以 PCA 線性綜合，推估棲地威脅度。結果發現領角鴞(*Otus lettia*)與鳳頭蒼鷹(*Accipiter trivirgatus*)分布棲地有超過 1/3 落在人口密集與建地密布的嚴重威脅棲地，作者並依此提出警示。然而事實上，領角鴞與鳳頭蒼鷹卻是臺灣目前已知最能適應都市環境的猛禽(鄭 2004；胡 2009；修 2015)。就有研究發現在臺中市區繁殖的鳳頭蒼鷹，不但享有較豐盛食物，而且被掠食風險也較低，使得其在市區的繁殖成功率顯著高於郊區(Lin *et al.* 2015)。這個事實彰顯此一棲地威脅評估方法的極度不合理。

另外，呂(2016)以建地、農地、道路、人口密度、以及崩塌地 5 項因子計算棲地危險度，但得到的所謂威脅壓力棲地竟大多位於人跡罕至的高海拔地區。呂及黃(2017)的猛禽研究以同樣方法評估棲地風險，僅缺少崩塌地因子，惟得到的高風險區域位置卻大相逕庭。我們懷疑呂(2016)忽略考量威脅棲地因子主成分負荷可能是負值這件事，以致得到如此不合理結果。事實上，呂(2016)的分析完全不需用到 PCA。PCA 對變數予以線性綜合，其目的除簡化變數之外，也在獲得各自獨立的主成分。若僅將各主成分得分依其特徵值加權之後再加總，則 PCA 顯得完全沒必要，反而還會損失一些訊息。不如將每一環境因子測量值等比轉換為 0–1 之相對值，再予以加總即可。如此不但更為簡便而直接，也不會因為沒有檢查主成分負荷，而造成嚴重錯誤。

呂(2016)的生物多樣性熱點選擇流程顯然

是獨創的，至少在之前沒有文獻記載。就正常科學活動而言，使用新創方法之前，應該先完整回顧過往做法。指出過去方法的缺陷或不足之處，並說明自己新創方法的優點或可以解決的問題。可惜呂(2016)並未論述其新創方法的學理依據，例如以 SDM 的分布機率值計算 SHDI，或以 SHDI 與 HR 交集的最小值計算 BioHS 的理論依據。另外，新方法的驗證是必須的。我們發現呂(2016)並未對其結果做任何正確性檢驗，而僅說明其結果與文獻(*i.e.*, Ko *et al.* 2014)相符。多樣性熱點推估並非新議題，以 SDM 推估臺灣鳥類多樣性分布與特有鳥種熱點，也已有許多討論(*e.g.*, Ko *et al.* 2009, 2014; Walther *et al.* 2011; Wu *et al.* 2013, 2014; 廖 1997; 巫 2003)。如果得到的結果僅與過去結果相符，新方法或分析流程卻沒有任何特殊優點或解決了傳統方法難解的缺點，其實就沒有發表的必要。

最後，我們認為以 SDM 推估多樣性分布，的確仍有許多待討論之處。例如以往的研究都以全臺為背景範圍，這可能導致侷限分布於特定環境的物種 AUC 偏高。例如本研究以臺灣本島為背景範圍，結果火冠戴菊鳥 (*Regulus goodfellowi*) 測試樣本 AUC 高達 0.97，臺灣朱雀 (*Carpodacus formosanus*) AUC 0.98，金翼白眉 (*Trochalopteron morrisonianum*) AUC 0.96；這些鳥種都侷限分布於高海拔地區。高的 AUC 並不意謂模型表現一定良好 (Lobo *et al.* 2008)，而可能只是尺度造成的統計假象。背景範圍會影響模型表現 (VanDerWal *et al.* 2009)。適當的做法可能是將背景範圍侷限於分布區域 (Phillips *et al.* 2009)；例如先由分布樣點以最小多邊形法 (minimum convex polygon) 框出背景範圍，以之進行 SDM，再將結果投映到整個臺灣。相對地，廣布種在臺灣

的分布，可能僅是其耐受環境梯度的一小段範圍。如果能由開放資料庫 (例如 eBird 或 GBIF) 取得其全域的分布資料，再將 SDM 其中的臺灣區域切割出來，或許可以有更好的結果。另外，影響分布的主要環境因子，不同物種之間不見得相同；過往研究大多以相同環境因子批次處理所有鳥種的 SDM，也可能影響某些鳥種得到的分布模式。這些 SDM 的細節，都值得未來深入討論。

## 引用文獻

- 何麗君。2005。東亞鳥類生物多樣性熱點之選擇與分析。國立臺灣大學森林學研究所碩士論文。
- 呂明倫、黃靜宜。2017。台灣特有亞種猛禽之空間潛在威脅度評估。台灣生物多樣性研究 19: 215–227。
- 呂明倫。2016。生物多樣性熱點之推估：以台灣特有鳥種為例。台灣生物多樣性研究 18: 231–245。
- 巫桂菁。2003。台灣本島以生物多樣性熱點為基礎之自然保護區規劃。國立臺北大學資源管理研究所碩士論文。
- 林琪濟。2002。台灣本島各縣市鳥類生物多樣性分析。國立臺灣大學森林學系碩士論文。
- 柯智仁、范孟雯、江郁宣、游婉如、顏了凡、楊昌諺、羅英元、林瑞興、蔡世鵬、李培芬。2016。臺灣繁殖鳥類大調查 2014 年報。行政院農業委員會特有生物研究保育中心，南投。
- 胡景程。2009。台灣南部都市環境鳳頭蒼鷹之巢位選擇。屏東科技大學野生動物保育研究所碩士論文。

- 修鴻儒。2015。鳳頭蒼鷹與領角鴉對都會綠地空間偏好之影響因子-以大台北地區為例。中國文化大學景觀學系碩士論文。
- 許皓捷。2016。臺灣及澎湖群島環境因子 GIS 資料庫。2016/6/13, <http://mountain-ecology.blogspot.tw/2016/06/gis.html>
- 廖倩瑜。1997。臺灣產畫眉亞科鳥種之空間分布與預測模式。國立臺灣大學動物學系碩士論文。
- 鄭蕙如。2004。台灣大學校園領角鴉冬季繁殖觀察。台灣猛禽研究 3: 1-7。
- 聶嘉慧。1999。台灣繁殖鳥類之種豐富度分布型態。國立臺灣大學動物學系碩士論文。
- Callicott, J. B., R. Rozzi, L. Delgado, M. Monticino, M. Acevedo and P. Harcombe. 2007. Biocomplexity and conservation of biodiversity hotspots: three case studies from the Americas. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 362: 321-333.
- Ceballos, G. and P. R. Ehrlich. 2006. Global mammal distributions, biodiversity hotspots, and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103: 19374-19379.
- Colwell, R. K. and D. C. Lees. 2000. The mid-domain effect: geometric constraints on the geography of species richness. *Trends in Ecology and Evolution* 15: 70-76.
- Ding, T. Z., H. W. Yuan, S. Geng, Y. S. Lin and P. F. Lee. 2005. Energy, body size, and diversity in relation to bird species richness along an elevational in Taiwan. *Global Ecology and Biogeography* 14: 299-306.
- Dobson, A. P., J. P. Rodriguez, W. M. Roberts and D. S. Wilcove. 1997. Geographic distribution of endangered species in the United States. *Science* 275: 550-553.
- Elith, J. and J. R. Leathwick. 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 40: 677-697.
- Ferrier, S. and A. Guisan. 2006. Spatial modelling of biodiversity at the community level. *Journal of Applied Ecology* 43: 393-404.
- Garcia, A. 2006. Using ecological niche modelling to identify diversity hotspots for the herpetofauna of Pacific lowlands and adjacent interior valleys of Mexico. *Biological Conservation* 130: 25-46.
- Kearney, M. and W. Porter. 2009. Mechanistic niche modelling: combining physiological and spatial data to predict species' ranges. *Ecology Letters* 12: 334-350.
- Kerr, J. T. 1997. Species richness, endemism, and the choice of areas for conservation. *Conservation Biology* 11: 1094-1100.
- Ko, C. Y., R. S. Lin, T. S. Ding, C. H. Hsieh and P. F. Lee. 2009. Identifying biodiversity hotspots by predictive models: a case study using Taiwan's endemic bird species. *Zoological Studies* 48: 418-431.
- Ko, C. Y., S. C. Murphy, T. L. Root and P. F. Lee. 2014. An assessment of the efficiency of protection status through determinations of biodiversity hotspots based on endemic bird species, Taiwan. *Journal for Nature Conservation* 22: 570-576.
- Koh, C. N., P. F. Lee and R. S. Lin. 2006a. Bird species richness patterns of northern Taiwan:

- primary productivity, human population density, and habitat heterogeneity. *Diversity and Distributions* 12: 546–554.
- Koh, C. N., P. F. Lee and S. H. Wu. 2006b. Does the distribution of breeding bird species richness in Taiwan follow the mid-domain effect? *Taiwania* 51: 108–116.
- Lin, W. L., S. M. Lin, J. W. Lin, Y. Wang and H. Y. Tseng. 2015. Breeding performance of Crested Goshawk *Accipiter trivirgatus* in urban and rural environments of Taiwan. *Bird Study* 62: 177–184.
- Lobo, J. M., A. Jiménez-Valverde and R. Real. 2008. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography* 17: 145–151.
- Lu, M. L. 2016. Estimating biodiversity hotspot: a case study of endemic bird species in Taiwan. *Taiwan Journal of Biodiversity* 18: 231–245.
- Mace, G. M., N. J. Collar, K. J. Gaston, C. Hilton-Taylor, H. R. Akçakaya, N. Leader-Williams, E. J. Milner-Gulland and S. N. Stuart. 2008. Quantification of Extinction Risk: IUCN's System for Classifying Threatened Species. *Conservation Biology* 22: 1424–1442.
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Science, Ltd. Malden, Massachusetts.
- Marchese, C. 2015. Biodiversity hotspots: A shortcut for a more complicated concept. *Global Ecology and Conservation* 3: 297–309.
- Maynard, S., D. James and A. Davidson. 2010. The development of an Ecosystem Services Framework for South East Queensland. *Environmental Management* 45: 881–895.
- Merow, C., M. J. Smith and J. A. Silander. 2013. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography* 36: 1058–1069.
- Millennium Ecosystem Assessment (MA). 2003. *Ecosystems and human well-being: a framework for assessment*. World Resources Institute, Washington, DC.
- Mittermeier, R. A., P. R. Gil, M. Hoffman, J. Pilgrim, T. Brooks, C. G. Mittermeier, J. Lamoreux and G. A. B. Da Fonseca. 2004. Hotspots revisited: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions. CEMAX, Mexico City.
- Mittermeier, R. A., W. R. Turner, F. W. Larsen, T. M. Brooks and C. Gascon. 2011. Global biodiversity conservation: the critical role of hotspots. pp. 3–22 *In*: F. E. Zachos and J. C. Habel (eds.). *Biodiversity hotspots*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Mokany, K., T. D. Harwood, J. M. Overton, G. M. Barker and S. Ferrier. 2011. Combining alpha- and beta-diversity models to fill gaps in our knowledge of biodiversity. *Ecology Letters* 14: 1043–1051.
- Myers, N. 1988. Threatened biotas: "hot spots" in tropical forests. *The Environmentalist* 8: 187–208.
- Myers, N., R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. B. da Fonseca and J. Kent. 2000.

- Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853–858.
- Norris, D. 2014. Model thresholds are more important than presence location type: understanding the distribution of lowland tapir (*Tapirus terrestris*) in a continuous Atlantic forest of southeast Brazil. *Tropical Conservation Science* 7: 529–547.
- O'Donnell, J., R. V. Gallagher, P. D. Wilson, P. O. Downey, L. Hughes and M. R. Leishman. 2012. Invasion hotspots for non-native plants in Australia under current and future climates. *Global Change Biology* 18: 617–629.
- Orme, C. D. L., R. G. Davies, M. Burgess, F. Eigenbrod, N. Pickup, V. A. Olson, A. J. Webster, T.-S. Ding, P. C. Rasmussen, R. S. Ridgely, A. J. Stattersfield, P. M. Bennett, T. M. Blackburn, K. J. Gaston and I. P. F. Owens. 2005. Global hotspots of species richness are not congruent with endemism or threat. *Nature* 436: 1016–1019.
- Pereira, H. M., S. Ferrier, M. Walters, G. N. Geller, R. H. G. Jongman, R. J. Scholes, M. W. Bruford, N. Brummitt, S. H. M. Butchart, A. C. Cardoso, N. C. Coops, E. Dulloo, D. P. Faith, J. Freyhof, R. D. Gregory, C. Heip, R. Höft, G. Hurtt, W. Jetz, D. S. Karp, M. A. McGeoch, D. Obura, Y. Onoda, N. Pettorelli, B. Reyers, R. Sayre, J. P. W. Scharlemann, S. N. Stuart, E. Turak, M. Walpole and M. Wegmann. 2013. Essential Biodiversity Variables. *Science* 339: 277–278.
- Peterson, A. T. and A. G. Navarro-Sigüenza. 2016. Bird conservation and biodiversity research in Mexico: status and priorities. *Journal of Field Ornithology* 87: 121–132.
- Phillips, S. J., M. Dudík, J. Elith, C. H. Graham, A. Lehmann, J. Leathwick and S. Ferrier. 2009. Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *Ecological Applications* 19: 181–197.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson and R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231–259.
- Prendergast, J. R., R. M. Quinn, J. H. Lawton, B. C. Eversham and D. W. Gibbons. 1993. Rare species, the coincidence of diversity hotspots and conservation strategies. *Nature* 365: 335–337.
- Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F. S. I. Chapin, E. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. J. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. d. Wit, T. Hughes, S. v. d. Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen and J. Foley. 2009. Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society* 14: 32.
- Samson, F. B. and F. L. Knopf. 1993. Managing biological diversity. *Wildlife Society Bulletin* 21: 509–514.
- Schouten, M. A., A. Barendregt, P. A. Verweij, V. J. Kalkman, R. M. J. C. Kleukers, H. J. R. Lenders and H. N. Siebel. 2010.

- Defining hotspots of characteristic species for multiple taxonomic groups in the Netherlands. *Biodiversity and Conservation* 19: 2517–2536.
- Shiu, H. J. and P. F. Lee. 2003. Seasonal variation of bird species richness along elevational gradients in subtropical Taiwan. *Acta Zoologica Taiwanica* 14: 1–21.
- Sloan, S., C. N. Jenkins, L. N. Joppa, D. L. A. Gaveau and W. F. Laurance. 2014. Remaining natural vegetation in the global biodiversity hotspots. *Biological Conservation* 177: 12–24.
- Steffen, W., K. Richardson, J. Rockström, S. E. Cornell, I. Fetzer, E. M. Bennett, R. Biggs, S. R. Carpenter, W. de Vries, C. A. de Wit, C. Folke, D. Gerten, J. Heinke, G. M. Mace, L. M. Persson, V. Ramanathan, B. Reyers and S. Sörlin. 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347: 1259855.
- VanDerWal, J., L. P. Shoo, C. Graham and S. E. Williams. 2009. Selecting pseudo-absence data for presence-only distribution modeling: How far should you stray from what you know? *Ecological Modelling* 220: 589–594.
- Walther, B. A., T. Y. Wu, Y. H. Chen, R. S. Lin and P. F. Lee. 2011. Using species distribution models to assess the rarity and conservation status of Taiwanese birds. *Taiwan Journal of Biodiversity* 13: 295–322.
- Williams, K. J., A. Ford, D. F. Rosauer, N. De Silva, R. Mittermeier, C. Bruce, F. W. Larsen and C. Margules. 2011. Forests of East Australia: The 35th Biodiversity Hotspot. Pages 295–310 in F. E. Zachos and J. C. Habel, editors. *Biodiversity Hotspots: Distribution and Protection of Conservation Priority Areas*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Wu, T. Y., B. A. Walther, Y. H. Chen, R. S. Lin and P. F. Lee. 2013. Hotspot analysis of Taiwanese breeding birds to determine gaps in the protected area network. *Zoological Studies* 52: 29.
- Wu, T. Y., B. A. Walther, Y. H. Chen, R. S. Lin and P. F. Lee. 2014. Reassessment of the conservation status and protected area coverage of Taiwanese birds: How distribution modelling can help species conservation. *Bird Conservation International* 24: 223–238.