

公民科學家參與玉山國家公園臺灣黑熊 與共域中大型哺乳動物自動照相機監測

張鈞皓¹，葉子維¹，黃美秀^{1,2}

¹國立屏東科技大學獸醫學院野生動物保育研究所；²通訊作者 E-mail:

hwangmh@mail.npust.edu.tw

[摘要] 公民科學 (citizen science) 是近年新興的由公眾參與科學研究的一種方式，已於環境科學和生態研究領域有蓬勃的發展。自動照相機亦是近年來快速發展評估野生動物族群狀況的研究、保育和經營管理的簡便工具。本研究即結合公民科學家協力參與玉山國家公園臺灣黑熊及中大型野生哺乳動物紅外線自動照相機調查專案，並評估其效益。研究樣區位於玉山國家公園東部園區，臺灣黑熊分布的重要棲息地。2019年10月至2021年10月間，總計34位公民科學家參與，協助野外相機維護和相片物種辨識。野外出勤共152人次，努力量為261人天。總計回收相機照片288,519張，並從中篩選出有效照片17,393筆，記錄5目13種原生中大型哺乳動物，出現頻度高低依次為山羌 (*Muntiacus reevesi micrurus*)、臺灣獼猴 (*Macaca cyclopis*) 和水鹿 (*Rusa unicolor swinhoei*)。臺灣黑熊 (*Ursus thibetanus formosanus*) 有效照片78筆，包含4次不同母子家族的紀錄，為臺灣罕見較高豐度的繁殖族群。公民科學家於監測期間辨識正確率最高達94%。雖然先期培訓成本較高，但若配合管理單位長期的野生動物監測規劃，公民科學家預計能夠成為保育和研究之利器。

關鍵字：公民科學家、野生動物族群監測、臺灣黑熊、自動照相機

Citizen Science Camera-trap Monitoring for the Formosan Black Bear (*Ursus thibetanus formosanus*) and Sympatric Medium-sized and Large Mammals in Yushan National Park, Taiwan

Chun-Hao Chang¹，Zi-Wei Yeh¹ and Mei-Hsiu Hwang^{1,2}

¹Institute of Wildlife Conservation, College of Veterinary Medicine, National Pingtung University of Science and Technology; ²Corresponding author Email: *hwangmh@mail.npust.edu.tw*

ABSTRACT Citizen science is a novel and growing practice in recent years in which citizens and scientists collaborate in scientific research, particularly in the fields of environmental science and ecology. Camera traps are widely used to study wildlife population and have become a useful tool to aid conservation and management. In this study, we carried out a citizen science project using camera traps to monitor the Formosan black bear and sympatric medium-sized to large mammals in Yushan National Park (YNP), Taiwan, followed by an applicability evaluation. From Oct, 2019, to Oct, 2021, camera

traps were deployed in eastern YNP, a known crucial habitat for the endangered black bears. In the monitoring project, 34 volunteers participated in fieldwork and identification of wildlife species based on retrieved photos. A total of 152 person-times were on duty in the field, with an effort of 261 person-days. We collected 288,519 photos and further filtered down to 17,393 independent photos. Thirteen native species of medium-sized and large mammals in five orders were identified. The Formosan Reeves's muntjac (*Muntiacus reevesi micrurus*), Formosan macaque (*Macaca cyclopis*), and Formosan sambar deer (*Rusa unicolor swinhoei*) were the most common species. We also detected 78 records of Formosan black bear (*Ursus thibetanus formosanus*), including four mother-cub families. The correct identification of photo species by volunteers improved over time, with a maximum correct rate of 94%. Although the training cost in the beginning was high, volunteers with a well-prepared monitoring plan and training courses, citizen science could contribute to management in long-term camera-trap monitoring projects for wildlife.

Keywords: citizen science, wildlife monitoring, Formosan black bear, camera trap

前言

公民科學 (citizen science) 是近年新興由公眾參與科學研究的一種方式。雖說公民科學研究具有多樣的目的和方法，但廣義而言，只要是由公眾自願參與部分或全部的研究資料蒐集和分析，與科學家合作共同產生知識，便可謂之，通常以具特定研究目的專案方式進行 (Vohland *et al.* 2021)。公民科學的運作方式通常是由科學家規劃研究專案，設計一般民眾也能參與、較簡易的研究方法和流程，募集感興趣之志願民眾經訓練後而成。藉由公眾參與，能增加研究資料蒐集的廣度和數量，對於資源較拮据的研究特別有幫助。同時，具熱忱的公民科學家也能在參與科學研究的過程中，得到正確的知識和成就感，甚至公民科學也能對政府政策產生影響力 (European-Commission 2013, Allf *et al.* 2022, Cappa *et al.* 2022, Da Schio 2022)。

藉由現代科技如網際網路和智慧型手機的協助，公民科學近年發展蓬勃，在國際上較具規模且知名的應用方式，包括環境科學中的水域塑膠廢棄物調查 (Zettler *et al.* 2017, Syberg *et al.* 2020, Cook *et al.* 2021, Bouzekry *et al.* 2022)，以及在生態研究領域方面，結合賞鳥興趣者的鳥類調查 (Lepczyk 2005, Greenwood 2007, Tulloch *et al.* 2013, La Sorte

and Somveille 2020, Reif *et al.* 2022)。在臺灣較為人熟知的案例，包括動物路死觀察網 (路殺社) (Hsu *et al.* 2018, Chyn *et al.* 2019, Hsu and Lin 2021)、繁殖鳥大調查 (Ko *et al.* 2014, Ko *et al.* 2017)，以及慕光之城蛾類調查 (Lin *et al.* 2015)等。

在生物多樣性保育和經營管理計畫上，評估一特定區域內的目標物種是否存在，以及其豐富度，是必要的重要資訊 (Karlin and De La Paz 2015)。傳統的方法包括捕捉繫放、穿越線調查等，然這需要仰賴極大的努力量和資源投注。反之，使用自動照相機調查野生動物，是近年來快速發展的研究技術，以及經營管理和保育工具，且應用也越來越普遍 (Trollet *et al.* 2014, Burton *et al.* 2015)。

目前商業量產的自動照相機多為被動式紅外線感應機制 (passive infrared, PIR) (Apps and McNutt 2018)。當動物經過感應範圍時，相機透過紅外線偵測到動物體和環境的熱量差異，便會觸發快門拍照或錄影。相較於傳統的調查方式，自動照相機對野生動物的干擾極低，僅需相對較少的人力和時間便能收集到過往不容易取得的動物出沒資料，包括目標物種是否存在，以及族群的豐富度和時空動態變化趨勢，有時也能得到額外的動物行為與習性等資料。

即便自動照相機已屬自動化的調查器材，

涵蓋廣袤地景和較長期的大尺度自動相機計畫，仍需要不少人力進行設備維護和影像物種辨識工作。因此，近年已陸續出現嘗試結合公民科學家與紅外線自動相機監測野生動物族群的研究 (Erb *et al.* 2012, Karlin and De La Paz 2015, McShea *et al.* 2015, Kays *et al.* 2016, Forrester *et al.* 2017, Anton *et al.* 2018, Lasky *et al.* 2021, Hsing *et al.* 2022)。雖然公民科學家能提供可觀的助力，但增加研究數據量的同時，研究變因和數據誤差卻也隨之增加 (Dickinson *et al.* 2010, Kosmala *et al.* 2016)。這也是計畫主持人所應審慎評估的議題。

本研究為臺灣首次透過有系統培訓，成功運用公民科學家志工參與山區紅外線自動相機監測野生動物相對豐富度 (relative abundance)，包括相機維護和物種辨識之研究。玉山國家公園是目前臺灣黑熊 (*Ursus thibetanus formosanus*) 已知的族群高密度樣區 (蔡幸蒨 2011, 黃美秀 2013)。本計畫由公民科學家偕同研究人員架設紅外線自動相機與影像物種辨識，監測對象包括臺灣黑熊以及其他共域中大型哺乳動物。我們將探討公民科學家參與研究的效益，包括參與田野調查的努力量，以及影像辨識正確率，並檢討公民科學家自動相機監測專案的運作方式，對於未來相關公民科學家監測計畫的應用具參考價值。

材料與方法

一、研究樣區與調查期間

本研究分為兩時期，第一期監測由 2019 年 10 月至 2020 年 9 月，樣區包含花蓮縣卓溪鄉省道台 30 線鹿鳴步道至八通關越嶺道山風一號吊橋沿線，以及八通關越嶺道山風一號吊橋至瓦拉米山屋沿線路段 (玉山國家公園園區範圍)。本期目標以輔導公民科學家完成並熟悉自動相機調查工作流程為目標，共挑選 16 個樣點 (W1-W16)。第二期監測由 2020 年 10 月至 2021 年 10 月，樣區延伸至園區內八通關越嶺道里程 27 Km 處 (近抱崖山屋，圖 1)，

相機樣點數增加為 19 個 (E0-E18)。

所有自動照相機監測樣點皆沿道路和步道週圍而佈設。樣點位置挑選參考 Erb 等人 (2012) 和 Kays 等人 (2016) 主持公民科學家自動照相機專案的研究設計，依據以下原則架設：(1) 樣點沿既有道路或步道兩側設置；(2) 每 1 平方公里只架設一台相機；(3) 每台相機間距至少 1 公里；(4) 相機距離步道至少 100 公尺。

二、自動相機監測

監測目標物種為臺灣黑熊以及其他共域中大型哺乳動物。我們使用 Reconyx Hyperfire® 2 (USA) 及 Browning® Spec Ops Edge 8E (USA) 被動式紅外線感應自動照相機。相機架設於坡度平緩、林下植被較開闊，有中大型哺乳動物活動痕跡的地方。架設高度約 60 公分 (膝蓋至大腿左右高度)，傾角平行於地面。工作模式設定為拍照，觸發後連續拍攝 3 張相片。

三、公民科學家參與

共計 34 名民眾以公民科學家身分參與本研究，皆經過報名篩選，並參與總時數 12 小時的「公民科學家監測野生動物族群工作坊」培訓，課程包含「野生動物調查研究與經營管理」、「野生動物痕跡辨識」、「自動照相機系統和應用」、「登山安全、地圖判讀與野外定位」、「生態觀察與研究倫理」等。完成培訓者成為專案公民科學家志工 (圖 2)，在研究團隊指導下參與自動相機監測計畫：(1) 偕同研究團隊架設自動照相機。(2) 每三個月自行組成團隊，進行自動照相機例行維護，包括更換電池與記憶卡、確定相機運作功能與架設狀態是否正常。(3) 辨識隨機分配的自動照相機回收影像，將辨識結果輸入表單。調查執行期間，研究團隊與公民科學家志工利用社群媒體 Facebook 公開社團聯繫工作事項，2 年研究期間共舉辦 5 次志工聚會，並提供進階訓練課程、分享調查成果、經驗交流、討論與檢討專案執行情況。

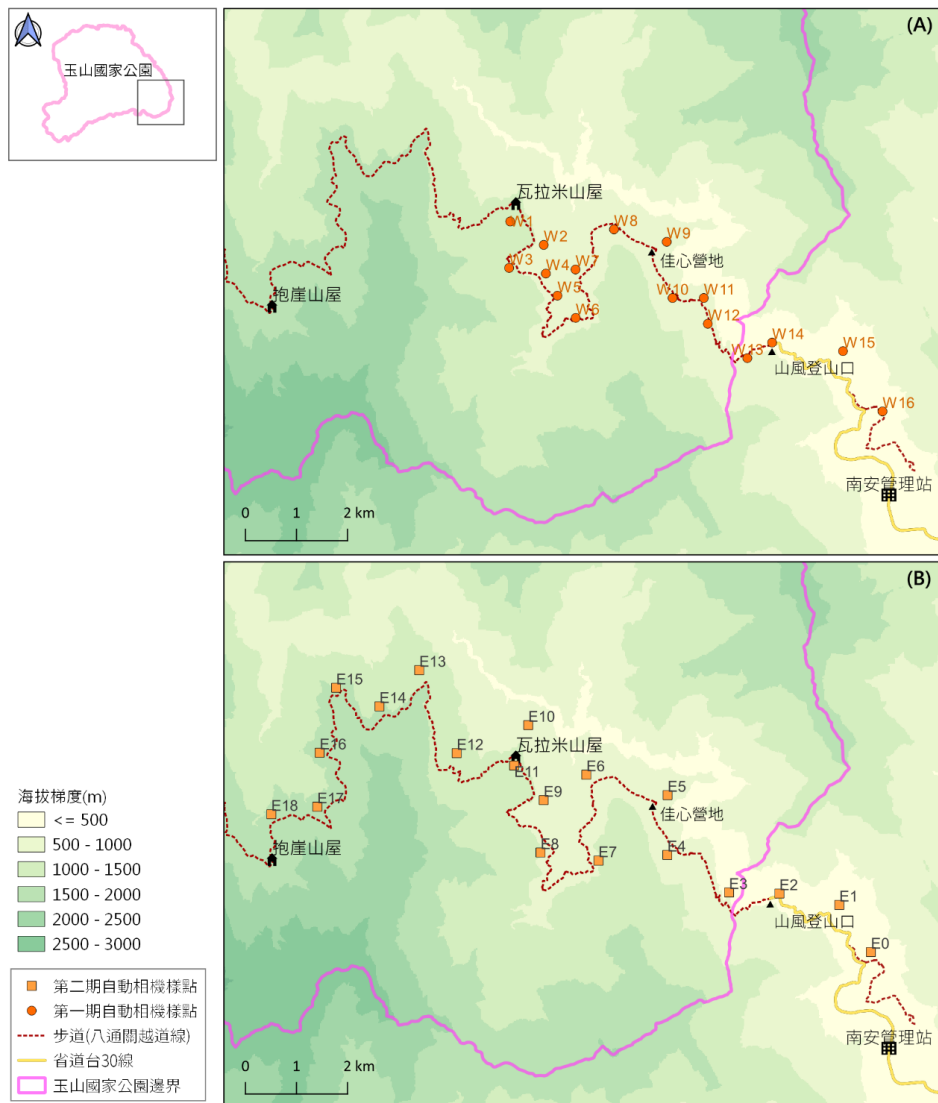


圖 1. 玉山國家公園自動照相機監測第一期 2019 年 10 月至 2020 年 9 月 (A)，以及第二期 2020 年 10 月至 2021 年 10 月 (B) 樣點之分布圖

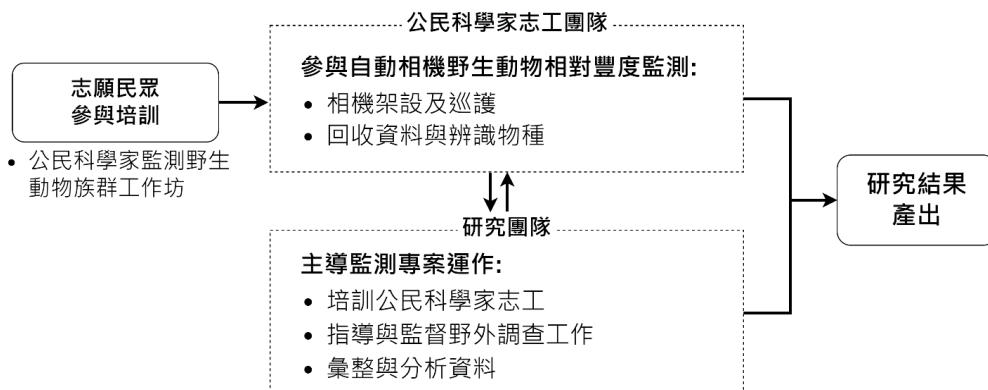


圖 2. 公民科學家志工參與玉山國家公園紅外線自動相機監測野生動物相對豐富度計畫之架構圖

四、資料分析方法

1. 野生動物相對豐富度

本研究採用相對豐富度指數 (RAI: Relative Abundance Index, 單位工作努力量之記錄照片數) (Wearn and Glover-Kapfer 2017)來量化和評估野生動物豐富度在不同地點及時間的差異，計算方式採用臺灣歷年野生動物調查常用的出現頻度 (Occurrence index, OI) (裴家騏等 1997)。

$$OI \text{ 值} = (n/T) * 1000$$

OI：出現頻度

n：特定物種在該地有效照片資料筆數

T：該樣點的有效工作時數 (小時)

然有效照片則採用目前農業部林業及自然保育署建置「臺灣中大型哺乳動物族群監測網」的定義，即同一樣點 1 小時內拍攝得之同一物種，不論隻數皆視為 1 筆有效照片紀錄，不區分獨立個體 (古馥宇 2018)。此法辨識照片物種和資料建置較不困難，適合公民科學家操作。

由於本研究自動相機監測對象和架設方式皆針對中大型哺乳動物，雖偶爾會拍到齧齒目 (Rodentia)和翼手目 (Chiroptera)動物，其影像往往難以提供足以辨識物種的特徵細節，故辨識一律歸為「齧齒類」和「蝙蝠」。

由於臺灣黑熊為玉山國家公園標誌性的瀕危物種，亦為國家公園通盤檢討計畫中的聚焦保育項目之一，我們特此分析每一筆黑熊紀錄，包含拍攝時間、個體數量、年齡、家族組成 (母熊及隨行幼獸數量)等。黑熊年齡依據臺灣黑熊圈養個體成長數據 (林依蓉 2007)，以及野生臺灣黑熊捕捉繫放經驗 (Hwang 2003)，將相片中目測體型大小分為三類：成體 (超過 3 歲齡的個體)、亞成體 (2 歲至 3 歲齡個體)、幼熊 (2 歲齡以下個體)。

2. 公民科學家正確率評估

所有回收的照片資料，除了交由公民科學家志工進行辨識，也另由具經驗的研究人員獨立重新辨識物種，作為比對基準。後續比對二者的辨識結果，計算辨識正確率，藉此評估公

民科學家辨識成效。我們並使用非常態性的中位數檢定 Kruskal-Wallis 檢定和事後比較 Dunn 檢定，檢視辨識正確率與參與辨識的次數是否有相關性，以了解公民科學家正確辨識的機會是否隨經驗增加而提升。照片辨識正確率計算公式為：

$$\text{正確率} = (1 - \text{物種有效照片經研究人員檢核修正的數量} / \text{經研究人員檢核後的有效照片總數}) \times 100\%$$

為釐清公民科學家辨識物種遭遇的困難為何，我們針對被辨識錯誤的資料，計算其誤判率 (誤判資料筆數/該物種有效照片數)，並進一步分析各別物種有效照片資料，經公民科學家判別為其他物種的比例。

結果

一、自動相機監測野生動物相對豐富度

自動相機總工作時數為 258,371 小時 (第一期 116,935 小時，第二期 141,436 小時)、回收照片中計有 17,393 筆有效照片資料 (第一期 7,395 筆，第二期 9,998 筆)。紀錄物種包含 5 目 13 種原生中大型哺乳動物，除黑熊之外，另有臺灣獼猴 (*Macaca cyclopis*)、臺灣山羌 (*Muntiacus reevesi micrurus*)、臺灣野山羊 (*Capricornis swinhoei*)、臺灣水鹿 (*Rusa unicolor swinhoii*)、臺灣野豬 (*Sus scrofa taiwanus*)、白鼻心 (*Paguma larvata taiwana*)、鼬獾 (*Melogale moschata subaurantiaca*)、食蟹獾 (*Herpestes urva formosanus*)、黃鼠狼 (*Mustela sibirica taiwana*)、黃喉貂 (*Martes flavigula chrysoipila*)、臺灣穿山甲 (*Manis pentadactyla pentadactyla*)、臺灣野兔 (*Lepus sinensis formosus*)。

第一期監測記錄到的中大型哺乳動物出現頻度 (OI)，由高至低排列依序為臺灣山羌 28.42、臺灣獼猴 18.90、臺灣水鹿 7.75、臺灣野豬 1.51、鼬獾 1.13、臺灣野山羊 1.08、食蟹獾 0.85、黃喉貂 0.67、白鼻心 0.61、臺灣黑熊 0.18、黃鼠狼 0.03、臺灣穿山甲 0.03、臺灣野

表 1. 自動相機監測玉山國家公園之哺乳動物種類及相對豐富度。第一期監測為 2019 年 10 月至 2020 年 9 月，樣區包含花蓮縣卓溪鄉省道台 30 線鹿鳴步道至八通關越嶺道步道至瓦拉米山屋沿線路段。第二期監測為 2020 年 10 月至 2021 年 10 月，樣區延伸至園區內八通關越嶺道里程 27 Km 處 (近抱崖山屋)。OI 值 = $(n/T) \times 1000$ ，n：特定物種在該地有效照片 (古馥宇 2018) 資料筆數，T：該樣點的有效工作時

目	中文名	學名	第一期監測 (n=16台相機)		第二期監測 (n=19台相機)	
			有效 照片	OI	有效 照片	OI
靈長 偶蹄	臺灣獼猴	<i>Macaca cyclopis</i>	2,210	18.90	2,714	19.19
	臺灣山羌	<i>Muntiacus reevesi micrurus</i>	3,324	28.42	4,075	28.81
食肉	臺灣水鹿	<i>Rusa unicolor swinhoii</i>	906	7.75	1,418	10.03
	臺灣野山羊	<i>Capricornis swinhoei</i>	126	1.08	141	1.00
	臺灣野豬	<i>Sus scrofa taivanus</i>	177	1.51	265	1.87
	臺灣黑熊	<i>Ursus thibetanus formosanus</i>	21	0.18	57	0.41
	白鼻心	<i>Paguma larvata taivana</i>	71	0.61	161	1.14
	鼬獾	<i>Melogale moschata subaurantiaca</i>	78	1.13	29	0.21
	黃鼠狼	<i>Mustela sibirica taivana</i>	4	0.03	7	0.05
	黃喉貂	<i>Martes flavigula chrysospila</i>	78	0.67	251	1.77
	食蟹獾	<i>Herpestes urva formosanus</i>	100	0.85	112	0.79
	家犬	<i>Canis lupus familiaris</i>	1	0.01	0	0
鱗甲	臺灣穿山甲	<i>Manis pentadactyla pentadactyla</i>	3	0.03	3	0.02
兔形	臺灣野兔	<i>Lepus sinensis formosus</i>	1	0.01	0	0
齧齒	齧齒類 ^a		289	2.47	755	5.34
翼手	蝙蝠 ^a		6	0.05	10	0.07
總計			7,395		9,998	

^a齧齒目和翼手目動物不區分科別和物種，分別統稱為齧齒類、蝙蝠。

兔 0.01 (表 1)。齧齒類及蝙蝠 OI 值分別為 2.30 及 0.05，以及家犬 0.01 (有效照片 1 筆)。第二期監測中大型哺乳動物 OI 值，由高至低依序為臺灣山羌 28.81、臺灣獼猴 19.19、臺灣水鹿 10.03、臺灣野豬 1.87、黃喉貂 1.77、白鼻心 1.14、臺灣野山羊 1.00、食蟹獾 0.79、臺灣黑熊 0.41、鼬獾 0.21、黃鼠狼 0.05、臺灣穿山甲 0.02 (表 1)。其他哺乳動物 OI 值齧齒類及蝙蝠分別為 5.34 及 0.07。二期 OI 值結果相較，黑熊第二期為第一期的 2.3 倍。

二、臺灣黑熊之出沒紀錄

為期兩年的監測中，共計拍攝到 78 筆黑熊出沒紀錄。第一期監測 16 個樣點中有 10 處拍攝到共 22 筆黑熊紀錄，有熊紀錄樣點佔 62.5%；第二期監測 19 個樣點中，除了 E11 及 E17，其餘樣點皆有拍攝到黑熊，共計 56 筆紀錄，有熊紀錄樣點佔 89.5% (圖 3)。

全部 78 筆黑熊紀錄中，單獨出沒個體紀

錄佔 94.9%，其中由外觀判斷屬成體佔 90.5%，餘者為亞成體或僅拍到黑熊部份身體而無法判定。拍攝到二隻以上黑熊的紀錄佔 5.1% (共計 4 次)，皆為母子熊團體，即為黑熊繁殖紀錄。第一期 W1 樣點拍攝到 1 對黑熊母子 (1 隻母熊攜 1 隻幼熊，109 年 5 月 3 日 15 時)。第二期則分別於 E08、E09、E12 樣點共拍攝到 3 對黑熊母子，皆為 1 隻母熊攜 2 隻小熊 (分別記錄於 110 年 7 月 19 日 17 時、109 年 11 月 15 日 19 時、110 年 7 月 18 日 5 時)。由幼熊外觀體型和紀錄時間差異，可判定此 4 對黑熊母子紀錄為不重複的個體，其中 W1、E8 樣點之紀錄由體型判斷為不足 1 歲齡的幼熊，E9 和 E12 則為 1 歲至 2 歲齡間個體 (圖 4)。另我們也觀察到特殊的黑熊行為，如第二期 E10 樣點記錄到一黑熊追逐水鹿，但不知是否獵捕成功 (圖 4)。在 E04 樣點則有 2 筆紀錄為玉山國家公園研究追蹤繫掛發報器的黑熊 (分別為編號 02 和 06 的成年雄性)

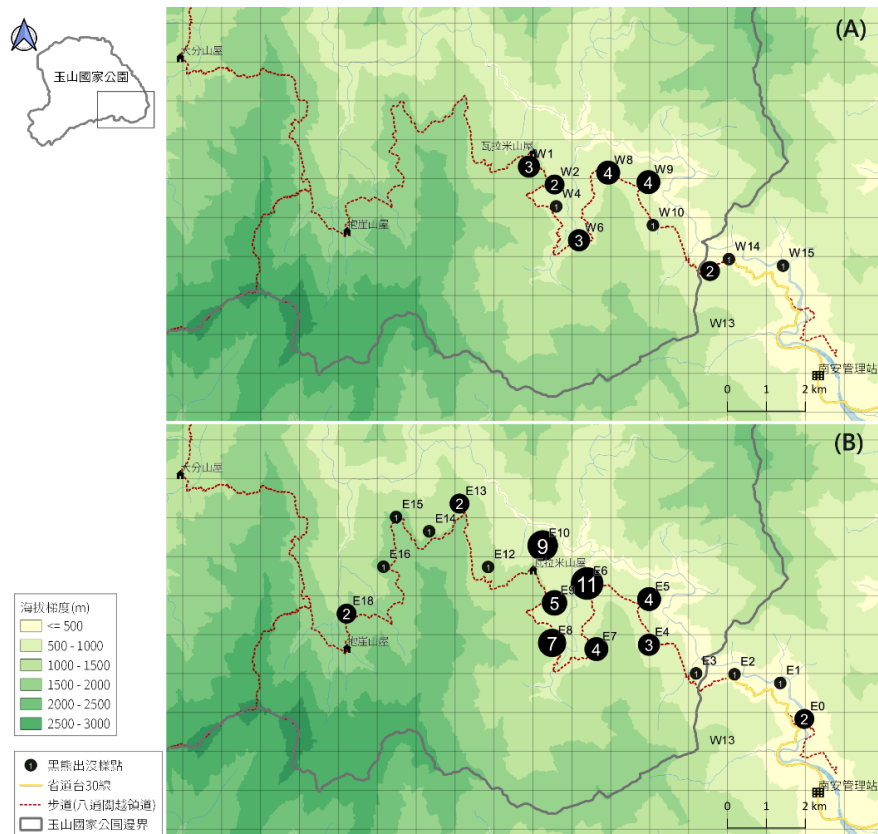


圖 3. 第一期 (A)及第二期 (B)樣區自動相機監測臺灣黑熊出沒分布狀況，圓圈內數字表示出沒紀錄次數 (n=78)

由空間分布來看，整個樣區八通關越嶺道由鹿鳴步道（與國家公園範圍直線距離約2.5公里）至抱崖山屋沿線，均有黑熊出沒紀錄，海拔高度為 249-1,691 公尺不等，並以佳心至瓦拉米山屋步道沿線的樣點拍攝到熊的頻度較高（圖 3）。於玉山國家公園園區外，兩期監測各別有 4 次黑熊活動的紀錄。

相機記錄到黑熊出沒的時間（圖 5），於晨昏（5:00-7:00，17:00-19:00）時段有 10 筆（12.8%）；夜間（19:00-5:00）24 筆（30.7%）；日間（7:00-17:00）則為 44 筆（56.4%），顯示黑熊日夜均活動，但以白天活動為主。

三、公民科學家參與及辨識正確率

本計畫總共 34 位志工參與公民科學家自動相機調查，包括共 10 次野外勤務工作，累計出勤 152 人次，努力量為 261 人天。研究團隊總計出勤 19 人次，努力量為 39 人天。第一

期和第二期監測分別共回收 98,653 和 189,866 張照片。故就整體野外調查努力量而言，公民科學家佔 87%，研究團隊佔 13%。

在照片物種辨識上，由公民科學家依序分 6 梯次完成 288,519 張相片辨識。正確率平均值依次分別是 0.91 (range = 0.70-1, SD = 0.08, n = 16 人)、0.89 (range = 0.63-1, SD = 0.14, n = 16 人)、0.88 (range = 0.66-1, SD = 0.11, n = 16 人)、0.91 (range = 0.74-0.99, SD = 0.09, n = 15 人)、0.94 (range = 0.81-1, SD = 0.04, n = 19 人)、0.94 (range = 0.79-0.99, SD = 0.05, n = 16 人)（圖 6）。透過 Anderson-Darling 檢定，正確率分布並不符合常態 ($p < 0.00001$)，遂將 6 梯次的辨識正確率製成小提琴圖 (violin plot)，可見辨識正確率的中位數有逐次提高的趨勢，且落差亦有逐漸縮小的趨勢。然若使用非常態性的 Kruskal-Wallis 中位數檢驗不同次之辨識正確率，則無顯著差異 (Kruskal-Wallis $X^2 = 3.5$,

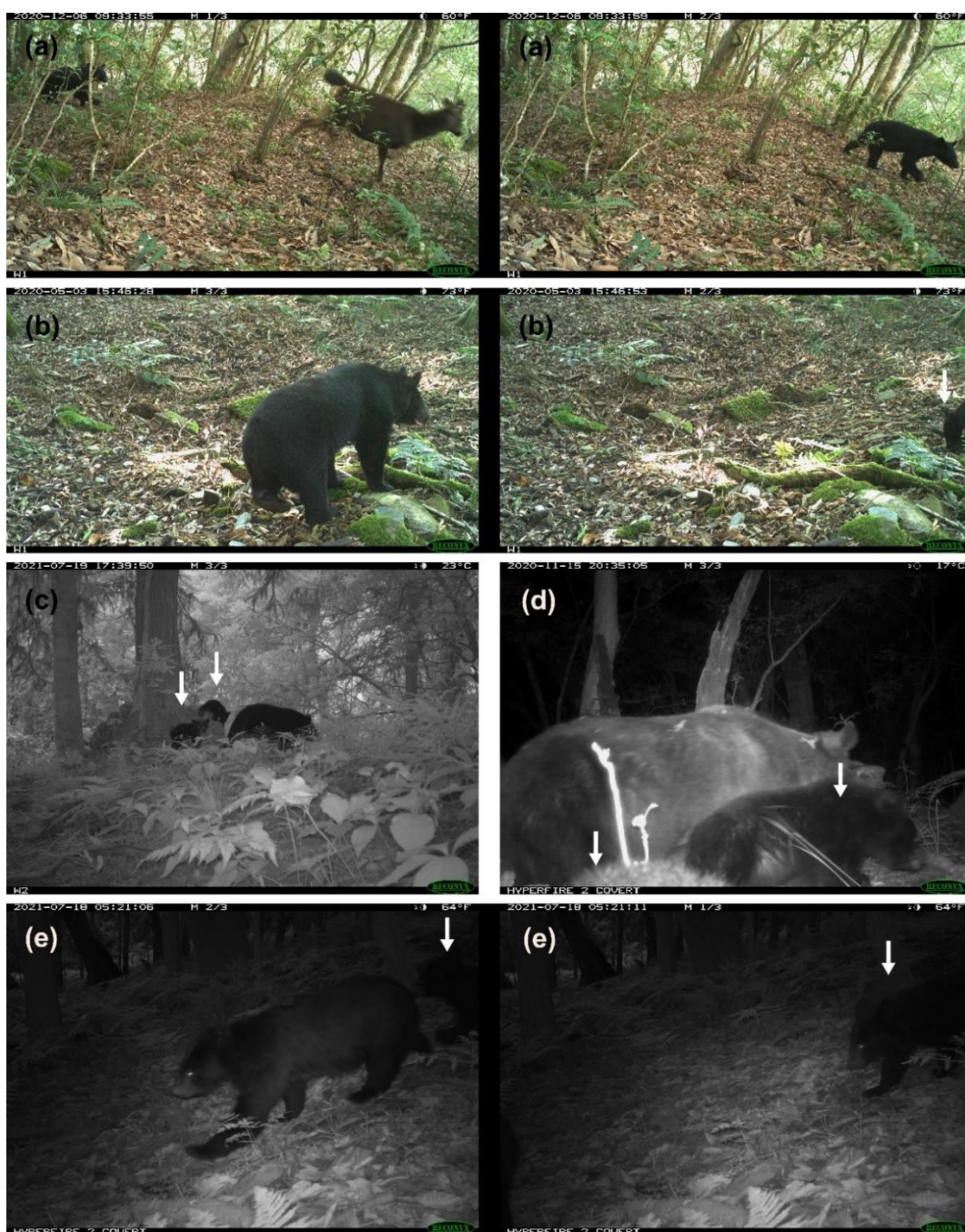


圖 4. 自動照相機拍攝到黑熊追逐水鹿 (a, E1 樣點)，以及母子熊出沒 (b, W1 樣點; c, E8 樣點; d, E9 樣點; e, E12 樣點)，白色箭號指出幼熊個體

$df = 5, p\text{-value} = 0.6$ 。

由於公民科學家的辨識正確率隨辨識經驗累積而提升且趨於穩定，我們取最後一次 (第 6 次) 辨識結果，分析各別物種誤判率，中大型哺乳動物誤判率 (圖 7) 由高至低依次為鼬獾 (76.0%)、白鼻心 (40.0%)、食蟹獾 (32.1%)、

臺灣野山羊 (31.8%)、黃喉貂 (17.4%)、野豬 (13.0%)、水鹿 (11.4%)、山羌 (7.6%)、黑熊 (5.3%)、獼猴 (3.7%)；齧齒類則為 15.9%。黃鼠狼、穿山甲及蝙蝠由於僅有零星有效照片資料，故不列入分析。

有效照片辨識錯誤在各個物種有很高的

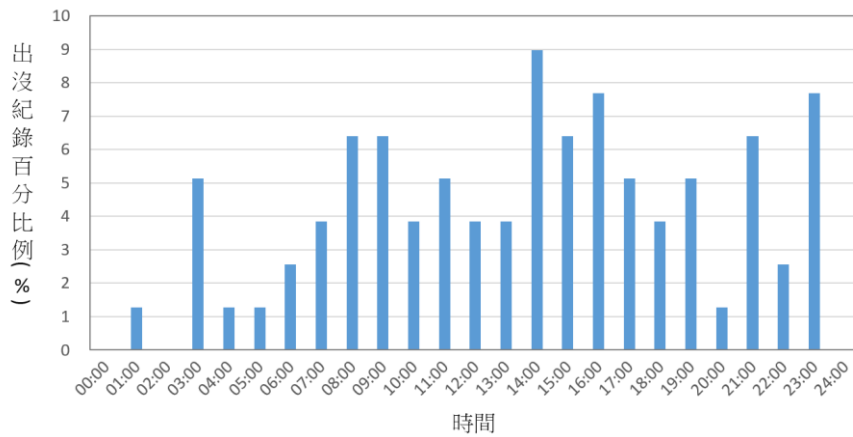


圖 5. 自動相機監測玉山國家公園臺灣黑熊出沒紀錄之日活動百分比例 (n=78)

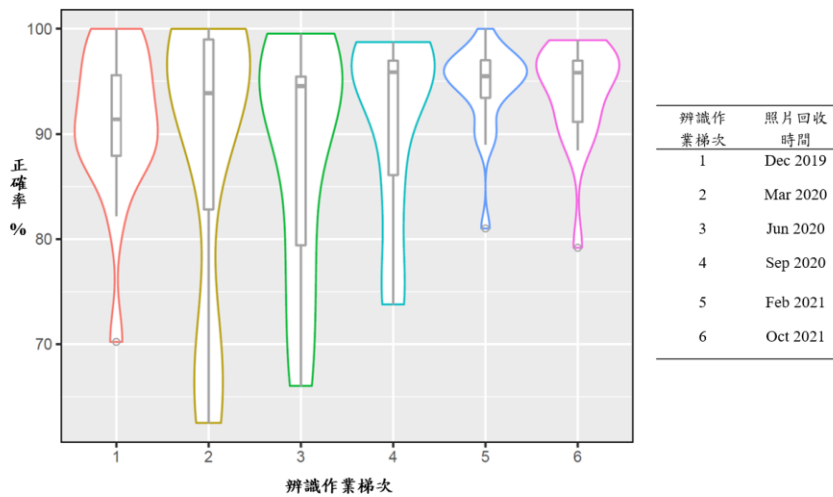


圖 6. 公民科學家於 6 梯次辨識相片過程中，物種辨識正確率之小提琴分布圖 (violin plot)。 (顏色邊框代表志工正確率的密集程度；黑色盒形圖三條橫線分別代表上四分位數、中位數和下四分位數，而上下延伸黑色縱線代表資料分布範圍)

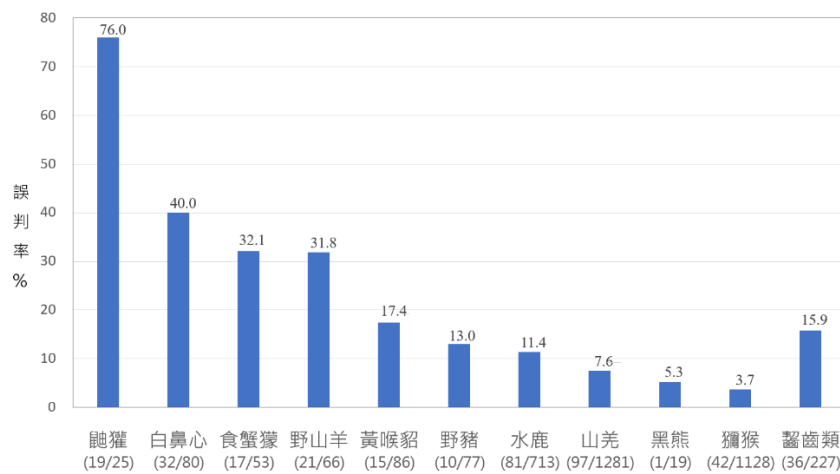


圖 7. 公民科學家針對第 6 梯次自動相機有效照片之各別物種誤判率。物種名稱後括號為該物種經檢核後有效照片誤判資料筆數/正確資料總筆數

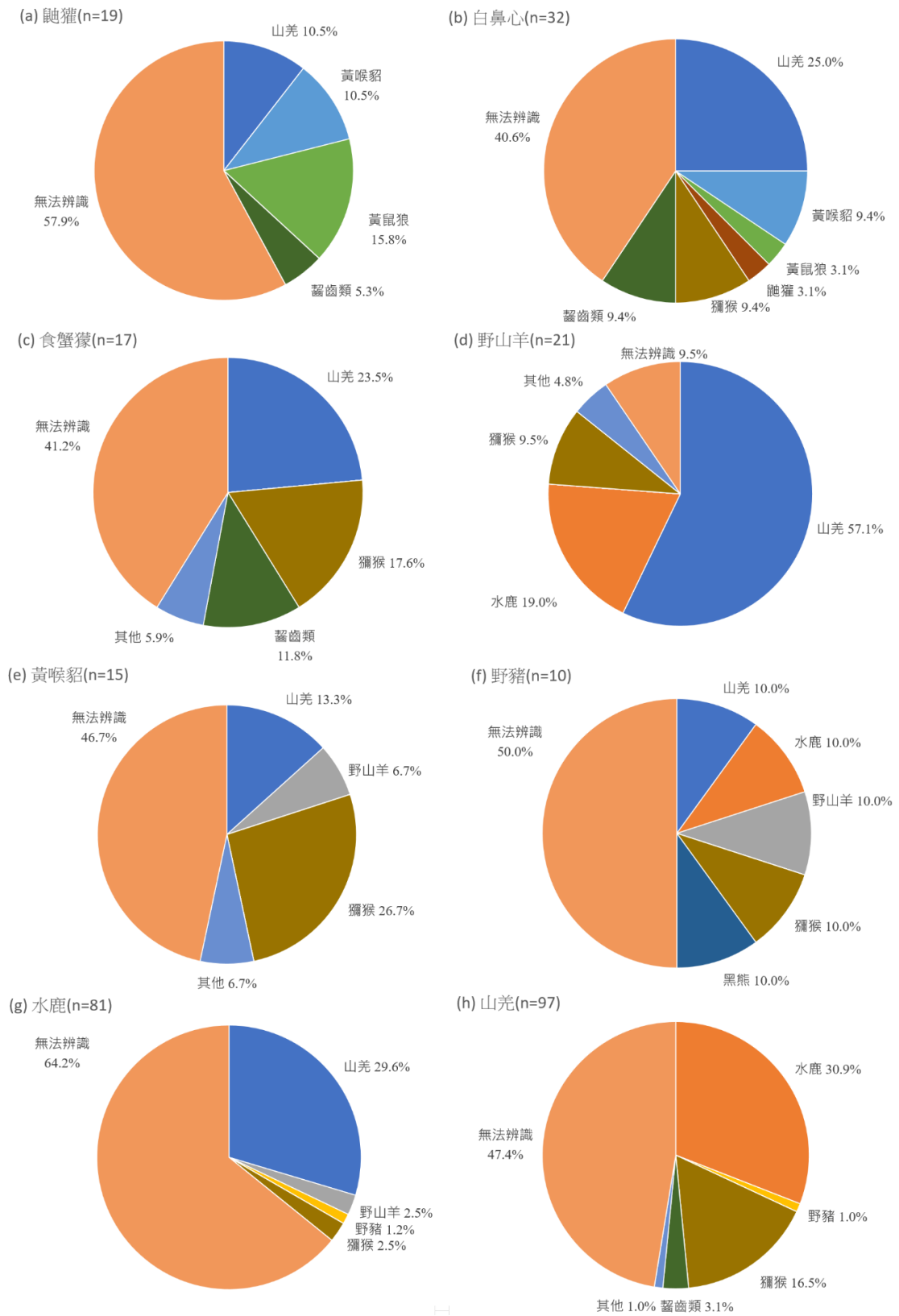


圖 8. 公民科學家針對第 6 梯次自動相機有效照片之各別物種誤判種類之百分比比例圖

表 2. 近年玉山國家公園以及鄰近樣區野生動物監測調查之物種相對豐富度 (單位=OI 值)，但各計畫 OI 值計算有效照片定義略有差異

	本研究											
	南安 瓦拉米 ^a	南安 抱崖 ^a	新康 橫斷 ^b	新康 橫斷 ^c	塔塔加 ^d	塔塔加 ^e	樂樂 地區 ^f	楠溪 林道 ^g	南二段 ^h	大分 地區 ⁱ	抱崖 大分 ^j	南安 抱崖 ^j
相機類型	數位	數位	數位	數位	數位	數位	傳統	數位	均有	數位	傳統	傳統
調查年分	2020	2021	2009	2010	2010	2011	2008	2017	2007	2009	2009	2009
臺灣獼猴	18.79	19.19	4.45	4.30	2.77	2.57	0.21	10.30	1.44	7.12	7.83	7.43
臺灣山羌	28.42	28.81	1.18	1.26	6.39	9.29	2.24	94.30	0.24	9.17	10.12	14.82
臺灣水鹿	7.75	10.03	15.20	13.89	2.38	2.12	-	23.70	17.50	13.99	4.05	3.12
臺灣野山羊	1.08	1.00	1.54	1.53	0.76	0.68	0.10	3.70	0.36	2.25	1.91	1.62
臺灣野豬	1.51	1.87	0.15	0.19	0.01	0.05	0.04	1.40	0.47	1.62	1.03	0.29
臺灣黑熊	0.19	0.41	0.10	0.01	0.00	0.0014	-	-	0.01	0.29	0.00	0.16
白鼻心	0.61	1.14	0.00	0.01	0.00	0.0014	0.17	-	-	0.79	0.67	0.97
鼬獾	1.13	0.21	0.41	0.23	0.60	0.70	1.76	-	0.58	0.27	0.48	0.70
黃鼠狼	0.03	0.05	0.22	0.26	0.78	0.77	0.26	-	0.28	0.00	0.05	0.00
黃喉貂	0.67	1.77	0.25	0.27	0.58	0.50	0.05	-	0.04	0.74	0.24	0.43
食蟹獐	0.85	0.79	0.01	0.01	-	0.0014	-	-	-	0.20	0.20	1.28
臺灣穿山甲	0.03	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
臺灣野兔	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	61.07	65.29	23.51	21.96	14.27	16.68	4.83	133.4	20.92	36.44	26.58	30.82

備註 1：本計畫定義照片中所有物種於 1 小時內出現複數個體皆視為 1 筆有效照片資料；姜博仁等 (2010, 2011) 定義 1 小時內連續出現各別個體皆視為 1 筆有效照片資料，但臺灣獼猴、黃喉貂、臺灣野豬不論個體數皆視為 1 筆有效照片；其餘研究則定義在半小時內連續出現各別個體皆視為 1 筆有效照片資料，僅臺灣獼猴不論個體數皆視為 1 筆有效照片。備註 2：文獻引用資料來源：^a本研究；^b翁國精等 (2009)；^c翁國精等 (2010)；^d姜博仁等 (2010)；^e姜博仁等 (2011)；^f林良恭等 (2008)；^g趙榮台等 (2017)；^h李玲玲等 (2007)；ⁱ黃美秀等 (2009)；^j吳海音等 (2009)。備註 3：“-”表示該計畫未列之物種。

表 3. 本研究與近年各國利用公民科學家辨識自動照相機拍攝哺乳動物照片正確率一覽表

地區	正確率(%)	主要目標物種	文獻
玉山國家公園(臺灣)	94.4	中大型哺乳動物	本研究
Serengeti(坦尚尼亞)	97.9	中大型哺乳動物	Swanson <i>et al.</i> 2016
Tambopata(祕魯)	93.5	中大型哺乳動物	Egna <i>et al.</i> 2020
North Carolina(美國)	89.1	溫血動物	Lasky <i>et al.</i> 2021
Wellington(紐西蘭)	84.2	溫血動物, 僅鑑定類群	Anton <i>et al.</i> 2018
Loisaba & Namunyak(肯亞)	83.4	中大型哺乳動物	Egna <i>et al.</i> 2020
Los Angeles(美國)	81.9	中小型哺乳動物	Katrak <i>et al.</i> 2020

比例 (9.5%-64.2%) 是公民科學家無法提供肯定的答案，即被判定為無法辨識 (圖 8)。這類情況通常是動物從鏡頭視野旁擦身而過，相機僅拍到身體少部分；或動物被植物枝葉遮蔽；或動物出沒於光線條件不佳的夜晚或是有下雨起霧等天氣狀況，致使無法得到有清晰動物特徵的照片。就各別物種而言，最常被辨識錯誤的物種前三者為鼬獾 (76.0%)、白鼻心 (40.0%) 及食蟹獐 (32.1%，圖 7)，其中鼬獾常被誤判為黃鼠狼、黃喉貂和山羌等動物，白鼻心也有類似情況；四種草食獸常有彼此判讀錯誤的情況，如山羌、山羊、水鹿，而野豬亦有被誤判為黑熊的紀錄 (圖 8)。辨識錯誤的有效照片出現於白天 (06:00-17:59) 和夜晚 (18:00-

05:59) 分別佔 40.7% 和 59.3%。

討論

一、玉山國家公園臺灣黑熊及共域中大型哺乳動物監測

了解一特定區域內的目標物種是否存在，以及該物種的豐富度和時空上的變化，是野生動物保育和經營管理所需要的重要基礎資訊 (Karlin and De La Paz 2015)。例如在何時何地應優先採取什麼保育措施，其決策和成效的評估都需要仰賴物種的監測資訊 (Morin *et al.* 2022)。在玉山國家公園地區，中大型野生哺乳動物相關的調查計畫已超過 20 案，然調查目

的和技術則隨計畫而有些差異。30年前研究者透過目視觀察及痕跡，調查此區哺乳動物和鳥類狀況(王穎 1995)。2000年之後，由於臺灣首次的黑熊捕捉繫放研究於東部園區展開(1998-2000年, Hwang 2003)，管理單位陸續委託學者於山風登山口至大分山區進行中大型哺乳動物監測研究，應用的調查方法包括痕跡、排遺遺傳物質鑑定，以及自動相機調查等(吳海音 2000、2003, 吳海音 2004a、2004b, 吳海音、施金德 2006, 吳海音、姚中翎 2008)。由於調查技術、器材上和執行上的差異，這些累積的研究成果很難有系統地比較，以了解期間動物族群的變動。

上述早期研究主要以了解特定區域有那些物種存在，以及同一時間下不同區域的豐富度差異為目標。然由於過往研究使用舊型底片自動照相機，功能和性能皆和現代研究設備差異甚鉅，加上一般監測時間較短(一般不及一年)、調查涵蓋範圍侷限，且樣點及樣本數較少，故難以與本計畫自動相機監測結果進行比較，也無從探究長期監測的變化。若回顧近十年玉山國家公園利用自動照相機的中大型哺乳動物監測調查，範圍包含樂樂地區、楠溪林道、南二段、新康山區、塔塔加以及八通關越嶺道東段等區域(表 2)。比較成果發現，所有樣區相對豐富度最高的物種均為山羌或水鹿(李玲玲等 2007, 林良恭、喬雅玲 2008, 吳海音等 2009, 黃美秀等 2009, 翁國精等 2009, 姜博仁等 2010, 翁國精等 2010, 姜博仁等 2011, 趙榮台等 2017)，輔以研究團隊長期於野外的目擊和痕跡紀錄，二者應為玉山國家公園內相對較高族群量的初級消費者。

然研究依目標物種和調查目的而有不同的試驗設計，包括相機樣點挑選和架設方式等，進而可能影響監測結果。另計算自動相機單位努力量收獲量(出現頻度, OI 值)，僅反應出野生動物在樣點出沒並被自動相機記錄到的相對頻度，或許能反應族群的相對豐富度，但也與動物移動模式和行為習性有關，而不能詮釋為絕對族群數量。故若欲比較不同時空的調

查結果時，若以自動相機單位努力量收獲量做比較，則需十分注意操作條件。近年國際上結合自動照相機與模型分析(modeling)監測野生動物族群的研究蓬勃發展，透過加入不同環境和動物因子的電腦模擬，則更能反應真實的野生動物族群狀況(Trollet *et al.* 2014, Burton *et al.* 2015)。

針對臺灣黑熊的監測結果，本研究於鹿鳴步道至抱崖山屋路段，皆有記錄到黑熊出沒，包含國家公園園區以外的4個樣點(圖 3)。綜觀臺灣各地相關自動照相機監測資料，本研究臺灣黑熊的OI值一般偏高。然而，2000年至2010年間，於玉山國家公園東部園區的自動照相機調查，未曾於園區外圍的登山口至瓦拉米山屋路段記錄到黑熊出沒(吳海音 2003, 吳海音等 2004a, 2004b, 吳海音、施金德 2006, 吳海音 2009, 黃美秀等 2009)。這或許與早期自動相機性能較差，以致不容易監測到數量稀少的黑熊有關。然而，此區域於近年的黑熊通報紀錄的確有明顯增加的趨勢(黃美秀等 2021)；加上玉山國家公園臺灣黑熊人造衛星追蹤研究也顯示，黑熊頻繁活動於國家公園東部山風登山口附近和外圍區域(林宛青 2017, 黃美秀等 2022)。另臺灣黑熊預測分布模式也顯示，玉山國家公園東部園區山風登山口至大分一帶為臺灣黑熊分布較集中處(葉子維 2020)。基於以上證據，推測此區域的黑熊族群有增長且向園區外圍擴散的趨勢。

本研究監測到臺灣黑熊活動主要以白天為主(69.2%)，與過往無線電及衛星追蹤野生臺灣黑熊的觀測結果相同(Hwang and Garshelis 2007; 林宛青 2017)。諸多研究顯示道路設施(包含車道及步道)，以及人類活動皆會影響大型食肉目動物的活動習性，例如棕熊(*Ursus arctos*)與灰狼(*Canis lupus*)在人類活動量較高的區域，會增加夜間活動的比例(Gaynor *et al.* 2018, Whittington *et al.* 2022)。由此或可推測樣區的遊憩活動應尚未對黑熊活動息有嚴重的影響。

針對活動範圍廣泛又行蹤隱蔽的臺灣黑

熊，自動相機除了監測其出沒外，也能藉由影像得到額外的動物行為習性資料。本研究記錄到臺灣黑熊追逐水鹿（圖 4），顯示水鹿確實是臺灣黑熊的潛在食物，不僅會主動獵捕，並可能會取食腐肉（Hwang *et al.* 2002）。另我們也監測到不同的 4 對黑熊母子出沒（圖 4），其中包含 1 對 1 隻幼熊，以及 3 對 2 隻幼熊的家族，平均每胎 1.75 隻，與圈養紀錄類似（林依蓉 2007）。此為臺灣迄今單一樣區最多母子熊出沒的紀錄，顯示此區為重要的繁殖地。研究資料較多且生態習性與臺灣黑熊接近的美洲黑熊，野外幼熊待在母熊身邊平均為 1.4 年（Rogers 1987, Lee and Vaughan 2004），與本研究觀察跟隨的幼熊 1-2 年齡的情況相符。

玉山國家公園乃臺灣最大的國家公園，加上鄰近連續的原始森林環境，提供包括臺灣黑熊等野生動物良好棲息環境，此處可謂全島臺灣黑熊之核心族群所在，對於維繫全島臺灣黑熊族群的存續力具有深遠的影響（Hsiao *et al.* 2022）。故建議國家公園管理處建立長期而有系統的臺灣黑熊及共域哺乳動物監測系統，以確實了解黑熊族群之動態變化。臺灣黑熊活動範圍廣大（> 550 平方公里，葉子維 2020），近年各項調查和目擊及通報顯示本區黑熊頻繁活動於國家公園園區外圍，故現有包括國家公園的各種保護區規劃恐無法完整地提供瀕危黑熊足夠的保護，建議相關管理單位可以透過緩衝區管理的概念，有效規劃和推動國家公園等保護區以外區域的保育措施。配合完善的緩衝區規劃和管理，不僅可同時維持人文、生物和文化多樣性（Unesco 1974），並提供核心區（如玉山國家公園）內物種額外棲息地和重要資源，並可減緩保護區外的人為干擾，進而增加物種的族群量（Bennett and Mulongoy 2006, Vynne *et al.* 2014）。

二、公民科學家參與野生動物紅外線自動相機監測

科學研究需要品質高且穩定的資料，故辨識物種的正確率為公民科學家參與野生動物

紅外線自動相機監測成功與否的重要評估指標。本計畫公民科學家辨識照片物種之正確率最高達 94%，不同梯次辨識作業的正確率雖未達顯著差異，然似乎仍可發現其辨識正確率有隨時間增高，而標準差越來越低的趨勢（圖 6）。在其他國家亦有運用公民科學家參與自動相機哺乳動物監測的研究（表 3），在非洲，監測目標普遍較大型，例如獅子、長頸鹿、非洲象（Swanson *et al.* 2016, Egna *et al.* 2020），其他地區則包含一些中型、小型哺乳動物（Anton *et al.* 2018, Katrak-Adefowora *et al.* 2020, Lasky *et al.* 2021）。除了紐西蘭威靈頓的研究僅鑑定至類群階層，其他研究則鑑定至物種階層，但困難分類的物種，則僅鑑定至類群（如齧齒類、小鼠、大鼠、鳥類、蝙蝠等）。這些研究平均正確率為 81.9%-97.9%，本研究公民科學家辨識正確率雖不亞於其他國家的調查成果（表 3），但若針對辨識錯誤處討論交流，相信辨識正確率應該仍可持續提升。然此亦可看出其間人力培訓的挹注費時，以本計畫為例，可能至少二年。

為維持公民科學家提供高品質的數據，提供參與者良好的專業技能訓練是關鍵。本計畫初期便針對公民科學家設計自動相機操作和應用課程，並於其實際投入調查後，還會由研究人員（輔導員）檢核志工辨識結果，並提供校正結果，反覆提升志工辨識物種的能力。曾有研究針對公民科學家是否有受過培訓進行了辨識物種正確率的比較，結果顯示無培訓的志工之平均正確率僅有 51.8%，而接受培訓志工則達 81.9%（Katrak-Adefowora *et al.* 2020）。另外一方面，利用電腦機器學習辨識自動相機拍攝物種，也是近年逐漸成熟的一種研究輔助工具，可節省大量人力辨識時間。然此法仍有些侷限，例如初期須準備龐大已辨識並標記的資料提供機器學習，故於實際運用上，罕見物種的準確度會較低（Norouzzadeh *et al.* 2018, Willi *et al.* 2019, Egna *et al.* 2020）。話雖如此，此技術的成熟發展應該也是指日可待，唯公民科學家仍具有其他保育參與的價值。

本研究近 6 成的有效照片錯誤辨識情況

發生於夜間。無法得到清晰的影像，即便對於經驗豐富的研究人員來說，正確辨識也是困難的任務，或可視為系統性的誤差。計算個別物種錯誤率(圖 7)，本研究發現最常被辨識錯誤的物種前三者為鼬獾(76.0%)、白鼻心(40.0%)及食蟹獾(32.1%，圖 7)，顯示小型食肉目動物是公民科學家辨識的普遍障礙，推測可能原因包括：相較於草食動物，小型食肉目動物體型更小，且鼬獾和白鼻心常於夜間出沒而影像解析度較低，又這些動物通常快速通過相機鏡頭視野，諸多原因使得其細節不容易辨識。另一方面，相較於紀錄豐富的水鹿、山羌、獼猴，小型食肉目動物較少出現，從而使志工能練習的機會也較少，故有較高的誤判率。

各物種被誤判為其他物種的狀況不近相同(圖 8)，然與志工交流回饋過程中，則有助於了解可能原因。鼬獾常被志工誤認為黃鼠狼、黃喉貂及山羌；白鼻心則常被誤認為山羌、黃喉貂及獼猴(皆有偏暗色長尾巴)。在非食肉目動物中，臺灣野山羊是最常被誤判的物種，或許是在草食動物中體型居中偏小，頭角也不像水鹿一般明顯，故野山羊常被誤判為山羌。黃喉貂或許因為有黑色的尾巴，常被誤判為獼猴。野豬是本研究中唯一曾被誤判為臺灣黑熊的物種。監測數量豐富的山羌和水鹿，則常常被互相誤認。了解這些資訊對於未來公民科學家或是自動相機監測相關人員的教育訓練，具有重要參考價值。

由本研究結果可見公民科學家志工能為野生動物族群自動相機監測計畫提供相當的助益，包括野外實地調查，以及相機影像物種辨識和資料建檔等。此外，公民科學家專案也提供了附加的民眾生態教育價值。本計畫之公民科學家專案，足可以為日後相關單位展開公民科學家志工野生動物監測計畫之操作項目和目標設定參考。建議基本原則如下四項：

- (1) 監測專案由具野生動物研究專業之單位主持。依據研究目的、樣區環境條件、設備及人力資源妥善規劃研究設計。
- (2) 監測專案之主持者(或輔導員)，對公民科學

家有訓練、指導和監督之義務，確保監測專案依照規劃運作。

- (3) 公民科學家志工在計畫主持者的指導下，循試驗設計和工作規劃進行相關工作。
- (4) 專案執行期間主持者視實際運作情況、公民科學家回饋，適時調整專案進行方式，以將效益提升最大化。

推動公民科學家野生動物自動相機族群監測專案之參考運作流程如下：

- (1) 舉辦工作坊培訓感興趣之志願民眾成為專案公民科學家，訓練包括野生動物族群調查的基本理論、自動照相機原理和操作，以及實作課程。
- (2) 初期野外工作應由主持者帶領公民科學家志工進行，以確保相機架設方式和操作正確。
- (3) 野外相機例行維護工作，交由公民科學家志工以小組為單位認領巡護行程。
- (4) 公民科學家協助回收相片檔案和相關資料數據，交由主持者歸檔。
- (5) 主持者建立相片檔案清單與辨識資料表，將資料上傳至公共雲端空間，分派公民科學家志工進行物種辨識工作。
- (6) 主持者回收公民科學家辨識結果，進行彙整、分析和結果詮釋。
- (7) 專案執行期間舉辦相關進階專業課程、交流討論會，以及成果分享，持續加強公民科學家相關知識與技能，並提供交流回饋與檢討的機會。
- (8) 訓練期間追蹤每位公民科學家辨識正確率，或是在公民科學家正式投入之前舉辦考核測驗，以確保辨識資料品質。

公民科學是近年新興透過志願群眾的力量，協力參與大尺度或長期科學研究的方法。本計畫是國內首次嘗試建構系統性由公民科學家參與自動照相機野生動物監測的案例。以本研究樣區玉山國家公園為例，雖然近 20 年來已有許多自動相機調查相關研究，然除了硬體設備不斷進步，調查方法和操作標準也多半存在差異，因故這些成果很難直接比較，以供吾人了解國家公園在大尺度或是長時間上的

野生動物族群變化。有鑑於國家公園的經營管理目標可能隨著時間而有階段性調整，委託學術單位進行的研究未必能長期反覆進行。因此，發展一個簡易但系統性地野生動物監測調查，並且結合外部資源（志工系統），則將有助於監測計畫的長期運作。雖然本研究僅包含 19 台自動照相機，但我們仍可見熱情參與的公民科學家志工，經過兩年的參與和訓練，不僅能夠獨立參與田野工作，並能參與自動相機影像辨識，且有高達 94% 的正確率，顯示此計畫具有應用潛力。本計畫雖未能完全量化志工參與的效益，但深化民眾參與科學研究所培育出保育種子，推廣生物多樣性保育，則實屬不易估量和忽視的額外效益。

自動照相機公民科學家監測計畫仍然需要管理單位投入一定的能量與資源才可能長期穩定運作。雖說在公民科學家的培訓初期，需要投入較高的成本進行訓練和考核，才能將資料蒐集的可信度和穩定性提升至一定的水準。在調查進行期間，仍需要管理單位主導公民科學家參與調查方向和工作。若公民科學家參與野生動物自動相機監測僅為期兩三年，或許在損益平衡後難見其效益，但若能持續長期運作公民科學家計畫，我們認為對於國家公園的經營管理和保育來說，將能夠帶來長期累積的正面效益。

結論

野生動物族群豐度的時空變化為保育和經營管理的必要資訊。藉由有系統而長期持續的族群監測研究設計和規劃，有助於深入了解臺灣黑熊和其他共域中大型哺乳的活動、分布和行為，以及其族群變化趨勢。綜合本計畫及其他各項研究證據顯示，玉山國家公園東部園區臺灣黑熊族群有增長且向園區外圍擴散的趨勢。本研乃國家公園首度嘗試建立長期且較大範圍的自動相機監測野生動物系統，結果顯示公民科學家先期培訓需要投入較高的成本，但長遠來看，若能經過妥善的規劃和培訓，公

民科學家志工能成為研究保育和經營管理的助力。藉由公民科學家親自參與研究工作，不僅提升民眾科學研究素養，也使民眾更加支持、關注相關的保育議題。

誌謝

本研究承蒙內政部國家公園署玉山國家公園管理處經費補助，以及各項行政作業上諸多協助，特此感謝。野外調查和資料分析有賴多位公民科學家志工及國家公園保育巡查員協力參與，才得以順利完成，於此一併致謝，並以此文獻給所有志工們。

引用文獻

- 王穎。1995。玉山國家公園瓦拉米地區中大型野生哺乳動物之棲地、習性及族群動態調查 (二)。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 古馥宇。2018。臺灣水鹿 (*Rusa unicolor swinhoei*) 之相對族群量指標開發與評估。碩士論文。國立屏東科技大學。
- 吳海音。2000。玉山國家公園東部園區遊客與野生動物活動監測計畫。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 吳海音、吳世鴻、吳煜慧。2004a。玉山國家公園東部園區中大型哺乳動物監測計畫。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 吳海音、吳煜慧。2004b。玉山國家公園東部園區臺灣黑熊及偶蹄目動物群聚研究。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 吳海音、姚中翎。2008。玉山國家公園東部園區南安至抱崖哺乳動物監測及與人類活動的關係。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 吳海音、施金德。2006。玉山國家公園東部園區偶蹄目動物監測計畫。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 吳海音。2003。玉山國家公園東部園區大型哺

- 乳動物監測計畫。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 吳海音。2009。玉山國家公園東部園區偶蹄目監測與中小型食肉目動物分布調查。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 李玲玲、林宗以、池文傑。2007。玉山國家公園南二段地區中大型哺乳動物調查暨臺灣水鹿族群監測計畫。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 林依蓉。2007。圈養臺灣黑熊幼獸行為發展及親子關係。碩士論文。國立屏東科技大學。
- 林良恭、喬雅玲。2008。樂樂地區鳥類及哺乳動物監測調查暨生態教育宣導。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 林宛青。2017。衛星定位追蹤玉山國家公園臺灣黑熊 (*Ursus thibetanus formosanus*) 之移動與活動模式。碩士論文。國立屏東科技大學。
- 姜博仁、蔡世超、吳禎祺、林宗億。2010。玉山與塔塔加地區中大型哺乳動物與生物多樣性之長期監測計畫。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 姜博仁、蔡世超、吳禎祺。2011。玉山地區中大型哺乳動物與生物多樣性長期監測計畫。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 翁國精、林宗以、張書得、范震華。2010。玉山國家公園新康山區中大型哺乳動物監測暨水鹿族群生態調查。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 翁國精、林宗以、蔡及文。2009。玉山國家公園新康山區暨南二段中大型哺乳動物調查計畫。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 翁國精、劉建男、古馥宇、劉士豪、沈祥仁、黃慎雯、吳力越。2020。自動相機動物監測整合計畫 (3/4)。行政院農務委員會林務局。
- 黃美秀、林冠甫、張書德、何冠助、葉炯章。2009。玉山國家公園臺灣黑熊族群生態學及保育研究 (4/4)。玉山國家公園管理處。
- 黃美秀。2013。玉山國家公園臺灣黑熊族群生態及遺傳狀況評估研究(4/4)。玉山國家公園管理處。
- 黃美秀、張鈞皓、葉子維、高瑄鎂。2021。鳥瞰臺灣黑熊：玉山國家公園臺灣黑熊人造衛星追蹤暨生態監測計畫案。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 黃美秀、張鈞皓。2022。111年度玉山國家公園臺灣黑熊族群監測暨保育行動策略推廣。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 葉子維。2020。利用梯度提升樹建構玉山國家公園臺灣黑熊 (*Ursus thibetanus formosanus*)棲地選擇模型。碩士論文。國立屏東科技大學。
- 裴家騏、陳朝圳、吳守從、滕民強。1997。利用自動照相設備與地理資訊系統研究森林野生動物 族群之空間分布。中華林學季刊 30 (3): 279-289。
- 趙榮台、劉建男、周政翰、林宇盛、簡芝楹、許家維、林融、戴俞全、楊硯韓、黃慎雯。2017。玉山國家公園楠溪林道蝙蝠與中大型哺乳動物監測工作。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 蔡幸蒨。2011。臺灣黑熊 (*Ursus thibetanus formosanus*)族群相對豐富度及分布及預測模式。碩士論文。國立屏東科技大學。
- Allf BC, CB Cooper, LR Larson, RR Dunn, SE Futch, M Sharova, and D Cavalier. 2022. Citizen science as an ecosystem of engagement: implications for learning and broadening participation. *BioScience* 72:651-663.
- Anton V, S Hartley, A Geldenhuis, and HU Wittmer. 2018. Monitoring the mammalian fauna of urban areas using remote cameras and citizen science. *Journal of Urban Ecology* 4:1-9.
- Apps PJ, and JW McNutt. 2018. How camera traps work and how to work them. *African Journal of Ecology* 56:702-709.
- Bennett G, and KJ Mulongoy. 2006. Review of experience with ecological networks, corridors and buffer zones. Page 100 in Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Technical Series. pp 7-8.
- Bouzekry A, B Mghili, and M Aksissou. 2022. Addressing the challenge of marine plastic litter in the Moroccan Mediterranean: A citizen

- science project with schoolchildren. *Marine Pollution Bulletin* 184:114-167.
- Burton AC, E Neilson, D Moreira, A Ladle, R Steenweg, JT Fisher, E Bayne, S Boutin, and P Stephens. 2015. REVIEW: Wildlife camera trapping: a review and recommendations for linking surveys to ecological processes. *Journal of Applied Ecology* 52:675-685.
- Cappa F, S Franco, and F Rosso. 2022. Citizens and cities: Leveraging citizen science and big data for sustainable urban development. *Business Strategy and the Environment* 31:648-667.
- Chyn K, T-E Lin, Y-K Chen, C-Y Chen, and LA Fitzgerald. 2019. The magnitude of roadkill in Taiwan: Patterns and consequences revealed by citizen science. *Biological Conservation* 237:317-326.
- Cook S, S Abolfathi, and NI Gilbert. 2021. Goals and approaches in the use of citizen science for exploring plastic pollution in freshwater ecosystems: A review. *Freshwater Science* 40:567-579.
- Da Schio N. 2022. The Empowering Virtues of Citizen Science: Claiming Clean Air in Brussels. *Engaging Science, Technology, and Society* 8(1), pp 29-52.
- Dickinson JL, B Zuckerberg, and DN Bonter. 2010. Citizen Science as an Ecological Research Tool: Challenges and Benefits. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 41:149-172.
- Egna N, D O'Connor, J Stacy-Dawes, MW Tobler, N Pilfold, K Neilson, B Simmons, EO Davis, M Bowler, and J Fennessy. 2020. Camera settings and biome influence the accuracy of citizen science approaches to camera trap image classification. *Ecology and evolution* 10 (21), pp 11954-11965.
- Erb PL, WJ McShea, and RP Guralnick. 2012. Anthropogenic influences on macro-level mammal occupancy in the Appalachian Trail corridor. *PloS one* 7:1-10.
- European Commission. 2018. *Citizen science for environmental policy – Development of an EU-wide inventory and analysis of selected practices*. Publications Office, 2018, <https://data.europa.eu/doi/10.2779/961304>
- Forrester TD, M Baker, R Costello, R Kays, AW Parsons, and WJ McShea. 2017. Creating advocates for mammal conservation through citizen science. *Biological Conservation* 208, pp 98-105.
- Gaynor KM, CE Hohnowski, NH Carter, and JS Brashares. 2018. The influence of human disturbance on wildlife nocturnality. *Science* 360(6394) pp 1232-1235.
- Greenwood JJ. 2007. Citizens, science and bird conservation. *Journal of Ornithology* 148(1) pp 77-124.
- Hsiao C, Y-T Ju, C-H Chang, S-W Chen, H-W Tsai, L Wang, W-C Lin, and M-H Hwang. 2022. Genetic status and conservation implications of endangered Formosan black bears. *Ursus* 2022(33e16) pp 1-13.
- Hsing PY, RA Hill, GC Smith, S Bradley, SE Green, VT Kent, SS Mason, J Rees, MJ Whittingham, J Cokill, and PA Stephens. 2022. Large-scale mammal monitoring: The potential of a citizen science camera-trapping project in the United Kingdom. *Ecological Solutions and Evidence* 3(4). pp 1-15.
- Hsu C-H, and T-E Lin. 2021. Exploring the participation motivations of ongoing and former citizen scientists in Taiwan Roadkill Observation Network. *Journal for Nature Conservation* 64, pp 1-9.
- Hsu C-H, T-E Lin, W-T Fang, and C-C Liu. 2018. Taiwan Roadkill Observation Network: An example of a community of practice contributing to Taiwanese environmental literacy for sustainability. *Sustainability* 10(10) pp 3610.
- Hwang M-H, DL Garshelis and Y Wang. 2002. Diets of Asiatic black bears in Taiwan, with methodological and geographical comparisons. *Ursus* 13, pp 111-125.
- Hwang M-H. 2003. *Ecology of Asiatic black bears and people-bear interactions in Yushan National Park, Taiwan*. University of Minnesota, Twin Cities, USA.
- Hwang MH, and D Garshelis. 2007. Activity patterns of Asiatic black bears (*Ursus thibetanus*) in the Central Mountains of Taiwan. *Journal of Zoology* 271(2) pp 203-209.
- Karlin M, and G De La Paz. 2015. Using camera-trap technology to improve undergraduate education and citizen-science contributions in wildlife research. *The Southwestern Naturalist* 60(2-3), pp 171-179.
- Katrak-Adefowora R, JL Blickley, and AJ Zellmer. 2020. Just-in-time training improves accuracy of citizen scientist wildlife identifications from camera trap photos. *Citizen Science: Theory and Practice* 5(1). pp 1-11.
- Kays R, AW Parsons, MC Baker, EL Kalies, T Forrester, R Costello, CT Rota, JJ Millspaugh, WJ McShea, and J Toit. 2016. Does hunting or hiking affect wildlife communities in protected areas? *Journal of Applied Ecology* 54(1), pp 242-252.
- Ko C-J, M-W Fan, R-S Lin, C-C Cheng, and P-F Lee. 2014. Monitoring breeding bird populations in Taiwan. *Integrative Observations and Assessments* pp 51-63
- Ko JC-J, M-W Fan, R-S Lin, P-F Lee, and S-P Tsai. 2017. Point count sampling data from the Taiwan Breeding Bird Survey. *Taiwan Journal of Biodiversity* 19(4) pp 243-254.
- Kosmala M, A Wiggins, A Swanson, and B Simmons. 2016. Assessing data quality in citizen science. *Frontiers in Ecology and the Environment* 14(10) pp 551-560.
- La Sorte FA, and M Somveille. 2020. Survey completeness of a global citizen-science database of bird occurrence. *Ecography* 43(1) pp 34-43.

- Lasky M, A Parsons, S Schuttler, A Mash, L Larson, B Norton, B Pease, H Boone, L Gatens, and R Kays. 2021. Candid Critters: Challenges and Solutions in a Large-Scale Citizen Science Camera Trap Project. *Citizen Science: Theory and Practice* 6(1), pp 1-17.
- Lee DJ, and MR Vaughan. 2004. Black bear family breakup in western Virginia. *Northeastern Naturalist* 11(2), pp 111-122.
- Lepczyk CA. 2005. Integrating published data and citizen science to describe bird diversity across a landscape. *Journal of Applied Ecology* 42(4) pp 672-677.
- Lin Y-P, D Deng, W-C Lin, R Lemmens, ND Crossman, K Henle, and DS Schmeller. 2015. Uncertainty analysis of crowd-sourced and professionally collected field data used in species distribution models of Taiwanese moths. *Biological Conservation* 181, pp 102-110.
- McShea WJ, T Forrester, R Costello, Z He, and R Kays. 2015. Volunteer-run cameras as distributed sensors for macrosystem mammal research. *Landscape Ecology* 31(1), pp 55-66.
- Morin DJ, J Boulanger, R Bischof, DC Lee, D Ngoprasert, AK Fuller, B McLellan, R Steinmetz, S Sharma, D Garshelis, A Gopalaswamy, MA Nawaz, and U Karanth. 2022. Comparison of methods for estimating density and population trends for low-density Asian bears. *Global Ecology and Conservation* 35, pp 1-25.
- Norouzzadeh MS, A Nguyen, M Kosmala, A Swanson, MS Palmer, C Packer, and J Clune. 2018. Automatically identifying, counting, and describing wild animals in camera-trap images with deep learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115(25), pp 15-25.
- Reif J, Z Vermouzek, P Voříšek, D Romportl, and F Morelli. 2022. Birds' ecological characteristics differ among habitats: an analysis based on national citizen science data. *Community Ecology* 23, pp 173-186.
- Rogers LL. 1987. Effects of food supply and kinship on social behavior, movements, and population growth of black bears in northeastern Minnesota. *Wildlife Monographs* 97, pp 3-72.
- Swanson A, M Kosmala, C Lintott and C Packer. 2016. A generalized approach for producing, quantifying, and validating citizen science data from wildlife images. *Conservation Biology* 30 (3), pp 520-531.
- Syberg K, A Palmqvist, FR Khan, J Strand, J Vollertsen, LPW Clausen, L Feld, NB Hartmann, N Oturai, and S Møller. 2020. A nationwide assessment of plastic pollution in the Danish realm using citizen science. *Scientific reports* 10(1) pp 1-11.
- Trolliet F, C Vermeulen, M-C Huynen, and A Hambuckers. 2014. Use of camera traps for wildlife studies: a review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* 18(3), pp446-454.
- Tulloch AI, HP Possingham, LN Joseph, J Szabo, and TG Martin. 2013. Realising the full potential of citizen science monitoring programs. *Biological Conservation* 165, pp 128-138.
- UNESCO. 1974. *Programme on Man and the Biosphere (MAB): Task Force on: Criteria and Guidelines for the Choice and Establishment of Biosphere Reserves: Final Report: Paris, 20-24 May 1974*. UNESCO, Paris.
- Vohland K, A Land-Zandstra, L Ceccaroni, R Lemmens, J Perelló, M Ponti, R Samson, and K Wagenknecht. 2021. *The Science of Citizen Science*. Springer Nature, pp 13-14.
- Vynne C, RK Booth, and SK Wasser. 2014. Physiological implications of landscape use by free-ranging maned wolves (*Chrysocyon brachyurus*) in Brazil. *Journal of Mammalogy* 95(4), pp 696-706.
- Wearn O, and P Glover-Kapfer. 2017. Camera-trapping for conservation: a guide to best-practices. *WWF conservation technology series* 1(1), WWF-UK, Woking, UK..
- Whittington J, M Hebblewhite, RW Baron, AT Ford, and J Paczkowski. 2022. Towns and trails drive carnivore movement behaviour, resource selection, and connectivity. *Movement ecology* 10(1), pp 1-18.
- Willi M, RT Pitman, AW Cardoso, C Locke, A Swanson, A Boyer, M Veldthuis, and L Fortson. 2019. Identifying animal species in camera trap images using deep learning and citizen science. *Methods in Ecology and Evolution* 10(1), pp 80-91.
- Zettler E, H Takada, B Monteleone, N Mallos, M Eriksen, and L Amaral-Zettler. 2017. Incorporating citizen science to study plastics in the environment. *Analytical Methods* 9(9), pp 1392-1403.