



執行機關(計畫)識別碼：0009013700

# 行政院農業委員會林務局110年度林業發展計畫執行成果 報告

計畫名稱： 110年度臺灣地區草鴞族群監測計畫  
(第1年/全程1年)

(英文名稱) The 2021 Population Monitoring  
of Australasian Grass-Owl in  
Taiwan

計畫編號： 110林發-09.1-保-37

全程計畫期間： 自 110年9月1日 至 110年12月31日

本年計畫期間： 自 110年9月1日 至 110年12月31日

計畫聯絡人： 蔡若詩

執行機關： 國立嘉義大學

## 中文摘要

本計畫利用有條件式占據模型為設計理念，利用物種出現與否 (Presence/Absence) 的資料來估計物種之偵測率並修正草鴉於調查樣區中之占據率，並推估台灣之草鴉繁殖族群數量。調查方法參考蔡若詩等(2018)建立的草鴉長期監測系統並依本研究目的進行修正，於臺灣南部地區進行草鴉分布調查。並搭配被動式聲學監測架設自動錄音機，藉此了解兩種不同策略的效用，探討兩方法在長期監測系統應用上的潛力。

本計畫依專家意見方式，將分布預測模式重新依草鴉繁殖機率分為四級，取前三個等級進行分層隨機取樣，最後選用 84 個樣區。於 2021 年 10 月中至 12 月中於每樣區依有條件式取樣進行 2-5 次的回播調查。調查結果共在 32 個樣區發現草鴉，原始占據率為 0.381，偵測率為  $0.333 \pm 0.043$ ，修正占據率為  $0.687 \pm 0.119$ 。分析結果顯示不同繁殖機率等級會影響占據率，因此以三個等級的占據率分別進行草鴉繁殖族群估算，估計台灣南部地區共有 158 對草鴉，95%信賴區間為 88-224 對。

以自動排程錄音機收集夜晚的聲音，透過 Sound Identification and Labeling Intelligence for Creatures (SILIC) 系統以人工智慧(AI)方式辨識。從 52 個樣區中發現 20 個樣區有草鴉記錄，其中 6 個為回播調查未發現草鴉之樣區，但亦有 6 個樣區僅回播調查發現草鴉。顯示自動錄音機雖無法偵測到未鳴叫草鴉個體，但透過長時間錄音，仍可增強其調查效能。在 AI 持續增進草鴉聲音辨識精準度的基礎下，建議未來兩項調查方法搭配進行，可提升整體調查成效。

## 關鍵詞

長期監測、占據模型、偵測率、自動錄音機、人工智慧

## Abstract

The goal of this project was to monitor the breeding population of Australasian Grass-Owl (*Tyto longimembris*) in Taiwan using conditional occupancy modeling as a framework. Occurance data (Presence/Absence) were obtained to estimate the detection probability and occupancy rate. We modified the survey protocol from Tsai et al. (2018) and conducted the survey in Southern Taiwan. We also incorporated passive acoustic monitoring to explore the differences between two methods and their applications in long-term monitoring.

We first created the species distribution model using existing location data and reclassified the potential grids with 4 levels of breeding probability based on habitat quality with expert opinion. We selected 84 sites with stratified random selection and conducted two to five playback surveys from mid-October to mid-December in 2021. We detected Grass-Owl in 32 sites and the naïve occupancy rate was 0.381. The overall detection probability was  $0.333\pm 0.043$  and the estimated occupancy rate was  $0.687\pm 0.119$ . Occupancy rate was influenced by breeding probability level, thus the breeding population was calculated by each level and then tallied afterward. We estimated that there are 158 pairs (with 95% confidence interval of 88-224 pairs) of Grass-Owl in Southern Taiwan.

We also included passive acoustic monitoring as an alternative strategy and deployed ARUs at 52 sites accompanied the playback surveys. We utilized Sound Identification and Labeling Intelligence for Creatures (SILIC) as a tool to extract Grass-Owl calls from recordings and we detected Grass-Owl at 20 sites. There were 6 sites that Grass-Owl was only detected by ARUs but not playback survey while there were another 6 sites that Grass-Owl was only detected by playback survey but not

ARUs. The results indicated that ARUs may miss the Grass-Owl when the Grass-Owl did not make the call. However, the passive acoustic monitoring can also enhance the survey efficiency. We recommended that both playback survey and passive acoustic monitoring can be used in the long-term monitoring in the future.

### **Keywords**

Long-term Monitoring, Occupancy Modeling, Detection Probability, Autonomous Recording Units, Artificial intelligence

# 目錄

中文摘要.....	I
Abstract.....	II
目錄.....	IV
圖目錄.....	V
表目錄.....	VI
一、 前言.....	1
二、 研究目的（含文獻回顧）.....	2
三、 研究材料及方法.....	5
(一) 研究物種.....	5
(二) 研究方法.....	6
1. 更新臺灣草鴉之分布預測.....	6
2. 樣區選擇.....	11
3. 調查時間.....	12
4. 回播調查方法.....	13
5. 自動排程錄音機設置.....	14
6. 資料分析及族群估算.....	14
四、 結果與討論.....	16
(一) 回播調查.....	16
(二) 自動排程錄音機調查.....	21
(三) 資料分析及族群估算.....	29
五、 結論與建議.....	31
六、 參考文獻.....	32

## 圖目錄

圖 1、2021 草鴉於台灣南部四縣市分布預測模式 .....	8
圖 2、以專家意見重新評估之繁殖機率等級圖 .....	11
圖 3、樣區中 2 個樣站調查範圍示意圖 .....	13
圖 4、84 個樣區分布位置 .....	19
圖 5、2021 年發現草鴉之 32 個樣區位置 .....	20
圖 6、錄音機架設方式 .....	23
圖 7、2021 年錄音機架設之 54 個樣區位置 .....	24
圖 8、使用 SILIC 系統以 score 值 0.5-1 進行判讀的發現草鴉錄音機位置 .....	25

## 表目錄

表 1、107-110 年衛星追蹤點位資料及對應之 1x1 公里網格數.....	6
表 2、110 年台灣南部地區草鴉監測樣區數.....	16
表 3、110 年台灣南部地區草鴉調查結果.....	16
表 4、錄音機架設數量及有效錄音數.....	22
表 5、使用 SILIC 系統判讀發現草鴉筆數.....	24
表 6、使用 SILIC 系統判讀發現草鴉樣區數及樣區等級.....	25
表 7、回播調查與錄音機調查結果對照.....	26
表 8、110 年草鴉監測之原始占據率、修正占據率與偵測率.....	30
表 9、可參考模型組.....	30
表 10、以分三級模型進行族群估算.....	30

## 一、前言

有效的長期族群監測是受威脅鳥種在保育及經營管理上的基礎(Sanderson et al., 2006; Martin et al., 2007)。如何制定有效的監測計畫及分析方法，一直是保育策略上重要的課題(Reynolds et al., 2011; Rhodes and Jonzén, 2011)。近年來各國都投注資源來發展保育目標物種之長期監測模式。而物種存在不一定能被調查到，是野外調查中常見的現象(偵測率小於 1)。因此如何提高調查到物種的效率，並能準確估計偵測率，是物種監測上的重要考量。當沒有考慮到調查的偵測率而直接以調查結果推論其族群量及分布，將容易低估調查物種的數量及分布範圍(MacKenzie et al., 2002; MacKenzie et al., 2003)。對於稀有或隱密性較高的物種，更需要考量偵測率以獲得可靠的推論(MacKenzie et al., 2005)。從 2002 年開始 MacKenzie 等人發展出占據模型的研究架構，透過短時間內的重複調查獲得偵測率並修正占據率。此監測架構很快受到研究人員的重視，並發展出許多延伸的模型提供給不同物種、調查策略及生態系統使用(MacKenzie et al. 2017)。

草鴉(*Tyto longimenbris*)生性隱密且多於夜間活動，對此不易觀察且數量稀少的鳥種，要能掌握其族群現況深具挑戰。在 104-106 年度蔡若詩等(2017)以占據模型為架構在南部四縣市建立了 47 個調查樣區，共進行 3 年共 7 季的監測。之後於 107 年度利用同一架構在中部五縣市進行 45 個樣區共 2 季的監測(蔡若詩，2018)。初步成果顯示占據模型可應用於草鴉分布的監測，主要的優勢在於能透過短時間重複調查估計偵測率，進而修正占據率，並可了解占據率與大尺度棲地的關連性。此系列研究雖初步建立草鴉在臺灣地區的監測模式，但在由占據率至族群量的推估，以及調查努力量的分配上，仍有部份瓶頸待突破。本年度的計畫將針對各別問題提出對應策略，進行草鴉長期監測規畫的調整及改良，並以估計臺灣繁殖草鴉族群數量為目標。此外將應用近年發展出的自動錄音加上人工智能辨識，評估未來運用在長期監測的可行性。



## 二、研究目的（含文獻回顧）

草鴉在臺灣為分布於淺山生態系的稀有留鳥，為瀕臨絕種的第一級保育類物種(行政院農業委員會林務局，2019)。因為草鴉生活範圍與人類活動的重疊性高，其生存持續受到干擾、棲地破壞、鳥網及毒鼠藥等不同面向的威脅。在考慮草鴉的稀有性及行蹤隱密不易觀察的特性下，國立嘉義大學團隊於 104-106 年和 107 年分別於南部四縣市(蔡若詩等，2017)和中部五縣市(蔡若詩，2018)以占據模型為架構進行草鴉監測，此系列研究雖初步建立草鴉在臺灣地區的監測模式，但在由占據率至族群量的推估，以及調查努力量的分配上，仍有部份瓶頸待突破。問題包括 1)樣區取樣的原則及回推、2)是否符合占據模型中封閉假說的前提、3)改善偵測率之估計精確度，以及 4)如何在人力物力有限的狀況下更有效率分配調查努力量。

取樣調查是科學研究方法中重要的環節之一。有適當的取樣過程才能將取樣所得的結果再精確的回推到母族群上，以了解整體的狀況。在 104 年國立嘉義大學執行「臺灣草鴉族群長期監測系統建立」計畫之初，並無足夠的分布資料來進行草鴉的分布預測，因此利用 1)曾出現草鴉地點、2)可能覓食棲地及 3)其他可能利用棲地等三等級，以較主觀的方式進行取樣，並在南部四縣市建立了 47 個調查樣區(蔡若詩等，2015)。雖然經過 3 年 7 季節的調查，能初步了解草鴉的分布及動態變化，但由於取樣時並非採用系統性的隨機取樣，因此無法將所得結果回推至整個南部地區。利用這三年來在南部地區調查的資料，蔡若詩等(2017)得以進行草鴉的分布預測，並在隔年以此分布預測模型為架構在中部五縣市進行分層逢機取樣，執行 45 個樣區 2 季的調查。然而因中部地區草鴉占據率過低而無法進行後續推估(蔡若詩，2018)。而本年度(110 年度)的目標將著重在監測繁殖個體及估計繁殖族群數量，因此將重新進行草鴉分布的預測，並做為後續系統性取樣的依據。

占據模型的架構中，其中一項重要的前提假設是調查樣區是封閉的。換句話說，物種在一個季節的調查中，沒有移入及移出的狀況，並在此前提下進行偵測率的估算。此前提假設在驗證上並不容易。而透過蔡若詩及曾翌碩(2020)自 107 年開始衛星追蹤研究發現，母亞成鳥在繁殖季的前期會做長距離的移動來找尋配偶。表示在特定的季節中，部份草鴉的活動模式可能違反此前提假設，也讓季節間資料的解讀上增加不確定性。不少學者曾提出在違反此封閉假設時對結果的詮釋方式(Kendall et al. 2013; Otto et al. 2013)，但若能在調查時間的選擇上避開草鴉長距離移動的季節，還是能在假設樣區封閉的狀況下對結果做出合理的解釋。

如何取得準確的偵測率數據，並更有效率的分配調查努力量，一直是使用占據模型進行物種監測的重要課題。Specht et al. (2017)提出了有條件式重複取樣的方式來做為占據模型的設計。主要的策略是在研究初期進行一或兩次的調查後，將調查資源集中在已知物種有出現的樣區而放棄未調查到物種的樣區。一方面降低在無物種樣區調查的人力浪費，一方面也藉由更多次重複的調查，提高物種在偵測率估計的精確度，進而能有更精確的占據率校正。透過模擬的研究，此方法尤其適合使用在稀有且隱密的物種上(Specht et al., 2017)。台灣猛禽研究會在 2018-2020 年於臺灣地區進行熊鷹長期監測系統的建立，已實際應用此方式且證實能提高隱密物種偵測率估計的準確度(林思民，2020)。本年度的調查中，亦採用此方式進行占據模型設計架構的調整。

利用自動錄音機進行生物多樣性監測已在不少地區成為新興的調查方式。若運用得當，能在有限的資源及人力下取得大量的資料 (Aide et al., 2013; Matsubayashi et al., 2017; Sonfield and Bayne, 2017)。對不容易以目視觀察到或是對干擾敏感的物種，此方法尤其能有效的降低資料取得的困難度(Lambert and McDonald, 2014)。在台灣曾翌碩(2010)及孫元勳等(2013)已曾使用自動錄音探討此方法應用在草鴉調查的可行性。然而傳統的自動錄音資料仰賴人工來判釋內容

(Frommolt, 2017; Furnas and Callas 2015)，相當耗時及費力。尤其當空間尺度拉大或時間尺度拉長，大量資料的處理可能成為研究的門檻。因此被動式自動判釋技術近年來蓬勃發展(Frommolt and Tauchert, 2014, Zwart et al., 2014)。在台灣吳世鴻等(2021)及曾翌碩等(2022a, 2022b)已經發展出利用自動錄音及聲音自動辨識模型來協助判釋草鴉的活動模式。然而，此技術是否能應用在大尺度的長期監測上，仍有不少操作層面的問題待釐清。此外，運用自動錄音機所獲得的資料，與人力調查的資料間存在什麼樣的數學關係，也仍待探討。因此本年度在進行野外調查時，也將選擇部份樣區同步使用自動錄音機，並評估未來應用在草鴉長期監測的可行性。

本計畫整體目標如下：

- (一) 更新草鴉棲地分布預測模型
- (二) 利用占據模型的有條件式重複取樣調查臺灣中南部地區繁殖草鴉分布
- (三) 估計臺灣中南部地區之繁殖草鴉族群
- (四) 評估自動錄音及人工智能辨識在草鴉長期監測上的應用。
- (五) 修正草鴉繁殖族群監測系統，以供主管機關參考利用

### 三、研究材料及方法

#### (一) 研究物種

草鴉屬於鴉形目(Strigiforms)草鴉科(Tytonidae)草鴉屬(*Tyto*)。廣泛分布於南亞、東南亞至澳洲。臺灣之族群屬特有亞種(*T. l. pithecops*) (劉小如等, 2012; 潘致遠等, 2017)。草鴉在臺灣為於稀有留鳥, 為華盛頓公約(CITES) 附錄 II 之鳥種, 在野生動物保育法的《保育類野生動物名錄》中屬第一級瀕臨絕種之保育類野生動物(行政院農業委員會林務局, 2019)。對於全臺草鴉的族群量, 方偉宏(2005)及曾翌碩(2011)分別估計為低於 100 隻及介於 300-500 隻。但這些數據僅由特定地區的調查進行推估, 缺乏系統性調查。

草鴉在臺灣本島西南部低海拔丘陵及平原有較多的觀察記錄, 過去認為草鴉主要棲息於開闊但人煙稀少的非森林棲地, 包括惡地形、河灘地高莖草叢、竹林草生地交界區、甘蔗田、廢耕田地、果園邊緣、軍事基地及機場等(方偉宏, 2005; 曾翌碩和林文隆, 2010; 曾翌碩, 2011), 偏好丘陵地形中崎嶇難行, 高莖草本與灌木叢生且視野良好之處(劉小如等, 2012)。但透過衛星發報器追蹤發現, 郊區和工業區零星的草生地亦是草鴉活動的熱區之一, 加上草鴉的活動範圍大, 包括魚塭和農田都是草鴉活動覓食的地方(蔡若詩和曾翌碩, 2020)。

草鴉繁殖季從 9 月至隔年 4 月, 透過衛星追蹤發現, 草鴉母亞成鳥於繁殖前期(約 8 月中後)即開始長距離移動找尋配偶, 配對後公母的活動範圍都明顯變小(蔡若詩和曾翌碩, 2020)。9 月至 10 月配對後即產蛋(蔡若詩和曾翌碩, 2020), 每巢產蛋數 3-4 枚, 平均孵化期約 32-42 天, 雛鳥約 42 天離巢, 並持續於巢區附近活動 1 個月左右(曾翌碩和林文隆, 2010)。

## (二) 研究方法

### 1. 更新臺灣草鴉之分布預測

透過國立嘉義大學及台南市野生動物保育學會在 107-109 年度執行的「草鴉衛星追蹤及棲地利用」計畫(蔡若詩及曾翌碩, 2020), 草鴉出現資料為 107 年至 110 年 3 月之衛星追蹤點位, 其中追蹤天數少於 30 天的個體, 其資料將不採用。在篩選後共納入 20 隻草鴉的資料, 將大量的衛星追蹤資料進行判讀及分類, 包括所有日棲點、所有點位(日棲點及夜間活動點)、潛在繁殖地(繁殖巢位及公成鳥的重要棲位)和重要棲位(草鴉重複利用三次以上的點位)四種(表 1)。本計畫的目標著重在監測繁殖個體及估計繁殖族群數量, 但如果要得到準確的草鴉繁殖棲地預測, 理想狀況下需要大量的繁殖巢位點位資訊及相對應的棲地變數。然而目前繁殖巢位的資訊仍不多(25 筆), 因此尚無法進行準確預測。

表 1、107-110 年衛星追蹤點位資料及對應之 1x1 公里網格數

點位類別	資料筆數	1km 網格數
所有日棲點	2160	164
所有點位	4817	275
潛在繁殖地	25	13
重要棲位	1777	66

重要棲位資料除了包含潛在繁殖地該優點外, 亦可排除夜間覓食的環境和長距離移動時短暫休憩的非合適繁殖地, 加上資料量充足, 因此本計畫首先利用重要棲位做為重新製作分布預測模型的輸入資料, 並假設草鴉於日間棲息所利用的草生地可能為繁殖草鴉所使用。

本研究以最大熵演算法為基礎的 Maxent 軟體建立物種分布模

型 (Phillips et al., 2006; 2017)，並預測草鴉的潛在合適棲地(圖 1)。而環境因子為全台 1x1 公里網格環境因子資料(許皓捷，2016)。然而，進一步評估該分布預測模型的草鴉出現機率值高低是否與現狀符合時，發現此出現機率值並不適合直接轉換為繁殖草鴉個體的出現機率。

因此改以此分布預測模型所篩選出的草鴉合適棲地為藍本，利用專家意見方式，重新針對潛在的網格進行「繁殖機率等級」的評估，此重新評估的網格機率等級資料，將做為後續調查抽樣及族群數量推算的重要參考依據。

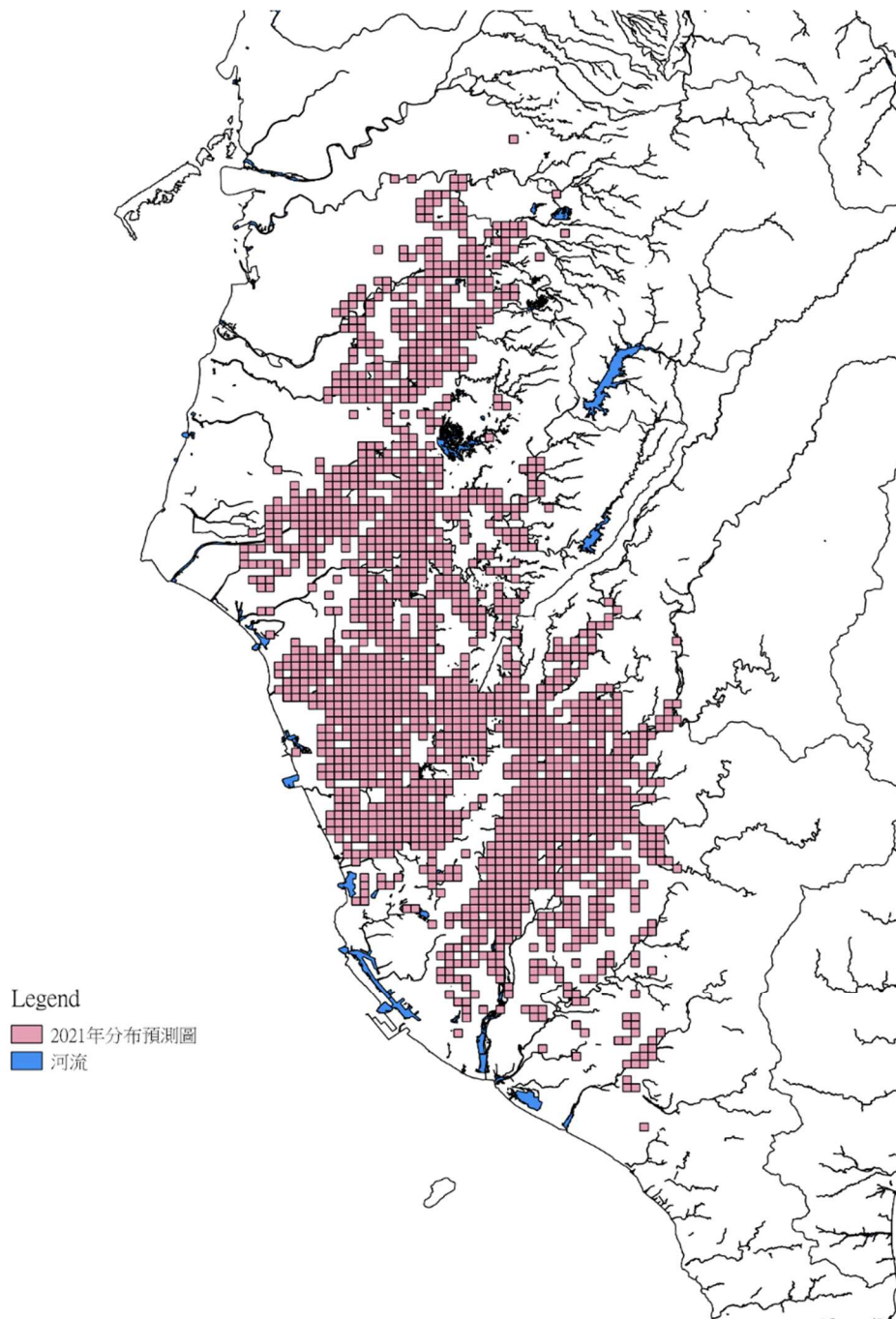


圖 1、2021 草鴉於台灣南部四縣市分布預測模式

網格的繁殖機率等級判斷流程可分為三大步驟：

A. 建立判斷準則

- i. 判斷該網格內是否有合適草鴉繁殖的棲地：  
最佳棲地類型為各種型式干擾後的初級演替草生地，

植物種類可為白茅、巴拉草、大黍或大花咸豐草等，高度介於 80-120 公分之間。也可能為惡地形、閒置多年的荒地或休耕地。

ii. 考量合適棲地區塊大小及配置：

依據該網格內合適棲地的區塊大小總面積及在空間上分布進行判斷。例如加總合適棲地面積是否足夠草鴉利用，若非連續區塊則需考量區塊是否遭切割或過於分散。

iii. 考量臨近網格的繁殖棲地機率：

將臨近 8-12 網格的棲地狀況納入考量，若臨近網格亦為高繁殖機率等級的網格，可斟酌調高該網格之估計繁殖機率等級。反之，若該網格附近皆為大面積非合適棲地，則可斟酌調低該網格之估計繁殖機率等級。

B. 依據判斷準則獨立對所有網格做分級判斷

在對上述網格繁殖機率分級判斷原則有共識之後，以兩位專家依據這些原則獨立對所有網格做分級判斷。使用的 Google Map/Google Earth 之衛星影像套疊草鴉的分布預測模型。草鴉繁殖機率分級及描述如下：

i. 第一級：草鴉有極高機會在此網格內繁殖

a 有大面積(>50%)且連續的合適棲地

b 臨近網格也多為高繁殖機率網格



- ii. 第二級：草鴉有機會在此網格內繁殖繁殖
  - a 有相當面積的(25-50%)的合適棲地，且大部份為連續區塊
  - b 臨近有部份高繁殖機率網格
  
- iii. 第三級：草鴉在此網格內繁殖繁殖的可能不高
  - a 有少量面積(5-25%)的合適棲地，且大多不連續，如墓園
  - b 臨近網格也多為低繁殖機率網格
  
- iv. 第四級：草鴉幾乎不可能在此網格內繁殖
  - a 合適棲地<5% 且破碎化
  - b 臨近沒有太多合適的覓食棲地

C. 專家意見結果彙整

- i. 當兩位專家之分級評估相同，保留判斷
  
- ii. 當兩位專家之分級評估不同時，採取保守原則(採評估較低之機率分級)

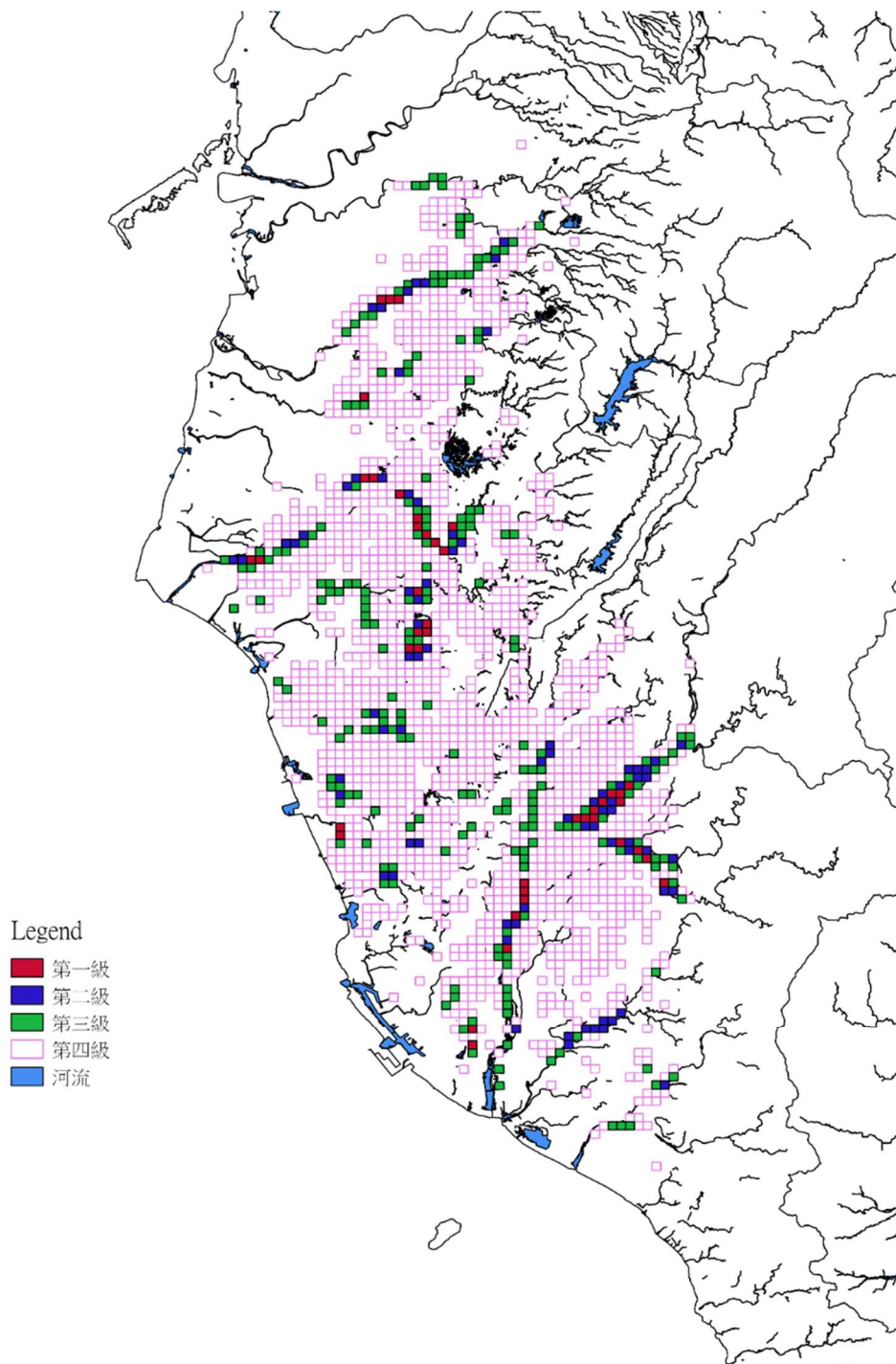


圖 2、以專家意見重新評估之繁殖機率等級圖

## 2. 樣區選擇

本計畫調查範圍為臺灣南部四縣市(嘉義縣、台南市、高雄市、屏東縣)，以分層逢機取樣方式依出現機率最高之三級由高至低分別選擇 30、30 及 30 個樣區，共選取 90 個樣區。為考慮樣區間的獨立

性，樣區間應距離 1 公里以上。最後在每個樣區選取 2 個定點樣站(樣區中的空間重複)，設定樣站外推 250 公尺圓為調查範圍，因此每個樣站至少間隔 500 公尺(如圖 3)，降低重複記錄的機率。

### 3. 調查時間

由於繁殖前母亞成鳥為尋找配對會時常進行長距離移動，因此在繁殖期愈晚進行調查，愈能減少因為這些行為而違反占據模型中封閉假說的機會。然而本次調查以具有繁殖能力的個體為目標，若調查時間往繁殖季後期時間推移，則愈會調查到較早繁殖個體之離巢幼鳥。綜合考量此兩因素，調查時間選擇在 10 月 21 日至 12 月 20 日。

調查依占據模型的有條件式重複取樣來進行(Specht et al, 2017)，共分為兩階段。第一階段於 10 月 21 日至 11 月 20 日進行，於每個樣區中進行兩次調查。而在第一階段調查中有記錄到草鴉的樣區，將於 11 月 21 日至 12 月 20 日間進行第二階段的三次調查。第一階段的兩次調查日期區間分別為 10 月 23 至 11 月 7 日以及 11 月 8 至 11 月 22 日。第二階段的三次調查區間分別為 11 月 23 至 11 月 29 日、11 月 30 日至 12 月 6 日、12 月 7 日至 12 月 13 日。若因天氣或其他不可抗力因素，調查可以延後進行但以不超過 7 日為原則。此外，同一個樣區兩次的調查需間隔 5 天以上。

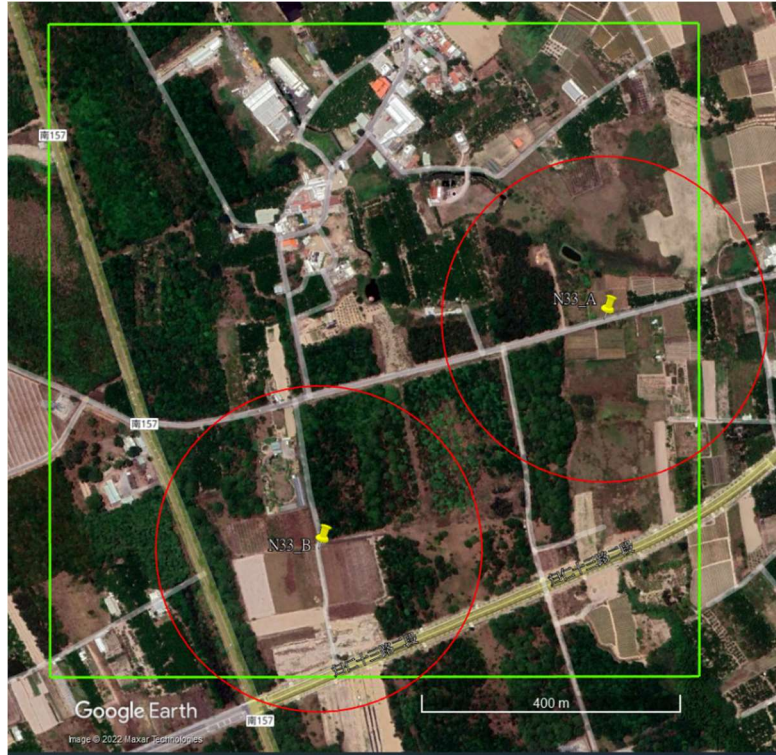


圖 3、樣區中 2 個樣站調查範圍示意圖

#### 4. 回播調查方法

回播調查是針對習性隱密、夜行性、棲地視野不佳或數量稀少等物種分布所經常採用之方法。孫元勳等(2013)已針對不同回播方式進行評估，探討人力回播、自動錄音及自動回播錄音等不同方法之成本效益與優劣。建議以人力回播方式進行調查較能提高偵測率。

調查於日落後開始並於入夜後 6 小時內結束，在樣區中每樣站以人力觀察搭配回播方式，尋找並記錄聽到及看到的草鴉。各樣站之回播方式依據孫元勳等(2013)所設定的程序，以播放 1 分鐘再聆聽 4 分鐘為一輪，連續循環 4 輪次，共計 20 分鐘。在此 20 分鐘內，調查者同時以視覺及聽覺方式觀察記錄周邊的草鴉活動跡象。當發現草鴉時，即結束該樣站調查並前往下一個樣站，直到二個樣站皆調查結束，該樣區才算完成調查。為平衡不同時段造成之差異，因

此將日落後 6 個小時的調查時間區分為 A、B、C、D、E、F、G、H 和 I，每 40 分鐘為一個區段，每個樣區於第一階段的兩次調查應避免在相同時段進行，第二階段的三次調查間也須避免在相同時段進行。

#### 5. 自動排程錄音機設置

本計畫採用的錄音機為 Wildlife Acoustics 的 Song Meter Micro 共 20 台，可透過手機 APP「Song Meter」設定錄音排程，取樣率 (Sample rate；指的是每秒鐘聲音取樣的次數，單位是千赫)設為 16kHz，增益 (Gain)設為 24db，每個音檔皆錄音 3 分鐘。由於錄音機僅單孔收音，具有方向性，因此架設時儀器須盡量離開地面，並將收音孔對準欲錄音的方向，才能達到較佳的收音成效。根據蔡若詩和曾翌碩(2020)量測的草鴉巢位環境，草高為  $116\pm 6$  公分，因此在錄音機架設上，高度至少為 1 公尺。

自 90 個樣區中選擇至少 50 個樣區進行自動錄音的工作。錄音時至少選擇樣區的 A 或 B 其中一點架設 1 台錄音機，放置於樣區中的調查點進行同步的錄音。每一樣站的錄音需搭配野外調查的時間，在野外調查前一天下午放置在樣站。排程設定為調查前一天日落前一小時開始錄音，直到調查完隔天日出後一小時才結束錄音，共進行兩晚的錄音。結束後錄音機再挪動至下一個樣區進行錄音。利用此模式得到與野外調查同一晚上的資料，提供人力及自動錄音資料的比較。

#### 6. 資料分析及族群估算

將野外調查所得草鴉出現與否資料(1/0)，使用 Program

PRESENCE 進行分析(Hines, 2006)。Program PRESENCE 利用同一樣區物種出現的頻度及在時間與空間上的分布情形，以估算物種的偵測率，並利用偵測率的估算來修正實際的占據率。

在族群估計上，首先檢視不同分級是否為影響占據率的重要因子，做為後續推估時的計算依據。若各分級對占據率沒有顯著影響，將以中南部地區總網格數乘以整體占據率，推估有草鴉之樣區數。若各分級對占據率有顯著影響，則以各分級之樣區總數分別乘以各分級占據率，得到有草鴉之估計樣區數。封閉假說是占據模型運算中一項重要前提，表示在調查季節內草鴉並不會從樣區中移出或從其他樣區移入，因此若將有草鴉的估計樣區數，乘上全區或各分區的單次最大量，則可推估草鴉的族群量。

若各分級之占據率沒有顯著差異，草鴉的族群量可由下列公式推估：

$$\Sigma(\text{樣區數} \times \text{占據率} \times \text{各旅次單次最大量平均})$$

若各分級之占據率有顯著差異，草鴉的族群量可由下列公式推估：

$$\Sigma(\text{分級樣區數} \times \text{分級占據率} \times \text{分級各旅次單次最大量平均})$$

在自動錄音的分析上，利用 Wu et al. (2022) 發展出的 Sound Identification and Labeling Intelligence for Creatures (SILIC)系統協助快速判斷大量的錄音資料。利用已知草鴉叫聲錄音檔的音頻特性，訓練模型判斷符合草鴉叫聲音音頻特性，自動判斷草鴉聲音出現的時空分布。與人力回播調查的資料進行比對。

#### 四、結果與討論

##### (一) 回播調查

調查初期規劃三個等級各 30 個樣區，經過樣區現勘調整各樣區的繁殖機率，三個等級的樣區數調整為 22、25 和 37，共計 84 個樣區(表 2)，84 個樣區分布如圖 4。經過 2 個階段的調查，共有 32 個樣區發現草鴉(表 5)。其中繁殖機率等級三的樣區，五輪的調查幾乎都只有發現一次，且主要集中在第一階段，推測繁殖棲地可能不在該樣區，而在鄰近的網格中。回播調查發現草鴉樣區分布位置如圖 5。

表 2、110 年台灣南部地區草鴉監測樣區數

繁殖機率等級	原始網格數	樣區數
第一級	43	22
第二級	78	25
第三級	208	37
合計	329	84

表 3、110 年台灣南部地區草鴉調查結果

樣區 編號	繁殖機率 等級	第 1 輪	第 2 輪	第 3 輪	第 4 輪	第 5 輪	發現 次數
C02	3	0	0	.	.	.	0
C03	2	0	0	.	.	.	0
C04	2	0	0	.	.	.	0
C05	3	0	0	.	.	.	0
C06	3	0	0	.	.	.	0
C07	2	0	0	.	.	.	0
C08	1	1	0	0	0	0	1
C09	3	0	0	.	.	.	0
C10	1	1	0	0	0	0	1
C11	3	0	0	.	.	.	0
K01	2	1	0	0	0	1	2
K02	1	0	0	.	.	.	0
K03	3	0	0	.	.	.	0

樣區 編號	繁殖機率 等級	第 1 輪	第 2 輪	第 3 輪	第 4 輪	第 5 輪	發現 次數
K04	2	1	0	0	1	0	2
K05	3	0	0	.	.	.	0
K06	2	1	0	1	1	1	4
K07	1	1	0	0	0	0	1
K08	1	0	1	1	0	0	2
K09	3	0	0	.	.	.	0
K10	3	0	0	.	.	.	0
K11	3	0	0	.	.	.	0
K12	2	0	0	.	.	.	0
K13	3	1	0	0	0	0	1
K14	3	0	0	.	.	.	0
K15	3	0	1	1	0	0	2
K16	3	0	0	.	.	.	0
K17	3	0	0	.	.	.	0
K18	3	0	0	.	.	.	0
N01	2	0	0	.	.	.	0
N02	3	0	0	.	.	.	0
N04	2	0	0	.	.	.	0
N05	3	0	0	.	.	.	0
N06	1	1	1	0	0	0	2
N07	3	0	0	.	.	.	0
N08	3	0	0	.	.	.	0
N09	3	0	0	.	.	.	0
N10	1	0	0	.	.	.	0
N11	2	0	0	.	.	.	0
N12	1	0	0	.	.	.	0
N13	1	0	0	.	.	.	0
N14	1	0	1	0	0	0	1
N15	2	0	0	.	.	.	0
N16	1	0	1	0	1	0	2
N17	1	1	0	0	1	0	2
N18	2	0	1	1	0	0	2
N20	1	1	0	1	0	1	3
N21	3	0	0	.	.	.	0
N23	2	1	1	0	1	0	3
N25	3	0	0	.	.	.	0



樣區 編號	繁殖機率 等級	第 1 輪	第 2 輪	第 3 輪	第 4 輪	第 5 輪	發現 次數
N26	3	0	0	.	.	.	0
N27	1	1	0	1	1	0	3
N28	2	0	0	.	.	.	0
N29	1	1	0	0	1	1	3
N31	3	0	1	0	0	0	1
N32	3	0	1	0	0	0	1
N33	3	0	0	.	.	.	0
N34	2	0	0	.	.	.	0
N35	3	1	0	0	0	0	1
N36	3	1	0	0	0	0	1
N37	2	1	0	1	1	.	3
N38	3	0	0	.	.	.	0
N39	3	0	1	0	0	0	1
N40	3	0	0	.	.	.	0
P01	3	0	0	.	.	.	0
P02	2	0	0	.	.	.	0
P03	1	0	1	1	0	0	2
P04	1	0	1	0	1	0	2
P05	1	1	1	0	1	1	4
P06	1	1	0	0	1	1	3
P07	2	1	1	1	1	1	5
P08	1	1	1	1	1	1	5
P09	2	0	0	.	.	.	0
P10	3	0	0	.	.	.	0
P11	2	0	0	.	.	.	0
P12	2	0	0	.	.	.	0
P13	1	1	0	0	0	1	2
P14	2	1	0	0	0	1	2
P15	1	0	0	.	.	.	0
P16	3	0	0	.	.	.	0
P17	2	0	0	.	.	.	0
P18	2	0	0	.	.	.	0
P19	2	0	0	.	.	.	0
P20	3	0	0	.	.	.	0
P21	3	0	0	.	.	.	0
發現草鴉樣區數		22	15	10	13	10	32

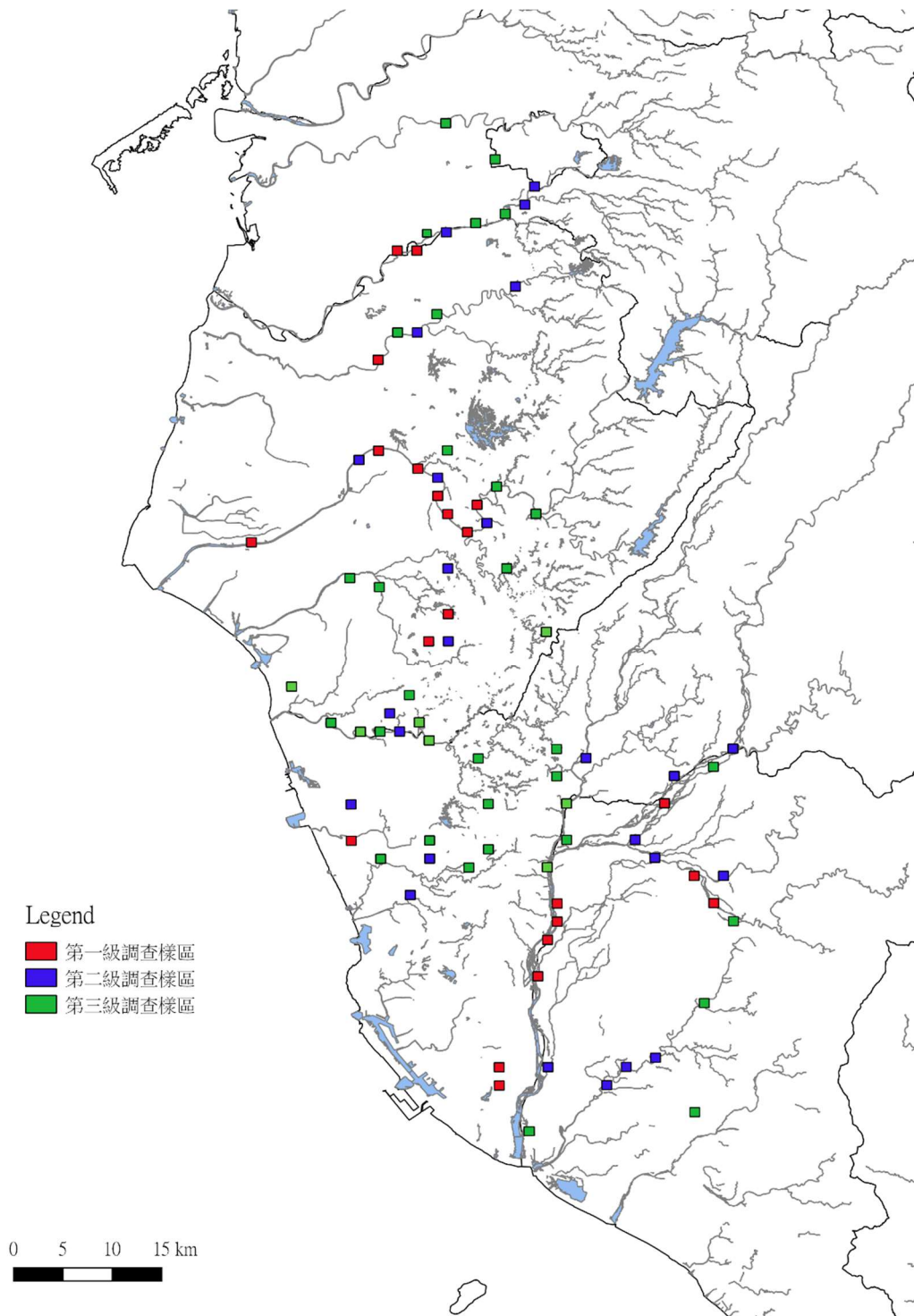


圖 4、84 個樣區分布位置

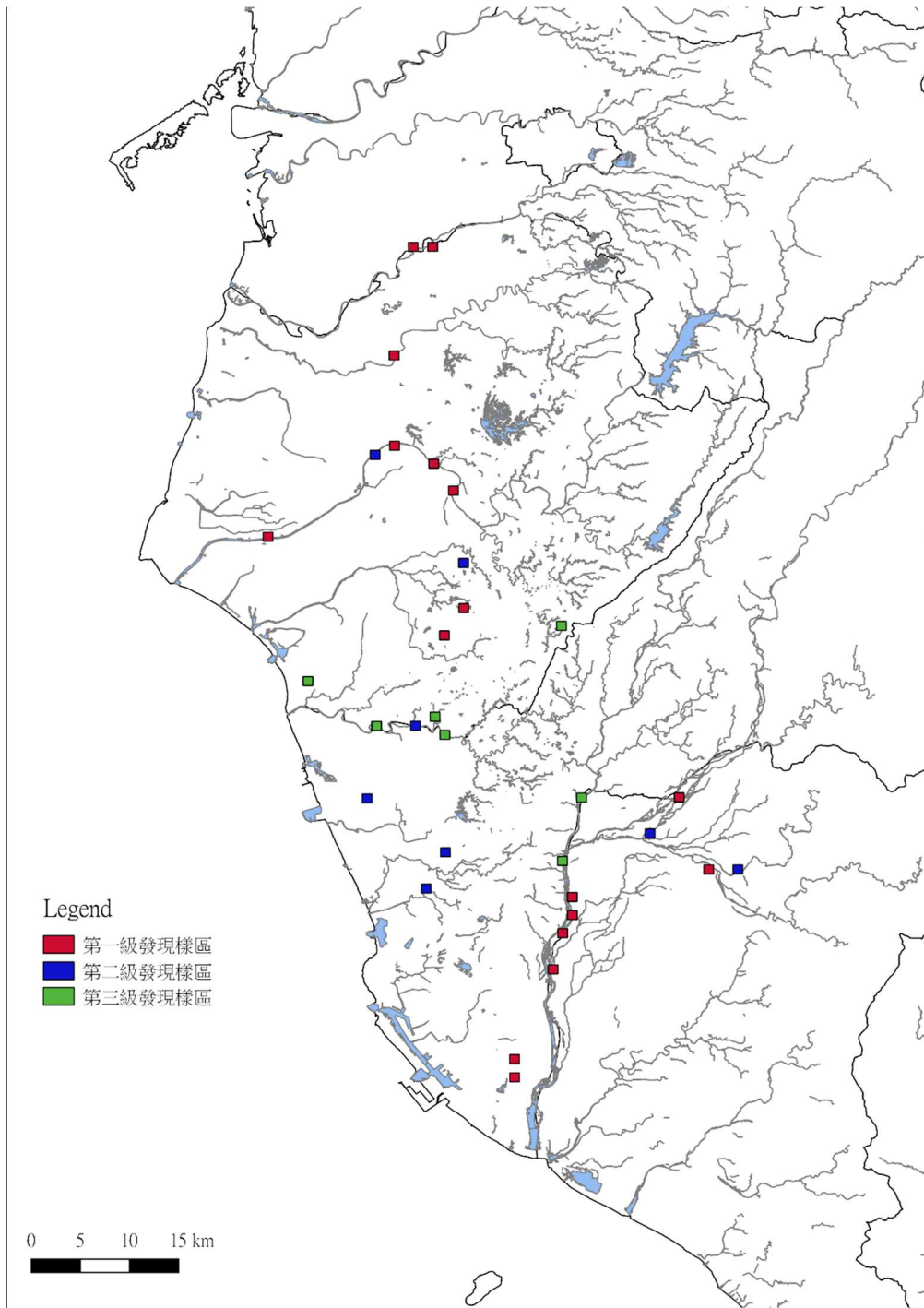


圖 5、2021 年發現草鶉之 32 個樣區位置

## (二) 自動排程錄音機調查

由於錄音機的數量僅 20 台，且須配合回播調查的情況下，努力量有限，加上受限於有些調查環境無法架設錄音機，因此僅 54 個樣區至少架設 1 次/台錄音機(表 4)。錄音機架設方式如圖 6，架設位置如圖 7。然而在實際操作錄音機架設的過程中，共發生三項錯誤造成資料的缺失，最後僅有 52 個樣區收到有效資料：

1. 架設方式錯誤：由於初期對錄音機的特性不夠了解，架設時直接將錄音機放置於地面上(C02-C10 的第一次架設)，造成收音效果不佳，後期錄音機架設修正為至少離地面一公尺的高度，改善收音狀況。
2. 錄音系統故障的問題：透過手機 APP 設定錄音排程導致音檔時間錯亂而無法使用，或錄音機因不明原因沒有運作。
3. 人力不足：調查整體規劃上過於倉促，以及為配合回播調查的狀況，無法完成每個樣區錄音 2 次的目標，並且每個樣區的錄音時間長度不一(1-5 天)。

透過 SILIC 系統進行草鴉聲音辨識，以 score 設定為 0.5-1 之間的狀態下進行判讀，共辨識出 5456 筆草鴉聲音(表 5)。score 值在 0.7 以上佔 58.3%，但仍有 41.7%在 0.7 以下，且在檢視音檔過程，仍發現有部分草鴉聲音未辨識出。以樣區數來看，score 為 0.5-1 之間時有 20 個樣區記錄到草鴉聲音(表 6)，但若改以 0.7-1 進行判讀，發現草鴉樣區僅剩 16 個。因此為求調查的完整，建議 score 值設定為 0.5-1 進行判讀。錄音資料以 score 值 0.5-1 判讀的發現草鴉位置如圖 8。

表 4、錄音機架設數量及有效錄音數

樣區編號	繁殖機率等級	錄音樣站	錄音次數	有效錄音天數(天/台)
C02	3	2	2	8
C03	2	2	2	8
C04	2	2	2	6
C05	3	2	2	8
C06	3	2	2	8
C07	2	2	2	8
C08	1	2	2	8
C09	3	2	2	8
C10	1	2	2	4*
K03	3	1	1	2
K04	2	1	1	2
K06	2	2	1	4
N01	2	2	2	6*
N02	3	2	2	8
N04	2	2	1	4
N05	3	1	1	2
N06	1	2	1	4
N07	3	1	2	4
N09	3	1	1	5
N10	1	2	2	8
N11	2	2	2	8
N12	1	2	2	14
N13	1	2	2	10
N14	1	2	2	10
N15	2	2	2	10
N16	1	2	2	16
N17	1	2	1	4
N18	2	1	1	2
N20	1	2	1	4
N23	2	2	2	6*
N27	1	2	2	4*
N28	2	2	1	0*
N29	1	1	1	0*
N33	3	1	2	4
N34	2	2	2	8
N35	3	1	1	2

樣區編號	繁殖機率等級	錄音樣站	錄音次數	有效錄音天數(天/台)
P04	1	2	1	4
P05	1	2	1	4
P06	1	2	1	4
P07	2	1	2	1*
P08	1	2	3	6*
P09	2	1	2	2*
P10	3	2	3	6*
P11	2	2	2	2*
P12	2	2	2	2*
P13	1	2	2	2*
P14	2	2	2	2*
P15	1	2	2	2*
P16	3	2	2	2*
P17	2	2	2	2
P18	2	2	2	2
P19	2	2	2	2
P20	3	2	2	2
P21	3	2	2	1*

\*表示錄音系統曾發生故障，導致有效錄音天數減少



圖 6、錄音機架設方式



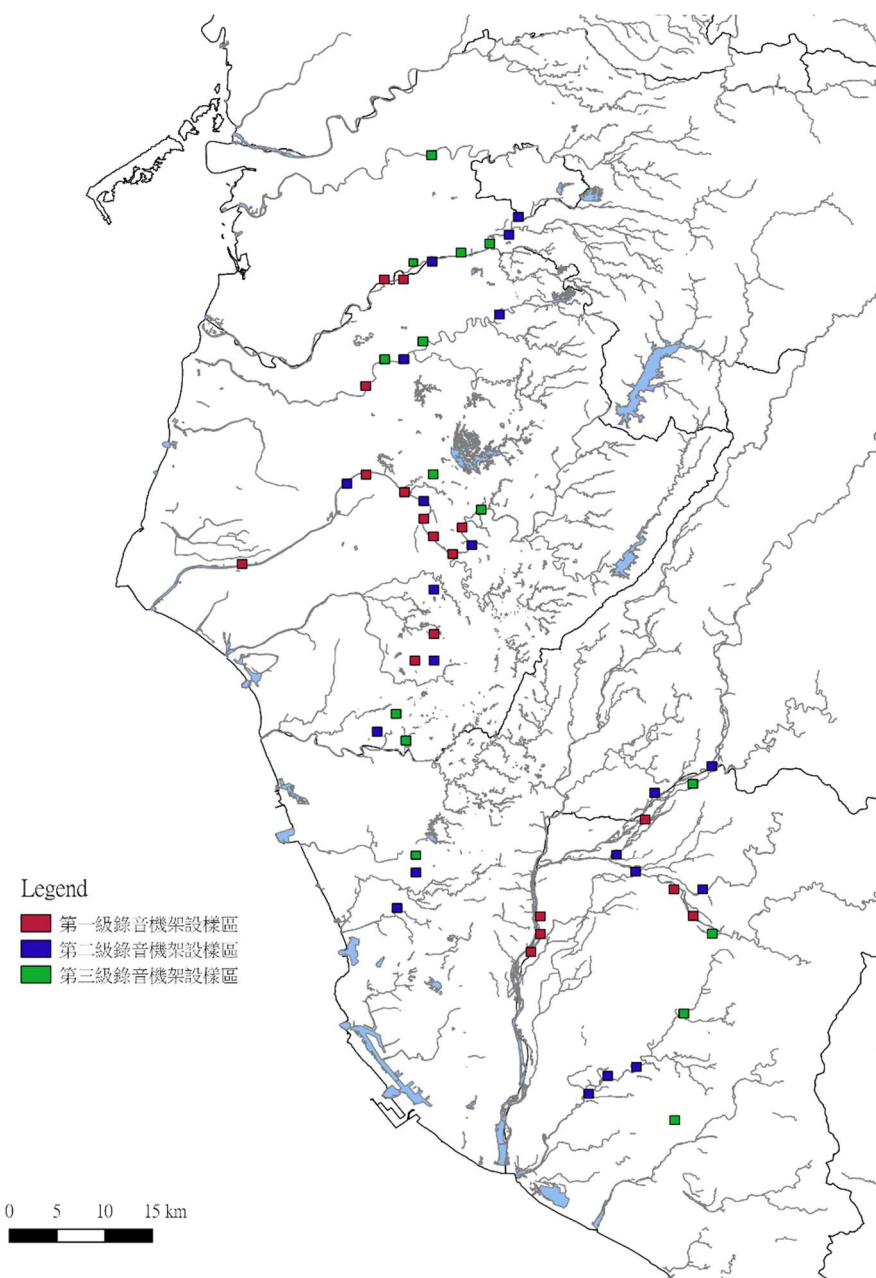


圖 7、2021 年錄音機架設之 54 個樣區位置

表 5、使用 SILIC 系統判讀發現草鴉筆數

score	發現草鴉筆數	百分比
0.5-0.599	858	15.7
0.6-0.699	1417	26.0
0.7-0.799	2232	40.9
0.8-0.899	949	17.4
0.9 以上	0	0
合計	5456	100

表 6、使用 SILIC 系統判讀發現草鴉樣區數及樣區等級

錄音機	有效資料網格數	Score 0.5-1	Score 0.7-1
第一級	17	10	8
第二級	20	7	5
第三級	15	3	3
合計	52	20	16

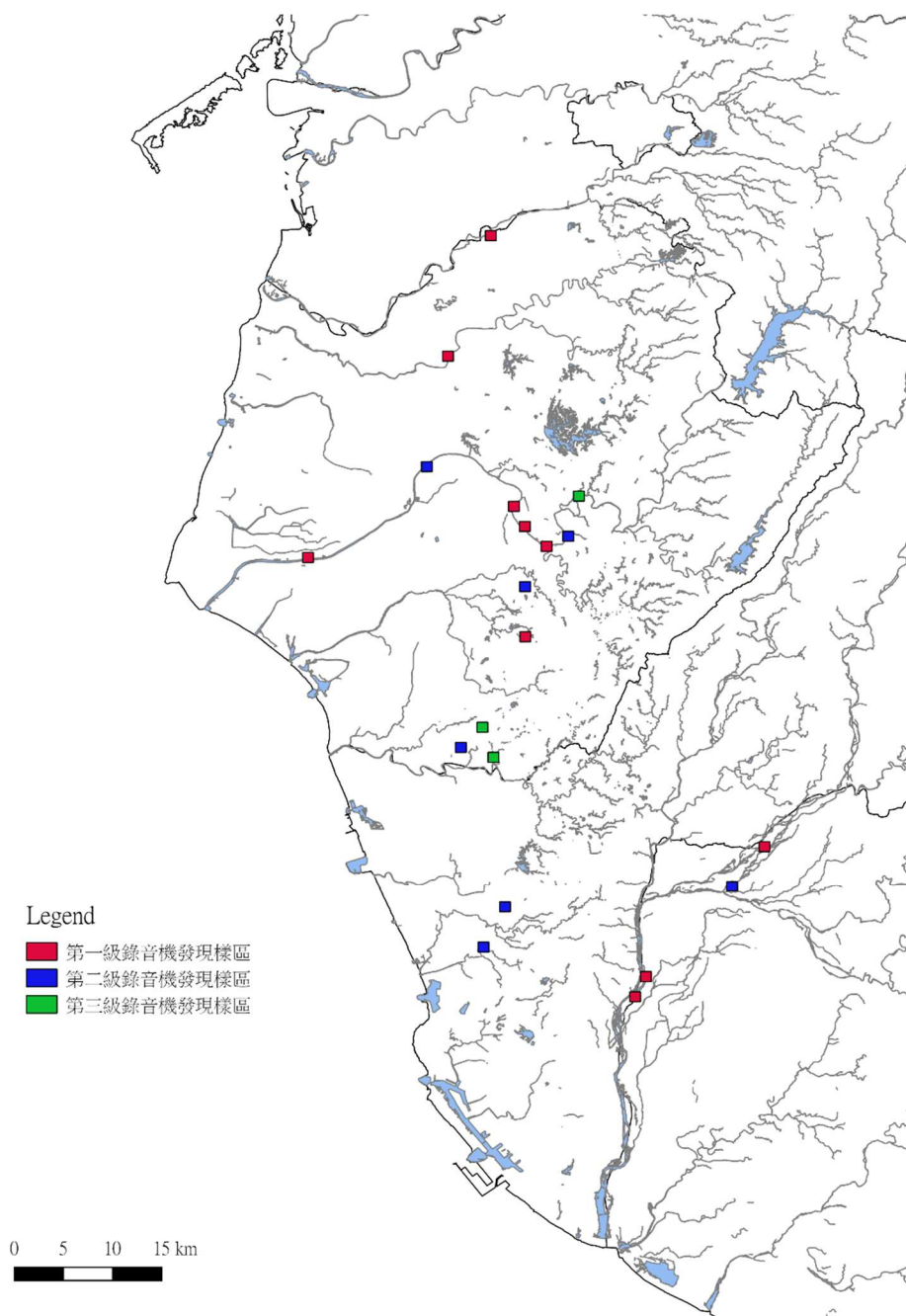


圖 8、使用 SILIC 系統以 score 值 0.5-1 進行判讀的發現草鴉錄音機位置



由於錄音機每台架設的時間不等，每個樣區的努力量不等，在與回播調查努力量不對等的情況下，尚無法同樣利用占據模型進行分析比較。透過表 7 可發現，20 個透過 AI 辨識出草鴉的樣區中，僅一個樣區是回播後才紀錄，其餘皆是回播前即發現，顯示這些樣區的草鴉並非受到回播吸引才到該樣區活動。比較 52 個錄音機的樣區資料發現，錄音機樣區有 6 個草鴉紀錄為回播調查未發現者，而回播調查亦有 6 筆草鴉紀錄未被錄音機紀錄，根據調查現況為草鴉出現但未鳴叫的紀錄。彙整兩者資料，本年度 84 個調查樣區中，共有 38 個樣區發現草鴉。

表 7、回播調查與錄音機調查結果對照

樣區編號	繁殖機率等級	回播前紀錄	回播後紀錄	AI	回播	回播+AI
C02	3			0	0	0
C03	2			0	0	0
C04	2			0	0	0
C05	3			0	0	0
C06	3			0	0	0
C07	2			0	0	0
C08	1	1	1	1	1	2
C09	3			0	0	0
C10	1			0	1	1
C11	3			-	0	0
K01	2			-	1	1
K02	1			-	0	0
K03	3			0	0	0
K04	2	1		1	1	2
K05	3			-	0	0
K06	2		1	1	1	2
K07	1			-	1	1
K08	1			-	1	1
K09	3			-	0	0
K10	3			-	0	0
K11	3			-	0	0
K12	2			-	0	0
K13	3			-	1	1

樣區編號	繁殖機率等級	回播前紀錄	回播後記錄	AI	回播	回播+AI
K14	3			-	0	0
K15	3			-	1	1
K16	3			-	0	0
K17	3			-	0	0
K18	3			-	0	0
N01	2			0	0	0
N02	3			0	0	0
N04	2			0	0	0
N05	3			0	0	0
N06	1			1	1	2
N07	3			0	0	0
N08	3			-	0	0
N09	3	1		1	0	1
N10	1			0	0	0
N11	2	1		1	0	1
N12	1		1	1	0	1
N13	1	1	1	1	0	1
N14	1	1	1	1	1	2
N15	2			0	0	0
N16	1			0	1	1
N17	1			0	1	1
N18	2	1	1	1	1	2
N20	1	1		1	1	2
N21	3			-	0	0
N23	2	1	1	1	1	2
N25	3			-	0	0
N26	3			-	0	0
N27	1	1	1	1	1	2
N28	2			-	0	0
N29	1			-	1	1
N31	3			-	1	1
N32	3			-	1	1
N33	3	1	1	1	0	1
N34	2	1	1	1	0	1
N35	3	1	1	1	1	2
N36	3			-	1	1
N37	2			-	1	1

樣區編號	繁殖機率等級	回播前紀錄	回播後記錄	AI	回播	回播+AI
N38	3			-	0	0
N39	3			-	1	1
N40	3			-	0	0
P01	3			-	0	0
P02	2			-	0	0
P03	1			-	1	1
P04	1	1	1	1	1	2
P05	1	1	1	1	1	2
P06	1			0	1	1
P07	2	1	1	1	1	2
P08	1	1	1	1	1	2
P09	2			0	0	0
P10	3			0	0	0
P11	2			0	0	0
P12	2			0	0	0
P13	1			0	1	1
P14	2			0	1	1
P15	1			0	0	0
P16	3			0	0	0
P17	2			0	0	0
P18	2			0	0	0
P19	2			0	0	0
P20	3			0	0	0
P21	3			0	0	0
發現草鴉樣區數				20	32	38

註:灰色底表示該樣區有架設錄音機

### (三) 資料分析及族群估算

本年度繁殖季 84 個樣區之繁殖草鴉原始占據率(Naive Occupancy) 為 0.381(表 8)，經 Program PRESENCE 計算，偵測率為  $0.333 \pm 0.043$ ，而經過偵測率修正後占據率為 0.687。而透過分級所建立的模型，原始占據率不變，但偵測率  $0.3625 \pm 0.041$ ，修正後占據率以第一級最高 ( $0.9398 \pm 0.06$ )，第三級最低( $0.2847 \pm 0.11$ )。在建立的 4 個模型組中，經由  $\Delta AIC$  篩選繁殖季最佳模型為  $\text{psi}(\cdot, L123), p(\cdot)$ ，表示不同等級(L123)對占據率有顯著影響。而五輪不同階段的調查(T)對偵測率沒有明顯影響(表 9)。因此在族群估算上，將不同等級的占據率個別進行族群數量估算。另外，本計畫假定樣區設置皆為繁殖樣區，因此發現 1 隻草鴉代表附近應有一對草鴉，發現 3 隻草鴉時則代表該樣區有 2 對草鴉，以此類推。計算公式如下：

$$\Sigma(\text{分級樣區數} \times \text{分級占據率} \times \text{分級各旅次單次最大量平均})$$

將三個等級的修正占據率分別乘以各等級的原始網格數，推算出台灣南部地區草鴉占據網格的數量，然後依不同等級，將每次調查時每個樣區記錄到草鴉對數最大值加以平均，可得到三個等級中平均單一網格的草鴉對數。最後將草鴉占據的網格數乘以單一網格的平均草鴉對數，即可算出三個等級的草鴉對數。總計三個等級樣區平均共有 158 對草鴉，最小值為 88 對，最大值為 224 對(表 10)。

表 8、110 年草鴉監測之原始占據率、修正占據率與偵測率

	不分級	分三級
原始占據率		0.381
偵測率	0.333±0.043	0.3625±0.041
修正占據率	0.687±0.119	
第一級		0.9398±0.06
第二級		0.7137±0.13
第三級		0.2847±0.11

表 9、可參考模型組

Model	AIC	deltaAIC	AIC wgt	Model Likelihood	no.Par.	-2*LogLike
psi(L123),p(.)	291.2979	0	0.9981	1	3	285.3
psi(.),p(.)	304.0008	12.7	0.0017	0.0017	2	300
psi(.),p(T)	308.9374	17.64	0.0001	0.0001	6	296.94
psi(L123),p(T)	312.8678	21.57	0	0	7	298.87

表 10、以分三級模型進行族群估算

等級	原始網格數	樣區數	發現樣區數	對數平均	占據率	信賴區間	平均對數	最小值	最大值
第一級	43	22	17	1.06	0.94±0.06	0.63-0.99	42.84	28.86	45.26
第二級	78	25	8	1	0.71±0.13	0.43-0.89	55.67	33.21	69.69
第三級	208	37	7	1	0.28±0.11	0.13-0.52	59.22	26.23	108.85
					加總		157.72	88.3	223.79

## 五、結論與建議

本年度重新進行草鴉繁殖棲地之預測，並透過 84 個繁殖樣區的調查了解目前草鴉的分布狀況，進一步進行草鴉族群的估算。由調查成果上來看，第一級樣區的修正占據率達 0.94，第二級和第三級逐漸減少，符合預期，顯示透過專家意見所挑選出的繁殖區參考性高，建議未來在監測上可持續沿用。

在分析策略上，本年度使用有條件式占據模型，將較多的努力量放在有草鴉的樣區，透過多次重覆調查求得更精準的偵測率，雖然本年度整體努力量比傳統占據模型(Standard Occupancy)高一些(264 人天：252 人天)，但也更能掌握該樣區草鴉的數量狀況。未來則建議可比較傳統占據模型、有條件式占據模型和移除模型 (Removal Occupancy)三種對占據率及偵測率估計上的差異，探討三種設計方法應用在草鴉調查上的利弊。並配合數學模擬探討上述調查方法樣區數量如何影響結果之變異性及有效性。此分析結果將可在不同人力與經費的限制下，從樣區設置及努力量角度提供管理單位具體的監測架構與方法。在最有效率之狀況得到草鴉之長期分布動態

本年度調查由於規畫時間較短，在執行上有較多不完善的部份，造成討論分析上有許多限制，而在錄音機的運用上也未達到預期成效。然而在錄音機的調查成果確實發現人力回播調查的限制下，建議未來監測以人力回播搭配錄音機架設，可進一步區分調查樣區的草鴉是占據該樣區或單純路過狀態，對於繁殖樣區的估算將可更為精準。另外，持續提升人工智慧(AI)判讀草鴉聲音的準確性，減少人工逐筆確認的工作量，亦是未來發展該項技術在草鴉監測運用上重要的一環。

## 六、参考文献

- Aide, T. M., Corrada-Bravo, C., Campos-Cerqueira, M., Milan, C., Vega, G., & Alvarez, R. 2013. Real-time bioacoustics monitoring and automated species identification. *PeerJ*, 1, e103. <https://doi.org/10.7717/peerj.103>
- Frommolt, K.-H. 2017. Information obtained from long-term acoustic recordings: Applying bioacoustic techniques for monitoring wetland birds during breeding season. *Journal of Ornithology*, 158, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10336-016-1426-3>
- Frommolt, K.-H., and K.-H. Tauchert. 2014. Applying bioacoustic methods for long-term monitoring of a nocturnal wetland bird. *Ecological Informatics* 21:4-12.
- Furnas, B. J., & Callas, R. L. 2015. Using automated recorders and occupancy models to monitor common forest birds across a large geographic region. *The Journal of Wildlife Management*, 79, 325–337. <https://doi.org/10.1002/jwmg.821>
- Hines, J.E., 2006. PRESENCE2-Software to estimate patch occupancy and related parameters. USGS-PWRC, Laurel, MD.
- Lambert, K. T., and P. G. McDonald. 2014. A low-cost, yet simple and highly repeatable system for acoustically surveying cryptic species. *Austral Ecology* 39:779-785.
- MacKenzie, D.I., Nichols, J.D., Gideon, B.L., Droege, S., Royle, J.A., Langtimm, C.A., 2002. Estimating Site Occupancy Rates When Detection Probabilities Are Less Than One. *Ecology* 83, 2248-2255.
- MacKenzie, D.I., Nichols, J.D., Hines, J.E., Knutson, M.G., Franklin, A.B., 2003. Estimating site occupancy, colonization, and local extinction when a species is detected imperfectly. *Ecology* 84, 2200-2207.
- MacKenzie, D.I., Nichols, J.D., Sutton, N., Kawanishi, K., Bailey, L.L., 2005.

- Improving inferences in populations studies of rare species that are detected imperfectly. *Ecology* 86, 1101- 1113.
- MacKenzie, D.I., Nichols, J.D.R., J. Andrew., Pollock, K.H., Bailey, L.L., Hines, J.E., 2017. *Occupancy estimation and modeling: inferring patterns and dynamics of species occurrence*. 2nd Edition. Academic Press.
- Martin, J., Kitchens, W.M., Hines, J.E., 2007. Importance of Well-Designed Monitoring Programs for the Conservation of Endangered Species: Case Study of the Snail Kite. *Conservation Biology* 21, 472-481.
- Matsubayashi, S., Suzuki, R., Saito, F., Murate, T., Masuda, T., Yamamoto, K., & Okuno, H. G. 2017. Acoustic monitoring of the great reed warbler using multiple microphone arrays and robot audition. *Journal of Robotics and Mechatronics*, 29, 224–235. <https://doi.org/10.20965/jrm.2017.p0224>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3-4), 231-259.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. 2017. Opening the black box: An open-source release of Maxent. *Ecography*, 40 (7), 887-893.
- Reynolds, J.H., Thompson, W.L., Russell, B., 2011. Planning for success: identifying effective and efficient survey designs for monitoring. *Biological Conservation* 144, 1278-1284.
- Rhodes, J.R., Jonzén, N., 2011. Monitoring temporal trends in spatially structured populations: how should sampling effort be allocated between space and time? *Ecography* 34, 1040-1048.
- Sanderson, F.J., Donald, P.F., Pain, D.J., Burfield, I.J., Van Bommel, F.P., 2006. Long-term population declines in Afro- Palearctic migrant birds. *Biological conservation* 131, 93-105.



- Shonfield, J., and E. M. Bayne. 2017. Autonomous recording units in avian ecological research: current use and future applications. *Avian Conservation and Ecology* 12(1):14. <https://doi.org/10.5751/ACE-00974-120114>
- Specht, H. M., Reich, H. T., Iannarilli, F., Edwards, M. R., Stapleton, S. P., Weegman, M. D., Johnson, M. K., Yohannes, B. J., T. W. Arnold. 2017. Occupancy surveys with conditional replicates: An alternative sampling design for rare species. *Methods of Ecology and Evolution* 8, 1725-1734.
- Wu, S.-H., H.-W. Chang, R.-S. Lin, M.-N. Tuanmu. 2022. SILIC: A cross database framework for automatically extracting robust biodiversity information from soundscape recordings based on object detection and a tiny training dataset. *Ecological Informatics* 68:101534
- Zwart, M. C., A. Baker, P. J. McGowan, and M. J. Whittingham. 2014. The use of automated bioacoustic recorders to replace human wildlife surveys: an example using nightjars. *PloS one* 9:e102770.
- 方偉宏，2005。台灣受脅鳥種圖鑑。貓頭鷹出版社。台北，臺灣。
- 行政院農業委員會林務局，2019 保育類野生動物名錄。台北，臺灣。
- 吳世鴻、蔡繼峰、林昆海、楊玉祥、張學文，2021。運用自動錄音機及聲音自動辨識模型進行草鴉調查可行性研究初探。2021 動物行為、生態暨環境教育研討會。台南，臺灣。
- 孫元勳、林世忠、林昆海，2013。草鴉野外調查方法之研究。行政院農業委員會林務局。台北，臺灣。
- 林思民，2020。台灣熊鷹長期監測系統建立。行政院農業委員會林務局。台北。臺灣。
- 許皓捷，2016。台灣環境因子 GIS 資料庫—2016 年版。台南，台灣。
- 曾翌碩，2010。鳴聲回播裝置應用於東方草鴉現況分布調查的可行性評估。

2010 台灣猛禽生態研討會。

曾翌碩，2011。草鴉-東方草鴉的野外族群現況觀察評論。貓頭鷹研究資訊站。

<http://blog.yam.com/birdmap/article/41990692>

曾翌碩和林文隆，2010。台灣的貓頭鷹。台中縣野鳥救傷保育學會。台中，臺灣。

曾翌碩、楊瑋珈、吳澧宸，2022。應用深度學習模型於東方草鴉(*Tyto*

*longimembris*)活動調查的案例分析。2022 動物行為、生態暨環境教育研討會。台東，臺灣。

曾翌碩、楊瑋珈、吳澧宸，2022。棲架相機和自動錄音二種不同方法應用在草鴉(*Tyto longimembris*)調查上的應用。2022 動物行為、生態暨環境教育研討會。台東，臺灣。

蔡若詩、林世忠、林昆海，2015。臺灣東方草鴉族群長期監測系統建立(1/3)。行政院農業委員會林務局。台北，臺灣。

蔡若詩、林世忠、林昆海，2017。臺灣東方草鴉族群長期監測系統建立(3/3)。行政院農業委員會林務局。台北，臺灣。

蔡若詩，2018。臺灣中部地區東方草鴉分布監測計畫。行政院農業委員會林務局。台北，臺灣。

蔡若詩和曾翌碩，2020。草鴉衛星追蹤及棲地利用(三)。行政院農業委員會林務局。台北，臺灣。

劉小如、丁宗蘇、方偉宏、林文宏、蔡牧起、顏重威，2012。台灣鳥類誌。行政院農業委員會林務局。台北，臺灣。

潘致遠、丁宗蘇、吳森雄、阮錦松、林瑞興、楊玉祥、蔡乙榮，2017。2017年台灣鳥類名錄。中華民國野鳥學會。台北，臺灣。