

森林中大型哺乳動物的調查與監測

賴玉菁^{1*}、裴家騏²

從空中向下看，台灣山區是一片大面積、連續完整的森林，但是進入山區，林下的地形地貌卻相當崎嶇陡峭，攀登和行進實在不易。早期在台灣執行森林性哺乳動物調查時，常使用從歐美發展的調查方法，例如：直接觀察法(包括：目擊活體、搜尋屍體或殘骸、傾聽叫聲)、痕跡紀錄法(包括：巢穴、足跡、腳印、抓痕、食痕、食物殘留、糞便、毛髮)，或設陷阱誘捕。但是這樣的調查方法，用在台灣這種崎嶇陡峭的地形，不但耗時費力，而且適用的物種、環境條件與地區都有限。所以用這樣的調查方法所得到的結果，不但完整性不夠，還會因為調查人員的養成和觀察力訓練、經驗累積，和對不同物種了解程度的差異，而使得資料品質極不一致。因此，這樣的調查方法多應用在沒有任何資料時的初步調查，目的只在知道特定區域的大致狀況，並不適合用來作為長期科學性管理的參考依據。也因此，使用更具效益的工具和方法，對台灣的野生動物保育與經營管理的科學化就益形重要。

在台灣，對松鼠體型以上的中大型哺乳動物而言，熱感應自動照相設備應該是一個效益最高的調查和研究工具。熱感應自動照相設備是西方國家在四十年前所發展出來的調查工具，除了可以自動感應並用影像記錄經過的溫血動物之外，還可以長時間、日夜持續的在人員不易到達的山區工作、更

可以在無人干擾的狀況下收集動物出沒的資料，不但所需人力較少，且資料品質相當統一，很適合這類動物的系統性資料收集。尤其近二十年來，因為數位科技的快速精進，熱感應自動照相設備已經達到數位化、低耗電化和輕量化的野外工作要求，大大地提升了使用的便利性和續航力。熱感應自動照相設備被視為是一種非侵入性的野外資料收集工具，符合現代社會大眾對動物福利關注的要求，現在幾乎已經是這類調查研究的標準配備了。過去三十年在台灣山野使用自動相機的經驗顯示，它們至少具備以下的應用功能：(1)所收集的資料是系統性的客觀資料，不受調查人員的個別差異所影響；(2)可以長時間收集資料，資料記錄涵蓋時間完整；(3)可有效的偵測到稀有或不易見到之物種，增加物種名錄調查之正確性及完整性；(4)可同時收集多種物種之資料、監測共棲物種的族群變動。以下分成物種名錄調查、物種空間分布和數量調查，以及長期監測等三種類型的目的分別說明自動相機的應用。

一、在物種名錄調查上的應用

物種名錄調查目的是確認一個特定區域內的物種組成，可以分成單一物種和動物相名錄的兩大類調查。其中，單一物種調查是希望知道目標物種是否存在於調查範圍內，

¹ 山海野生物生態顧問有限公司

² 屏東科技大學野生動物保育研究所

* 通訊作者(yuching.lai.GIS@gmail.com)

而動物名錄調查則是希望獲得當地完整的物種名單。雖然越多的調查樣點和越長的調查時間，可以讓資料收集得越完整，但是受限於時間與經費，常常需要在最短的時間內、使用最少的人力與成本，來達成目標。這時，調查人員通常會需要將調查範圍劃分成相對均質的數個分區(常見以土地利用型作為分區的依據)，在這些分區中，選取目標物種最喜歡使用，或是大部分的中大型哺乳動物都會使用的地點，作為代表樣區來進行調查。因此，對調查範圍內的環境有基本認識就非常重要。

通常一個有經驗的調查人員會挑選動物活動較頻繁、較集中的地區進行重點調

查，例如：目標物種的必經之處、森林內較為重要的野生動物棲地、樹林邊緣的生態推移帶、溪流湖泊的濱水帶等，如此可以大大縮短調查所需要的時間，減少相機使用的數量；至於相機架設的地點，則可選擇明顯獸徑，且除非必要，應避免過於陡峭的地形環境。這樣的調查，樣點的配置雖然不需要是系統性的等距取樣，不過還是要盡量涵蓋範圍內重要的區域。針對非常稀有物種的調查，甚至可以考慮在其最喜歡利用的環境中，以2-3台相機一群、相互間隔100-200公尺的方式架設，以增加記錄到的機會。

有時候因為涵蓋範圍太大或非常難以到



圖1 使用自動照相機調查時，除了可以有效的紀錄到稀有物種、族群相對豐度外，還可以同時獲得其他資訊(常見繁殖生物學的資料)，是個多重資料收集的工具(從左上順時鐘為：麝香貓、穿山甲、山羌、野豬；梁又仁、孫敬閔 提供)

達，可以考慮採取分區調查的方式，先將設備集中在某些區域進行調查，一定時間之後，再將設備移到另一個區域調查，以達到在調查期限內增加樣點涵蓋範圍的效果。不過，這樣的方式，還是需要以每區都有足夠的調查時間為基準。以台灣的森林性物種而言，每一個相機樣點建議至少收集3-4個月的資料，通常在這樣的工作時間內，絕大部分的物種均會被紀錄到。但若當地可能有極為稀有的物種(例如：黑熊、石虎)，則資料收集時間很可能需要延長到6個月甚至1年。常常有人問：到底是長時間(如1年)定點不動，還是定期(如每4個月)更換地點，會比較容易記錄到稀有動物？這個問題，目前沒有相關的文獻可以回答。就像定點等待還是不斷巡迴，哪個方式比較容易找到停車位一樣，可能要視當地的環境、族群的密度和個體活動的狀況而定。不過雖然還沒有定論，但對目標物種的行為模式了解越多，調查的效率自然也會越高。

早期的熱感應自動相機因為使用的是膠卷底片相機，每一卷只能拍30幾張照片，而為了防止因陽光加溫誤判空拍而浪費底片，都只會選擇樹冠層比較鬱閉的林下架設相機，甚至要求不可面對陽光的直射，使得調查地點有所限制。現在的數位機型則因為記憶卡容量大，每次可紀錄高達數萬張照片，對誤判空拍的容忍度提升，因此，環境不再僅限於茂密的森林，甚至在空曠的草地或裸露地上都可以架設，大大增加了調查工作可涵蓋的環境條件和效益。

二、在物種空間分布和數量調查的應用

除了前述的有或無之外，自動照相設

備也適合用來產生族群的空間分布和數量多寡，而其可同時調查多個物種的特性，也使得這個設備可以被用來探討共棲物種群聚(community)的結構，對森林生態系統經營管理者來說，幫助很大。然而，也是因為地形地貌變化很大，在台灣森林性野生動物族群個體數量的估計不易執行，因此目前多以自動相機所產生的「相對豐度指數(Relative Abundance Index；簡稱RAI)」來代表實際的數量，而其中的「OI值(Occurrence Index)」大概是最為大家所熟悉的一個相對豐度指數。和其他的RAI一樣，OI值的定義也是「某物種在單位時間內被相機記錄到的次數」，並且也是假設「OI值越高的地方，該物種的出沒程度(或豐度)就越高」。搭配物種空間分布的資訊，還可以產生相對豐度的分布圖層，更具價值。

不過，與純粹名錄調查的需求不同，為了要掌握分布與數量，適當的取樣設計就很有必要。原則上，要獲得具代表性的族群分布現況，自動相機樣點的配置上就需要盡量的均勻分布於全區，而要獲得此區域內具代表性的豐度OI值，樣點就必須盡量涵蓋不同類型的棲地環境。以下提出我們的經驗，這些做法雖符合國際間常用的樣點規劃原則，但後續仍有需要針對這樣的目的，進行方法的探討，好進行必要的修正。

就海拔變化比較小、比較平坦的低海拔地區而言，可以將整個調查範圍分割成等面積的方型網格，再系統性的在每一個網格的中心地帶，配置一台自動相機進行資料收集。至於網格面積的大小，則要看是單一物種，還是物種群聚的調查而定。如果是單一物種(顯然是很重要的物種)，一般建議網格面

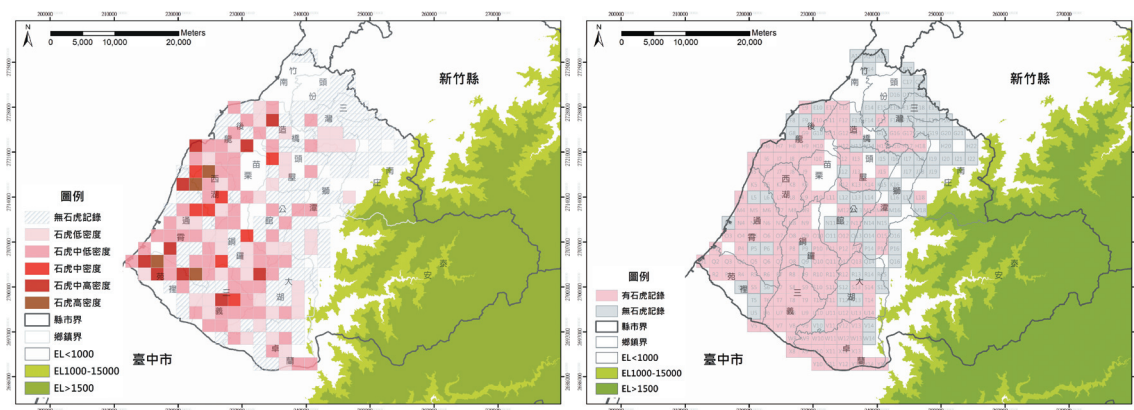


圖2 苗栗縣政府於2020-2021年間進行了石虎的普查計畫，將全縣1,000公尺以下地區等分成264個4 km²的網格，並挑選了其中的200格架設自動相機。左圖為石虎OI值分級之分布，顯示苗栗縣除了東北邊與北邊有比較連續的無石虎記錄網格外，其他則多為低、中、高豐度交錯分布的情形。右圖彙整5年內所有有石虎記錄的資料(粉紅色)。如此多網格在近年都有紀錄過，突顯出苗栗縣在瀕臨絕種石虎復育上的重要性，同時，在苗栗淺山環境內的土地利用或開發，將很難避免石虎保育的議題

積要略大於該物種的平均活動範圍，如此所收集到的出沒資料，也可以進行一些棲地選擇模式的分析，增加對該物種的了解。但如果是廣泛性的群聚調查，網格面積就不宜太大，每格1到9平方公里可能都適當。

至於地景複雜的山區，尤其是數百、數千平方公里的大面積範圍，方型網格的設置將不易執行或不恰當時，建議可以採用集水區、次集水區，或是具生態意義的獨立地景區塊作為取樣單位，將適量的相機樣點盡量分散的配置在每一個取樣單元中的不同棲地環境上。如果是單一物種的調查，尤其是活動範圍非常大、密度非常低的物種(例如黑熊)，每個取樣單元的樣點數量可能需要多一些，以確保可以收集到足夠的資訊。至於在可及性極低的山區，即使有些取樣單元在現實上無法充分設置樣點，但整體仍然需要盡量的分散，以避免樣點過於集中而失去代表性。同樣的，因為其他的客觀條件也都會影響樣點的空間配置和所需數量，因此，也建議執行單位要有

方法學的前置探討，才能確認規劃的適切性。

前述使用RAI來作為族群豐度指標，是在執行數量估計有困難的狀況下的替代方案。如果有可能，還是應該以實際數量的估計為目標，畢竟實際數量才是可長可久的資料。所幸，在近百年來的現代野生動物經營管理的歷史中，不論使用哪種工具(包括使用人力)，都會有應用者依該工具的特性，發展出族群數量或密度的估計方法。這些估計方法都具有統計學上的理論基礎，而且相互間可以進行科學性的比較，所以可以安心應用在經營管理上。

目前國際間專為自動相機所發展的族群密度估計的方法中，「有限面積重複捕捉法(spatially Explicit Capture-Recapture, SECR)」和「隨機遭遇法(Random Encounter Model, REM)」這兩種方法在台灣已經有實際應用的案例(前者為石虎¹、後者為梅花鹿²)可供參考，值得繼續探討它們在台灣其他物種的應用性。

SECR是改良版的捉放法(Mark-recapture or Capture-recapture)。雖然捉放法的運算已經

¹ 李運金、賴玉菁、裴家騏。2021。苗栗縣石虎族群數量與分布調查。苗栗縣政府。本文其他石虎相關的敘述和圖片，同樣來自此計畫。

² 裴家騏、梁又仁。2021。110年度墾丁國家公園梅花鹿族群管理計畫期末報告。墾丁國家公園管理處委託辦理計畫。

非常成熟，也有相當高的正確性，但就像傳統的捉放法，SECR也需要辨認個體才行。所以這個方法只適用在體表斑紋具有個體差異的物種，或是已經有足夠個體標記的族群；而且，針對前者執行時，還需要採取雙相機一組、面對面架設的方式，以期同時拍攝到同一隻個體左右體側的斑紋，也才可以完整的建立個體體紋資料檔案。每個樣點架設的雙相機組，除了要能確保相機間的閃光燈啟動不會互相干擾外，所使用的相機必須反應速度快而且解析度高，才能降低個體判釋的困難度。在空間配置上，樣點間的距離要盡量短，以增加重複拍攝(相當於用相機捕捉)到同一個體的機率，如此才會產生比較好的

估計值。所以，如果要用SECR來估算族群數量，資料收集時，並無法搭配前述物種名錄調查的分散式和長間距的相機樣點配置方法，必須得另案執行。

如果沒有辦法這樣執行或不適用的物種，則可以考慮採用REM密度估計法。前面提到自動相機產生的相對豐度指數(RAI)與動物密度成正比，而REM法更進一步假設RAI值除了受到密度影響外，還會受到動物的移動速度所影響。也就是說，兩個密度相同的動物族群，個體移動(行走)的比較快的那群所獲得的RAI值會比較高。因此，REM法就把動物移動速度納入運算公式，結合RAI值一起產生密度的估計值。而拜新型數位自動相機

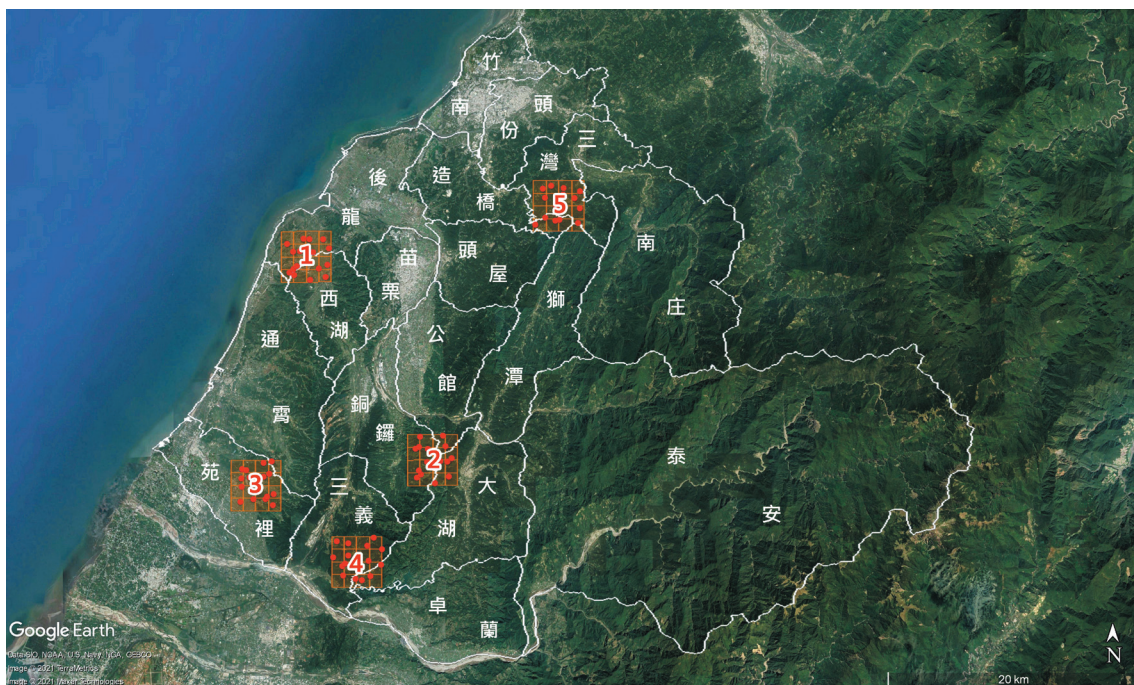


圖3 採用SECR法估計石虎密度時，需要集中設置相機樣點以增加重複捕捉的機會。這個研究建立了5處、各為16 km²的密度估計樣區(標有編號的紅色網格區)，每樣區再細分成16個1 km²的網格，每個網格內設置1組雙相機組(紅色圓點)。所獲得之石虎影像需要進行個體辨釋，以用來執行SECR



圖4 兩台相機面對面的架設在石虎可能穿越的路徑(上圖黃色虛線)兩側，如此雙相機的設置，可以同時拍到同一隻路過石虎的兩側(中圖)，有助於建立個體的斑紋特徵資料庫。此資料庫將作為特定個體被重複拍照(相當於被重複捕捉)時的鑑定依據(下圖)，並作為關鍵參數用於SECR的密度估計中

之賜，擁有連續拍照(甚至錄影)的功能，可以記錄到動物個體的完整移動過程，也因此可以產生移動速度。REM法沒有個體辨認的需求，也可以利用分布和豐度調查的成果進行運算，不過因為REM法需要很多的影像記錄才可獲得較佳的速度平均值和密度估計值，因此可能比較不適用於稀有物種。

三、在物種長期監測的應用

持續或定期(例如每5年)重複前述具取樣設計的族群分布和豐度資訊收集，即為長期監測，而在方法的設計上，若能分布和豐度

兩者兼顧，對管理單位而言應該會是首選，也可以更明確的分析族群的變動趨勢或不預期的改變。不過，因為野生動物長期監測在台灣是近幾年才逐漸浮現的需求，因此，同樣的，目前的經驗仍有待嚴謹的方法學探討來進行必要的修正。尤其是牽涉到長期資料的比對，慎選監測的參數就非常的關鍵。例如，自動相機所產生的相對豐度指數(如OI值)，可能就不適合作為很長期的豐度監測參數，因為熱感應自動相機在過去的40年間，結構和功能已經歷經過很多次的演進，新舊機型偵測動物的敏感度已完全不同，如果只用



圖5 採用REM法進行梅花鹿族群密度估計時，需要在每一個相機樣點處建立距離參考(如上圖中的紅白比例布尺)，以協助測量梅花鹿個體從進入自動相機視野(下右；7:21:14拍攝)到離開視野過程中的移動距離(下左；7:21:20拍攝)、所花時間和速度(梁又仁 提供)

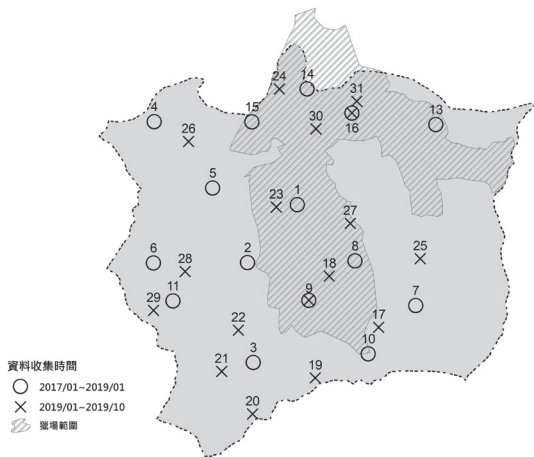


圖6 台灣東部G部落的狩獵物種長期監測的自動相機樣點規劃。除了有狩獵區和非狩獵區的樣點外，具可及性盡量散佈全區的樣點配置，將有助於研判當地中大型哺乳類族群變化與肇因

「相對指數」來代表豐度，那麼今年所收集到的「相對指數」，就不能跟十年前的資料做比較，更不能用來探討過去二、三十年間的族群變遷。至於這樣的設備未來持續的改進方向為何？可能也很難逆料。甚至十年後可能會出現另外一個更好用、更便宜，但機制完全不同的調查設備，並取代了自動相機。因此，族群豐度的長期監測，最好還是能做到持續的估計實際密度和數量，尤其是復育中的瀕危物種。

不過，如果長期監測只是為了特定的經營管理需求，則樣點的規劃可以更具有針對性，也可以使用相對豐度指數。例如，要監測原住民狩獵對獵物族群數量的影響，就只要在狩獵區(實驗組)和非狩獵區(對照組)設置適當數量、相互分散的樣點即可。這樣的安排非常必要，因為只有透過實驗組和對照組的OI值比較，才能正確的判讀狩獵的影響，以及影響的程度。

除了監測項目之外，監測範圍面積大小、人力物力財力多寡、持續操作的可行性、...等客觀條件也有必要納入考慮，所以每一個長期監測案，都應該跟據監測案自身的目標與限制，設計自己合適的監測模式與樣點配置，只

狩獵區 (實驗組) 非狩獵區 (對照組)

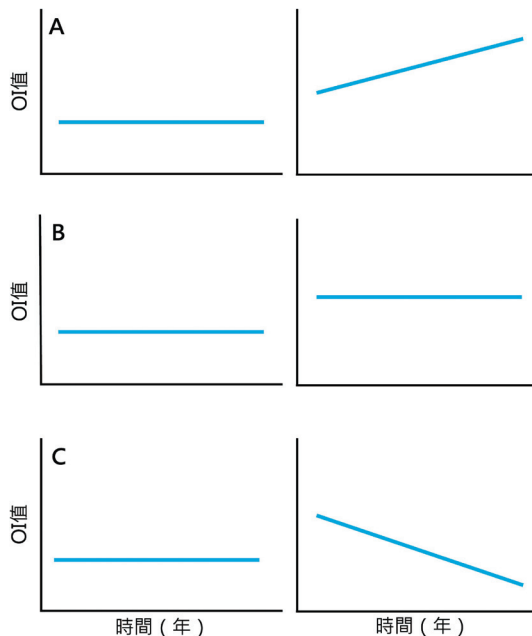


圖7 於狩獵區(左排)和非狩獵區(右排)同步進行監測有助於研判狩獵對獵物族群的實際影響。例如：當環境條件類似時，雖然圖中三組監測結果均呈現狩獵區OI值在年間沒有變化，但只有B和C組才可視為狩獵沒造成變化；A組顯示狩獵活動會讓族群不成長，而C組則顯示狩獵區族群量受到控制，非狩獵區則因為高豐度造成棲地破壞和族群量的崩潰，大型草食獸(如水鹿)容易出現C組的狀況。狩獵區的豐度一般會因為狩獵行為而維持在比較低的水平

要確認可以正確完成監測目標即可。現階段，如果在完成監測目標之餘，還可以兼顧方法學的探討，則未來在案例累積之後，也許就可以逐漸完備國內長期監測的基礎。

最後，雖然熱感應自動相機的原理簡單，也已經是一個很成熟的商品，但它並不是一種傻瓜設備。不同廠牌和型號的感應元件、啟動機制和有效範圍都不盡相同，所以在使用之前，都務必要詳閱說明書，清楚了解該機型的結構設計、感應機制、限制條件及架設方法，才能獲得有效資訊。至於前述雙相機組的架設，則更是有技術門檻的，需要有一定的經驗才能產生有意義的資料。因此，熟悉設備特性、熟練各項技術，仍然是在野外正確使用自動相機的必備條件。



圖8 在進行南方四島國家公園放牧山羊族群(上)、陽明山國家公園野化水牛族群(中)和墾丁國家公園野生梅花鹿族群(下)的調查與研究中，都已顯示使用空拍機的效率、效益與價值，值得更多的應用以快速累積經驗

三、其他調查與研究工具的開發需求

對台灣的森林性中大型哺乳動物而言，熱感應自動相機確實是一項極具貢獻的野外工具，但因為架設方法及性能的限制，自動相機並非萬能。譬如，它們並無法提供樹棲性鼯鼠相同品質的資訊，因此，有需要針對鼯鼠發展適合、有效率的調查和監測工具。我們這幾年嘗試在各海拔範圍的森林環境中，以長時間錄音設備記錄鼯鼠的鳴叫聲，期望能

產生類似OI值的相對豐度指數(亦即：單位時間內所記錄到的鳴叫次數)。截至目前為止，最穩定被紀錄到的只有白面鼯鼠的各種鳴叫聲，甚至比人力調查的正確性還要高，牠們是最具潛力發展以錄音設備進行調查、監測的物種。至於大赤鼯鼠，相較於人力觀察法，錄音設備反而會明顯低估牠們的出沒情形，這或許與大赤鼯鼠的鳴叫聲微弱，且不常發聲的行為模式有關；而小鼯鼠則還沒有資訊足以判斷錄音設備是否是個可行的出現記錄工具。由於兩種大型鼯鼠都是極常見的狩獵物種，且被利用的程度都非常高，而小鼯鼠的野生族群現況則一直都沒有被確定過。開發適合鼯鼠的野外研究工具有其急迫性。

另外，空拍機在開闊環境中針對偶蹄類動物的調查與監測上，已確定可以發揮極大的效益³。由於空拍機可以在短時間內進行大面積的搜尋，並且可以接近觀測，所以在調查時，可以快速尋找個體所在位置，並且確實計算族群數量。如果搭配相關的體型形質的遠距量測，甚至還可以進行族群性別和年齡結構的分析，而這樣的資料，是熱感應自動相機所無法取得的。期待國內有更多的應用，以持續發展更深入的資料分析工具。

總結來說，在進行調查與監測規劃時，需要以專業的訓練與知識為基礎，針對目標進行科學性的方法設計，而在選擇執行的野外工具時，我們不需要受限於現有的設備，只要能了解並提出自己的需求，其實工具是有無限可能的。⚡

³ 賴玉菁、裴家騏、吳杰龍、郭璿、梁又仁。2021。新角度新視野：空拍系統強化了野生動物族群經營管理與保育。國家公園學報31(1)：23-34。