

107 年度行政院農業委員會林務局林業發展計畫

龜山島狐蝠族群的保育地位評估
Conservation status of the flying fox population
on the Gueishan Island

計畫編號：107 林發-9.1-保-17(1)

計畫主持人：陳湘繁

計畫主辦人：陳湘繁、可文亞

計畫參與人員：羅韻華、林恭平

執行單位：國立台北大學、國立陽明大學

執行期間：107 年 3 月 1 日至 107 年 12 月 31 日

中華民國 101 年 12 月 31 日

摘要

台灣狐蝠 (*Pteropus dasymallus formosus*) 是台灣特有亞種，也是台灣體型最大的一種蝙蝠，原分布於綠島，因過度獵捕，當地族群已幾近消失，目前僅於龜山島有穩定的小族群，然一直尚無法確認此族群的分類定位，本研究擬藉由分子生物學的技術，探討龜山島狐蝠族群與其他琉球狐蝠亞種之間的親緣關係。目前已取得來自台北市立動物園的臺灣狐蝠，以及採樣自琉球大學以及琉球動物園的折居氏狐蝠 (*P. d. inopinatus*) 及大東狐蝠 (*P. d. daitoensis*) 樣本，進行「限制酶切位點相關定序」(Restriction-site associated DNA sequencing, RADseq) 或「霰彈槍定序法」(random shotgun sequencing) 分析。其中五隻個體 (包括四隻臺灣狐蝠及一隻折居氏狐蝠) 之全基因體序列已順利完成，作為後續分析使用，其餘樣本之定序資料則陸續產出中。「限制酶切位點相關定序」的結果，可鑑別之 SNPs (單一核苷酸多型性) 數量為 33,972，顯示以「限制酶切位點相關定序」的方法，足以針對我們所取樣的不同琉球狐蝠亞種個體，獲取足量、可供後續分析比較的 SNPs，故可作為探討琉球狐蝠亞種關係可行之研究方法。依目前已定序之個體資料，估算出核苷酸多樣性成對差異值 (pairwise difference) 為 0.0048，沃特森氏評估量值 (Watterson's estimator) 為 0.0032，這兩項估算值皆明顯低於其他狐蝠屬物種，顯示琉球狐蝠可能擁有較低的有效族群數。此外，其中一隻來自台北市立動物園查緝沒入的狐蝠個體，具有較高的差異性，呈現種內的遺傳分化，推測該個體來自不同的地區 (或國家)，後續將擴大樣本數，分析比較龜山島族群與其他亞種間的親緣關係。

關鍵字： 台灣狐蝠、琉球狐蝠、次世代定序、龜山島、遺傳多樣性、親緣關係

前言

狐蝠 (flying foxes, or fruit bats) 屬於哺乳動物綱 (Mammalia)、翼手目 (Chiroptera)、大蝙蝠科 (Pteropodidae)、狐蝠屬 (*Pteropus*)。為蝙蝠中體型最大的一群，本屬約有 65 種，以植物的果實、嫩葉、花朵和花蜜為食，大部分的物種為夜行性 (Wilson and Reeder, 2005)，分布於熱帶及亞熱帶地區，包括亞洲、澳洲、東非、以及太平洋和印度洋海域島嶼 (Corbet and Hill, 1991)。

狐蝠屬物種因以植物的果實及花粉等為主食，在許多熱帶及亞熱帶島嶼地區，扮演替植物傳花授、散播種子的重要角色，而被視為是維持生態系完整的基石物種 (keystone species) (Cox et al., 1991; Fujita and Tuttle, 1991; Nakamoto et al., 2007b; 2009)。Cox et al. (1991) 調查發現一廣布の木棉屬 (*Ceiba*) 物種，分布在大陸地區的植群有許多授粉者，但當分布在薩摩亞 (Samoa) 島嶼地區時，僅能透過東加狐蝠 (*Pteropus tonganus*) 授粉；Nakamoto et al. (2007b) 針對折居氏狐蝠 (*Pteropus dasymallus inopinatus*) 食渣及排遺內所含的種子，與未經狐蝠處理之果實中的種子，進行發芽率及發芽時間之比較，發現該地榕屬物種的種子，被狐蝠食用過後，發芽率顯著提高，發芽時間也較短，此提升種子萌芽率的現象亦可見於龜山島的台灣狐蝠 (Chen et al., 2018)。在琉球本島部分原生植物倚賴折居氏狐蝠協助授粉及播種 (Nakamoto et al., 2009)，對於當地的血藤而言，狐蝠甚至為唯一的授粉媒介 (Shun et al., 2018)。McConkey and Drake (2006) 在東加群島的小島中分析該島種子傳播情形，發現該島上狐蝠傳播種子的效率遠比其他動物更好。部分植種更演化出特殊的特徵，配合狐蝠覓食習性，以增加種子的傳播效率，如 Nyhagen et al. (2005) 調查到山欖科 (Sapotaceae) 的 *Labourdonnaisia glauca* 果實內含有大量乳汁，像口香糖一樣，會增加模里西斯狐蝠 (*Pteropus niger*) 嚼食的時間，並使大量種子黏附在食渣後，才掉落到地面。除此之外，狐蝠對於經濟作物的生產，也有相當大的助益，Fujita and Tuttle (1991) 根據文獻記載，整理出受惠於狐蝠授粉或播種的植種中，有高達 448 種是具有經濟價值的，廣泛涵蓋作為食物、藥用、木材生產或是作為燃料的植種。

在某些島嶼國家中，狐蝠被利用作為當地傳統的蛋白質來源之一，近來因觀光發展，狐蝠被視為奢華飲食市場上的佳餚，再加上獵人的工具越發先進，使獵捕數量增加，導致狐蝠族群數量急遽下降 (Craig et al., 1994; Brooke and Tschapka, 2002)。除了獵捕外，人口增加使得農業及住宅用地需求上升，以及大

量使用木材而大規模砍伐森林後，使狐蝠的棲地空間及食物資源嚴重減少，更加速狐蝠面臨滅絕的危機 (Mildenstein et al., 2005)。加上熱帶及亞熱帶地區常見的颱風等天然災害，強勁的風勢打落狐蝠的食果，或甚至造成狐蝠個體的死亡，皆會使得各地區狐蝠族群數下降 (Wiles, 1986; Craig et al., 1994; Pierson et al., 1996; McConkey et al., 2004)。熱帶地區狐蝠族群數量下降日趨嚴重，了解其生態需求、族群特徵以及面臨之生存威脅，為制訂相關保育政策之關鍵基礎資料。

台灣狐蝠 (*Pteropus dasymallus formosus*, Formosan flying fox) 為台灣體型最大的蝙蝠，翼展長可達1公尺。1873年由英籍學者Sclater發表，認定為一個獨立物種—*Pteropus formosus*。1933年，黑田 (Nagamichi Kuroda) 認為台灣狐蝠及琉球狐蝠的外觀型態相似度很高，便將台灣狐蝠訂為琉球狐蝠 (*Pteropus dasymallus*, Ryukyu flying fox) 的亞種之一—*Pteropus dasymallus formosus* (Kuroda, 1933)。台灣狐蝠早期在綠島、蘭嶼、宜蘭、高雄、花蓮及台東等地都有過發現紀錄，其中又以綠島為其主要棲息地並具穩定的族群，台灣東部、南部地區及東部其他離島皆為零星分布紀錄 (黑田, 1920; 堀川, 1925b; Sclater, 1873)。1976年至1986年間，台灣狐蝠遭到大量獵捕，族群數量急遽下降至幾近消失 (林良恭與裴家騏, 1999)，很長一段時間沒有野外族群的發現紀錄，直至2005年起，才在綠島以及台灣東部各地有零星的發現紀錄，其中最穩定者為宜蘭外海龜山島的小量族群 (張明雄等, 2006; 鄭錫奇等, 2006)。

自從1873年Sclater首次發表台灣狐蝠以來，關於台灣狐蝠的相關資料、研究報告、甚至正式的發現紀錄都相當少，對於其生態習性、行為模式和生存現況幾乎僅有零星的資料，且沒有完整的影像資料留存，對於台灣狐蝠的瞭解非常有限。於綠島再發現以及龜山島新發現的台灣狐蝠野外族群，不僅使得研究團隊有了瞭解此物種的契機，更使對此物種的保育成為當務之急。因為兩地的族群數仍是極低，任何的人為干擾或天災意外，都可能使僅存的小族群消失，所以保育的工作刻不容緩，但必須先瞭解其族群結構、棲地特徵及生態習性，才可擬定合宜的相關保育計畫。

經由訪談民國 66 年遷村以前曾經居住在龜山島的居民得知，島上過去不曾記錄過狐蝠，推測該島狐蝠為近幾十年自然播遷到龜山島的族群，民國 93 年植物調查研究員蔡志忠於龜尾湖觀察到第一筆狐蝠出現的記錄，隨後自民國 98 年起，台北市立動物園的研究團隊陳湘繁等人亦於龜山島長期追蹤調查狐蝠族群。

然而龜山島地勢崎嶇陡峭，無法進行全面完整的計數，再加上島上狐蝠族群相當小，使得個體數目的掌握更加不易，小族群相較於大族群，會面臨更多的存續危機，包括基因漂變、近親交配、性比不均、遺傳變異度低、族群數量的穩定性低等，當環境出現劇烈波動的變化，即可能造成族群數愈來愈小，面臨一連串高滅絕風險的連鎖效應，終致族群滅亡(Frankham et al., 2010)。一個族群若要維持長期存續，不掉入滅絕漩渦，則其族群必須具備一定程度的個體數目，即所謂的最小存活族群(minimum viable population, MVP)，以使族群在該棲地中，即使在可預期發生的族群波動、環境和遺傳的隨機性干擾、以及自然災害等因子的影響下，仍確保具有很高的機率存活相當的一段時間。物種保育的規劃和行動應先決定該族群存續所需要的基本族群數量，不論在穩定或變動環境中，該族群都能持續存活，而保護維繫此族群的棲地，則是經營管理首要之務。

台灣狐蝠為琉球狐蝠的一亞種，另四個亞種分別為琉球群島北部地區的永良部狐蝠(*P. d. dasymallus*, Erabu flying fox)、琉球群島中心的折居氏狐蝠(*P. d. inopinatus*, Orii's flying fox)、琉球群島南方的八重山狐蝠(*P. d. yayeyamae*, Yaeyama flying fox)、以及主要棲息在大東島(Minami-Daitojima)的大東狐蝠(*P. d. daitoensis*, Daito flying fox)，這五個亞種(Mickleburgh et al., 1992; Kinjo & Nakamoto, 2009)，除了大東狐蝠外表毛色顯著不同之外，其餘均不易由型態辨識，僅能以地理區塊劃分，日籍學者太田曾嘗試利用粒腺體 DNA 序列(mtDNA, ca 1,300 bp)以及增殖片段長度多型性(AFLP, Amplified Fragment Length Polymorphisms)鑑定亞種間的親緣關係，結果顯示無法證實亞種間是有差異的(太田，私人通訊)。因此，過去一直尚不清楚台灣狐蝠與琉球狐蝠之間的親緣關係，也無法釐清龜山島新發現的族群應歸屬於哪一個亞種。然以狐蝠強而有力的飛行能力來說，跨越島嶼並非困難，島嶼間個體移動產生的基因交流，即會影響琉球狐蝠的族群遺傳結構，了解不同亞種在演化上的獨特性，能讓我們對這一個物種或這幾個不同的族群能有更大尺度的了解。對龜山島台灣狐蝠的族群應採取積極的保育行動，任何的人為干擾或天災意外，都可能使僅存的小族群消失，而了解該島狐蝠族群數量的演化軌跡和遺傳多樣性等族群結構相關因子、以及其分類地位，為規劃保育策略前應建立的基本資料，並持續監測當地族群的變動，以助擬定瀕危物種保育策略及島嶼生態經營管理規劃。

為能釐清台灣狐蝠與琉球群島其他四個亞種間的遺傳變異，確認亞種的分

類地位與關係, 本計畫擬進一步以變異速率較高的分子標誌進行分析比較琉球狐蝠各亞種間親緣以及地理分布的關係。

計畫目的

本計畫全程目標為確認台灣狐蝠之分類地位, 在演化上是否與其他亞種有所分化, 成為一演化顯著單位(Evolutionary significant unit), 以作為台灣地區狐蝠族群的保育策略和經營管理之依據。首先先建立台灣狐蝠的基因資料庫, 藉此估算基因多樣性(genetic diversity)、有效群體數(effective population size)、以及族群數量的演化軌跡(demographic history), 此外, 本計畫將分析台灣狐蝠和其他琉球狐蝠亞種間的演化樹、及族群間遺傳變異的共享度(shared polymorphism), 並估算族群間的遺傳結構與基因交流程度, 探究台灣狐蝠與相鄰亞種間的親緣關係。本計畫也將與日本和菲律賓琉球狐蝠分布區的研究人員建立合作網絡, 提昇野生動物保育相關的國際交流。

本年度目標包括:

1. 狐蝠組織樣本採集。
2. 建立遺傳分析之流程: 建立狐蝠組織或血液樣本採集、保存、DNA 萃取和分析之流程。
3. 狐蝠遺傳多樣性分析: 初步分析台灣狐蝠和琉球狐蝠之遺傳多樣性。
4. 與日本和菲律賓琉球狐蝠分布區的研究人員建立合作網絡, 以規劃後續樣本之取得或採集。