

台灣明星甲蟲的永續發展： 如何以基因體資料客觀地建議 未來的保育政策

黃仁磐

台灣的山林住著許多吸睛的小生物，包含小朋友們最常遇到的各種小昆蟲。舉凡淺山附近常見的鳳蝶、草叢間的蝗蟲、枝葉間的竹節蟲、及路燈下的各式甲蟲，每種都能讓小朋友們愛不釋手而引發學習興趣（圖一）。近年來，寵物昆蟲也成為中小學自然科學的教材之一。根據早年的調查，活體昆蟲的交易及飼養可達到近17億元的產值（羅友徹，2005）。若考慮到近年來盛起的生態旅遊、各級學校的昆蟲研習營、寵物昆蟲、及自然生態教育等相關產業，總產值將更為可觀。

但是，這些自然的活體教科書是否會一直存在我們的生活週遭呢？目前，全世界的昆蟲專家都發現昆蟲的物種多樣性、生物量、及遺傳多樣性都有持續銳減的趨勢，且這種趨勢甚至連生活在保護區裡面的昆蟲也無法倖免。以台灣的現況來看，在1960年代後歷經土地經營模式的改變，導致昆蟲多樣性極高的許多原始森林被變更成農耕或休憩用地。此外，昆蟲標本出口及相關產業（1960年



圖一、台灣山區及郊外旅遊景點常見的明星昆蟲，大人小孩都愛不釋手。



代)、近年來快速興起的寵物昆蟲飼養風氣(約始於2000年)、及人們對於漂亮大型昆蟲的濫捕等,這些人類行為都直接或間接地影響昆蟲的繁衍。在現今昆蟲面臨多重生存壓力之下,我們應當反思:當應用或涉及到這些自然的活體教材時,我們的行為(或活動)是否威脅到昆蟲在自然界的永續發展呢?

人類活動,例如:土地開發所造成的地貌改變,以及溫室氣體排放所造成的全球暖化與極端氣候,已持續威脅全球生物多樣性的永續發展。各國政府和國際聯盟組織已經迅速制定保育計劃和環境保護法,以積極的態度維護生物多樣性的各種關鍵資源。截至目前為止,有兩項議題:(1)不同物種如何因應氣候變化和人類對土地開發利用的活動?以及(2)受保護物種在保育政策實施後的結果與表現?然而,上述的議題卻極少以量化的數據進行客觀的評估。客觀評估人類活動對其他生物族群的影響是相當困難的差事,其困難點在於以下兩個層面:首先,被保育的物種往往非常稀有,所以很難獲取足夠的樣本數來進行客觀的科學統計及估算族群的變化;其次,從演化的時間尺度來看,環境和氣候變化以及保育行動都可能在較短的時間內影響物種的族群結構,而傳統類型的資料可能無法檢測出這些近期發生的精細差異。

近年來,快速發展的基因體定序技術、DNA分子數據的分析方法、和族群遺傳學的電腦模型,讓我們可以更客觀且審慎地檢測出人為開發及保育政策對台灣明星昆蟲族

群結構的影響。具體來說：(1) 以往經常被使用的分子標記方法（例如：少量的基因座及短片段DNA重複序列），雖然能有效地檢測出物種內的遺傳結構，但這些資料僅能反映該物種在上新世至更新世年代間的族群量變動。遺憾的是，這些標記卻無法檢測出發生在人類世¹這種細微尺度下的地理遺傳變異和族群量變化。然而，人類世對生物多樣性衝擊的相關研究將是未來保育生物學的研究重點之一，而我們可以利用族群基因體數據進行探索（將於下面段落介紹）；(2) 一些特有的明星昆蟲擁有龐大的族群規模，牠們與族群規模非常小的地方性特有脊椎動物不同。在理論及實際演算上，研究樣本的大小可能會對族群量的估計產生偏頗的影響（與誤差估算有關），因此明星昆蟲更適合用來評估政府保育政策施行下的成效，也可以做為近期棲地環境改變對當地生物多樣性影響的指標性物種；(3) 某些明星昆蟲很常見，牠們的身影時常被公民科學家拍攝及分享在網路社群（例如：iNaturalist及Facebook社團），因此我們能更了解這些物種的地理分佈和出沒的季節性，也有助於我們對牠們設計一個全面的研究方案；更重要的是(4) 近年來在台灣土地利用上所發生的變化（例如：大規模開發休閒區及農牧業用地所導致的去森林化），以及各種保

1 人類世（英文：Anthropocene），又被稱為人新世，旨在描述地球最近的地質時期。人類世的起始時間並不確定，但可以追溯到18世紀末期的工業革命，當時人類活動首次對氣候和生態系統產生全球性的影響。

育政策的推陳出新（例如：保育物種名單的變化），皆有記錄可查。這些歷史事件及族群基因體數據可以幫助我們勾聯出物種族群消長與特定政策的關聯性，用以評估人為活動對生物多樣性的影響與衝擊。

台灣的黃腳深山鋏形蟲種群，包含其姐妹種宇老深山鋏形蟲（圖二），就很適合用基因體數據來探討：在人類世的全球環境改變下，不同生物族群的應對與演化。生活在南投縣的黃腳深山鋏形蟲，其棲息的森林在近年來被大面積的轉變為休閒和農業用地，這種嚴重破壞棲地的歷史可追溯到國共內戰後，一群退伍軍人於1961年遷至南投清境農場後，該地區的森林逐漸被改建為果園和菜園。此外，由於民眾對露營和戶外遊憩的興趣不斷增加，政府也在2001年通過了促進地方旅遊的方案，造成眾多的民宿及露營區接踵開幕，間接導致該地區的天然棲息地發生嚴重變化。自2001年以來，生活在新竹縣森林的宇老深山鋏形蟲，其棲地有很多處也被開發為露營場所和休閒區。另一方面，棲息在苗栗縣雪霸國家公園內的黃腳深山鋏形蟲則一直被保護在原始森林中，牠們幸運地躲過棲地被破壞的危機。這三群近緣的鋏形蟲提供一個獨特的機會，讓我們比較不同程度的人類開發和棲息地破壞是如何影響這些生物的生存與繁衍。

令人驚訝的是，我們的模型分析並未揭示各個分類群在近期族群量的變化上有獨特的走向，反而顯示這三個分類群在近期族群量的變化上呈現極度相似的趨勢。此結果



圖二、三個地理分類群的雄性黃腳深山锹形蟲及其棲地環境。(A)苗栗、(B)新竹、(C)南投、及(D)成蟲的森林棲地。甲蟲照片由周明勳拍攝。棲地照片由官怡秀拍攝。

表明：也許有一個全島或甚至全球規模的環境或氣候事件共同且同時地影響這三個地理分類群的發展。此外，在描述這三個分類群過往族群量的變化上，我們發現連續下降模型的表現優於其他模型，這結果指出這三個族群的規模

都有持續下降的趨勢。我們的結果雖然沒辦法看到棲地破壞程度與锹形蟲族群量變化的相互關係，但卻與近期在全世界各地的研究發現一致：全球昆蟲的生物多樣性正在持續下降，即使在保護區內的昆蟲族群也不例外。需要強調的一點是，我們的研究結果並不是說保護區的設立沒有實際效果，也不是說人為開發對昆蟲族群沒有影響。準確來說，在多方因子的考量下，我們的結果顯示：在台灣生活的昆蟲族群與世界上其他地方的族群一樣，牠們的多樣性都是一直在減少，這是全球一致性的現象，而在這個全球化趨勢的影響下，地區性的差異就沒那麼明顯（例如：是否身處在保護區內）。對於昆蟲多樣性的永續經營，也許我們需要擬定一些與脊椎動物不一樣的保育政策。

利用基因體的資料，我們更进一步的發現這三個锹形蟲分類群的有效族群量很低（約為11。可以對比黑面琵鷺的有效族群量約為6）。在理論上，這種大小的族群量是無法維持一個物種的遺傳多樣性，在未來，牠們也非常有可能無法適應全球氣候變遷所帶來的新環境：也就是說這三個分類群在未來的各自絕滅概率很高。我們需要盡快且及時地想出更合適的保育方法，否則這種在每年昆蟲季節開幕被廣告宣傳的台灣明星甲蟲（三月底四月初：每年第一個開始活動的明星甲蟲），很可能今後再也見不到了。

基因體資料和族群遺傳學模型已經可以廣泛應用於非模式生物的保育研究中。然而，在對保育政策進行評估與建議之前，比較性的研究方法（Comparative methods）

應該被引入。具體來說，試驗設計不僅要研究目標物種對人為事件的反應（如：森林砍伐與昆蟲族群量變動的關係），還應該與未受人為干擾的相近族群做比較（如：森林未遭砍伐與昆蟲族群量變動的關係）。如此客觀的比較後，我們才可以避免對某些歷史事件產生偏頗的推論（如：昆蟲族群量僅在有被砍伐的森林才會有明顯下降），並提出最適的永續經營方案。我相信比較保育基因體學（Comparative conservation genomics）可以被有效地應用在許多生物及生態系統的研究中，並有助於推動物種保育與其相關的社會經濟活動。

參考文獻

1. 羅友徹，碩士論文，指導教授：楊平世，共同指導教授：陳郁蕙。國內寵物昆蟲市場活體甲蟲利用現況及活昆蟲輸入檢疫和輸入後管理策略研究。
2. Mattia De Vivo, Min-Hsun Chou, Shu-Ping Wu, Yi-Hsiu Kuan, Wei-Yun Chen, Liang-Jong Wang, Brett Morgan, Guan-Jie Phang, and Jen-Pan Huang (2023) Genomic tools for comparative conservation genetics among three recently diverged stag beetles (Lucanus, Lucanidae). *Insect Conservation and Diversity*, 16, 853-869.

後記

關於黃腳深山鋤形蟲族群遺傳分化及全球環境變遷對其族群量變化影響的文章已於2023年底（11月）正式發表於英國皇家昆蟲學會經營的昆蟲保育及多樣性期刊。我們將以此結果推薦合適的保育策略。

作者簡介



黃仁磐

中央研究院生物多樣性研究中心副研究員，密西根大學生態演化學博士，專長為物種界定、物種分化、生態及保育基因體學。我的研究系統包含甲蟲、地衣及蘭花。我們研究室成員的興趣多樣，包含鱗翅目小蛾、鐵線蟲、虎甲蟲及蜘蛛等等。