

氣候變遷下生物多樣性研究的重要性及展望

◎臺灣大學生態學與演化生物學研究所·李玲玲

前言

生物多樣性是指地球上所有的生命形式，包含基因、物種、生態系三個層次，與其相互的關聯。生物多樣性對人類的生存與發展至為重要，因為它不僅提供人類衣食住行所需的物資，醫藥保健、農林漁牧、工商業發展所需的原料，開發新作物品系、禽畜育種、其他產品的基因資源，科學、文化、精神、美學、創意的刺激與靈感，更提供了調節氣候，淨化空氣、水源，過濾、分解、去除污染物與廢棄物，促進養分循環，為植物與農作物傳授花粉，控制害蟲和疾病，減緩洪水、乾旱、極端溫度和大風災害影響等多項服務，以及自然適應變化的能力。

然而，自上個世紀以來，全球生物多樣性，包括各類生態系都面臨日益加劇的氣候變遷、各類擾動(洪水、乾旱、野火、蟲害、海洋酸化)和人類導致的環境變化(土地利用、污染、過度利用資源、外來入侵種等)的衝擊。這些衝擊將可能造成生物多樣性的流失、生態系組成的改變，繼而影響生態系的功能以及生物多樣性提供人類的各種物資和各項服務，甚至威脅到人類的存續與發展。因此研究及預測氣候變遷對生物多樣性的衝擊，以及生物多樣性受衝擊後的變化與反應，以妥善規劃因應對策，對於人類的生存與發展十分重要。

氣候變遷對生物多樣性的衝擊

氣候變遷，包括大氣中CO₂濃度的增加，氣溫升高，降雨模式的改變，及水患、

乾旱及風災等事件發生的頻度與強度增加等環境因子的變化，對生物多樣性的衝擊，主要在於直接影響生物的生理調適，包括光合作用，呼吸作用，蒸散作用，分解作用，固氮作用等速率與效能的改變，進而影響生態系中物質循環、能量流動，植物的初級生產量、生長及開花結實等物候，連帶影響利用植物的動物及其他生物。

由於不同物種對環境因子的耐受範圍不同，當環境因子發生改變時，有些物種可能因為更適合新的環境條件而得以取得生存優勢，甚至擴張分布範圍；有些物種則會逐漸調適演化適應新的環境因子而留在當地，或藉由播遷分布到環境較適合的地區繼續生存；但是更多的生物可能因為無法即時調適，或遷移到適當的地區而數量減少、分布縮小，甚至滅絕。因此氣候變遷可能導致一地物種組成、數量、分布的變化，而這些變化有可能進一步影響各地生態系內原有的競爭、捕食、共生或寄生等互動關係，而導致更多物種的消失。

根據政府間氣候變化專門委員會(IPCC)於2007年針對氣候變遷提出的第四次評估報告中，第二工作組報告「氣候變遷：衝擊、適應、脆弱度」(<http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg2.htm>)的第四章「生態系特質、所提供的物資與服務」指出，氣候變遷對生態系的衝擊與影響主要包括：

陸域生態系中一些主要的碳庫(carbon stock)極易受到氣候變遷與土地利用的衝擊，如果情況不變或惡化，這些碳庫原本碳吸存的能力可能在2100年前達到飽和，繼而轉而

成為碳源，包括海洋原本緩衝的大氣中溫室氣體增加的能力也會達到飽和。

當地球平均溫度上升超過2-3°C時，20-30%已被評估的動植物物種，滅絕的危機會顯著升高，而目前的保育措施並無法因應這種可能的變化。

當地球平均溫度上升超過2-3°C時，25-40%陸域生態系的結構與功能將有顯著的改變。其中非洲和南半球的旱地可能因氣候變化而受惠，但中高緯度的森林地熱帶生態系則會受到負面的衝擊。

當地球平均溫度上升超過2-3°C，伴隨著大氣中CO₂濃度增高時，海洋和其他水域生態系的結構與功能將有顯著的改變。氣候變化與海洋酸化將衝擊浮游和底棲生物，其中對南半球海域和冷水珊瑚衝擊最大。海冰的快速消失更影響許多依靠海冰為棲地的生物。熱帶與亞熱帶內陸水域的水質、生物多樣性、生態系提供的物資與服務也會受到影響。

不同的生態系對於氣候變遷的反應不盡相同，其中受氣候變遷影響威脅較大的生態系包括珊瑚礁、海冰、高緯度生態系(北方森林)、山區生態系和地中海氣候區。威脅較小的則包括草原、沙漠。但真正的影響程度仍有其不確定性。

衝擊預測的不確定性

然而預測氣候變遷對生物多樣性與生態系的實際衝擊與反應的時間，會因為下列幾項主要的不確定性影響其準確度：

首先氣候模式預測氣候變遷的不準度，以及與氣候變遷同時發生的各類擾動(洪水、乾旱、野火、蟲害、海洋酸化)和人類導致的環境變化(土地利用、污染、過度利用資源、

外來入侵種等)的交互作用，對於生物多樣性與生態系的總合衝擊程度與影響不確定。例如：非洲乾旱地區未來植物生長與植被變遷，受降雨量、分布和變異度的影響很大，但是不同模式的預測差異頗大。此外，許多全球尺度的研判都顯示，2050年以前，土地利用變化是造成陸域生物多樣性損失的主因，氣候變遷的影響主要在人類較少活動的地區，例如苔原、北方針葉林、沙漠、草原等，才較為明顯。

其次，氣候變遷下生物與生態系的回饋反應與適應極限研究不足，例如溫度升高，CO₂施肥作用，在水分、養分供應充足的狀況下，可能使植物光合作用效率增加，初級生產力提昇。但當CO₂施肥作用達到飽和後，全球水陸域植物的碳吸收能力會達到極限，尤其是全球濕地、泥地、永凍土、苔原富冰黃土(yedoma)等隨氣溫升高，釋放甲甲烷的量逐漸增加，陸域生態系中一些主要的碳庫，反而成為碳源。由於目前已知生態系對日益加劇的外在壓力的反應是非線性的，許多生態系開始的反應並不明顯，而當壓力超過閾值後生態系的反應就會相當劇烈，甚至可能導致生態系的崩解。但是所謂適應極限的閾值為何，個別與總和環境壓力下生態系耐受的閾值是否相同或如何不同？現今都沒有足夠的研究來確認。

此外，現有預測模式本身有許多限制待改進。IPPC報告指出，目前預測未來氣候變遷對物種與生態系衝擊時，主要是結合氣候包絡模式(climate envelop modeling)和全球植被動態模式(dynamic global vegetation modeling, DGVMs)模擬的結果。氣候包絡模式又稱為生態區位(niche-based)或生物氣候

(bioclimate)模式，是以個別物種的分布資料結合氣候資料為基礎，所以可以提供氣候變化下各物種分布的改變等量化的資料，但因尚未納入族群變動或遷移的資料，所以無法做區域層級或大範圍變遷的預測。DGVMs則是以少數幾類分布範圍大，對環境的耐受廣度也較大的優勢植物功能群的分布與氣候變化的關係作為模式的基礎，所以適於做大範圍變遷的預測，但無法掌握個別物種或對環境變化較敏感物種的反應。兩類模式各有其優點與限制，因此在預測未來氣候變遷對物種與生態系衝擊時，兩類模式也有無法預測或是預測的趨勢相反的情形。

優先研究

為降低上述不確定性，IPCC建議全球尺度下，應優先進行的研究包括：檢驗模式的預測與實際觀察結果，以修正與提昇模式預測的準確度；繼續發展模擬生物相和氣候、擾動、其他人類影響因子之交互作用更有力的模式，以預測這些因子對生物多樣性的總合影響；提昇對生物多樣性與生態系服務耐受度的瞭解，並確認哪些主要環境因子會影響決定生態系提供功能與服務的組成分子；以及整合耐受度分析，以了解在土地利用改變與氣候變遷壓力下，如何進行適應性管理，以保存生物多樣性和維護生態系服務的功能。

我國生物多樣性相當豐富，但對生物相及生態系在氣候變遷下的反應所知極為有限，因此加強此方面之研究與監測工作，預測未來可能的氣候因子變化，包括季節變化及災變性氣候頻率及強度的變化，研究生物及生態系對氣候變化的耐受度及反應，建立

氣候與生物關係之模式，以預測氣候變遷下物種與生態系之變化趨勢，及規劃適當之經營管理措施等均十分重要。因此建議應進行之研究工作項目包括：

1. 調查並建立物種及生態系之分布、組成與結構等基本資料，研究生態系之功能及對氣候變遷之反應，尤其應加強長期、大尺度、區域性的比較研究。
2. 確認影響本土生態系之主要氣候因子，配合進行物種及生態系耐受度分析，以找出對氣候變遷最敏感或最早有反應之物種(例如蝴蝶、兩棲類)，生態系(例如濕地、高山草原)或資源(例如水資源)，作為監測氣候變遷及其影響之指標，追蹤其變化。
4. 建立氣候與生物相關模式，模擬預測生態系在氣候變遷下之反應，以利規劃因應策略所需研究與資料收集的優先順序。
5. 加強對乾旱、水災、颱風等異常氣候及野火、病蟲害發生頻度、強度、影響之了解，並儘早規劃經營管理策略。

此外，由於各類生態系極可能持續受到氣候變遷、各類擾動和人類導致的環境變化的衝擊，除被動地監測個生態系的變化，生態系經營者可以更積極地提昇生態系的耐受度。基本的因應策略就是「事先防範原則(precautionary principle)」，減少對生態系負面衝擊，包括棲地破壞或零碎化、污染、引入外來入侵種、過度利用、優養化、沙漠化、酸化等。並且研究如在考量氣候變遷可能導致生態系組成、分布的改變，規劃保護區系統，並協調公私部門共同有效管理保護區外的區域，建立地景尺度的生態連結，以保存生物多樣性和維護生態系服務的功能。⊗