

Look Down ! 看見土壤生物多樣性保育的重要

◎林業試驗所育林組副研究員·王巧萍(cpwang@tfri.gov.tw)

◎國立臺灣大學科學教育發展中心執行長·賴亦德

全球共同的知識缺口：土壤生物多樣性

當今的人類正面臨各種全球性的挑戰，包括糧食安全、氣候變遷、貧困、營養不足和疾病，而這些問題都與土壤是否能永續經營，有密切的關係。2020年末，由全球300多位土壤科學家共同完成的『土壤生物多樣性知識現況：現狀、挑戰和潛力』(State of knowledge of soil biodiversity – Status, challenges and potentialities)終於出爐，報告中除了介紹土壤生物多樣性的知識現況以及其所面對的威脅，也說明土壤生物多樣性在農業、環境保護、氣候變遷調適、人類健康，以及醫藥和污染補救等問題上，能提供的解決辦法。希望藉此提高人類對土壤生物多樣性的認識，並突顯土壤生物多樣性在解決當今全球環境威脅的重要性。2021年四月，聯合國農糧組織(FAO)更召開全球土壤生物多樣性研討會，希望研討會的成果可用於支持土壤生物多樣性保護行動，以利推動《世界土壤憲章》(the World Soil Charter)以及《永續土壤管理自願準則》(the Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management)。

然而，這本厚達六百多頁的土壤生物多樣性知識現況報告，並非各國土壤生物研究成果的結案書，而是土壤生物多樣性功能保育的起步。因為相較於脊椎動物物種有較深入的研究數據，進而可據以制定促進保護陸生、海洋和其他水生生態系的永續利用政策，相對的，佔地球所有生物至少四分之一以上土壤生物

(幾乎均為無脊椎動物)，不僅資料有限，相關的研究投入也嚴重不足。由2020年世界野生動物基金會(WWF)公佈倫敦動物學學會(ZSL)所發表的地球生命力指數(Living Planet Index, LPI)來看，我們可以想像，如果由全球科學家從1970至2016年所監測的近21,000個哺乳類、鳥類、魚類、兩棲爬蟲類等野生動物族群，平均LPI下降了68%，那麼長期被忽略的土壤生物，狀況可能也不會好到那裡去。

研究門檻高 + 不受重視 = 資料奇缺

從1992年地球高峰會簽署《生物多樣性公約》以來，雖然生物多樣性議題日漸廣為人知，但土壤生物多樣性卻像個被遺忘的黑盒子。十年過去，2002年生物多樣性公約締約國的第6次會議中，在土壤學界爭相走告與強力呼籲下，才促成FAO推動『國際土壤生物多樣性保育與永續利用倡議』(International initiative for the conservation and sustainable use of soil biodiversity)的決議。然而，全球土壤劣化的速度卻絲毫沒有減緩，從聯合國環境署(UNEP)國際土壤文獻與資訊中心(ISRIC)1990年的估算，全球因人為而退化的土壤面積佔約15-17%，時至2015年FAO所公佈的『世界土壤資源狀態』(Status of the world's soil resources)，全球地表呈現中度到高度劣化的土地面積已高達的33%。雖然學者警告，世界許多地區土壤生物多樣性的流失，已成為主要影響人類生存的全球性威脅之一，但土壤生物多樣性的功能依然沒有受到應有的重視。



圖1 蚯蚓是代表性的土壤動物，也是台灣研究較為全面的土壤動物類群(賴亦德 攝)



圖2 盲蛇，常見的土壤脊椎動物，以螞蟻幼蟲和白蟻為主食(賴亦德 攝)



圖3 土壤動物中常見的馬陸及其糞便，可加速有機質分解過程(賴亦德 攝)

全球土壤生物多樣性資料的不足，主要原因是研究的難度高。土壤是由空氣、水、無機礦物與有機質所構成的非封閉性、極為不均質、不穩定、生物多樣性極高的生態系統。對比於透明空氣裡的陸生生物，和水域中可以打撈甚或被機器監測的水生生物，土壤不均質又不透明的本質，使研究基礎生態與生活史的生物學者難以下手或興趣缺缺。再加上長期以來，土壤學的研究多集中在與作物生產息息相關的土壤物理、化學及微生物，這三者間複雜的交互作用，更是讓非土壤專長的生物學家卻步的一大門檻。參與相關研究的生物學家太少，加上研究難度高又隱密不可見，以致多數土壤生物的生態功能鮮為人知外，也使土壤生物多樣性無聲無息的流失。

當務之急：建立土壤生物多樣性資料庫

人類的活動與操作方式是土壤功能消長最重要的驅動力。當土地利用型態改變，除了直接衝擊土壤物理結構和各種化學性質外，也使土壤食物網的組成結構和生物多樣性產生巨大的變化。無論是土地流失(包括土壤沖蝕及人造不透水表面，如瀝青、水泥、磚造、鋪石及硬實化等)、沙漠化、鹽化、酸化、養分枯竭以及各種污染所導致的土壤劣化，都直接衝擊到土壤生物的組成與結構，而危及土壤生物多樣性的生態系服務功能。要維持土壤生態

系服務的功能，並解決土壤生物多樣性流失的問題，最有效的手段，就是建立國家級乃至全球尺度的土壤生物多樣性資料庫，並據此制定土壤經營與管理計畫的規範或建議。

目前全球土壤生態學家正積極投入研究制定可靠的綜合指標，來建立土壤生物多樣性現況的基本資料，並評估土壤生物多樣性流失的風險。然而，至今僅極少數國家在其生物多樣性評估中，有專責涉及土壤生物多樣性的報告；另有一些國家，則以間接連結到土壤生物群系當作評估，而能在國土資訊系統中持續將土壤生物多樣性包含在內的國家，更是鳳毛麟角。目前，只有歐盟的區域性土壤監測系統，將土壤生物多樣性列為關鍵組成，也就是說，全球絕大多數國家，都缺乏土壤生物多樣性的評估數據。這也是為什麼FAO在面對資料非常粗略的『土壤生物多樣性知識現況：現狀、挑戰和潛力』報告時，只能不斷呼籲各國政府，將土壤生物多樣性調查列為土壤調查與繪製土壤圖時的必要項目，更鼓勵土壤科學家能加強研究，並投入協助民眾對土壤生物多樣性知識的理解。

除了土壤生物多樣性資料不足外，在國際、歐盟、各國或地區層面，也都缺乏專門針對土壤生物多樣性保育的法律或法規。這除了反映出人們普遍對土壤生物多樣性及其價值缺乏認識，也展現出該議題的複雜性。



圖4 土壤中無所不在的蜱蟎類，此為堆肥中常見的甲蟎
(賴亦德攝)

然而，無論農業、森林、水、氣候、都市與各種環境政策，都涉及土壤生物多樣性，但全球只有極少數國家通過有關土壤保護的專門立法(截今，臺灣主要關注的仍以土壤的污染防治為主)，或以促進無害環境的耕作等相關法規(例如臺灣2018年立法通過的有機農業促進法)作為間接的解方。

臺灣土壤生物多樣性研究現況

土壤生物多樣性所探討的範圍，除了肉眼不可見細菌、真菌等微生物外，還包括在生態學研究上常依體型大小作為分類的小型(microfauna，如原生動物、線蟲)、中型(mesofauna，如蜱蟎、跳蟲)及大型(macrofauna，如蚯蚓、白蟻、乃至盲蛇和鼯鼠等脊椎動物)土壤動物。在分類學上則涵蓋了原生動物門、扁形動物門、線蟲動物門、軟體動物門、環節動物門、節肢動物門和脊索動物門。這些全期、周期或部分生活史在土壤中進行的動物，除了改變土壤的物理結構，驅動陸域生態系的養分循環，調控著土

壤有機質、碳吸存及溫室效應氣體的排效，更與植物病蟲害的生剋習習相關。然而，臺灣在土壤生物多樣性的相關研究，不意外的可說極為貧乏，不僅生物學上的研究有限，這些動物與土壤物理、化學及微生物間交互作用的探索，更是寥寥無幾。

過去，臺灣的相關研究多著重在大型土壤動物類群，其中又以體型較大的、功能也相當為人所知的蚯蚓，以及同屬大型土壤動物的社會性昆蟲螞蟻和白蟻為最。雖然過去三十年來臺灣在蚯蚓的系統分類研究領域上相對成熟，但對蚯蚓的基礎生態與生活史研究依然屈指可數。近年來學界亦開始利用代謝物和穩定同位素等工具探究蚯蚓食性和功能群，進一步探究蚯蚓在土壤生態系統中的角色。螞蟻與白蟻則是另二類在臺灣土壤生物多樣性研究上有較全面且系統性、延續性的土壤動物，不過，主要也是集中在種類、數量與生物量等系統分類與基礎生態相關的主題。至於其他大型土壤昆蟲如蟋蟀、螻蛄、蜚蠊、蠨蛛，乃至居住土裡的金龜科幼蟲(蛴螬)、蟬若蟲、蚊蠅虻蛆等，至多僅為零散碩士論文，尚不見全面且持續的深入研究。

除了上述昆蟲綱的大型土壤動物外，多足綱的蜈蚣和馬陸目前僅涉及系統分類研究，基礎生態與生活史研究依然等待有心人投入。節肢動物門蛛型綱的蜘蛛則受惠於該類群的系統性研究，使土壤蜘蛛的多樣性與基礎生態已累積相當資料；然而同為蛛型綱之捕食者如蠍、鞭蠍、擬蠍，系統分類及多樣性研究恐謂尚未起步。同樣的，大型土壤動物中體型更加龐大的土壤脊椎動物，如盲蛇和鼯鼠，即使在校園、花園中並不少見，

在臺灣也僅有零星研究，尚未觸及其在土壤生態系統中的功能和角色。

大型土壤動物相的研究已顯不足，體型不足1cm的中型和不及0.2mm的小型土壤動物相關研究則更是貧乏闕漏。其中，屬於中型土壤動物且近乎無所不在的土壤蟬蟎，過去受到的關注僅止於作物病害相關類群，包含植食致病性和做為天敵防治的捕食性種類。有幸，臺灣近年來已有學者開始在蟬蟎類投入大量心力進行系統分類和生態研究，在可見的未來或可擴及土壤蟬蟎類群。同為中型土壤動物亦近乎無所不在的跳蟲，因對作物罕有負面影響而多年來無人理睬，所幸臺灣學界終於開始關注土壤跳蟲，在釐清舊分類系統是否有待修正之餘，也開始研究跳蟲的食性和功能群，跨出臺灣本土跳蟲多樣性和功能群的重要一步。

最後，身為小型土壤動物、在土壤營養循環亦扮演重要角色的土壤線蟲，在臺灣的相關研究一直極度偏重在導致作物病害的類群，非病害相關的土壤線蟲恐無人聞問數十年，其多樣性與生態功能幾近一無所知。近



圖5 紅跳蟲，土壤裡無所不在的跳蟲類群中較大型的類群 (賴亦德 攝)

年來有學者與國外團隊合作，透過全球和臺灣各地線蟲相的研究，建立史上首個預測全球每平方公里線蟲族群密度與食性群相的高解析度地圖，發現土壤線蟲與土壤碳排放密切相關；亦有臺灣學者為研究線蟲捕捉菌和線蟲的分佈與互動，發現超過三分之二的臺灣土壤樣品均可同時分離出線蟲與線蟲捕捉菌。即使有上述研究成果透露臺灣的土壤線蟲過去不為人知的角色，但這也僅是杯水車薪，對土壤線蟲整體而全面的理解依然貧乏。

結語

土壤生物多樣性及其提供的生態系統服務，可說是2020年所宣佈的『聯合國生態系復育十年』(UN Decade on Ecosystem Restoration 2021-2030年)和即將召開的『2020年後全球生物多樣性框架』(Post-2020 Global Biodiversity Framework)最重要的成敗關鍵。而土壤生物多樣性也終於成為許多國際政策組織聯盟(包括聯合國的永續發展目標 Sustainable Development Goals, SDGs)和各個橫跨多邊環境協定的關鍵核心主題。因為人類目前所面臨的大多數問題，基本上都可以藉由建構有利於土壤生物多樣性的環境來取得緩解，而且是從田野現場到全球範圍都有效且真正以自然為本的解決方案(Nature-based Solution, NBS，指由國際自然保育聯盟 The International Union for Conservation of Nature (IUCN)所定義的「可有效且能調適的應對社會挑戰，同時提供人類福祉和生物多樣性效益，為永續管理和恢復自然或改造的生態系統的保護行動」)。系統性、全面性的土壤生物多樣性研究，亟需政府的重視與學界義無反顧的投入。♻️