

不想錯過你— 三種土壤無脊椎動物採集法 之成效

盧勇仁^{1*}、張容慈¹、王巧萍¹

著名的海洋學家及海洋生物學家雅克-伊夫庫斯托(Jacques-Yves Cousteau)曾說，人類對於海洋的認識，遠不及對太空的認識。然而近年來的研究發現，人類對土壤以及一大群在土壤裡生活的生物的認識，也可能不及對海洋的瞭解。過去人類對土壤動物的關注，主要是集中在會取食植物組織的植食性類群，因其不僅直接影響植物的健康與生長，也常引發植物疫病，而被視為需要控制的病蟲害。但近年來，土壤本身即被視為一種生態系，不難想像生活在土中不起眼的無脊椎動物不會只有人類視為害蟲的植食性類群，而是擁有各個食性位階分屬不同功能群的複雜群集。這促使生態學家更關注於會直接影響分解作用與養分循環的碎食性動物、可調控各類族群動態的肉食性動物、透過捕食等影響微生物族群的食菌性動物，以及這些不同功能群動物間的交互作用。



架設好之掉葉式陷阱
(盧勇仁 攝)

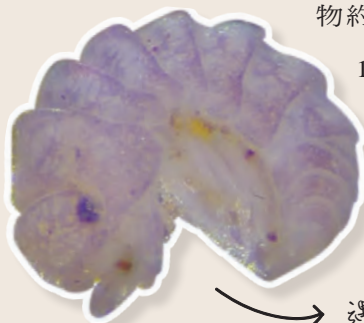
¹ 林業試驗所育林組

* 通訊作者(yungjenlu@gmail.com)

重要的土壤無脊椎動物

土壤無脊椎動物的物種多樣性和豐富度，已日漸成為評估土壤生態系健全的指標；某些對於汙染物敏感的物種，甚至可作為環境評估的指標生物。土壤動物的組成和活動，或直接或間接的影響著土壤的物理、化學與生物性質。例如最廣被大眾所熟識的蚯蚓及白蟻等大型土壤無脊椎動物，在土裡食住與移動的過程，使得土壤孔隙率提高20~100%，不僅有利於空氣和水分在土壤中透過孔隙流動，促進植物根系的生長，小型無脊椎動物也能棲息或活動於孔洞之中。或如，枯枝落葉及其他生物殘骸隨著風吹日曬及微生物的分解作用而完成養分的回歸，但透過土壤無脊椎動物啃食的碎屑化及消化作用，將加速分解過程，同時促使養分回歸與循環。而透過土壤無脊椎動物的生物擾動(bioturbation)，土表有機質等營養得以被帶到較底層的土壤中。雖然土壤動物對陸域生態系的種種生態過程(ecological processes)有著重要的調控功能，但相較於其他動植物而言，人類對土壤無脊椎動物的了解仍非常有限。據計，至今已被描述的土壤無脊椎動物

物約僅佔其總數的10%，許多新被發現的物種，多僅能處理至科級階層的分



遇到危險時會將身體蜷曲起來的球鼠婦



類群，且大多無法簡易的來判斷是屬於那個功能群。

採集土壤無脊椎動物的意義

採集土壤無脊椎動物的首要目的，是要了解特定地區的物種組成和分佈情況；而系統性的採集和鑑定，不僅是為了建立物種名錄或評估生物多樣性，更能用於探討牠們與環境因子、植物、其他動物以及微生物之間相互作用。例如，從農業生產的角度來看，了解土壤無脊椎動物與土壤肥力、農作物生長及疫病之間的關係，已是提高農業產量和永續經營的新課題。而對於其他陸域生態系而言，提高土壤無脊椎動物及其棲息地保護的認識，對於維持生物多樣性和生態系統的穩定，也都深具意義。總而言之，有效且準確的土壤動物採集與分析，是構建土壤生態學新理論模型，或

驗證土壤無脊椎動物生物多樣性在營養循環、土壤結構形成、促進植物生長、減緩植物疫病等功能最重要的基石。

土壤無脊椎動物調查方法的困境

相較於地上部無脊椎動物可以目視法進行調查，或是利用昆蟲對於光線、氣味的偏好與活動習性等，架設燈光、氣味陷阱、攔截板或馬氏網等方式進行採集，土壤不透明的本質、生活在土中的動物多畏光且體型微小，以及生活史與習性不明等，都使土壤無脊椎動物的調查與研究更顯困難。目前中小型土壤無脊椎動物的調查方法，主要以萃取法及掉落式陷阱為主。前者是將土壤及土表的枯落物取回後，用柏氏漏斗萃取其中的動物；掉落式陷阱則有不同大小型式及導板，以因應不同的採集目標類群並增加採集效率。枯落物蒐集及掉落式陷阱對於棲地干擾較小，而土壤採樣屬破壞性調查，在研究地空間範圍有限的情况下，並不適用於長期監測的複查方式。

在臺灣為數不多的土壤無脊椎動物研究報告中，所使用的採集方法視研究目標及對象而大同小異。例如在探討落葉分解與土壤無脊椎動物組成與密度的關係時，多使用枝葉包(litterbag)法；而在森林的地區性調查或是棲地環境差異比較時，則多同時以掉落式陷阱法加些土壤樣品或枯落物搭配柏氏漏斗或落葉袋來萃取。然而相較於廣大山林，臺

灣的都市林等公園綠地因空間小、露面的土壤有限，且與民眾活動區域高度重疊的情況下，難以進行長期的重複性土壤採集，因此大多只能以掉落式陷阱調查活動於地表的節肢動物。

比較不同採集法的動機

無論是將萃取出來的土壤無脊椎動物清洗分類，或是後續的物種鑑定，都是非常耗費人力的工作。在有限的研究資源下，若能找出一種能相對涵蓋最多種類群的取樣方法，除可減少調查的人力與物力成本外，也能提高研究效率。因此，我們嘗試比較3種取樣法所調查到的類群間的差異性，並探討枯落物收集法以及掉落式陷阱這兩種對棲地干擾較小、可用於長期監測的採集方式，是否能夠取代破壞性的土壤採集。其中土壤採集法(soil core)係以直徑5cm、高5cm的不鏽鋼管採集表層0~5cm深的土壤，枯落物(litter)收集法則以直徑20cm的不鏽鋼環定面積將鋼環內枯落物全數取回，在實驗室中用柏氏漏斗加以萃取。柏氏漏斗由鎢絲燈泡、濾網、漏斗及裝有酒精的罐子所組合，藉由燈泡的微熱將土壤與枯落物逐漸烘乾，期間土壤無脊椎動物為閃躲乾熱而向下移動掉入裝有75%酒精的罐子中。這兩種有定面積的取樣方法都可估算族群密度。無法估算族群但可定期重複取樣的掉落式陷阱(pitfall)，則是將裝有10 ml 70%酒精的50 ml離心管垂直埋

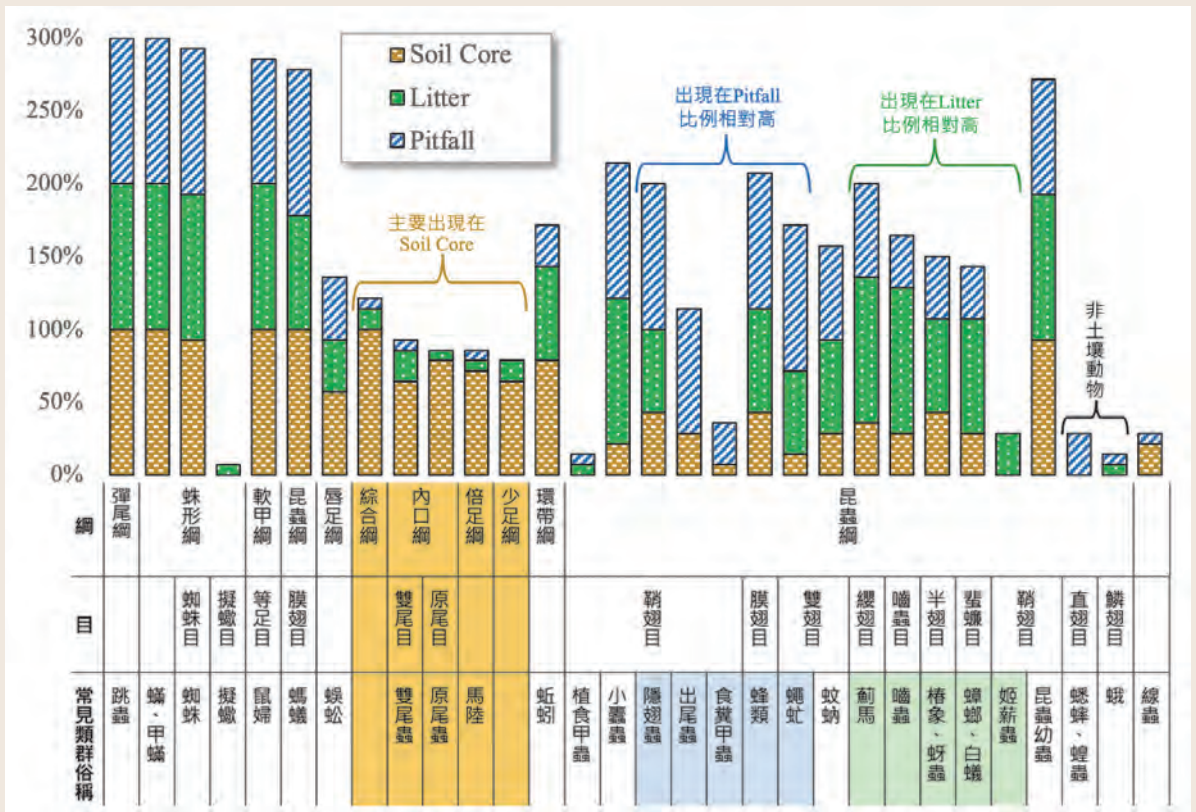


圖1 不同類群於三種採集法之採獲頻度 (盧勇仁 製)

進土中，管口力求與地面齊平且，且與土壤的接觸面間無縫隙，以收集在地面活動的動物。陷阱以72小時的努力量後回收。所有動物均保存於75%酒精中，以解剖顯微鏡將物種鑑定至綱級或目級，部分昆蟲綱則鑑定至科級。

不同類群要用不同採集法？

從臺北植物園固定的20個樣點以上述3種採集方式進行14個月的調查，我們總共捕獲24個類群、35845隻無脊椎動物樣本(土壤採集法5456隻、枯落物法16721隻，掉落式陷阱法13668隻)。分析後發現，三種方法都

能有效取得彈尾綱以及蛛形綱中蟎蟎亞綱與蜘蛛目，但其他土壤動物類群則各有較有效率的取樣方法。其中綜合綱、少足綱、雙尾目及原尾目幾乎只出現在土壤中(圖1)。這與德國多足動物學家Voigtländer研究團隊在2016年的研究類似，顯示這些雖然偶爾也能在枯落物裡調查到的類群，主要還是偏好棲息在土壤中。

三種取樣法都能取得蟎蟎亞綱及彈尾綱，各方法的捕獲頻率也都差不多，因此在非常粗略的調查或沒有進一步分類的需求時，看似可以用較不具破壞性的枯落物收集法及掉落式陷阱法來取代土壤採集。不過，

早在1965年就有學者在溫帶針葉樹林中發現，枝葉層及不同深度的土壤中所採獲的甲蟎種類其實並不相同。墨西哥甲蟎分類及生態學者Harol及其研究團隊在2022年墨西哥農地及山區土壤的調查也發現，甲蟎物種的組成會隨著土壤深度而有所差異。1998年，捷克土壤生物學家Rusek在探討彈尾綱生物多樣性及其生態功能的研究中指出，在表層活動的跳蟲應使用掉落式陷阱採集，枯落物收集法的效率偏低，且跳蟲有可能在收集落葉過程中跳出而導致資料失準。而丹麥自然史博物館名譽教授Petersen在2002針對跳蟲形態及生態等研究後，根據跳蟲體型大小、取食偏好及棲息環境等，將跳蟲分為棲息於土壤表面和落葉層中(epedaphic)及居住在土壤中(euedaphic)兩大類群。挪威土壤生物多樣性學者Pommeresche與農藝學教授Loes於2014年的研究中，則是按照其外觀形態、是否具有花紋、小眼數量等，發現大多數的長角跳蟲目(Entomobryomorpha)及癒腹目(Symphyleona)僅在表層活動，而跳蟲目(Poduromorpha)則棲息於土壤之中。也就是說，無論蟎類或是彈尾綱，可能都無法用單一的取樣方式來滿足更細膩深入的研究需求。

昆蟲綱的土壤動物主要出現在地表，因此兩種低破壞性取樣法均相當適用。唯因掉落式陷阱常使用酒精以現地立即保存動物樣本，但酒精與花果腐熟發酵物相似，而成為誘引劑，致使蜂、蠅虻及腐食性的出尾

蟲等有更高的出現頻度，建議未來相關研究可使用異丙醇。而不受酒精所吸引的蕪馬、嚙蟲、椿象及蟋蟀等，則以枯落物收集法所得捕獲頻度較高。至於同為鞘翅目的各類群中，出尾蟲及食糞性的糞金龜只出現在掉落式陷阱及土壤中；以真菌為食的姬薪蟲則僅能在枯落物中採獲。兩種地上型採集法對小蠹蟲及隱翅蟲的效果差異不大。

從我們的研究結果看來，以綱級或目級之分類位階而言，大多數的土壤無脊椎動物應該可以枯落物收集法和架設掉落式陷阱同時進行以取代土壤採樣，唯有倍足綱、綜合綱、少足綱、原尾目及雙尾目只能仰賴土壤採集。

不同採集法抓到不同的蜉蟎

由於臺灣過去在相關的分類學研究，多著墨於對衛生及農業造成危害之類群為主，土壤蟎類生物多樣性之研究相對不足。在資料有限的情况下，以致僅能將採集到之蟎類處理至亞綱位階。在長達14個月的監測中，一共累積了15,572隻的蜉蟎亞綱樣本數。近年受惠於國際交流頻繁，在日本蜉蟎大師島野智之教授協助下，本研究團隊始能將蜉蟎亞綱分類至亞目，因此我們從臺北植物園這20個樣點中隨機取其中一樣點，嘗試將該樣點14個月累積的蟎類個體進一步分析至亞目，以瞭解不同採集法所採得之類群是否有所差異。

結果發現，在該樣點14個月所累積的376隻蟎中，224隻來自枯落物法，124隻由土壤中採得，而掉落式陷阱僅28隻(圖2)，顯見掉落式陷阱對於體形微小的蟎類的調查效率較差。在物種組成上，枯落物及土壤中的族群組成結構相似，均以隱氣門亞目的甲蟎(Oribatida)為主要類群，而掉落式陷阱則為中氣門亞目(Mesostigmata)為主。三種採集法所捕獲的中氣門亞目個體量相當，但異氣門亞目(Heterostigmata)及無氣門亞目(Astigmata)則多出現在枯落物法。

由於中氣門亞目均為肉食性，推測該類群有移動捕食或尋找寄主等需求，因此較其他類群更容易被掉落式陷阱所捕捉。但同樣具有肉食性成員的前氣門亞目以及隱氣門亞目，在本研究中僅由土壤及枯落物法採得，而未如中氣門亞目的捕食性蟎類一樣需要較頻繁的移動而出現在掉落式陷阱中。不知是因為這兩大亞目中的肉食性成員比例較低，還是本研究所採獲之個體剛好都無肉食性的類群，則有待更進一步的分類才能得知。⊗

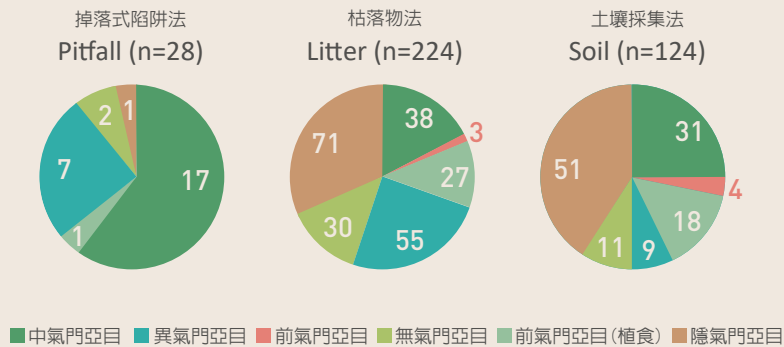


圖2 三種採集方式採獲蟎類之物種組成及個體數 (盧勇仁 製)

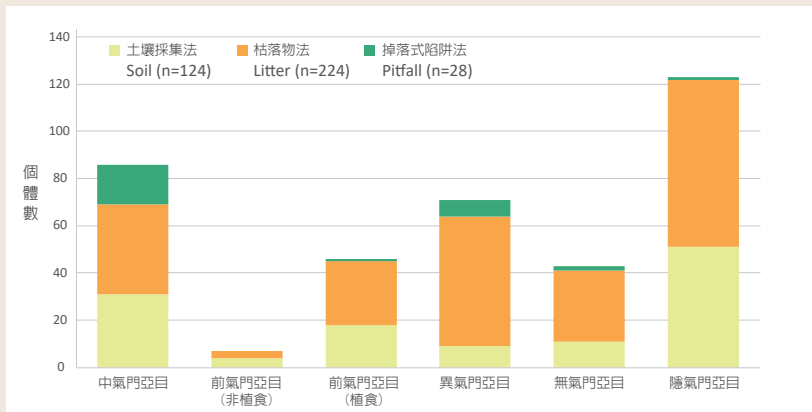


圖3 各類群於三種採集法採獲之個體數 (盧勇仁 製)