



甲蟎生物學及其應用：從國際研究進展檢視臺灣研究潛力

盧勇仁、王巧萍*

林業試驗所育林組 10005 臺北市南海路 53 號

* 通訊作者 email: cpwang@tfri.gov.tw

收件日期：2024 年 1 月 7 日 接受日期：2025 年 3 月 4 日 線上刊登日期：2025 年 3 月 28 日

摘 要

甲蟎 (Oribatida) 廣泛分布於全球多種陸域生態系統中，通過分解有機物和促進微生物活性，在養分循環及土壤結構維持上扮演重要角色。其族群結構和多樣性已被證實為評估土壤健康的關鍵指標。臺灣擁有地形多變與地質結構複雜、植物組成多樣等獨特的環境條件，具潛力探索甲蟎的分類、演化及生物地理學的重要地區。然而臺灣的甲蟎研究多集中於山區的零星記錄，且仍限於形態分類，缺乏分子生物學和生態功能的研究。國際間刻正發展利用甲蟎作為指標生物以評估環境變遷對土壤健康影響，據以支持生態保育及土地管理策略的制定。然而臺灣因缺乏甲蟎生態及功能群等研究，對其棲地環境偏好等尚待探索，故無法進行相關應用。鑑此，本文回顧國內外甲蟎相關研究，了解臺灣甲蟎分生資料庫建立之必要性，加強不同棲地及土地利用之多樣性調查、使用穩定同位素等技術進行生態功能研究以及將甲蟎應用於土壤健康之評估，為日後研究之目標。透過這些基礎與應用研究的結合，期能提升台灣在甲蟎研究領域之能見度，並與國際科學發展接軌。

關鍵詞：甲蟎、土壤有機質、指標生物、K-選擇理論、文獻回顧。

前 言

甲蟎屬蛛形綱 (Arachnida)、蟎蜱亞綱 (Acari)、疥蟎目 (Sarcoptiformes)、甲蟎亞目 (Oribatida)，體型小僅 0.3~2 mm (Behan-Pelletier and Lindo, 2022)。其主要棲息於陸域生態系統的土壤，以及能提供有機質的地衣、苔蘚、樹皮、潮間帶的藻類等微棲地等，只有不及 1% 的為純水棲物種。甲蟎強大的適應力也表現在種類繁多、數量龐大的高密度上，是多數陸域生態系裡中小型土壤動物中數量占比最高的節肢動物 (Gergócs and Hufnagel, 2009)，森林中每平方公尺可達 2 萬至 20 萬隻 (Erdmann *et al.*, 2012)。無論以有機碎屑或真菌為

食，甲蟎皆能直接或間接促進落葉分解與養分循環速率，在維持土壤生態系功能中扮演重要角色。

近年的研究發現，不同類群的甲蟎不僅食性不同，其與微棲地環境化學的交互作用 (如 Ca、重金屬等) 等生物特質，顯示其對環境變遷與生態復育具指標性價值 (Gergócs and Hufnagel, 2009)。在《昆明-蒙特婁全球生物多樣性框架》下，全球土壤生態學家正積極投入建立土壤生物多樣性基本資料，研究制定可靠的綜合指標以評估土壤生物多樣性流失的風險，甲蟎因此成為國際間關注的重要研究類群。檢視臺灣現有的土壤小型節肢動物報告，雖多可發現甲蟎的相關記錄，但主要多為地區性之甲蟎多樣性調查，且集中在中高海拔地區 (Aoki 1990,

1991, 1995b; Chu and Aoki, 1997; Ermilov and Liao 2017, 2021b)。甲蟎體型小，即便其他調查研究計畫中採集到甲蟎樣本，在缺乏相關分類學者情況下無法進行鑑定，亦無法建立起相關基礎資料，導致臺灣甲蟎研究的遲滯。目前國際上甲蟎研究多集中於溫帶與寒帶森林環境，對亞熱帶及熱帶的研究相對不足，臺灣擁有多樣地形、海拔高度落差大等因素，提供絕佳的自然實驗場域，可補足全球不同氣候帶中甲蟎多樣性及生態功能的知識空缺。同時，透過深入研究甲蟎在不同生態系統（如次生林、果園與都市綠地）中的群落組成與生態角色，不僅能豐富基礎生態學知識，亦有助於環境監測之應用與土地管理，強化臺灣在全球生物多樣性研究之地位。

甲蟎的生物學與生態角色

(一) 食性

長期以來，甲蟎被認為是腐生性或食菌性動物，主要是以枯落物在分解後的有機碎屑或其上面真菌為食。然而隨著技術進步，透過其胃內含物 (Behan-Pelletier and Hill, 1983; Hubert *et al.*, 2001)、口器形態學 (Kaneko, 1988; Perdomo *et al.*, 2012)、碳水化合物分解酶 (Siepel and de Ruiter-Dijkman, 1993)、DNA 分析 (Remén *et al.*, 2010) 及穩定同位素 (Maraun *et al.*, 2023) 等方法，已確認部分甲蟎物種為肉食性的捕食者 (Norton *et al.*, 1996; Heidemann *et al.*, 2011)。另外有部分物種為植食性 (Lehmitz and Maraun, 2016)、甚或專食藻類或地衣 (Maraun *et al.*, 2023)。甲蟎的食性及其功能群可能與其口器或其他形態特徵有關，捕食性物種可能有較小的螯肢以捕捉線蟲，而以落葉等有機物為食的初級分解者，則有強壯且結實的口器用以咬碎有機物。Perdomo *et al.* (2012) 研究顯示，因初級分解者需要更大力量來咀嚼枯落物，捕食者則仰賴更快的速度來捕捉獵物，因此從捕食者到次級分解者再到初級分解者，三者的口器形態及螯肢的槓桿能力變化很大，且這形態變異與穩定同位素特徵 (氮-15 及碳-13) 相關。釐清及建立甲蟎形態特徵及食性之間的相關性，有助於詳細理解形塑甲蟎演化的因素。

(二) 生活史與繁殖方式

甲蟎的生活史多長達一年以上，唯其幼期與成蟎的時間並不等長，自卵至成蟎可能僅需數週，成蟎則可存活一年以上，部分種類甚至可達數年。許多研

究發現即便同一科的甲蟎，發育時間也會有很大差異 (Pauly, 1956; Hartenstein, 1962; Luxton, 1981)。與大多數的節肢動物一樣，甲蟎發育的期程與環境溫度有關。由 Ermilov and Lochyńska (2008) 的觀察指出，溫度的升高將縮短幼期的時間，提早進入成蟎階段。甲蟎的族群大小也因此隨著溫度及濕度而變，成蟎數量在春季最高，秋季數量則較少；幼蟎數量在早春、夏末及冬季均會出現高峰 (Anderson, 1975)。

甲蟎主要行有性繁殖，另外推測約有 10% 之種類為孤雌生殖 (Norton *et al.*, 1993)，甚至有部分科別中，被認為孤雌生殖較有性繁殖更為常見 (Heethoff *et al.*, 2009)。孤雌生殖的甲蟎具有通用基因型 (general-purpose genotype)，能使其適應多變的環境，廣泛分佈在各種陸域環境當中 (Maraun *et al.*, 2022)。且高適應能力的孤雌繁殖方式，亦有利於甲蟎在受擾動之區域重建族群，因此適合作為汙染監測及土壤環境評估之指標生物。演化上，甲蟎的孤雌生殖可能為留存的古老特徵，部分物種可能透過演化而重新獲得有性繁殖的模式，挑戰了演化為不可逆過程的 Dollo's 定律 (Maraun *et al.*, 2004)。該定律由古生物學家 Luis Dollo 提出，指的是一旦某些複雜結構或是繁殖模式等在演化過程中消失，便無法再重新透過演化而獲得。Domes *et al.* (2007a) 研究發現更進一步證實，Crotoniidae 科的甲蟎的祖先原為孤雌生殖，但某些物種重新演化出有性生殖。這除了挑戰長期以來對於演化路徑不可逆的傳統認知，也表示祖徵有可能在長期的演化過程中被保留，直到特定環境下再重新出現。對後續演化研究上提供了新的思維，也讓學界聚焦於甲蟎及輪蟲等其他行孤雌生殖的動物在有性繁殖與孤雌生殖間的轉換機制。

(三) K 選擇理論 (K-selection theory) 動物

Crossley (1977) 指出，甲蟎生活史特徵、繁殖率低等特徵，符合所謂的 K 選擇理論型動物。這類動物壽命較長，在穩定的環境中能更有效利用資源；而當環境變得惡劣或有劇烈波動時，則透過延長繁殖週期、減少子代數量的繁殖策略，來度過不利的生存環境 (Norton, 1994)。此外，Norton 認為，甲蟎的低繁殖率並非僅僅是對環境壓力之適應，主要係取食之食物影響，倚賴腸道微生物來幫助消化導致能量轉化效率低，還有體型小能量儲存有限等生理限制之約束，進而產生發育緩慢、繁殖率低等與 K 選擇理論動物相似之生物特徵，也因此被 Behan-

Pelletier and Lindo (2022) 視為非典型的 K 選擇理論動物。而甲蟻低繁殖率、多次繁殖、壽命較長及明顯的防禦特徵等，這些都使得甲蟻得以在穩定的環境中維持相對一定的族群。其中低代謝率與長生命週期使甲蟻對於持久性汙染物，如農藥、重金屬等特別敏感，因此適合用來作為環境監測之指標生物 (Lebrun and Straalen, 1995)。

(四) 甲蟻的擴散 (dispersal) 機制

移動是最基本的動物行為，關係到動物對於棲地的利用方式、與同種動物的互動、逃離天敵及獲得食物等 (Wilson *et al.*, 2015)。甲蟻的移動能力最早是由 Nicolet (1855) 進行測定，他記錄不同種甲蟻每分鐘移動距離，發現不同種類甲蟻其移動能力差異甚大，像是 *Nothurus horridus* 每分鐘僅移動 0.9 mm，而 *Damaeus auritus* 每分鐘則可以移動 57 mm。雖然甲蟻被形容為四處漂泊的動物，但主要生活在土壤環境中的甲蟻，移動時會遇到土壤顆粒、有機物和團粒間的阻力，所以行動能力非常的差。例如 Berthet (1964) 使用放射性標記來追蹤數種甲蟻在土壤中移動能力，發現不同種甲蟻移動能力從每日 2~20 mm 不等，且當土壤溼度提高時，甲蟻移動能力隨之增加。Ojala and Huhta (2001) 以一 60 × 40 × 10 cm 盒子進行甲蟻擴散速率實驗，並依此推算出甲蟻在森林土壤中每年移動最長約 1~8 m，30 年內擴散距離約 20~120 m。甲蟻類群移動擴散速度差異，導致族群於新棲地開拓及定殖能力亦有差異，Hågvar *et al.* (2009) 於挪威一處正退縮的冰川研究，指出部分種類在冰川退縮 30 年後出現，大多物種則需要 100 至 200 年才會出現。這些能夠先行出現的物種多半體型小且行孤雌生殖。

甲蟻除了主動移動外，還能利用生物或非生物載體進行被動擴散。許多研究證實甲蟻會透過風進行長距離的傳播，特別是樹棲性的種類 (Karasawa *et al.*, 2005; Lindo and Winchester, 2009)。Lehmitz *et al.* (2011) 由架設在離地 0.5 m 至 160 m 的捕蟲器所捕獲的甲蟻物種，搭配氣象資料的分析結果發現，風速、風向、濕度以及氣溫均會影響利用風力移動的甲蟻種類。水則是另一個甲蟻用來進行大尺度移動的非生物載體，甚至可能利用洋流等拓殖到新棲地，例如 Lindo (2020) 在加拿大海灘發現來自日本的甲蟻物種，認為甲蟻具有跨洋播遷的能力。

藉由搭其他生物便車來進行攜播 (phoresy)，是甲蟻常見的行為。從文獻中不同種類的甲蟻

(Norton, 1980)、盲蛛 (Townsend *et al.*, 2008)，甚至是兩棲類的青蛙 (Beaty *et al.*, 2013) 身上的非寄生性甲蟻看來，甲蟻的攜播行為似乎是隨機且無專一性。而為了瞭解甲蟻的非風力傳播方式，Cordes *et al.* (2022) 在瑞典比較針葉林、落葉林、混交林、草地與沼澤/荒地等 5 種棲地以馬氏網調查 3 年的研究結果發現，甲蟻在乾暖的季節擴散的活躍程度較高。該研究採集到的甲蟻多數為棲息於樹木、地衣及苔蘚上的種類，而非典型的土棲性類群，且可能多來自周圍的地區性棲地藉由風力、昆蟲帶入陷阱，亦或是自行爬入。這意味著甲蟻較少進行遠距離之擴散外，自主移動或透過攜播而擴散，對生活於地上部的甲蟻比土棲性者更顯重要。

(五) 甲蟻在生態系統中的功能角色

甲蟻物種繁多且功能群豐富，在有機物分解及生態系養分循環的過程中扮演重要角色，並直接或間接影響土壤的形成及維持土壤結構 (Behan-Pelletier, 1999)。其主要作用方式為，甲蟻取食植物枯落物及其他有機碎屑，將枯落物細碎化、增加表面積，有利更多微生物及真菌能夠附著上去，因此促進了微生物的分解活動 (Maraun and Scheu, 2000)。落葉的加速分解使養分釋出而加快其生態系中循環的速率，進而促進植物生長 (Mehring and Levin, 2015)。此外，食菌性甲蟻在取食過程中控制了微生物及真菌族群數量，亦間接影響有機物的分解作用及養分循環 (Lindo and Winchester, 2007)。甲蟻的多樣化食性亦使其維持食物網穩定，並提升生態系統的韌性。在 Maraun *et al.* (2023) 所分析的物種中，約只有 1/3 的物種其營養棲位 (trophic niche) 在不同樣區間是固定或變化很小，另 2/3 的甲蟻物種中的營養棲位在不同的棲地間明顯不同，有些物種甚至改變了營養位階，顯見甲蟻的食性具可塑性。當環境發生變化時，甲蟻可以透過改變食性來適應環境，維持族群穩定。Schaefer and Caruso (2019) 以 CO1、18S 及 28S 分析檢視甲蟻親緣關係後發現，甲蟻自古生代起其多樣化的食性及營養階層 (trophic level) 便已形成。且隨著不同地質年代植物的演化，甲蟻物種多樣性亦隨之增加，而這兩者的交互作用反映了地上與地下生態系統的緊密連結。

國際上甲蟻研究之進程

(一) 過去以形態特徵為主要分類依據

甲蟻身體可分為前體部 (proterosoma) 及後

體部 (Hysterosoma)，前體部由前背板 (prodorsum)、顎體區 (gnathosoma) 及感覺器官，後體部則由背板 (notogaster) 覆蓋大部分體節。分類上常檢視前背板、背板、足、體壁顏色紋理及結構突起。前體部具有口器及觸肢，甲蟎口器用以攝取食物，其形狀、大小和構造與其食性或有關係，例如 *Gustavia microcephala* 為食菌性甲蟎，其針狀口器前端具有鋸齒狀邊緣，用來在真菌子實體上製造傷口再吸食。頭部觸肢用以感知周遭環境，觸肢節數、末端形狀及觸肢上毛的著生位置亦為分類依據。另外在頭部背側後方左右具有一個盅毛 (bothridial seta)，為震動或重力感知器 (Colloff and Niedbała, 1996)，其基部結構、長短及形狀為科級或屬級的分類特徵 (Alberti *et al.*, 1994; Ermilov and Minor, 2015)。

甲蟎背板通常呈現橢圓形，但部分類型具特定形狀可作為鑑定特徵，例如 *Brachychochthonius* sp. 其倒梯形的背板為該屬的特徵。背板上毛的數量、著生位置和排列，在科級與屬級等有區別性。此外，背板上毛的形狀也是種類的鑑別依據，像是 *Pterochthonius angelus* 背板上的毛特化為具有網格之片狀結構。部分甲蟎背板中央兩側各有一個後體腺 (opisthosomal gland) 亦稱油腺 (oil gland) 的構造，後體腺的有無及開口的形狀亦能用以鑑別類群，例如 *Hermanniella punctulata* 及 *H. aristosa* 後體腺開口突起且呈現茶壺狀。除了頭部與背板，甲蟎的第一至第四步足其末端的爪的數量及形態變異，亦是用以判斷科或屬的重要特徵 (Pfungstl, 2023)。

在科、屬等級的分類鑑定後，由於背板剛毛的數量有限，因此在進行甲蟎物種分類時，多需使用到後體部腹面之形態特徵，其中包括腹板 (ventral plate)、生殖板 (genital plate)、肛板 (anal plate) 及肛板周圍的毛列。卷甲蟎科 (Phthiracaridae)、中卷甲蟎科 (Mesoplophoridae) 等具有內摺疊機制 (ptychoidy) 的類群，可依腹板形狀做為種或屬之辨識特徵。生殖板及肛板其形狀及兩者之間的距離，是形態分類常用的特徵及量測數值；而肛板附近的剛毛 (anal and adanal setae) 數量、著生位置及形狀，更是甲蟎物種重要的辨識依據。除此之外，部分種類甲蟎體壁上具特殊紋理，像是 *Nothrus bicilatus* 其背板具有網狀花紋、*Eremulus avenifer* 背板前側有許多細小突起並聚集成帶狀。而部分甲蟎背板或腹板有較大的突起或凹陷，在特定的科或屬中有分類意義，例如 *Grypoceramerus acutus* 背

板前側左右類似人肩部位置具有巨大且銳利的角狀突起、*Fosseremus quadripertitus* 背板左右前後各有一個明顯凹陷，形成一橫躺的 H 形隆起結構 (Grandjean, 1965)。

由於成蟎的形態特徵相對穩定和完整，因此甲蟎分類通常以成蟎的形態特徵進行，能更準確地鑑定物種。幼蟎及若蟎因為形態上尚未發育完全，缺少完整的腹板和生殖構造，其毛列的數量、分布模式及板片結構等會隨著發育階段而變化 (Walter and Proctor, 2013)。

(二) DNA 條碼 (DNA barcoding) 技術對甲蟎鑑種的重要

許多外部形態或解剖構造上相似的物種，無法以傳統仰賴特徵進行分類方式來區分，而成為隱蔽種 (cryptic species)。近年來，隨著分子生物技術的發展與普及，DNA 條碼 (DNA barcoding) 技術已廣泛應用於甲蟎鑑定與演化結果。Schäffer *et al.* (2019) 以 CO1 檢視了 106 隻 *Cymbaeremaeus cymba* 這種廣布於歐洲的甲蟎個體，發現 *C. cymba* 其實包含了 8 個分子上明顯分化的隱蔽種，並於該文獻上發表了 6 個新的物種並為 *C. cymba* 指定 1 個新模式種。他們還發現，其中來自同一棵樹幹最常共現 (co-occurrence) 的兩個物種，因缺乏基因交流，不只生殖上隔離為不同物種，從偏好取食的地衣來看，作者也推測這兩種甲蟎在微棲位 (micro-niche) 早已存在生態上的差異，只是從外觀上無法判識。另一個例子是俄國學者以 CO1 檢驗俄羅斯 124 隻分屬 72 個屬的 110 個甲蟎物種標本的結果，除了證實 CO1 在甲蟎物種鑑定上的有效性外，而他們也據此將許多形態相似但分子結果明顯差異、或形態上被分開但實則基因上相似的物種，在演化樹上重新排列 (Ge *et al.*, 2024)。

上述甲蟎分子生物分析的研究經驗顯示，以傳統的分類技術可能忽略了甲蟎在生態、生殖及行為上的適應性，並低估了它們的生物多樣性。也因此近十年來，有越來越多的研究採用各種分子技術和標記來解決蟎類在演化、分類或系統上的問題 (Yang and Li, 2017; Klimov *et al.* 2018)。對比過去蟎類進行傳統形態分類時需要將樣本製作成玻片標本再個別鏡檢，DNA 條碼技術能快速且大量地進行鑑定降低時間人力成本。雖然今日在田間實務上對於分生技術尚未有所需求，但在歐盟為了食品安全與環境保護所推動的 2009/128/CE 政策影響力與日俱增之下，對於造成農損的葉蟎 (tetranychids) 或生物

防治使用的植綫蟎 (phytoseiids)，皆要求須先進行物種鑑定 (Hurtado *et al.*, 2008)，以評估化學藥劑處理的經濟效益 (Pascual-Ruiz *et al.*, 2014)；或在施行綜合害蟲防治 (Integrated pest management, IPM) 時，能將植綫蟎投入使用 (Jaques *et al.*, 2015)。這類的工作，都需建立在明確的物種分類之上。在防治蟲害及減少農損方面都有其時效性的情況下，DNA 條碼技術的投入將有助於在第一時間處理蟲害以達到減少損失之成效。

(三) 以化學分泌物進行物種分類

甲蟎背面兩側的油腺，會分泌含有碳氫化合物、萜類、芳香族化合物及生物鹼等防禦及傳遞訊號用的化學物質。例如，甲蟎受到騷擾時會釋放橙花醛 (neral) 或檸檬醛 (geranial)，用以警示周遭的同類 (Rasputnig, 2006)。Rasputnig *et al.* (2009) 在探討甲蟎 Camisiidae 科油腺退化的演化趨勢中發現，隨著演化過程，甲蟎的油腺大小、分泌物成分以及數量上逐漸減少。隨著油腺的退化，這些甲蟎更傾向於物理防禦機制，例如讓體表附著土壤顆粒來形成偽裝和增加保護，這現象尤以 *Camisia* 屬更為常見。隨著甲蟎的演化，其分泌物也跟著特化成可區別物種或類群的特異性，而成為分類的一種方式。例如，Rasputnig and Föttinger (2008) 針對 *Archezogozetes longisetosus* 和 *Collohmanna gigantea* 兩種甲蟎後體腺分泌物進行分析的結果發現，分泌物的化學成分在二個物種間存在穩定的差異。

雖然以油脂分泌物進行分類僅適用於部分類群，但其化學成分過去曾被用於探討甲蟎的演化與親緣關係，其中最著名的例子是無氣門小目 (Astigmata) 分類層級的變動。Berlese (1913) 依照形態特徵 (螯肢結構、體壁硬度)、繁殖行為 (授精方式)、生活史 (高繁殖能力、生長發育速度較快、壽命較短) 以及選擇以寄生方式取得高蛋白質的食物來源等生物特徵，將 Astigmata 歸為亞目 (suborder) 階級，與甲蟎亞目同列為疥蟎目下的二個亞目。然而 Norton (1994) 從 Astigmata 與甲蟎有多個相同衍徵性狀 (apomorphies)，因而提出 Astigmata 可能為甲蟎演化的一個分支，並認為應該將其降級至小目 (parvorder) 階級。隨後 Norton (1998) 指出共有 14 個相同衍徵性狀，可支持無氣門小目起源於軟背甲蟎總科 (Malaconothroidea)。Sakata and Norton (2001) 在分析無氣門小目及甲蟎的油腺分泌物發現，無氣門小目分泌物的成分與較後期才分化出來的甲蟎 (*Perlohmanna* 屬)

分泌物成分相似，而與較早分化出來的甲蟎其油腺分泌物的化學成分差異性較大，因此以油腺分泌物之成分來看，亦支持無氣門小目應為甲蟎其中一個演化分支的說法。

(四) 分子技術應用於甲蟎研究

除了 DNA barcoding 技術外，國際上利用分子生物技術進行的甲蟎研究逐漸增加，為理解甲蟎之演化、生殖、生理功能及環境適應提供新的視角。Meibers *et al.* (2019) 針對南極的甲蟎 (*Alaskozetes antarcticus*) 採用次世代 RNA 定序 (next generation RNA-sequencing, RNA-seq) 技術，研究不同發育階段和性別之間的基因表現變化。發現甲蟎能通過調控與耐寒性相關的基因如抗凍蛋白、熱休克蛋白等，來適應極端環境。研究另外指出，甲蟎幼期表現較多與生長、細胞分裂及組織發育相關之基因，而生殖、成蟎階段免疫反應及環境適應相關的基因則較多於成蟎時期表現。Brandt *et al.* (2021) 對無性繁殖甲蟎 *Oppiella nova* 及其有性繁殖之近親 *O. subpectinata* 進行全基因組定序 (Whole Genome Sequencing, WGS) 和單核苷酸多態性 (Single-Nucleotide Polymorphis, SNP) 分析，發現 *O. nova* 個體內的基因變異高於族群間變異，不但驗證了梅賽爾森效應 (Meselson Effect) 也表示該物種已長時間進行無性繁殖，挑戰傳統認為長期無性繁殖會導致基因組崩壞的理論。Brückner *et al.* (2022) 就廣泛應用於實驗室的甲蟎模式物種 *Archezogozetes longisetosus* 進行全基因組定序，除了是第一個完整解析甲蟎基因組研究外，還找到該物種具有多個細胞壁消化酵素基因，幫助消化真菌及有機碎屑。該研究還發現這種假蟎的基因中有來自細菌與真菌的水平轉移基因 (Horizontal Gene Transfer, HGT)，能幫助甲蟎消化植物細胞壁及真菌幾丁質，亦能增強其生存適應能力，使其在低資源之環境生存。這些研究不僅加深對於甲蟎的認識，也為親緣關係、生態學、生物演化、環境適應及基因工程等提供未來研究方向。

(五) 以穩定同位素分析甲蟎之食性

近年來穩定同位素使用在土壤無脊椎動物食性偏好及營養棲位分析，其中又以跳蟲為常見之實驗對象 (Ferlian *et al.*, 2015; Potapov *et al.*, 2021; Lux *et al.*, 2024)，針對甲蟎的穩定同位素研究則相對有限。Maraun *et al.* (2023) 整合了 25 篇以穩定同位素 ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 與 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) 及生態化學計量法分

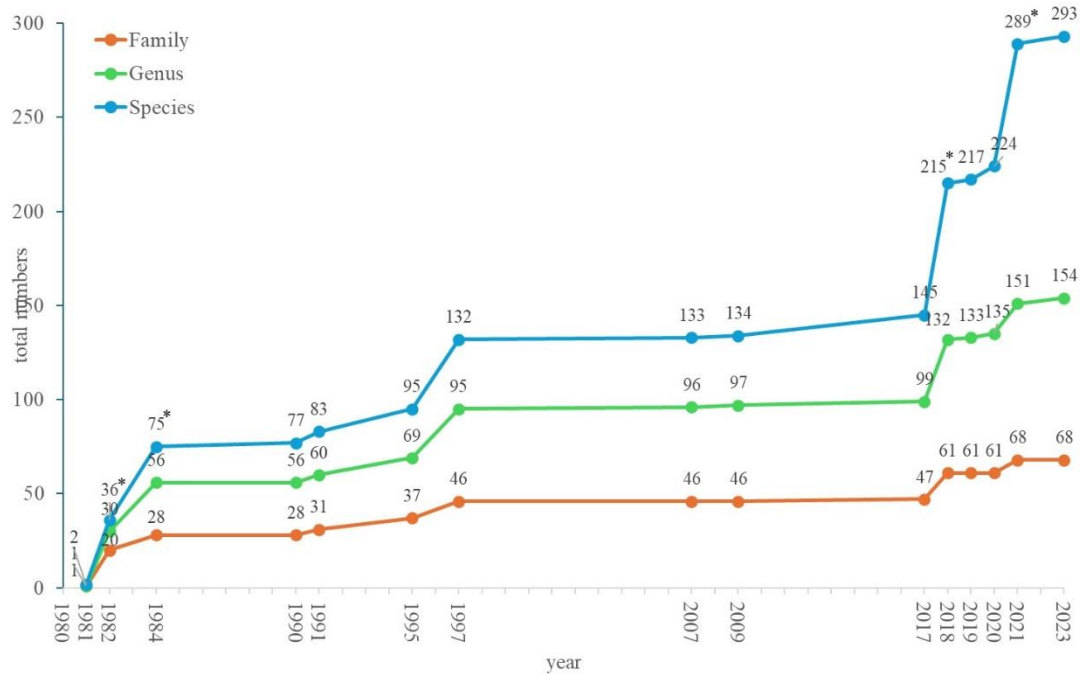
析來自 30 個地區共 292 個甲蟎類群的結果證實，甲蟎為非常明顯橫跨各個不同營養階層的多功能類群，其中 27.0% 為初級分解者、43.7% 為食菌性的次級分解者、15.7% 被歸類為捕食者/清道夫，其餘的分別是以地衣 (4.9%)、苔蘚 (2.1%) 或海藻 (0.7%) 為食，另有一個特別在外骨骼中累積 CaCO_3 的類群 (6.1%)。釐清及建立甲蟎形態特徵及食性之間的相關性，有助於詳細理解形塑甲蟎演化的因素。值得注意的是，因為甲蟎的單隻生物量實在很小，要能應用穩定同位素進行物種功能群的分析，至少同一類群需要 0.1~0.3 g 的生物量 (Maraun *et al.*, 2011; Crotty *et al.*, 2014)，因此克服處理大量樣本的時間耗損，並準確的依型態進行分類，仍是最基本的必要工作。

(六) 甲蟎在生態功能研究及應用性

甲蟎的族群結構、物種多樣性及密度受地上部植物特性、氣候、棲地微環境、土壤有機質含量、化學組成、酸鹼度及其他土壤生物組成，以及人為的擾動與土地利用方式所影響 (Corral-Hernández *et al.* 2016; Pan *et al.* 2023)。Maraun and Scheu (2000) 研究甲蟎密度和族群結構與環境類型間關係指出，北半球溫帶落葉林由於穩定的氣候及豐富的有機質，故擁有最高的甲蟎多樣性。而總密度在含有豐富有機質如針葉林和冷杉林的土壤中較高，在人為改造的環境如農田、牧場，則顯著降低。Schneider and Maraun (2005) 發現德國溫帶森林甲蟎物種豐富度和多樣性極高，可能與該地區真菌高多樣性有關。Maraun *et al.* (2007) 則指出，甲蟎物種多樣性從北方針葉林地區向南方逐漸增加，但熱帶地區並未顯著增加，這與一般熱帶地區之生物多樣性高於溫帶地區情況相反。Sylvain and Buddle (2010) 於加拿大魁北克探討四種不同森林類型對甲蟎族群結構的影響指出，山毛櫸和針葉樹林的分解速度較慢，其累積的林床較厚，提供充足的棲息地和食物來源，也因此總豐度上是針葉>山毛櫸>楓>落葉混交，而物種多樣性則山毛櫸和針葉>楓>落葉混交，且物種組成上亦不相同，唯楓樹及和落葉混合林分的物種組成有部分重疊。Erdmann *et al.* (2012) 在德國三個地區的四種森林研究甲蟎密度、多樣性和族群結構差異則發現，枯落物品質為調節甲蟎密度的重要因素。酸性土壤雖然不直接影響甲蟎，但酸性環境會讓其他土壤無脊椎動物減少，間接有助於甲蟎族群的穩定。三個地區間甲蟎群落的結構的差異比林型間的差異更鉅，顯示地區間的溫

度及降水差異對土壤濕度及微環境的影響更關係著甲蟎的生存和繁殖。而 Zhang *et al.* (2015) 於中國貴州比較常綠闊葉天然林與人工針葉林之甲蟎密度及組成發現，常綠闊葉天然林的甲蟎種類數及個體數較多，而人工針葉林之甲蟎多樣性最高。Noske *et al.* (2024) 比較德國的純林及混和林中土壤甲蟎多樣性和功能性狀，發現單一純林的甲蟎其多樣性顯著高於混合林，顯示純林的環境可能更支持甲蟎產生功能性的分化。相較於林地類型，分化現象更顯著地受到樹種影響。

應用須建立於分類及生態等基礎研究上，青木淳一 (Jun-ichi Aoki) 博士長期專注在甲蟎分類且命名日本近半數甲蟎物種，並依此基礎發展以甲蟎作為指標生物的方法 (Shimano, 2011)。Aoki (1979) 提出以甲蟎之科級或屬級作為生物指標的評分法，根據科或屬對環境之耐受度分成數個等級，以取得該環境之自然度 (naturalness) 即人類干擾之程度。Aoki (1983) 提出 MGP 分析法，將甲蟎分成三個大類群並以該類群的首字命名，以族群結構評估這三類群的組成比例，進行環境評估。隨後，Aoki (1995a) 改進 1979 年提出之評分法，根據甲蟎物種對環境變化敏感度分成五個等級，提出 100 種甲蟎物種系統 (“100 oribatid species” system)，由甲蟎物種反映環境變化，搭配物種等及與物種數進行計算，以取評估環境之自然度。農業生態系統是人類生活與自然環境互動之重要場域，土壤健康及生態平衡對於糧食安全、生物多樣性及永續經營具影響力。Behan-Pelletier (1999) 研究指出，不同的耕作方式、農藥施用等農業活動均會影響甲蟎族群結構，例如高度擾動的長期耕作模式下，甲蟎族群多樣性低，僅剩下對擾動適應力強的類群存活。而低擾動的農業能維持較高的甲蟎物種多樣性，且有助於生態系統的穩定。而 Gergócs and Hufnagel (2009) 點出農業系統中，甲蟎受到乾旱及有機質含量變動，像是施肥或灌溉等農業活動，其多樣性和豐度將會下降，因此可作為指標生物來監測土壤健康及環境變化。Zhan *et al.* (2012) 分析比較不同耕作方式下，中小型土壤節肢動物的族群結構及分布，發現低擾動的耕作方式使土壤具有較高之保水能力，進而提高土壤節肢動物多樣性。甲蟎也可用以評估空氣及土壤污染的指標，Lebrun and Straalen (1995) 探討甲蟎在生態毒理學 (Ecotoxicology) 研究的應用潛力，發現部分種類甲蟎 (如 *Humerobates rostromellatus*) 對於二氧化硫及二氧化氮特別敏感，不同甲蟎對重金屬累積之耐受性不同，如



圖一 臺灣甲蟎研究於不同年份所發表之科級、屬級與種級數量。年份為該篇文章發表時間，而非採集時間。*表示因分類更動，文獻中列出之部分物種因同物異名而整併，圖中科、屬、種數量參考臺灣物種名錄 TaiCOL 資料進行統計，而非以該發表中物種清單。

Fig. 1. The number of families, genera, and species of oribatid mites published in Taiwan during different years. The year refers to the publication date of the article, not the collection date. * Indicates that some species listed in the literature were processed as synonyms due to taxonomic revisions. The numbers of families, genera, and species in the chart are based on the information from the Catalogue of Life in Taiwan (TaiCOL) rather than the species lists provided in the publications.

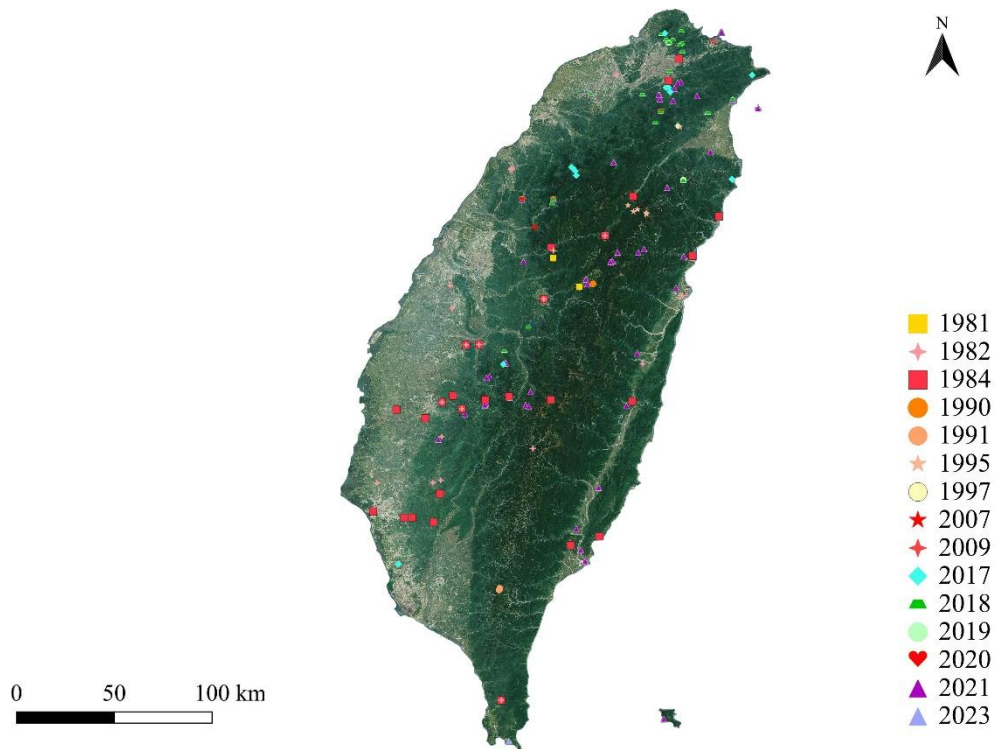
Platynothrus peltifer 可忍受高濃度的錳，*Steganacarus magnus* 則可耐受鎘及鉛，但重金屬均會減少其卵的產量進而降低其繁殖率。後續研究亦表明，不同物種其對於不同重金屬之耐受度不一，顯示甲蟎可作為土壤污染的重要指標 (Zaitsev *et al.*, 2001; Migliorini *et al.*, 2005)。

臺灣甲蟎分類及多樣性研究現況

本文盤點臺灣甲蟎相關文獻，依發表各年代發表的新種數量或是科屬種分類階層匯整如圖一，並繪製臺灣過去曾經進行調查之樣點 (圖二)。臺灣甲蟎研究起始自 1980 年代，早期調查以物種紀錄與形態分類為主，始於 Summers and Schuster (1981, 1982) 發表於採自霧社及八仙山甲蟲身上的甲蟎；而後曾義雄 (Tseng 1982, 1984) 於中華昆蟲期刊 (現為臺灣昆蟲 *Formosan Entomologist*) 所發表的臺灣數十個甲蟎新紀錄種及新種。其後青木淳一參與臺灣高海拔土壤動物研究隊及與朱耀沂合作研究分別發表了採集自臺灣南湖大山、秀姑巒山及北大武山等高海拔地區及福山植物園森林落葉層及腐

植層的甲蟎，當中記錄數種新紀錄種、新種及新亞種 (Aoki 1990, 1991, 1995b; Ohkubo 1995; Chu and Aoki, 1997)。之後 10 年臺灣甲蟎研究可說幾近停擺，只有零星於山區及潮間帶發現之新種發表 (Niedbala, 2007; Bayartogtokh *et al.*, 2009) 與中部山區落葉層的蟎類相調查 (Ho *et al.*, 2008)。隨後臺灣甲蟎研究停滯了近二十年，直到 Ermilov and Liao (2017) 在整理 2009~2010 年採集紀錄後，陸續與多人合作透過形態描述所發表數個新種及新紀錄種 (Ermilov and Liao, 2018a, b, c, 2020, 2021a; Niedbala and Ermilov, 2021; Ermilov and Jäger, 2023)。Ermilov and Liao (2021b) 則根據自 2017 至 2019 年的調查，重新盤點了甲蟎在臺灣的區域性分布。

整合現有得文獻可知，臺灣的甲蟎研究多以物種多樣性調查及形態描述的分類為主，其中 6 篇文獻為地區性之物種多樣性調查，分類及形態描述等則有 21 篇，尚缺乏生態、生物地理、演化及親緣關係等研究。這 6 篇甲蟎多樣性調查主要為中高海拔區域，像是福山、南湖大山、雪霸國家公園武陵園區、惠蓀林場、玉山塔塔加及北大武山，低中海拔之次生



圖二 臺灣 (含離島) 曾進行甲蟎調查的樣點。1997 年以前無 gps 資訊，因此以文獻提及地點之地區行政中心、研究中心或國家森林遊樂區為標記地點。

Fig. 2. Sampling sites where oribatid mites surveys were conducted in Taiwan (Including Offshore Islands). The GPS data were not recorded in the references published before 1997; therefore, locations are marked on administrative centers, research facilities, or national forest recreation areas mentioned in the literature.

林及其他土地利用方式之區域並未進行過物種調查，使得甲蟎物種分布資料有所空缺，在生物地理學研究尚無法開展進行。此外，甲蟎體型小，臺灣生物多樣性調查和資料庫也主要聚焦在植物、昆蟲、兩棲爬蟲類、鳥類及哺乳類等大型生物。即使某些研究或調查 (Yang *et al.*, 2001; Lin and Hsiao, 2015) 中採集到也因國內缺乏甲蟎分類相關人才，僅能處理至亞綱這一分類層級，而無法有進一步的討論。另外，臺灣甲蟎分子生物資料尚未建立，系統分類學等分子生物之相關應用之研究無法推行。

與國際研究相比，臺灣研究在分子生物與生物地理領域存在明顯落差。國際上，如 Maraun *et al.* (2004) 透過 28s rRNA 基因，支持無氣門小目應為甲蟎其中一個演化分支。Domes *et al.* (2007b) 的研究結果與 Maraun *et al.* (2004) 一致外，更進一步指出無氣門小目係由甲蟎的 *Desmonomata* 類群中演化而來。而這些結果皆支持 Norton (1994) 及 Sakata and Norton (2001) 由形態學及油腺分泌物成分分析後所提出之觀點。生物地理學研究上，則從甲蟎地理分布進行探討。Stary and Block (1998)

就南極洲、鄰近之亞南極群島 (Sub-Antarctic Islands)、南美安地斯山脈及紐西蘭等地之甲蟎物種進行分析，指出南極地區甲蟎種類特有性高但多樣性低，且安地斯山脈與紐西蘭之甲蟎種類在科級與屬級的相似度高。De los Ríos-Escalante *et al.* (2024) 則透過文獻回顧及資料收集，除了證實南極大陸甲蟎具高特有性及低多樣性外，配合軌跡分析 (Track Analysis) 推測南極地區及亞南極群島的甲蟎物種可能起源自南喬治亞島 (South Georgia) 進而擴散至南極大陸，並可能延伸至南美洲南部。應用部分，國際上已有利用甲蟎作為土壤生物指標的研究，例如 Manu *et al.* (2019) 以甲蟎及中氣門亞目蟎類檢測羅馬尼亞某金屬礦區重金屬濃度、生物因子及非生物因子對族群結構之影響。Seniczak *et al.* (2022) 於波蘭進行實驗，檢視泥炭地中甲蟎的族群結構組成，發現甲蟎對於泥炭地有機碳濃度相當敏感且具有生物指標的價值。然而，臺灣尚未將甲蟎納入土壤健康監測系統，使該領域應用潛力未能充分發揮。

臺灣甲蟎未來研究方向

在臺灣，甲蟎研究多偏向物種分類、形態描述以及物種調查，多集中於中高海拔山區。為全面掌握其分布與生態角色，未來研究亟需擴大並具系統性地進行全臺物種調查與深化應用層面。首先須補足地理與環境的資料空白，包括低海拔山區、郊山及都市內綠地等，另外針對郊山之果園、茶園、廢耕地等不同土地利用模式，收集甲蟎物種組成、結構變化、食性及功能群等補足空白之基礎資料。另外使用分子生物學，建立並發展臺灣甲蟎的 DNA 條碼資料庫。隨著資料累積及結合環境因子數據，初步取得甲蟎物種分布及環境變因關係，以利後續環境評估之使用。

另外，應用新技術進行生態功能、親緣關係及生物地理研究。分子生物技術除建立資料庫外，可應用在種群之遺傳學及生物地理學之研究。臺灣地理位置及多樣貌的地形，使臺灣成為探討生物地理學的理想環境。百萬年前的冰河期，使臺灣與亞洲大陸相連，許多動物遷移至臺灣。爾後隨著冰河期結束，動物往高海拔遷移至高山尋找避難所 (refugia) 並受到臺灣中央山脈的隔離而東西部物種產生分化 (Oshida *et al.*, 2006; Tsai *et al.*, 2014)。由於甲蟎的移動能力很差，只能仰賴動物或非動物播遷的情況下，是否受到中央山脈隔離影響而使得東西部物種有分化的現象，仍有待透過分子生物技術與族群遺傳學研究進一步探討。

在大尺度的生態學研究上，穩定同位素技術 (如 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 分析) 目前在土壤食物網與養分循環研究上已被廣泛應用，但在甲蟎研究上的應用仍相對較少。臺灣位處熱帶及亞熱帶且地形起伏變化大，自平地至近四千公尺海拔高山且超過三千公尺之高山具 200 多座。孕育了多種不同植群帶，從海岸及沙丘植被、低地常綠闊葉林到高海拔針葉林及高山草原，多樣化的地形及植被很適合作為探討氣候與植群對甲蟎多樣性影響之基地。透過穩定同位素技術，深入研究不同地形及不同土地利用模式 (如都市綠地、農業區、廢耕地等) 對甲蟎食性與生態功能的影響，並比較不同海拔、植被類型及環境梯度對甲蟎營養階層結構的影響，以提升對土壤生態系統功能的理解。

近年來受都市化、產業結構調整、新型能源需求的影響，臺灣土地利用有明顯的改變。隨著城市規模擴大，大量農地被轉為建築用地或工業區，直接導致農業用地面積縮減，而土地開發破壞森林和溼地等

野生動植物棲地，亦使得生物多樣性下降。水泥等人工鋪面的鋪設，使都市熱島效應及淹水風險的增加。自 2016 年國土計畫法通過後，土地管理政策致力於避免農地過度開發及透過綠地規劃以維持甚至增加城市內部生態功能等，以在國家發展與保育間取得平衡。在能源轉型政策下，臺灣積極發展太陽能、風力及地熱等綠色能源。然而光電設施的架設對於土壤物理結構、化學性質及土壤無脊椎動物多樣性造成衝擊 (Chang *et al.*, 2023)。土地利用變遷對土壤的破壞與生態的影響，均需要科學性及系統性的評估。甲蟎作為理想土壤生物指標，且在國際上已有多個實際應用案例。臺灣或可發展以甲蟎作為評估土地利用及轉變對於土壤品質指標，建立全國性土壤健康監測體系，環境部可將甲蟎監測納入土壤健康監測標準，作為重金屬或農藥影響之輔助指標。而農業部則可在有機農業、永續農業及森林土壤監測中使用甲蟎指標。另外建立長期監測之機制，以提供土地管理決策依據。藉由擴大全國性調查、應用分子與穩定同位素技術、強化生態功能研究及落實政策應用，臺灣甲蟎研究可望在國際生態學與土壤生物多樣性研究中佔有一席之地，進一步促進本地環境保育與永續利用。

結 論

甲蟎對於土壤生態系中養分循環及土壤結構維持等具有重要價值。近年來，國際研究發展將甲蟎納入土壤監測項目之一，利用其穩定的族群結構、食性多樣性及對環境變遷之敏感性，作為評估土地生態系統健康的重要指標。然而，臺灣甲蟎研究仍主要侷限於形態分類，缺乏分子生物學、生態功能等研究，導致其生態應用潛力尚未充分發掘。未來若能從基礎調查開始，將之前未調查之低海拔山區、不同土地利用之區域進行系統性調查，可有效累積物種分布以及甲蟎與環境關係相關資訊。隨後使用穩定同位素，針對甲蟎之食性及營養階層等生態功能進行研究，同時應用分子生物技術探討種群遺傳分化及生物地理所造成之分布差異。在應用層面，應積極發展甲蟎作為環境監測之生物指標，用以評估土地利用對於土壤生態系影響。透過將甲蟎指標監測納入現行法規，用於污染場址之環境評估或評估農業活動對於土壤健康之影響。透過參與國際生物指標研究以及與國際研究機構合作，借鑒其他地區的經驗與方法，將有助於強化基礎研究與應用研究之結合，進一步提升臺灣甲蟎研究在國際間之能見度與影響

力。

引用文獻

- Alberti G, Moreno AI, Kratzmann M.** 1994. The fine structure of trichobothria in moss mites with special emphasis on *Acrogalumna longipluma* (Berlese, 1904) (Oribatida, Acari, Arachnida). *Acta Zool* 75: 57-74. doi: 10.1111/j.1463-6395.1994.tb00962.x
- Anderson JM.** 1975. Succession, diversity and trophic relationships of some soil animals in decomposing leaf litter. *J Anim Ecol* 44: 475-495. doi: 10.2307/3607
- Aoki JI.** 1979. Soil animals as biotic indicators. pp 47-64. In: Environmental Science Research Report B30-S2-2. Ministry of Education press, Tokyo. (in Japanese)
- Aoki JI.** 1983. Analysis of oribatid communities by relative abundance in the species and individual numbers of the three major groups (MGP-analysis). *Bulletin, Institute of Environmental Science and Technology, Yokohama National University*, 10: 171-176. (in Japanese)
- Aoki JI.** 1990. New oribatid mites (Acari: Oribatida) from Taiwan I. *Proc Japan Soc Syst Zool* 41:15-18. doi: 10.19004/pjssz.41.0_15
- Aoki JI.** 1991. Oribatid mites of high altitude forests of Taiwan I. Mt. Pei-ta-wu Shan. *Acta Arachnol* 40: 75-84. doi: 10.2476/asjaa.40.75
- Aoki JI.** 1995a Diagnosing on environment by soil animals. pp 197-271. In: Numata M (eds) Estimate of the Impact on the Natural Environment - Documentation of Research Results and Manual of Investigation Method. Division of Regulation Environmental Problem. Ministry of Environment, Chiba Local Government Press, Chiba. (in Japanese)
- Aoki JI.** 1995b. Oribatid mites of high altitude forests of Taiwan II. Mt. Nan-hu-ta Shan. *Spec Bull Jpn Soc Coleopterol* 4: 123-130.
- Bayartogtokh B, Chatterjee T, Chan BKK, Ingole B.** 2009. New species of marine littoral mites (Acari: Oribatida) from Taiwan and India, with a key to the world's species of *Fortuynia* and notes on their distribution. *Zool Stud* 48: 243-261.
- Beaty LE, Esser HJ, Miranda R, Norton RA.** 2013. First report of phoresy by an oribatid mite (Trhypochthoniidae: *Archezogetes magnus*) on a frog (Leptodactylidae: *Engystomops pustulosus*). *Int J Acarol* 39: 325-326. doi: 10.1080/01647954.2013.777783
- Behan-Pelletier VM.** 1999. Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: role for bioindication. *Agri Ecosys Environ* 74: 411-423. doi: 10.1016/S0167-8809(99)00046-8
- Behan-Pelletier VM, Hill SB.** 1983. Feeding habits of sixteen species of Oribatei (Acari) from an acid peat bog, Glenamoy, Ireland. *Rev Ecol Biol Sol* 20: 221-267.
- Behan-Pelletier V, Lindo Z.** 2022. Oribatid Mites: Biodiversity, Taxonomy and Ecology. Florida: CRC. 508 pp. doi: 10.1201/9781003214649
- Berlese A.** 1913. Acari nuovi. *Manipoli VII-VIII. Redia* 9: 77-111. (in Italiano)
- Berthet PL.** 1964. Field study of the mobility of Oribatei (Acari), using radioactive tagging. *J Anim Ecol* 33: 443-449.
- Brandt A, Van Tran P, Bluhm C, Anselmetti Y, Dumas Z, Figuet E, François CM, Galtier N, Heimburger B, Jaron KS, et al.** 2021. Haplotype divergence supports long-term asexuality in the oribatid mite *Oppiella nova*. *Biol Sci* 118: e2101485118. doi: 10.1073/pnas.2101485118
- Brückner A, Barnett AA, Bhat P, Antoshechkin IA, Kitchen SA.** 2022. Molecular evolutionary trends and biosynthesis pathways in the Oribatida revealed by the genome of *Archezogetes longisetosus*. *Acarologia* 62: 532-573. doi: 10.24349/pjye-gkeo
- Chang RC, Tsai CW, Lu YJ, Wang CP.** 2024.

- Effects of solar parks on soil properties and soil invertebrates. *Journal of Taiwan Energy* 11: 21-39. (in Chinese)
- Chu YI, Aoki JI.** 1997. Fauna of Oribatid mite at Fu-Shan Forest litter and humus layer. *Formosan Entomol* 17: 172-178. (in Chinese) doi: 10.6660/TESFE.1997017
- Colloff M, Niedbala W.** 1996. Arboreal and terrestrial habitats of phthiracaroid mites (Oribatida) in Tasmanian rainforests. pp 607-611. In: Mitchell R, Horn DJ, Needham GR, Welbourn WC. (eds.) *Acarology IX - Proceedings*; Ohio Biological Survey Press, Columbus.
- Cordes PH, Maraun M, Schaefer I.** 2022. Dispersal patterns of oribatid mites across habitats and seasons. *Exp Appl Acarol* 86: 173-187. doi: 10.1007/s10493-022-00686-y
- Corral-Hernández E, Balanzategui I, Iturrondobeitia JC.** 2016. Ecosystemic, climatic and temporal differences in oribatid communities (Acari: Oribatida) from forest soils. *Exp Appl Acarol* 69: 389-401. doi: 10.1007/s10493-016-0052-3
- Crossley DA Jr.** 1977. Oribatid mites and nutrient cycling. pp 71-85. In: Dindal DL (ed). *Biology of Oribatid Mites*. SUNY-CESF Press, Syracuse.
- Crotty FV, Blackshaw RP, Adl SM, Inger R, Murray PJ.** 2014. Divergence of feeding channels within the soil food web determined by ecosystem type. *Ecol Evol* 4: 1-13. doi: 10.1002/ece3.905
- De los Ríos-Escalante R, Jara-Seguel P, Ahaotu EO.** 2024. Oribatid mites (Acariformes: Sarcoptiformes) in Sub-Antarctic Islands and Antarctica: a track analysis. *Ukrainian Antarctic J* 22: 82-94. doi: 10.33275/1727-7485.1.2024.729
- Domes K, Norton RA, Maraun M, Scheu S.** 2007a. Reevolution of sexuality breaks Dollo's law. *Proc Natl Acad Sci USA* 104: 7139-7144. doi: 10.1073/pnas.0700034104
- Domes K, Althammer M, Norton RA, Scheu S, Maraun M.** 2007b. The phylogenetic relationship between Astigmata and Oribatida (Acari) as indicated by molecular markers. *Exp Appl Acarol* 42: 159-171. doi: 10.1007/s10493-007-9088-8
- Erdmann G, Scheu S, Maraun M.** 2012. Regional factors rather than forest type drive the community structure of soil living oribatid mites (Acari, Oribatida). *Exp Appl Acarol* 57: 157-169. doi: 10.1007/s10493-012-9546-9
- Ermilov SG, Lochyńska M.** 2008. The influence of temperature on the development time of three oribatid mite species (Acari, Oribatida). *North-West J Zool* 4: 274-281.
- Ermilov SG, Liao JR.** 2017. New faunistic and taxonomic data on oribatid mites (Acari, Oribatida) of Taiwan. *Syst Appl Acarol* 22: 824-840. doi: 10.11158/saa.22.6.8
- Ermilov SG, Liao JR.** 2018a. A new species of *Lasiobelba* (Acari, Oribatida, Oppiidae) from Taiwan. *Acarina* 26: 81-87. doi: 10.21684/0132-8077-2018-26-1-81-87
- Ermilov SG, Liao JR.** 2018b. To the knowledge of oribatid mites of the genus *Nothrus* (Acari, Oribatida, Nothridae) from Taiwan. *Biologia* 73: 513-521. doi: 10.2478/s11756-018-0062-1
- Ermilov SG, Liao JR.** 2018c. Additions to the oribatid mite fauna of Taiwan, with description of a new species of the genus *Lohmannia* (Acari, Oribatida). *Syst Appl Acarol* 23: 1004-1020. doi: 10.11158/saa.23.5.15
- Ermilov SG, Liao JR.** 2020. Contribution to the knowledge of the oribatid mite genus *Perxylobates* (Acari, Oribatida, Haplozetidae). *Acarologia* 60: 612-621. doi: 10.24349/acarologia/20204392
- Ermilov SG, Liao JR.** 2021a. Descriptions of two new species of oribatid mites (Acari: Oribatida) from Taroko National Park, Taiwan. *Int J Acarol* 47: 61-69. doi: 10.1080/01647954.2020.1870552
- Ermilov SG, Liao JR.** 2021b. New faunistic and taxonomic data on oribatid mites (Acari:

- Oribatida) of Taiwan. *Acarologia* 61: 297-320. doi: 10.24349/acarologia/20214432
- Ermilov SG, Jäger P.** 2023. Faunistic and taxonomic data on oribatid mites (Acari: Oribatida) of Taiwan, with an identification key to known species of *Pergalumna* from the Oriental region. *Acarina* 31: 175-184. doi: 10.21684/0132-8077-2023-31-2-175-184
- Ermilov SG, Minor M.** 2015. The oribatid mite genus *Macrogena* (Acari, Oribatida, Ceratozetidae), with description of two new species from New Zealand. *Zookeys* 506: 13-26. doi: 10.3897/zookeys.506.9796
- Ferlian O, Klarner B, Langeneckert AE, Scheu S.** 2015. Trophic niche differentiation and utilisation of food resources in collembolans based on complementary analyses of fatty acids and stable isotopes. *Soil Biol Biochem* 82: 28-35. doi: 10.1016/j.soilbio.2014.12.012
- Gergócs V, Hufnagel L.** 2009. Application of oribatid mites as indicators. *Appl Ecol Env Res* 7: 79-98. doi: 10.15666/aer/0701_079098
- Ge X, Ermilov SG, Kazakov DV, Salavatulin VM, Kolesnikov VB, Sheykin SD, Liu D.** 2024. A small step can also be a big step—first study on DNA barcoding in species delimitation of oribatid mites in Russia. *Syst Appl Acarol-UK* 29: 631-654. doi: 10.11158/saa.29.5.8
- Grandjean F.** 1965. *Fosseremus quadripertitus* nom. nov. (Oribate). *Acarologia* 7: 343-375. (in French)
- Hågvar S, Solhøy T, Mong CE.** 2009. Primary succession of soil mites (Acari) in a Norwegian glacier foreland, with emphasis on oribatid species. *Arct Antarct Alp Res* 41: 219-227. doi: 10.1657/1938-4246-41.2.219
- Hartenstein R.** 1962. Soil Oribatei. I. Feeding specificity among forest soil Oribatei (Acarina). *Ann Entomol Soc Am* 55: 202-206.
- Heethoff M, Norton RA, Scheu S, Maraun M.** 2009. Parthenogenesis in oribatid mites (Acari, Oribatida): Evolution without sex. pp 241-257. In: Schön I, Martens K, Dijk P (eds). *Lost Sex: The Evolutionary Biology of Parthenogenesis*. Springer Press, Dordrecht. doi: 10.1007/978-90-481-2770-2.
- Heidemann K, Scheu S, Ruess L, Maraun M.** 2011. Molecular detection of nematode predation and scavenging in oribatid mites: Laboratory and field experiments. *Soil Biol Biochem* 43: 2229-2236. doi: 10.1016/j.soilbio.2011.07.015
- Ho CC, Wang SC, Cheng LJ, Lin SL.** 2008. A prelude to the mite fauna in the soil and litter of the montane area of Central Taiwan. *Formosan Entomol* 28: 225-241. (in Chinese) doi: 10.6661/TESFE.2008017
- Hubert J, Žilová M, Pekár S.** 2001. Feeding preferences and gut contents of three panphytophagous oribatid mites (Acari: Oribatida). *Euro J Soil Biol* 37: 197-208. doi: 10.1016/S1164-5563(01)01083-4
- Hurtado MA, Ansaloni T, Cros-Arteil S, Jacas JA, Navajas M.** 2008. Sequence analysis of the ribosomal internal transcribed spacers region in spider mites (Prostigmata: Tetranychidae) occurring in citrus orchards in Eastern Spain: use for species discrimination. *Ann Appl Biol* 153: 167-174. doi: 10.1111/j.1744-7348.2008.00250.x
- Jaques JA, Aguilar-Fenollosa E, Hurtado MA, Pina T.** 2015. Food web engineering to enhance biological control of *Tetranychus urticae* by phytoseiid mites (Tetranychidae: Phytoseiidae) in citrus. pp 251-269. In: Carrillo D, de Moraes GJ, Peña JE (eds). *Prospects for Biological Control of Plant Feeding Mites and Other Harmful Organisms*. Springer Press, Cham. doi: 10.1007/978-3-319-15042-0
- Kaneko N.** 1988. Feeding habits and cheliceral size of oribatid mites in cool temperate forest soils in Japan. *Rev Ecol Biol Sol* 25: 353-363.
- Karasawa S, Gotoh K, Sasaki T, Hijii N.** 2005. Wind-based dispersal of oribatid mites

- (Acari: Oribatida) in a subtropical forest in Japan. *J Acarol Soc Jpn* 14: 117-122. doi: 10.2300/acari.14.117
- Klimov PB, Oconnor BM, Chetverikov PE, Bolton SJ, Pepato AR, Mortazavi AL, Tolstikov AV, Bauchan GR, Ochoa R.** 2018. Comprehensive phylogeny of acariform mites (Acariformes) provides insights on the origin of the four-legged mites (Eriophyoidea), a long branch. *Mol Phylogenet Evol* 119: 105-117. doi: 10.1016/j.ympev.2017.10.017
- Lebrun P, van Straalen NM.** 1995. Oribatid mites: prospects for their use in ecotoxicology. *Exp Appl Acarol* 19: 361-375. doi: 10.1007/BF00145154
- Lehmitz R, Maraun M.** 2016. Small-scale spatial heterogeneity of stable isotopes signatures ($\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$) in *Sphagnum* sp. Transfers to all trophic levels in oribatid mites. *Soil Biol Biochem* 100: 242-251. doi: 10.1016/j.soilbio.2016.06.005
- Lehmitz R, Russell D, Hohberg K, Christian A, Xylander WER.** 2011. Wind dispersal of oribatid mites as a mode of migration. *Pedobiologia* 54: 201-207. doi: 10.1016/j.pedobi.2011.01.002
- Lin MJ, Hsiao WF.** 2015. Biodiversity of the Alishan Wasabi Agroecosystem and Natural Ecosystem. *Formosan Entomol* 35: 227-243. (in Chinese) doi: 10.6662/TESFE.2015016
- Lindo Z.** 2020. Transoceanic dispersal of terrestrial species by debris rafting. *Ecography* 43: 1364-1372. doi: 10.1111/ecog.05155
- Lindo Z, Winchester NN.** 2007. Oribatid mite communities and foliar litter decomposition in canopy suspended soils and forest floor habitats of western redcedar forests, Vancouver Island, Canada. *Soil Biol Biochem* 39: 2957-2966. doi: 10.1016/j.soilbio.2007.06.009
- Lindo Z, Winchester NN.** 2009. Spatial and environmental factors contributing to patterns in arboreal and terrestrial oribatid mite diversity across spatial scales. *Oecologia* 160: 817-825. doi: 10.1007/s00442-009-1348-3
- Lux J, Xie Z, Sun X, Wu D, Scheu S.** 2024. Trophic niches of Collembola communities change with elevation, but also with body size and life form. *Oecologia* 204: 491-504. doi: 10.1007/s00442-023-05506-7
- Luxton M.** 1981. Studies on the oribatid mites of a Danish beech wood soil. IV. Developmental biology. *Pedobiologia* 21: 312-340. doi: 10.1016/s0031-4056(23)02065-6
- Manu M, Honciuc V, Neagoe A, Băncilă RI, Iordache V, Onete M.** 2019. Soil mite communities (Acari: Mesostigmata, Oribatida) as bioindicators for environmental conditions from polluted soils. *Sci Rep-UK* 9: 20250. doi: 10.1038/s41598-019-56700-8
- Maraun M, Scheu S.** 2000. The structure of oribatid mite communities (Acari, Oribatida): Patterns, mechanisms and implications for future research. *Ecography* 23: 374-382. doi: 10.1111/j.1600-0587.2000.tb00294.x
- Maraun M, Schatz H, Scheu S.** 2007. Awesome or ordinary? Global diversity patterns of oribatid mites. *Ecography* 30: 209-216. doi: 10.1111/j.2007.0906-7590.04994.x
- Maraun M, Erdmann G, Fischer BM, Pollierer MM, Norton RA, Schneider K, Scheu S.** 2011. Stable isotopes revisited: Their use and limits for oribatid mite trophic ecology. *Soil Biol Biochem* 43: 877-882. doi: 10.1016/j.soilbio.2011.01.003
- Maraun M, Heethoff M, Schneider K, Scheu S, Weigmann G, Cianciolo J, Thomas RH, Norton RA.** 2004. Molecular phylogeny of oribatid mites (Oribatida, Acari): Evidence for multiple radiations of parthenogenetic lineages. *Exp Appl Acarol* 33: 183-201. doi: 10.1023/B:APPA.00000032956.60108.6d

- Maraun M, Thomas T, Fast E, Treibert N, Caruso T, Schaefer I, Lu JZ, Scheu S.** 2023. New perspectives on soil animal trophic ecology through the lens of C and N stable isotope ratios of oribatid mites. *Soil Biol Biochem* 177: 108890. doi: 10.1016/j.soilbio.2022.108890
- Maraun M, Bischof PS, Klemp FL, Pollack J, Raab L, Schmerbach J, Schaefer I, Scheu S, Caruso T.** 2022. “Jack-of-all-trades” is parthenogenetic. *Ecol Evol* 12: e9036. doi: 10.1002/ece3.9036
- Migliorini M, Pigino G, Caruso T, Fanciulli PP, Leonzio C, Bernini F.** 2005. Soil communities (Acari Oribatida, Hexapoda Collembola) in a clay pigeon shooting range. *Pedobiologia* 49: 1-13. doi: 10.1016/j.pedobi.2004.06.009
- Mehring AS, Levin LA.** 2015. Potential roles of soil fauna in improving the efficiency of rain gardens used as natural stormwater treatment systems. *J Appl Ecol* 52: 1445-1454. doi: 10.1111/1365-2664.12525
- Meibers HE, Finch G, Gregg RT, Glenn S, Assani KD, Jennings EC, Davies B, Rosendale AJ, Holmes CJ, Gantz JD, Spacht DE, Lee RE Jr, Denlinger DL, Weirauch MT, Benoit JB.** 2019. Sex- and developmental-specific transcriptomic analyses of the Antarctic mite, *Alaskozetes antarcticus*, reveal transcriptional shifts underlying oribatid mite reproduction. *Polar Biol* 42: 357-370. doi: 10.1007/s00300-018-2427-x
- Nicolet H.** 1855. Histoire naturelle des Acariens qui se trouvent aux environs de Paris. pp 381-482. In: Nicolet H (ed). *Archives du Muséum d'histoire naturelle Press, Paris.* (in French)
- Niedbala W.** 2007. New distributional records and redescriptions of oriental ptyctimous mites (Acari, Oribatida) of the oriental region. *Syst Appl Acarol* 12: 73-79. doi: 10.11158/saa.12.1.9
- Niedbala W, Ermilov SG.** 2021. Additions to the ptyctimous mite fauna (Acari, Oribatida) of Taiwan. *Syst and Appl Acarol* 26: 1481-1494. doi: 10.11158/saa.26.8.6
- Norton RA.** 1980. Observations on phoresy by oribatid mites (Acari: Oribatei). *Int J Acarol* 6: 121-130. doi: 10.1080/01647958008683206
- Norton RA.** 1994. Evolutionary aspects of oribatid mite life histories and consequences for the origin of the astigmata. pp 99-135. In: Houck MA. (ed) *Mites.* Springer Press, Boston. doi: 10.1007/978-1-4615-2389-5_5
- Norton RA.** 1998. Morphological evidence for the evolutionary origin of Astigmata. *Exp Apply Acarol* 22: 559-594. doi: 10.1023/A:1006135509248
- Norton RA, Graham TB, Alberti G.** 1996. A rotifer-eating ameronothroid (Acari: Ameronothridae) mite from ephemeral pools on the Colorado Plateau. pp. 539-542. In: Mitchell R, Horn DJ, Needham GR, Welbourn CW (eds). *Acarology IX Proceedings.* Vol. 1. Ohio Biological Survey, Columbus. OH.
- Norton RA, Kethley JB, Johnston DE, O'Connor BM, Wrensch DL, Ebbert MA.** 1993. Evolution and diversity of sex ratio in insects and mites. pp: 8-99. In: Wrensch DL, Ebbert MA (eds). *Phylogenetic Perspectives on Genetic Systems and Reproductive Modes of Mites.* 1st ed. SUNY College of Environmental Science and Forestry. NY. doi: 10.1007/978-1-4684-1402-8_2
- Noske JE, Lu JZ, Schaefer I, Maraun M, Scheu S, Chen TW.** 2024. Niche dimensions in soil oribatid mite community assembly under native and introduced tree species. *Ecol Evol* 14: e11431. doi: 10.1002/ece3.11431
- Ohkubo N.** 1995. A new oppiid mite (Acari: Oribatida) from Taiwan. *Acta Arachnol* 44: 61-64.
- Ojala R, Huhta V.** 2001. Dispersal of microarthropods in forest soil. *Pedobiologia* 45: 443-450. doi: 10.1078/0031-4056-00098

- Oshida T, Lee JK, Lin LK, Chen TJ.** 2006. Phylogeography of Pallas's squirrel in Taiwan: Geographical isolation in an arboreal small mammal. *J Mammal* 87: 247-254. doi: 10.1644/05-MAMM-A-123R1.1
- Pan X, Xie Z, Sun X, Wu D, Scheu S, Maraun M.** 2023. Changes in oribatid mite community structure along two altitudinal gradients in Asia and Europe as related to environmental factors. *Appl Soil Ecol* 189: 104912. doi: 10.1016/j.apsoil.2023.104912
- Pascual-Ruiz S, Aguilar-Fenollosa E, Ibáñez-Gual V, Hurtado-Ruiz MA, Martínez-Ferrer MT, Jacas JA.** 2014. Economic threshold for *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) in clementine mandarins *Citrus clementina*. *Exp Appl Acarol* 62: 337-362. doi: 10.1007/s10493-013-9744-0
- Pauly F.** 1956. Zur biologie einiger belbiden (Oribatei, Moosmilben) und zur funktion ihrer pseudostigmatischen Organe. *Zoologische Jahrbücher. Abteilung für Systematik, Ökologie und Geographie der Tiere* 84: 275-328. (in German)
- Perdomo G, Evans A, Maraun M, Sunnucks P, Thompson R.** 2012. Mouthpart morphology and trophic position of microarthropods from soils and mosses are strongly correlated. *Soil Biol Biochem* 53: 56-63. doi: 10.1016/j.soilbio.2012.05.002
- Pfingstl T.** 2023. Sharp claws beneath our feet – the diversity of tarsal attachment devices of oribatid mites (Acari, Chelicerata, excluding Astigmata) – a review. *Int J Acarol* 49: 165-195. doi: 10.1080/01647954.2023.2223214
- Potapov AM, Pollierer MM, Salmon S, Šustr V, Chen TW.** 2021. Multidimensional trophic niche revealed by complementary approaches: Gut content, digestive enzymes, fatty acids and stable isotopes in Collembola. *J Anim Ecol* 90: 1919-1933. doi: 10.1111/1365-2656.13511
- Rasputnig G.** 2006. Chemical alarm and defence in the oribatid mite *Collohmanna gigantea*. *Exp Appl Acarol* 39: 177-194. doi: 10.1007/s10493-006-9015-4
- Rasputnig G, Föttinger P.** 2008. Analysis of individual oil gland secretion profiles in oribatid mites (Acari: Oribatida). *Int J Acarol* 34: 409-417. doi: 10.1080/17088180809434785
- Rasputnig G, Stabentheiner E, Föttinger P, Schaider M, Krisper G, Rechberger G, Leis HJ.** 2009. Opisthonotal glands in the Camisiidae (Acari, Oribatida): evidence for a regressive evolutionary trend. *J Zool Syst Evol Res* 47: 77-87. doi: 10.1111/j.1439-0469.2008.00486.x
- Remén C, Krüger M, Lundhagen A.** 2010. Successful analysis of gut contents in fungal-feeding oribatid mites by combining body-surface washing and PCR. *Soil Biol Biochem* 42: 1952-1957. doi: 10.1016/j.soilbio.2010.07.007
- Sakata T, Norton RA.** 2001. Opisthonotal gland chemistry of early-derivative oribatid mites (Acari) and its relevance to systematic relationships of Astigmata. *Int J Acarol* 27: 281-292. doi: 10.1080/01647950108684268
- Schaefer I, Caruso T.** 2019. Oribatid mites show that soil food web complexity and close aboveground-belowground linkages emerged in the early Paleozoic. *Commun Biol* 2: 387. doi: 10.1038/s42003-019-0628-7
- Schäffer S, Kerschbaumer M, Koblmüller S.** 2019. Multiple new species: Cryptic diversity in the widespread mite species *Cymbaeremaeus cymba* (Oribatida, Cymbaeremaeidae). *Mol Phylogent Evol* 135: 185-192. doi: 10.1016/j.ympev.2019.03.008
- Schneider K, Maraun M.** 2005. Feeding preferences among dark pigmented fungal taxa ('Dematiacea') indicate limited trophic niche differentiation of oribatid mites (Oribatida, Acari). *Pedobiologia* 49: 61-67. doi: 10.1016/j.pedobi.2004.07.010
- Seniczak A, Seniczak S, Iturrondobeitia JC, Gwiazdowicz DJ, Waldon-Rudzionek B,**

- Flatberg KI, Bolger T.** 2022. Mites (Oribatida and Mesostigmata) and vegetation as complementary bioindicators in peatlands. *Sci Total Environ* 851: 158335. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.158335
- Shimano S.** 2011. Aoki's oribatid-based bioindicator systems. *Zoosymposia* 6: 200-209. doi: 10.11646/zoosymposia.6.1.30
- Siepel H, de Ruiter-Dijkman EM.** 1993. Feeding guilds of oribatid mites based on their carbohydrase activities. *Soil Biol Biochem* 25: 1491-1497. doi: 10.1016/0038-0717(93)90004-U
- Starý J, Block W.** 1998. Distribution and biogeography of oribatid mites (Acari: Oribatida) in Antarctica, the sub-Antarctic islands and nearby land areas. *J Nat Hist* 32: 861-894. doi: 10.1080/00222939800770451
- Summers FM, Schuster RO.** 1981. *Apalotacarus*, a new genus of canestriniid mites from passalid beetles. *Internat J Acarol* 7: 17-38. doi: 10.1080/01647958108683240
- Summers FM, Schuster RO.** 1982. The Melisiinae, new subfamily of mites in the canestriniidae associated with passalid beetles. *Int J Acarol* 8: 23-31. doi: 10.1080/01647958208683274
- Sylvain ZA, Buddle CM.** 2010. Effects of forest stand type on oribatid mite (Acari, Oribatida) assemblages in a southwestern Quebec forest. *Pedobiologia* 53: 321-325. doi: 10.1016/j.pedobi.2010.03.001
- Townsend VR, Proud DN, Moore MK, Tibbetts JA, Burns JA, Hunter RK, Lazarowitz SR, Felgenhauer BE.** 2008. Parasitic and phoretic mites associated with neotropical harvestmen from Trinidad, West Indies. *Ann Entomol Soc Am* 101: 1026-1032. doi: 10.1603/0013-8746-101.6.1026
- Tsai CL, Wan X, Yeh WB.** 2014. Differentiation in stag beetles, *Neolucanus swinhoei* complex (Coleoptera: Lucanidae): Four major lineages caused by periodical Pleistocene glaciations and separation by a mountain range. *Mole Phylogent Evol* 78: 245-259. doi: 10.1016/j.ympev.2014.05.004
- Tseng YH.** 1982. Taxonomical study of oribatid mites from Taiwan (Acarina: Astigmata) (I). *Formosan Entomol* 2: 53-106. doi: 10.6660/TESFE.1982005
- Tseng YH.** 1984. Taxonomical study of oribatid mites from Taiwan (Acarina: Astigmata) (II). *Formosan Entomol* 4: 27-74. doi: 10.6660/TESFE.1984002
- Walter DE, Proctor HC.** 2013. Life cycles, development and size. pp 69-104. In: Walter DE, Proctor HC (eds). *Mites: Ecology, Evolution & Behaviour*. Springer press, Dordrecht. doi: 10.1007/978-94-007-7164-2
- Wilson RS, Husak JF, Halsey LG, Clemente CJ.** 2015. Predicting the movement speeds of animals in natural environments. *Integr Comp Biol* 55: 1125-1141. doi: 10.1093/icb/icv106
- Yang B, Li C.** 2017. The full-length mitochondrial rDNA sequence of *Tyrophagus longior* (Astigmata: Acaridae) and phylogeny of astigmatid mites based on mitochondrial rDNA sequences. *J Stored Prod Res* 71: 5-13. doi: 10.1016/j.jspr.2016.12.004
- Yang JT, Chen MY, Jiang YY.** 2001. Biodiversity of the invertebrate community in epiphytic substrates of the Guandaushi Forest Ecosystem Central Taiwan. *Formosan Entomol* 21: 99-117. (in Chinese) doi: 10.6661/TESFE.2001009
- Zaitsev AS, van Straalen NM.** 2001. Species diversity and metal accumulation in oribatid mites (Acari, Oribatida) of forests affected by a metallurgical plant. *Pedobiologia* 45: 467-479. doi: 10.1078/0031-4056-00100
- Zhan LL, Xu YL, Zhang XY, Pan FJ, Pei XC, Liu ZY.** 2012. Effects of tillage mode on the diversity of soil meso- and micro-fauna. *Chin J Ecol* 31: 2371-2377. (in Chinese)
- Zhang Y, Jin DC, Zhou YF, Yang GP, Liang WQ.** 2015. Community composition and

diversity of soil oribatid mites (Acari:
Oribatida) in karst forests in Shibing,
Guizhou, Southwestern China. Acta

Entomol Sinica 58: 791-799. doi: 10.16380/
j.kcxb.2015.58.7.791799

Oribatid Mite Biology and Its Applications: Examining Taiwan's Research Potential in Light of International Advances

Yung-Jen Lu, Chiao-Ping Wang*

Silviculture Division, Taiwan Forestry Research Institute. 53 Nanhai Rd., Taipei 100051, Taiwan

* Corresponding email: cpwang@tfri.gov.tw

Received: 7 January 2024 Accepted: 4 March 2025 Available online: 28 March 2025

ABSTRACT

Oribatid mites are widely distributed across various terrestrial ecosystems worldwide. They contribute to nutrient cycling and maintain soil structure by decomposing organic matter and promoting microbial activity. Their population structure and diversity are key indicators of soil health. Taiwan, with its complex topography, geological structures, and diverse vegetation composition, provides a unique environment for exploring the taxonomy, evolution, and biogeography of oribatid mites. However, research on oribatid mites in Taiwan has primarily been limited to sporadic records in mountainous areas, and it remains focused on morphological taxonomy, lacking studies on molecular biology and ecological functions. Globally, oribatid mites are increasingly used as bioindicators to assess environmental changes and inform conservation and land management strategies. Despite this, Taiwan lacks studies on its ecological roles and functional groups, limiting their application in environmental assessments. This gap underscores the need to establish a national database for oribatid mites, conduct biodiversity surveys across various habitats and land-use types, apply stable isotope techniques to explore their ecological functions, and utilize oribatid mites in soil health assessment. Strengthening these research areas will enhance Taiwan's capacity to integrate oribatid mites into soil health monitoring and ecosystem management, aligning with international scientific advancements.

Key words: oribatid mites, soil organic matter, bioindicators, K-selection theory, literature review