

研究報告

都市林地棲性甲蟲幼蟲之棲地偏好

盧勇仁¹⁾ 張容慈²⁾ 林謙佑³⁾ 王巧萍^{1,4)}

摘要

都市林為人口密集區重要的生物多樣性熱點，但我們對都市林土壤中的無脊椎動物組成與棲地需求偏好所知仍非常有限。地棲性甲蟲是常被作為環境指標生物的土壤無脊椎動物，藉由其對棲地偏好的瞭解，有助都市林環境之經營與土壤生物多樣性之提高。本研究於臺北植物園以枝葉層取樣及掉落式陷阱兩種方式調查甲蟲幼蟲季節變化與空間分布，並藉由木本植物多樣性指數、胸高斷面積指數、地表枝葉層生物量、葉面積指數與林冠孔隙層開闊度、人為擾動強度以及冠層層數等環境參數與地棲性甲蟲幼蟲之關係，探討都市林環境特性對地棲性甲蟲幼蟲群聚的影響。在14個月560個樣品，共捕獲107隻地棲性甲蟲幼蟲，分屬步行蟲、螢、隱翅蟲、盤甲、擬步行蟲及金龜子等六科，以非肉食性的隱翅蟲和盤甲為優勢。各科幼蟲對地面為枯落物或草地覆蓋並無偏好，但多層冠層明顯有利甲蟲群聚。冗餘分析結果顯示隱翅蟲與盤甲均偏好林冠孔隙度大的棲地，但隱翅蟲幼蟲對步道或建物等人為擾動較敏感，盤甲幼蟲密度則枝葉層生物量呈顯著正相關，步行蟲幼蟲數量則與夜間人工光源成顯著正相關。本研究結果建議在都市林設計與經營上，除考量地上部植群及地表落葉管理外，也應重視人為擾動對土壤無脊椎動物群聚的影響。

關鍵詞：都市林、地棲性甲蟲、棲地偏好、枝葉層生物量、人為擾動。

盧勇仁、張容慈、林謙佑、王巧萍。2023。都市林地棲性甲蟲幼蟲之棲地偏好。台灣林業科學 38(4): 273-88。

¹⁾ 林業試驗所育林組，10005臺北市南海路53號 Silviculture Division, Taiwan Forestry Research Institute, 53 Nanhai Rd., Taipei 100051, Taiwan.

²⁾ 國立東華大學縱谷跨域書院學士學位學程，974301 花蓮縣壽豐鄉大學路二段一號 National Dong Hwa University, Undergraduate Degree Program of Rift Valley Interdisciplinary Shuyuan, No. 1, Sec. 2, Da Hsueh Rd. Shoufeng, Hualien 974301, Taiwan.

³⁾ 林業試驗所森林生態組，100051臺北市南海路53號 Forest Ecology Division, Taiwan Forestry Research Institute, 53 Nanhai Rd., Taipei 100051, Taiwan.

⁴⁾ 通訊作者 Corresponding author, E-mail: cpwang@tfri.gov.tw

2023年5月送審 2023年8月通過 Received May 2023, Accepted August 2023.

Research paper

Habitat Preference of Ground Dwelling Coleopteran Larvae in Urban Forests

Yung-Jen Lu,¹⁾ Rong-Ci Chang,²⁾ Chien-Yu Lin,³⁾ Chiao-Ping Wang^{1,4)}

【 Summary 】

Urban forests and parks are important biodiversity hotspots in densely populated cities, but little attention has been paid to soil invertebrates in urban green infrastructure. Ground-dwelling beetles (GDBs) are an environmental bioindicator. Understanding their composition and habitat preferences could improve urban park design and management in terms of soil ecosystem services. GDB larvae in Taipei Botanical Garden were collected monthly in 20 pitfall traps and in forest floor litter samples using Berlese funnels from February 2020 through March 2021 to monitor seasonal changes and spatial distributions. Environmental factors, including tree diversity, basal area, forest floor litter biomass, leaf area index, canopy openness, human disturbance, and canopy layers, were measured for each plot. Over 14 months, 107 GDB larva individuals were collected and classified into 6 families including the Carabidae, Lampyridae, Staphylinidae, Discolomatidae, Tenebrionidae and Scarabaeida, where the non-carnivorous Staphylinidae and Discolomatidae were most dominant. No difference was found between plots covered with grass litter, but the density of Discolomatidae larvae significantly increased with forest floor litter biomass. The canopy structure significantly affected the habitat preference of GDB larva. A redundancy analysis (RDA) indicated that both the Staphylinidae and Discolomatidae larvae preferred open canopies, while the Staphylinidae seemed to be sensitive to human disturbance and preferred habitats far from pathways and buildings. Our results suggested that in addition to urban forest structure and management, the impacts of human activity on soil invertebrates should also be considered in urban park design and litter management.

Key words: urban forest, ground-dwelling beetles, habitat preference, litter biomass, human disturbance.

Lu YJ, Chang RC, Lin CY Wang CP. 2023. Habitat preference of ground dwelling coleopteran larvae in urban forests. *Taiwan J For Sci* 38(4): 273-88.

緒言

隨著全球人口增加、都市規模日漸擴大，都市化範圍擴張的同時，野生動植物的生存空間遭到壓縮(Grimm et al. 2008)，都會公園綠地與都市林也由過去以綠美化及休閒遊憩為主的場域，漸漸成為提供淨化空氣(Janhäll 2015)、增加碳吸存(Edmondson et al. 2012)、減少熱島效應(Gudina et al. 2014)，且同時提供地上與地下動物棲地(Tresch et al. 2018)，甚至成為都市中重要的生物多樣性熱點(Lepczyk et al. 2017)等生態系服務功能的重要場域。過去有關都市林與動物物種多樣性的相關研究，多集中在鳥類(Farinha-Marques et al. 2013)、兩棲類(Cornelis and Hermy 2004)、小型哺乳類及地上部的蝴蝶、甲蟲(Angold et al. 2006)為對象，地下部土壤動物的研究則以蚯蚓、馬陸、鼠婦、跳蟲等類群為主(Thakur 2019)。許多研究指出，都市林物種多樣性主要受控於所在地的整體地景結構及面積大小，例如，Aida et al.(2016)及Liu et al.(2019)的研究分別發現，公園鳥類和螞蟻的多樣性與公園面積成正比。然而，可作為都市土壤品質指標的土壤無脊椎動物及影響都市林土壤動物組成結構的環境因子，則為近年新興的研究課題(Santorufu et al. 2012; Kotze et al. 2022)。

都市綠地的土壤常因密實化而呈現排水與透氣性不良(Gregory et al. 2006)、多樣化的土地利用類型影響棲地等環境結構，人類活動的干擾(例如掃除落葉)使土壤生物地質化學循環改變，再加上都市化產生的熱島效應，這些因素均影響土壤生物群落(McIntyre et al. 2001)。而都市內的民生、交通等人為活動，導致許多重金屬、PAHs等污染物堆積於土壤裡，亦影響土壤無脊椎動物之物種組成和數量(Santorufu et al. 2012)。一般而言，在森林生態系中土壤動物的取食、競爭與捕食，除導致各類群彼此間的消長外，也因類群的組成動態而改變落葉分解速率(Chapman et al. 2003)與營養釋放(Lavelle 1996)，進而影響植物的生長(Mehring and Levin 2015)。據Long et al. (2022)研

究地棲植食性叩頭蟲幼蟲與植物的交互作用結果發現，不僅植物生長量改變，植物次級代謝物濃度以及落葉品質也因而改變。而落葉品質的差異復又反饋回來影響地棲性無脊椎動物的組成數量及分解作用(Sauvadet et al. 2017)。然而，這些交互作用在都市林中的樣貌仍有待研究。

在過去土壤大型節肢動物的相關研究中，昆蟲綱多是以膜翅目的螞蟻及蜚蠊目的白蟻等為主要研究對象，其次為鞘翅目的步行蟲、隱翅蟲及擬步行蟲等，但多以生態學、分類學和農業生物防治應用為主要方向。昆蟲綱中種類最多的鞘翅目，幼蟲食性豐富包括植食、食菌、肉食、碎食、腐食和雜食性(Triplehorn and Johnson 2005)。其中隱翅蟲科*Omalinae*屬幼蟲具腐食和植食，*Oxyporinae*屬幼蟲則為食菌性(Frank and Thomas 1999)，盤甲科幼蟲為碎食性和食菌性(Cline and Ślipiński 2010)，步行蟲科和螢科則為肉食性或食腐性。此外，甲蟲幼蟲佔據陸域生態系中許多生態棲位(Erwin 2004; Fountain-Jones et al. 2015)，再加以採集及鑑定的簡易與便利性、體型微小、適合在小型和破碎的區域進行調查、世代較短能夠快速反應棲地變化(Favero et al. 2011; Pompeo et al. 2017)等特質，因此常被用於環境品質監測或評估。例如，Pizzolotto et al. (2018)曾以步行蟲來評估橄欖園土壤經營對節肢動物的衝擊程度。此外，隨著棲地類型改變，各有相對應的甲蟲類群受到影響，也使鞘翅目昆蟲常被當作環境監測的指標生物。例如，步行蟲適用於評估地棲性生物的多樣性，灌叢等樹葉較多的棲地類型則常影響金花蟲科的種類和族群數量，金龜子科的糞金龜則可以反應該地區的地景多樣性(Gerlach et al. 2013)。只是過往研究多半聚焦於成蟲，對幼蟲的研究多著重於物種描述，有關甲蟲幼蟲棲地選擇偏好的相關資訊則相對缺乏。

臺灣地棲性甲蟲的研究大多以地區性昆蟲相普查、分類、行為、族群生態學和生物防治應用為主，且多集中在肉食性的步行蟲、螢火蟲、隱翅蟲上(Lai et al. 1998; Terada et al. 2005)，部分則為腐食性的埋葬蟲或其他親屍性甲蟲(Hwang and

Koh 2013)，較少關注在其他以落葉、真菌等為食的甲蟲。而昆蟲相普查和族群生態相關研究的樣區，主要又以野外山區為重點，鮮少以都市林作為對象，且調查也多以成蟲為主。由於過去都市昆蟲的研究多著重在土地利用以及空間變化造成類群分布差異的影響(Duan et al. 2019)，較少探討棲地條件與昆蟲組成類群和族群的關係，加以地棲性甲蟲分布與棲息環境受土地利用(Pompeo et al. 2020)、植被(Komonen et al. 2015; Vician et al. 2018)、微氣候(Perner and Malt 2003)等多重影響，且地面微氣候又與植被有很大關係(Geiger, 1995)，因此，為了解都市中地棲性甲蟲幼蟲的組成結構、以及其對棲地條件的需求與偏好，本研究選擇以臺北植物園為試驗地，進行園區內三種不同棲地類型下，地棲性甲蟲幼蟲的類群組成與季節變化。

據McGlynn et al. (2009) 於哥斯大黎加森林中研究顯示，落葉的生物量將影響棲息於地下的螞蟻密度、蟻巢大小及生長。為瞭解地表枯枝落葉生物量的多寡對地棲性甲蟲幼蟲族群密度的影響，本研究測量各樣點林床枝葉層生物量(forest floor litter biomass, FFLB)，來檢視落葉生物量與地棲甲蟲幼蟲的關係。林冠的覆蓋程度會影響林冠下之溫度，例如Luskin and Potts (2011)於南亞的研究顯示，相較於鄰近之森林，油棕田裡白天所測得之溫度明顯升高了2.8°C。而Kovács et al. (2017)的研究則指出，地面氣溫與溼度的平均值取決於林地的結構，且最主要影響因子為次冠層和灌木層。雖然並無文獻指出甲蟲幼蟲偏好在具有次冠層且較為陰濕的棲地，但Merritt and Lawson (1992) 發現環境及土壤中的溼度將影響大型無脊椎動物的活動能力，進而導致落葉分解速率的改變。因此本研究將次冠層的有、無，分為兩種不同的棲地類型。而針對許多地棲性昆蟲有負趨光性的現象(Park 1934; Andersen 2006)，我們也量測可反應冠層遮光量的葉面積指數(Leaf Area Index, LAI, Hardwick et al. 2014)、林冠孔隙開闊度(Canopy openness, CO)以及夜間人工光源占比(percentage of artificial light source at night, NAL%)，以瞭解公園植群的結構與地被的管理方

式對地棲性甲蟲的影響。相較於野外林地，都市林動植物族群變化受到人類活動甚鉅。多篇研究均表明不論是都市林或是森林中人為踐踏均對地棲性甲蟲成蟲和幼蟲造成繁殖、築巢行為的影響(Niemelä and Kotze 2002; Cornelisse and Hafernik 2009)。因此本研究以樣點與步道及樣點與建築物之間的距離作為人為干擾程度強弱，以瞭解人為干擾對甲蟲幼蟲影響。

本研究提出下列四個假說：1.地表枝葉層生物量與甲蟲幼蟲個體數成正比、2.都市林地表光照強度與甲蟲幼蟲數量成反比、3.棲地受人為干擾的強度將反應在地棲性甲蟲幼蟲的組成與數量，以及4.具複層林冠層棲地中可調查到較多甲蟲幼蟲。本研究之結果，除有助瞭解都市林棲地特質對土壤生物多樣性之影響外，更期望能提供都會綠地及公園經營者與設計者所需的科學實證，以利建構出更能提高都市林之生態系服務功能的管理模式。

材料與方法

一、樣區概況

本研究以設立於1896年占地8.2 ha的臺北植物園(N 25.031211, E 121.510191)為試驗地。該園栽種約2000種植物，並依植物類群及教育需求分為數個主題區，分別栽種不同類型之植物。本研究依園內植被類型分為完全無遮蔽的草地與有林冠的森林兩大類，再依森林冠層結構分為僅由林木所建構的單層林冠遮蔽，及上層為高大林木、並由下層灌木組成次冠層的複層林冠遮蔽等三種棲地類型。因臺北植物園中完全無遮蔽的草地面積較少，僅夠設立2個樣點，森林棲地則包括7個單層遮蔽及11個複層遮蔽的樣點，共計20個樣點。同一環境類型的樣點間至少間隔10 m以上。

二、土壤動物調查方法

從2020年2月至2021年4月間，於上述樣點每月收集枯枝落葉一次，同時以掉落式陷阱進行取樣。為能定量土表枯枝落葉層生物量對甲蟲幼蟲

族群的影響，本研究以直徑20 cm的不鏽鋼環進行定面積取樣，於每次調查時取回鋼環內的枯枝落葉層，放置於夾鏈袋中立即攜回實驗室，以漏斗中放2 mm網目濾網的柏氏漏斗法，萃取土壤動物5至7天至所有材料均陰乾為止。再以45°C烘乾秤重，以計算單位面積的林床枝葉層生物量。本研究中柏氏漏斗之網目2 mm為濾網，相較其他文獻中所用者為低。雖我們無從得知是否有體型較大的甲蟲幼蟲因無法通過濾網而影響調查結果，但濾網放置在漏斗上時並非完全密合，且在本研究室長期調查經驗中體型大於2 mm的土壤動物(如鼠婦、蜘蛛)會由濾網旁爬入下方的收集瓶。此外，從不受網目影響的陷阱調查結果發現，臺北植物園內較大型地棲性甲蟲幼蟲包括金龜子科幼蟲以及隱翅蟲幼蟲，前者在枯枝落葉採集法中並未受限於非密合的2 mm濾網，而後者在本研究中則主要是出現在枯枝落葉採集法而非掉落式陷阱中。綜合上述原因，應可以排除濾網限制大型甲蟲幼蟲導致試驗結果失真的情況。

本研究另以直徑3 cm、50 ml的離心管作為掉落式陷阱，固定埋設於上列樣點，每樣點設一個管口與地面切齊的陷阱。每月於月中天氣晴朗至多雲的天氣時抽出離心管倒入10 ml酒精，以72小時的努力量收取地表活動的節肢動物。兩種採樣方式所取得的動物樣本均保存於75%酒精中，再於顯微鏡下挑出甲蟲幼蟲，使用Immature Insects (Stehr 1987)一書中之檢索表進行鑑定至科級。

三、環境參數

由於過去文獻中並未見甲蟲幼蟲的活動範圍的研究報告，因此無法確定該設定多大範圍來調查影響甲蟲的環境因子。考量臺北植物園區內植物種類、公園設施等空間分佈狀況，本研究假設甲蟲幼蟲的活動是在相對均質的空間範圍內，因此以掉落式陷阱為中心，圍出10 m見方的小樣區，進行每木調查，記錄樹種同時量測所有直徑大於1 cm的樹木胸徑，以計算各樣點的TSD與BA。雖然臺北植物園的訪客原則上是限制於步道及水泥鋪面上，不會直接在本研究的取樣點上

活動，但因步道的設置有利訪客親近取樣點而可能影響甲蟲的活動，因此本研究假設掉落式陷阱離步道的距離可反應人為擾動的強度，並以皮尺量測樣點至水泥鋪面或步道之最短垂直距離(distance to pathway, DP)。此外，由於臺北植物園許多夜間人工光源均來自周圍建物，因此本研究另使用空照圖量測樣點與人工建物的最短距離(distance to building, DB)，並估算夜間人工光源佔比三項作為人為擾動參數，來瞭解都市林棲地特性對甲蟲幼蟲群聚可能的影響。

一般而言，林內光度與林冠鬱閉度間呈負相關。雖然本研究並未長期監測各樣點微環境之差異，但臺北植物園以常綠闊葉樹為主要組成，全年度之林冠季節變化相對緩和，因此本研究僅於前揭調查範圍內於同一日進行一次性環境參數的測量。LAI與CO是以架設離地高40 cm的Cannon 5D II搭配Sigma 8 mm F3.5 EX DG魚眼鏡頭拍攝，同日於每個樣點各拍攝三張照片一次，再以Gap light analyzer軟體處理取得LAI和CO來反應該棲地在微氣候及光照上之差異。NAL%則於晴朗的夜間在天色全暗後用與拍攝LAI相同之設備，直接將相機放置於原測定LAI位置的表面上拍攝。本研究將天空亮度定義為絕對的黑(0°)，則相機所接收到的光源皆為人工或其他物體反射之光源，再將取得之光源像素(pixel)除以總像素來估出NAL%。

四、統計方法

所得數據以統計軟體R(版本 4.1.2)進行分析。本研究先以皮爾森相關性分析(Pearson correlation analysis)檢驗各個甲蟲類群的數量與環境因子之間的關聯，並用冗餘分析(Redundancy Analysis, RDA)檢測各科甲蟲幼蟲與環境因子間的關係。隨後選取隱翅蟲科與盤甲科兩個優勢族群，藉由多樣本中位數差異檢定(Kruskal-Wallis test)檢驗昆蟲數量在不同的地面環境與林冠層數中是否有差異之後，再藉由曼惠特尼檢定(Mann-Whitney *U* test)做兩兩比較，並以Bonferroni correction校正 p 值。統計上的顯著性以 $p \leq 0.05$ 來做判定。

結果

一、不同採集方法對類群的採集效率

本研究以兩種採集方法進行14次採集，共採得107隻地棲性甲蟲幼蟲，其中85%的個體是由枯枝落葉收集法所捕獲。肉食性甲蟲幼蟲僅採集到5隻，4隻為步行蟲科(*Carabidae*)，1隻為螢科(*Lampyridae*)。102隻的非肉食性甲蟲幼蟲以隱翅蟲科(*Staphylinidae*)佔49%，其次為盤甲科(*Discolomatidae*)佔44%；擬步行蟲科(*Tenebrionidae*)和金龜子科(*Scarabaeidae*)則分別佔7%及4%。兩種調查方法，均能抓到隱翅蟲科、盤甲科和步行蟲科的幼蟲；由於擬步行蟲幼蟲多棲息於腐木、落葉層等有機質豐富的环境，因此僅在枯枝落葉收集法中被採集到。金龜子科和螢科則僅出現於掉落式陷阱當中(Table 1)。

二、都市林甲蟲幼蟲組成之季節性變化

由各月份所得地棲性甲蟲幼蟲組成發現，雖然捕獲的步行蟲科幼蟲數量不多，但各季都有出現記錄；唯一的一隻螢科幼蟲則僅出現在夏季。本研究中隱翅蟲科似乎全年均有族群活動，在14個月份的取樣中，有8個月份有出現，且在六月時似有大量發生的現象，並在炎熱的7-8月消失。盤甲科幼蟲則除了5月及10月無採集紀錄外，全年均有穩定的族群。金龜子科幼蟲僅在夏季7月及9

月偶有捕獲，擬步行蟲幼蟲則出現於4-8月間(Fig. 1)。總合20個樣點兩種取樣法所得的各類群幼蟲個體總數，於6月達到高峰，其餘月份則都在10隻以內，與一般成蟲好發的季節相呼應。從各樣點的甲蟲幼蟲組成發現，試驗中記錄到步行蟲科幼蟲之樣點，其隱翅蟲科幼蟲數量為0或僅有1隻，但因未觀察其實際的捕食行為，且所取得的肉食性甲蟲數量有限，再加上樣本中尚有零星的其他如蜈蚣、蜘蛛等肉食性地棲無脊椎動物的記錄，因此無法得知各類群幼蟲族群的季節變化是否與捕食者的族群有關。

三、環境條件對地棲性甲蟲幼蟲的影響

由RDA分析結果可知，盤甲科幼蟲數量與FFLB成正相關，隱翅蟲科幼蟲數量則與DB成正相關(Fig. 2)。雖然統計結果顯示CO與隱翅蟲科幼蟲及盤甲科幼蟲數量並無顯著相關，但從RDA分析結果可知此兩個科的幼蟲有較偏好CO稍高的棲地環境。此外，由各項環境參數與各科甲蟲幼蟲數量之相關性分析結果可知，除了NAL%對步行蟲科幼蟲數量、DP及DB與隱翅蟲科幼蟲數量、FFLB與盤甲科幼蟲之間呈現顯著正相關外，樣點之TSD、BA及LAI等三項環境參數與各科地棲性幼蟲數量間無顯著相關(Table 2)。

由於步行蟲科、螢科、擬步行蟲科和金龜子科所採得的隻數太少，因此本研究僅進一步探討地表植被類型及冠層遮蔽程度對隱翅蟲科及盤

Table 1. The collected individual number of ground-dwelling Coleopteran larva using different sampling methods

Sampling method	Litter	Pitfall trap	Total
Carabidae	3	1	4
Lampyridae	0	1	1
Staphylinidae	39	11	50
Discolomatidae	44	1	45
Scarabaeidae	0	2	2
Tenebrionidae	5	0	5
Total	91	16	107

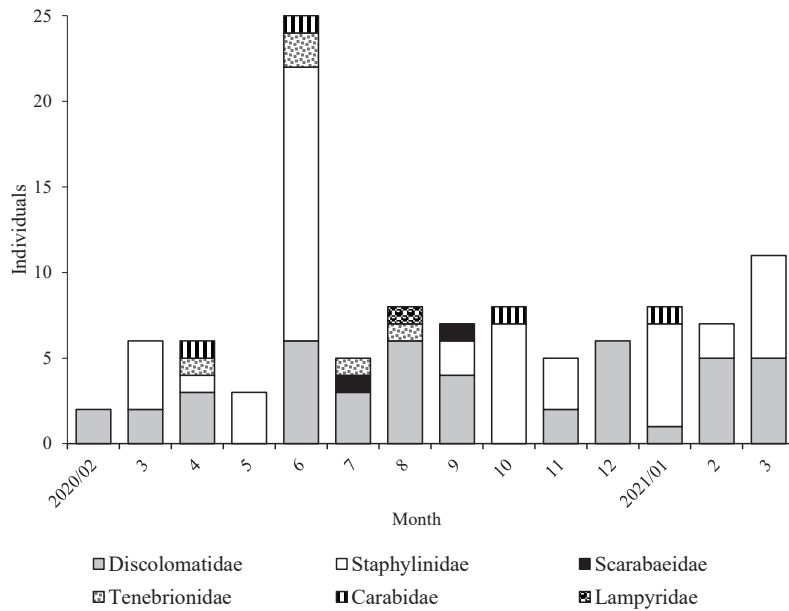


Fig. 1. The seasonal change of collected ground-dwelling Coleopteran larva taxa and total individuals from 20 sampling plots in Taipei botanical garden.

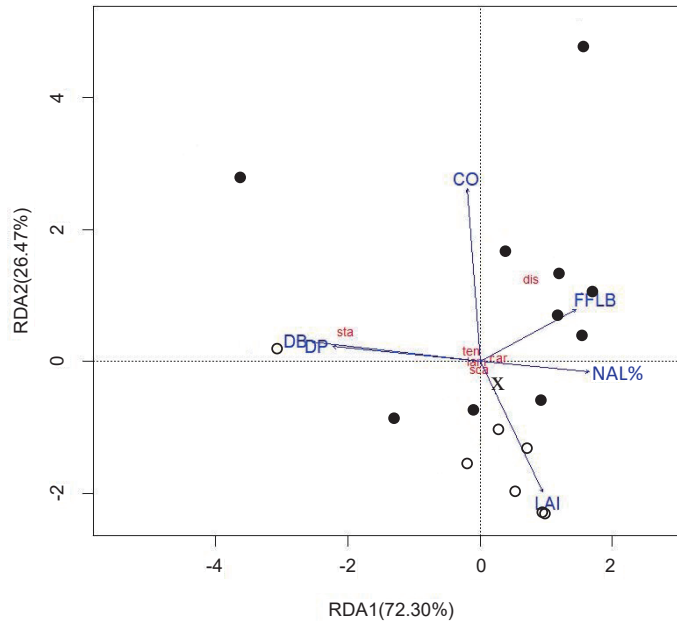


Fig. 2. Influence of environmental variables on ground-dwelling Coleopteran larva using Redundancy analysis. car: Carabidae, dis: Discolomatidae, lam: Lampyridae, sca: Scarabaeidae, sta: Staphylinidae, ten: Tenebrionidae, FFLB: forest floor litter biomass, LAI: leaf area index, CO: canopy openness, DP: distance to pathway, DB: distance to buildings, NAL%: artificial light source at night. X: plot without canopy, o: plots with single canopy, ●: plots with double layer canopy.

甲科幼蟲的影響。分析結果可知，隱翅蟲科和盤甲科幼蟲不論在有落葉覆蓋的森林或草皮植被的土表，其累積捕獲個體量間的差異並不顯著(隱翅蟲科： $\chi^2 = 1.05, p = 0.31$ ；盤甲科： $\chi^2 = 0.30, p = 0.58$)。但盤甲科幼蟲在有落葉覆蓋的森林土表環境中，各樣點分別累積捕獲的個體量較缺少枝葉層的草地為多，唯變動幅度大，推測其族群數量尚受其他環境因子所影響(Fig. 3A)。此外，隱翅蟲科幼蟲數量在棲地遮蔽程度不同下並無顯著差異($\chi^2 = 0.09, p = 0.96$)，但盤甲科幼蟲則明顯偏好具有次冠層的複層林冠棲地($\chi^2 = 8.90, p = 0.01$) (Fig. 3B)。

因冠層結構與FFLB以及NAL%間，並非呈線性關係，因此本研究依冠層結構將樣點分為無遮蔽的草地、單層遮蔽與複層遮蔽的森林等三類進行分析。結果如Fig. 4所示可知，有灌木的複層林冠樣點所採集到的甲蟲幼蟲類群，明顯較單層林冠遮蔽及無遮蔽的草皮樣點為高，且在相似的FFLB下，複層林冠遮蔽的樣點也比單層者有相對較高的甲蟲幼蟲類群數及累積個體數。複層林冠樣點的樣本中，盤甲科幼蟲出現頻度相較單冠層為高(無次冠層：有次冠層=2.4%：22.5%)；但隱翅蟲科 *Anotylus* sp. 幼蟲似乎影響較小，兩種棲地類型中捕獲的頻度為11.4%：17.0%，差異較小。擬步行蟲科幼蟲全數出現在具次冠層之樣點；

步行蟲科幼蟲則大多於具次冠層之樣點被捕獲(0.8%：1.9%)；唯一的一隻螢科幼蟲則出現於具次冠層且臨近水域的樣區；金龜子科幼蟲則是兩種環境各出現一隻。

由Fig. 4A可見，甲蟲幼蟲累計捕獲數最高的多個樣點，平均FFLB約為400-520 g/m²，FFLB的增多並未使地棲性甲蟲幼蟲的數量增加。而如Fig. 4B所示，在NAL%高於0.4%以上的樣點，均未捕獲隱翅蟲科幼蟲；盤甲科則相對不受NAL%的影響，從完全無夜間燈光到靠近馬路側最亮之樣點均能發現其存在。捕獲隻數較少的金龜子科與擬步行蟲科似乎亦不受燈光影響。僅捕獲過一隻的螢科出現在NAL%極低的樣點；而所捕獲的4隻步行蟲有2隻出現在NAL%極高的樣點。此外，甲蟲幼蟲組成和數量並不隨離DP的拉長而增加，唯部分樣點中隱翅蟲科幼蟲似有隨著DP與DB增加而上升的趨勢(Fig. 5)，由相關性分析結果則知隱翅蟲幼蟲數量與人為擾動因子(DP、DB)呈顯著低度相關(隱翅蟲幼蟲數量與DP之 $p = 0.01, r = 0.15$ 與DB之 $p = 0.02, r = 0.15$) (Table 2)。

討論

一、不同調查法對甲蟲幼蟲之採集效率

從Table 1可知，本研究使用枯枝落葉收集法

Table 2. *p* value of the Pearson correlation analysis between Coleopteran larva taxa and environmental parameter. Significant relationships after Bonferroni correction at $p < 0.05$ are tag with*. BA: basal area, FFLB: forest floor litter biomass, LAI: leaf area index, CO: canopy openness, TSD: tree species diversity, DP: distance to pathway, DB: distance to building, NAL%: percentage of artificial light source at night

	BA	FFLB	LAI	CO	TSD	DP	DB	NAL%
Carabidae	0.48	0.82	0.47	0.67	0.28	0.13	0.14	0.02*
Lampyridae	0.61	0.85	0.65	0.92	0.44	0.65	0.14	0.65
Staphylinidae	0.06	0.27	0.54	0.29	0.40	0.01*	0.02*	0.28
Discolomatidae	0.35	0.02*	0.57	0.55	0.61	0.79	0.43	0.85
Scarabaeidae	0.14	0.47	0.15	0.48	0.58	0.27	0.88	0.36
Tenebrionidae	0.51	0.40	0.71	0.75	0.92	0.37	0.1	0.43

捕獲的甲蟲幼蟲數量約為掉落式陷阱的6倍，這除與不同昆蟲類群及齡期的動物行為特性有關外，可能主要原因是受限於本研究考量在都市林內的掉落式陷阱裝置儘量不醒目而使用管徑較小的陷阱，及為避免降雨泡水導致樣本流失而僅放置72小時的努力量太小有關。在許多針對地棲性節肢動物的不同研究中，掉落式陷阱放置時間長短的努力量有很大的差異。例如Sabu and Shiju (2010)以24小時的努力量來比較不同調查方式的成效，Bates et al. (2007)也是以放置24小時調查地表活動之甲蟲於不同微空間的分布情況。同樣是步

行蟲的調查，Varchola and Dunn (1999)及Yeh et al. (2008)以一週的努力量進行研究，Niemelä and Kotze (2002)則將陷阱放置了四週。Lu et al. (2019)於兩種不同干擾程度及管理的果園，各以72小時的努力量進行地表活動節肢動物類群採樣和調查，Melbourne (1999)則以三週的努力量對三種不同結構之棲地進行地面活動螞蟻之調查與比較。可見掉落式陷阱放置時間並沒有一個標準的作業規範，可能隨著調查類群或是試驗項目而有所改變，而即便調查的對象為同一類群，努力量也因各研究的考量不同而有相當大的差異性。

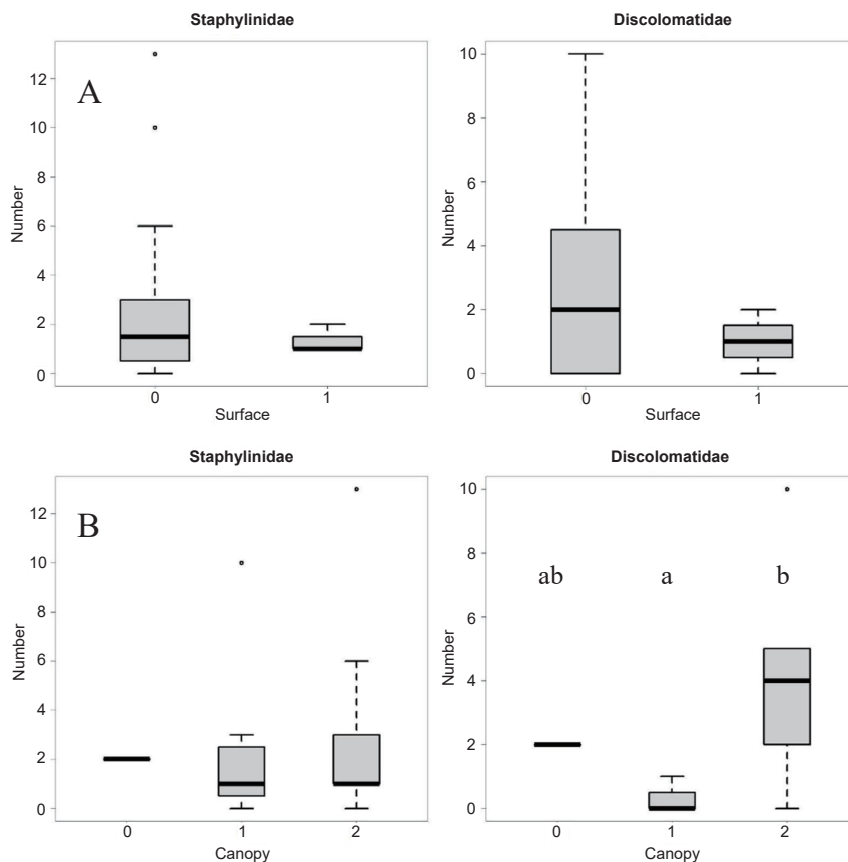


Fig. 3. The influence of (A) soil surface cover (0 : grass, 1: forest litter) and (B) canopy layers (0: no canopy, 1: single canopy, 2: double layer canopy) on the average collected *Staphylinidae* and *Discolomatidae* larva individual number. Letters indicate significant pairwise differences among the habitats characteristics (pairwise Mann-Whitney U test with p values adjusted by using Bonferroni correction method, $p < 0.05$).

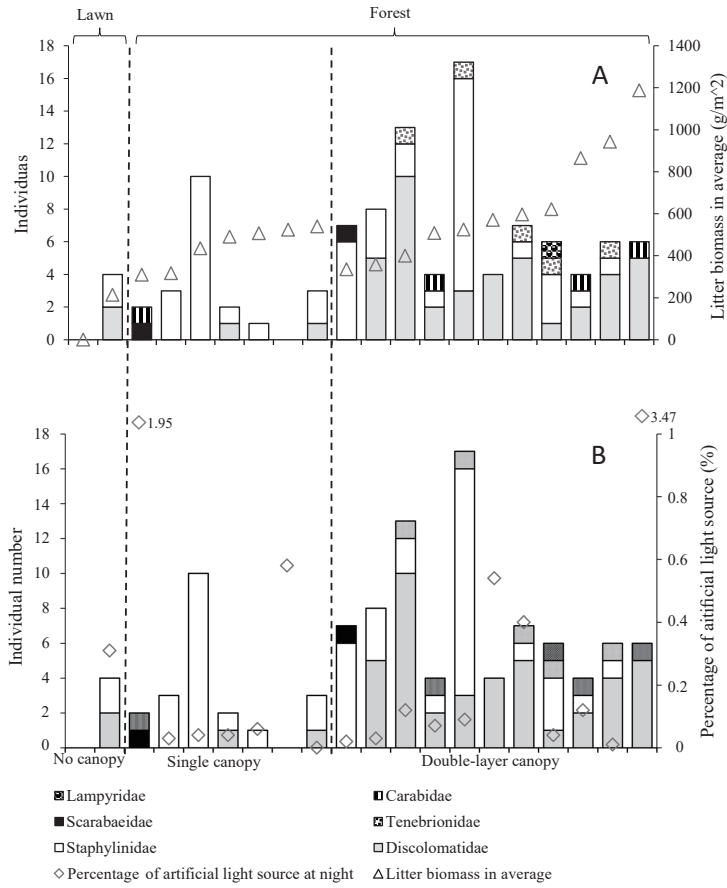


Fig. 4. The influence of forest floor litter biomass (A) and percentage of nighttime artificial light source (B) on the composition of ground-dwelling Coleopteran larva in different habitats of Taipei Botanic Garden.

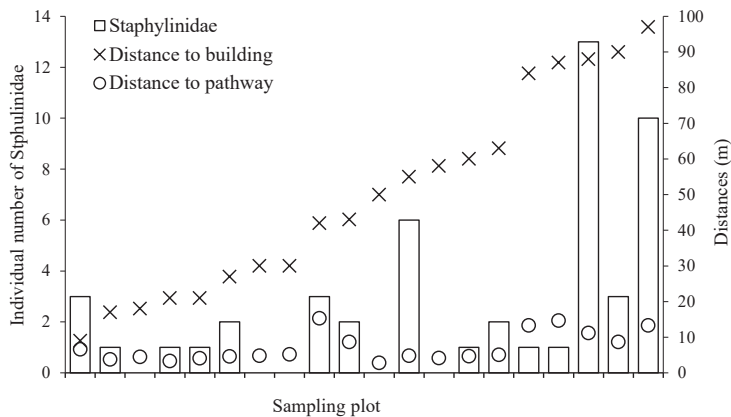


Fig. 5. Effects of human disturbance measured by distance from sampling plot to pathway or buildings on the collected individuals number of ground-dwelling Staphylinidae larva at 20 sampling plots.

有學者指出，掉落式陷阱雖可以採集大多數於地表活動之昆蟲類群，但對於嚙蟲目(Psocoptera)和昆蟲幼蟲採集效率較低(Sabu and Shiju 2010)；此外，掉落式陷阱的採集效率也常受樣區的開闊度、植被組成之複雜程度所影響(Melbourne 1999)。本研究結果則發現，肉食性甲蟲可能須不斷移動來找尋食物，且整體族群遠小於非肉食性者，因此難以比較此二種方法的捕獲效率。建議未來進行有關地棲性肉食性甲蟲幼蟲的研究時，可嘗試加大陷阱直徑、延長掉落式陷阱的努力量、增加枝葉層的採集量，或發展更有效率的採集法。

非肉食性甲蟲幼蟲可能因族群相對較大，所以取樣效率明顯較肉食性者為高，唯同樣有因物種不同而效果不一的情形。其中，在本研究14個月的調查中所抓到的50隻隱翅蟲幼蟲，均為*Anotylus*屬的幼蟲，該屬幼蟲是以枯落葉等植物性有機物為主要營養來源(Thayer 2016)，雖然由直接收集枯枝落葉進行萃取所捕獲數量較掉落式陷阱多約3倍，但此二種調查方法在各月份均可有效取得該屬的幼蟲。相對的，同樣棲息在枯枝落葉中以腐爛的枯枝落葉或真菌為主食的盤甲科幼蟲(Cline and Ślipiński 2010)，98%個體則由枯枝落葉採集法採得，在總計280個掉落式陷阱中僅採得1隻。此二類幼蟲在二種調查方式結果的差異，除前述本研究中掉落式陷阱可能努力量太低以外，推測也可能與其食性及體型大小有關。本研究中所採得的盤甲科幼蟲體長多不及2 mm，足長約0.3 mm；隱翅蟲科*Anotylus*屬幼蟲則約4-6 mm長，足長約0.6 mm為盤甲的2倍。雖然本研究在埋設掉落式陷阱時已盡力平貼地表，但難免陷阱周圍土壤微崩塌或有不小隙縫，這對於體型微小的盤甲科幼蟲可能已是難以跨越的障礙。相較而言，陷阱與土壤接面的不平整或不小隙縫，對*Anotylus*屬幼蟲的移動則應不構成影響。也可能是由於大體型的*Anotylus*屬幼蟲是直接食用枯落物，所以隨著枯落物被吃掉而必然移動，但體型微小的盤甲科幼蟲則是以長在枯落物上的真菌為食，移動需求相對較低。由於許多土壤動物體型多小於砂粒的粒徑，因此本研究建議未來的相關研究者應以枝葉

層採集為主要的調查方法，較能避免掉落式陷阱法在動物體型與食性上可能受到的限制。

二、都市林棲地營造對地棲性甲蟲的影響

由於許多地棲性甲蟲幼蟲為碎食性及食菌性生物，因此地表枝葉層可視為地棲性無脊椎動物的棲地與食物，也因此本研究假設都市林地表的FFLB與甲蟲幼蟲個體數成正比。McGlynn et al. (2009)在哥斯大黎加熱帶雨林裡的研究指出，地棲性螞蟻群密度與FFLB呈正相關，但Ruggiero et al. (2009)於亞南極巴達哥尼亞地區等研究結果，則發現枝葉層生物量的增加對於甲蟲豐度有輕微的負面效果。本研究調查結果則發現，並非所有地棲性甲蟲幼蟲捕獲量都與FFLB相關，且甲蟲幼蟲組成與族群量與FFLB也非線性關係。此一結果與David et al. (1991)比較森林地表落葉層移除前、後十種無脊椎動物類群數量變化的研究結果類似，該研究發現落葉層移除後的1~3年內，鞘翅目幼蟲中步行蟲科、蜚科及隱翅蟲科個體數呈緩慢下降之趨勢，叩頭蟲科、擬步行蟲科之鞘翅目幼蟲個體數則不受影響。而由本研究相關性分析結果來看，僅盤甲科幼蟲數量與FFLB成正相關。若不分科別，則甲蟲幼蟲累積總個體數量最大值的樣點中其FFLB分別為400及524 g/m²，當FFLB超過500 g/m²，所捕獲的甲蟲幼蟲量並未隨之增加。推測FFLB並非影響甲蟲幼蟲群聚的主要因子。

冠層結構、LAI與CO均影響可穿透至林地土壤的光斑量，而影響都市林內的氣溫、濕度與土溫(Anderson et al. 2007)，進而控制地棲性甲蟲分布(Perner and Malt 2003)。基於土壤動物多不喜陽光，本研究的第二個假設是都市林底層光照強度與甲蟲幼蟲數量成反比，然而由相關性分析結果可知，臺北植物園地棲性甲蟲幼蟲之組成及數量與影響日間光照強度的CO或LAI均無明顯相關。推測可能由於地棲性甲蟲幼蟲活動空間大多是枝葉層夾縫或枝葉層與土壤間的陰暗縫隙中，因此較不受都市林內光斑多寡所影響。也因此，只要土表上方有遮蔽，無論是草地或土壤枝葉層就都有甲蟲幼蟲活動的空間(Fig. 3與Fig. 4)。此外，灌木是維持地面微氣候恆定的重要因素(Kovács et al.

2017)，而微氣候的恆定能使該地區的生態系運作正常(Frey et al. 2016)。調查結果也支持本研究第四個假說：甲蟲幼蟲偏好複冠層而較陰涼的棲地環境，其中尤以盤甲科幼蟲受其影響甚鉅。

三、人為擾動對地棲性甲蟲幼蟲的影響

人類活動頻繁的都市林中，對地棲性甲蟲的干擾除了人為踐踏外，還包括建物的遮光及人工光源的污染。但由於不同科別甲蟲幼蟲的生物習性不同，對於各種人為擾動的耐受度可能有不同的差異。據Niemelä and Kotze (2002)針對都市林裡步行蟲族群的研究指出，不同種類的步行蟲對於踐踏有不同反應，隨著踐踏頻率增加，較敏感的種類將無法存活。Kotze et al. (2012)於芬蘭及加拿大的研究則指出，森林裡步行蟲族群密度與人為踐踏強度成反比，與步道距離成正比。Cornelisse and Hafernik (2009)就美國加州兩種虎甲蟲*Cicindela oregona*及*C. hirticollis*的研究則指出，人為踐踏除了影響成蟲產卵行為，且遭踐踏後扎實的沙土也使得幼蟲的挖洞數量減少而降低族群數量，亦影響其體型。Grandchamp et al. (2000)的研究亦指出步行蟲體型和人為踐踏強度有明顯的負相關。此外，人為踐踏造成的震動也可能驅離地棲性昆蟲(Ciach et al. 2016)，這也可能是樣點與步道有一定距離後，昆蟲幼蟲數量有明顯上升的原因。本研究分析DP與甲蟲幼蟲數量的結果則發現，僅隱翅蟲幼蟲呈顯著正相關，其他甲蟲幼蟲似乎不受DP影響(Table 2)。

在許多都市化對昆蟲多樣性影響研究均發現，建築物對昆蟲族群數量有間接或直接之負面影響。由本研究RDA分析結果發現，雖然多數肉食性甲蟲因幼蟲捕獲量少，而無法在統計上找出其與環境因子間的相關性，但最優勢的隱翅蟲科幼蟲數量則明顯與DB成正比。此一結果與Delgado de la Flor (2017)於美國克里夫蘭城市研究地棲性隱翅蟲及步行蟲的種類數，以及Duan et al. (2019)於中國針對步行蟲研究的結果類似。前者發現地棲性隱翅蟲及步行蟲與樣區方圓一公里內建築物覆蓋面積呈負相關，後者則發現除了少數種類步行蟲與建築物及道路覆蓋面積成正相關

外，多數種類的步行蟲其數量與建物及道路覆蓋面積成負相關。

固定式或移動的夜間人工光源均對夜行性動物產生負面作用(Gaston & Holt, 2018)，也因干擾動植物的生理而影響陸域生態系的自然運作(Davies & Smyth 2017)。人工光源的干擾，使昆蟲原本受晝夜循環及其他受陽光調控之生理機制變得紊亂(Numata et al. 2015)。臺北植物園內之人工光源主要有園內主步道架設之路燈和照地燈，而園區外周遭馬路的路燈以及房舍亦為明顯之人工光源。由Fig. 2顯示，隱翅蟲科*Anotylus* sp.幼蟲對於光線較為敏感，僅出現在NAL%小於0.4的棲地環境，但盤甲科幼蟲則從無人工光源至干擾強度極高的大馬路邊均能活動。不同昆蟲對光的感受程度各有差異，Fellers (1989)研究指出同樣於森林底層活動之螞蟻，會因種類不同而受光線調控的程度不同。而本研究中，相較於趨向低NAL%的隱翅蟲來看，盤甲科似乎對於光線敏感度較低，因此能夠棲息於較亮之樣點。

隨著灌木叢密度提高，地面環境溼度會跟著提高(Williams and Wards 2010)，而地面溫度則隨之降低(Watling et al. 2011)。從Kaufmann (1965)及Viviani (2001)分別就非洲及巴西的陸生螢火蟲進行研究表示，幼蟲偏好於相對濕度90%或更高的環境進行活動和棲息。而本研究亦發現，相較於人工光源帶來的影響，次冠層似乎對於盤甲及螢科幼蟲的棲地偏好影響更大。由本研究中NAL%次高且地表有平均335 g/m²的FFLB所覆蓋的樣點，相較於臨近道路而NAL%最高、同時平均FFLB也最高(約1200 g/m²)的樣點，前者是否因缺少次冠層而完全沒有盤甲科幼蟲棲息(Fig. 4B)，有待進一步深入探究。在未來都市林的設計與管理上，建議除考量地上部的植群與地表經營外，也應思索人為干擾強度對地棲性甲蟲幼蟲分布與組成的影響，進行有利土壤動物生存的棲地營造。

結論

在臺北植物園14個月共560個樣本中，都市

林地棲性甲蟲幼蟲因類群的改變，受棲地不同因子影響而有分布及數量上之差異。各科地棲性甲蟲幼蟲對於落葉及草地兩種地面環境均無明顯偏好，而複層冠層遮蔽之棲地多有較高種類數及累積個體數的甲蟲幼蟲，其中又以盤甲科數量最為明顯。步行蟲科幼蟲數量則與夜間人工光源成顯著正相關，盤甲科幼蟲數量與枝葉層生物量亦成顯著正相關，其分布較不受夜間人工光源之影響。隱翅蟲科 *Anotylus* 屬的幼蟲受人為擾動影響，遠離步道或建築物的棲地其數量會增加。其餘環境因子對於其他各科地棲性甲蟲幼蟲數量上均無顯著性相關。RDA分析結果顯示，隱翅蟲科 *Anotylus* 屬的幼蟲偏好夜間人工光源較少、遠離步道或建物之棲地，盤甲科幼蟲則偏好枝葉層生物量高之環境，這兩個科似乎偏好林冠孔隙開闊度稍高之棲地。其餘各科地棲性甲蟲幼蟲由於採集數量較少，因此無法從RDA分析中看出與環境因子或人為干擾對於其數量上之影響。

謝誌

本研究感謝曾甯謙、呂沅軒、夏翊智協助樣本處理，邱名鍾及林冠穎在分析資料上的討論與幫忙，黃大玲協助拍攝LAI、CO以及夜間人工光源，蔡佳雯協助採樣。本研究經費由農委會林業試驗所109農科-10.6.1-森-G1計畫支持，在此致謝。

引用文獻

- Aida N, Sasidhran S, Kamarudin N, Aziz N, Puan CL, Azhar B. 2016.** Woody trees, green space and park size improve avian biodiversity in urban landscapes of Peninsular Malaysia. *Ecol Indic* 69:176-83.
- Andersen J. 2006.** Mechanisms in the shift of a riparian ground beetle (Carabidae) between reproduction and hibernation habitat. *J Insect Behav* 19: 545-58.
- Anderson PD, Larson DJ, Chan SS. 2007.** Riparian buffer and density management influences on microclimate of young headwater forests of western Oregon. *For Sci* 53(2):254-69.
- Angold PG, Sadler JP, Hill MO, Pullin A, Rushton S, Austin K, et al. 2006.** Biodiversity in urban habitat patches. *Sci Total Environ* 360(1-3):196-204.
- Bates AJ, Sadler JP, Perry JN, Fowles AP. 2007.** The microspatial distribution of beetles (Coleoptera) on exposed riverine sediments (ERS). *Eur J Entomol* 104:479-87.
- Bray N, Wickings K. 2019.** The roles of invertebrates in the urban soil microbiome. *Front Ecol Evol* 7:359. doi: 10.3389/fevo.2019.00359.
- Chapman SK, Hart SC, Cobb NS, Whitham TG, Koch GW. 2003.** Insect herbivory increases litter quality and decomposition: an extension of the acceleration hypothesis. *Ecology* 84:2867-76.
- Ciach M, Maślanka B, Krzus A, Wojas T. 2017.** Watch your step: insect mortality on hiking trails. *Insect Conserv Diver* 10:129-40.
- Cline AR, Ślipiński A. 2010.** Discolomatidae Horn, 1878. In: Leschen RAB, Beutel RG, Lawrence JF ed. *Handbook of Zoology. Volume IV. Arthropoda: Insecta. Part 38. Coleoptera, Beetles. Volume 2: Morphology and Systematics (Elateroidea, Bostrichiformia, Cucujiformia partim)*. Berlin, Boston: De Gruyter. p 435-42.
- Cornelis J, Hermy M. 2004.** Biodiversity relationships in urban and suburban parks in Flanders. *Landscape Urban Plan* 69:385-401.
- David JF, Ponge JF, Arpin P, Vannier G. 1991.** Reaction of the macrofauna of forest mull to experimental perturbations of litter supply. *Oikos* 61:316-26.
- Davies TW, Smyth T. 2017.** Why artificial light at night should be a focus for global change research in the 21st century. *Glob Change Biol* 24:872-82.
- Duan M, Liu Y, Li X, Wu P, Hu W, Zhang F, et al. 2019.** Effect of present and past landscape structures on the species rich-

- ness and composition of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) and spiders (Araneae) in a dynamic landscape. *Landscape Urban Plan* 192:103649. doi:10.1016/j.landurbplan.2019.103649.
- Edmondson JL, Davies ZG, McHugh N, Gaston KJ, Leake JR. 2012.** Organic carbon hidden in urban ecosystems. *Sci Rep* 2:963.
- Erwin TL. 2004.** The biodiversity question: How many species of terrestrial arthropods are there? In: Lowman MD, Rinker HB editors. *Forest Canopies*. London: Academic Press. p 259-69.
- Farinha-Marques P, Lameiras JM, Fernandes C, Silva S, Guilherme F. 2013.** Urban biodiversity: a review of current concepts and contributions to multidisciplinary approaches. *Innovation-Abingdon* 24(3):247-71.
- Favero S, Souza HA, Oliveira AK. 2011.** Coleoptera (Insecta) as forest fragmentation indicators in the Rio Negro sub-region of the Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Braz J Biol* 71(1):291-5. doi:10.1590/s1519-69842011000200008.
- Fellers JH. 1989.** Daily and seasonal activity in woodland ants. *Oecologia* 78(1):69-76.
- Fountain-Jones NM, Baker SC, Jordan GJ. 2015.** Moving beyond the guild concept: developing a practical functional trait framework for terrestrial beetles. *Ecol Entomol* 40:1-13. doi:10.1111/een.12158.
- Frank JH, Thomas MC. 1999.** Rove Beetles of Florida, Staphylinidae (Insecta: Coleoptera: Staphylinidae). DPI Entomology Circular No. 343.
- Frey SJK, Johnson SL, Schulze M, Jones JA, Betts MG. 2016.** Spatial models reveal the microclimatic buffering capacity of old-growth forests. *Sci Adv* 2(4):e1501392. doi:10.1126/sciadv.1501392.
- Gaston KJ, Holt LA. 2018.** Nature, extent and ecological implications of nighttime light from road vehicles. *J Appl Ecol* 55:2296-307.
- Geiger R, Aron RH, Todhunter P. 1995.** The effect of low plant cover on the surface air layer. In: Geiger R, Aron RH, Todhunter P. editors. *The climate near the ground*. Berlin: Vieweg+Teubner Verlag. p 223-57. doi:10.1007/978-3-322-86582-3_6.
- González-Moreno A, Bordera S, Leirana-Alcocer J, Delfin-González H. 2012.** Diurnal flight behavior of Ichneumonoidea (Insecta: Hymenoptera) related to environmental factors in a tropical dry forest. *Environ Entomol* 41(3):587-93.
- Gerlach J, Samways M, Pryke J. 2013.** Terrestrial invertebrates as bioindicators: an overview of available taxonomic groups. *J Insect Conserv* 17:831-50.
- Grandchamp AC, Niemelä J, Kotze J. 2000.** The effects of trampling on assemblages of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in urban forests in Helsinki, Finland. *Urban Ecosyst* 4:321-32. doi:10.1023/A:1015707916116.
- Gregory JH, Dukes MD, Jones PH, Miller GL. 2006.** Effect of urban soil compaction on infiltration rate. *J Soil Water Conserv* 61(3):117-24.
- Grimm NB, Faeth SH, Golubiewski NE, Redman CL, Wu J, Bai X, Briggs JM. 2008.** Global change and the ecology of cities. *Science* 319:756-60.
- Gudina LF, Klaus D, Henrik M. 2014.** Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. *Landsc Urban Plann.* 123:87-95.
- Hardwick SR, Toumi R, Pfeifer M, Tuerner EC, Nilus R, Ewers RM. 2015.** The relationship between leaf area index and microclimate in tropical forest and oil palm plantation: Forest disturbance drives changes in microclimate. *Agric For Meteorol* 201:187-95.
- Hwang WB, Koh CN. 2013.** Application of necrophilous beetles to long-term monitoring of a forest ecosystem associated with climatic change. *Taiwan J For Sci* 28(2):83-96. [in

Chinese with English summary].

Janhäll S. 2015. Review on urban vegetation and particle air pollution - Deposition and dispersion. *Atmos Environ* 105:130-7.

Kaufmann T. 1965. Ecological and biological studies on the west African firefly *Luciola discicollis* (Coleoptera: Lampyridae). *Ann Entomol Soc Am* 58:414-26.

Komonen, A, Övermark E, Hytönen J, Halme P. 2015. Tree species influences diversity of ground-dwelling insects in afforested fields. *Forest Ecol Manag* 349:12-9.

Kotze DJ, Lehvāvirta S, Koivula M, O'Hara RB, Spence JR. 2012. Effects of habitat edges and trampling on the distribution of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in urban forests. *J Insect Conserv* 16:883-97.

Kotze DJ, Lowe EC, MacIvor JS, Ossola A, Norton BA, Hochuli DF, et al. 2022. Urban forest invertebrates: how they shape and respond to the urban environment. *Urban Ecosyst* 25:1589-609.

Kovács B, Tinya F, Ódor P. 2017. Stand structural drivers of microclimate in mature temperate mixed forests. *Agric For Meteorol* 234:11-21.

Lai J, Sato M, Yang PS. 1998. Checklist of Lampyridae of Taiwan-Coleoptera : Polyphaga : Lampyridae. *Chin J Entomol* 18:207-15.

Lavelle P. 1996. Diversity of Soil Fauna and Ecosystem Function. *Biol Int* 33.

Liu KL, Peng MH, Hung YC, Neoh KB. 2019. Effects of park size, peri-urban forest spillover, and environmental filtering on diversity, structure, and morphology of ant assemblages in urban park. *Urban Ecosyst* 1-14.

Long JR, Heinen R, Hannula SE, Jongen R, Steinauer K, Bezemer TM. 2022. Plant-litter-soil feedbacks in common grass species are slightly negative and only marginally modified by litter exposed to insect herbivory. *Plant Soil* doi:10.1007/s11104-022-05590-3.

Lu SS, Huang SH, Bordbar L, Sung IH.

2019. Composition and diversity of ground-dwelling arthropods at Chiayi Agricultural long-term ecological research site in the Southern Taiwan. *J Asia-Pac Biodivers* 12:561-9.

Luskin MS, Potts MD. 2011. Microclimate and habitat heterogeneity through the oil palm lifecycle. *Basic Appl Ecol* 12:540-51.

McGlynn TP, Fawcett RM, Clark DA. 2009. Litter biomass and nutrient determinants of ant Density, nest size, and growth in a Costa Rican tropical wet forest. *Biotropica* 41(2):234-40.

McIntyre NE, Rango J, Fagan WF, Faeth SH. 2001. Ground arthropod community structure in a heterogeneous urban environment. *Landsc Urban Plan* 52:257-74.

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* 52:1445-54.

Melbourne BA. 1999. Bias in the effect of habitat structure on pitfall traps: An experimental evaluation. *Aust J Ecol* 24:228-39.

Merritt RW, Lawson DL. 1992. The role of leaf litter macroinvertebrates in stream-floodplain dynamics. *Hydrobiologia* 248(1):65-77. doi:10.1007/bf00008886.

Niemelä J, Kotze J. 2002. The effects of trampling on assemblages of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in urban forests in Helsinki, Finland. *Urban Ecosyst* 4:321-32.

Numata H, Miyazaki Y, Ikeno T. 2015. Common features in diverse insect clocks. *Zool* 1:10.

Park T. 1934. Observations on the general biology of the flour Beetle, *Tribolium Confusum*. *Q Rev Biol* 9(1):36-54.

Perner J, Malt S. 2003. Assessment of changing agricultural land use: response of vegetation, ground-dwelling spiders and beetles to the conversion of arable land into grassland. *Agriculture Ecosyst Environ* 98:169-81.

Pizzolotto R, Mazzei A, Bonacci T, Scaler-

- cio S, Iannotta N, Brandmayr P. 2018.** Ground beetles in Mediterranean olive agro-ecosystems: Their significance and functional role as bioindicators (Coleoptera, Carabidae). *PLoS One* 13(3):e0194551. doi:10.1371/journal.pone.0194551.
- Pompeo PN, Oliveira Filho LCI, Santos MAB, Mafra AL, Klauberg Filho O, Baretta D. 2017.** Morphological diversity of Coleoptera (Arthropoda: Insecta) in agriculture and forest systems. *Rev Bras Ciênc Solo* 41:e0160433. doi:10.1590/18069657rbcS20160433.
- Pompeo PN, Oliveira Filho LCI, Klauberg Filho O, Mafra AL, Baretta D. 2020.** *Coleoptera* diversity and soil properties in land use systems. *Floresta Ambiente* 27(3):e20180068 doi:10.1590/2179-8087.006818r.
- Ruggiero A, Sackmann P, Farji-Brener AG, Kun M. 2009.** Beetle abundance-environment relationships at the Subantarctic-Patagonian transition zone. *Insect Conserv Diver* 2:81-92.
- Sabu TK, Shiju RT. 2010.** Efficacy of pit-fall trapping, Winkler and Berlese extraction methods for measuring ground-dwelling arthropods in moist-deciduous forests in the Western Ghats. *J Insect Sci* 10:98.
- Santorufu L, Van Gestel CAM, Rocco A, Maisto G. 2012.** Soil invertebrates as bioindicators of urban soil quality. *Environ Pollut* 161:57-63.
- Sauvadet M, Chauvat M, Brunet N, Bertrand I. 2017.** Can changes in litter quality drive soil fauna structure and functions? *Soil Biol Biochem* 107:94-103. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.12.018>.
- Stehr FW. 1987.** *Immature Insects Vol II*. USA: Kendall/Hunt Publishing Company. 975p.
- Terada K, Hsu MH, Wu WJ. 2005.** A checklist of the Carabidae (Coleoptera) of Taiwan. *Misc Rep Hiwa Mus Nat Hist No.45*:163-216.
- Thakur MP, Phillips HRP, Brose U, De Vries FT, Lavelle P, Loreau M, et al. 2020.** Towards an integrative understanding of soil biodiversity. *Biol Rev* 95:350-64.
- Thayer MK. 2016.** Staphylinidae Latreille, 1802. In: Beutel RG, Leschen RA editors. *Coleoptera Beetles, Vol. 1: Morphology and Systematics (Archostemata, Adephaga, Myxophaga, Polyphaga partim)*, 2nd ed. Berlin, Boston: de Gruyter. p 394-442.
- Tresch S, Moretti M, Le Bayon R-C, Mäder P, Zanetta A, Frey D, Fließbach A. 2018.** A gardener's influence on urban soil quality. *Front Environ Sci* 6:25. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00025>.
- Triplehorn CA, Johnson NF. 2005.** Borror and DeLong's introduction to the study of insects. 7th ed. USA: Thomson, Brooks/Cole. 864 p.
- Varchola JM, Dunn JP. 1999.** Changes in ground beetle (Coleoptera: Carabidae) assemblages in farming systems bordered by complex or simple roadside vegetation. *Agr Ecosyst Environ* 73: 41-9.
- Vician V, Svitok M, Michalková E, Lukáčik I, Stašiov S. 2018.** Influence of tree species and soil properties on ground beetle (Coleoptera: Carabidae) communities. *Acta Oecol* 91:120-6.
- Viviani VR. 2001.** Fireflies (Coleoptera: Lampyridae) from southeastern Brazil: habitats, life history, and bioluminescence. *Ann Entomol Soc Am* 94:129-45.
- Watling JI, Hickman CR, Orrock JL. 2011.** Invasive shrub alters native forest amphibian communities. *Biol Conserv* 144(11):2597-601.
- Williams SC, Ward JS. 2010.** Effects of Japanese barberry (Ranunculales: berberidaceae) removal and resulting microclimatic changes on *Ixodes scapularis* (Acari: ixodidae) abundances in Connecticut, USA. *Environ Entomol* 39(6):1911-21.
- Yeh LW, Chen TY, Mao JJ. 2008.** A Preliminary Study on a Carabids Community of Ma-sai, Yi-lan County. *Ilan Univ J Bioresources* 4(1):59-68. [in Chinese with English summary].