

# 臺灣農業生態環境蚯蚓生物多樣性調查

林芳妘<sup>1</sup>、陳淑娟<sup>1</sup>、謝玉貞<sup>1\*</sup>

## 摘要

林芳妘、陳淑娟、謝玉貞。2025。臺灣農業生態環境蚯蚓生物多樣性調查。臺灣農藥科學 19 : 1-30。

本研究於 2021 至 2023 年進行不同農業監測站，且在不同農業作業模式下對蚯蚓基礎背景多樣性物種調查與分布。調查臺灣西部至東部共 15 個農業監測站，共採得 3,059 隻蚯蚓。利用形態與分子鑑定方法進行蚯蚓物種鑑定，蚯蚓物種分類共 6 科 10 屬 21 種蚯蚓，多為全球廣布種與外來種。另有 1 種臺灣特有種福爾摩沙腔環蚓 (*Metaphire formosae*)，僅在新竹峨眉區-桶柑、苗栗西湖區-文旦和雲林古坑區-荔枝三個田區採集到。依不同農業作業模式比較蚯蚓物種多樣性，在慣行農法調查到 21 種蚯蚓，有機農法調查到 17 種蚯蚓，友善農法則調查到 12 種蚯蚓，三種農法之優勢蚯蚓皆為土後腔環蚓 (*Metaphire posthuma*) 與黃頸蝟蚓 (*Pontoscolex corethrurus*)。依研究結果顯示，土後腔環蚓佔農業監測站蚯蚓總個體數的 36.9%，且連續三年皆為優勢種，表示此物種相當適應臺灣農業生態系環境。經實地調查發現，濕潤的黏壤土的蚯蚓密度較高，土壤不夠潮濕、多石頭、淹水，或是耕地表面有經常施肥，或除草等擾動地表的行為時，蚯蚓密度較低。後續會持續調查累積生物資訊，以進一步瞭解在不同農業作業模式下，蚯蚓物種的變化趨勢及蚯蚓與土壤環境之間交互作用關係。

**關鍵詞：**農業生態長期研究、蚯蚓、生物多樣性、慣行農法、有機農法、友善農法

---

接受日期：2025 年 7 月 24 日

\* 通訊作者。E-mail: ych@acri.gov.tw

<sup>1</sup> 臺中市 農業部農業藥物試驗所

## 前言

### 一、農業生態長期研究

國際長期生態研究網 (International Long-Term Ecological Research Network, ILTER) 自 1993 年成立以來，持續強調在同一研究地點、長時間且持續收集生態學資料，希望能涵蓋生態系於各種時間尺度下的變化，目前有 40 個國家參與，並在全球陸續建立 700 處長期生態研究站。美國國家科學基金會 (National Science Foundation, NSF) 自 1980 年即開始資助長期生態研究 (Long-Term Ecological Research, LTER)，迄今已有 40 餘年<sup>(3)</sup>。臺灣地區的長期生態研究，與國際的長期生態研究同步，於 1992 年開始推動大型自然生態系研究相關整合性計畫，創立了臺灣生態研究網路 (Taiwan Ecological Research Network, TERN)，其主要目標是收集臺灣主要生態系統生產力、多樣性、結構、功能之過程和穩定性的基礎數據，瞭解長期的生態現象和主導生態系統，進一步建立生態模型，以用於預測和緩解當地、區域和全球水平的環境干擾<sup>(7)</sup>。自 2006 年起農業試驗所結合各個農業改良場進行農業生態系研究站設置<sup>(3)</sup>，藉由長期跨領域之不同時間與空間資料收集與調查，其目的為瞭解在不同農業作業模式下，同時探討農業生產量、生物多樣性、農業環境數據的相互影響性，期望透過整

合跨領域研究，達到永續農業發展與生態環境保育能同時並行。農業生態系長期調查研究的農業監測站樣區，依農業作業模式區分成慣行農法 (conventional cultivation, CC)、有機農法 (organic cultivation, OC) 及友善農法 (friendly cultivation, FC)，主要針對氣象、土壤微生物相、土壤性質與元素、水質、水量、植物營養與生長、生物多樣性 (昆蟲) 等進行相關調查研究，先前已累積大量數據資料，為進一步加值分析，評估農業活動對生態之影響，直至近幾年新增加環境區域生物 (鳥禽、兩棲類、螞蟻及蚯蚓) 物種多樣性調查，以瞭解農業環境生態豐富性。

### 二、蚯蚓的土壤生態系功能

由於蚯蚓對土壤環境與有毒化學品敏感，因此它們是土壤生態系統中的重要生物指標之一。蚯蚓透過在土壤中挖洞、進食和排放活動，對生態系統功能產生多方面的影響<sup>(71)</sup>。例如，挖洞改善土壤結構、提高土壤肥力、增加土壤通透性、水分調節、增加養分循環、初級生產者和土壤污染物修復<sup>(14, 31, 79)</sup>。「蚯蚓」為陸棲寡毛類，屬環節動物門 (Phylum Annelida) 的環帶綱 (Class Clitellata)，厚環帶目 (Order Crassiclitellata)，全世界約有 5,406 物種，共 23 科，382 屬<sup>(50)</sup>，目前調查蚯蚓的相關文獻指出臺灣蚯蚓物種數共計有 120 種<sup>(23, 63, 66, 67, 68, 69)</sup>。蚯蚓依

活動範圍分三類<sup>(24)</sup>：Leaf litter dwellers 表層型 (Epigeic species) 蚯蚓體型小，約 2-6 公分長，不會挖地道，體色紅色或紅棕色，壽命約 1-2 年，主要以地表腐敗食物、落葉為主，因體型小移動速度相對較慢。Shallow burrowers 底層型 (Endogeic species) 蚯蚓中等體型，約小於 18 公分長，不會待在土壤表層，喜愛水平方向挖地道，活動深度約 5-40 公分，體色較淡，如淡紅色或藍灰色，壽命可至 3-5 年，主要以土壤中的有機物為食，移動速度慢於表層型蚯蚓。Deep burrowers 貫穿型 (Anecic species) 蚯蚓體型最長，約 15-45 公分長，部分蚯蚓種類體長超過 50 公分，垂直方向挖地道，深度可達 3 公尺<sup>(53)</sup>，體色紅色或褐色，壽命可超過 10 年，夜間爬行至土表腐爛的食物進行覓食，體型大移動速度最快<sup>(57)</sup>。

蚯蚓在土壤內活動的變異性與土壤性質 (如土壤類型、土壤質地、有機質) 和土壤溫度密切相關，並且對土壤濕度特別敏感<sup>(47)</sup>。由於土壤濕度是影響蚯蚓活動的重要因素，因此蚯蚓對土壤保水性的影響可能因土壤濕度而異<sup>(78)</sup>。多項研究表明，當土壤濕度較低時，蚯蚓通常不活躍，會進入繁殖停滯狀態，且體重減輕<sup>(15,39)</sup>。在實驗室條件下研究發現，泥炭土中水分含量為 80% 時，赤子愛勝蚓 (*Eisenia fetida*) 的鑽土行為明顯高於 60% 時的鑽土活動<sup>(32)</sup>。潮濕的棲息地對於蚯蚓的活動至關重要，在乾燥的土壤中蚯蚓的鑽土能力更強，比在潮濕的土壤中活動

更活躍，因為當土壤乾燥時，蚯蚓會探索更大體積的土壤以求生存<sup>(56, 77)</sup>。蚯蚓的活動是基於土壤條件、氣候和蚯蚓物種之間複雜的相互作用，並且在歐洲和北美已有數十年的詳細記錄<sup>(61, 73)</sup>。

### 三、農業耕作對蚯蚓的影響

耕作會影響蚯蚓群聚結構和族群變動趨勢。其耕作強度 (tillage intensity) 包含作業深度 (working depth)、破碎模式 (fragmentation mode) 和操作者作業頻率 (frequency of operations) 的組合，為蚯蚓族群規模和多樣性的主要控制因素。作業深度可以是淺層，在土壤深度為 5-10 公分，或者在需要全翻耕 (深度為 15-20 公分) 和或更深土壤耕作 (20 公分以下深度) 操作<sup>(12)</sup>。耕作設備其破碎土壤方式不同亦會影響蚯蚓生存，特別是在廣泛使用耕作來控制雜草的有機農業系統中，反而操作頻率可能很高，然而蚯蚓對耕作頻率敏感，而影響蚯蚓族群規模<sup>(41)</sup>。

田間的農耕行為對蚯蚓產生很多破壞性後果<sup>(28, 59)</sup>，例如在接觸耕作工具或耕作過程中移動的土塊會造成蚯蚓身體傷害或死亡<sup>(37)</sup>。統計耕種土層中有 61% 到 68% 的蚯蚓生物量易被旋轉鋤頭工具殺死<sup>(16)</sup>。翻耕使土壤反轉，將深居的蚯蚓移至土壤表面，從而使蚯蚓暴露於捕食者之下<sup>(27, 74)</sup>，並且在作物收穫後的秋季進行耕作操作時，也會對卵繭造成乾燥或霜凍損害<sup>(40)</sup>。傳統耕作 (犁耕和二次耕作

操作) 破壞了蚯蚓洞穴, 除去了枯枝落葉的隔熱層, 由於掩埋農作物殘渣而改變了有機質的可用性<sup>(17)</sup>, 並改變了土壤物理條件, 例如溫度、濕度和土壤結構<sup>(13, 60)</sup>。耕作潮濕土壤時可能發生土壤壓實, 對蚯蚓群聚產生不利影響, 導致蚯蚓避開壓實區域並因機械壓碎而導致蚯蚓死亡<sup>(18)</sup>。

#### 四、農藥對蚯蚓的危害

殺菌劑和殺蟲劑對蚯蚓具有直接毒性<sup>(25, 55)</sup>, 例如有機農業中常見的銅基殺菌劑 (copper-based fungicides) 對蚯蚓具有毒性 (LC<sub>50</sub>: 113 mg Cu kg<sup>-1</sup> dry soil)<sup>(55)</sup>, 南非研究指出氯化銅 (copper oxychloride) 對葡萄園中蚯蚓具有直接毒性作用, 結果顯示銅 (copper) 可在蚯蚓體內累積, 這種元素會降低蚯蚓生長和存活率, 並誘發低挖洞率行為<sup>(34)</sup>。另外, 在土壤表面施用萌前或萌後除草劑, 以地表腐植質為食的表層型蚯蚓和貫穿型蚯蚓可能會受到除草劑的影響<sup>(12)</sup>。

每種農藥的暴露途徑不同, 依蚯蚓棲息地和攝食偏好有相關性。底層型蚯蚓不直接接觸噴灑在作物葉面或土壤表面的農藥, 也不以含有農藥殘留的新鮮有機物為食。因此, 底層型蚯蚓接觸農藥的程度較低, 表層型蚯蚓最容易接觸農藥, 因為它們在土壤表面生活和進食。當貫穿型蚯蚓以土壤表面的植物殘渣為食時, 它們也會接觸到農藥<sup>(12)</sup>。

農藥的使用可能對蚯蚓的生存和行為產生負面影響, 進而影響土壤生態系統的生物多樣性。從專家學者的角度, 分析農藥毒性對其生態影響的相關研究如下。

(1) 急毒性影響: 一些研究顯示, 常見農藥如有機磷、氨基甲酸鹽類和合成除蟲菊類殺蟲劑農藥對蚯蚓具有急毒性影響, 可導致高死亡率, 影響其存活率與繁殖率<sup>(43)</sup>, 例如: 速殺氟 (sulfoxaflor)、丁基加保扶 (carbosulfan)、丁基拉草 (butachlor)、達特南 (dinotefuran)、益達胺 (imidacloprid) 等。(2) 亞急毒性影響: 在低濃度的農藥暴露下, 也可對蚯蚓的行為模式、繁殖率和生長產生影響。一些研究發現, 農藥會影響蚯蚓的移動能力和繁殖率, 例如馬拉松 (malathion) 會導致尤金真蚓 (*Eudrilus eugeniae*) 體重減輕、形態和生理改變和蛋白酶活性改變<sup>(42)</sup>。接觸合成除蟲菊類殺蟲劑農藥的蚯蚓會出現顯著的生理和行為模式變化, 較高的死亡率和較低的繁殖成功率<sup>(44)</sup>。長期暴露於低濃度的有機磷類農藥的蚯蚓在生長和繁殖方面受到負面影響, 並且其土壤翻鬆能力顯著下降。(3) 生物累積效應: 蚯蚓能夠累積土壤中的農藥殘留, 長期暴露可能對其生理功能和壽命產生持久性影響, 並經由食物鏈影響其他土壤生物<sup>(45)</sup>。還有其他研究顯示, 長期使用高毒性和持久性的除草劑會顯著增加土壤中的毒性負荷, 對蚯蚓和其他土壤生物構成威脅<sup>(19)</sup>。此外混合使用多種農藥會增加毒性, 如: 阿維菌素 (avermectin)、益達胺

(imidacloprid) 與 貝 芬 替 (carbendazim) 的混合物對蚯蚓的毒性顯著增加，並且這些農藥的降解半衰期更長，顯示出混合使用農藥會增加對土壤生物的毒性<sup>(48)</sup>。

## 五、蚯蚓種類鑑別

一般辨識蚯蚓的特徵為體形長條形，多個體節組成，多數體節上有短剛毛，蚯蚓身體有一條縱向背血管，性成熟的蚯蚓個體則有一個環帶 (clitellum)，體色依物種及棲地從紅褐色到黑褐色皆有。一般蚯蚓物種分類鑑定的原則必須是基於成熟蚯蚓的內、外部特徵形態才能被鑑定<sup>(6, 8)</sup>，主要是利用解剖顯微鏡觀察蚯蚓外部形態及內部器官構造特徵，但是其外觀特徵會因環境或個體生長有所差異，而且在田間採集到的蚯蚓多為幼蚓，即便是同一種蚯蚓，生活史不同階段之未成熟個體，其形態特徵難以進行辨別，或是要在短時間內對採集到的大量蚯蚓進行分類鑑定。目前，物種分類可以透過分子鑑定技術進行，粒線體細胞色素氧化酶 I 基因 (mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I, COI) 已被廣泛用作區分動物物種的分子標記<sup>(38, 49)</sup>。例如 COI 基因已被用於識別鳥類物種<sup>(38)</sup>、蜘蛛<sup>(11)</sup>、害蟲<sup>(9)</sup>、蚯蚓<sup>(29)</sup> 及使用 16S、18S 核糖體去氧核糖核酸 (ribosomal deoxyribonucleic acid, rDNA) 基因<sup>(51, 58)</sup>。這些方法已經成功辨識亞洲、歐洲和美洲的蚯蚓種類<sup>(22, 29, 30, 36)</sup>。COI 基因、16S rDNA 基因和 18S rDNA 基

因在 GenBank 資料庫也累積許多筆序列資料可供比對查詢，可藉由資料庫相互比對完成蚯蚓物種鑑定<sup>(21,36)</sup>。

## 六、臺灣農地蚯蚓研究現況

人類在進行農業活動的過程中，透過耕作、施用農藥和化肥、以及改變土地利用等方式，顯著地改變了土壤中蚯蚓群聚數量與種類，而蚯蚓的活動可以維持土壤品質和促進農業生態系統的多種生態功能，蚯蚓發揮這些功能的影響力，取決於蚯蚓活動的程度 (豐度) 和蚯蚓活動類型的組成。研究顯示，某些種類的蚯蚓能有效提高作物產量，而有些蚯蚓實際上可能導致產量降低，然而，確切的作用機制仍有待深入研究<sup>(20)</sup>。因此，蚯蚓對農業生產的實際影響，還是要取決於當地的土壤因素、氣候條件和農業作業模式<sup>(20)</sup>。

蔡等 (2004) 呈現了臺灣中西部不同海拔蚯蚓物種組成的改變，明確提到了「特有種在海拔高度上有其特定之分布上下限，形成不同物種垂直分層的現象；外來種則自平地至山區皆有分布，僅分布上限因物種而有所不同。高海拔處之特有性較低海拔處為高。海拔高度下降，則蚯蚓特有種種數隨之減少，而外來種種數隨之增加，顯見物種組成有自特有種轉換成外來種之趨勢，此趨勢又以低海拔處較高海拔處明顯」<sup>(76)</sup>。雖然已知農地蚯蚓物種多為廣布種與外來種<sup>(74, 76)</sup>，後續臺灣蚯蚓多樣性研究著重在探究原生種與新種蚯蚓

(21, 65, 66, 67)，但目前缺乏針對臺灣各地不同農業作業模式下，蚯蚓密度與群聚組成的農業蚯蚓多樣性研究。為此，本研究於 2021-2023 年間，針對 15 個農業長期生態監測站，比較不同農法與多種作物的田區，調查其中的蚯蚓種類及族群數量，觀察蚯蚓在不同農業作業模式下，與土壤生態系的交互作用，並且收集與建立慣行、有機和友善農法的蚯蚓族群多樣性、密度、生物量和基礎地景的變化趨勢資料，以評估不同農業作業模式之下對蚯蚓生態之友善程度及影響範圍，進而長期累積相關數據，為農業土地利用的永續性提供參考。

## 材料與方法

### 一、2021 至 2023 年長期生態研究 農業監測站調查地點

由 2006 年開始，農業試驗所結合各農業改良場進行農業生態系研究站設置，本研究於 2021 年開始進行蚯蚓多樣性調查工作，長期生態研究農業監測站（圖一）分別為（1）新竹峨眉區-桶柑（有機 4 區、慣行 4 區），（2）苗栗西湖區-文旦（有機 3 區、慣行 3 區），（3）嘉義溪口區-水稻（友善 3 區、慣行 6 區），（4）臺南麻豆區-文旦（有機 4 區、慣行 4 區），（5）高雄燕巢區-印度棗（有機 2 區、慣行 3 區），（6）臺東池上區-水稻（有機 3 區、慣行 4 區、友善 1 區），（7）臺東卑南區-番荔枝（有機 4 區、慣行 4 區），（8）花蓮富里區-水稻



圖一、臺灣 15 個農業監測站之蚯蚓採樣點位置。（●表示慣行農法，□表示有機農法與友善農法，監測站代號：1.峨眉，2.西湖，3.溪口，4.麻豆，5.燕巢，6.卑南，7.池上，8.富里，9.長濱，10.瑞穗，11.玉里，12.埔里，13.名間，14.古坑，15.嘉義市）。

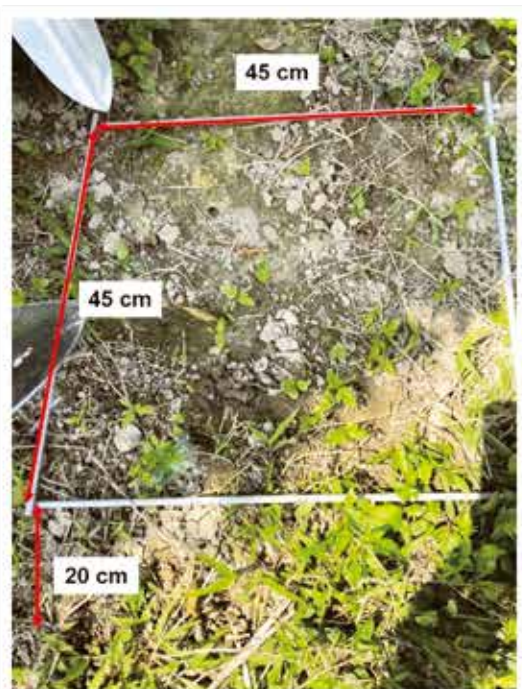
Fig. 1. Map showing the locations of 15 agricultural monitoring stations in Taiwan for earthworm sampling. (●: Conventional cultivation, □: Organic cultivation and friendly cultivation; Monitoring stations: 1. Emei, 2. Xihu, 3. Sikou, 4. Madou, 5. Yanchao, 6. Beinan, 7. Chishang, 8. Fuli, 9. Changbin, 10. Ruisui, 11. Yuli, 12. Puli, 13. Mingjian, 14. Gukeng, and 15. Chiayi City).

(有機 8 區、慣行區 4) 等 8 個農業監測站。2022 年新增調查臺東長濱區-芭蕉 (有機 3 區)、花蓮瑞穗區-文旦 (有機 2 區、慣行 3 區)、花蓮玉里區-水稻 (有機 5 區、慣行 5 區) 等 3 個農業監測站。2023 年又增加調查南投埔里區-百香果 (有機 1 區、慣行 5 區)、南投名間區-茶園 (有機 8 區、慣行 6 區)、雲林古坑區-荔枝 (慣行 3 區、友善 3 區)、嘉義分所區-荔枝 (慣行 2 區、友善 4 區) 等 4 個農業監測站。各農業監測站中的田區又依農業操作方式分成慣行農法、有機農法及友善農法，在農業長生態研究農業監測站中的慣行農法係指田區施用化學肥料與噴施化學農藥以進行作物栽培與病蟲害管理；有機農法則是不使用化學農藥與化學肥料；而友善農法在農民的田區為正在由原先的慣行農法轉型為有機農法，友善農法在農業試驗所所屬的溪口水稻田、古坑荔枝園和嘉義分所荔枝園，其肥料用量將依據農地養分循環及土壤肥力狀態而定，約為改良場所推薦量 80%，農藥則僅在病蟲害發生嚴重，可能造成無產量之虞，才進行施藥防治<sup>(7)</sup>。2021-2023 年進行調查的有機農法田區累計總數為 47 個，慣行農法田區為 56 個，友善農法田區為 11 個。

## 二、蚯蚓樣本採集與形態鑑定

各農業監測站 1 年調查 1 次，每年蚯蚓採樣時間約為 3 月至 10 月，依有機、慣行和友善農法的田區各設置 2 個採集

點，採集點的選擇方式是先觀察土表是否具有蚯蚓糞土，若無蚯蚓活動痕跡，則每種農法的田區，選擇潮濕土壤或土表有植體的 2 個採集點。蚯蚓的採集方式為挖掘法，每個採集點的面積為 45 公分×45 公分，從表土向下挖掘深度約 10-20 公分 (圖二)，依採集深度所收集到的蚯蚓種類以底層型蚯蚓為主，但因蚯蚓取食習性不同，亦可收集到表層型蚯蚓與貫穿型蚯蚓，計數每個採集點的蚯蚓數量，並且放入保存盒帶回實驗室，初步以清水洗淨蚯蚓後，測量蚯蚓體長，並照相紀錄再進行冷凍保存，部分蚯蚓則進行標本製作，先



圖二、蚯蚓採樣區塊。

Fig. 2. Sampling unit used in earthworm collection.

以 10-15% 酒精進行麻醉，讓蚯蚓得以自然伸展，不捲曲樣態，再放置 95% 酒精中以標本瓶保存 (缺點：體色和虹彩結構色會消失，優點：對人體安全)<sup>(8)</sup>。發育成熟的活體蚯蚓或標本，其種類鑑定是參考張等 (2009) 和賴及陳 (2018) 等書加以分類鑑定<sup>(6, 8)</sup>，幼蚓或無法以形態確認種類的樣本，會進行 DNA 分子鑑定方法以確定種類。

### 三、蚯蚓物種之分子鑑定

#### 1. 蚯蚓去氧核糖核酸 (deoxyribonucleic acid, DNA) 萃取

蚯蚓以清水洗乾淨後，取蚯蚓部分身體組織約 25 mg，置入研鉢內，加入液態氮研磨成粉狀，再利用市售核酸萃取套組 (PureLink Genomic DNA Kits, Invitrogen, Carlsbad, USA)，參照 Mammalian Tissue and Mouse/Rat Tail Lysate 之萃取步驟操作萃取純化蚯蚓全基因體核酸，將所萃取純化後之蚯蚓基因體核酸保存於 -20°C 冰箱備用。

#### 2. 聚合酶連鎖反應 (polymerase chain reaction, PCR)

透過 PCR 增幅蚯蚓基因體中的 COI 基因或 16S rDNA 基因，COI 基因使用 Worm COI F (5'-GGT CAA CAA ATC ATA AAG ATA TTG G-3') 與 Worm COI R1 (5'-TAT ACT TCT GGG TGT CCG AAG AAT CA-3') 引子對<sup>(35)</sup>，16S rDNA 基因使用 16Sar (5'-CGC CTG TTT ATC AAA AAC AT-3')

與 16Sbr (5'-CCG GTC TGA ACT CAG ATC ACG T-3') 通用引子對<sup>(21, 54)</sup>，PCR 條件<sup>(1)</sup>如下：所有反應物混合加入 0.2 mL 微量離心管，每支反應管含內容物之濃度如下：2 倍 PCR Taq mix (invitrogen)、10 μM primer mix、0.2-0.6 μg genomic DNA，反應總體積 50 μL。將配製完成之反應混合液置於 PCR 熱循環儀 (Applied Biosystems 2720 Thermal Cycler, USA)，並依照下列設定條件完成 PCR：於 94°C 預熱 5 分鐘，以 94°C 變性 (denaturation) 45 秒；51°C 煉合 (annealing) 30 秒；72°C 延展 (extension) 45 秒，共進行 35 個循環反應，之後續進行 72°C 最終延展 7 分鐘 (final extension)，及溫度降至 4°C 保存狀態。

#### 3. 核酸序列定序與蚯蚓物種分析

PCR 完成後以 1.2% 瓊膠電泳分析，來確認 PCR 產物的長度，將預期核酸長度的膠體片段切下後，進行核酸片段膠體純化回收，利用核酸膠體萃取套組 (NucleoSpin Gel and PCR Clean-up Kit, MACHEREY-NAGEL) 回收 DNA 片段，再委託明欣生物科技有限公司進行核酸定序，解序完成的核酸序列，透過使用 NCBI 網站中的 BLAST (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST/>) 系統，再利用系統中的 Nucleotide Blast 進行序列相似性分析，或是利用全球生命條碼資料庫 (The Barcode of Life Systems, BOLD system)，與資料庫的 COI 序列做比對，並根據定序的序列與兩種 DNA 資料

庫之相似度判別比對至蚯蚓物種層級 (序列相似度>99%) 或屬別層級。每一種蚯蚓的 COI 基因序列或 16S rDNA 基因序列均上傳至 GenBank，登錄序列資料後，取得登錄編號 (Accession number)。

#### 4. 統計分析

計數完全部農業監測站不同農法的田區所調查到的蚯蚓數量，並計算各農業監測站不同農法的蚯蚓平均密度，蚯蚓密度計算方式為每平方公尺的蚯蚓個體數 (individual/m<sup>2</sup>)，利用統計軟體 SPSS 20.0 (IBM, USA)，進行單因子變異數分析 (One-Way ANOVA) 與多重比較，評估慣行農法、友善農法和有機農法的蚯蚓密度平均值是否有差異性。

## 結果

### 一、蚯蚓種類與分布概況

本研究於 2021-2023 年在長期生態系農業監測站，依不同農業作業模式進行蚯蚓多樣性生態調查，2021 年於 8 個農業監測站共採得 691 隻蚯蚓，經由形態與分子鑑定之結果，得到 6 科 9 屬 18 種蚯蚓；2022 年於 12 個農業監測站共採得 1,126 隻蚯蚓，得到 6 科 8 屬 17 種蚯蚓；2023 年於 15 個農業監測站共採得 1,242 隻蚯蚓，得到 5 科 7 屬 17 種蚯蚓的鑑定結果，累計 3 年於 15 個農業監測站總共採集到 3,059 隻蚯蚓 (表一)，其中有 2,612 隻的鑑定結果分屬 6 科 10 屬 21 種蚯蚓 (表

二)，並將 21 種蚯蚓物種的 COI 基因序列或 16S rDNA 基因序列登錄於 GenBank，每一個蚯蚓物種的登錄編號詳列於表三。另外有 228 隻蚯蚓只能鑑別至遠環蚓屬、環爪蚓屬和近環蚓屬。最後未能確認物種的蚯蚓有 219 隻。從農業監測站採得的蚯蚓的種類大多數屬於鉅蚓科 (Megascolecidae)，多為全球廣布種與外來種，其中以鉅蚓科 (Megascolecidae) 遠環蚓屬 (*Amyntas*) 種類數最多，共有 8 種。其次為腔環蚓屬 (*Metaphire*)，種類有 4 種。

本研究調查 15 個農業監測站的蚯蚓物種 (表四)，其中有 13 個監測站均調查到參狀遠環蚓 (*Amyntas aspergillum*) (圖三)，累計 3 年調查，總數量最多的蚯蚓物種為土後腔環蚓 (*Metaphire posthuma*) (圖四)，佔調查總數的 36.9% (表二)。有 10 個農業監測站調查到黃頸蝟蚓 (*Pontoscolex corethrurus*) (圖五)，佔調查總數的 25.5%，其數量次多。本研究僅採集到一種臺灣特有種蚯蚓，即福爾摩沙腔環蚓 (*Metaphire formosae*) (圖六)，該物種之採集樣點分別位於苗栗西湖－文旦有機田區、新竹峨眉－桶柑有機田區及雲林古坑－荔枝慣行田區，上述樣點皆屬山坡地形。

### 二、不同農業作業模式下蚯蚓物種數量與密度

比較 2021 年至 2023 年的慣行、有機

和友善農法的蚯蚓多樣性結果如表五，慣行農法和有機農法的蚯蚓物種數量差異不大，各為 21 種與 17 種蚯蚓，友善農法因採樣田區數較少，蚯蚓物種也較少，只有 12 種蚯蚓。由表五可知慣行農法的數量優勢種為土後腔環蚓，由於在臺東池上區-水稻、嘉義溪口區-水稻和高雄燕巢區-印

度棗，連續三年採到較多的土後腔環蚓(表五)。有機農法的數量優勢種為土後腔環蚓和黃頸蝟蚓，由於土後腔環蚓在麻豆有機田區持續 3 年為優勢種，且調查數量多；黃頸蝟蚓則是在分布在多個有機田區，並且為該田區的數量優勢種，尤其在西湖已穩定三年為優勢種。友善農法的數

表一、2021-2023 年不同農業監測站之慣行農法、有機農法及友善農法之蚯蚓調查數量

**Table 1.** Survey of individual earthworms in conventional cultivation (CC), organic cultivation (OC), and friendly cultivation (FC) fields at different monitoring stations from 2021 to 2023

Locality <sup>1)</sup>	Crop	2021			2022			2023		
		No. of earthworms/No. of sampling sites			No. of earthworms/ No. of sampling sites			No. of earthworms/ No. of sampling sites		
		CC	OC	FC	CC	OC	FC	CC	OC	FC
1	Tankan	13/4	34/4		85/4	81/4		30/4	20/4	
2	Pomelo	9/3	20/3		96/3	133/3		7/3	14/3	
3	Rice	130/6		47/3	90/6		31/3	170/6		89/3
4	Pomelo	1/4	137/4		24/4	63/4		24/4	37/4	
5	Jujube	58/4	63/4		27/4	115/4		67/3	47/2	
6	Sugar apple	36/4	3/4		26/4	7/4		2/4	2/4	
7	Rice	45/4	21/3	8/1	63/4	14/3	29/1	111/4	19/3	10/1
8	Rice	27/4	13/4	26/4	2/4	103/4	6/4	12/4	18/8	
9	banana					5/3			18/3	
10	Pomelo				23/3	14/2		33/3	8/2	
11	Rice				3/5	86/5		22/5	32/5	
12	Passion fruit							19/5	59/1	
13	Tea									
14	Litchi							115/3		98/3
15	Litchi							77/2		82/4
Total counts		319/33	291/26	81/8	439/41	621/32	66/8	689/50	274/39	279/11
Total number of collected earthworms		691			1,126			1,242		

<sup>1)</sup> 1. Emei, 2. Xihu, 3. Sikou, 4. Madou, 5. Yanchao, 6. Beinan, 7. Chishang, 8. Fuli, 9. Changbin, 10. Ruisui, 11. Yuli, 12. Puli, 13. Mingjian, 14. Gukeng, and 15. Chiayi City.

表二、2021-2023 年 15 個農業監測站蚯蚓物種組成和各物種數量百分比

Table 2. Composition of earthworm species and relative abundance at 15 agricultural monitoring stations from 2021 to 2023

Family	Genus	Species	Chinese common name	Ecotype <sup>(8, 33)</sup>	Year			Relative abundance (%)
					2021	2022	2023	
Lumbricidae 正蚓科	<i>Bimastos</i> 雙胸蚓屬	<i>Bimastos parvus</i>	小雙胸蚓	Epigeic	●	●	●	1.5
	<i>Amyntas</i> 遠環蚓屬	<i>Amyntas aspergillum</i>	參狀遠環蚓	Anecic	●	●	●	3.8
		<i>Amyntas corticis</i>	皮質遠環蚓	Epigeic	●	●	●	1.9
		<i>Amyntas gracilis</i>	優雅遠環蚓	Epigeic	●	●	●	3.6
		<i>Amyntas hupeiensis</i>	湖北遠環蚓	Endogeic	●	●	●	4.2
		<i>Amyntas incongruus</i>	異駢遠環蚓	Endogeic		●	●	0.2
		<i>Amyntas morrisi</i>	毛利遠環蚓	Endogeic	●	●	●	4.0
		<i>Amyntas robustus</i>	壯偉遠環蚓	Endogeic	●	●	●	1.1
Megascolecidae 鉅蚓科	<i>Amyntas rockefelleri</i>		洛克斐勒遠環蚓	Endogeic			●	0.1
	<i>Metaphire</i> 腔環蚓屬	<i>Metaphire californica</i>	加州腔環蚓	Epigeic	●	●	●	3.1
		<i>Metaphire formosae</i> <sup>1)</sup>	福爾摩沙腔環蚓 <sup>1)</sup>	Anecic	●		●	0.4
		<i>Metaphire posthuma</i> <sup>2)</sup>	土後腔環蚓 <sup>2)</sup>	Endogeic	●	●	●	36.9
		<i>Metaphire schmarda</i>	舒氏腔環蚓	Epigeic	●		●	0.2
	<i>Polypheretima</i> 多環蚓屬	<i>Polypheretima elongata</i>	長形多環蚓	Endogeic	●	●	●	4.6
	<i>Perionyx</i> 環爪蚓屬	<i>Perionyx excavatus</i>	掘穴環爪蚓	Epigeic	●			0.2
Ocnoderilidae 寒蟪蚓科	<i>Eukerria</i> 寒蟪蚓屬	<i>Eukerria saltensis</i>	薩爾塔細帶蚓	Epigeic	●	●		0.3
		<i>Ocnoderilus occidentalis</i>	西土寒蟪蚓	Epigeic		●	●	3.3
Acanthodrilidae 棘蚓科	<i>Dichogaster</i> 重胃蚓屬	<i>Dichogaster bolau</i>	包氏重胃蚓	Epigeic	●	●		0.6
		<i>Dichogaster saliens</i>	彈跳重胃蚓	Epigeic	●	●		0.4
Rhinodrilidae 吻蚓科	<i>Pontoscolex</i>	<i>Pontoscolex corethrurus</i> <sup>2)</sup>	黃頸蟋蚓 <sup>2)</sup>	Endogeic	●	●	●	25.5
Moniligastridae 鏈胃蚓科	<i>Drawida</i> 杜拉蚓屬	<i>Drawida barwelli</i>	巴氏杜拉蚓	Endogeic	●	●	●	4.3
6 families	10 genera	21 species			18	17	17	100

1) Endemic species.

2) Dominant species.

表三、農業監測站收集到的 21 種蚯蚓代表樣本資料與 GenBank 登錄編號

Table 3. The 21 representative species collected at agricultural monitoring stations and their corresponding GenBank Accession numbers

Species	Chinese common name	Locality	Sample no.	Accession number	
				COI	16S
<i>Bimastos parvus</i>	小雙胸蚓	Xihu, Miaoli County	ML-CC2-1-2	PQ787799	PQ797005
<i>Amyntas aspergillum</i>	參狀遠環蚓	Emei, Hsinchu County	HC-OC1-2-4	PQ787495	
<i>Amyntas corticis</i>	皮質遠環蚓	Fuli, Hualien County	HLF-OC1-1-3	PQ787762	
		Emei, Hsinchu County	HC-CC4-1-2		PQ788121
<i>Amyntas gracilis</i>	優雅遠環蚓	Yuli, Hualien County	HLY-OC1-1-1	PQ740315	
		Beinan, Taitung County	TTB-CC3-2-2		PQ796987
<i>Amyntas hupeiensis</i>	湖北遠環蚓	Chishang, Taitung County	TT-CC3-1-1	PQ787763	
		Chishang, Taitung County	TT-CC4-2-14		PQ796988
<i>Amyntas incongruus</i>	異駢遠環蚓	Emei, Hsinchu County	HC-CC2-1-4	PQ787767	
<i>Amyntas morrиси</i>	毛利遠環蚓	Chishang, Taitung County	TT-FC1-1-1	PQ787768	
		Chishang, Taitung County	TT-FC1-1-14		PQ796991
<i>Amyntas robustus</i>	壯偉遠環蚓	Ruisui, Hualien County	HLR-OC2-2-3	PQ787769	
		Emei, Hsinchu County	HC-OC2-2-4		PQ797002
<i>Amyntas rockefelleri</i>	洛克斐勒遠環蚓	Yuli, Hualien County	HLY-CC3-2-1	PQ800487	
<i>Metaphire californica</i>	加州腔環蚓	Puli, Nantou County	NT-CC8-2-1	PQ787827	
		Chishang, Taitung County	TT-CC1-2-4		PQ797026
<i>Metaphire formosae</i>	福爾摩沙腔環蚓	Xihu, Miaoli County	ML-OC3-1-2	PQ787826	
<i>Metaphire posthuma</i>	土後腔環蚓	Madou, Tainan City	TN-OC1-2-12	PQ787830	
		Madou, Tainan City	TN-OC3-2-2		PQ803199
<i>Metaphire schmaridae</i>	舒氏腔環蚓	Emei, Hsinchu County	HC-OC3-2-1	PQ787831	
<i>Polypheretima elongata</i>	長形多環蚓	Ruisui, Hualien County	HLR-CC1-1-3	PQ787853	
		Ruisui, Hualien County	HLR-CC1-1-2		PQ803205
<i>Perionyx excavatus</i>	掘穴環爪蚓	Sikou, Chiayi County	JY-RCA3-1-3	PQ787838	PQ803200
<i>Eukerria saltensis</i>	薩爾塔細帶蚓	Fuli, Hualien County	HL-CC4-1-1	PQ787858	PQ797018
<i>Ocnodrilus occidentalis</i>	西土寒蟻蚓	Sikou, Chiayi County	JY-SA2-1-1	PQ787835	
<i>Dichogaster bolau</i>	包氏重胃蚓	Xihu, Miaoli County	ML-CC3-2-2	PQ787795	
<i>Dichogaster saliens</i>	彈跳重胃蚓	Sikou, Chiayi County	JY-SA1-2-1	PQ787796	PQ797006
<i>Pontoscolex corethrurus</i>	黃頸蟻蚓	Gukeng, Yunlin County	YL-CA2-1-13	PQ787855	PQ803216
<i>Drawida barwelli</i>	巴氏杜拉蚓	Beinan, Taitung County	TTB-CC3-2-1	PQ787825	
		Chishang, Taitung County	TTC-503-1-1		PQ797016

表四、2021-2023 年每個農業監測站蚯蚓各物種調查之結果

Table 4. Results of earthworm species survey at each agricultural monitoring station from 2021 to 2023

Species	Chinese common name	Agricultural monitoring station <sup>1)</sup>															No. of distribution stations
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
<i>Bimastos parvus</i>	小雙胸蚓		+	+				+	+								4
<i>Amyntas aspergillum</i>	參狀遠環蚓	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+		+	+	13
<i>Amyntas corticis</i>	皮質遠環蚓	+						+	+		+	+					5
<i>Amyntas gracilis</i>	優雅遠環蚓	+	+				+		+		+	+					6
<i>Amyntas hupeiensis</i>	湖北遠環蚓							+	+	+		+					4
<i>Amyntas incongruus</i>	異駢遠環蚓	+					+									+	3
<i>Amyntas morrisi</i>	毛利遠環蚓		+					+	+								3
<i>Amyntas robustus</i>	壯偉遠環蚓	+					+				+						3
<i>Amyntas rockefelleri</i>	洛克斐勒遠環蚓											+					1
<i>Metaphire californica</i>	加州腔環蚓	+	+					+	+		+		+				6
<i>Metaphire formosae</i>	福爾摩沙腔環蚓	+	+													+	3
<i>Metaphire posthuma</i>	土後腔環蚓			+	+	+		+				+					5
<i>Metaphire schmardae</i>	舒氏腔環蚓	+															1
<i>Polypheretima elongata</i>	長形多環蚓		+	+	+	+		+	+	+	+						8
<i>Perionyx excavatus</i>	掘穴環爪蚓			+													1
<i>Eukerria saltensis</i>	薩爾塔細帶蚓							+	+								2
<i>Ocnodrilus occidentalis</i>	西土寒蠅蚓			+				+	+			+					4
<i>Dichogaster bolau</i>	包氏重胃蚓	+	+					+									3
<i>Dichogaster saliens</i>	彈跳重胃蚓			+				+									2
<i>Pontoscolex corethrurus</i>	黃頸蝟蚓	+	+			+	+	+			+	+	+		+	+	10
<i>Drawida barwelli</i>	巴氏杜拉蚓	+				+	+			+		+				+	6

<sup>1)</sup> 1. Emei, 2. Xihu, 3. Sikou, 4. Madou, 5. Yanchao, 6. Beinan, 7. Chishang, 8. Fuli, 9. Changbin, 10. Ruisui, 11. Yuli, 12. Puli, 13. Mingjian, 14. Gukeng, and 15. Chiayi City.

量優勢種也是黃頸蝟蚓，由於 2023 年在嘉義分所和古坑調查到大量的黃頸蝟蚓，同時也採集到多顆黃頸蝟蚓的卵繭（圖五）。分析 2021-2023 年不同農法的蚯蚓平均密度如表六所示，針對慣行農法、友善農法和有機農法等 3 種變項，分析農業操作模式對農田表層型土壤的蚯蚓密度之影響，進行單因子變異數分析，2021 年與

2022 年的蚯蚓密度在 3 種不同農法間沒有顯著差異 ( $P > 0.05$ )，僅 2023 年的友善農法的蚯蚓平均密度 ( $81.5 \text{ individual/m}^2$ ) 相較於有機農法 ( $25.2 \text{ individual/m}^2$ ) 和慣行農法 ( $32.7 \text{ individual/m}^2$ ) 有顯著差異 ( $P < 0.05$ )，主因是 2023 年友善農法新增的嘉義分所區-荔枝和雲林古坑區-荔枝調查到高密度蚯蚓 (黃頸蝟蚓)。



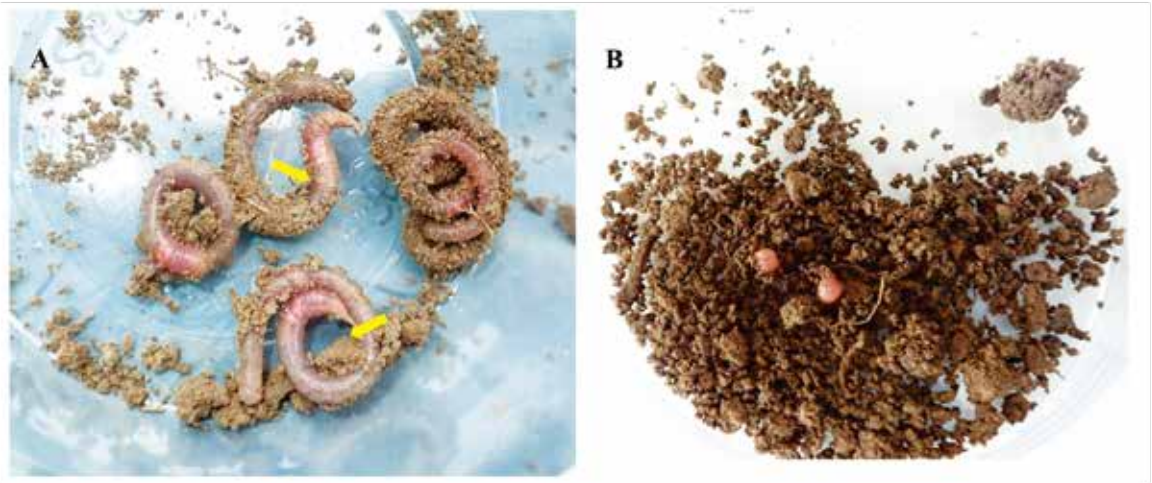
圖三、參狀遠環蚓 (*Amynthus aspergillum*)。(A) 其雄孔一對位於體節第 18 節腹面外側；(B) 雄孔內側各有 3-5 顆乳突排成 2 橫列，其外有數圈環狀皺摺包圍 (酒精標本)；(C) 參狀遠環蚓成蚓與幼蚓。

**Fig. 3.** *Amynthus aspergillum*. (A) One pair of male pores on the ventrolateral sides of the 18th segment; (B) multiple papillae (3 to 5) in 2-3 transverse rows medial to male pores surrounded by several circular folds (alcohol specimen); (C) adult and juvenile *Amynthus aspergillum*.



圖四、土後腔環蚓 (*Metaphire posthuma*) 成蚓與幼蚓，為慣行田與有機田優勢種。

**Fig. 4.** Adult and juvenile *Metaphire posthuma*, the dominant earthworm species in the fields of both conventional and organic farming.



圖五、黃頸蜷蚓 (*Pontoscolex corethrurus*)。(A) 特徵：口前葉尖細且長，環帶前有三對亮黃色鈣腺；(B) 黃頸蜷蚓的卵繭。

**Fig. 5.** *Pontoscolex corethrurus*. (A) Characteristics: thin and long prostomium, and three pairs of calciferous glands in front of clitellum; (B) cocoons of *Pontoscolex corethrurus*.



圖六、臺灣特有種-福爾摩沙腔環蚓採集於苗栗西湖區文旦 (有機田)。

**Fig. 6.** *Metaphire formosae*, a species endemic to Taiwan, collected from a pomelo field with organic farming in Miaoli Xihu District.

### 三、不同農業監測站蚯蚓生物多樣性

本研究分析了 9 種栽培作物土壤中蚯蚓的多樣性，並比較各物種的百分比，藉

以呈現 2021-2023 年不同栽培作物對蚯蚓物種多樣性及其數量組成的影響 (詳見表七)。結果顯示，水稻的 4 個農業監測站 (嘉義溪口區、臺東池上區、花蓮富里區、花蓮玉里區) 調查到的蚯蚓數量與種類最為豐富，總共調查到 16 種蚯蚓，其

表五、2021-2023 年比較不同農法之蚯蚓物種及數量百分比 (%)

Table 5. Comparison of earthworm species and relative abundance (%) from different farming types from 2021 to 2023

Family	Genus	Species	Chinese common name	Farming type <sup>1)</sup>		
				CC	OC	FC
Lumbricidae 正蚓科	<i>Bimastos</i> 雙胸蚓屬	<i>Bimastos parvus</i>	小雙胸蚓	2.3		1.8
Megascolecidae 鉅蚓科	<i>Amyntas</i> 遠環蚓屬	<i>Amyntas aspergillum</i>	參狀遠環蚓	4.2	4.0	0.8
		<i>Amyntas corticis</i>	皮質遠環蚓	0.9	2.7	2.9
		<i>Amyntas gracilis</i>	優雅遠環蚓	0.9	8.1	
		<i>Amyntas hupeiensis</i>	湖北遠環蚓	7.5	0.6	0.8
		<i>Amyntas incongruus</i>	異駢遠環蚓	0.3	0.1	
		<i>Amyntas morrisi</i>	毛利遠環蚓	4.1	4.4	1.3
		<i>Amyntas robustus</i>	壯偉遠環蚓	0.6	2.1	
		<i>Amyntas rockefelleri</i>	洛克斐勒遠環蚓	0.2	0.1	
	<i>Metaphire</i> 腔環蚓屬	<i>Metaphire californica</i>	加州腔環蚓	3.9	2.3	1.3
		<i>Metaphire formosae</i>	福爾摩沙腔環蚓	0.5	0.3	
		<i>Metaphire posthuma</i> <sup>2)</sup>	土後腔環蚓 <sup>2)</sup>	41.9	25.8	38.3
		<i>Metaphire schmarda</i>	舒氏腔環蚓	0.2	0.4	
	<i>Polypheretima</i> 多環蚓屬	<i>Polypheretima elongata</i>	長形多環蚓	3.2	6.8	2.1
	<i>Perionyx</i> 環爪蚓屬	<i>Perionyx excavatus</i>	掘穴環爪蚓	0.3		
Ocnodrilidae 寒蟪蚓科	<i>Eukerria</i>	<i>Eukerria saltensis</i>	薩爾塔細帶蚓	0.5		
	<i>Ocnodrilus</i> 寒蟪蚓屬	<i>Ocnodrilus occidentalis</i>	西土寒蟪蚓	0.4	7.9	0.5
Acanthodrilidae 棘蚓科	<i>Dichogaster</i>	<i>Dichogaster bolau</i>	包氏重胃蚓	0.5	0.8	
	重胃蚓屬	<i>Dichogaster saliens</i>	彈跳重胃蚓	0.7		0.3
Rhinodrilidae 吻蚓科	<i>Pontoscolex</i>	<i>Pontoscolex corethrurus</i> <sup>3)</sup>	黃頸蝘蚓 <sup>3)</sup>	20.6	22.0	44.5
Moniligastridae 鏈胃蚓科	<i>Drawida</i> 杜拉蚓屬	<i>Drawida barwelli</i>	巴氏杜拉蚓	1.0	9.8	0.5
Total number of earthworm species				21	17	12

<sup>1)</sup> CC: Conventional cultivation, OC: Organic cultivation, FC: Friendly cultivation.<sup>2)</sup> Dominant species from conventional and organic fields.<sup>3)</sup> Dominant species from friendly fields.

表六、不同農法的蚯蚓平均密度之 ANOVA 分析結果

Table 6. ANOVA analysis of average density of earthworms under different farming methods

Time	Farming type	No. of monitoring stations	Average density (ind. m <sup>-2</sup> )	F value	P
2021	Organic	7	26.1	0.09	0.91
	Conventional	8	21.4		
	Friendly	3	24.8		
2022	Organic	10	42.1	0.59	0.57
	Conventional	10	27.8		
	Friendly	3	33.6		
2023	Organic	11	25.2	3.40	0.048
	Conventional	13	32.7		
	Friendly	4	81.5*		

\* The asterisk indicates a significant difference at  $P < 0.05$ .

表七、不同栽培作物的蚯蚓物種多樣性及數量百分比 (%)

Table 7. Diversity of earthworm species and relative abundance (%) across various cultivated crops

Species	Chinese common name	Relative abundance (%)								
		Crop								
		Pomelo	Rice	Jujube	Tankan	Sugar apple	Banana	Litchi	Passion fruit	Tea
<i>Bimastos parvus</i>	小雙胸蚓	4.6	1.0							
<i>Amyntas aspergillum</i>	參狀遠環蚓	2.9	1.8	2.6	10.4	22.9		2.5	15.4	
<i>Amyntas corticis</i>	皮質遠環蚓	0.8	3.8		3.9					
<i>Amyntas gracilis</i>	優雅遠環蚓	10.8	0.8		6.5	8.3				
<i>Amyntas hupeiensis</i>	湖北遠環蚓		11.3				7.7			
<i>Amyntas incongruus</i>	異駢遠環蚓				1.3	2.1		0.3		
<i>Amyntas morrisoni</i>	毛利遠環蚓	15.5	0.9							
<i>Amyntas robustus</i>	壯偉遠環蚓	0.3			11.3	2.1				
<i>Amyntas rockefelleri</i>	洛克斐勒遠環蚓		0.3							
<i>Metaphire californica</i>	加州腔環蚓	1.1	6.3		5.2				1.3	
<i>Metaphire formosae</i>	福爾摩沙腔環蚓	1.1			0.9			0.3		
<i>Metaphire posthuma</i>	土後腔環蚓	40.7	57.7	46.9						
<i>Metaphire schmaridae</i>	舒氏腔環蚓				2.6					
<i>Polypheretima elongata</i>	長形多環蚓	7.0	2.4	12.9			61.5			
<i>Perionyx excavatus</i>	掘穴環爪蚓		0.4							
<i>Dichogaster bolau</i>	包氏重胃蚓	1.3			1.7	6.3				
<i>Dichogaster saliens</i>	彈跳重胃蚓		0.2			16.7				
<i>Eukerria saltensis</i>	薩爾塔細帶蚓		0.7							
<i>Oenerodrilus occidentalis</i>	西土寒蟪蚓		9.0							
<i>Pontoscolex corethrurus</i>	黃頸蟻蚓	13.7	3.1	13.4	55.4	4.2		96.3	83.3	
<i>Drawida barwelli</i>	巴氏杜拉蚓		0.2	24.3	0.9	37.5	30.8	0.6		
Total number of earthworms		612	957	350	231	48	13	323	78	0



圖七、薩爾塔細帶蚓採集於花蓮富里區水稻 (慣行田)。

**Fig. 7.** *Eukerria saltensis* collected from a rice field with conventional farming in Hualien Fuli District.

數量為 957 隻，其中臺東池上區調查到 12 種蚯蚓，數量為 320 隻。此外，調查亦發現寒蟻蚓科的薩爾塔細帶蚓 (*Eukerria saltensis*) (圖七)<sup>(69)</sup> 和西土寒蟻蚓 (*Ocnerodrilus occidentalis*)<sup>(62)</sup>，此科的蚯蚓為半水生 (semiaquatic) 絲狀蚯蚓，且連續三年僅在水稻田發現。文旦果園 (苗栗西湖區、臺南麻豆區、花蓮瑞穗區)，累計有 12 種蚯蚓，數量為 612 隻。桶柑果園僅有新竹峨眉區 1 站，累計調查到 11 種蚯蚓，數量為 231 隻蚯蚓。在 15 個農業監測站中，以新竹峨眉區-桶柑與臺東池上區-水稻的蚯蚓多樣性最為豐富。臺

東長濱區芭蕉與南投埔里區百香果則僅調查到 3 種蚯蚓，其中臺東長濱區芭蕉的蚯蚓數量最少，僅採集到 13 隻蚯蚓。就不同作物之優勢種分析結果顯示，種植文旦、水稻和印度棗的土壤中，優勢蚯蚓物種皆為土後腔環蚓，且其他 6 種作物均未調查到此物種；種植桶柑、荔枝和百香果的優勢蚯蚓則為黃頸蝟蚓，其數量佔比超過 55%；種植番荔枝的優勢種為巴氏杜拉蚓 (*Drawida barwelli*)；種植芭蕉的優勢種為長形多環蚓 (*Polypheretima elongata*)；至於 2023 年新增調查的南投名間區-茶園，則未採集到任何蚯蚓。

## 討論

### 一、農業操作模式與土壤性質對蚯蚓影響

本研究於 2021-2023 年在長期生態系農業監測站，針對不同農法田區進行蚯蚓多樣性生態調查，2021 年調查到蚯蚓數量較其他年度少，因 2021 年上半年各地降雨量少，土壤缺乏水分而有質地硬化的情況，不利蚯蚓生長與繁殖，故部分農業監測站採樣點的蚯蚓數量極少。2023 年調查南投名間茶園時，雖然茶園會視土壤濕度進行灌溉，但是茶園土質為紅土與保水性差，且為有機茶園土壤質地乾硬，慣行茶園地表會覆蓋一層有機肥料，但土壤質地也是偏乾硬，由於土壤性質較差，因此也沒有採集到蚯蚓。實地進行調查時發現，不論是有機或慣行農法，採集點若是土壤乾硬、多石頭等不利蚯蚓活動的環境，會使蚯蚓的數量較少，這種環境採到的多是較小隻的蚯蚓，或是耕地表面有經常施肥、除草或重新栽種作物的翻田鬆土等造成地表擾動的行為，其蚯蚓數量會更少。通常在降雨量正常的氣候條件下進行採集工作，土壤水分含量較高，土質亦相對鬆軟。濕潤的黏土土壤性質與地表富含有機質（如落葉和落果等腐植質），通常使蚯蚓密度較高。但是土壤水分過多，呈現淹水狀態，則不利蚯蚓活動。由上述可知，蚯蚓的活動與族群數量主要受當地土壤水分含量及土壤性質所影響。本研究調查結

果與多位學者之研究結果相符，土壤性質（土壤類型、土壤質地及有機質）對於蚯蚓的活動影響具有重要相關性<sup>(56)</sup>。

### 二、農業監測站蚯蚓多樣性現況

於各農業監測站共採集到 21 種蚯蚓，其中多為全球廣布種與外來種，且以鉅蚓科物種為主要組成。採集到的蚯蚓共有 10 屬，分別為遠環蚓屬 (*Amyntas*)、腔環蚓屬 (*Metaphire*)、多環蚓屬 (*Polypheretima*)、環爪蚓屬 (*Perionyx*)、雙胸蚓屬 (*Bimastos*)、重胃蚓屬 (*Dichogaster*)、*Eukerria* 屬、寒蟻蚓屬 (*Ocnerodrilus*)、*Pontoscolex* 屬、杜拉蚓屬 (*Drawida*)。其中，遠環蚓屬的物種數最多，共計 8 種；腔環蚓屬次之，有 4 個蚯蚓物種。前人研究臺灣蚯蚓種類之文獻亦提到，其調查結果以鉅蚓科為主，且以遠環蚓屬及腔環蚓屬之物種最常見<sup>(74, 76)</sup>，本研究在農業環境中進行之蚯蚓多樣性調查，亦獲得相似之結果。

分析蚯蚓分布概況顯示，參狀遠環蚓廣泛分布於多個農業監測站，該物種為大型蚯蚓，活動範圍屬於貫穿型蚯蚓<sup>(8)</sup>，當土壤受到擾動（如除草管理）或噴施農藥時，參狀遠環蚓可移動至更深層土壤。另外，研究結果發現，該物種在慣行農田之分布最為普遍，顯示其對農業生態環境具有高度適應性，並可能為最能耐受化學肥料及農藥之蚯蚓物種。但本研究之採樣深度僅約 15-20 公分，故所採集到的個體多

為幼蚓，成熟個體於手動挖掘過程中可能向下鑽動至更深層土壤，此或為影響其數量結果之因素。參狀遠環蚓在本研究調查蚯蚓總數量之佔比僅為 3.8%。

本研究調查所得之西土寒蠶蚓<sup>(62)</sup>和巴氏杜拉蚓<sup>(64)</sup>，分別為 2015 年和 2018 年發表的臺灣新紀錄外來種。此外，採集到的蚯蚓樣本中，約有 14.6% 為未知種，且多為未成熟個體，於 DNA 資料庫中也未比對到相似度高的物種資訊，未知種蚯蚓可能為外來種，也有可能是本土特有種，有待後續研究進行物種鑑定。蚯蚓之分布種類與數量通常與當地的人為開發程度有相關性。本研究調查發現臺灣農業環境中的 21 種蚯蚓，以外來種或廣泛分布種為優勢族群。人為活動干擾導致本土特有種蚯蚓豐度及多樣性減少，全球貿易發達與人為開發活動有利於外來種族群之建立。外來蚯蚓物種在城市和農村地區的土壤中佔據主導地位，而本地物種僅能在受人為干擾較少的棲息地中生存<sup>(74, 76)</sup>。

### 三、需關注蚯蚓物種

黃頸蜚蚓分布於多個有機田區，並且為該田區的數量優勢種，尤其在西湖鄉的有機文旦果園已連續三年為優勢種。在友善農法管理之田區，黃頸蜚蚓亦為數量優勢種，此主要歸因在嘉義分所和雲林縣古坑的荔枝果園調查到大量黃頸蜚蚓。黃頸蜚蚓為非常活躍的入侵種，活動範圍屬於底層型蚯蚓<sup>(52)</sup>，偏好棲息在有機質含量

豐富的土壤中<sup>(80)</sup>，且對土壤擾動具有很強的適應能力，同時對土壤溫度和濕度的變化具有很高的耐受性，並可棲息在不同的土壤類型中<sup>(10)</sup>。該物種繁殖能力強，族群密度可達每平方公尺 400 隻<sup>(46)</sup>。本研究於 2023 年在古坑的友善田區僅調查到黃頸蜚蚓，平均密度達每平方公尺 161.2 隻，不僅在所有農業監測站中居冠，同時在該地區也採集到多顆黃頸蜚蚓的卵繭。由上述這些特性推測，黃頸蜚蚓在有機與友善農法管理之田區適應良好，並成為優勢種或單一物種的原因。黃頸蜚蚓原產於熱帶美洲及西印度群島等地，有研究報告推測此物種在民國六十年前已入侵臺灣<sup>(4, 5)</sup>，早期的文獻就已指出，黃頸蜚蚓為臺灣中部農地的優勢種<sup>(75)</sup>。黃頸蜚蚓環帶前體表明顯可見三對亮黃色鈣腺，可利於辨識該物種（圖五）。有研究指出，黃頸蜚蚓的蚓糞土質地細密，具有類似水泥之特性，可能導致排水不良<sup>(5)</sup>，進而降低土壤涵養水分及滲透水分的能力，對土壤性質造成影響<sup>(2)</sup>。黃頸蜚蚓可在許多本地物種無法耐受的條件下生存，並可能透過改變棲息地環境，使其他物種回歸更加困難<sup>(26)</sup>，其對臺灣原生蚯蚓有明顯的競爭排斥效應，值得後續追蹤其衝擊效應<sup>(2)</sup>。

薩爾塔細帶蚓 (*Eukerria saltensis*) 分布於智利、阿根廷、巴西、美國、南非、印度、緬甸、越南、柬埔寨、澳洲及日本等國家<sup>(8)</sup>。澳洲 Stevens & Warren (2000) 的研究指出「澳洲水稻田種植初期造成水

質混濁度增加，且讓土壤間緊密度下降，導致水稻幼苗發育不良而造成農損，被視為具危害性的外來入侵種」(8, 72)。雖然在臺東池上區與花蓮富里區-水稻亦調查到此蚯蚓種類，由於國內種植水稻方式不同，目前在國內並未發現產生危害之現象。

#### 四、農業生態系長期調查重要性

農業生態系長期調查研究的目的，是促進農業永續經營與發展，同時也保有生態系統與生物多樣性。蚯蚓在土壤生態系中扮演重要角色，研究蚯蚓的多樣性與豐度有助於評估土壤健康狀況，並瞭解農業作業模式對土壤生態系的影響。本研究涵蓋臺灣西部至東部共 15 個農業監測站，調查慣行農法、有機農法和友善農法模式下 9 種農作物的蚯蚓物種及分布狀況，填補臺灣長期缺乏農業蚯蚓物種資訊，但仍需長期觀察慣行、有機和友善農法影響蚯蚓豐度與多樣性之變化，本研究未來將持續調查不同農業作業模式下的蚯蚓多樣性、密度和生物量，累積農業環境蚯蚓多樣性地景資訊，為農業生產與生態環境永續發展提供參考依據。

#### 謝辭

本研究承蒙農業部 2021-2023 年度研究計畫經費補助、農業試驗所統籌單位陳琦玲研究員與張仁育副研究員團隊、桃園

區農業改良場、苗栗區農業改良場、臺中區農業改良場、臺中區農業改良場埔里分場、農業試驗所嘉義分所、臺南區農業改良場、臺東區農業改良場、花蓮區農業改良場與茶及飲料作物改良場提供農業生態系長期生態農業監測站，農業部生物多樣性研究所動物組無脊椎研究室沈慧萍副研究員與臺灣大學生命科學系張智涵副教授協助標本製作、蚯蚓形態鑑定技術之指導，及分子生物鑑定技術之交流，謹此致謝。

#### 引用文獻

1. 林芳妘、陳淑娟、林麗淑、謝玉貞。2022。農業環境蚯蚓多樣性調查研究。2022 農業生態系長期生態研究研討會專刊，第 50-60 頁。林孟均、任心怡、賴瑞聲編。行政院農業委員會苗栗區農業改良場。苗栗。
2. 陳泓文。2017。以蚯蚓為友善耕作果園土壤生物指標之可行性研究。國立宜蘭大學生物技術與動物科學系碩士論文。宜蘭。65 頁。
3. 陳琦玲、陳炳輝、黃山內、金恒鏞、孫文章、郭鴻裕、陳健忠、林儒宏、楊秋忠、陳尊賢。2009。亞熱帶農業生態系長期生態研究站之建置與研究展望。作物、環境與生物資訊 6：233-246。
4. 陳毅翰、張智涵、陳俊宏。2003。宜蘭縣蚯蚓種類與分佈。生物科學 46：56-65。

5. 陳毅翰、張智涵、莊淑君、林佑勳、陳俊宏。2004。外來種蚯蚓黃頸透鈣蚓 (*Pontoscolex corethrurus*) 在臺灣北部的分佈並依此推估其對原有蚯蚓族群及土壤環境可能造成之衝擊。生物科學 47: 117-126。
6. 張智涵、沈慧萍、陳俊宏。2009。台灣蚯蚓誌。國立臺灣大學出版中心。臺北。174 頁。
7. 蔡正國、陳琦玲、張仁育、石憲宗、楊藹華、王瑞章、廖大經、張哲璋、柯昱成、林儒宏、張素貞、任心怡、莊國鴻、廖崇億、郭雅紋、昌佳致、潘佳辰、陳泰元、林立、張繼中、許自研、林大利、謝玉貞。2023。農藥長期生態研究回顧與展望。112 年度農業生態系長期生態研究研討會專刊，第 4-26 頁。潘佳辰、簡芝楹、黃瑞彰編。行政院農業委員會臺南區農業改良場。臺南。
8. 賴亦德、陳俊宏。2018。台灣常見蚯蚓、蛭類圖鑑。遠足文化。新北市。256 頁。
9. Ball, S. L., and Armstrong, K. F. 2006. DNA barcodes for insect pest identification: A test case with tussock moths (Lepidoptera: Lymantriidae). Can. J. For. Res. 36: 337-350.
10. Barreto de Novais, C., Ricardo de Oliveira, J., Siqueira, J. O., Miana de Faria, S., Ribeiro da Silva, E., Aquino, A. M., and Júnior, O. J. S. 2019. Trophic relationships between the earthworm *Pontoscolex corethrurus* and three tropical arbuscular mycorrhizal fungal species. Appl. Soil Ecol. 135: 9-15.
11. Barrett, R. D. H., and Hebert, P. D. N. 2005. Identification spiders through DNA barcodes. Can. J. Zool. 83: 481-491.
12. Bertrand, M., Barot, S., Blouin, M., Whalen, J., de Oliveira, T., and Roger-Estrade, J. 2015. Earthworm services for cropping systems. A review. Agron. Sustain. Dev. 35: 553-567.
13. Birkás, M., Jolánkai, M., Gyuricza, C., and Percze, A. 2004. Tillage effects on compaction, earthworms and other soil quality indicators in Hungary. Soil Tillage Res. 78: 185-196.
14. Blouin, M., Hodson, M. E., Delgado, E. A., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K. R., Dai, J., Dendooven, L., Peres, G., Tondoh, J. E., Cluzeau, D., and Brun, J. J. 2013. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. Eur. J. Soil Sci. 64: 161-182.
15. Booth, L., Heppelthwaite, V., and Mcglinchy, A. 2000. The effect of environmental parameters on growth, cholinesterase activity and glutathione S-transferase activity in the earthworm (*Aporrectodea caliginosa*). Biomarkers 5: 46-55.
16. Boström, U. 1995. Earthworm populations (Lumbricidae) in ploughed and

- undisturbed leys. *Soil Tillage Res.* 35: 125-133.
17. Briones, M. J. I., and Bol, R. 2003. Natural abundance of  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  in earthworms from different cropping treatments: The 7th international symposium on earthworm ecology · Cardiff · Wales · 2002. *Pedobiologia* 47: 560-567.
  18. Capowiez, Y., Cadoux, S., Bouchant, P., Ruy, S., Roger-Estrade, J., Richard, G., and Boizard, H. 2009. The effect of tillage type and cropping system on earthworm communities, macroporosity and water infiltration. *Soil Tillage Res.* 105: 209-216.
  19. Cech, R. M., Jovanovic, S., Kegley, S., Hertoge, K., Leisch, F., and Zaller, J. G. 2022. Reducing overall herbicide use may reduce risks to humans but increase toxic loads to honeybees, earthworms and birds. *Environ. Sci. Europe* 34: 44.
  20. Chan, K.Y. 2001. An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity-implications for functioning in soils. *Soil Tillage Res.* 57: 179-191.
  21. Chang, C. H., Lin, S. M., and Chen, J. H. 2008. Molecular systematics and phylogeography of the gigantic earthworms of the *Metaphire formosae* species group (Clitellata, Megascolecidae). *Mol. Phylogenet. Evol.* 49: 958-968.
  22. Chang, C. H., Rougerie, R., and Chen, J. H. 2009. Identifying earthworms through DNA barcodes: Pitfalls and promise. *Pedobiologia* 52: 171-180.
  23. Chang, C. H., Shen, H. P., Sherlock, E., and Csuzdi, C. 2024. A review of the earthworm *Amyntas masatakae* (Beddard, 1892) (Clitellata, Megascolecidae), with designation of two new synonyms. *Biodivers. Data J.* 12: e119599
  24. Chatelain, M., and Mathieu, J. 2017. How good are epigeic earthworms at dispersing? An investigation to compare epigeic to endogeic and anecic groups. *Soil Biol. Biochem.* 111: 115-123.
  25. Choo, L. P. D., and Baker, G. H. 1998. Influence of four commonly used pesticides on the survival, growth, and reproduction of the earthworm *Apporectodea trapezoides* (Lumbricidae). *Aust. J. Agric. Res.* 49: 1297-1303.
  26. Cuddington, K., and Hastings, A. 2004. Invasive engineers. *Ecol. Modell.* 178: 335-347.
  27. Cuendet, G. 1983. Predation on earthworms by the black-headed gull (*Larus ridibundus* L.), pp. 415-424. *In*: J. E. Satchell [ed.], *Earthworm ecology - from Darwin to Vermiculture*. Chapman and Hall, London, UK. 496 pp.
  28. Curry, J. P. 2004. Factors affecting the abundance of earthworms in soils, pp. 91-113. *In*: C.A. Edwards. [ed.], *Earthworm*

- ecology. CRC Press, Boca Raton, USA. 448 pp.
29. Decaëns, T., Porco, D., Rougerie, R., Brown, G. G., and James, S. W. 2013. Potential of DNA barcoding for earthworm research in taxonomy and ecology. *Appl. Soil Ecol.* 65: 35-42.
30. Decaëns, T., Porco, D., James, S. W., Brown, G. G., Chassany, V., Dubs, F., Dupont, L., Lapied, E., Rougerie, R., Rossi, J. P., and Roy, V. 2016. DNA barcoding reveals diversity patterns of earthworm communities in remote tropical forests of French Guiana. *Soil Biol. Biochem.* 92: 171-183.
31. Dewi, W. S., and Senge, M. 2015. Earthworm diversity and ecosystem services under threat. *Rev. Agric. Sci.* 3: 25-35.
32. Diehl, W. J., and Williams, D. L. 1992. Interactive effects of soil moisture and food on growth and aerobic metabolism in *Eisenia fetida* (oligochaeta). *Comp. Biochem. Physiol. Part A: Physiol.* 102: 179-184.
33. Drilobase Project. 2013. DriloBASE TAXO. Retrieved from <https://taxo.drilobase.org/> (Mar. 26, 2024)
34. Eijsackers, H., Beneke, P., Maboeta, M., Louw, J. P. E., and Reinecke, A. J. 2005. The implications of copper fungicide usage in vineyards for earthworm activity and resulting sustainable soil quality. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 62: 99-111.
35. Folmer, O., Back, M., Hoeh, W., Lutz, R., and Vrijenhoek, R., 1994. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Mol. Mar. Biol. Biotechnol.* 3: 294-299.
36. Gabriella, J. E., Jan, L., Claudio, M. D., and Carlos Alberto, P. 2019. Identification of earthworm species in Uruguay based on morphological and molecular methods. *Agrociencia Uruguay.* 23: 1-10.
37. Gerard, B. M., and Hay, R. K. M. 1979. The effect on earthworms of ploughing, tined cultivation, direct drilling and nitrogen in a barley monoculture system. *J. Agric. Sci.* 93: 147-155.
38. Hebert, P. D. N., Cywinska, A., Ball, S. L., and deWaard, J. R. 2003. Biological identifications through DNA barcodes. *Proc. R. Soc. Lond. B: Biol. Sci.* 270: 313-321.
39. Holmstrup, M. 2001. Sensitivity of life history parameters in the earthworm *Aporrectodea caliginosa* to small changes in soil water potential. *Soil Biol. Biochem.* 33: 1217-1223.
40. House, G. J., and Parmelee, R. W. 1985. Comparison of soil arthropods and earthworms from conventional and no-tillage agroecosystems. *Soil Tillage Res.* 5:

- 351-360.
41. Ivask, M., Kuu, A., and Sizov, E. 2007. Abundance of earthworm species in Estonian arable soils. *Eur. J. Soil Biol.* 43: S39-S42.
  42. Jeyaprakasam, A., Muniyandi, B., James, A. J. P., Karmegam, N., and Ponnuchamy, K. 2021. Assessment of earthworm diversity and pesticide toxicity in *Eudrilus eugeniae*. *Environ. Chem. Ecotoxicol.* 3: 23-30.
  43. Kaka, H., Opute, P. A., and Maboeta, M. S. 2021. Potential impacts of climate change on the toxicity of pesticides towards earthworms. *J. Toxicol.* 2021: e8527991.
  44. Langdon, C. J., Hodson, M. E., Arnold, R. E., and Black, S. 2005. Survival, Pb-uptake and behaviour of three species of earthworm in Pb treated soils determined using an OECD-style toxicity test and a soil avoidance test. *Environ. Pollut.* 138: 368-375.
  45. Lanno, R., Wells, J., Conder, J., Bradham, K., and Basta, N. 2004. The bioavailability of chemicals in soil for earthworms. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 57: 39-47.
  46. Lavelle, P., Rangel, P., and Kanyonyo, J. 1983. Intestinal mucus production by two species of tropical earthworms: *Millsonia lamtoiana* (Megascolecidae) and *Pontoscolex corethrurus* (Giossoscolecidae), pp. 405.-410. *In*: P. Lebrun, H. M. André, A. De Medts, C. Gregoire-Wibo, and G. Wanthu, [Eds.], *New Trends in Soil Biology, Proceedings of the VIII International Colloquium of Soil Zoology*, Louvain-la-Neuve, 1982, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium.
  47. Lee, K. E. 1985. *Earthworms: Their ecology and relationships with soils and land use*. Academic Press, Orlando, USA. 411 pp.
  48. Liang, X., Li, Y., Zheng, Z., Tian, F., Du, Y., Yang, Y., Wang, M., and Zhang, Y. 2023. Effects of mixed application of avermectin, imidacloprid and carbendazim on soil degradation and toxicity toward earthworms. *Sci. Rep.* 13: 14115.
  49. Marchán, D. F., Decaëns, T., Domínguez, J., and Novo, M. 2022. Perspectives in earthworm molecular phylogeny: Recent advances in Lumbricoidea and standing questions. *Diversity* 14: 30.
  50. Misirlioğlu, M., Reynolds, J. W., Stojanović, M., Trakić, T., Sekulić, J., James, S. W., Csuzdi, C., Decaëns, T., Lapiéd, E., Phillips, H. R. P., Cameron, E. K., and Brown, G. G. 2023. Earthworms (Clitellata, Megadrili) of the world: an updated checklist of valid species and families, with notes on their distribution. *Zootaxa* 5255: 417-438.
  51. Norén, M., and Jondelius, U. 1999.

- Phylogeny of the Prolecithophora (Platyelminthes) inferred from 18S rDNA sequences. *Cladistics* 15: 103-112.
52. Ortíz-Ceballos, A. I., Ortiz-Gamino, D., Andrade-Torres, A., Pérez-Rodríguez, P., and López-Ortega, M. 2019. *Pontoscolex corethrurus*: A homeless invasive tropical earthworm? *PLoS One* 14: e0222337.
53. Palm, J., van Schaik, N. L. M. B., and Schröder, B. 2013. Modelling distribution patterns of anecic, epigeic and endogeic earthworms at catchment-scale in agro-ecosystems. *Pedobiologia* 56: 23-31.
54. Palumbi, S. R. 1996. Nucleic acids II: The polymerase chain reaction, pp. 205-247. *In*: D. M. Hillis, C. Moritz, and B. K. Mable [eds.], *Molecular systematics*. Sinauer, Sunderland, USA. 655 pp.
55. Pelosi, C., Barot, S., Capowiez, Y., Hedde, M., and Vandembulcke, F. 2014. Pesticides and earthworms. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 34: 199-228.
56. Perreault, J. M., and Whalen, J. K. 2006. Earthworm burrowing in laboratory microcosms as influenced by soil temperature and moisture. *Pedobiologia* 50: 397-403.
57. Pffiffner, L. 2022. Earthworms- architects of fertile soils: Their significance and recommendations for their promotion in agriculture. Retrieved from <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1629-earthworms.pdf> (Oct. 3, 2023).
58. Pop, A. A., Wink, M., and Pop, V. V., 2003. Use of 18S, 16S rDNA and cytochrome c oxidase sequences in earthworm taxonomy (Oligochaeta, Lumbricidae). *Pedobiologia* 47: 428-433.
59. Roger-Estrade, J., Anger, C., Bertrand, M., and Richard, G. 2010. Tillage and soil ecology: partners for sustainable agriculture. *Soil Tillage. Res.* 111: 33-40.
60. Rosas-Medina, M. Á., de León-González, F., Flores-Macías, A., Payán-Zelaya, F., Borderas-Tordesillas, F., Gutiérrez-Rodríguez, F., and Fragoso-González, C. 2010. Effect of tillage, sampling date and soil depth on earthworm population on maize monoculture with continuous stover restitutions. *Soil Tillage. Res.* 108: 37-42.
61. Rutgers, M., Orgiazzi, A., Gardi, C., Römbke, J., Jänsch, S., Keith, A. M., Neilson, R., Boag, B., Schmidt, O., Murchie, A. K., Blackshaw, R. P., Pérès, G., Cluzeau, D., Guernion, M., Briones, M. J. I., Rodeiro, J., Piñeiro, R., Díaz Cosín, D. J., Sousa, J. P., Suhadolc, M., Kos, I., Krogh, P. -H., Faber, J. H., Mulder, C., Bogte, J. J., van Wijnen, H. J., Schouten, A. J., and de Zwart, D. 2016. Mapping earthworm communities in Europe. *Appl. Soil Ecol.* 97: 98-111.
62. Shen, H. P. 2015. A new record of the earthworm *Ocnerodrilus occidentalis*

- Eisen, 1878 from Matsu. TW J. Biodivers. 17: 145-148.
63. Shen, H. P. 2018. Biogeography meets taxonomy: Distribution-based inferences on the accuracy of identification and synonymization of East Asian earthworms. *Zootaxa* 4496: 313-336.
64. Shen, H. P. 2018. Occurrence of the earthworm *Drawida barwelli* (Beddard, 1886) in Taiwan. TW J. Biodivers. 20: 143-152.
65. Shen, H. P., Chang, C. H., and Chih, W. J. 2018. Two new earthworm species of the genus *Drawida* (Oligochaeta: Moniligastridae) from southwestern Taiwan. *Zootaxa* 4496: 302-312.
66. Shen, H. P., Chang, C. H., and Chih, W. J. 2019. Two new earthworm species of the genus *Amyntas* (Oligochaeta: Megascolecidae) from central Taiwan, with comments on some recent species assignments in *Amyntas* and *Metaphire*. *Zootaxa* 4658: 101-123.
67. Shen, H. P., and Chang, C. H. 2025. A new earthworm species of the genus *Amyntas* (Clitellata: Megascolecidae) from northern Taiwan, false synonymy between *Amyntas corticis* (Kinberg, 1867) and *Amyntas sheni* (Chen, 1935) and other taxonomic issues relating to *A. corticis*. *Zootaxa* 5589: 112-126.
68. Shen, H. P., Csuzdi, Cs., and Chang, C. H. 2025. A re-examination of the pheretimoid earthworms reported in James *et al.* (2005), false synonymy between *Drawida barwelli* (Beddard, 1886) and *Drawida beddardi* (Rosa, 1890) and comments on recent publications on East and Southeast Asian earthworms. *Eur. J. Taxon.* 981: 52-75.
69. Shen, H. P., and Fang, H. T. 2020. Occurrence of the luminous earthworm *Microscolex phosphoreus* (Dugès, 1837) in Taiwan. TW J. Biodivers. 22: 307-317.
70. Shen, H. P., Tsai, S. C., and Tsai, C. F. 2008. A new record of the exotic ocnero-drilid earthworm *Eukerria saltensis* (Beddard, 1895) from Taiwan. *Endemic Species Res.* 10: 85-90.
71. Singh, J., Schädler, M., Demetrio, W., Brown, G. G., and Eisenhauer, N. 2019. Climate change effects on earthworms- a review. *Soil Org.* 91: 114-138.
72. Stevens, M. M., and Warren, G. N. 2000. Laboratory studies on the influence of the earthworm *Eukerria saltensis* (Beddard) (Oligochaeta: Ocnero-drilidae) on overlying water quality and rice plant establishment. *Int. J. Pest Manage.* 46: 303-310.
73. Tomlin, A. D., and Miller, J. J. 1988. Impact of ring-billed gull (*Larus delawarensis* Ord.) foraging on earthworm populations of southwestern Ontario agricultural soils. *Agric. Ecosyst. Environ.*

- 20: 165-173.
74. Tsai, C. F., Shen, H. P., and Tsai, S. C. 2000a. Native and exotic species of terrestrial earthworms (Oligochaeta) in Taiwan with reference to Northeast Asia. *Zool. Stud.* 39: 285-294.
75. Tsai, C. F., Shen, H. P., and Tsai, S. C. 2000b. Occurrence of the exotic earthworm *Pontoscolex corethrurus* (Müller) (Glossoscolecidae: Oligochaeta) in Taiwan. *Endemic Species Res.* 2: 68-73.
76. Tsai, C. F., Shen, H. P., and Tsai, S. C. 2004. Endemicity and altitudinal stratification in distribution of megascolecid earthworms in the centro-western Taiwan. *Endemic Species Res.* 6: 1-18.
77. Wen, S., Shao, M., and Wang, J. 2020. Earthworm burrowing activity and its effects on soil hydraulic properties under different soil moisture conditions from the Loess Plateau, China. *Sustainability* 12: 9303.
78. Winsome, T., Epstein, L., Hendrix, P. F., and Horwath, W. R. 2006. Competitive interactions between native and exotic earthworm species as influenced by habitat quality in a California grassland. *Appl. Soil Ecol.* 32: 38-53.
79. Xiao, R., Ali, A., Xu, Y., Abdelrahman, H., Li, R., Lin, Y., Bolan, N., Shaheen, S. M., Rinklebe, J., and Zhang, Z. 2022. Earthworms as candidates for remediation of potentially toxic elements contaminated soils and mitigating the environmental and human health risks: A review. *Environ. Int.* 158: 106924.
80. Zhang, W., Li, J., Guo, M., Liao, C., He, X., Lin, Y., and Fu, S. 2020. The presence of earthworm *Pontoscolex corethrurus* rather than organic matter sources indirectly controls N<sub>2</sub>O flux in tropical plantation soils. *Eur. J. Soil Biol.* 96: 103150.

# Investigation on Earthworm Biodiversity in Agricultural Ecological Environments in Taiwan

Fang-Yun Lin<sup>1</sup>, Shu-Chuan Chen<sup>1</sup>, Yu-Chen Hsieh<sup>1\*</sup>

## Abstract

Lin, F. Y., Chen, S. C., and Hsieh, Y. C. 2025. Investigation on earthworm biodiversity in agricultural ecological environments in Taiwan. *Taiwan Pestic. Sci.* 19: 1-30.

A survey of the species diversity and distribution of earthworms was conducted at 15 agricultural monitoring stations in both western and eastern Taiwan under different agricultural operation modes from 2021 to 2023, in which a total of 3,059 earthworms were collected. Morphological and molecular identification methods were used to identify 21 species of earthworms belonging to 6 families and 10 genera, most of which were globally distributed species and invasive species. The only species endemic to Taiwan, *Metaphire formosae*, was collected exclusively from the following three types of fields: tankan in Emei District, Hsinchu; pomelo in Xihu District, Miaoli; and litchi in Gukeng District, Yunlin. A comparison of the diversity of earthworm species among different agricultural operation modes revealed that 21, 17, and 12 species of earthworms were respectively found in fields with conventional, organic, and friendly farming. The dominant earthworms in the three farming methods were *Metaphire posthuma* and *Pontoscolex corethrurus*. *Metaphire posthuma* comprised 36.9% of the total number of earthworms collected in the monitoring stations and was the dominant species for the three consecutive years of the study period, indicating that this species is well-adapted to the agricultural ecosystem in Taiwan. Field investigations showed that the density of earthworms was higher in moist clay loam and lower in soil that was rocky, flooded, insufficiently moist, or frequently disturbed due to fertilizer application or weeding. Future investigations will continue accumulating biological information to further understand not only changes in the variation of earthworm species but

---

Accepted: July 24, 2025.

\* Corresponding author, E-mail: ych@acri.gov.tw

<sup>1</sup> Agricultural Chemicals Research Institute, Ministry of Agriculture, Taichung

also the interactions between earthworms and soil environments under different agricultural operation modes.

**Key words:** agricultural ecological long-term research, earthworms, biodiversity, conventional farming, organic farming, friendly farming