

第9屆國際土壤礦物與有機質 及微生物相互作用研討會紀實

文／圖 ■ 陳素漪、潘佳辰、王美琴

前言

氣候變遷議題推動了全球對淨零排放與永續農業的重視，而作為碳匯核心之一的土壤，也從農業生產的背景角色，逐步走上氣候行動與政策規劃的舞台。第9屆國際土壤礦物與有機質及微生物相互作用研討會 (ISMOM 2024)，正是在這樣的背景下

於日本筑波市召開。本次會議不僅匯聚了來自全球五大洲的研究機構人員與學者，共同探討土壤碳穩定性、微生物作用機制與礦物吸附等主題，會議內容從微觀尺度的土壤反應與微生物相互作用，拓展到中尺度的土地管理策略與大尺度的氣候政策與碳市場實踐，完整呈現土壤科學如何跨越科學、管理與政策層面。本場的三位研究人員—潘佳辰副研究員、王美琴助理研究員與陳素漪技佐，有幸參與這場國際科學盛會，除了帶著臺灣近年在土壤管理與農業實踐中的具體研究案例參與討論，也希望透過與國際學界的對話，回應台灣農業面臨的土壤永續挑戰，並探索可轉化為實務應用的科學方法。



來自臺南區農業改良場與花蓮區農業改良場的研究人員們於會場門口合影 (上圖)。全體與會人員大合照 (下圖)。(照片來源：ISMOM2024官方與潘佳辰副研究員)

ISMOM 2024：從土壤微觀結構到全球碳治理的知識盛會

ISMOM 2024於2024年10月14日至18日在日本茨城縣筑波市舉行。本次會議由國際土壤科學聯盟 (IUSS) 主辦，是全球最具代表性的土壤研究論壇之一，本屆會議以「從土壤有機質－礦物相互作用到土壤碳政策」為大主題，構築一座從實驗室研究到政策制定的橋樑。會議六大主題設計不僅涵蓋學理機制，也延伸至實務應用與政策制定，具體包括以下議題：

主題1：ISMOM的基本面向：挑戰與機會。

主題2：土壤結構作為礦物質、有機質和微生物之間界面反應的限制。

主題3：新概念與新方法：方法論與概念的進步。

主題4：ISMOM 和跨尺度的地球生物化學循環。

主題5：ISMOM 作為土壤碳管理的基礎。

主題6：有機-礦物質-微生物交互作用在土壤管理和政策制定中的作用：對氣候變遷和碳市場的影響。

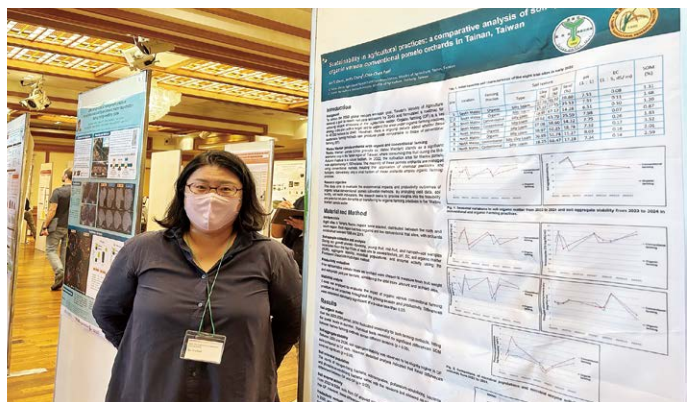
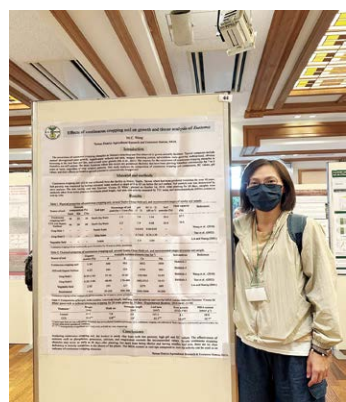
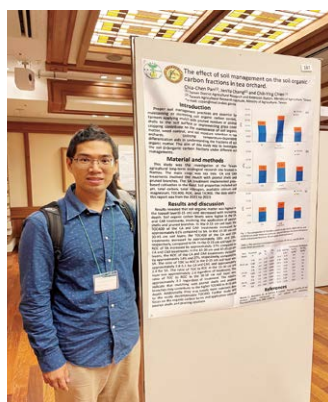
本場的三位研究人員，也將近年相關的研究成果在會議中以海報論文進行發表，將這些來自臺灣茶園、文旦果園與洋桔梗田間的土壤研究案例，與來自各國的研究人員進行面對面的學術交流。

潘佳辰副研究員的海報主題為「茶園土壤管理對土壤有機碳組成的影響」，呈現覆蓋與草生栽培對於茶園土壤有機碳累積與碳型態變化的影響。研究顯示，利用花生殼與修整枝材料進行地表覆蓋可顯著

提升土壤中TOC400與ROC，對於穩定性碳在土壤中儲存具有正面貢獻。

王美琴助理研究員所發表的海報「連作土壤對洋桔梗生長及組織分析的影響」，針對長期連作的鹽化問題進行診斷與管理建議。指出，連作加上高投入化肥造成的土壤鹽分累積，是限制洋桔梗生長的主要因子，導致洋桔梗根部障礙現象，並提出改進措施如輪作、綠肥與有機質施用等。

陳素漪技佐則發表了「臺南文旦柚果園有機與慣行耕作模式的土壤品質與產量比較分析」的海報主題。透過三年研究資料分析，顯示有機文旦柚果園在土壤酵素活



潘佳辰副研究員 (左上)、王美琴助理研究員 (右上) 及陳素漪技佐 (左下) 海報成果展示

性、土壤團粒穩定性與微生物性指標上的明顯優勢，儘管有機文旦初期產量略低，但至近期已可與慣行農法產量相比擬。

會議亮點：那些印象深刻的演講與觀點

在ISMOM 2024會議期間，眾多學者從不同的研究視角切入，共同揭示了土壤碳穩定性與土壤健康之間的多層次連結，不僅在技術層面展現高度創新，更在概念上對現行農業管理與碳政策提出挑戰與反思，為與會者提供了豐富的研究洞見。

土壤成分交互作用對有機碳的影響

中國華中農業大學的Qiaoyun Huan教授以「土壤成分交互作用對有機碳的影響」為題，深入探討土壤中礦物、有機質與微生物三者之間的交互作用如何影響碳的穩定性與碳匯潛力。他指出，過去多數研究往往著重於碳來源或單一礦物的吸附反應，但實際上土壤是一個異質且動態的系統，碳的穩定性源自於土壤中多重成分的協同作用。Huan教授挑戰傳統「碳飽和 (carbon saturation)」的概念，該理論認為，當礦物表面被有機質覆蓋後會達到吸附飽和狀態，碳匯潛力便不再提升。然而他透過實驗指出，微生物壞死質所產生的多醣體，能與鐵氧化物共同作用，形成一層黏性且呈動態變化的界面結構，使原本已達「飽和」的



中國華中農業大學的Qiaoyun Huan教授以「土壤成分交互作用對有機碳的影響」為題進行專題演講。(照片來源：ISMOM2024官方與陳素漪技佐)



礦物表面仍具備進一步吸附與穩定碳的能力，顛覆了傳統碳飽和的靜態邏輯。其研究也運用高光譜與顯微分析技術，對不同類型土壤樣本進行結構與組成分析，發現礦物類型（特別是鐵氧化物與鋁氧化物）對有機碳穩定性具有關鍵作用。富含這些礦物的土壤，傾向與有機質形成穩定的複合體，減緩有機碳的分解速度。他也強調，微生物胞外聚合物 (EPS, Extracellular Polymeric Substances) 在碳穩定過程中扮演重要角色。EPS不僅可作為微生物生存的物理屏障，更可與礦物顆粒結合，形成穩定的微環境，延緩有機碳的礦化速率，這項作用在碳含量高、施用有機質頻繁的土壤中尤為顯著。總結而言，Huan教授的研究清楚闡述了「微生物—礦物—結構」三者在穩定土壤碳中的關鍵作用。他的研究不僅補足了當前碳動態模型的微尺度盲點，也為未來發展具機制依據的土壤健康評估指標與農業碳管理策略提供了堅實的科學基礎。

管理措施與土壤有機碳

來自加拿大農業與食品部的Denis Angers榮譽研究科學家，以「管理措施與土壤有機碳：經驗教訓、爭議與知識缺口」為題發表專題演講，深入回顧當前農業管理實踐對土壤有機碳 (SOC) 累積與動態的實證資料與爭議觀點。他指出，儘管減少耕作、施用有機質肥料與種植覆蓋作物等措施長期以來被認為有助於提升SOC，但其效果在不同氣候帶、土壤類型與作物系統中的表現極不一致，甚至在某些情況下未能達到預期的碳儲效果。Angers博士強調，目前在學術界與政策界間存在三個主要知識斷層：其一，是SOC分布深度的誤判，多數研究與碳監測僅聚焦表層0~30公分，但事實上深層土壤 (30~100公分) 對於長期碳儲存的貢獻不容忽視；其二，是SOC變化

時間尺度的錯配，農業政策多採用2~5年內的監測結果作為碳效益評估依據，卻未能反映土壤中穩定碳 (如MAOM) 所需的長時間形成與積累過程；其三，是土地利用轉變與極端氣候影響的交叉知識空白，他呼籲應更積極投入對極端乾旱、強降雨與溫度異常等條件下SOC變化的機制研究。他也特別指出，許多碳交易制度過於倚賴短期碳變化量進行交易與核算，忽略了碳型態的差異 (如活性碳vs穩定碳)，可能導致碳市場制度上的失準與不實效益宣稱。最後，Angers博士提醒與會者，SOC並非靜態指標，而是隨著管理、氣候、作物與土壤交互作用下不斷波動的動態系統，因此任何政策設計都應內建「不確定性範圍」與「適地適管」原則，以避免高估農業碳匯潛力，反而誤導永續農業的發展方向。



加拿大農業與食品部的Denis Angers榮譽研究科學家以「管理措施與土壤有機碳：經驗教訓、爭議與知識缺口」為題進行專題演講。(照片來源：ISMOM2024官方與陳素漪技佐)



法國國家農業研究所的Claire Chenu教授以「從有機-礦物交互作用到土壤與碳政策的應用」為題進行專題演講。(照片來源：ISMOM官方與陳素漪技佐)



從有機-礦物交互作用到土壤與碳政策的應用

來自法國國家農業研究院 (INRAE) 的Claire Chenu教授是歐盟土壤健康政策的推動者，在閉幕專題演講中以「從有機-礦物交互作用到土壤與碳政策的應用」為題，深入剖析了科學研究如何支持碳匯與土壤健康政策的建構。Chenu教授主張，土壤健康不應只被視為農業生產效能的指標，而應納入氣候政策與國際碳

監測體系的科學基礎。為此，她也倡議建立一個跨國合作平台，整合全球的土壤碳監測、標準化作業與驗證機制，實現真正可量化、可交易且具在地適應性的農業土壤碳權制度。此外，她強調，農民應被納入這個系統的核心角色，不僅是數據提供者，更是土壤健康與碳儲存實踐者，並建議未來的政策設計應提供技術協助、教育資源與經濟誘因，支持農民依據土壤健康評估結果進行土壤管理的調整，從而兼顧糧食生產、土壤健康與碳匯目標。

會後啟發與後續建議

參與ISMOM 2024不僅讓我們有機會將來自臺灣農業現場的研究成果推向國際視野，更重要的是，透過與不同氣候帶、不同農業體系的研究者面對面的對話，我們得以重新檢視自身研究在全球土壤研究中的定位。

首先，我們深刻體認到「土壤健康」已不再是僅屬於農業技術層面的概念，而逐步成為連結碳政策、生態系服務與氣候行動的重要科學基礎。許多國際研究者已開始建構土壤健康的量測與評估工具，並作為政策制定的依據。這樣的轉向，提醒我們未來若希望將臺灣的農業土壤研究納入氣候治理框架，勢必要同步發展具指標性與可操作性的土壤健康監測架構。

其次，會議中多次強調「時間尺度」、「空間異質性」與「土地利用歷史」在土壤碳研究中的關鍵性，讓我們反思目前國內田間試驗設計與資料整合的侷限性。若能在既有長期觀測研究中補強深層土壤、有機碳型態與團粒分析，將更有助於補足碳動

態理解的空白。

第三，從海報展示中我們也意識到，「在地知識」若能結合良好的學術語言與國際脈絡思維，完全有機會與全球研究者展開對話。許多學者對我們的資材利用方式、作物耕作系統轉型策略與農民參與機制表現出高度興趣，這不僅是一場研究成果的展示，更是一種臺灣農業經驗輸出的契機。

建議未來在推動土壤健康與農業碳匯政策時，應以「機制清楚、指標可量、實務可行」為核心原則，優先建立兼具生物、化學與物理性指標的土壤健康評估架構；並參考歐盟與國際土壤監測經驗，結合農民端操作的可行性，建立涵蓋指標、管理與激勵機制的長期制度平台；強化不同農業環境條件下的土壤碳匯潛力評估與碳型態動態分析，作為施肥策略與耕作管理的調整依據；在技術研發方面，應鼓勵跨機關、跨領域合作，導入高解析分析工具，深化對碳儲存機制的認識，讓土壤不僅成為農業生產的基礎，更成為氣候治理與環境永續的關鍵資產。

結語

此次參加ISMOM 2024，不僅讓我們接觸到最新的土壤有機碳研究方法與理論，也從國際實務案例中看見不同地區如何因應氣候挑戰，發展出適地適用的土壤管理策略。透過與來自多國學者的深入交流，我們重新審視了臺灣在合理化施肥、碳匯潛力與土壤健康推動上的努力方向，對我們後續推動長期土壤監測、落實肥培管理與建立土壤健康評估體系具有實質助益。未來，我們將持續鏈結研究與政策，深化在地應用，推動臺灣農業永續發展與碳管理策略的整合落實。