

出國報告(出國類別：開會)

「人才培育與研發成果推廣計畫」：
第9屆國際土壤礦物與有機質及微生物相互作用研討會 (ISMOM2024)

服務機關：農業部臺南區農業改良場

姓名職稱：潘佳辰副研究員

陳素漪技佐

王美琴助理研究員

派赴國家：日本

出國期間：113年10月14日至10月19日

報告日期：113年12月23日

摘要

第9屆國際土壤礦物與有機質及微生物相互作用研討會，幫助相關研究人員深化對氣候變遷、土壤碳動態等議題的理解。研討會涵蓋面向包括 1. 土壤結構與礦物、微生物和有機質（ISMOM）之間的作用與反饋 2. 鐵、鋁和鈣在決定土壤有機質豐富度和持久性的重要因子 3. 生物風化和土壤有機質形成 4. 微生物-礦物-有機質相互作用及養分和污染物的循環 5. 將 ISMOM 概念應用於生態和地球系統模型 6. 研究微生物、礦物和有機質之界面反應的先進技術。研討會特別會議討論題目為土壤有機質-礦物相互作用對碳政策的影響，提供各國學者交流平台，促進碳政策國際合作的機會。本研討會本場共有 3 位研究人員發表海報論文，其中包括潘佳辰副研究員、陳素漪技佐及王美琴助理研究員。

目錄

摘要	2
一、目的	4
二、過程	5
三、心得及建議	20
四、參考文獻	22
五、致謝	22
六、附錄	23

一、目的

在達成 2050 淨零碳排目標的未來關鍵十年中，土壤碳匯將扮演至關重要的角色。全球碳匯中，土壤擁有龐大的碳儲存功能，形成重要的碳庫。土壤有機質、微生物和團粒的協同作用對於增加碳匯和減緩氣候變遷至為關鍵。土壤有機質透過有效的管理方式，如有機物添加和植物殘渣積累，能夠提升碳儲存效能。微生物參與有機物的分解和形成，促進有機碳的固定和穩定儲存，同時調節氮循環，有助於土壤碳的形成。團粒的穩定結構則有助於碳的持久儲存，同時提高土壤通透性，促進植物生長。本次參與 ISMOM 研討會進行學術交流及學習國際上最新的研究成果，將有助於加深對土壤碳儲存機制的理解。同時，與國際間的專業人士建立合作關係，探討不同地區土壤管理的最佳實踐，作為未來提供相關策略與技術研發之參考。

二、過程

行程-國際土壤礦物與有機質及微生物相互作用研討會

研討會期程由 2024 年 10 月 14 日至 10 月 19 日，共 6 天，行程安排如下表：

表 1：研習行程表

日期	地點	行程
10/14(週一)	臺南區農業改良場→桃園國際機場/高雄國際機場→日本成田國際機場 →Hotel Grand Shinonome 會議中心。	1. 10 月 14 日由桃園國際機場(陳素漪)、高雄國際機場(潘佳辰、王美琴)搭機前往日本成田機場。 2. 再搭乘成田機場巴士抵達飯店，抵達飯店後，辦理入住後再步行前往研討會會場報到。
10/15(週二)	Hotel Grand Shinonome 會議中心。	整日參加研討會，進行海報宣讀(Session 1：陳素漪及潘佳辰，Session 2：王美琴)。
10/16(週三)	Hotel Grand Shinonome 會議中心。	整日參加研討會。
10/17(週四)	Hotel Grand Shinonome 會議中心。	整日參加研討會。
10/18(週五)	Hotel Grand Shinonome 會議中心。	上午參加研討會，下午移動到東京都。
10/19(週六)	日本成田國際機場-桃園國際機場/臺灣高雄國際機場。	由日本成田國際機場搭機前往桃園國際機場(陳素漪)、高雄國際機場(潘佳辰、王美琴)。

(一)、第 9 屆國際土壤礦物與有機質及微生物相互作用研討會簡介

研討會正式議程由 2024 年 10 月 15 日至 10 月 18 日，共 4 天。

研討會共規劃 6 個研討主題：

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 和跨尺度的生物地球化學循環

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綜合討論

本次研討會共計有 49 場次口頭發表及 135 篇海報論文發表。

(二)、會議摘錄重點

本次會議時間為 2024 年 10 月 14 日至 10 月 18 日共計 5 日，舉辦地點於日本筑波市茨城縣的 Hotel Grand Shinonome 會議中心，到達日本後參與會議過程詳述如下：

(1) 第 1 日(2024 年 10 月 14 日)

研討會首日並無任何議程，主要為與會人員進行報到作業，並於下午五點半舉辦歡迎餐會。因此於本日主要係前往會場完成報到手續。



圖 1、臺南區農業改良場三位潘佳辰副研究員(左 2)、陳素漪技佐(右 2)及王美琴助理研究員(右 1)於會場門口合影。

(2) 第 2 日(2024 年 10 月 15 日)

本日主題為土壤礦物-有機質-微生物之基礎觀點：挑戰與機會，邀請到美國亞利桑那大學的 Jon Chorover 教授以及智利邊境大學 (UFRO) 的 Francisco Matus 作為重點講者以及其它 8 位講者進行研究成果發表，以下節錄相關重點內容：

- A. 美國亞利桑那大學的 Jon Chorover 教授指出土壤結構及土壤環境(包括流體流動路徑和根系分佈)將會顯著影響不同尺度的微生物-礦物質-有機質交互作用。生物地球化學梯度(Biogeochemical gradients)，例如週期性缺氧和可溶性有機物，隨深度變化並影響微生物活動和有機碳的轉化。並透過綜合分析結果強調土壤的風化過程、有機質沖蝕、有機質累積的深淺以及土壤微生物相組成將是土壤中微生物相演變和土壤碳動態的影響因子。另也在演講中以模式模擬結果舉例說明夏季高溫期來臨時，Soil P_{CO_2} 增加， P_{O_2} 降低，同時間土壤中孔隙水(pore water)離子濃度提高，就有可能來自於土壤當中的 priming effect 所導致。
- B. 東京農工大學 Le Van Dang 博士，以碳 13 同位素技術對於水旱輪作之作物殘體有機碳及碳品質進入土壤環境後的移動及轉化進行研究。作物殘體碳品質的研究結果顯示木質素在玉米及大豆不同部位的生成有差異，並且會影響進入到土壤的碳累積量，結果顯示根部較容易累積。而高品質的凋落物 (low carbon ratio) 進到土壤後，使得礦物結合有機碳 (mineral-associated organic carbon, MAOC) 的積累較為顯著，相反的則是對顆粒有機碳 (particulate organic carbon, POC) 的貢獻更大。故在碳 13 標記作物殘體的試驗結果顯示，與大豆殘留物相比，玉米殘留物導致土壤中碳累積量更高，此項結果顯示作物殘體的碳品質 (或是種類) 將會影響後續土壤中碳的留存，當中 MAOC 佔保留碳量約 53-78%。
- C. 九州大學 Syuntaro Hiradate 教授針對土壤中的有效性氮的來源進行研究。土壤中的有效性氮 (N) 主要以銨態氮及硝酸態氮為主，現有的理論為有效性氮是透過有機物的礦化作用而產生，然而是由什麼樣的來源則尚未明朗。試驗的結果除了透過孵育試驗證明有效性氮是由有機質礦化產出外，更透過碳 13 技術、核磁共振光譜進行有效性氮來源的探討，試驗顯示在不同土壤中的有效性氮部分可能來自於糖，進而推論有效性氮與微生物代謝物，如與阿拉伯半乳聚醣(arabinogalactan)複合的肽聚醣有關。值得注意的是研究中用來萃取有效性氮的方法是以熱水萃取與目前場內以 2N 氯化鉀萃取有效性氮的方法略有不同。
- D. 德國馬克斯·普朗克生物地球化學研究所 Marion Schrumpf 博士以土壤礦物與土地利用、微生物群落及有機質之關係進行探討。研究目的為釐清礦物型態與土地利用將會影響土壤中 MAOC 總量。試驗土壤涵括了森林及草原系統共 300 個採樣區。試驗結果發現在同樣的土壤環境下針鐵礦 (goethite) 所能吸附的 MAOC 總量為伊萊石 (illite) 的 4 倍。除此之外，

透過酵素活性的量測，亦發現在針鐵礦表面之與磷、碳需求有關的酵素活性亦較伊萊石高，此一結果顯示出針鐵礦不僅對於碳，亦會對於養分(磷)的蓄存有所影響。而在針葉林中的可溶性碳含量較落葉林高。試驗結果顯示地上部的作物以及土地利用形式會影響到地下部的 MAOM 累積及分解，並且影響土壤微生物相的變化。

- E. 阿姆斯特丹大學的 Chupei Shi 博士針對禾本科及豆科植物之根性狀(例如根直徑及根所含有的氮含量)是否有助於在逆境環境(例如乾旱、淹水)底下仍能增加土壤有機碳及穩定有機碳的儲存進行研究。試驗之植物包括黑麥草、菊苣、車前子和三葉草，並且比較種植單一黑麥草以及混種條件下的差異。試驗結果顯示，在一般的環境下，混種的處理較單一黑麥草有較高的淨碳吸收量；然而在乾旱及淹水的條件則相反，推測單一黑麥草處理在缺水條件下有較高的耐逆境能力及恢復能力。

本場參加同仁亦於今日進行海報論文成果展示：

- A. 潘佳辰副研究員發表海報 1 篇，題目為「茶園土壤管理對土壤有機碳組成的影響」，這項研究聚焦於不同土壤管理實踐對台灣南投長期生態研究站茶園土壤有機碳(SOC)累積及有機碳型態的影響。研究分析了 2021 至 2023 年間三種不同處理方式的土壤：CA 和 CAII 處理包括以花生殼和修剪的樹枝進行覆蓋，SA 處理則實施草本栽培。研究發現，覆蓋(CA 和 CAII)在上層土壤中顯著增加了 SOC，相比之下草本栽培(SA)的增加較少。另外，不同土層的 TOC400 在 CA 和 CAII 處理中較高，表示有更多的可分解有機物質，有利於土壤健康。此外，ROC 也有不同程度的增加，顯示這些做法可有效提升土壤有機碳含量的證據。研究結果顯示覆蓋可能是維持或提高茶園土壤有機碳的有效管理策略。
- B. 陳素漪技佐發表 1 篇研究成果海報，論文名稱為「農業永續發展：台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」，其研究聚焦於台南文旦柚果園的有機(OF)與慣行農法(CF)模式，評估其環境影響與生產力差異，以探索轉向有機耕作的可行性及潛在淨零效益。在 2022 至 2024 兩年間，研究團隊在 8 個試驗地點進行了調查，分析了土壤有機質(SOM)、微生物群落、土壤團粒穩定性、土壤酵素活性及文旦柚產量的季節性變化。結果顯示，OF 和 CF 在 SOM、微生物群落及團粒穩定性方面差異不顯著，但 OF 土壤酵素活性普遍高於 CF，儘管差異不具統計顯著性。2022 年 CF 的產量較高，但 2023 年 OF 和 CF 的生產力趨於一致。本研究表明，有機農法可以在一定條件下實現與慣行農法相當的產量，並在提升土壤生化特性方面展現潛力，支持其作為實現台灣農業永續發展的重要策略。
- C. 王美琴助理研究員發表海報 1 篇，題目為「連作土壤對洋桔梗生長及組

織分析的影響」，本研究針對台灣雲林虎尾地區的連作土壤進行物理及化學性質分析，並栽植‘Croma III White’品種的洋桔梗進行生長與植物組織分析。本研究深入探討了連作土壤對洋桔梗生長的不利影響，並驗證了過度施肥引發的土壤鹽分累積是限制植物健康生長的重要因素。為了改善連作土壤的品質，應推動有機肥和綠肥的廣泛應用，並結合適當的輪作和深耕技術以改良土壤結構，降低鹽分累積風險。此外，政策層面應強化對農民的施肥管理教育，推廣合理化施肥技術和定期土壤檢測，減少化肥過量使用對土壤健康的長期損害。同時，應鼓勵更多關於不同作物與土壤性質互動的研究，以制定更加精準的作物栽培和土壤管理策略，為台灣農業的可持續發展奠定科學基礎。

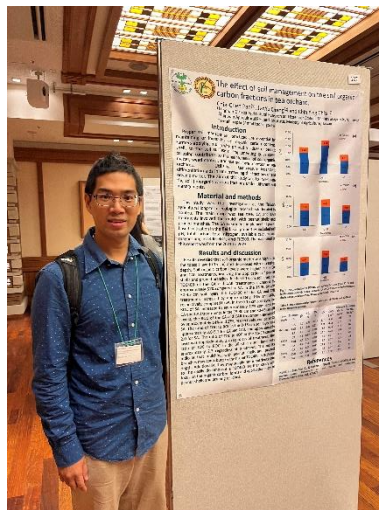


圖 2、潘佳辰副研究員海報成果展示



圖 3、陳素漪技佐海報成果展示

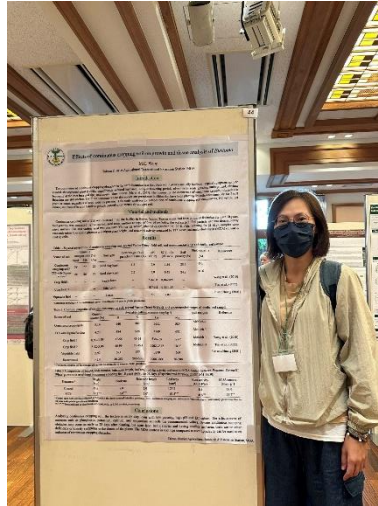


圖 4、王美琴助理研究員海報成果展示

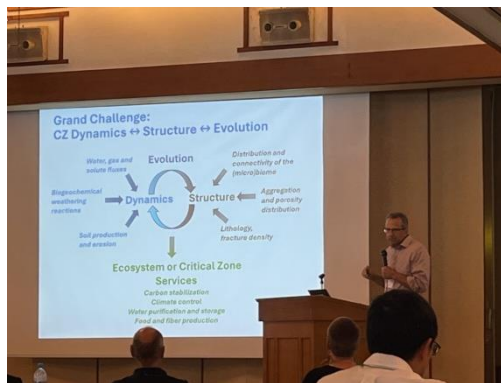


圖 5、Jon Chorover 教授，講題為 Microbe-Mineral-Organic Matter Interactions at Pore to Hillslope Scales。

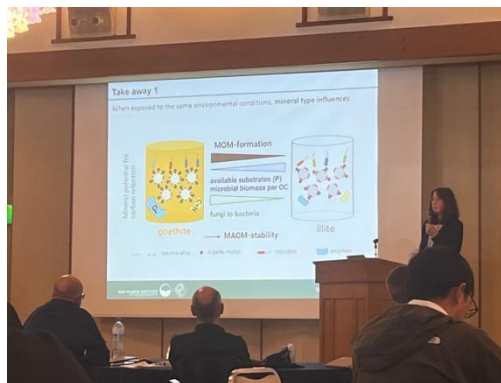


圖 6、Marion Schrupf 博士，講題為 Mineral type and land use shape formation, microbial colonization, and stability of mineral associated organic matter。

(3) 第3日(2024年10月16日)

本日上午場次主題為：土壤結構作為礦物、有機質與微生物界面反應的物理約束，邀請到美國密歇根州立大學的 Alexandra Kravchenko 教授及瑞典農業科學大學的 Anke Hermann 教授作為重點講者進行專題演講及其他 5 位講者進行研究成果發表。下午場次主題為：新概念與新方法：方法學與概念的進展，邀請到奧地利維也納大學的 Christina Kaiser 助理教授及日本海洋研究開發機構(JAMSTEC) Motoo Ito 資深研究員進行專題演講及其他 6 位講者進行研究成果發表。以下就本日 4 個專題演講及本場相關研究相關聯的成果發表節錄重點內容：

- A. 美國密歇根州立大學的 Alexandra Kravchenko 教授演講題目為「土壤結構限制下的微生物地理學——我們達到目標了嗎？」其研究利用 X 射線斷層掃描技術，結合微生物群落的組成與功能分析，揭示了土壤結構如何影響微生物活動及土壤有機質 (SOM) 的穩定化。研究提出基於碳資源、水分與氧氣供應的微生物棲息地分類方法，深化了對 SOM 動態及其與土壤結構互動的理解。對於台灣而言，這一研究為土壤管理提供了重要啟示。面對水土流失與 SOM 減少的挑戰，應強化微生物棲息地與土壤結構的研究，並採用高解析度技術深入分析土壤微觀特徵。同時，推廣生物炭與有機肥的施用，可提升土壤碳穩定性與微生物活性，為台灣農業實現永續發展目標奠定基礎。
- B. 瑞典農業科學大學的 Anke Hermann 教授演講題目為「土壤中的空間異質性——評估微生物代謝」。其研究探討了土壤中的空間異質性如何影響微生物代謝，並提出基於土壤結構指標的代謝預測模型，強調在未擾動土壤樣本中測量微生物活動的重要性。研究發現，土壤異質性在微生物代謝與碳動態中扮演關鍵角色，傳統實驗方法難以真實反映自然條件下的微生物功能。對台灣而言，該研究為應對多樣化地形與耕作方式提供了啟發。政策層面應推動高精度測量技術(如微型 CT 掃描)的應用，以揭示異質性對微生物功能及土壤碳穩定性的影響。結合台灣不同區域特性，優化耕作模式與有機質管理，提升碳儲存潛力，促進永續農業發展。
- C. 奧地利維也納大學的 Christina Kaiser 副教授演講題目為「土壤微生物群群細尺度空間結構的層級分布」。其研究分析了超過 200 個森林土壤團粒中的微生物群落與物理化學特性，並發現即使是相鄰的團粒，其微生物群落組成也高度異質，顯示出顯著的 β 多樣性。此外，團粒內的微生物活動表現出較高的碳回收程度，表明這些團粒富含微生物處理過的碳。研究顯示，團粒為微生物群落及其環境的共同發展提供了穩定的空間環境。本研究強調了土壤團粒在碳循環和穩定性中的關鍵作用，並揭示了微生物多樣性與有機質品質的緊密聯繫。對台灣的土壤管理而言，這一研究具有重要參考價值。台灣土壤面臨酸化與有機碳流失的挑戰，

應加強土壤團粒動態對土壤微生物群落影響的研究。此外，推廣基於土壤團粒穩定性的管理措施，如施用生物炭與有機肥，有助於提升土壤碳儲存與穩定性。

- D. 日本海洋研究開發機構(JAMSTEC) Motoo Ito 資深研究員演講題目為「前往小行星龍宮的奇幻之旅：一個黏土與有機物的世界」。其研究了從龍宮表面收集的樣品，發現其物質成分主要由水合礦物和多樣有機化合物組成，這些化合物對理解早期太陽系物質演化具有關鍵意義。樣品中存在多環芳香烴及其他複雜的有機化合物，顯示出其起源可能涉及星際介質的化學過程。此外，其研究結果也提供了關於小行星表面動態及其暴露於太陽風的重要數據，為未來行星科學和天體化學研究奠定了基礎，也為地球外物質和生命起源研究提供了全新視角，特別是有機化合物的發現進一步支持了宇宙有機物傳遞至地球的可能性。
- E. 來自德國亥姆霍茲環境研究中心的 Sara König 發表「結構真的重要嗎？探索微生物-結構交互作用對碳動態的影響」，其研究探討了土壤結構如何影響微生物與碳動態的交互作用，特別是這些影響在田間尺度的表現。研究利用 BODIUM 模型模擬了不同的土壤孔隙結構及其對微生物分佈、碳循環的影響，並針對耕作和生物擾動場景進行了分析。結果顯示，土壤結構通過影響微生物生長環境而間接影響土壤功能，但並未直接限制微生物活動。此外，模型指出，高壓實或極端條件下可能會放大這些影響，需進一步研究。
- F. 來自西班牙卡塔赫納理工大學的 Raul Zornoza 發表「自生覆蓋作物對地中海果園土壤團粒的影響」，本研究探討了自生覆蓋作物對地中海果園土壤團聚體的影響，並分析其在不同管理模式下的表現。研究發現在未干預的果園中，自生覆蓋作物顯著改善了土壤團粒的穩定性，特別是大團粒的形成。此外，自生覆蓋作物通過增加土壤有機質含量、促進微生物活性和改善土壤結構，增強了土壤的抗侵蝕能力與水分保持性能。與傳統裸地管理相比，自生覆蓋作物不僅具有較低的成本，還能顯著提高土壤健康與可持續性。本研究總結強調，自生覆蓋作物作為一種自然且低成本的土壤管理策略，對地中海型氣候條件下的土壤健康具有顯著的改善作用。
- G. 來自德國馬克斯普朗克生物地球化學研究所的 De Shorn Bramble 發表「土壤中礦物結合型有機質的穩定性取決於礦物類型與土地利用方式」，本研究探討了不同礦物類型和土地利用方式對礦物相關有機質 (MAOM) 穩定性的影響，特別是在耕地、草地和森林土壤中的表現。研究發現，富含氧化鐵和鋁的礦物表現出更高的有機質穩定性，而富含石英和碳酸鹽的土壤則容易因耕作而導致有機質流失。此外，土地利用方式顯著影響 MAOM 的穩定性，其中草地和森林土壤的 MAOM 穩定性遠高於耕地。研究還揭示，土地利用的改變可能破壞礦物與有機質之間的結合，導致碳

的流失與分解加速。

- H. 來自英國鑽石光源研究中心的 Luis Carlos Coloco Hurtarte 發表「土壤加熱與雨水排除促進乾旱土壤中穩定的礦物-有機質結合」,本研究探討了土壤加熱和雨水排除對乾旱地區土壤中礦物-有機質結合穩定性的影響。通過模擬實驗,研究在土壤升溫與降雨排除條件下,礦物與有機質的相互作用以及碳穩定性的變化。結果顯示,升溫有助於增加有機質與礦物表面的化學鍵結,特別是在富含氧化鐵和鋁的土壤中,這些結合減少了有機碳的分解速率。此外,雨水排除減少了土壤水分,進一步限制了微生物的活動,間接提升了碳的穩定性。研究結果表明,適當的土壤管理可以利用這些機制在乾旱地區提高碳封存潛力。

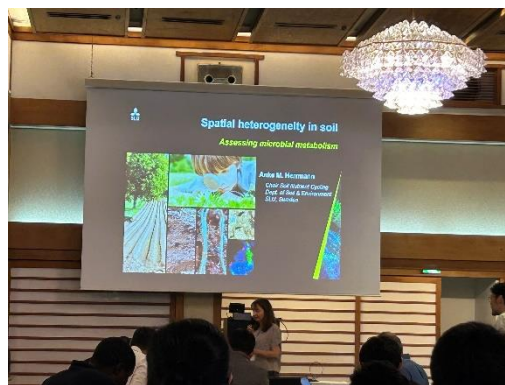


圖 7、瑞典農業科學大學的 Anke Hermann 教授演講簡報



圖 8、奧地利維也納大學的 Christina Kaiser 副教授演講簡報



圖 9、日本海洋研究開發機構(JAMSTEC) Motoo Ito 資深研究員演講簡報



圖 10、德國亥姆霍茲環境研究中心的 Sara König 演講簡報



圖 11、西班牙卡塔赫納理工大學的 Raul Zornoza 演講簡報

(4) 第 4 日(2024 年 10 月 17 日)

本日上午場次主題為：ISMOM 與跨尺度的生物地球化學循環，邀請到瑞士蘇黎世聯邦理工學院的 Sebastian Doetterl 助理教授及中國華中農業大學的 Qiaoyun Huan 教授作為重點講者進行專題演講及其他 6 位講者進行研究成果發表。下午場次主題為：以 ISMOM 作為土壤碳管理的基礎，邀請到西班牙國家研究委員會脂質研究所的 Heike Knicker 教授及加拿大農業與農業食品部的 Denis Angers 榮譽研究科學家進行專題演講及其他 3 位講者進行研究成果發表。以下就本日 4 個專題演講及本場相關研究相關聯的成果發表節錄重點內容：

- A. 瑞士蘇黎世聯邦理工學院的 Sebastian Doetterl 助理教授發表「自然、時間與人類：為何需要景觀視角以正確理解大尺度土壤有機質循環」，Doetterl 助理教授說明土壤有機質（SOM）的動態在全球碳循環中扮演關鍵角色。然而，缺乏對景觀尺度下生物地球化學過程的理解，限制了 SOM 動態的預測能力和管理選項的制定。其研究提出從景觀視角分析土壤有機質的必要性，特別是考慮土壤形成理論，能夠提供有關 SOM 封存、轉化和穩定性的深入見解。作者舉例展示了過去、現在和未來土壤改變的主要案例，強調忽視長期土壤基質變化的危險，並呼籲避免從局部到全球、或相反方向的過度簡化推廣。研究結果顯示，在快速環境變遷下，景觀尺度的 SOM 動態分析，尤其是對極地和熱帶地區的土壤屬性分析，具有特別的價值。
- B. 中國華中農業大學的 Qiaoyun Huan 教授發表「土壤成分交互作用對有機碳行為的影響」，本研究探討了土壤成分交互作用如何影響有機碳的行為，特別是在礦物、有機質和微生物的界面反應中。研究利用高分辨率光譜和顯微技術分析了不同土壤組分的結合模式，發現礦物類型（如鐵氧化物和鋁氧化物）對有機碳的穩定性具有顯著影響。富含鐵和鋁的土壤能形成穩定的有機碳-礦物複合體，而沙質土壤中有機碳更易流失。研究還指出，微生物活動和分泌的胞外聚合物（EPS）在碳的固定過程中起到關鍵作用，特別是在含碳量較高的土壤中，EPS 能促進碳與礦物的結合，減少碳的分解速率。
- C. 西班牙國家研究委員會脂質研究所的 Heike Knicker 教授發表「火災如何影響土壤有機碳與氮的性質與穩定性：生物炭管理的啟示」，本研究檢視了地中海火災生態系統中 PyOM 的演變，發現火災後初期，PyOM 快速流失，主要原因包括侵蝕、生物化學分解以及新鮮凋落物的覆蓋作用。分析顯示，PyOM 中芳香結構的帶電官能團增加了其可降解性，但在深層土壤中，氧氣匱乏的條件可能提高其生化惰性。此外，火災形成的 PyOM 與控制性熱解形成的生物炭化學和物理性質差異顯著，導致其在土壤中的表現不同。因此，生物炭的應用需要根據其具體性質和用途量身定制，無法一概而論。

- D. 加拿大農業與農業食品部的 Denis Angers 榮譽研究科學家發表「管理措施與土壤有機碳：經驗教訓、爭議與知識缺口」，本研究回顧了土壤管理實踐對土壤有機碳 (SOC) 動態的影響，聚焦於不同農業系統中 SOC 的積累與損失。作者分析了減少耕作、覆蓋作物及有機肥應用對 SOC 的增益，並指出，儘管這些實踐在提升 SOC 儲存能力方面具有潛力，但其效果在不同的氣候、土壤類型與作物系統中表現出顯著差異。研究還討論了現存爭議，包括 SOC 在淺層與深層的分佈問題，以及在衡量 SOC 穩定性時如何正確解讀短期與長期的變化。強調，目前仍存在對 SOC 動態的關鍵知識缺口，特別是關於土地利用變化和極端氣候條件下的影響。
- E. 來自法國 IRD, CNRS, 索邦大學的 Chao Song 發表「蚯蚓通過與礦物的相互作用促進植物源有機質的穩定化：物種與土壤類型的影響」，本研究探討了不同蚯蚓物種如何影響土壤中植物衍生有機質的穩定化，特別是在礦物交互作用下的表現。研究採用碳 13 標記技術和生物標誌物分析，評估三種溫帶蚯蚓 (*Lumbricus castaneus*, *Lumbricus terrestris*, *Allolobophora icterica*) 在兩種土壤類型 (Alluviosol 和 Cambisol) 中的作用。結果顯示，蚯蚓顯著促進了礦物相關有機質 (MAOM) 的形成，其中植物衍生碳在 MAOM 中的貢獻介於 18% 至 68% 之間。不同蚯蚓物種和土壤類型在糖類和木質素含量的富集程度上表現出顯著差異，表明蚯蚓活動在碳穩定化過程中的重要作用。本研究展示了蚯蚓在土壤有機質穩定化中的關鍵作用，尤其是其在促進碳與礦物結合方面的貢獻。
- F. 來自瑞士洛桑聯邦理工學院的 Orly Mendoza 發表「解析土壤通氣對不同耕作強度土壤有機碳礦化的影響」，本研究探討了土壤通氣條件如何影響不同耕作強度下的土壤有機碳 (SOC) 礦化過程。研究採用實驗室控制環境，模擬三種耕作強度 (免耕作、減少耕作和傳統耕作) 的土壤氣體交換條件，並分析 SOC 的礦化速率與微生物活性的變化。結果顯示，良好的通氣條件顯著提高了 SOC 的礦化速率，特別是在傳統耕作的土壤中。此外，減少耕作與免耕作系統中的 SOC 礦化速率相對較低，顯示這些耕作模式有助於碳的穩定化。研究還發現，微生物群落的組成和活性在不同耕作系統間存在顯著差異，通氣條件對 SOC 的影響依賴於微生物代謝的適應能力。揭示了土壤通氣與 SOC 礦化之間的關鍵聯繫，並強調耕作模式對土壤碳穩定性的深遠影響。
- G. 來自中國科學院植物研究所的 Xiaojuan Feng 發表「濕地中金屬-有機碳相互作用對碳保存的啟示」，濕地 (包括泥炭地) 是全球碳儲存的熱點，其碳穩定性通常歸因於微生物分解受抑制。然而，金屬-有機相互作用作為促進土壤有機碳 (SOC) 穩定的重要機制，卻未被充分研究。本研究通過大型調查與控制實驗，發現富含活性金屬的濕地 (如鐵和鋁氧化物) 對 SOC 穩定性有重要貢獻，金屬相關碳可佔 SOC 總量的 40%。

特別是泥炭濕地中的鐵氧化物顯著提高了 SOC 的穩定性，形成了被稱為“鐵閘機制”的新穩定路徑。此外，排水可能促進微生物分解，但通過鐵氧化作用生成的新鐵氧化物可進一步穩定 SOC。

- H. 來自德國慕尼黑工業大學的 Noelia Garcia Franco 發表「氣候變遷導致高山草地土壤中包覆顆粒有機碳的快速流失」，本研究分析了氣候變暖對德國北部石灰岩高山草地土壤中有機碳 (OC) 質量與密度的影響。模擬升溫實驗 (+1 °C 至+3 °C) 結果顯示，OC 及氮儲量在升溫 4 年內減少 24-25%，尤其是在採用低強度管理的草地中，OC 的流失主要集中於 <20 μ m 的包覆顆粒有機物 (oPOM)。此外，微生物群落豐度及多樣性在升溫後顯著下降，碳穩定性的減少與 oPOM 的分解密切相關。揭示了氣候變暖對高山草地土壤結構和碳穩定性的深遠影響，提供了早期預警指標 (如 oPOM 和 MAOM)，用於監測土壤碳損失。



圖 12、瑞士蘇黎世聯邦理工學院的 Sebastian Doetterl 助理教授演講簡報



圖 13、中國華中農業大學的 Qiayun Huan 教授演講簡報

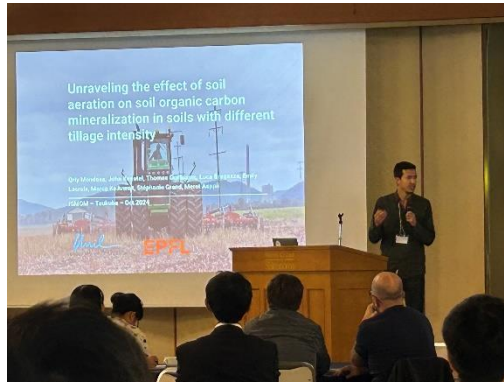


圖 14、瑞士洛桑聯邦理工學院的 Orly Mendoza 演講簡報



圖 15、中國科學院植物研究所的 Xiaojuan Feng 演講簡報



圖 16、西班牙國家研究委員會脂質研究所的 Heike Knicker 教授演講簡報



圖 17、加拿大農業與農業食品部的 Denis Angers 榮譽研究科學家演講簡報

(5) 第 5 日(2024 年 10 月 18 日)

本日主題為：有機-礦物-微生物相互作用在土壤管理與政策制定中的角色：對氣候變遷與碳信用市場的啟示，共邀請到 3 位重點講者，分別為法國國家農業研究所的 Claire Chenu 教授、美國加州大學默塞德分校的 Asmeret Asefaw Berhe 教授及菲律賓國際稻米研究所的 Alisher Mirzabaev 資深科學家，以下就本日 3 個專題演講節錄重點內容：

- A. 法國國家農業研究所的 Claire Chenu 教授發表「從有機-礦物交互作用到土壤與碳政策的應用」，其研究深入分析了有機質與礦物之間的相互作用如何影響土壤碳穩定性，並探討了其在碳政策和土壤管理中的應用價值。同時結合分子層面分析和田間實驗，揭示了礦物相關有機質(MAOM)在碳封存中的核心地位，特別是在富含氧化鐵和鋁的土壤中，這些結合大幅提升了有機質的穩定性。並指出，這些科學認知可以直接應用於政策制定，例如支持保護性耕作、減少土壤侵蝕以及推廣富含鐵鋁氧化物土壤的碳封存技術。最後進一步回顧了歐洲的土壤和碳政策框架，強調如何將最新的科學研究成果轉化為切實可行的政策，並提出建立跨國土壤健康與碳封存合作平台的建議。
- B. 美國加州大學默塞德分校的 Asmeret Asefaw Berhe 教授發表「土壤與氣候變遷：政策演變與交叉點」，本研究系統性回顧了土壤在氣候變遷政策框架中的角色，並探索未來政策演變的可能性。土壤在碳循環中扮演關鍵角色，是減緩氣候變遷的重要資源，但其在國際政策中尚未獲得足夠重視。研究重點分析了土壤碳封存與健康的聯繫，並指出，現有政策多聚焦於森林碳儲存，而忽略了農業土壤的碳管理潛力。此外，也回顧了《巴黎協定》和各國減排計劃中的土壤管理相關條款，強調需要制定更具體的實施計劃，例如支持再生農業、推廣保護性耕作技術、建立土壤碳監測機制等。研究還討論了如何通過政策創新，縮小科學研究與實際應用之間的差距，確保土壤管理措施在全球範圍內具有可操作性。
- C. 菲律賓國際稻米研究所的 Alisher Mirzabaev 資深科學家發表「從土地經濟學到土壤經濟學：對公共政策與私人市場的啟示」，本研究提出從土地經濟學向土壤經濟學轉變的新框架，重新定義土壤資源的經濟價值。傳統土地經濟學主要考量地表用途，而忽視了土壤在生態系統服務中的多功能性，例如碳封存、養分循環、水質改善和生物多樣性支持。研究基於全球性數據集，量化了土壤退化的經濟損失和健康土壤的潛在價值，並指出土壤退化每年對全球農業產值的影響高達數千億美元。並強調，改進土壤管理技術（如減少耕作、覆蓋作物和有機肥應用）不僅可以提高土壤生產力，還能增加碳封存潛力，為減緩氣候變遷和提升經濟效益提供雙重好處。通過案例分析，探討了激勵機制（如補貼和碳市場）在推動土壤保護中的作用，並呼籲政策制定者優先考慮土壤健康的經濟價值。



圖 18、法國國家農業研究所的 Claire Chenu 教授演講簡報



圖 19、美國加州大學默塞德分校的 Asmeret Asefaw Berhe 教授演講簡報

三、心得及建議

1. 陳素漪技佐：參加 ISMOM 2024 研討會是一次深具啟發性且極具價值的經驗，為我在土壤健康、合理化施肥及碳匯領域的研究工作提供了豐富的視野和新方向。研討會深入探討了土壤與有機碳動態的交互作用，並涵蓋許多議題包氣候變遷背景下的土壤管理的挑戰，為全球氣候變遷應對和農業可持續發展奠定了科學基礎。本次研討會中多場次的研究成果表明，健康的土壤是穩定碳匯和支持可持續農業生產的核心，其微生物群落與有機質穩定性密切相關。然而，過度耕作和不合理施肥是導致土壤退化和碳損失的主要因素。另外，生物炭在改良土壤結構和提升碳封存能力方面的潛力，對於台灣的酸性土壤與坡地農田具有直接意義。另一方面，氮肥管理議題中，多項研究指出，過量使用氮肥會加速有機碳的分解，表明合理化施肥是提升碳穩定性的重要策略。這些成果為我目前聚焦的土壤健康與施肥管理研究提供了清晰的方向，尤其是如何在施肥策略中平衡氮素管理與碳穩定性的挑戰，並探索微生物技術在提升碳封存中的應用。參加國際研討會的另一大收穫是與來自不同國家的科學家直接交流的機會。無論是歐洲對土壤健康政策的整體性思考，還是

亞洲與非洲在資源有限情況下的創新實踐，這些多樣化的視角不僅擴展了我的研究思路，也幫助我更加理解不同地區土壤管理中的共同性與差異性。這次參會的經驗為我未來的研究工作帶來寶貴經驗。首先，我更加深刻地認識到，土壤管理與碳封存不僅是學術課題，更是解決氣候變遷與糧食安全的全球性挑戰。

2. 潘佳辰副研究員：本次研討會中主題相當明確的針對土壤有機碳的相關研究。這次看到各國利用與傳統土壤分析方法不同的方式對土壤進行剖析，其中包括核磁共振造影將土壤樣品中的孔隙造影，再進行分析；以及利用同步輻射技術分析分子間的組成及排列，進而預估土壤有機碳存蓄的機制。除了釐清土壤有機碳與礦物之間的關聯性外，也嘗試加入微生物領域的分析，試圖連接土壤有機碳、礦物與微生物。對於後續執行土壤碳匯相關計畫上，預期將與國內大學合作嘗試釐清雲嘉南地區果園土壤有機碳的碳儲潛力及可能的影響因子，此外亦著手規劃投入土壤中的有機物碳品質對於後續土壤碳儲及微生物相的影響。最令個人印象深刻的是，針對土壤有效性氮的來源進行研究的部分，以往僅知道土壤中的有效性養分來自於有機物的礦化作用，卻未對於從何而來進行探究，藉由這次的經驗將持續的精進研究量能。
3. 王美琴助理研究員：本次出國參加研討會確實是大開眼界，終於跟土壤的大千世界沾上一點邊，因為本身相關研究與土壤有機酸殘留，及植物體分泌有機酸與土壤交互作用相關，這是在本次研討會中相對比較缺乏資訊的，但從研討會中幾場 oral 報告裡面的研究主題可以與自身研究相連結提高關聯的，包含土壤中有效性鐵、磷、鈣等元素的構型變化與土壤 pH 值及電導度相關，過去從園藝學角度出發多探討如何增加植體吸收效率，藉由幾場報告聽下來也了解到利用 pH 值調控金屬元素在土壤中的結構或是與其他化合物的鍵結親合程度，也連帶影響植物根部吸收養分的方式與效率。
4. 目前土壤碳匯相關計畫先著重在釐清及評估有效增加土壤碳儲量的方法，後續建議可以針對土壤礦物及微生物相的變化進行分析；並且透過了解投入物質的有機碳品質進行測定，預期除了能提供有效增加土壤碳儲量的管理方法外，亦能精進及釐清增加土壤碳儲量的機制。
5. 台灣作為降雨頻繁且土壤多樣化的地區，應加強國際學術合作，特別是在土壤健康監測與碳封存技術方面，引入國際標準和成功經驗。同時，政策層面應支持基於科學的土壤健康法規，推廣減少耕作技術、生物炭應用和精準施肥策略，建立土壤健康與碳封存的長期監測網絡，結合國際數據共享平台，推進農業與環境保護的雙贏。

四、參考文獻

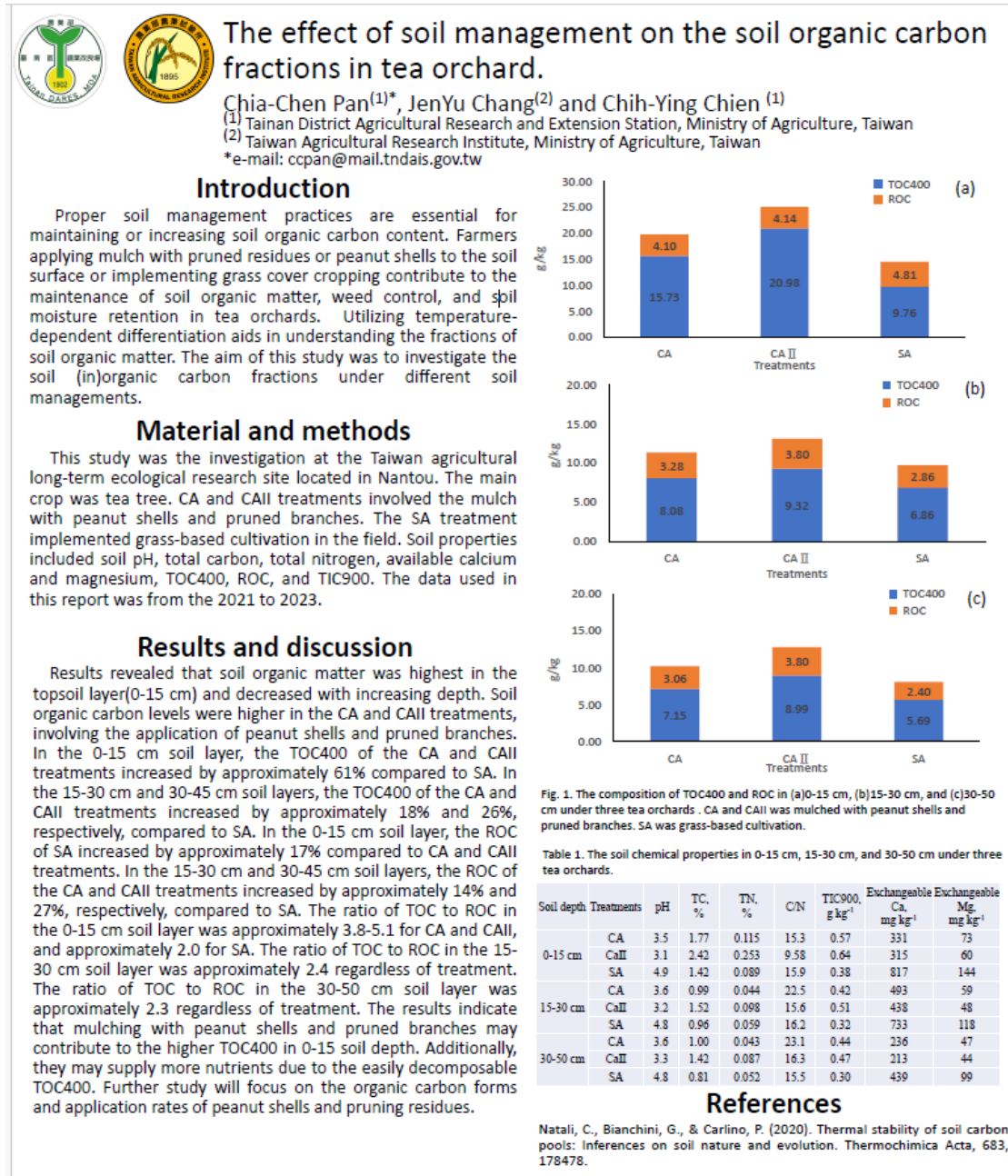
1. Bramble, D. S. E., Ulrich, S., Schöning, I., Mikutta, R., Brandt, L., Poll, C., ... & Schrumpf, M. (2024). Formation of mineral-associated organic matter in temperate soils is primarily controlled by mineral type and modified by land use and management intensity. *Global Change Biology*, 30(1), e17024.
2. ISMOM2024 (9th International Symposium on Interactions of Soil Minerals with Organic Components and Microorganisms) website: <https://ismom2024.org/>
3. Abstract book of 9th International Symposium on Interactions of Soil Minerals with Organic Components and Microorganisms.

五、致謝

1. 感謝行政院國家科學技術發展基金管理會及農業部 113 年度「人才培育與研發成果推廣計畫」支應下執行。
2. 感謝臺南區農業改良場前場長羅正宗、場長陳昱初、秘書黃惠琳及作物環境科科長鍾瑞永的支持方能成行。同時感謝出國期間，場內業務及試驗研究由作物環境科土壤肥料研究室林經偉助理研究員、江汶錦助理研究員及毛王杰助理研究員協助代理執行。

六、附錄

1.潘佳辰副研究員海報內容





2. 陳素漪技佐發表海報內容

Sustainability in agricultural practices: a comparative analysis of soil quality and yield in organic versus conventional pomelo orchards in Tainan, Taiwan

Su-Yi Chen¹, Jen-Yu Chang², Chia-Chen Pan¹

1. Tainan District Agricultural Research and Extension Station, Ministry of Agriculture, Tainan, Taiwan
2. Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture, Taichung, Taiwan

Introduction

Background
To achieve the 2050 global net-zero emission goals, Taiwan's Ministry of Agriculture declared a goal to reach net-zero emissions by 2040 and formulated a roadmap for achieving net-zero emissions in the agriculture sector. Organic farming (OF) is a key strategy in this plan, with a target set to expand the area under organic farming practices to 40,000 hectares by 2040. However, there is ongoing debate about whether these sustainable farming methods can produce yields comparable to those of conventional farming (CF).

'Madou Wentan' pomelo orchards with organic and conventional farming
'Madou Wentan' pomelo (*Citrus grandis* cv. Matou Wentan) stands as a significant economic crop in the Tainan region of Taiwan, where consuming this fruit during the Mid-Autumn Festival is a cultural tradition. In 2022, the cultivation area for Madou pomelo was approximately 1,100 hectares. The majority of these pomelo orchards are managed using conventional methods, including the application of chemical pesticides and fertilizers. Conversely, only a small fraction of these orchards employ organic farming practices.

Research objective
This study aims to evaluate the environmental impacts and productivity outcomes of organic versus conventional pomelo cultivation methods. By analyzing yield data, soil fertility, soil health indicators, the research seeks to provide insights into the feasibility and potential net-zero benefits of transitioning to organic farming practices in the 'Madou Wentan' pomelo sector.

Material and Method

On farm trials
Eight trials in Tainan's Madou region were selected, distributed between the north and south region. Each region had two organic and two conventional trial sites, with orchards established between 1968 and 2013.

Soil sample collection and analysis
During key growth phases—flowering, young fruit, mid-fruit, and harvest—soil samples were taken from the top 15 cm at each site to assess texture, pH, EC, soil organic matter (SOM), aggregate stability, microbial populations, and enzyme activity using the Fluorescein Diacetate Hydrolysis method.

Productivity evaluation
Five representative pomelo trees per orchard were chosen to measure fresh fruit weight and extrapolate yield per hectare, considering the total trees amount and orchard area.

Statistical analysis
T-tests was employed to evaluate the impact of organic versus conventional farming practices on soil properties throughout the growing season and productivity. Differences were considered statistically significant at a p-value less than 0.05.

Results

Soil organic matter
Over the 2022-2024 period, SOM fluctuated seasonally for both farming methods, hitting the lowest levels in summer. Statistical tests revealed no significant differences SOM between the two farming methods across different seasons ($p > 0.05$).

Soil aggregate stability
Between 2023 and 2024, soil aggregate stability was observed to be slightly higher in OF soils compared to CF soils. However, statistical analysis indicated that these differences were not significant ($p > 0.05$).

Soil microbial population
The counts of nitrogen-fixing bacteria, actinomycetes, potassium-solubilizing bacteria, and phosphorus-solubilizing bacteria varied with the seasons but showed no significant differences between OF and CF ($p > 0.05$).

Soil enzyme activity
From 2022 to 2024, soils from OF showed consistently higher microbial enzyme activity than CF. However, these differences were not statistically significant ($p > 0.05$).

Productivity evaluation
In 2022, pomelo yields were higher under CF compared to OF. By 2023, yields from both methods achieve comparable yield levels. Statistical analysis showed no significant differences in pomelo yields between OF and CF over the two-year period ($p > 0.05$).

Conclusion

- Throughout the study period from 2022 to 2024, OF and CF exhibited similar impacts on soil health indicators like SOM, microbial populations, and soil aggregate stability. However, OF consistently showed elevated soil microbial enzyme activity relative to CF, implying its potential in enhancing soil biochemical dynamics.
- Yield data indicate that Madou pomelo orchards employ the OF can be as productive as CF, aligning with sustainability goals without compromising yield.

Tab. 1. Initial baseline soil characteristics of the eight trial sites in early 2022

Site	Location	Farming Practice	Soil texture			pH (± 1)	EC (± 5, dS/m)	SOM (%)	
			Type	Clay (%)	Silt (%)				Sand (%)
1	South Matou	Organic	Silty Loam	17.28	61.92	20.80	7.53	0.08	1.31
2	South Matou	Organic	Silty Loam	17.32	57.55	25.13	7.51	0.11	1.68
3	South Matou	Conventional	Silty Loam	18.35	67.17	14.28	6.51	0.10	1.20
4	South Matou	Conventional	Silty Loam	10.62	63.79	25.39	7.98	0.07	0.37
5	North Matou	Organic	Silty Loam	27.08	58.60	14.32	7.75	0.26	1.83
6	North Matou	Organic	Silty Loam	18.97	62.25	18.76	7.32	0.17	3.52
7	North Matou	Conventional	Silty Clay Loam	36.95	51.78	11.27	8.03	0.16	2.01
8	North Matou	Conventional	Silty Loam	16.23	66.47	17.28	7.34	0.14	2.29

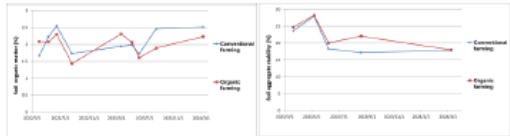


Fig. 1. Seasonal variations in soil organic matter from 2022 to 2024 and soil aggregate stability from 2023 to 2024 in conventional and organic farming practices.

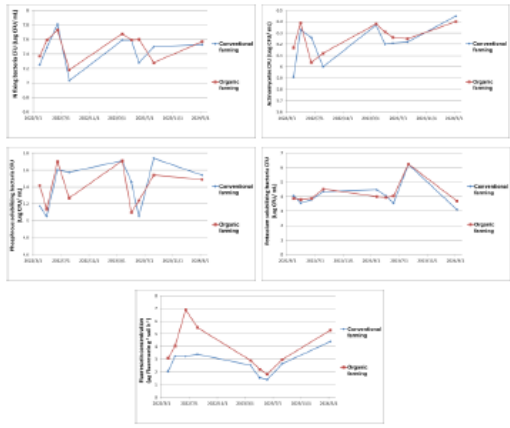


Fig. 2. Comparison of microbial populations and microbial enzyme activity in conventional and organic pomelo orchards from 2022 to 2024.

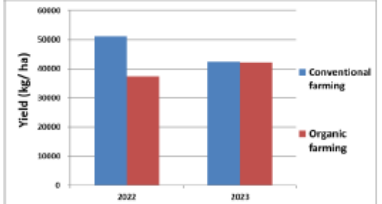


Fig. 3. Pomelo yield comparison between conventional farming and organic farming for 2022 and 2023.

References

- Zomoza, R., Acosta, J., Bastida, F., Domínguez, S., Toledo, D., and Faz, A., 2015: Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. *Soil*, 1, 173-185.
- Seufert, V., Ramankutty, N., Foley, J., 2012: Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, 485, 229-234.

Acknowledgement

This research was funded in whole by Ministry of Agriculture, Taiwan.

3. 王美琴助理研究員發表海報內容



Effects of continuous cropping soil on growth and tissue analysis of *Eustoma*

M.C. Wang

Tainan District Agricultural Research and Extension Station, MOA

Introduction

The occurrence of continuous cropping obstacles in Taiwan's lisianthus was first observed in grown annually facilities. Typical symptoms include stunted aboveground plant growth, significantly reduced leaf area, delayed flowering period, adventitious roots growing underground, obvious browning at the root base and tips, and overall slow growth (Ma et al., 2023). The reasons for the occurrence of continuous cropping obstacles in lisianthus are still unclear. The main locations where this occurs are greenhouse facilities that have been planting lisianthus continuously for 7 to 8 years or more, regardless of crop rotation patterns. This study analyzes the composition of continuous cropping soil components, EC values, pH values, and their effects on lisianthus growth planted in consecutively cropped soil.

Material and methods

Continuous cropping soil (CCS) was collected from the facility in Huwei, Yunlin, Taiwan where had been produced lisianthus for over 10 years. Soil porosity was measured by boiling saturated water method at depth of 0 to 15 cm below the soil surface. Soil particle size was determined by sieve analysis. The test variety used was *Eustoma* 'Croma III White', planted on October 1st, 2018. After planting for 28 days, samples were randomly taken from some plants to investigate plant height, leaf area, root activity measured by TTC assay, and malondialdehyde (MDA) content in root tip cells.

Results

Table 1. Physical properties of continuous cropping soil, several Yunlin-Chiayi field soil, and recommended ranges of similar soil sample.

Source of soil	Granule composition (%)			Soil type	Percentage of soil particles > 2 mm (%)	pH (1:2)	EC (1:5) (dS·m ⁻¹)	Soil porosity (%)	Field capacity (%)	References
	Sand	Silt	Clay							
Continuous cropping soil ^a	58	22	20	Sand clay loam	1.3	7.9	1.54	28.6	17.7	
CCS with Organic Fertilizer	46	26	28	Sand clay loam	2.2	7.9	0.48	24.8	16.6	
Crop field 1	--	--	--	Sandy loam	--	5.4-6.0	0.04-0.05	--	--	Wang et al., (2010)
Crop field 2	--	--	--	Silty loam	--	4.7-6.8	0.33-1.29	--	--	Tsai et al., (2022)
Vegetable field	--	--	--	Loam	--	5.9	3.09	--	--	Lin and Huang (2001)

^a Continuous cropping soil has continuously grown lisianthus for 10 years in plastic greenhouse.

Table 2. Chemical properties of continuous cropping soil, several Yunlin-Chiayi field soil, and recommended ranges of similar soil sample.

Source of soil	Organic matter (%)	Available nutrient elements (mg kg ⁻¹)				Soil analysis	Reference
		P	K	Ca	Mg		
Continuous cropping soil ^a	5.14	640	982	5632	1034	Mehlich-3	
CCS with Organic Fertilizer	4.23	884	524	4749	682	Mehlich-3	
Crop field 1	0.93-1.03	37-56	43-61	539-769	72-95	Mehlich-1	Wang et al., (2010)
Crop field 2	2.22-3.06	40-99	179-494	1002-2512	10-53	Mehlich-3	Tsai et al., (2022)
Vegetable field	2.92	593	127	3279	609	--	Lin and Huang (2001)
Recommend	> 2.0	50-250	200-500	1000-3000	50-200		

^a Continuous cropping soil has continuously grown lisianthus for 10 years in plastic greenhouse.

Table 3. Comparisons of height, node number, internode length, leaf area, root tip activity and root tip MDA content between *Eustoma* 'Croma III White' grown with or without continuous cropping for 10 years grown for 28 days. (Experimental duration: 2018/10/01-11/30)

Treatment ^a	Height (cm)	Node no.	Internode length (cm)	Leaf area (cm ²)	Root activity (O.D./FW)	MDA content (nmol·g ⁻¹)
Control	15.7	7.0	2.9	125.2	8.1	28.0
CCS	12.1***	6.0***	2.0*	63.5***	10.6 ^{NS}	39.7**

^a Control open field soil was collected at TNDARES that never planted lisianthus previously. CCS, continuous cropping soil collected at Yunlin that have continuously grown lisianthus for 10 years under plastic greenhouse conditions.

^{NS}, *, **, *** Nonsignificant or significant at $P < 0.05$, 0.01, or 0.001 by *t*-test, respectively.

Conclusions

Analyzing continuous cropping soil, the texture is sandy clay loam with low porosity, high pH and EC values. The effectiveness of nutrients such as phosphorus, potassium, calcium, and magnesium exceeds the recommended values. Severe continuous cropping obstacles may occur as early as 28 days after planting, but apart from being shorter and having smaller leaf area, there are no clear deficiency or toxicity symptoms in the shoots of the plants. The MDA content in root tips compared to root tip activity can be used as an indicator of continuous cropping obstacles.

Tainan District Agricultural Research & Extension Station, MOA

4. 本次研討會手冊封面：

