

112年度農業生態系 長期生態研究研討會專刊

Symposium on Agricultural Long-Term Ecological Research

112年7月7日
論文集暨會議手冊



主辦單位：行政院農業委員會臺南區農業改良場
協辦單位：行政院農業委員會農業試驗所

112年度農業生態系長期生態研究研討會 議程

時間：112年7月7日

地點：臺南區農業改良場推廣大樓1樓視聽教室

時間	題目	主講者	主持人
09:30~10:00	報到		
10:00~10:10	長官致詞/大合照	范美玲 主任秘書 林學詩 所長 楊宏瑛 場長	
農業長期生態監測的契機			
10:10~10:40	農業長期生態研究回顧與展望	陳琦玲 研究員 農業試驗所農化組	黃山內博士
10:40~11:10	長期水旱田輪作生態系 在不同施肥處理之土壤微生物研究	楊秋忠 院士 中央研究院	
11:10~11:40	長期生態研究甘苦談：以墾丁為例	林幸助 終身特聘教授 中興大學生命科學系	
11:40~12:00	雲林地區農業長期生態系 對作物生產力之評估	楊藹華 分場長 臺南區農業改良場雲林分場	
12:00~13:10	中午用餐／壁報成果展示		
13:10~13:30	中南部茶區農業氣象 之溫度調查與變化趨勢	林儒宏 站長 茶業改良場凍頂工作站	王強生教授
13:30~13:50	農業長期生態系昆蟲調查、 分析應用及注意事項	董耀仁 助理研究員 農業試驗所應動組	
13:50~14:10	長期生態調查的資料管理原則	陸聲山 研究員 林業試驗所福山研究中心	
14:10~14:30	氣候變遷下荔枝園管理調適	張哲瑋 研究員 農業試驗所嘉義分所	
14:30~15:00	茶敘／休息		
農耕模式對減排、碳匯效益及調適			
15:00~15:30	因應氣候變遷水稻育種策略	王強生 教授 中興大學農藝系	楊藹華 分場長
15:30~15:50	有機輪作制度對作物產量與品質之影響	侯金日 副教授 嘉義大學農藝系	
15:50~16:10	強化有機土壤的健康評估	侯秉賦 助理研究員 高雄區農業改良場旗南分場	
16:10~16:30	綜合座談		
16:30~	賦歸		

112 年度農業生態系長期生態研究研討會

專刊目錄

序言	楊宏瑛 場長	1
序言	林學詩 所長	2
農業長期生態監測契機		
農業長期生態研究回顧與展望	陳琦玲 研究員	4
長期水旱田輪作生態系在不同施肥處理之土壤微生物研究 楊秋忠 院士		27
氣候變遷調適需以長期生態研究為本，以墾丁長期生態為例 林幸助 終身特聘教授		40
雲林地區農業長期水稻連作生態系對生產力之評估	楊藹華 分場長	55
中南部茶區農業氣象之溫度調查與變化趨勢	林儒宏 站長	67
農業長期生態系昆蟲調查、分析應用及注意事項	董耀仁 助理研究員	69
長期生態調查的資料管理原則	陸聲山 研究員	86
農耕模式對減排、碳匯效益及調適		
因應全球氣候變遷之作物育種	王強生 教授	93
氣候變遷下荔枝園管理調適	張哲瑋 研究員	95
有機輪作制度對作物產量與品質之影響	侯金日 副教授	105
強化有機土壤的健康評估	侯秉賦 助理研究員	117
綜合座談與活動花絮		
綜合座談		158
活動花絮		159

海報目錄

國際合作全球採樣計畫 LifePlan 臺灣樣站建置與初步成果	130
支持永續農業發展之生態系服務給付政策—借鏡日本及歐盟策略	131
農業長期生態試驗園區指標昆蟲調查 - 以六條瓢蟲為例	132
農業長期生態系-柑橘粉介殼蟲之寄生蜂普查	133
農業生態系-柑橘介殼蟲普查	134
長期氣候下指標昆蟲族群量之探討-以瓢蟲為例	135
農業長期生態系-果樹樣站昆蟲多樣性普查	136
農業長期生態系-果樹樣站直翅目昆蟲普查	137
農業長期生態系-果樹樣站膜翅目蟻科昆蟲普查	138
屋拉力部落文旦園瓢蟲發生初探	139
織羅部落水稻田瓢蟲發生初探	140
不同耕作農法對土壤微生物菌相之影響	141
減少肥料投入稻作生產之農場所得評估	142
不同農法對蚯蚓生態之影響	143
不同農法農地中的螞蟻多樣性	144
農業野生動物之棲地偏好與趨勢指標	145
111 年度高屏地區養殖漁村水質長期監測成果概觀	146
慣行及有機農法對新竹縣峨眉鄉桶柑果園土壤及蟲相之影響(三年期)	147
慣行及有機農法對文旦果園標的昆蟲及產量之影響：以苗栗縣西湖鄉為例	148
中部地區百香果-不同栽培方法之土壤有效性元素比較	149
中部地區葡萄與百香果-不同栽培模式之蟲相調查	150
芒果小黃薊馬監測及藥劑篩選試驗	151
慣行及有機農法對於文旦果園土壤及蟲相之影響:以麻豆地區為例	152
卑南鄉鳳梨釋迦果園生態監測站之蟲相、土壤肥力及產量調查	153
不同農法對芒果炭疽病之生態影響	154
花蓮富里水稻產區長期生態監測	155
池上鄉水稻生態監測站之蟲相、土壤肥力及產量調查	156

序

112年度農業生態系長期生態研究研討會論文集

臺灣農業曾經創造奇蹟，帶動臺灣經濟發展與國人生活改善，同時也是世界上生物多樣性最豐富的地區之一，對臺灣的環境和生態造成了很大的影響。藉由農業生態系長期生態研究，以農業兼具生態服務功能角度，研析較佳經營管理策略，並分析氣候變遷對生態系的影響，制定調適策略以減緩農業對於生態的衝擊。

本研討會針對農業長期生態研究及農業耕作制度對於氣候變遷及增加碳匯調適等議題，邀集國內 11 位國內專家學者提出研究成果及 27 篇學術海報。記錄 17 年來農業生態系之結構、組成及交互作用，包括水旱田輪作生態系之施肥對土壤微生物之影響、墾丁海域珊瑚劣化原因、雲林水稻連作田肥料減量效果、昆蟲族群變化、調查資料管理、氣候變遷下荔枝園管理調適等等，專家學者提出研究成果及建議，完善國內後續試驗規劃及推廣之基礎。同時也期望我們能更佳了解農業和生態系統之間的相互作用和關係，為我們制定更科學和有效的農業政策提供了重要的支持。

茲將本次研討會論文及海報集結成冊，定格現階段農業長期生態監測及農耕模式對減碳、碳匯效益及調適之成果。感謝所有主講者及學術海報提供者鼎力支持，使本研討會得以順利成型。為落實減碳減紙，本特刊以電子書發行。會中綜合討論與花絮將後製入電子書，臻於完備。在此謹致感謝，並請各界先進不吝指教。

行政院農業委員會臺南區農業改良場

場長 **楊宏瑛** 謹識

中華民國112年6月16日

當今全球在氣候變遷、溫度上升、人口增加，和新興疫情的壓力下，社會經濟與文明發展上均受到巨大衝擊，也為生物群集存續帶來挑戰。世界各國有志之士刻正傾注心力，努力蒐集科學證據、整合跨領域知識與資源，以謀求地方、區域及國際共識，為永續發展創造機會。於是各國紛紛設定 2050 年淨零排放目標，將地球升溫控制在 1.5°C 以下，期望能恢復自然生態運作，使蓬勃發展的生態系統與自然解方足以支持未來的世代，我國農業部門也已訂定於 2040 年率先完成淨零排放目標。

農業為人為操作與自然互動的過程，不可避免地會受到氣候變遷影響，但也因為農業與自然環境的相依特性，農業活動蘊藏許多恢復生態系統功能的機會與解決方案，使其在應對相關議題中不可或缺。例如，土壤是陸域生態系最大的碳庫，從長期監測資料可了解有機、草生栽培及輪作等農業操作均能增加土壤碳匯，實質貢獻於淨零排放。

農業發展涵蓋生產、生活、生態三大部份，台灣的土地面積不大，卻必須承載農業發展的多元需求，包括：農糧產業、養殖漁業、畜牧業、林業、生態保育、休閒產業等，面對各種艱難的挑戰。由農試所領軍的台灣的農業長期生態研究，從最早期的 4 個研究單位參與，擴展到如今農委會所屬的試驗改良場所均已加入團隊，17 年來建立了 16 個農業監測站與 3 個水產養殖監測站，有將近 60 名研究人員參與其中，每年均會發表其研究結果，成果逐漸受到各界重視。今年度由臺南區農業改良場舉辦研討會，包括探討長期水旱田輪作生態系對土壤微生物變化等 11 項演講，以及多篇論文壁報展示等，成果相當豐碩。

「長期」研究重視經驗知識的累積與傳承，無論在數據、研究方法，或人才網絡，均有別於一般試驗研究工作。為成此業，農業試驗所與各研究機關共同推動資料治理、組織工作小組持續建構研究平台。相信未來研究團隊與參與夥伴也將持續秉持自由與包容的精神，為農業部門淨零、抑或是更多舉世關注的議題產生新知與影響力。

行政院農業委員會農業試驗所

所長 林學詩 謹識

中華民國112年年5月15日

農業長期生態監測契機

農業長期生態研究回顧與展望

蔡正國¹、陳琦玲^{1*}、張仁育¹、石憲宗¹、楊藹華²、王瑞章²、廖大經³、張哲璋³、
柯昱成³、林儒宏⁴、張素貞⁵、任心怡⁵、莊國鴻⁶、廖崇億⁷、郭雅紋⁷、昌佳致⁸、
潘佳辰⁹、陳泰元¹⁰、林立¹¹、張繼中¹²、許白研¹³、林大利¹⁴、謝玉貞¹⁵

- 1 行政院農委會農業試驗所。
 - 2 行政院農委會臺南區農業改良場雲林分場。
 - 3 行政院農委會農業試驗所嘉義分所。
 - 4 行政院農委會茶業農業改良場。
 - 5 行政院農委會苗栗區農業改良場。
 - 6 行政院農委會桃園區農業改良場。
 - 7 行政院農委會臺中區農業改良場。
 - 8 行政院農委會臺中區農業改良場埔里分場。
 - 9 行政院農委會臺南區農業改良場。
 - 10 行政院農委會高雄區農業改良場。
 - 11 行政院農委會花蓮區農業改良場。
 - 12 行政院農委會臺東區農業改良場。
 - 13 行政院農委會水產養殖試驗所東港生技研究中心。
 - 14 行政院農委會特有生物研究保育中心。
 - 15 行政院農委會農業藥物毒物試驗所。
- *聯繫人 e-mail: Chiling@tari.gov.tw

摘要

臺灣自 1992 年即展開自然生態系之長期生態研究(Long-Term Ecological Research, LTER)，農業生態系之研究則於 2006 年開始由本所與臺南區、苗栗區農業改良場及茶業改良場等單位，陸續在臺灣中部成立 6 處研究站。長期生態研究係藉長期跨領域之多時間與空間資料收集，了解生態系之結構、組成、交互作用等。計畫總目標在於藉長期觀測，了解環境變遷對生態系服務功能之影響，並探討符合生態觀念之農耕操作能否減少亞熱帶之主要作物系統化學物質之投入。為能展現計畫之成果，每六年設定一個短期目標，第一期 (2006-2011) 探討不同農法對不同耕作制度生態系生產力維持、生物多樣性之影響及其對環境之衝擊，並探求較佳之農業管理模式；第二期(2012-2017)之目標為長期觀測氣候變遷對農作物生產、害蟲與天敵族群生態、罹病度及雜草變遷之影響，並研擬可能的調適策略。第三期 (2018-2023)之目標為從供給、支持、調節與文化等市場與非市場方面盤點和評估農業生態系多功能價值，以供研擬農業環境給付措施之參考。為能實現資料再利用、延續資料生命與提昇資料價值，本研究所獲得之研究數據均以 Morpho 軟體建置 EML (Ecological Metadata Language)文件，並存入 Metacat 生態資料庫，以利資訊之交流，並藉此參與多項國際合作計畫，提升研究能量與品質，亦與國際接軌，增加台灣能見度。自 2020 年起本所與水試所與各區改良場在全台擴增 10 處監測站，包括 2 處漁業站和 8 處農業站，分別進行養殖水質與農村產區生態監測，觀察不同農法與氣候變遷對其生態之影響，以進行蟲害與肥培之精準管理，並嘗試藉農漁村社群參與式研究，加強生產者對生態與環境之重視與實踐，降低農業生產對生態系服務功能之衝擊。目前台灣農業 LTER 仍偏重在自然科學之研究，將逐漸加入社會科學之研究，第四期 (2024-2019)之目標擬定為運用資訊科技導入社會

經濟驅動力，復育農業生態系統、推動自然正成長，將進行長期生態與社會研究 (Long-Term Ecological and Social Research, LTSER)，探討自然生態環境與社群之交互作用。

關鍵字：農業生態系、長期生態研究、亞熱帶、服務功能

緣起

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。

美國國科會(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 餘年之經驗。其中在溫帶密西根州立大學 Kellogg Biological Station (KBS)為美國 26 個長期生態研究站中，唯一之農業站。該研究站是以糧食作物為主要栽培對象，並特別以農業地景之生物多樣性為研究主題，特別是以多樣化之功能性與生態系統功能之相關研究為研究主軸。已提供二百餘位研究人員和研究生用此研究站題材完成學位。KBS 研究站農業生態系建立控制管理實驗樣區，以 7 種實驗設計×7 重複樣區，每個樣區 100×100 m。期研究成果極為系統且多樣化，以昆蟲的棲移研究為例，檢視從單一植物到多樣棲地內，人為操作與干擾所造成時間與空間上之變化與多樣的植物組成狀況下昆蟲相的變化等。

國立科學委員會與大學、研究機構、國家公園系統和其他相關機構合作，於 1992 年創立了臺灣生態研究網絡(Taiwan Ecological Research Network, TERN)，設立了五個自然生態系的長期生態研究站。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/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。自 2000 年起，長期推展我國長期生態研究的學者金恒鏞博士邀集農業與生態研究人員開始研議規劃成立農業生態系之長期研究站。藉由與美國 KBS 的互訪，並在多方多次研商下，由農試所、林試所、臺南場、臺灣大學及中興大學自 2006 年起啟動臺灣長期農業生態研究。

農業長期生態研究網

LTER 研究站設置

經過多次研商會議決議，在考慮試驗地現地的環境、面積、未來可能的變更、交通及住宿等條件下，陸續於南投縣、雲林縣、嘉義縣市與苗栗縣建立 6 個核心監測站，關注水稻、亞熱帶果樹(荔枝)與茶作為主體的核心觀測站，然而因核心監測研究站集中於中部低海拔平原、丘陵水田、旱作及果園環境，故於 2020 年起農試所、水試所與各區改良場陸續於全台增設 10 個農業衛星監測站、2 個漁業衛星監測站與 1 個農業試驗候選站，研究監測站位置如圖 1 所示。

試驗處理說明

2006 年建立之核心站，除了名間茶園與芳苑水稻田是於農友田區間進行監測，分別有慣行農耕(CF)與有機農耕(Organic Farming, OF)之農法監測，其餘則是在農試所與台南場試驗農場進行慣行農耕(Conventional Farming, CF)與永續農耕(Sustainable-driven Farming, SF)之試驗，慣行農耕之肥料用量為改良場所之推薦量，農藥防治則按植保手冊進行防治；永續農耕之肥料用量將依據農地養份循環及土壤肥力狀態而定，約為推薦量的 80%，並依本研究試驗結果視需要調整施肥量。農藥則僅在病蟲害發生嚴重，可能造成無產量之虞時，才進行施藥防治。嘉義分所的荔枝品種保存園則為自然農法，除了除草，幾乎沒有投入。

在農業衛星站部份，均於農友田區間進行監測，分別有慣行農耕(CF)與有機農耕(Organic Farming, OF)。同時結合長期性的科學調查與生態監控模式建立，評估農村地區農業經營之人為擾動對生態產生之影響，或是相關友善環境農業活動對生態服務之貢獻，兼顧農業與生態之永續發展。



圖 1. 臺灣農業長期社會生態系研究監測站位置分佈圖

監測項目

記錄與監測項目如下:

1. 栽培管理資料：記錄所有生產履歷，包括所有資材的使用等。
2. 環境資料：
 - (1)氣象：每日最高溫、最低溫、平均溫、風向、風速、日射量、日照時數、雨量及土層溫度等。
 - (2)土壤：各處理收穫後進行土壤化學性質調查，包括 pH、OM、Total N、Avail P、Avail K 等，另每五年進行一次土壤物理性質調查。
 - (3)植體：各處理收穫後進行植體採樣與分析，分析項目包括 N、P、K 等。
 - (4)生態系參數調查：包括各處理水分動態、碳素動態、氮素動態、養分收之、重要蟲害與天敵、重要病蟲害、土壤微生物質量及種類與產量等調查。
3. 物種調查：(2020 年後新增項目)
 - (1)昆蟲相：以掃網法與黃色粘蟲紙調查各試驗站昆蟲相。
 - (2)蚯蚓：於試驗站進行表土層蚯蚓相調查。
 - (3)以穿越線與紅外線攝影機等方法進行兩棲類、鳥類與爬蟲動物調查。脊椎動物類群：

(4)經濟資料：包含調查產量、價格與勞力支出等。

無線感測網路與資料管理

無線感測網路

長期研究需要穩定、可長期維運的方法進行資料蒐集與管理，2009 年起農業試驗所研究團隊著手建立無線感測器網路 (Wireless Sensors Network, WSN) (詹等, 2012)，現今可透過 WiFi、長距離廣域網路技術 (Long-range wide area network, LoRaWAN) 與窄域物聯網 (Narrow band Internet of Things, NB-IoT) 串聯資料傳輸。近年研究團隊已完成開發透過 NB-IoT，由 MQTT (Message queuing telemetry transport) 通訊協定將感測資料傳輸至農業試驗所伺服器，並經 Node-RED 可視化程式平台將資料同步寫入 MariaDB 資料庫與 MetaCat 資料，後者亦已完成自動化監測資料更新功能，有助於監測資料保存與分享。並將 Agri-LTER 網頁、WSN 系統及 Morpho-Metacat 資料庫整合為單一入口網站之亞熱帶農業生態系資訊分享平台，陸續完成 Metacat 資料庫 Metadata 英文化與資料勘誤，以提供資訊服務加速國際與國內合作發展。

在感測器的研發方面，開發價格相對低廉之「新式滲漏計」、「旱田專用新式滲漏計」、「新式土壤傳感系統」與「新式水質傳感系統」之開發，可取代現階段昂貴之進口儀器，並提高監測密度與減少人工收集之成本。(Chan, *et al.*, 2017) 另亦開發「斜紋夜蛾監測與警示系統」，透過 IoT 方式即時將田間害蟲斜紋夜蛾資訊回傳並於蟲口數爆發時發出警示，除了可降低其危害造成之農損外，並可降低用藥頻率減少農民支出。

資料管理

本研究以美國生物複雜性知識網絡 (Knowledge Network for Biocomplexity, KNB) 團隊發展的學術資料倉儲管理系統 MetaCat 儲存研究數據 (<https://lter.tari.gov.tw/metacatui>)。MetaCat 以用戶端介面為 morpho 或 MetacatUI，可適用於各種檔案類型資料管理；資料上傳時，則以認證系統 (LDAP) 和貢獻者開源辨識碼 (Open Researcher and Contributor ID, ORCID) 識別研究人員與貢獻者身分。除倉儲外 MetaCat 亦提供便捷的介面，供外部使用者檢索、下載分享資料，使資料可更廣泛地被加值應用。

本計畫研究產生之數據以在生態學研究領域發展出的生態元數據語言 (Ecological Metadata Language, EML) 格式 (Mitchener *et al.*, 1997) 作為描述的標準，EML 格式是國際長期生態研究 (ILTER) 適用並支持的詮釋資料標準，由一系列 XML 檔案組成在可被模組化或擴展的檔案應用下記錄數據，而每個 EML 模組可用於描述不同型態的數據 (Peterseil *et al.*, 2018)。數據依 EML 標準建立完成後，可依探索式資料分析 (exploratory data analysis) 理論以 R 或 Python 進行品質控制 (quality control) 及保證 (quality assurance) 檢查，並將使用的程式碼與 EML 文件合併作為進一步分析的基礎。

在 2020 年舉辦為期兩日之農業生態系長期生態研究研討會，包括生態文件建置與檢核研習會與長期研究成果發表會，透過邀請美國維吉尼亞大學的 John Porter 博士與新墨西哥大學的 Kristin Vanderbilt 博士等 2 位資料庫管理專家進行視訊演講，分享美國長期生態研究之資料管理經驗，供我國參考。

農業生態系資訊分享平台已與特有生物中心建立之「臺灣生物多樣性網絡」及「臺灣野生植物資料庫」等，與南韓生態研究所主導之 Eco-Bank 計畫組成國際合作團隊，並於 2019 年由農業試驗所、特有生物研究保育中心與南韓生態研究所簽署合作備忘錄，期可透過備忘錄將生態資訊共享給國際科學家，提高臺灣在生態研究之能見度，

同時發展全球尺度的研究，推廣臺灣長期生態研究的應用與整合成果，深化多方夥伴關係，並與國際團隊接軌。

針對資料庫間之串聯，目前已開發部分開放式介接程式(Open Application Program Interface, Open API)，提供外部介接 MariaDB 資料庫資料；MetaCat 資料庫已成為韓國國立生態研究所 EcoBank 計畫東亞聯網資料，正朝 DataONE 數據網路節點(node)目標持續努力中。

核心站各階段成果

第一階段

第一階段目標為「了解農業生態系生產與生物多樣性影響因子驅動力」，旨在探討不同農法對不同耕作制度生態系生產力維持、生物多樣性之影響及其對環境之衝擊，並探求較佳之農業管理模式。

依據長期試驗資料顯示，永續農耕區水稻田合理減少肥料投入及農藥施用下，可獲得兼具維持相當於慣行農耕的產量及產值、控制病蟲害之發生、天敵昆蟲動態與地下水氮淋洗量等效益，肥料利用效率明顯高於慣行農耕區，且產量較穩定(圖 2)。然而旱田則需較多農藥投入才能維持慣行農耕之產量；荔枝園之試驗結果顯示自然生長園之生物多樣性、作物病害、天敵昆蟲與害蟲族群及氮淋洗量皆顯著高於慣行農耕區，然而產量卻幾近於零；有機茶園在降低投入後，生物多樣性明顯提升，地下水氮淋洗量則明顯下降，然有機茶園之茶菁產量約僅慣行區之 30%，雖可維持相對高單價，然而氣候適宜且無嚴重病蟲害時，有機茶園僅為慣行茶園之 7 成收益；在氣候變動日益增加下，導致產值不穩定，產量有逐年下降之趨勢，總產值亦隨之逐年下滑(圖 3)。綜合上述試驗結果顯示，一年生農藝作物的永續農耕合理減少投入可維持與慣行農耕相當之產量與產值，然並未提升生物多樣性與減低對環境之衝擊等；而多年生作物，如荔枝與茶，永續農耕可明顯提升生物多樣性，並減低對環境之衝擊，但產量與產值仍遠不及慣行農耕，此結果與溫帶地區試驗所獲得之「增加生物多樣性有助於作物生產」之結論(Tilman *et al.*, 1996; Picasso *et al.*, 2008; Hadgu *et al.*, 2009)有所差異。

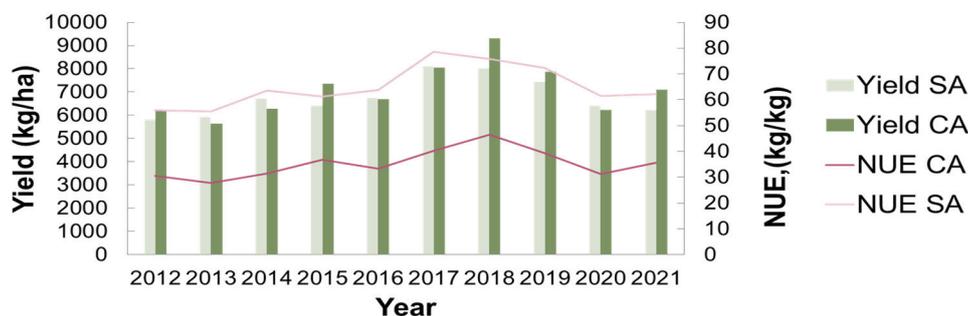


圖 2. 溪口與斗南慣行與永續處理水稻氮肥利用效率與產量變化

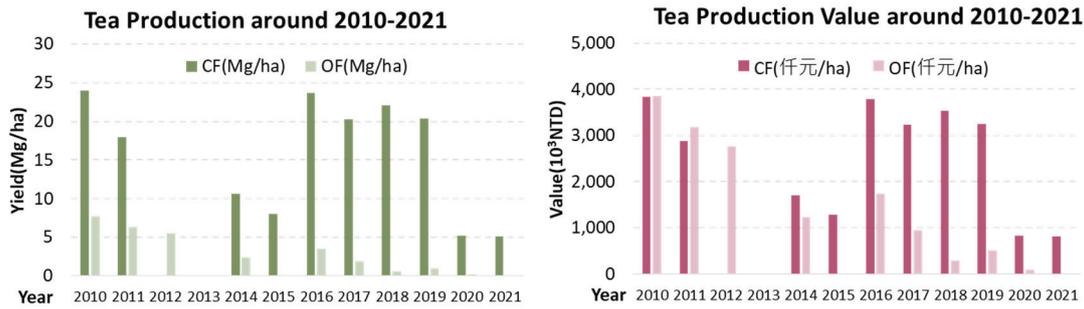


圖 3. 名間慣行與有機茶園產量與產值變化

根據長期試驗中不同肥料處理資料分析，顯示在砂質壤土的試驗區，最佳的氮肥施用量約為每公頃 160 公斤。然而，在坩質壤土的試驗區，最佳氮肥施用量為每公頃超過 240 公斤，產量也預期可以超過 8.5 噸以上 (圖 4)。

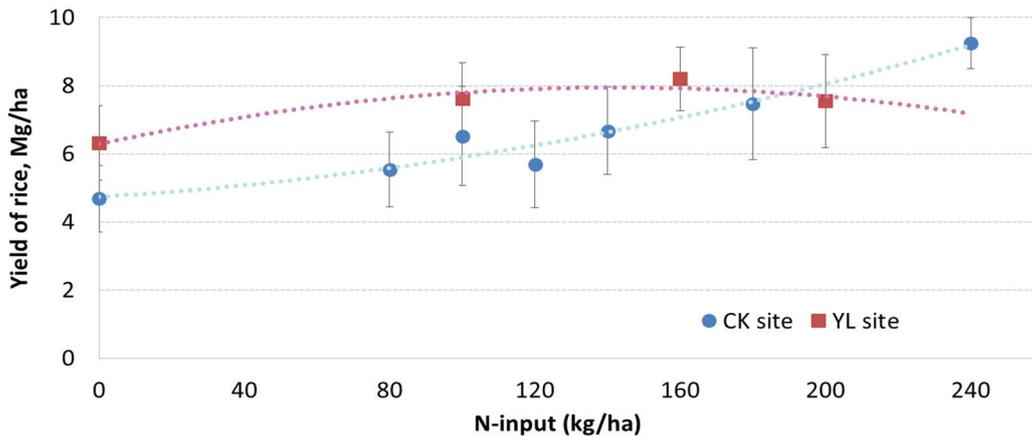


圖 4. 長期觀測溪口農場與雲林分場氮投入量與水稻產量之相關性分析

另運用臺灣農業長期生態研究 2017-2020 年 6 個核心站之植物調查資料，測試各生育地調查之最適季節與最少努力量，透過集群分析方法將植物組成相似之生育地進行分群，再依分群結果繪製不同季節各生育地之物種面積曲線。結果顯示，生育地可細分為農田、田埂、果園與茶園等 4 種，透過集群分析後各試驗站與其所包含之生育地類型可分為 5 種不同之植物組成類群，亦即農田類群、田埂類群、嘉義果園類群、古坑果園類群與茶園類群，在人力物力充裕之情形下，可於全年四季各生育地各進行 18 個 1m*1m 隨機小樣方植物調查，若人力物力受限制，農田生育地可優先選擇秋季(9-11 月)進行 10 個小樣方植物調查，其它生育地則選擇春季(3-5 月)進行，調查小樣方個數分別為田埂 10 個、果園 17 個與茶園 9 個，則可評估當地之植物相，以提供農田生物多樣性保育工作之推動依據。(Tsai, et al., 2022)

第二階段

第二階段目標為「農業生態系在氣候變遷趨勢下的緩解與調適」，旨在長期觀測氣候變遷對農作物生產、害蟲與天敵族群生態、罹病度及雜草變遷之影響，並研擬可

能的調適策略。

依雲林分場自 1988 年之長期觀測資料顯示，氣溫呈現增溫之現象，月均溫變化可看出高溫大於 30 度之日數逐漸增加，低溫小於 15 度之日數雖無差異，但卻愈趨集中，而部份年度雨量分佈改變，則影響農業操作；水稻葉稻熱病在慣行與永續農耕兩處理間的發病率無顯著差異，其發病率與降雨量及相對濕度呈現正相關，顯示氣候波動對水稻真菌性病害發病率的影響遠超過耕作制度 (Chiu *et al.*, 2022)；荔枝露疫病及酸腐病之發生與雨量有密切關係；在指標昆蟲方面，影響溪口農場與雲林分場之優勢天敵昆蟲六條瓢蟲族群動態之氣象因子主要為降雨；在雜草相變遷部份，年度間雜草相消長呈現 W 型波動，且水旱輪作及高投入有較高之雜草豐富度；另優勢雜草之密度隨溫度上升而增加。

慣行農業和永續農法對稻瘟病發病率的影響相似。只有在相對濕度較高的情況下，溫度才會對發病率產生正向影響。降雨對疾病發病率有積極影響，直到降雨量達到最佳水平。永續農法通過減少化肥施用和其他可持續養分管理，對疾病發病率的影響與慣行農法相似。這表明天氣波動可能超過耕作系統對稻田真菌病發病率的影響。

另針對荔枝產量受氣候變遷影響，整理歷年統計資料顯示，荔枝產量受年度極端氣候影響，如聖嬰現象 (El Niño-Southern Oscillation, ENSO)、年度乾旱、三月份寒害與暖冬等都可能造成荔枝減產 (圖 5) (行政院農業委員會，2022)，續分析歷年氣象資料與荔枝產量之相關性，荔枝產量與 5 月份平均溫度呈負相關，並隨前一年 12 月份降雨量增加而增加，然雨量高過臨界值 (約 60mm) 時產量則開始趨於平緩甚至減產。

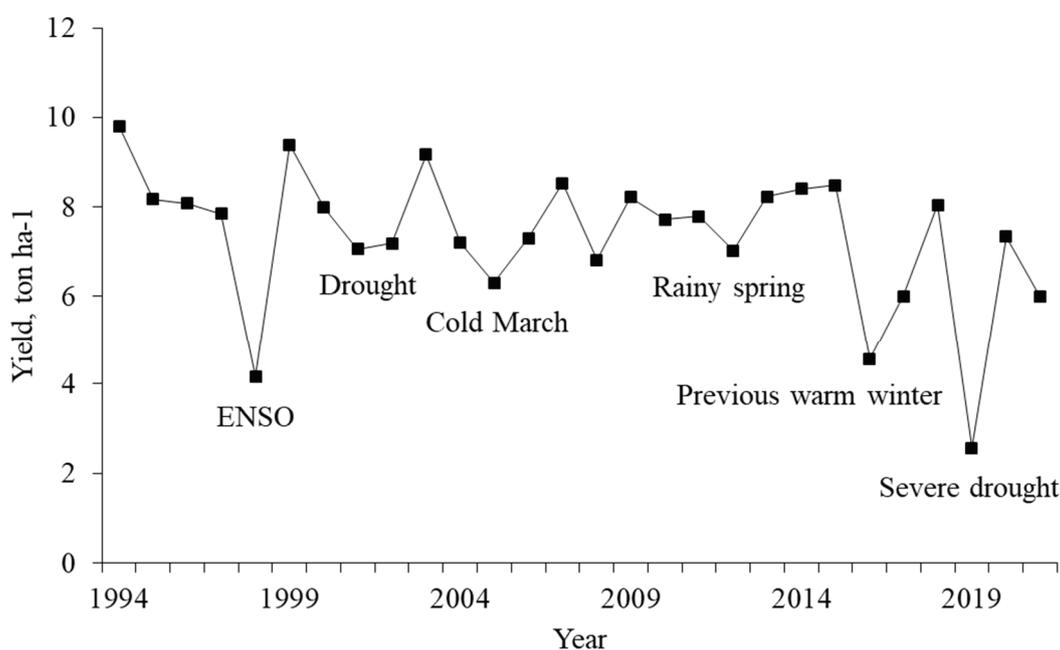


圖 5. 1994 年至 2021 年荔枝年平均產量與極端氣候事件變化圖

本研究亦應用長時間累積的長期生態研究資料，建立較大時空尺度的模擬及預測模型。如運用作物模式 DeNitrification-DeComposition (DNDC) 與 CERES-Rice 建立之水稻臺南 11 號參數，配合科技部「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫 TCCIP」提供之 IPCC RCP8.5 下之 6 種模式 (bcc-csm1-1、CCSM4、HadGEM2-AO、MIROC-

ESM、MRI-CGCM3 與 NorESM1-M)降尺度之 5km*5km 網格氣象資料，以及全臺土壤質地網格進行 2025-2060 年之產量模擬。以 LTER 及其他多處之長期試驗資料進行模式之參數校正與未來氣候條件下之模擬，結果顯示水稻臺南 11 號產量於 2030 年、2040 年與 2050 年之變化，全臺各區域皆有逐年減少之趨勢 (圖 6)，南部地區於五月底開花期結束開始充實，隨氣候變遷加劇，五月份熱浪頻度加劇，可能增加水稻充實不均勻以致減產。

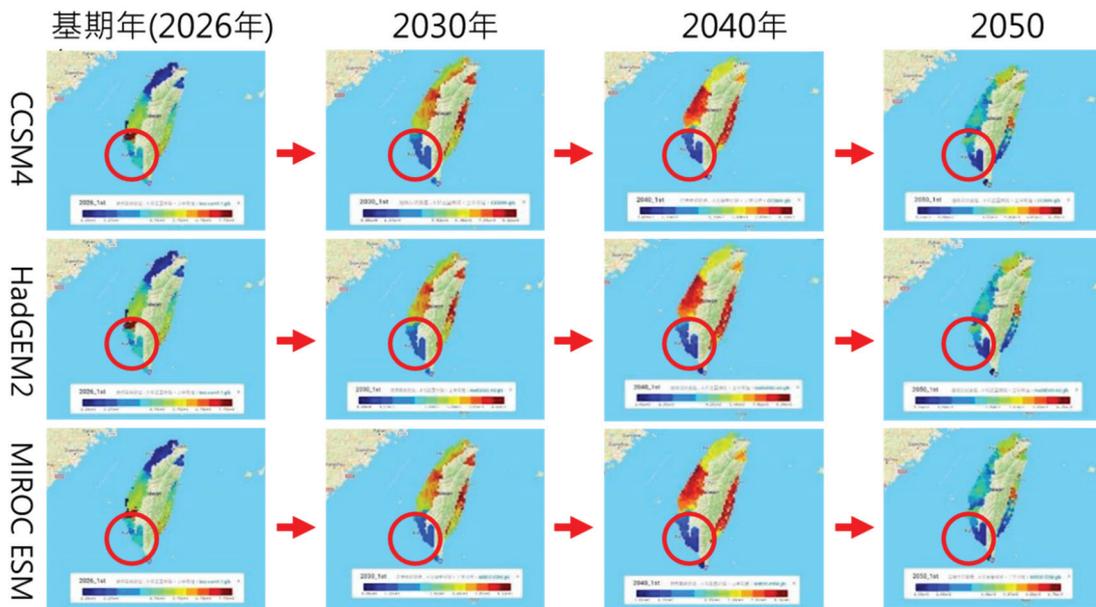


圖 6. 運用模式進行不同氣候變遷情境下全臺水稻臺南 11 號產量變化，顯示在南部地區水稻產量減產程度最劇

以 6 年期的於嘉義分所「玉荷包」荔枝監測資料所建構的花穗萌發模型，經比較 1980 年代起的歷史資料與 2025 年後代表濃度途徑 Representative Concentration Pathways (RCPs)，於 28 種溫度模型南部產區分析結果顯示無論採用 RCP8.5 或者 RCP4.5，在 2050 年前後、高雄以南產區均出現因升溫而使「玉荷包」無法開花警訊 (圖 7) (Chang *et al.*, unpublished data)。由於「玉荷包」荔枝為涼溫需求性較低的早花型品種，並且為我國商業生產的南界指標，因此無法開花意味著影響產業發展，將可能造成產區瓦解、北遷或是產業結構改變、區域性凋敝等現象發生。

第三階段

第三階段目標為「農業生態系服務價值評估及區域參與」，旨在自供給、支持、調節與文化等市場與非市場方面盤點和評估農業生態系多功能價值，以供研擬農業環境給付措施之參考。並透過盤點農業長期生態研究導向農業永續發展，以建構可持續的生產環境及生態系統。

國際糧食組織(FAO)在食物及農業永續的 5 大原則：(1) 增加生產量值、就業及食物供應系統中的附加價值、(2) 保護與加強自然資源附加價值、(3) 改善生計及促進經濟成長、(4) 加強人類、社群及生態系統的韌性、(5) 調適面對新挑戰的管理。聯合國於永續發展目標指標 2.4.1 評估朝向生產與永續農業的進程，該指標包含 3 構面及 11 項子項

指標，分別是：經濟構面－土地生產力、收益與韌性；環境構面－土壤健康、水資源利用、肥料污染風險、農藥風險與生物多樣性；社會構面－尊嚴勞動、糧食安全與土地保有。

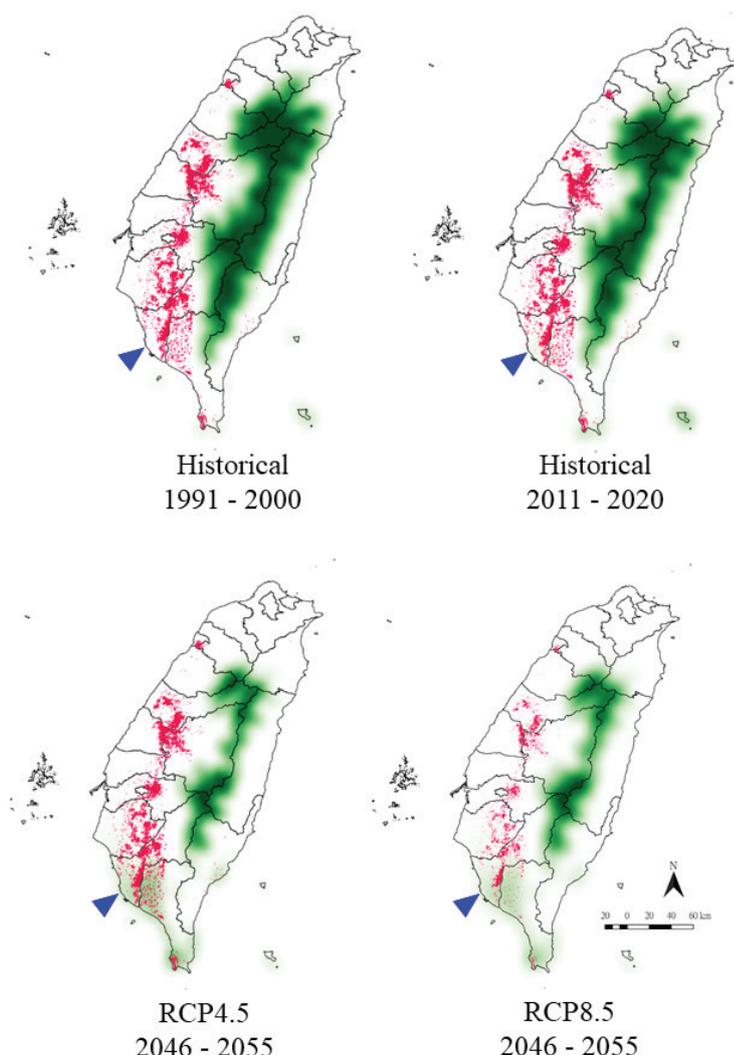


圖 7. 歷史資料與模式預測「玉荷包」未能開花區域(綠色)及既有荔枝產區(洋紅色)分布情形。藍色箭頭指出「玉荷包」核心產區高雄市的位置

就聯合國永續發展目標指標 2.4.1 進行核心站與衛星站指標評估，初步結果顯示各試驗站土地生產力、收益、土壤健康、肥料污染風險、糧食安全與土地保有達成率高，可持續進行以達永續；農藥風險與生物多樣性部份達成率低，需設法強化之；水資源利用與尊嚴勞動部份由於門檻值偏低易達成，需依臺灣現況調整之；韌性指標係因多年生果樹無法與其它作物輪作，以及農業保險尚未普及至各作物，以致門檻值偏高不易達成，亦需依臺灣現況調整之(圖 8)。

2015 年召開之聯合國氣候變化綱要公約(UNFCCC)第 21 屆締約國會議提出《巴黎協定》，協議在本世紀較工業時代前控制升溫於 2 °C 以內，並盡量維持在 1.5°C 以下，

以降低氣候變遷的風險和影響。2021 年在英國格拉斯哥舉行的聯合國氣候變遷大會第 26 次締約方會議(COP26)《格拉斯哥氣候公約》，各國重申對《巴黎協定》目標並意識到氣候變遷問題急迫，需在 2030 年時減少與 2010 年相比 45% 溫室氣體排放，將升溫控制在 1.5°C，以在本世紀中達成淨零排放目標。在此背景，我國在 2022 年 4 月於行政院會通過《氣候變遷因應法》修正草案，並將 2050 年淨零排放目標入法。增進土壤碳匯係已知可緩減氣候變化的有效方法，根據「千分之四倡議：土壤促進糧食安全和氣候」要旨，每年在全球土壤增加 0.4% 有機質儲量每年，將可以補償全球石化燃料帶來的溫室氣體排放。不同農業環境與農事操作均影響土壤有機碳增匯效益，農業生態系長期研究提供長期監測資料以進行模式模擬，以評估不同農法對土壤碳匯的影響及其潛量 (圖 9)。

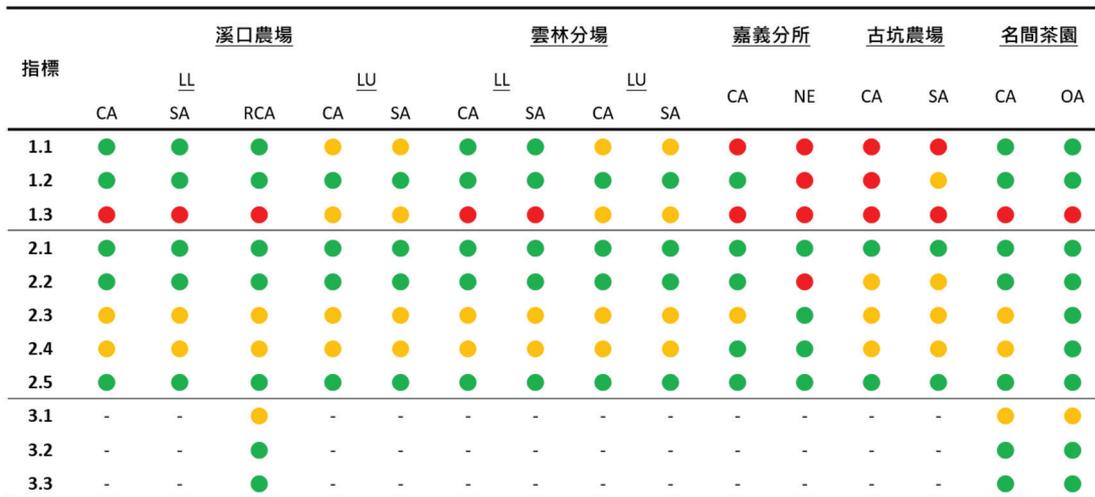


圖 8. 以聯合國永續發展標 2.4 評估各研究站達各指標情形

指標說明：(1)經濟面向：1.1 土地生產力、1.2 收益及 1.3 韌性；(2)環境面向：2.1 土壤健康、2.2 水資源利用、2.3 肥料汙染風險、2.4 農藥風險與、2.5 生物多樣性；(3)社會面相：3.1 尊嚴勞動、3.2 糧食安全、3.3 土地保有。綠燈為合適的、黃燈為可接受的、紅燈則為不永續的

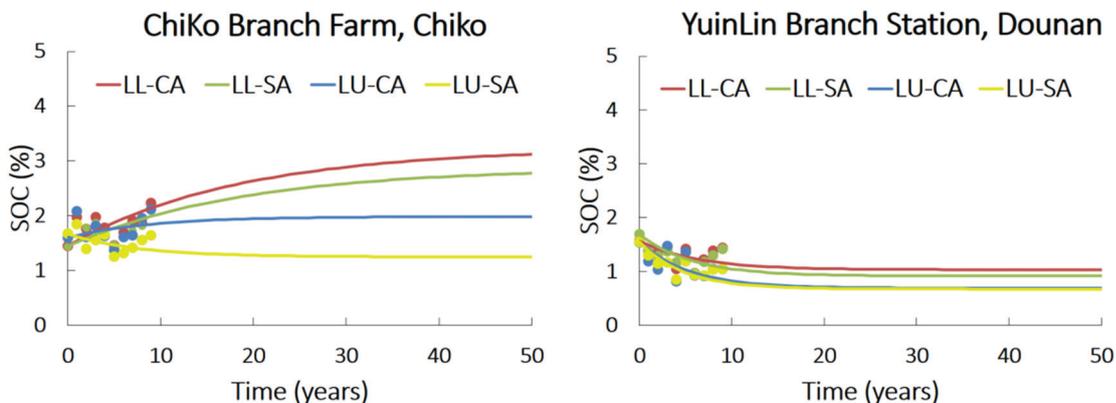


圖 9. 溪口農場(左)與雲林分場(右)在不同農事操作下土壤有機碳累積模型模擬結果

衛星站成果

產量比較

比較 LTER 衛星站不同農法產量，結果顯示在 2021-2022 年果樹單株產量部份，苗栗西湖與臺南麻豆文旦產量在慣行與有機間皆無顯著差異，高雄燕巢印度棗與臺東卑南釋迦在慣行農耕產量顯著高於有機農耕 ($p < 0.001$; $p < 0.001$) (圖 10)；另外在 2021-2022 年水稻單位面積產量部份，苗栗苑裡、臺東池上與花蓮富里水稻產量在慣行農耕產量顯著高於有機農耕 ($p < 0.05$; $p < 0.001$; $p < 0.001$) (圖 11)。衛星站之民間農友水稻監測站之不同農法的產量均達統計上之差異，與農試所溪口農場與台南場雲林分場之試驗結果不同，應與水稻品種與不同農友之施肥量差異大有關。

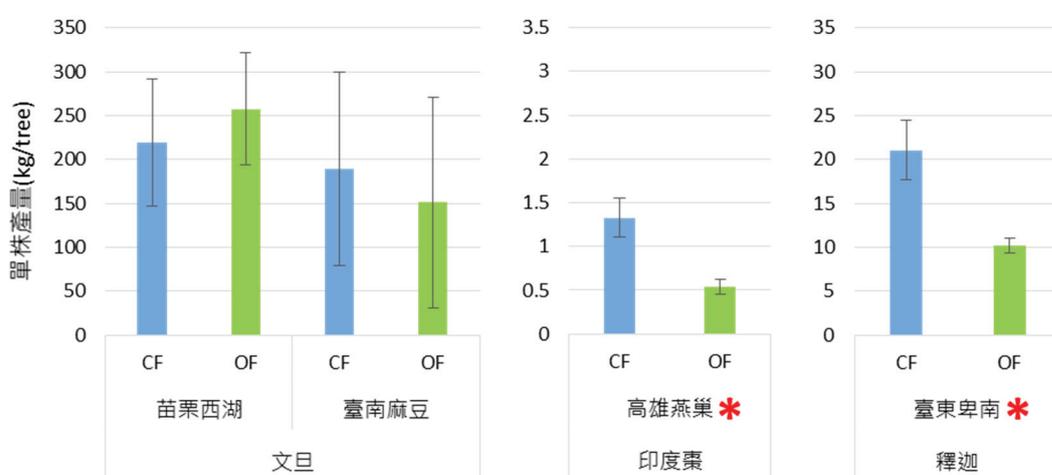


圖 10. LTER 衛星站不同農法之果樹單株產量；農法包含：慣行農耕 (CF) 與有機農耕 (OF)，*符號代表兩農法間有統計上的顯著差異 ($p < 0.05$)

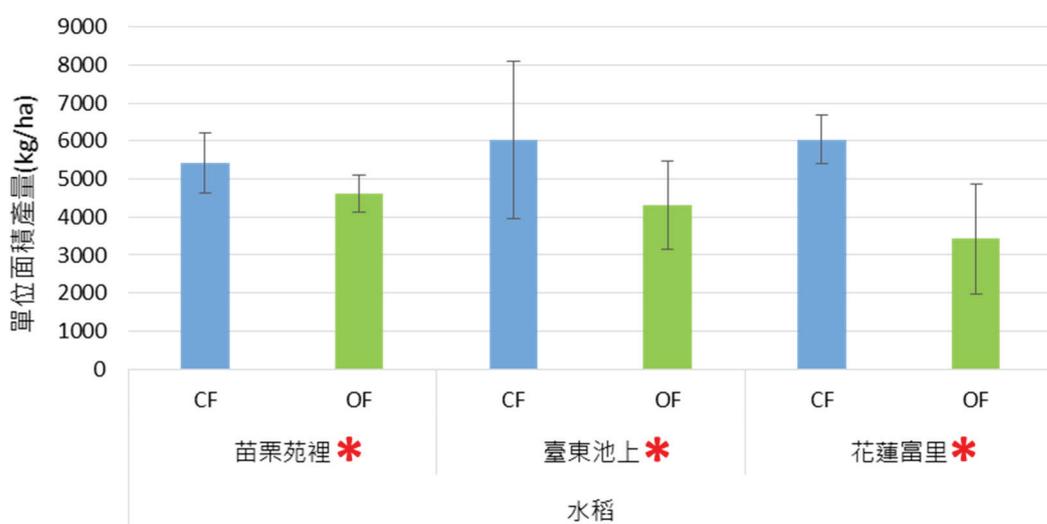


圖 11. LTER 衛星站不同農法之水稻單位面積產量；農法包含：慣行農耕 (CF) 與有機農耕 (OF)，*符號代表兩農法間有統計上的顯著差異 ($p < 0.05$)

昆蟲調查

本研究自 2020 年 3 月至 2021 年 5 月，於 8 個陸域樣站，以掃網法共採獲昆蟲樣本達 13 萬件以上。2020 年 3 月至 11 月之樣本鑑定結果，臺東池上與花蓮富里水稻樣站，優勢昆蟲類群為雙翅目(優勢科級類群為搖蚊科、大蚊科、水蠅科、潛蠅科)與半翅目(優勢科級類群為葉蟬科與飛蝨科)，優勢天敵為蜘蛛類。比較慣行、友善與有機操作農法，以友善與有機農法所獲之蟲數大於慣行農法。新竹峨眉等 6 個果樹樣站，優勢昆蟲類群為雙翅目、半翅目及膜翅目，雙翅目優勢科級類群為果蠅科、水蠅科、稈蠅科、潛蠅科，半翅目以葉蟬科最優勢，膜翅目昆蟲數量，皆以有機農法大於慣行農法，其中又以蟻科數量最多。新竹峨眉、苗栗西湖與臺南麻豆樣站，所採獲之蟲數皆以有機農法大於慣行農法，臺東卑南與高雄燕巢樣站，總蟲數則以慣行農法大於有機農法(許等, 2022)。綜觀掃網普查結果，顯示有機栽培水稻田與果園較慣行管理更能維護農業生態系中的昆蟲多樣性，且農業有益昆蟲(如授粉昆蟲、害蟲天敵與分解者)的數量，亦較慣行栽培環境多，提供生態系統自然調節力量。

以黃色黏蟲紙監測不同作物之特定目標昆蟲，臺東池上與花蓮富里水稻樣站，皆以第二期作出現較大量之電光葉蟬，臺東池上樣站之瓢蟲總數，友善與有機農法分別為慣行農法之 1.6 與 1.4 倍；花蓮富里樣站則以慣行農法高於友善與有機農法，分別為 1.3 與 1.4 倍。2 樣站優勢瓢蟲種類皆以橙瓢蟲 (*Micraspis discolor*) 數量最多，六條瓢蟲 (*Cheilomenes sexmaculata*) 次之。新竹峨眉等 3 個芸香科果樹樣站，開花期與中果期以薊馬數量最多，東方果實蠅則於中果期至採收期數量逐漸增加。3 個樣站之瓢蟲總數皆以有機農法高於慣行農法，優勢瓢蟲種類，在慣行農法果園均以臺南方瓢蟲數量最多，有機農法在新竹峨眉、苗栗西湖、臺南麻豆樣站分別以中黑小瓢蟲(*Scymnus centralis*)、變斑隱勢瓢蟲(*Cryptogonus orbiculus*)、六條瓢蟲(*C. sexmaculata*)數量最多。臺東卑南樣站，番荔枝果園葉蟻與捕植蟻在慣行田的數量分別是有機田的 11.3 倍與 7.8 倍。有機農法之瓢蟲數量為慣行農法之 2.2 倍，2 種操作農法之優勢瓢蟲均為臺南方瓢蟲 (*Sasajiscymnus tainanensis*)，在慣行農法操作區，臺南方瓢蟲(*S. taiwanensis*) 之數量，2021 年較 2020 年增加 6.1 倍；有機農法則增加 1.5 倍。高雄燕巢樣站，有機農法操作區之葉蟬類數量，為慣行農法之 16.7 倍；薊馬類數量則以慣行農法為有機農法之 25.8 倍。有機農法之瓢蟲類數量為慣行農法之 5.8 倍，2 種操作農法之優勢瓢蟲均以臺南方瓢蟲(*S. taiwanensis*) 占比最高(許等, 2022)。綜觀以黃色黏蟲紙監測不同作物之特定目標昆蟲調查結果，在有機田之瓢蟲天敵數量高於慣行田，而特定害蟲數量則低於高於慣行田，顯示有機田之自然調節力量優於慣行田。

蚯蚓調查

本研究於 2021 年 3 月至 10 月間，陸續於各生態監測站採集 152 個樣點，共採得 593 隻蚯蚓，初步以外觀形態挑出 150 個蚯蚓樣本，萃取全基因體核酸後，再以分子生物技術方法鑑定蚯蚓種類，利用線粒體細胞色素氧化酶 I 基因(mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I, COI)、16S ribosomal RNA 基因(16SrRNA)基因和 18S ribosomal RNA(18S rRNA)基因可以對 131 個蚯蚓樣本，得到 12 屬 18 種的鑑定結果，大多數的種類屬於巨蚓科 (Megascolecidae)，有 11 個蚯蚓樣本只能鑑定至屬別，另有 8 個蚯蚓樣本無法以這三種基因得到明確的鑑定結果。在蚯蚓調查結果中，嘉義溪口的土後腔環蚓 (*Metaphire posthuma*) 出現頻率極高，而且臺南麻豆也僅調查到單一物種土後腔環蚓，此物種已成為臺南麻豆和嘉義溪口的優勢種，其餘地區的蚯蚓種類則較多樣性，且具

有地緣物種特性，多為外來物種。臺灣特有種蚯蚓僅在苗栗西湖有調查到福爾摩沙腔環蚓(*M. formosae*)。比較慣行農耕、友善農法和有機農耕，這三種栽培方式對蚯蚓種類及數量並無明顯差異，反而是土壤性質與濕度會影響蚯蚓數量，例如屏東枋山的調查時間正逢缺水乾旱期，高溫與乾硬的土壤基質不適合蚯蚓生存，因此無蚯蚓可供調查(林等，2022a)。

兩棲、爬蟲與鳥類調查

農業擴張是生物多樣性流失的重要因素之一，近年來，為了改善農業環境狀況，並兼顧農業環境生產糧食及保育生物多樣性等多重價值，建立生物多樣性友善農業為推動新農業的重要研究題材。然而，台灣雖然推動十餘年的公民科學，累積大量生物時空分布資料，農業環境缺仍舊相當缺乏資料。為此，特生中心配合農業長期生態監測計畫，自 2021 年起於全國八處監測站(新竹峨眉、苗栗西湖、臺南麻豆、高雄燕巢、屏東枋山、臺東卑南、臺東池上、及花蓮富里)以地圖描繪法執行鳥類、兩棲類、爬行類的監測工作，各站之田區皆包含至少一處慣行農法及有機農法。首年執行完畢，共記錄 112 種物種，4,075 筆紀錄，包含鳥類 103 種 2,825 筆紀錄、兩棲類 23 種 962 筆紀錄、以及爬行類 273 種 286 筆紀錄，另有哺乳類 2 種 2 筆紀錄。施行有機農法田區的兩棲類紀錄量顯著高於施行慣行農法的田區($p < 0.001$)，鳥類與爬行類的紀錄量則是有機田區顯著低於慣行田區($p < 0.001$; $p < 0.05$)。作物比較分析方面，鳥類於水稻田及番荔枝果園的紀錄筆數顯著高於其他作物($p < 0.001$; $p < 0.001$)；兩棲類於水稻田紀錄筆數顯著高於其他作物($p < 0.001$)；爬行類於水稻田及印度棗果園的紀錄筆數顯著高於其他作物($p < 0.001$; $p < 0.01$)。未來隨時間增加資料量，將以此資料系統建立個別物種族群趨勢並建立各類群之複合物種指標，用以反映農業環境的野生動物變化(林等，2022b)。

保育類生物保護

農業是兼具多元價值的載體，無論在糧食生產、生物多樣性保育、休憩娛樂及傳承傳統知識與文化，都具有無可取代的地位。在維持農業地景的同時，可能無形保育了重要的生物多樣性資源，如 2013 年獲得日本地區全球重要農業遺產系統(Globally Important Agricultural Heritage Systems, GIAHS)殊榮的 Chagusaba 系統，其獨特的日本靜岡地區茶園地景、傳統茶園-野草共生系統，以特定種類禾草的莖稈與葉片鋪於茶園的獨有農業操作，強化保濕與保肥功能，改善了土壤環境，間接使茶的風味與香氣更加提升，並無形間保留了特定的稀有與瀕危植物種類(Inagaki, *et al.* 2010)；在臺灣，推行友善農法以促進保育類生物生存之案例亦日益受重視，透過綠色保育標章的頒布，可達到增值農產品與強化生物保育的雙贏局面，目前已有多種以農田為家的保育動物獲頒綠保標章，如臺南官田菱角田水雉(*Hydrophasianus chirurgus*)、臺北坪林淨源茶翡翠樹蛙(*Zhangixalus prasinatus*)、雲林古坑竹筍諸羅樹蛙(*Z. arvalis*)、南投埔里筊白筍臺灣白魚(*Pararashbora moltrechti*)等，透過農業生態盤點，更可進一步研擬生態給付，目前已納入生態給付的保育動物包括石虎(*Prionailurus bengalensis*)、水雉(*H. chirurgus*)、草鴉(*Tyto longimembris*)與歐亞水獺(*Lutra lutra*)等四種生物，但是否仍有更多生存在易受威脅的里山動物？透過農業長期生態監測與盤點，在維繫生產的同時，亦可提升農業的生態系服務及生物多樣性保育價值。

水產養殖水質監測

本研究運用自動物聯網傳感器自動收集高雄市永安區及屏東縣枋寮鄉養殖漁村 4 處監測站水質即時資料，包括水溫、溶氧、酸鹼值(pH)、氧化還原電位(ORP)、鹽度，並以雲端攝影機持續收集現場影像，另定期彙整鄰近地區氣象資料，以供極端天氣發生時進行追溯分析。在溶氧監測過程發現溶氧具有日周期性，且深受日照、降雨等天氣影響，另除枋寮轉型監測站外，其他測站數據受生物附著影響甚鉅，建議未來可開發電極自體清潔之方式，減少人力成本及數據誤差；在水溫監測方面，高屏地區氣溫相近，測站平均水溫差異不大，枋寮因引入較低溫之地下水，水溫相對較低，永安轉型測站雖引入較低溫的 LNG 冷排水，但因換水量不大且電極深度較淺，受日照及溫度分層影響，水溫並無明顯較低；酸鹼值監測方面，各監測站雖有日變化週期，但平均來看皆維持在 7.5-8 之間，對養殖生物來說較為穩定安全；氧化還原電位監測方面，除移魚等人為操作擾動水體導致急降以外，各監測站平均值皆落在 350-450 mv 等安全範圍內；鹽度監測方面，除連續降雨或長時間日照蒸發作用會導致鹽度變動較大以外，主要以水源鹽度為變動主因，由於枋寮地區養殖之午仔魚較具廣鹽性，引入地下淡水與海水混合後使鹽度平均偏低；在雲端攝影機監控方面，可透過遠端視訊功能查閱天氣狀況(如陰雨)、機械運轉(水車啟動)及現場環境變化，做為養殖管理與追溯分析參考；設置現場水質資訊看板可供管理人員即時瞭解水質狀況，並作為教材結合社區生態導覽，推廣養殖智慧化、科學化等觀念予從業人員或社會大眾。在長期且即時的監測下，可幫助漁民保持良好的養殖水質環境，預防各類疾病發生，配合益生菌及友善養殖方式，將可減少甚至摒棄抗生素等藥物投放，避免禁藥檢出影響出口外銷貿易而造成經濟損失之風險。長期資料之累積與分析亦可作為未來預警減災系統之科學依據(許&吳，2022)。

提供研究平台進行跨領域合作

提供研究平台

農業生態系長期研究監測站開放農業試驗研究單位、大專院校或國內外其他研究機構或團體參與各項研究工作規劃及執行(表 1、表 2)，以增進監測站使用效益及成果產出。

參與國際合作計畫

1. 提供資料分享，國內外合作計畫如下：(1) 以色列特拉維夫大學沙漠型氣候與亞熱帶濕潤型氣候之土壤游離線蟲比較；(2) 美國新罕布希爾大學 DNDC 作物生長模式建立與本土化測試；(3) 美國農部(Agricultural Research Service, ARS)作物模式之建立與本土化測試；(4) 日本北海道大學國際長期生態研究網-氮素倡議(ILTER-N Initiative)；(5) 英國劍橋大學氮素滲漏與循環；(6) 歐洲長期社會生態學研究(Long Term Socio-Ecological Research Platforms, LTSER)之理論架構應用；(7) 中興大學環境工程學系溫室氣體量測；(8) 農業試驗所農業氣象諮詢系統等；(9) 美國 ClimDB 氣象與水文資訊網；(10) 東華大學臺灣兩棲類保育網；(11) 環保署溫室氣體清冊等。
2. 執行國際長期生態研究網(ILTER)、生物多樣性與氮素循環相關之國際合作計畫：
 - (1) 參與國際長期生態研究網氮素倡議計畫之全球凋落物分解試驗(Global Litter Decomposition Study)，與全球 50 個國家共計 459 個長期生態試驗站同步埋設規

格一致之茶包，預計每年進行開挖部份茶包並量測其乾重，以得知凋落物在全球不同生態系統之分解速率，進而評估其對土壤之碳氮循環之影響。(Djukic *et al.*, 2018; Kwon, *et al.*, 2021)

- (2) 參與長期社會生態學研究(LTSER)之理論架構應用，在全世界 25 個研究區域，歸納出各個研究區針對長期社會生態學研究所蒐集的研究變項，包括生態系與社會系統間的互動，進而透過整合式的方法進行多尺度的長期監測與分析研究，同時強調區域研究對象的特色、時/空間尺度、權益關係者的背景等。(Dick *et al.*, 2018)

表 1. 過去參與國科會/科技部整合型計畫列表

整合型計畫名稱	主持人	計畫執行期程
農地土壤施用肥料與農藥對環境生態之影響及因應策略研究	中興大學 楊秋忠教授	2007.08.01-2010.07.31
慣行農耕及永續農耕農業生態系統服務之評估及因應策略	中興大學 楊秋忠教授	2011.08.01-2013.07.31
研析臺灣農業生態系服務最佳化策略	中興大學 林幸助教授	2015.08.01-2017.07.31
以生態系服務觀點探討氣候變遷下水稻田的永續策略	中興大學 楊曼妙教授	2017.08.01-2018.07.31
以生態系服務觀點探討氣候變遷下水稻田的關聯群集及永續策略	中興大學 楊曼妙教授	2018.08.01-2019.07.31
氣候變遷下水稻田生態系服務的永續策略	中興大學 楊曼妙教授	2019.08.01-2020.07.31
水稻田生態系服務價值評估與永續策略	中興大學 林幸助教授	2020.08.01-2021.07.31
建立水稻田永續發展之生態系服務給付架構	中興大學 林幸助教授	2021.08.01-2022.07.31
臺灣坡地茶園之社會、環境與生態永續策略	中興大學 柳婉郁教授	2021.05.01-2023.04.30

- (3) 以臺灣農業長期生態研究資料為基礎，加入瑞典赫爾辛基大學 Otso Ovaskainen 教授主導之 LifePlan 計畫，擬探究全球 100 組都市與郊區樣站進行特定生物多樣性類群之變遷，包括生態聲景調查、紅外線動物影像監測、昆蟲相普查與外生菌根研究等，期可建立全球生物多樣性的現狀，並對未來情況下之生物多樣性做出準確的預測，並提供保育熱點。(Chen *et al.*, 2022)

- (4) 以臺灣農田甲烷排放研究資料為基礎，與美國史丹佛大學 Zutao Ouyang 博士主導之全球農田溫室氣體排放計畫，擬探究全球不同類型農田之溫室氣體排放並尋求降排之關鍵技術，期可應用於季風亞洲區預估水稻田溫室氣體甲烷之排放量，並藉此作為合理修正農事操作之依據，以達到溫室氣體減排與減緩氣候變遷之積極作為。(Ouyang *et al.*, 2023)

舉辦國際研討會

舉辦相關國際研討會，促進學術交流：

1. 於 2017 年主辦「International Workshop on N₂O Emissions in Various Ecosystems: Site-Based Research and Global Synthesis」國際研討會，共邀請 10 國 19 位專家發表專題演講、研討及研究海報展示與實地參訪，國內農業相關單位及校、院系所亦有 30 餘位學者、專家，共計超過 100 位的官、學、研代表與會參加，於會議後建立國際工作小組，進行文獻的回顧與整理，更新在以 ILTER 實驗點為基準的 N₂O 排放監測，並與國際之測量方式進行綜合性討論。
2. 於 2018 年接受國際長期生態研究網 (ILTER) 與東亞太平洋區域網 (ILTER-EAP) 之授權，在臺灣主辦「2018 ILTER & 12th ILTER-EAP Joint Conference」，會議主題為「自然與人為地景下的生態系回復力」，共有超過 25 個國家的學者，與會人數共計 222 人，並發表 125 篇論文與海報。透過本次 ILTER 年會之交流，擬建立東亞太平洋大數據整合平台，進行永續議題的區域性相關研究。

未來研究方向

擴展至長期社會生態研究(LTSER)

在社會生態系中，權益關係人實為涉及生態系程序運作與發展的重要資本，權益關係人參與共分成 3 個階段、8 個階層(Arnstein, 1969; Church *et al.*, 2019)：(1) 未參與：操作(manipulation)、治療(therapy)；(2) 表面參與：告知 (informing)、諮詢 (consulting)、勸解(placation)；以及(3) 公民權力：夥伴關係 (partnership)、委託授權(delegated power)、公民主控 (citizen control)，在既有農業生態系長期研究，除名間茶園監測站因屬與生產者共同建立與維持故為基於夥伴關係建立研究工作，其餘多屬於未參與或表面參與。相對地，政府站在服務者角度與民眾良性互動、尊重其知的權利俾提供參與管道，融合社會科學與公民參與的社會生態研究為增進權益關係人對提高環境政策會農業永續接受度提供良好的契機(Gaba & Bretagnolle, 2020)。

表 2. 過去參與國際合作計畫列表

國際合作項目	合作對象	合作期程
International Long- Term Ecological Research Network	美國 ILTER	2006 迄今
Information Management	美國 KNB 美國維吉尼亞大學 美國新墨西哥大學	2006 迄今
DNDC 應用於臺灣水稻生產模擬	美國 N.H.U.	2013-2015
氣候變遷之作物反應評估與減排調適策略研擬	美國 ARS	2015 迄今
Global Litter Decomposition Study	奧地利	2016-2021
Implementation plan of ILTER-Nitrogen Initiative	日本北海道大學	2017 迄今
4 per 1000 Initiative	法國	2017 迄今
Long-Term Socio-Ecological Research Platforms	英國 UKCEH	2018
Eco-Bank	南韓生態研究所	2019 迄今
Establish of Methane Emission Model	英國劍橋大學	2020 迄今
Lifeplan: A Planetary Inventory of Life	芬蘭赫爾辛基大學	2021 迄今

Bretagnolle *et al.* (2019) 揭櫫在農業生態系長期研究的架構下社會生態系 (Social Ecological System, SES)對農業生態系長期研究 (LTER) 網絡至少帶來 5 種變化：(1) 科學家在長期社會生態研究(LTSE)重視在 LTER 較少涉及的人為干擾；(2) 加入社會學元素後使生態系統複雜度大福提升；(3) 社會科學與生態學/自然科學交流使得產生可辨識別的新議題；(4) 科學家在長期社會生態研究 (LTSE) 中的角色轉換將感知議題轉移至為能在生態系中造成影響的權益關係人帶來知識；(5) 在 LTSE，管理行動代表著對政策或措施的驗證與學習。

影響生態系統運作的不僅只是生態服務的輸出，如同前敘歐盟在農業生態系經營思維包含社會組成本身。Bretagnolle *et al.* (2019) 認為社會生態系乃是耦合在生態系服務與調適管理，調適管理結合研究人員與相關參與者的合作推動實驗與學習，在合作行動、衝突解決、自然資源利用與生態系管理共同提出對策。因此本計畫擬基於既有長期生態研究所識別的自然科學議題，再加入社會科學觀點與權益關係人參與，轉型

為長期社會生態系研究 (LTSER) 始能發揮實質的生態系統管理。

第 4 期目標

配合近期研究經費的整合，第 4 期目標擬定為「運用資訊科技導入社會經濟驅動力，復育農業生態系統、推動自然正成長」。期能發展農業生態系及生物多樣性指標監測與評估方法，並運用所建立指標建立項預警風險或預測其發展趨勢，亦於不同操作類型之農業生態系，結合權益關係人參與改善各項指標。

結語

農業是兼具多元價值的載體，無論在糧食生產、生物多樣性保育、休憩娛樂及傳承傳統知識與文化，都具有無可取代的地位。農業環境不僅是糧食生產的源頭，同時也是許多野生動植物的重要棲地，形成人與自然共生的農業生態系，產生農業生態系獨特的生態系服務。然而，隨著全球環境變遷，人類正同時面臨氣候變遷、糧食短缺及生物多樣性流失等衝擊，農業長期生態研究之跨領域資訊整合應用與擴散，期能為舉世關注的議題產生新知與影響力，建立新時代的農業典範，提出全球環境變遷調適策略，以維繫農業生產，同時提升農業生態系服務及生物多樣性保育價值。

參考文獻

1. 行政院農業委員會。2022。農業統計資料動態查詢，<https://agrstat.coa.gov.tw/sdweb/public/inquiry/InquireAdvance.aspx> (查詢日期 2023 年 4 月 27 日)。
2. 林大利、林湧倫、杜昀珊。2022b。鳥類、兩棲類與爬行類類群多樣性。2022 年農業生態系長期生態研討會專刊。pp. 61-71。8/26-27。西湖鄉農特產品展售綜合活動中心，苗栗。ISBN 978-626-7100-85-0
3. 林芳妘、陳淑娟、林麗淑、謝玉貞。2022a。農業環境蚯蚓多樣性調查研究。2022 年農業生態系長期生態研討會專刊。pp. 50-60。8/26-27。西湖鄉農特產品展售綜合活動中心，苗栗。ISBN 978-626-7100-85-0
4. 許北辰、董耀仁、石憲宗、李奇峯、曾美容、陳淑佩、李啟陽、許育慈、林立、陳泰元、劉東憲、莊國鴻、陳盈丞。2022。農業生態系長期昆蟲普查。2022 年農業生態系長期生態研討會專刊。pp. 9-29。8/26-27。西湖鄉農特產品展售綜合活動中心，苗栗。
5. 許自研、吳豐成。2022。高屏地區養殖漁村水池水質長期監測初探。2022 年農業生態系長期生態研討會專刊。pp. 72-87。8/26-27。西湖鄉農特產品展售綜合活動中心，苗栗。ISBN 978-626-7100-85-0
6. 詹岳魁、陳琦玲、吳泓書、林晉卿、侯平君、姚銘輝、許禎坤、陳建文、林朝欽。2012。農業生態系長期研究場址無線感測器網路建置。臺灣農業研究 61(4): 271-286。
7. Arnstein, S.R. A ladder of citizen participation. *Journal of the American Institute of planners* (1969), 35(4), 216-224.
8. Bretagnolle, V.; Benoît, M.; Bonnefond, M.; Breton, V.; Church, J.; Gaba, S.; Gilbert, D.; Gillet, F.; Glatron, S.; Guerbois, C.; Lamouroux, N.; Lebouvier, M.; Mazé, C.; Mouchel, J.

- M.; Ouin, A.; Pays, O.; Piscart, C.; Ragueneau, O.; Servain, S.; Spiegelberger, T.; & Fritz, H. Action-orientated research and framework: insights from the French long-term social-ecological research network. *Ecology and Society* (2019), 24(3), 10.
9. Chan, Y.K.; Hu, J.H.; Chou, C.Y.; Liao, C.Y.; & Chen, C.L. Development of ICT for Leaching Monitoring in Taiwan Agricultural LTER stations. *Environments* (2017), 4(3), 47-60. DOI:10.3390/environments4030047
 10. Chen, C.L.; Chang, J.Y.; Tsai, J.K.; Wu, S.Y.; & Hu, J.H. Sampling team of the month: ChiayiCity, Taiwan. LIFEPLAN Newsletter May 2022 (2022) (Online newsletter).
 11. Chiu, M.C.; Chen, C.L.; Chen, C.W.; & Lin H.J. Weather fluctuation can override the effects of integrated nutrient management on fungal disease incidence in the rice fields in Taiwan. *Scientific Reports* (2022), 12(1), 4273. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08139-7>
 12. Church, J.M.; Aimont, O.; Guillon, E.; Helder, R.; Lévy, G.; Taborelli, P.; & Grosbellet, J. The project of a LTSER site Driven by civil society in the Argonne. *Sustainability Research in the Upper Rhine Region* (2019), Presses universitaires de Strasbourg, fhal-02377151v2
 13. Djukic I.; Kepfer-Rojas S.; Schmidt I.K.; Larsen K.S.; Beier C.; Berg B.; Verheyen K.; & TeaComposition. Early stage litter decomposition across biomes. *Science of the Total Environment* (2018), 628-629, 1369-1394. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.012>
 14. Dick J.; Orenstein D.; Holzer J.; Wohner C.; Achard A. L.; Andrews C.; Avriel-Avni N.; Beja P.; Blond N.; Cabello J.; Chen C. L.; Díaz-Delgado R.; Giannakis G.; Gingrich S.; Izakovicova Z.; Krauze K.; Lamouroux N.; Leca S.; Melecis V.; Miklós K.; Mimikou M.; Niedrist G.; Piscart C.; Postolache C.; Psomas A.; Santos-Reis M.; Tappeiner U.; Vanderbilt K.; Van Ryckegem G. What is socio-ecological research delivering? A literature survey across 25 international LTSER platforms. *Science of the Total Environment* (2018), 622-623, 1225-1240. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.324>
 15. Gaba, S.; & Bretagnolle, V. Social–ecological experiments to foster agroecological transition. *People and Nature* (2020), 2(2), 317-327.
 16. Hadgu, K.M.H.; Rossing, W.A.H.; Kooistra, L.; & van Bruggen, H.C. Spatial variation in biodiversity, soil degradation and productivity in agricultural landscapes in the highlands of Tigray, northern Ethiopia. *Food Security* (2009), 1: 83-97.
 17. Inagaki, H.; Kusumoto, Y.; Iwasaki, N.; Iwasaki, S.; & Yamamoto, S. Biodiversity evaluation of ‘CHAGUSABA’; semi-natural grassland maintained by green tea cultivation. *Proceeding of the 4th International Conference on O-CHA (Tea) Culture and Science* (2010). 38-41.
 18. Kwon, T.; Shibata, H.; Kepfer-Rojas, S.; Schmidt, I. K.; Larsen, K. S.; Beier, C.; Berg, B.; Verheyen, K.; Lamarque, J. F.; Hagedorn, F.; Eisenhauer, N.; Djukic, I.; TeaComposition. Effects of Climate and Atmospheric Nitrogen Deposition on Early to Mid-Term Stage Litter Decomposition across Biomes. *Frontiers in Forests and Global Change* (2021), 1-18. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.678480>
 19. Michener, W.K.; Brunt, J.W.; Helly, J.J.; Kirchner, T.B.; & Stafford, S.G. Nongeospatial metadata for the ecological sciences. *Ecological Applications* (1997), 7(1), 330-342.
 20. Ouyang, Z.; Jackson, R.B.; McNicol, G.; Fluet-Chouinard, E.; Runkle, B.R.K.; Papale, D.; Knox, S.H.; Cooley, S.; Delwiche, K.B.; Feron, S.; Irvin, J.A.; Malhotra, A.; Muddasir, M.; Sabbatini, S.; Alberto, M.C.R.; Cescatti, A.; Chen, C.L.; Dong, J.; Fong, B.N.; Guo, H.; Hao, L.; Iwata, H.; Jia, Q.; Ju, W.; Kang, M.; Li, H.; Kim, J.; Reba, M.L.; Nayak, A.K.; Roberti, D.R.; Ryu, Y.; Swain, C.K.; Tsuang, B.; Xiao, X.; Yuan, W.; Zhang, G.; & Zhang,

- Y. Paddy rice methane emissions across Monsoon Asia. *Remote Sensing of Environment* (2023), 284, 113335. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113335>
21. Peterseil, J.; Magagna, B.; Wohner, C.; Oggioni, A.; & Watkins, J. D3. 3 Data Models. eLTER (2018). DOI: 10.13140/RG.2.2.11386.95689.
 22. Picasso, V.D.; Brummer, E.C.; Liebman, M.; Dixon, P.M.; & Wilsey, B.J. Crop species diversity affects productivity and weed suppression in perennial polycultures under two management strategies. *Crop Sci* (2008), 48, 331-342.
 23. Tilman D.; Wedin, D.; & Knops, J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature* (1996), 379, 718-720.
 24. Tsai, J.K.; & Chen C.L. Taiwan Agricultural Ecosystem Plant Investigation Methodology for Evaluating Agricultural Ecosystem Services. *Proceedings of the National Institute of Ecology of the Republic of Korea (PNIE)* (2022), 3(1), 1-6. <https://doi.org/10.22920/PNIE.2022.3.1.1>

Review and Perspective of Long Term Ecological Research on Agricultural Ecosystem in Taiwan

Jenn-Kuo Tsai ¹, Chiling Chen ^{1*}, JenYu Chang ¹, Hsien-Tzung Shih ¹, Ai-Hua Yang ², Rei-Chang Wang ², Dah-Jing Liao ³, Jer-Way Chang ³, Yu-Cheng Ko ³, Ju-Hung Lin ⁴, Su-Jein Chang ⁵, Hsin-Yi Jen ⁵, Kuo-Hung Chuang ⁶, Chong-Yi Liao ⁷, Ya-Wen Kuo ⁷, Chia-Chih Chang ⁸, Chia-Chen Pan ⁹, Tai-Yuan Chen ¹⁰, Li Lin ¹¹, Chi-Chung Chang ¹², Tzu-Yen Hsu ¹³, Da-Li Lin ¹⁴ and Yu-Chen Hsieh ¹⁵

- 1 Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Council of Agriculture, Executive Yuan
- 2 Yulin Branch Station, Tainan District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan, Executive Yuan
- 3 Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan
- 4 Tea Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan
- 5 Miaoli District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan
- 6 Taoyuan District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan
- 7 Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan
- 8 Puli Branch Station, Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan
- 9 Tainan District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan
- 10 Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan
- 11 Hualien District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan
- 12 Taitung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan
- 13 Tungkang Biotechnology Research Center, Fisheries Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan
- 14 Endemic Species Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan
- 15 Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan

*Correspondence: Chiling@tari.gov.com

Abstract

Taiwan has been conducting long-term ecological research (LTER) on natural ecosystems since 1992. In 2006, Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), together with Tainan District Agricultural Research and Extension Station (TND AIS), Miaoli District Agricultural Research and Extension Station (MDAIS) and Tea Research and Extension Station (TRES), began the research on agroecosystems and established six research sites successively in central Taiwan. LTER collects long-term interdisciplinary data across spaces to understand the structure, composition, and interactions of ecosystems. The overall goal of the project is to understand the impact of environmental changes on ecosystem service functions through long-term observations and to investigate whether eco-friendly agricultural practices can reduce the use of agrochemicals in subtropical cropping systems. To showcase the results of the project, a short-term goal is set every six years. The first phase (2006-2011) studies the impact of different agricultural practices on the productivity maintenance and biodiversity of ecological systems under different cultivation systems, as well as their risk to the environment, to explore better agricultural management models. The second phase (2012-2017) focuses on observing the long-term impact of climate change on crop production, pest and predator populations, disease incidence and weed changes, so as to devise possible adaptation strategies. The third phase (2018-2023) aims to enumerate and evaluate the multifunctional values of agroecosystems from market and non-market perspectives such as supply, support, regulation, and culture, to provide a reference for developing agricultural environmental payment measures. To enable data reuse, prolong data available-time and enhance data value, the data obtained from this research are

documented using the Ecological Metadata Language (EML) file by Morpho software and stored in the Metacat ecological database to facilitate information exchange, thus participating in multiple international cooperation projects to improve research capacity and quality and connects Taiwan to the international community. Since 2020, TARI has expanded ten monitoring sites throughout Taiwan in collaboration with Fisheries Research Institute and Agricultural Research and Extension Stations in various districts, including two aquaculture sites and eight agricultural sites, to conduct ecological monitoring of water quality and rural farming areas and observe the impact of different agricultural practices and climate change on the ecosystem, with the goal of achieving precise management of pest control and fertilization. Additionally, participatory research involving agricultural and fishing communities is attempted aiming to increase producers' awareness and practice of ecology and the environment, reducing the impact of agricultural production on ecosystem service functions. Currently, Taiwan's agricultural LTER still leans towards natural sciences, but social sciences research will be increasingly incorporated. The fourth phase (2024-2019) aims to induce information technology for socioeconomic driver to restore agro-ecosystems and promote nature positive. Long-Term Social Ecological Research (LTSER) will be conducted to explore the interaction between natural ecological environments and communities.

Keywords: Agricultural Ecosystem, Long-Term Ecological Research, Subtropical, Service function

長期水旱田輪作生態系在不同施肥處理 之土壤微生物研究

Asif Hameed¹、沈佛亭¹、林詩耀¹、黃欣怡¹、林毓雯²、楊秋忠^{1*}

¹ 國立中興大學土壤環境科學系

² 行政院農業委員會農業試驗所

*聯繫人 e-mail: cyoung@mail.nchu.edu.tw

摘要

本研究為了實踐農業的永續集約化生產，在台灣台中市亞熱帶評估了 23 年長期 (1996-2019 年)施用有機質肥料與化學肥料對水旱輪作水稻及玉米系統的糧食產量及土壤因素的影響。進行田間處理包括豬糞堆肥(CP)、化學肥料(CF)、無肥料(CK, 對照)及堆肥及添加 1/3 與 2/3 氮素 (CP、CPN1 及 CPN2)、泥炭添加 1/3(PN1)及綠肥添加 1/3(GMN1)等共 7 個處理。本研究測試土壤性質包括 pH 值、電導率(EC)、有機質(OM)、養分、微生物代謝及利用擴增子(amplicon sequencing)測序分析原核生物(細菌和古細菌)組成。結果顯示玉米在 CF、GMN1 和三種 CP(CP、CPN1 和 CPN2)的處理下，呈現顯著增產趨勢(斜率 132.2-156.1 kg h⁻¹ yr⁻¹ *** $p < 0.01$)，而水稻產量顯示出非顯著的邊際改善(斜率 26.7-46.7 kg h⁻¹ yr⁻¹)或負結果(斜率 -16.52 kg h⁻¹ yr⁻¹, CF)。土壤因素的主成分分析顯示在玉米-水稻輪作過程中，CP-CPN1-CPN2、CF-GMN1-CK 及 PN1 存在明顯的三個簇組(cluster)。基於 CP 的處理尤其改善了作物輪作期間的 OM、EC、微生物代謝和養分有效性。在玉米種植期間明顯的土壤微生物活動及細菌豐度。相比之下，水稻種植過程中發現有氧代謝低，細菌和古細菌物種豐富度、多樣性和均勻度高。在 β 多樣性分析期間獲得的 CP-CPN1-CPN1 及 CF-GMN 處理的簇組與土壤因子的簇組一致，而 CK-PN1 的簇組顯示儘管營養有效性不同，但原核生物組成具有驚人的相似性。總之，在基於 CP 的長期施入下觀察到的玉米產量增加趨勢與同時酸化土壤的 CF 和 GMN1 改良劑相當。數量上佔優勢的好氧細菌似乎有助於養分循環，並促進玉米產量，而新陳代謝遲緩的多種原核生物的招募則限制了養分周轉，從而使水稻產量停滯不前。

關鍵字：長期生態研究、水旱田輪作、有機質肥料、化學肥料、微生物、堆肥、泥炭、綠肥、土壤原核生物、植物生產力、永續農業

前言

台灣屬亞熱帶地區一年耕作多次，與溫帶歐美國家一年耕作一次的種植頻度不同，溫帶地區的長期生態研究(LTER)是否會有相同與不同的結論值得探索。台灣的密集式的農業耕作，問題較需重視。全球農地普遍面臨長期大量施用化學肥料，導致土壤酸化及退化的問題，引起土壤有機質降低、蟲害增加及養分不均衡，導致作物需大幅度增加施用化肥及農藥，在此惡性循環下將造成食品安全及糧食安全堪虞。

旱田玉米與水田水稻輪作是穀物生產集約化的永續方式(Timsina *et al.*, 2010)。輪作影響植物的氮供應(Witt *et al.*, 1998)、土壤細菌群落結構及農業產量(Xuan *et al.*, 2012)。早期的研究表明，在將好氧植物納入輪作後，氮回收率低或氮損失高(Weller *et al.*, 2015; Fuhrmann *et al.*, 2018)以及微生物群落組成的變化(Breidenbach and Conrad, 2015; Breidenbach *et al.*, 2016, 2017)。然而，在玉米-水稻輪作系統中，糧食產量趨勢和土壤原核生物等土壤因子的敏感性及其對各種施肥方案的代謝反應仍未得到探索。目前的長期研究旨在了解這些方面，並確定亞熱帶土壤中玉米-水稻輪作農業可持續集約化的最佳施肥量。本文為了瞭解亞熱帶-熱帶的台灣永續農業(sustainable agriculture)的生產，在田間土壤管理有效達成永續的發展，農業長期生態研究在不同施肥(化學肥料及有機質肥料)對作物生產及土壤的影響值得深入探討(Hameed *et al.*, 2023)。

材料與方法

長期不同施肥之水旱輪作水稻及玉米生態系田區，在 1995 年 8 月開始建立至今，此栽培系統每年均依照所設計相同之處理方式，其土壤、作物、肥料及田間設計如下：

1. 供試土壤

田間試驗設置於於台中縣霧峰鄉行政院農委會農業試驗所之 35 號試驗田，土壤為砂頁岩非石灰性新沖積土，七塊厝系，屬壤質土壤，1995 年 8 月試驗開始時，測定之土壤性質為：pH (1:1)為 5.3，陽離子交換容量為 7.4 cmol kg⁻¹，交換性鉀、鈣、鎂、鋁、鋅、錳、銅及鐵分別為 74、625、149、0.23、4.3、62、4.6 與 891 mg kg⁻¹，Bray No. 1 法可萃取磷為 14.8 mg kg⁻¹。

2. 水旱田選用相同之水稻及玉米作物系

水稻 (*Oryza sativa* L., cv. TN No.67)：台農六十七號水稻，於每年第一期栽種。

玉米 (*Zea mays* L., cv. TN No.1)：台農一號飼料玉米，於每年第二期栽種。

3. 肥料種類及施肥推薦用量

(1)水稻施用三要素肥料之 N-P₂O₅-K₂O 用量為 120-60-60 公斤/公頃，所使用之化學肥料分別為硫酸銨、過磷酸鈣及氯化鉀，有機資材為：(1) 豬糞堆肥、(2) 綠肥一期水稻採用埃及三葉草、二期玉米採用田菁 (因不宜冬天生長，春作水稻只能用埃及三葉草) 及 (3) 泥炭。

(2)玉米施用三要素肥料之用量 N-P₂O₅-K₂O 為 140-80-80 公斤/公頃，所使用之化學肥料有尿素、過磷酸鈣與氯化鉀，有機資材為台灣農民常用之豬糞堆肥、田菁、埃及三葉草及不易分解之泥炭。

4. 田間設計處理

田間處理為七種施肥處理 (各四重複) 採用 RCBD 設計，磷及鉀肥均為同量，各處理如下：

- (1) 無肥料(CK)：不施任何肥料資材。
- (2) 化學肥料(CF)：施肥手冊推薦化學肥料施用量，做有機質肥料之相對含氮量比較。
- (3) 堆肥(CP)：有機質堆肥處理，只有堆肥之氮，不加化學 N。
- (4) 堆肥+N1(CPN1)：有機質堆肥處理，即堆肥外，加化學 N 肥之 1/3 量。
- (5) 堆肥+N2(CPN2)：有機質堆肥處理，即堆肥外，加化學 N 肥之 2/3 量。
- (6) 綠肥+N1(GMN1)：即綠肥外 (夏季以田菁、冬季以埃及三葉草)，加 1/3 化學 N 肥。
- (7) 泥炭(P)+N1(PN1)：即泥炭外，加 1/3 化學 N 肥。

5. 土壤採集及分析

(1) 土壤理化性分析：

依水稻之分蘗期(RRS)與開花期(RFS)，玉米之齊膝期(MRS)與開花期(MFS)各別採樣二次。每處理每重複採五點土樣混合後裝於塑膠袋中帶回實驗室，於室溫下風乾後過篩並混合均勻，將土壤樣品放入塑膠袋中保存於 4°C 冰箱中待用分析[7]，分析項目包括 pH 值、EC 值、有機質、有機碳、及有效性磷、鉀、鈣、鎂、銅、鋅。使用 *mothur* 計算了 Alpha 多樣性指數，包括觀察到的物種 (Sobs)、Chao 的物種豐富度 (Chao1) 和 Shannon 的多樣性 (H') 和均勻度 (J')。稀疏曲線和 β 多樣性評估 (Bray-Curtis 聚類熱圖和非度量多維尺度 (NMDS)) 是使用 VEGAN (Dixon 2003) 製作的。

(2) 利用擴增子 (amplicon sequencing) 測序分析土壤原核生物群落：

根據商業使用 DNA 分離試劑盒 (UltraClean™ Power Soil MO BIO Laboratories, Inc., USA) 提取 MFS 和 RFS DNA。S-D-Bact-0341-b-S-17(5'-CCTACGGGNGGCWGCAG-3') 及 S-D-Bact-0785-a-A-21(5'-GACTACHVGGGTATCTAATCC-3') 用作 PCR 的位點特異性引物。據報導這些引物通過擴增 16S rRNA 基因的 V3-V4 區域，利用 16S 宏基因組測序文庫製備試劑盒 (Illumina, San Diego, CA, USA)，使用上述具有 5' Illumina 接頭懸垂的引物生成擴增子。通過 Nextera XT 索引試劑盒 (Illumina, 聖地亞哥，加利福尼亞州，美國) 將索引適配器整合到擴增子中。通過 4200 TapeStation 系統 (安捷倫科技公司，聖克拉拉，加利福尼亞州，美國) 篩選擴增子的大小準確度。將樣品與 MiSeq Reagent Kit v3 (600 個循環) 混合，加載到 MiSeq 盒中，並使用 MiSeq 平台 (Illumina, 聖地亞哥，加利福尼亞州，美國) 進行雙端測序 (2×300 bp)。

使用 Bowtie 2 (Langmead and Salzberg, 2012) 過濾配對末端原始 FASTQ 讀數以去除 Illumina PhiX 對照。使用 Trimmomatic (Bolger *et al.*, 2014) 移除平均質量值 <20 的序列以產生乾淨的讀數。使用 FLASH 合併乾淨的雙端讀取 (Mago and Salzberg, 2011)。低質量的尾巴和引物被 *mothur* 修剪和過濾 (Schloss *et al.*, 2009)。USEARCH 用於從過濾標籤中去除 PCR 嵌合體以生成有效標籤並構建具有 97% 序列同一性閾值的操作分類單元 (OTU) (Edgar, 2013)。OTU 的分類學分配由 *mothur* 在參考 SILVA 數據庫 v132 (Quast *et al.*, 2013; Yilmaz *et al.*, 2014) 時進行。通過 QIIME 分析分類群和等級豐度 (Caporaso *et al.* 2010)。使用 *mothur* 計算了 Alpha 多

樣性指數，包括觀察到的物種 (Sobs)、Chao 的物種豐富度 (Chao1) 和 Shannon 的多樣性 (H') 和均勻度 (J')。稀疏曲線和 β 多樣性評估 (Bray-Curtis 聚類熱圖和非度量多維尺度 (NMDS)) 是使用 VEGAN (Dixon 2003) 製作的。

(3) 統計分析

利用單因素方差分析 (ANOVA) 確定作物產量及土壤因素的統計顯著性 Tukey 使用 GraphPad Prism 的多重比較測試。通過基於 Pearson 相關矩陣的主成分分析 (PCA) 評估處理與變量 (土壤化學和 AWCD 數據、多樣性指數、域級和門級分類群豐度) 之間的關係。數據取自輪換的連續兩年 (2017-2019)。值 >0.5 的有意義載荷在主成分的解釋中被認為是顯著的 (Manly, 1994)。繪製了將原始變量繪製為向量的雙標圖，以總結變量與兩個圖示軸之間的相關性 (Nair and Ngouajio, 2012)。

結果及討論

作物產量的變化

通過線性回歸分析評估長期 (1996-2019) 施肥處理下的玉米和水稻產量 (圖 1)。相比之下，在各種化肥投入下，水稻產量沒有顯著增長，但全量化學肥料處理 (CF) 呈下降趨勢。玉米對施用肥料的反應逐漸增加，其中施用堆肥+半量化肥 (CPN1) 之處理提高玉米產量，與全量化學肥料處理 (CF) 相當。

據報導，玉米 (Buhiniček *et al.*, 2021; Nel *et al.*, 1996) 及水稻 (Abdullah Al Mamun *et al.*, 2021) 的穀物產量存在空間和/或時間變化。作物基因型和/或農藝實踐也會影響玉米產量 (Rizzo *et al.*, 2022; Tollenaar, 1989; Nel *et al.*, 1996; Buhiniček *et al.*, 2021) 和水稻產量 (Peng *et al.*, 1999)。本研究確定了在亞熱帶玉米-水稻輪作系統中玉米產量的顯著處理與時間變異，及水稻產量的停滯反應。

土壤因子的變化

評估土壤因子的變化以作為長期肥料修正的指標。研究結果顯示玉米-MRS 的土壤 pH 在基於堆肥 (CP) 的處理介於 5.2-6.1 之間，在化學肥料 (CF) 及綠肥-GMN1 處理下酸化介於 4.5-5.4 之間。水稻-RFS (0.3) 相比與玉米-MFS (0.9) 的土壤 pH 值偏差較高。在分析土壤因子時，在 PCA 雙標圖上觀察到 CP-CPN1-CPN2、PN1 和 CF-CK-GMN1 的不同分簇 (圖 2)。與水稻-RFS (40.23%) 相比，PC1 解釋的變異比例在玉米-MFS 中更高 (44.13%)，而它們的 PC2 軸表現出邊際變異 (17.47 對 17.56%)。土壤大量營養元素 (總 N、有效性磷和鉀) 與玉米-MFS 和水稻-RFS 的 CP-CPN1-CPN2 簇組顯著 ($p < 0.05$) 正相關。雖然有效性 Zn 與玉米-MFS 的 CP-CPN1-CPN2 簇呈正相關 ($p < 0.05$)，pH、AWCD 及 EC 與水稻-RFS 的 CP-CPN1-CPN2 簇呈正相關 ($p < 0.05$)。雖然土壤有機質 (SOM) 和有效性 Ca 和 Mg 與 PN1 處理的玉米-MRS 呈正相關 ($p < 0.05$)，與化學肥料 (CF) 相比，它們在 CP-、CPN1- 和 CPN2 處理的玉米-MRS 中的含量也較高。相比之下，有效性 Fe 和 Cu 與玉米-MRS 的 CF-GMN1-CK 簇組呈正相關 ($p < 0.05$)。然而，沒有觀察到乙炔還原及有效性 Mn 含量與各施肥處理的顯著相關性。

長期研究發現，大多數測試的土壤因素 (包括土壤 pH 值) 在處理和栽培方面存在顯著差異。在化學肥料 (CF) 施用下發生的土壤酸化可歸因於硝化作用釋放的質子 (Wolcott *et al.*, 1965; Bolan *et al.*, 1991; Guo *et al.*, 2010)。相比之下，豆科植物的固氮作用 (Nyatsanga and Pierre, 1973; Bolan *et al.*, 1991) 和硝化作用一起可能促成了施用綠肥-

GMN1 下的酸化。隨著土壤酸度的增加，大量/微量營養元素(鐵除外)的有效性下降 (Truog, 1947)。與化學肥料(CF)相比，基於堆肥(CP)的改良劑中檢測到的大量土壤 N 反映了前者 N 損失的減少。酸性 pH 有利於 Fe 的可用性 (Truog, 1947)。化肥 (CF)及綠肥-GMN1 處理中的 Fe 改良土壤。然而在化肥(CF)和綠肥-GMN1 施用下檢測到高有效性 Cu，因為酸性會促進 Cu 的有效性(Truog, 1947)。

據報導長期有機改良劑利用增加土壤的有機碳和養分容量來提高水稻產量(Bi *et al.*, 2009)。與此一致，與玉米-MRS 中的化肥(CF)處理相比，長期堆肥(CP)處理導致 EC 和 SOM 得到改善。除了 pH 值之外，EC 是塑造集約化溫室土壤中細菌群落的重要土壤因素(Kim *et al.*, 2016)。AWCD 及 EC 的同時顯示土壤微生物活動可能對玉米-MRS 中的電解物質有貢獻。土壤的高有效性 Ca 可能是泥炭沉積物的衍生效應(Arkhipov and Bernatonis, 2006)，而高土壤有機質(SOM) 可能代表泥炭-PN1 施用下有機物質的頑固性。

棲息在玉米-MRS 處理的土壤微生物的群落水平生理分析 (CLPP)

群落水平生理分析(CLPP) 已被廣泛用於評估土壤中的微生物群落多樣性(Koner *et al.*, 2022 ; Shen and Lin, 2021, ; Chen *et al.*, 2021)。本研究棲息在玉米-MRS 中的微生物的 CLPP 是利用 Biolog EcoPlate 測定的分析。根據 Insam (1997) 對 EcoPlate 可用的生長基質進行分類以進行數據分析。EcoPlate 數據的熱圖分析顯示，與水稻-RFS 相比，玉米-MFS 微生物的有氧代謝更高(圖 3a)。微生物代謝也隨植物生長階段(分蘗及開花)而變化，PCA 證實了這一點(圖 3b-c)。玉米-MFS 及水稻-RFS 的分蘗樣本進一步顯示了代謝活動的逐年分離。然而，沒有檢測到對肥料施入的新陳代謝有明顯變化。管理措施和季節是影響土壤微生物群落代謝的重要因素(Shen and Lin, 2021 ; Chen *et al.*, 2021 ; Anna *et al.*, 2017)。本研究的數據顯示生長階段及種植培養條件(水/旱)顯著影響玉米-MRS 土壤微生物的生理學。

土壤原核生物群落組成的變化

本研究利用 16S rRNA 基因擴增子測序研究了土壤原核生物群落中可能的波動，以了解為棲息在玉米-MRS 土壤中的微生物已獲得對比 CLPP 支結果。以 OUT (operational taxonomic units)是操作分類單位分析的標誌。有趣的是，56 個土壤樣本中觀察到的物種/OTU 的稀疏圖，每個樣本至少有 52,674 個序列(虛線垂直 x 軸截距)，顯示與玉米相比，水稻中的 OUT(操作分類單位)相對較高。與玉米-MRS 中的其他處理相比，基於堆肥(CP)的施入(CP、CPN1 和 CPN2)導致更多的 OTU。利用 PCA 研究肥料施用處理、多樣性指數及類群域水平豐度之間的關係(圖 4)。PC1 和 PC2 解釋的變異比例分別為 60.12%和 25.07%。細菌的代表與玉米-MFS 呈正相關 ($p < 0.05$)，同時分別與 CP-CPN1-CPN2 及 CF-GMN1 簇建立進一步的正相關及負相關 ($p < 0.05$)。相反的，Sobs、Chao1、H'、J'、Archaea 和未知分類群與水稻-RFS 呈正相關 ($p < 0.05$)，其中前四個參數與 CF-GMN1 簇呈負(ns)相關。因此，雖然玉米土壤中的細菌豐度很高，但水稻土壤中的細菌和古細菌物種豐富度及多樣性卻很明顯。CF/GMN1 施肥處理分別抑制了玉米和水稻種植過程中的細菌和古細菌。

Bray-Curtis 數據的分簇熱圖顯示了玉米-MFS 和水稻-RFS 的兩個主要演化支，主要顯示玉米-MRS 中離散的作物成分差異(圖 5a)。NMDS 圖顯示玉米-MFS 及水稻-RFS 內 CF-GMN1、CK-PN1 和 CP-CPN1-CPN2 的明顯聚類，顯示玉米-MRS 中處理方面的組成差異(圖 5b)。我們在玉米-MRS 中檢測到分別屬於細菌和古細菌的 43 個和 6 個門，分為高豐度(5-30%，n=8)、中等(1-4%，n=8)及低豐度(<1%，n=27) 分類群(表 S6)。玉米

-MFS 及水稻-RFS 樣品在 PC1 上彼此廣泛分離，大部分門位於水稻-RFS 佔據的象限(圖 6)。CF-GMN1、CK-PN1 和 CP-CPN1-CPN2 在玉米-MFS 及水稻-RFS 中的不同聚類通過 PC2 顯而易見。PC1 及 PC2 解釋的變異比例分別為 40.59% 及 18.72%。Thaumarchaeota、Actinobacteria、Firmicutes、Planctomycetes、WPS-2、Chlamydiae 和 Dependientiae 與玉米-MFS 呈正相關 ($p < 0.05$)。Proteobacteria、Gemmatimonadetes、Chlamydiae、Dependentiae、Entotheonellaeota、Tenericutes 及 Halanaerobiaeota 與 CF-GMN1 簇呈負相關 ($p < 0.05$)，而只有 WPS-2 與 CP-CPN1-CPN2 簇呈負相關 ($p < 0.05$)。相反的，Acidobacteria、Bacteroidetes、Patescibacteria、Nitrospirae、Bacteria_unclassified、Cyanobacteria、Armatimonadetes、Spirochaetes、Elusimicrobia、Epsilonbacteraeota、BRC1、Hydrogenedentes、FCPU426、Zixibacteria、Fibrobacteres、WS4、Omnitrophicaeota、Kiritimatiellaeota、WS2、Nitrospinae、WORstonebacteriaer、Lentisphaeriae、Fusobacteria、Crenarchaeota、Nanoarchaeaeota 及 Archaea_unclassified 與 RFS 呈正相關 ($p < 0.05$)。Rokubacteria、Latescibacteria、Dadabacteria 和 Deinococcus-Thermus 與 CF-GMN1 簇呈負相關 ($p < 0.05$)，而 Chloroflexi 和 GAL15 與 CP-CPN1-CPN2 簇呈負相關 ($p < 0.05$)。

通過分層聚類熱圖研究棲息在玉米-MRS 中的前 40 個細菌類群的屬及種水平豐度。雖然在屬水平上獲得了微生物組的兩個不同演化支，但這些演化支在物種水平上被解剖顯示出代表。基於超變 V3-V4 區域的分析顯示玉米-MFS 中的高豐度細菌和 RFS 中的高原核物種豐富度和多樣性。在淹水稻田中，原核生物的豐度、多樣性和群落結構隨季節和長期施肥而波動(Ahn *et al.*, 2012)。據記載，水淹水稻和非水淹玉米中存在大量細菌，隨後是古細菌(Breidenbach and Conrad, 2015；Breidenbach *et al.*, 2016, 2017)。與單一栽培的玉米相比，意大利水稻的根際和大塊土壤顯示出較高的物種豐富度；然而，作物輪作對演替的貢獻不同(Maarastawi *et al.*, 2018)。我們發現在連續兩年的輪換期間，棲息在玉米-MRS 中的細菌和古細菌門(分別為 30 和 4)發生了顯著變化。我們進一步發現，RFS 含有未充分探索的“低豐度”細菌和古細菌門(分別為 24 個和 3 個)，而玉米-FS 被發現可以容納充分探索的“高豐度”細菌門。這些原核生物門根據洪水狀態和/或肥料輸入發生顯著變化，而其餘分類群在數量上保持穩定。這些“高豐度”細菌門可能是玉米-MFS 微生物對 EcoPlate 底物進行活性代謝的驅動力。

Beta 多樣性分析顯示玉米-MRS 原核生物在管理方面及作物方面的組成差異，證實了之前關於短期玉米-水稻系統的發現(Breidenbach *et al.*, 2016, 2017；Maarastawi *et al.*, 2018；Frindte *et al.*, 2020)。在 NMDS 圖中看到的 CF-GMN1 及 CP-CPN1-CPN2 的不同分簇也在土壤化學及 AWCD 數據的 PCA 雙標圖中看到，反映了生物和非生物因素之間的相關性。土壤 pH 值的變化強烈影響細菌群落，這顯然是由於細菌最佳生長所需的窄 pH 值範圍(Rousk *et al.*, 2010)。土壤 pH 值很可能在塑造在 CF 及 GMN1 與 CP、CPN1 和 CPN2 處理下觀察到的不同原核生物群落方面發揮了重要作用。玉米-MFS 中高豐度的好氧銨氧化奇古菌 (Thaumarchaeota) 與之前的報告一致(Breidenbach *et al.*, 2016)。水稻田是大氣甲烷的主要生物源(Liesack *et al.*, 2000)，本研究發現在這種土壤中古細菌中產甲烷的廣菌門 (Euryarchaeota) 佔優勢也就不足為奇。需要進一步的研究來驗證基於化學肥料(CP) 處理的對古生菌 Thaumarchaeota 及 Euryarchaeota 的限制，因為抑制這些分類群有助於改善玉米-MRS 中的 N 損失和甲烷排放。

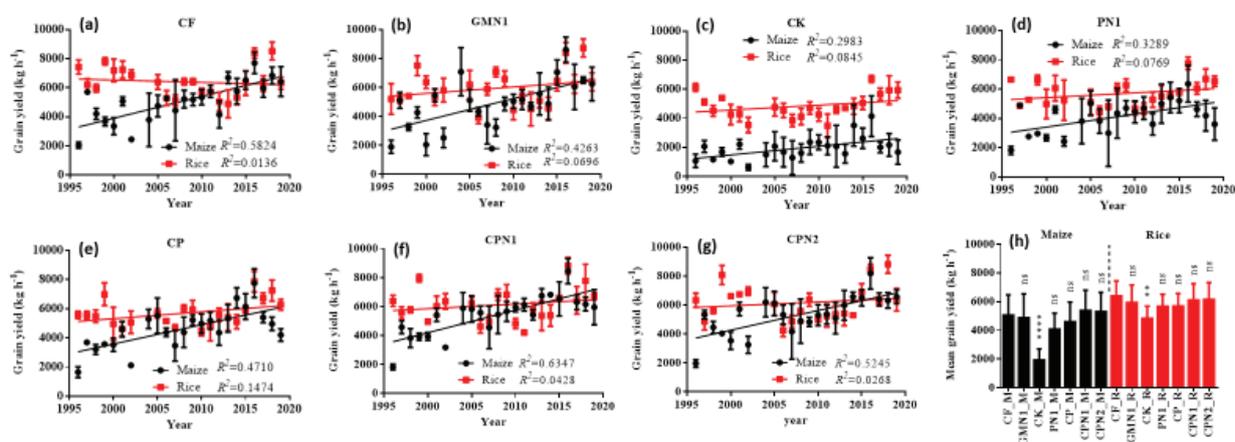


圖 1. 不同施肥條件下亞熱帶長期(1996-2019)玉米-水稻輪作農業生態系統的糧食產量進展。全量化肥(CF, a)、綠肥+1/3N(GMN1, b)、空白不施肥(CK, c)玉米(黑)和水稻(紅)籽粒產量的線性回歸分析，顯示泥炭+1/3 N(PN1, d)，豬糞堆肥(CP, e)，CP+1/3N(CPN1, f)及 CP+2/3N(CPN2, g)；數據點是平均產量 ($n=4$) \pm s.d； p 值 (** $p < 0.05$ 、*** $p < 0.01$ 和 **** $p < 0.0001$)指的是斜率顯著非零。ns, 不顯著。

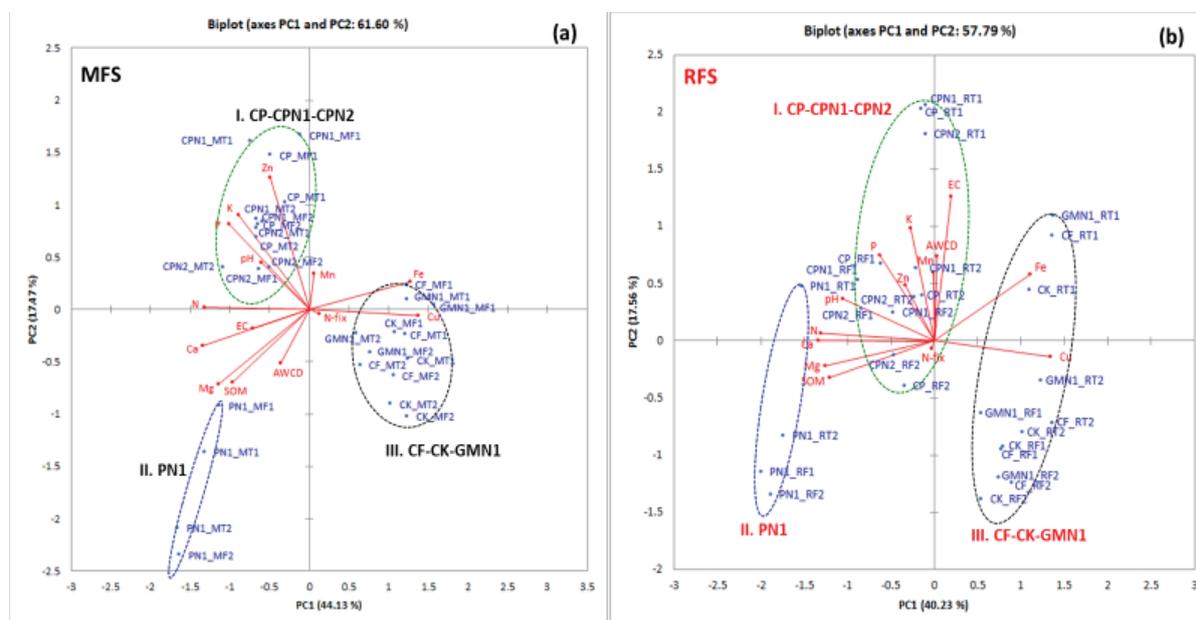


圖 2. 在特定施肥條件下維持的亞熱帶長期玉米-水稻輪作農業生態系統中土壤化學性質和微生物活動 (AWCD) 的變化。

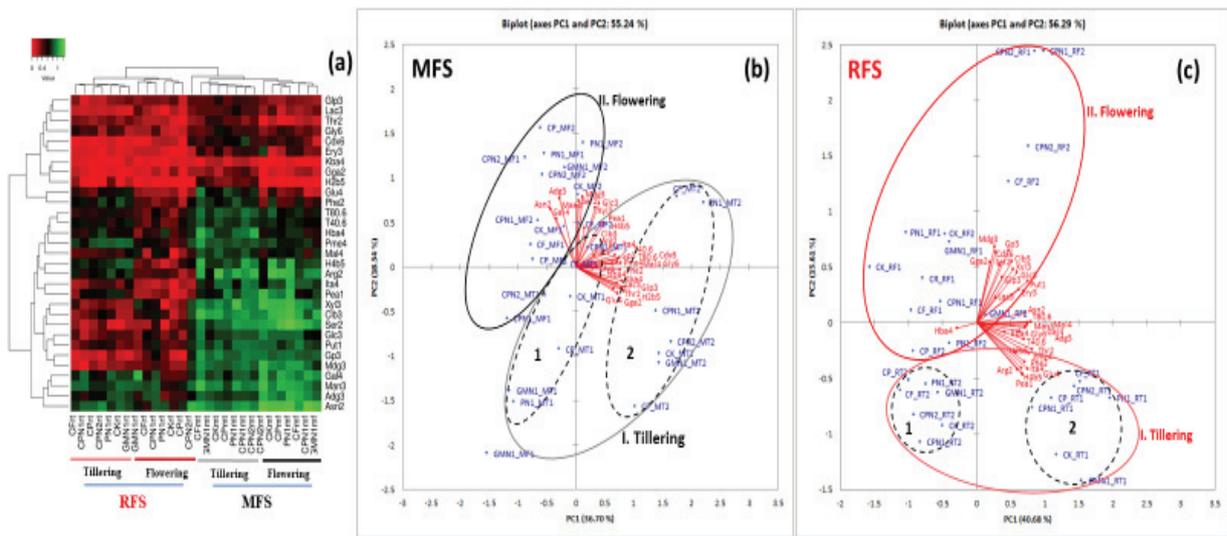


圖 3. EcoPlate 數據的熱圖 (a) 和主成分分析 (b-c) 顯示了玉米-水稻輪作期間不同微生物
有機代謝活動作為肥料改良和淹水的函數。玉米分蘗和開花(分別為 MTS 和 MFS) ;
水稻分蘗和開花(分別為 RTS 和 RFS)。

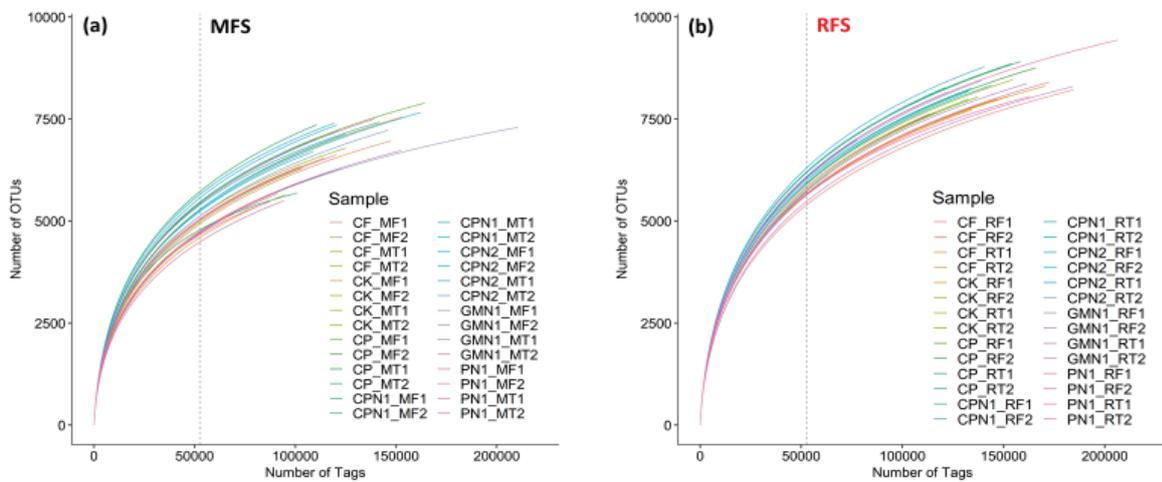


圖 4. 在特定施肥條件下維持的亞熱帶長期玉米-水稻輪作農業生態系統中 OTU 的
變化。

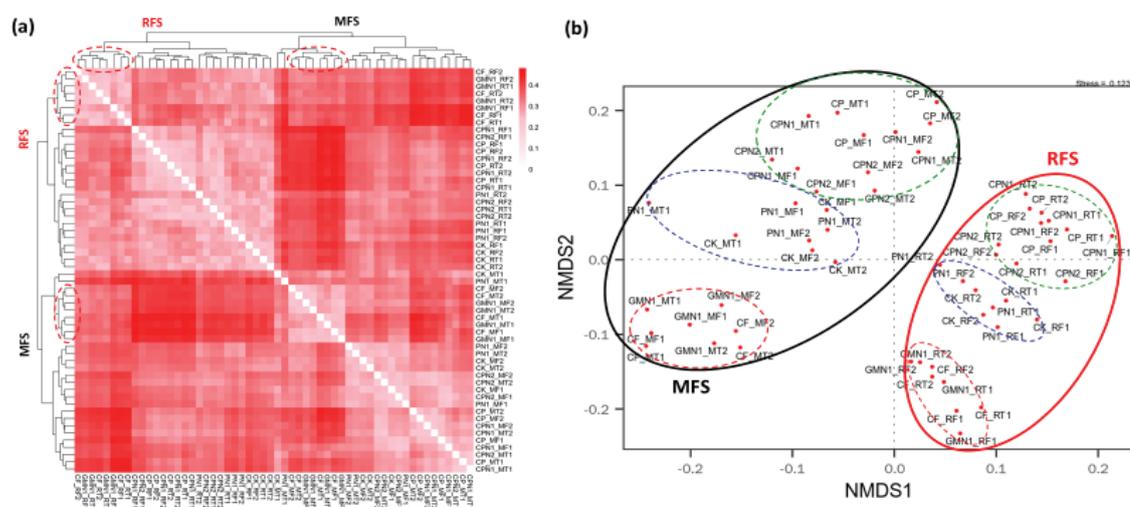


圖 5. 不同施肥條件下玉米-水稻輪作期間檢測到的土壤原核 OTUs 的 Beta 多樣性分析。顯示了 OTU (a) 的 Bray-Curtis 成對組成差異的聚類熱圖和相關的非度量多維尺度 (NMDS) 模式 (b)。處理代碼在圖 2 中指定。

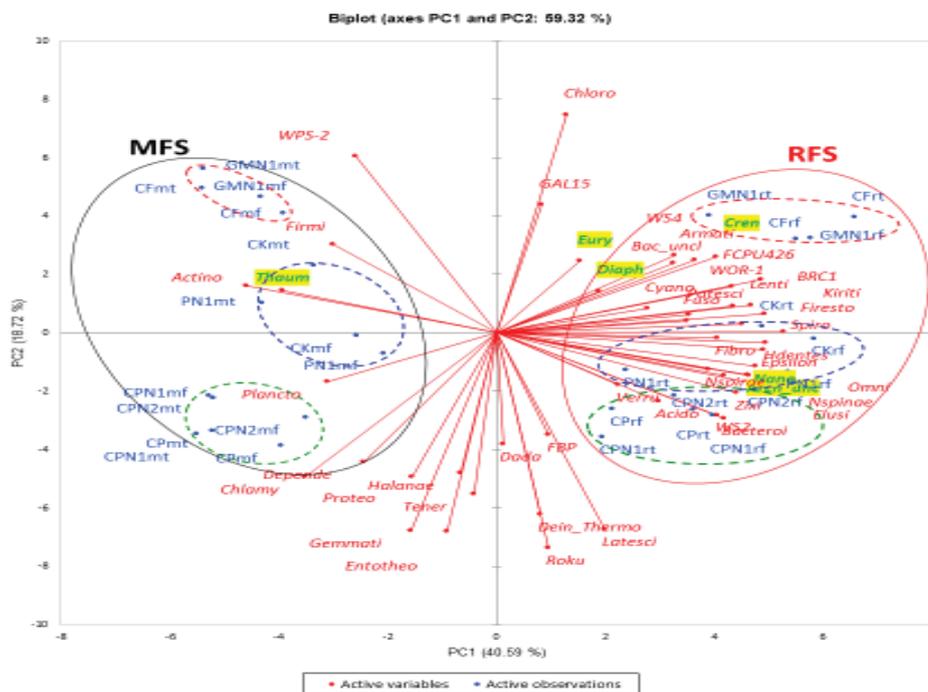


圖 6. 不同施肥條件下玉米-水稻輪作期間檢測到的土壤原核生物門豐度的主成分分析(PCA)。PCA 基於 Pearson 相關矩陣。

結論

本研究檢測到玉米產量逐漸增加，而水稻產量在基於化學肥料(CF)、綠肥-GMN1及堆肥(CP)的長期玉米-水稻輪作期間似乎停滯不前。堆肥-CPN1 的長期應用提高了玉米和水稻的平均糧食產量，與各自的化學肥料(CF) 處理相當。基於堆肥(CP)的改良劑維持了土壤 pH 值、EC 和 SOM，顯著增加大量/微量營養元素，並提高了微生物活性和原核生物(細菌和古細菌)的多樣性。相比之下，CF 和 GMN1 應用降低了土壤 pH 值、EC、SOM、大量/微量營養元素和細菌多樣性。基於堆肥(CP)的改良劑分別抑制了玉米和稻田土壤中的氨氧化奇古菌 (Thaumarchaeota)及厭氧產甲烷廣古菌 (Euryarchaeota)。本研究認為基於堆肥(CP) 的玉米-MRS 是一種永續農業實踐手段，因為它改善了土壤養分、產量及土壤微生物組的多樣性。至於未來在化學肥料及綠肥處理對土壤 pH 的下降之影響，值得繼續觀察。

致謝：本文為本研究室 Hameed, A., Y.P. Chen, F.T. Shen, S.Y. Lin, H.I. Huang, Y.W. Lin, and C.C. Young. (2023) *Applied Soil Ecology* 184, 共同發表之內容，本人經節錄部分內容書寫成中文。 <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104772>。感謝行政院國家科學委員會長期支助本研究室計畫研究之經費及行政院農委會農業試驗所支持提供長期生態試驗田之研究。

參考文獻

1. Ahn, J.H., Song, J., Kim, B.Y., Kim, M.S., Joa, J.H., Weon, H.Y., 2012. Characterization of the bacterial and archaeal communities in rice field soils subjected to long-term fertilization practices. *J. Microbiol.* 50, 754–765.
2. Anna, G., Gawryjolek, K., Perzyński, A., Gałazka, R., 2017. Changes in Enzymatic Activities and Microbial Communities in Soil under Long-Term Maize Monoculture and Crop Rotation. *Pol. J. Environ. Stud.* 26, 39–46.
3. Arkhipov, V.S., Bernatonis, V.K., 2006. Distribution of calcium in peat deposits of the central part of Western Siberia. *Eurasian Soil Sci.* 39, 261–269.
4. Bi, L.D., Zhang, B., Liu, G.R., Li, Z.Z., Liu, Y.R., Ye, C., Yu, X.C., Lai, T., Zhang, J.G., Yin, J.M., Liang, Y., 2009. Long-term effects of organic amendments on the rice yields for double rice cropping systems in subtropical China. *Agric. Ecosyst. Environ.* 129, 534–541.
5. Bolan, N.S., Hedley, M.J., White, R.E., 1991. Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume based pastures. *Plant Soil* 134, 53–63.
6. Breidenbach, B., Blaser, M.B., Klose, M., Conrad, R., 2016. Crop rotation of flooded rice with upland maize impacts the resident and active methanogenic microbial community. *Environ. Microbiol.* 18, 2868–2885.
7. Breidenbach, B., Brenzinger, K., Brandt, F.B., Blaser, M.B., Conrad, R., 2017. The effect of crop rotation between wetland rice and upland maize on the microbial communities associated with roots. *Plant Soil* 419, 435–445.
8. Breidenbach B., Conrad, R., 2015. Seasonal dynamics of bacterial and archaeal methanogenic communities in flooded rice fields and effect of drainage. *Front. Microbiol.* 5.
9. Buhiniček, I., Kaučić, D., Kozić, Z., Jukić, M., Gunjača, J., Šarčević, H., Stepinac, D., Šimić, D., 2021. Trends in Maize Grain Yields across Five Maturity Groups in a Long-Term

- Experiment with Changing Genotypes. *Agriculture 11*, 887.
10. Caporaso, J.G., Kuczynski, J., Stombaugh, J., Bittinger, K., Bushman, F.D., Costello, E.K., Fierer, N., Peña A.G., Goodrich, J.K., Gordon, J.I., Huttley, G.A., Kelley, S.T., Knights, D., Koenig, J.E., Ley, R.E., Lozupone, C.A., McDonald, D., Muegge, B.D., Pirrung, M., Reeder, J., Sevinsky, J.R., Turnbaugh, P.J., Walters, W.A., Widmann, J., Yatsunencko, T., Zaneveld, J., Knight, R., 2010. QIIME allows analysis of high-throughput community sequencing data. *Nat. Methods* 7, 335–336.
 11. Chen, W.C., Ko, C.H., Su, Y.S., Lai, W.A., Shen, F.T., 2021. Metabolic potential and community structure of bacteria in an organic tea plantation. *Appl. Soil Ecol.* 157, 103762.
 12. Dixon, P., 2003. VEGAN, a package of R functions for community ecology. *J. Veg. Sci.* 14, 927–930.
 13. Frindte, K., Zoche, S.A., Knief, C., 2020. Development of a Distinct Microbial Community Upon First Season Crop Change in Soils of Long-Term Managed Maize and Rice Fields. *Front. Microbiol.* 11.
 14. Guo, J.H., Liu, X.J., Zhang, Y., Shen, J.L., Han, W.X., Zhang, W.F., Christie, P., Goulding, K.W.T., Vitousek, P.M., Zhang, F.S., 2010. Significant Acidification in Major Chinese Croplands. *Science* 327, 1008–1010.
 15. Hameed, A., Y.P. Chen, F.T. Shen, S.Y. Lin, H.I. Huang, Y.W. Lin, and C.C. Young. 2023. Evaluation of a subtropical maize-rice rotation system maintained under long-term fertilizer inputs for sustainable intensification of agriculture. *Applied Soil Ecology*. Volume 184 , April 2023, 104772. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104772>
 16. Insam, H., 1997. A New Set of Substrates Proposed for Community Characterization in Environmental Samples. In: Insam, H., Ranggner, A. (eds) *Microbial Communities*. Springer, Berlin, Heidelberg.
 17. Kim, J.M., Roh, A.S., Choi, S.C., Kim, E.J., Choi, M.T., Ahn, B.K., Kim, S.K., Lee, Y.H., Joa, J.H., Kang, S.S., Lee, S.A., Ahn, J.H., Song, J., Weon, H.Y., 2016. Soil pH and electrical conductivity are key edaphic factors shaping bacterial communities of greenhouse soils in Korea. *J. Microbiol.* 54, 838–845.
 18. Koner, S., Chen, J.S., Hsu, B.M., Rathod, J., Huang, S.W., Chien, H.Y., Hussain, B., Chan, M.W.Y., 2022. Depth-resolved microbial diversity and functional profiles of trichloroethylene-contaminated soils for Biolog EcoPlate-based biostimulation strategy, *Journal of Hazardous Materials*, 424. 127266.
 19. Liesack, W., Schnell, S., Revsbech, N.P., 2000. Microbiology of flooded rice paddies. *FEMS Microbiol. Rev.* 24, 625–645.
 20. Maarastawi, S.A., Frindte, K., Linnartz, M., Knief, C., 2018. Crop Rotation and Straw Application Impact Microbial Communities in Italian and Philippine Soils and the Rhizosphere of Zea mays. *Front Microbiol.* 9.
 21. Manly, B.F.J., 1994. *Multivariate Statistical Methods. A Primer*, second ed. Chapman and Hall, London.
 22. Nair, A., Ngouajio, M., 2012. Soil microbial biomass, functional microbial diversity, and nematode community structure as affected by cover crops and compost in an organic vegetable production system. *Appl. Soil Ecol.* 58, 45–55.
 23. Nel, P.C., Barnard, R.O., Steynberg, R.E., de Beer, J.M., Groenveld, H.T., 1996. Trends in maize grain yields in a long-term fertilizer trial. *Field Crops Res.* 47, 53–64.
 24. Nyatsanga, T., Pierre, W.H., 1973. Effect of Nitrogen-Fixation by Legumes on Soil Acidity.

- Agron. J. 65, 936–940.
25. Peng S., Cassman, K.G., Virmani, S.S., Sheey, J., Khush, G.S., 1999. Yield potential trends of tropical rice since the release of IR8 and the challenge of increasing the rice yield potential. *Crop Sci.* 39, 1552–1559.
 26. Quast, C., Pruesse, E., Yilmaz, P., Gerken, J., Schweer, T., Yarza, P., Peplies, J., Glöckner, F.O., 2013. The SILVA ribosomal RNA gene database project: improved data processing and web-based tools. *Nucleic Acids Res.* 41, D590–D596.
 27. Rousk, J., Bååth, E., Brookes, P.C., Lauber, C.L., Lozupone, C., Caporaso, J.G., Knight, R., Fierer, N., 2010. Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. *ISME J.* 4, 1340–1351.
 28. Schloss, P.D., Westcott, S.L., Ryabin, T., Hall, J.R., Hartmann, M., Hollister, E.B., Lesniewski, R.A., Oakley, B.B., Parks, D.H., Robinson, C.J., Sahl, J.W., Stres, B., Thallinger, G.G., Van Horn, D.J., Weber, C.F., 2009. Introducing mothur: open-source, platform-independent, community-supported software for describing and comparing microbial communities. *Appl. Environ. Microbiol.* 75, 7537–7541.
 29. Shen, F.T., Lin, S.H., 2021. Priming effects of cover cropping on bacterial community in a tea plantation. *Sustainability* 13, 4345.
 30. Truog, E., 1947. Soil Reaction Influence on Availability of Plant Nutrients. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 11, 305–308.
 31. Wolcott, A.R., Foth, H.D., Davis, J.F., Shickluna, J.C., 1965. Soil fertility and plant nutrition Nitrogen Carriers: I. Soil Effects. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 29, 405–410.
 32. Yilmaz, P., Parfrey, L.W., Yarza, P., Gerken, J., Pruesse, E., Quast, C., Schweer, T., Peplies, J., Ludwig, W., Glöckner, F.O., 2014. The SILVA and "All-species Living Tree Project (LTP)" taxonomic frameworks. *Nucleic Acids Res.* 42, D643–648.

Study on Soil Microorganisms of Long-term Wetland and Upland Field Rotation Ecosystem under Different Fertilization Treatments

Asif Hameed¹, Yu-Pei Chen², Fo-Ting Shen¹, Shih-Yao Lin¹, Hsin-I Huang¹,
Yu-Wen Lin³ and Chiu-Chung Young^{1*}

¹ Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University

² Department of Public Health and Medical Technology, Xiamen Medical College

³ Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan

* Correspondence: cyoung@mail.nchu.edu.tw

Abstract

In order to practice the sustainable intensification of agriculture, this study evaluated the effects of 23-year long-term (1996-2019) application of organic fertilizers and chemical fertilizers on grain yield and soil factors in wetland and upland rotation rice and corn systems in the subtropical region of Taichung, Taiwan. Field treatments including pig manure composting (CP), chemical fertilizers (CF), no fertilizer (CK, control) and composting with addition of 1/3 and 2/3 nitrogen (CP, CPN1 and CPN2), peat addition of 1/3 nitrogen (PN1) and green manure addition 1/3 nitrogen (GMN1), a total of 7 treatments. Soil properties tested in this study included pH, electrical conductivity (EC), organic matter (OM), nutrients, microbial metabolism, and prokaryotic (bacterial and archaeal) composition using amplicon sequencing. The results showed that under the treatments of CF, GMN1 and three CPs (CP, CPN1 and CPN2), maize showed a significant yield increase trend (slope 132.2-156.1 kgh-1 yr-1 *** p <0.01), while rice yield showed no significant marginal improvement (slope 26.7-46.7 kgh-1 yr-1) or negative outcome (slope -16.52 kgh-1 yr-1). Principal component analysis of soil factors showed that there were three distinct clusters in CP-CPN1-CPN2, CF-GMN1-CK and PN1 during the corn-rice rotation process. CP-based treatments especially improved OM, EC, microbial metabolism, and nutrient availability during crop rotation. Significant soil microbial activity and bacterial abundance during maize cultivation. In contrast, rice cultivation was found to have low aerobic metabolism and high bacterial and archaeal species richness, diversity, and evenness. The cluster groups of CP-CPN1-CPN1 and CF-GMN treatments obtained during the β -diversity analysis were consistent with those of soil factors, while the cluster groups of CK-PN1 showed a surprising prokaryotic composition despite different trophic availability similarity. In conclusion, the trend of maize yield increase observed under long-term CP-based application was comparable to CF and GMN1 amendments that acidified soils simultaneously. Numerous dominant aerobic bacteria appear to drive nutrient cycling and promote maize yield, while recruitment of diverse prokaryotes with slow metabolism limits nutrient turnover, thereby stagnating the rice yield.

Keywords: long-term ecological research; wetland and upland field crop rotation; organic fertilizer; chemical fertilizer; microorganism; compost; peat; green manure; soil prokaryote; plant productivity; sustainable agriculture

氣候變遷調適需以長期生態研究為本， 以墾丁長期生態為例

林幸助

國立中興大學生命科學系
聯繫人 e-mail：hjlin@dragon.nchu.edu.tw

摘要

面臨全球氣候變遷的威脅，以自然為本的生態系統管理須以長期研究為基礎，及早採取減緩與調適策略，以減少災害與損失。墾丁國家公園是台灣第一個成立的國家公園，擁有珊瑚礁及海草床等兩大熱帶沿岸生態系統。墾丁海域在 1992 年之前以珊瑚為優勢，但 1995 年後松藻(*Codium*)及海葵(*Condylactis*)陸續大爆發，但是當時對於墾丁海域變遷瞭解極為有限。從 2000 年開始執行墾丁海域長期生態研究，藉由生態系宏觀的角度，建構珊瑚礁海域生態系食物網模式，配合一系列海水暖化與酸化的中觀生態池操作實驗，推測墾丁海域劣化的主要原因與可能過程，以及未來氣候變遷之影響。由長期生態研究結果得知，大雨過後人為營養鹽的大量輸入所導致的沿岸優養化及陸源沉積物，對墾丁海域是一項重大威脅，因此首要任務應是防止沿岸人為營養物質及沉積物的過量輸入海域。魚類與無脊椎動物會防止過多的大型藻類與海葵與珊瑚與海草競爭，可以視為抵抗珊瑚礁及海草床遭受優養化干擾的助力，因此需要積極復育魚類與無脊椎動物，同時更需致力於海草床「藍碳」保育，藉由碳匯及協助珊瑚固碳之「好鄰居」效益，減緩氣候變遷對於墾丁海域生態系的衝擊。

關鍵字：珊瑚、海草、優養化、聖嬰、沉積物

前言

2022 年 12 月 7-19 日於加拿大蒙特婁舉行之聯合國生物多樣性公約第 15 屆締約方大會(COP 15)，「以自然為本解決方案」(Nature-based Solutions, NbS) 已成大會焦點議題(圖 1)。國際自然保育聯盟(IUCN) 將其定義為：可有效調適與回應社會挑戰，作為永續管理及復育自然生態系之保護行動，可同時提供人類福祉和生物多樣性效益。NbS 以解決重大社會挑戰為目標，包含糧食安全、氣候變遷、水安全、人類健康、災害風險、社會和經濟發展、環境惡化與生物多樣性流失等。2021 年 6 月，聯合國 IPBES (Intergovernmental Science Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) 和 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 合撰報告(Pörtner *et al.* 2021) 指出，海草床本身是碳匯，同時也是海岸生物多樣性的熱點，因此保護海草床，等於同時保護生物多樣性與碳匯之雙贏策略，也是所謂的 NbS，將會是《聯合國生物多樣性公約》(UN Convention on Biological Diversity, 簡稱 CBD)之昆明-蒙特婁宣言《2020 年後全球生物多樣性框架》(Post 2020 GBF(Global Biodiversity Framework)未來 20 年全球保育主流。



圖 1. 2022 年 12 月 7-19 日於加拿大蒙特婁舉行之聯合國生物多樣性公約第 15 屆締約方大會(COP 15)

墾丁海域的珊瑚礁及海草床生態系

墾丁國家公園管理處於 1984 年 1 月 1 日成立，是國內第一個成立的國家公園管理處。墾丁國家公園位於台灣本島最南端的恆春半島，三面環海，東臨太平洋，西接台灣海峽，南面巴士海峽。海域範圍包括南灣海域(圖 2)及龜山經貓鼻頭、鵝鑾鼻北至南仁灣間，距海岸線一公里內之海域，總計 14891.16 公頃 (<https://www.ktnp.gov.tw/cp.aspx?n=E611B38FE00C641B&s=299D0B2601024174>)。墾丁國家公園海域擁有珊瑚礁及海草床等兩大熱帶海洋沿岸生態系統，皆屬於氣候變遷影響下高風險沿海生態系 (Chiu *et al.* 2017)。珊瑚礁是全球生物多樣性最高的生態系統之一，提供了眾多的生態系統功能與服務，包括海岸線保護、棲地提供、天然化合物來

源、漁業資源和生態旅遊等。氣候變遷將會對珊瑚礁生態系造成全球性的衝擊 (Wu *et al.* 2018)。海水酸化會導致珊瑚礁碳酸鈣(CaCO₃)從淨增長轉變為淨溶解狀態，而長時間的海水升溫則可能導致大規模的珊瑚白化事件。

海水中 CO₂ 濃度是水生植物光合作用主要的碳元素來源之一，因此海水酸化有利於海草和非鈣化藻類之生長 (Liu *et al.* 2020)。海草床(圖 3)也是墾丁海域重要的沿岸生態系 (Lin and Shao 1998)，在熱帶海域常與珊瑚礁相鄰生長在一起。台灣本島最大的海草床面積分布就在墾丁國家公園的大光與南灣，面積各約 0.56 及 0.25 公頃 (林幸助 2019)。海草是海洋開花植物，全世界已記錄海草種類共 4 科 12 屬 66 種，廣泛分佈於除了南極洲外的淺海域。海草床也提供了許多重要的生態系統服務，例如漁業供給、水質改善、海岸保護和生態旅遊等，被認為是地球上最有價值的生態系統之一。海草床附生藻類可從海水中吸收營養鹽和污染物，藉此減少優養化問題 (Lin *et al.* 1996)。海草葉片與附生藻也直接或間接支持了豐富多樣的魚類、無脊椎動物、儒艮、海龜和海馬之食物來源與棲息空間 (Lee *et al.* 2014)。海草葉片結構也透過阻礙水流為底棲動物提供一個較表層海水相對穩定的環境，促進沉積物的沉降和抑制再懸浮，維持清澈水體。海草床更是重要的天然碳匯場所 (Chiu *et al.* 2013, Huang *et al.* 2015)，與紅樹林 (mangroves, Li *et al.* 2018)、鹽沼 (salt marshes) 等沿海濕地合稱為「藍碳」(Blue Carbon)。保護好這些藍碳生態系是用來減緩氣候變遷衝擊的最佳自然解決方案。

海草甚至是生態系統的工程師，因為它們具有改善珊瑚礁海水物理特性和化學成分的能力。海草根能固定底質以維持海水透明，使珊瑚能獲得高光照得以生長。海草可吸收過多營養鹽，間接抑制藻類過度生長，提供珊瑚生長環境。海草床是一些珊瑚礁魚類的攝食場域，因為很多魚類晚上離開珊瑚礁區到海草床區覓食 (Lee and Lin 2015, Lee *et al.* 2015)。海草在白天透過高光合作用率，移除海水中 CO₂ 並提高周圍海水的 pH 值，因此海草床被稱為氣候變遷的避難所，因為它們可穩定海水化學成分。

墾丁的長期生態研究成果

2000 年起國科會核定通過墾丁長期生態研究計畫 (Kenting Long-Term Ecological Research, 簡稱墾丁 LTER)，成為我國第一處屬於海洋的長期生態研究計畫，這對四面環海，以「海洋立國」，且海洋生物多樣性及生物資源十分豐富的台灣而言，十分重要。墾丁海域在 1992 年以前以珊瑚優勢，但 1995 年後松藻(圖 4)或海葵(圖 5)陸續發生大爆發。2001 年 1 月發生阿瑪斯號貨輪油污事件，嚴重污染了墾丁海域，但是當時我們對於墾丁海域生態的瞭解極為有限。在國科會與墾丁國家公園管理處的經費支助下，從 2002~2011 年推動之「墾丁珊瑚礁長期生態研究」以及「人為活動對海域生態所造成之衝擊研究」等整合計畫，藉由生態系宏觀的角度，整合墾丁珊瑚礁主要的生物類群資料，建構珊瑚礁生態系食物網模式，配合一系列包含暖化與酸化的中觀生態池的操作實驗，推測墾丁海域劣化的主要原因與可能過程，以及未來氣候變遷之影響。唯有了解其變化機制及未來可能影響，墾丁國家公園管理處才能正確而有效地進行墾丁海域生態系的保育與復育工作。

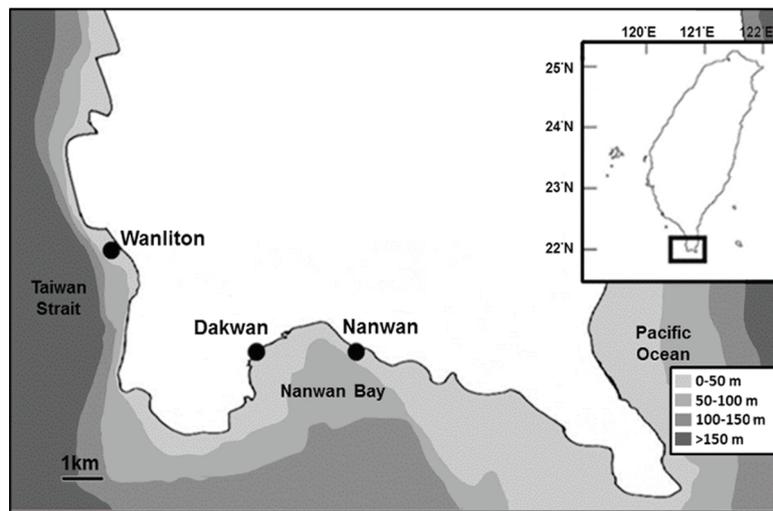


圖 2. 墾丁國家公園海域及沿岸深度變化。Nanwan: 南灣，Dakwan: 大光，Wanliton: 萬里桐



圖 3. 墾丁南灣海域潮間帶海草床



圖 4. 墾丁南灣海域大量繁生的松藻

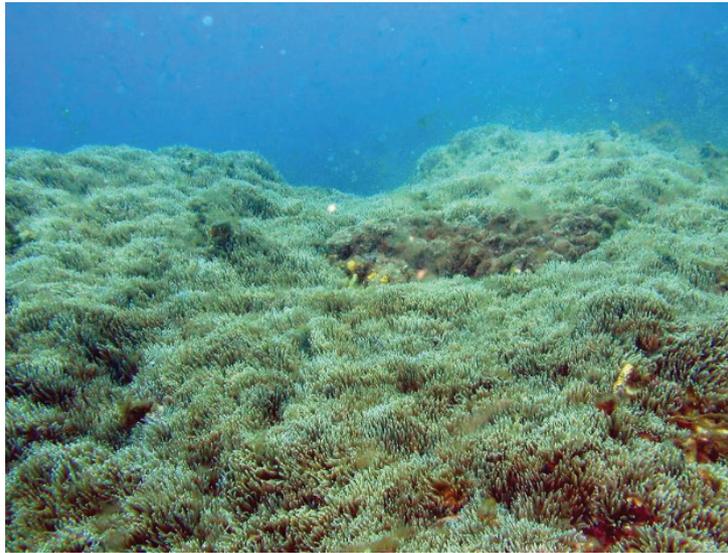


圖 5. 墾丁南灣海域大量繁生的海葵



圖 6. 墾丁南灣沿岸優養化，絲狀綠藻滸苔大量繁生

墾丁海域生態系模式建構

Liu *et al.* (2009a)整合「墾丁珊瑚礁長期生態研究」以及「人為活動對海域生態所造成之衝擊研究」等計畫中墾丁海域主要生物類群的資料，藉由食物網模式，以摘要的方式描述墾丁南灣珊瑚礁錯綜複雜的生態系結構與功能，量化珊瑚礁生物之間的交互作用。建構之食物網大致可以區分為 5 大營養階層，其中以食魚性魚類的營養階層為最高。分析生物間交互作用，顯示大型藻類、底棲雜食性無脊椎動物與食魚性魚類是南灣珊瑚礁生態系最有影響力的生物類群，影響其他珊瑚礁生物程度最大，層面最廣。若與全球其他珊瑚礁生態系比較，Liu *et al.* (2009a)發現墾丁南灣海域單位面積的魚類生物量，魚類生物量的比例以及漁獲生物的平均營養階層均低於其他珊瑚礁，顯示墾丁南灣海域不但魚的數量少，魚的體型也小。然而南灣珊瑚礁生態系的總漁獲量卻高於其他珊瑚礁，顯示南灣珊瑚礁已明顯有過度漁撈(過漁)現象。然而 Liu *et al.*

(2009a) 也發現在墾丁海域劃為保護區內的珊瑚礁生態系，因為管制嚴格，總漁獲量低，因此魚類與無脊椎動物等較高營養階層的生物量以及食物網有機物質傳輸效率，均高於未受嚴格保護之一般遊憩區內的珊瑚礁，這也顯示嚴格執行海洋保護區管制工作應能發揮保育珊瑚礁生態系的功能。

利用已建構完成之珊瑚礁生態系模式，回到過去重建 20 年前(1985 年)人為活動干擾較少時的墾丁南灣珊瑚礁食物網模式，再反推現今南灣珊瑚礁相變為藻類優勢之機制時，結果發現可能的影響因子比我們預期的更為複雜！模式模擬結果顯示南灣珊瑚礁相變為藻類優勢並非由單一因子所導致，很可能是因為過漁以及沿岸優養化兩項因子的加乘效應所驅動 (Liu *et al.* 2009a)。因此墾丁南灣珊瑚礁的保育與復育工作需有全方位的宏觀規劃。

測量墾丁沿岸營養輸入量

墾丁海域因營養污水過量輸入導致沿岸優養化，因此大型綠藻藻華情形時常發生(圖 6)，但是墾丁沿岸營養污水輸入量在此之前從未經過研究。為了追蹤墾丁南灣流入沿海海草床與珊瑚礁生態系的污水量，Lin *et al.* (2007) 先量測了 17 個位於南灣沿岸污水口的水量及營養濃度，結果顯示墾丁南灣沿岸每天氮營養鹽的輸入量高達每平方公尺 5.5 毫莫耳 (mmole)。每天氮營養鹽的輸入量不但與降雨量相關，與遊客量有更為顯著之相關性，相當於每位遊客每天貢獻 10 克的氮輸入至墾丁沿岸海域。此研究同時分析了生長於南灣潮間帶及亞潮帶不同穿越線上的 34 種大型藻類組織氮含量、碳氮比例 (C/N) 以及 $\delta^{15}\text{N}$ 同位素值，並與東沙及綠島兩個較不受人為汙染影響的對照組所採集之潮間帶大型藻類做比較。在未受污水影響的穿越線上，潮間帶大型藻類的組織 N 含量、C/N 比例和 $\delta^{15}\text{N}$ 同位素值皆與兩個對照組島嶼的大型藻類相似。然而位於南灣污水排水口的大型藻類的 $\delta^{15}\text{N}$ 同位素值高於未受污水影響的穿越線上同一種類的 $\delta^{15}\text{N}$ 同位素值，但是此差異在潮間帶下層變得較不明顯。此研究結果顯示人為生活氮營養污水已流入潮間帶及亞潮帶之海草床及珊瑚礁生態系，但是因為南灣海水的稀釋作用快(每天 10% 替換率，Liu *et al.* 2009b)，氮營養濃度在亞潮帶很快削減掉。此研究結果顯示亞潮帶珊瑚礁生態系大型藻類之藻華現象無法完全歸咎於沿岸生活氮營養污水的輸入，可能與墾丁海域因為過漁導致藻食性動物(包括魚類及無脊椎動物)的大量減少有很大的關係 (Lin *et al.* 2007)。

用珊瑚礁中觀生態池實驗來驗證

為了驗證墾丁珊瑚礁生態系的藻華現象是因為氮磷營養輸入以及過漁所共同導致，Liu *et al.* (2009b) 進一步設立模擬墾丁珊瑚礁生態系之中觀生態池 (mesocosm) 系統(圖 7)。珊瑚礁中觀生態池位於國立海洋生物博物館內的水族實驗中心，為玻璃纖維構成的 6 個容量約 5 噸之海水生態池 (3m 長 × 2m 寬 × 1m 高)，生態池內蓄養南灣珊瑚礁主要生物，以模擬南灣珊瑚礁生態系。實驗結果顯示在沒有人為營養鹽添加的控制組，食用松藻 (*Codium edule*) 及華美中海葵 (*Mesactinia genesis*) 的豐度均少，且均與美麗軸孔珊瑚 (*Acropora muricata*) 和平共存。但是 Liu *et al.* (2009b) 發現在過漁的狀況下，也就是藻食性魚類與無脊椎動物數量減少後，模擬墾丁南灣氮磷營養鹽輸入量 (Lin *et al.* 2007) 的添加會明顯驅動松藻對珊瑚的競爭作用，重現了過去 25 年來墾丁南灣珊瑚

礁所發生的藻類優勢之相變過程。添加人為營養鹽 35 天之後，松藻會開始去包覆與其有所接觸的美麗軸孔珊瑚，持續添加人為氮磷營養鹽 122 天之後，松藻會完全包裹活的軸孔珊瑚而導致其死亡(圖 8)。此研究同時發現添加人為營養鹽也會驅動海葵攻擊活的軸孔珊瑚。海葵只要與活的軸孔珊瑚有所接觸，在幾天內就會開始利用特化之觸手(acrorhagi) 攻擊軸孔珊瑚，造成珊瑚局部死亡(圖 9)。然而海葵並不會利用觸手去攻擊松藻，反而在行為上會主動躲避過度繁生之松藻。本實驗結果顯示松藻對於人為營養鹽的添加反應較海葵快速，所造成的衝擊也較大。這也解釋了在野外較常觀察到珊瑚礁相變為藻類優勢的現象。Liu *et al.* (2009b)的實驗結果顯示了在過漁活動所導致魚類與無脊椎動物數量變少的情況下，人為營養鹽的輸入是驅動松藻、海葵與珊瑚間之空間競爭作用，而導致墾丁南灣珊瑚礁相變為藻類優勢的主要原因。

Liu *et al.* (2015) 繼續藉由一系列的珊瑚礁中觀生態池實驗，探討大雨過後短期陸源懸浮沉積物對美麗軸孔珊瑚、華美中海葵與食用松藻交互作用的影響(圖 10)。此研究結果顯示，美麗軸孔珊瑚在短期陸源沉積作用下，並不會受到明顯影響，但沉積物與營養鹽的輸入會導致藻類與海葵的增生並因接觸而攻擊珊瑚而導致珊瑚的死亡，因此墾丁大雨過後陸源沉積物的大量輸入可能是亞潮帶大型藻類藻華及海葵爆發等現象的重要原因之一。



圖 7. 模擬墾丁珊瑚礁生態系之中觀生態池系統



圖 8. 珊瑚礁中觀生態池實驗照片，添加人為氮與磷營養鹽 72 天後實驗組(左)與未添加營養鹽的對照組(右)有極大差異



圖 9. 華美中海葵會開始利用特化之觸手攻擊美麗軸孔珊瑚，造成珊瑚局部死亡。



圖 10. 利用珊瑚礁中觀生態池實驗，探討大雨過後短期陸源懸浮沉積物對美麗軸孔珊瑚、華美中海葵與食用松藻交互作用的影響

墾丁潮間帶海草床碳匯研究

Chiu *et al.* (2013) 以墾丁大光地區的泰來草床為研究地點，量化海草的葉片生產量 (leaf production) 與被草食動物攝食量 (grazing)，落葉 (blade fall) 後的碎屑輸出量 (export off) 及分解量 (detritus)，最後整合成海草床之碳收支模式 (carbon budget) (圖 11)，藉以估算墾丁潮間帶海草床的碳儲存量，並了解海草床碳匯之運作機制。研究結果發現海草葉片生產量和草食消耗量，以及葉片碎屑輸出量都是在濕季(夏季和秋季)時的速率較高，乾季(冬季和春季)的速率較低。在潮間帶高位的海草床，被草食魚類攝食的葉片消費量明顯高於海膽。然而，在低位潮間帶海草床，海膽所消耗的葉片比例與魚類相當，顯示珊瑚礁魚類會利用漲潮時從亞潮帶進入潮間帶海草床攝食 (Lee *et al.* 2014)。海草葉片形成碎屑後隨即開始分解，在前 9 天內迅速分解，到了 212 天後分解趨緩，但此時分解袋內海草碎屑只剩 8.7%。整合之後的墾丁潮間帶泰來海草碳收支模式顯示，20% 的海草生產量被魚類及海膽等草食動物消耗，其餘 80% 形成碎屑。這顯示泰來海草葉片為墾丁潮間帶草食動物重要之食物來源。形成海草碎屑後，有相當於 44% 及 32% 的葉生產量被分解或輸出至亞潮帶海域或珊瑚礁生態系。只有 4% 的葉生產量或相當於每年每平方公尺 22 g 碳能夠被儲存於潮間帶海草床中。此研究發現墾丁潮間帶雖然面積小，但是依然能夠扮演：(1) 碳匯的角色；(2) 漲潮時珊瑚礁魚類攝食場域；(3) 甚至能輸出海草碎屑有機碳到更深的珊瑚礁或海洋生態系作為其能量及食物來源。

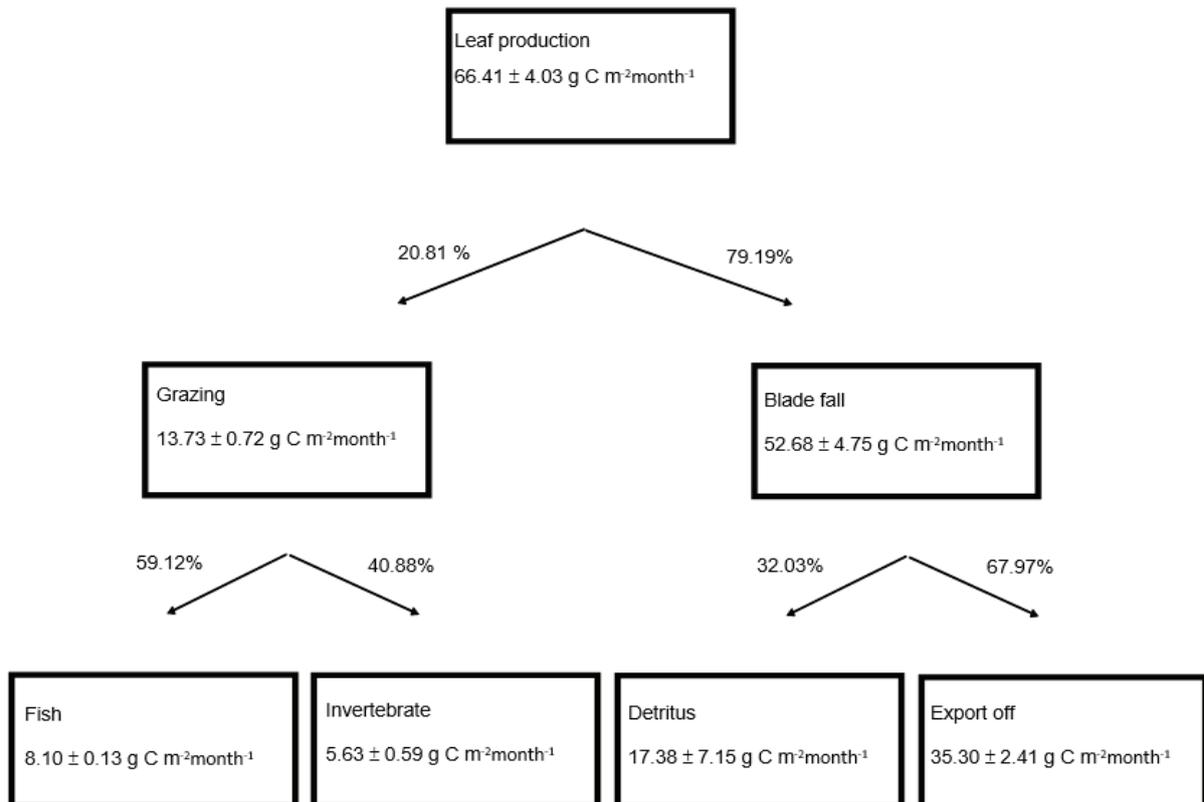


圖 11. 墾丁大光地區的泰來草床碳收支模式

反聖嬰對於墾丁海域生態的影響

「墾丁長期生態研究」中的「墾丁海草床長期生態研究」計畫從 2001 年開始，每三個月持續觀測墾丁沿岸海草床的生態變化，持續至今。在 2001 年至 2017 年的研究期間內，太平洋不定期地總共出現了 5 次聖嬰 (El Niño, 海水表面升溫)，4 次反聖嬰 (La Niña, 海水表面降溫)。聖嬰時墾丁地區夏天雨水變少，但反聖嬰時雨水反而變多，Lin *et al.* (2018) 的研究揭開影響墾丁沿岸海草床之驅動力機制 (圖 12)，發現夏天雨水多寡對墾丁海洋生態有很大影響。夏天雨水較多的反聖嬰，會將富含氮營養的人為污水排入墾丁沿岸海域，導致沿岸優養化。雖然富含氮營養的污水會促進海草吸收更多 CO₂，使其葉片長得更快更長，生物量也增多；但此富含氮營養污水也會同時促進海草葉片上的大型附生藻類大量生長，最終影響海草光合作用，導致海草死亡，海草覆蓋度變低，植株密度變疏。

此研究的重大發現是氣候變遷與人為污染的加乘效應。過漁之影響已經是墾丁長期存在之問題，Lin *et al.* (2007) 發現富含氮營養的人為污水也會影響到更深層珊瑚礁，可能使珊瑚礁轉變為以大型藻類 (Liu *et al.* 2009b) 或海葵 (Liu *et al.* 2015) 為優勢之生態系，可能是造成近 25 年來墾丁珊瑚礁劣化的驅動力，但是在海草床與珊瑚礁的大型藻類藻華現象並非每年皆會出現。Lin *et al.* (2018) 進一步發現，不定期出現的反聖嬰會驅動且加劇人為污水對於墾丁海洋生態的威脅，提高危害之風險。若更密集的反聖嬰一再發生，雨量更強，頻度更高，極有可能導致沿岸海草床，甚至珊瑚礁瓦解，甚至消失不見，生態系服務功能也會隨之消失。此研究解釋了過去 25 年來，墾丁沿岸海草床與珊瑚礁生態系的劣化歷程，結果令人憂心。

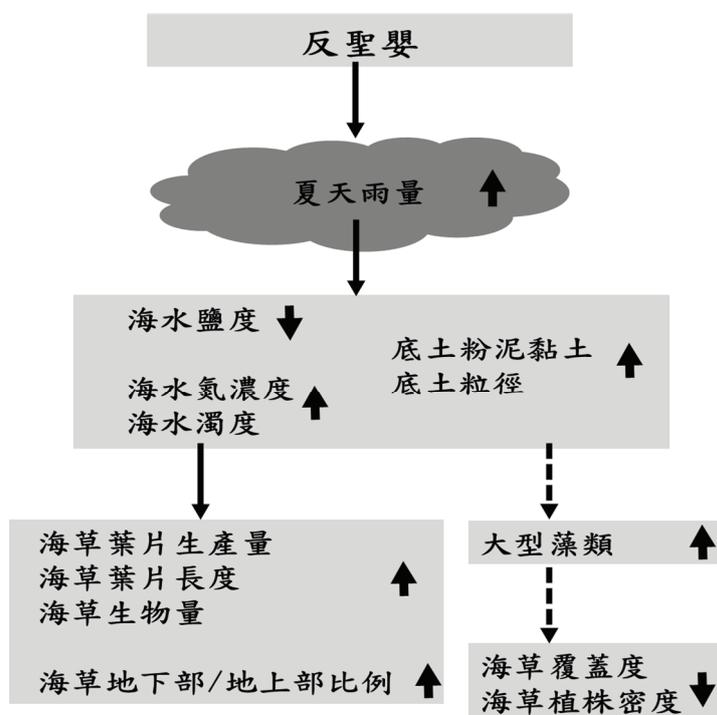


圖 12. 反聖嬰影響墾丁態來海草床機制圖

海草及珊瑚礁的交互作用研究

墾丁海域海草多分布於潮間帶，珊瑚多分布於亞潮帶，兩者常相鄰生長。Liu *et al.* (2019) 進一步利用珊瑚礁中觀生態池(圖 7)，模擬海水 CO₂ 升高(海水酸化)及海水暖化造成的氣候變遷情境，對有泰來草伴生之珊瑚礁生態系(海草組) (圖 13) 和無海草伴生之珊瑚礁生態系(無海草組) (圖 14) 的影響。研究結果顯示未來氣候變遷導致海水酸化及海水升溫至 31°C 時，升高的海水溶解態無機碳 (dissolved inorganic carbon, DIC) 濃度會促進海草生長，大型藻類也會開始依賴 CO₂ 作為主要的碳元素來源，因此大型藻類會快速生長，但令人訝異的是海水酸化對於中觀生態池內的細枝鹿角珊瑚 (*Pocillopora damicornis*) 並沒有影響。可是當海水酸化後，無海草伴生之生態池內大型藻類大量繁生，比有海草伴生之生態池長得更多，導致無海草之生態池之淨生態系統生產量 (net ecosystem production, NEP) 隨之上升，生態系統不穩定度加大。

有趣的是處於海水酸化時，無海草伴生之珊瑚鈣化速率卻顯著低於有海草伴生之珊瑚。推測原因是海草會吸收海水中碳酸氫根離子，提高鹼度，且會與大型藻類競爭營養鹽而抑制大型藻類之過度生長，間接減少了大型藻類與珊瑚的競爭，因此以維持珊瑚之鈣化速率。海草也具有減少珊瑚礁病原體的潛能以維持珊瑚健康。

海水酸化後並升溫至 31°C 後，對珊瑚礁生態系的影響最為明顯。此時珊瑚的光合作用最大光效能(Fv/Fm)與鈣化速率以及大型藻類的生長速率都顯著下降。但是海草植株密度、Fv/Fm 和葉片生長速率卻是顯著上升，也導致無海草伴生和有海草伴生的 NEP 皆急劇下降，但是無海草伴生下降的幅度大於有海草伴生生態池。有海草生態池之各項生態系統代謝參數在海水酸化和暖化的情境下(表 1)，皆較無海草伴生之生態池穩定，因此未來面臨氣候變遷海洋酸化和暖化時，海草床具有維持珊瑚鈣化作用、減少大型藻類增生並穩定珊瑚礁生態系之潛能，進而維持海洋沿岸生物多樣性。

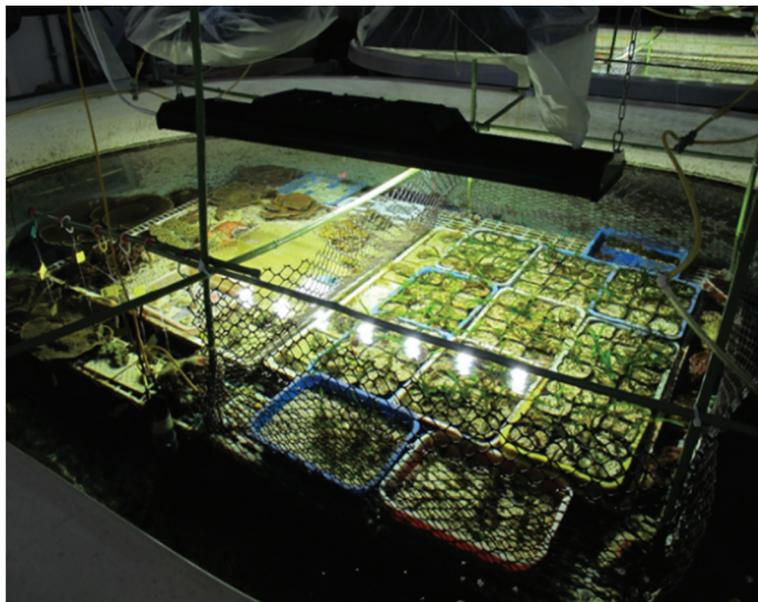


圖 13. 珊瑚礁中觀生態池之後端，由泰來草(*Thalassia hemprichii*)形成海草床

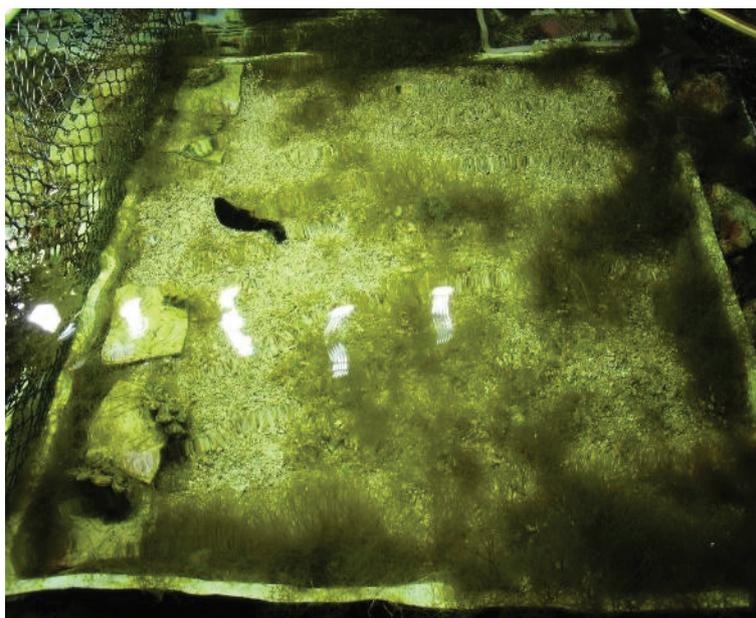


圖 14. 海水酸化後，沒有海草的珊瑚礁中觀生態池長滿螢光網地藻(*Dictyota bartayresiana*)

表 1. 在珊瑚礁中觀生態池中，在海水暖化及酸化影響下，有無海草對於珊瑚礁生態系之影響

組別	中觀生態池實驗階段		
	I 海水酸化	II 海水酸化+ 中度暖化(28°C)	III 海水酸化+ 高度暖化(31°C)
無海草組	<ul style="list-style-type: none"> ● 大型藻類快速生長，且速率高於海草組 ● 淨系統生產量顯著上升 ● 珊瑚鈣化速率低於有海草組 	<ul style="list-style-type: none"> ● 珊瑚鈣化速率低於有海草組 	<ul style="list-style-type: none"> ● 大型藻類生長速率下降 ● 珊瑚光合作用最大光效能與鈣化速率顯著下降 ● 淨系統生產量急遽下降，下降幅度大於有海草組
有海草組	<ul style="list-style-type: none"> ● 大型藻類快速生長 ● 珊瑚鈣化速率高於無海草組 	<ul style="list-style-type: none"> ● 珊瑚鈣化速率高於無海草組 	<ul style="list-style-type: none"> ● 海草植株密度、光合作用最大光效能與葉片生長速率上升 ● 大型藻類生長速率下降 ● 珊瑚光合作用最大光效能與鈣化速率顯著下降 ● 淨系統生產量急遽下降，下降幅度小於無海草組 ● 生態系統較無海草組穩定

經營管理之建議與結論

從「墾丁珊瑚礁長期生態研究」的研究結果，可以知道人為過多營養鹽的輸入所導致的沿岸優養化，以及大雨過後之陸源沉積物，對珊瑚礁與海草床是一項重大威脅，因此墾丁海洋生態系保育的首要任務應是防止沿岸人為營養物質及沉積物的過量輸入海域。而魚類與無脊椎動物會持續抑制大型藻類與海葵的數量，防止過多的大型藻類與海葵競爭過珊瑚與海草，因此可以視為抵抗珊瑚礁及海草床生態系遭受優養化干擾的助力，甚至可以提昇其生態系的恢復能力，因此保育珊瑚礁另一方面需要積極的擴大海洋保護區中完全禁漁區 (exclusively no-take zone) 的面積和比例，落實管理和取締，有效復育魚類與無脊椎動物。同時更需致力於海草床保育，以減緩氣候變遷產生對於珊瑚礁生態系的衝擊。本研究結果顯示保育墾丁海洋生態之道，甚至整個臺灣海洋生態也一體適用。

致謝

感謝墾丁國家公園管理處及科技部(計畫編號 90-2621-B-005-008, 94-2621-B-005-006, 95-2621-B-005-010, 96-2621-B-005-002, 97-2621-B-005-001, 98-2621-B-005-002)提供部分經費。

引用文獻

1. 林幸助。2019。108 年海草床生態系調查計畫。海洋委員會海洋保育署委託研究計畫。177 頁。
2. Chiu MC, CW Pan and HJ Lin. 2017. A framework for assessing risk to coastal ecosystems in Taiwan due to climate change. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences* 28(1):57-66. DOI: 10.3319/TAO.2016.06.30.01(CCA)
3. Chiu SH, YH Huang and HJ Lin. 2013. Carbon budget of leaves of the tropical intertidal seagrass *Thalassia hemprichii*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 125:27-35.
4. Huang YH, SC Hsiao, CL Lee, CY Chung and HJ Lin. 2015. Carbon budgets of multispecies seagrass beds at Dongsha Island in the South China Sea. *Marine Environmental Research* 106:92-102.
5. Lan CY, WY Kao, HJ Lin and KT Shao. 2005. Measurement of chlorophyll fluorescence reveals mechanisms for habitat niche separation of the intertidal seagrasses *Thalassia hemprichii* and *Halodule uninervis*. *Marine Biology* 148:25-34.
6. Lee CL, YH Huang, CY Chung and HJ Lin. 2014. Tidal variation in fish assemblage and trophic structure in a tropical Indo-Pacific seagrass bed. *Zoological Studies* 53:56. DOI: 10.1186/s40555-014-0056-9
7. Lee CL, YH Huang, CY Chung, SC Hsiao and HJ Lin. 2015. Herbivory in multi-species, tropical seagrass beds. *Marine Ecology Progress Series* 525:65-80.
8. Lee CL and HJ Lin. 2015. Ontogenetic habitat utilization patterns of juvenile reef fish in low predation habitats. *Marine Biology* 162:1799-1811.

9. Li SB, PH Chen, JS Huang, ML Hsueh, LY Hsieh, CL Lee and HJ Lin. 2018 Factors regulating carbon sinks in mangrove ecosystems. *Global Change Biology* 24:4195-4210. DOI:10.1111/gcb.14322.
10. Lin HJ, CL Lee, SE Peng, MC Hung, PJ Liu and AB Mayfield. 2018. The effects of El Niño-Southern Oscillation events on intertidal seagrass beds over a long-term timescale. *Global Change Biology* 24:4566-4580. DOI:10.1111/gcb.14404.
11. Lin HJ, CY Wu, SJ Kao, WY Kao and PJ Meng. 2007. Mapping anthropogenic nitrogen through point sources in coral reefs using $\delta^{15}\text{N}$ in macroalgae. *Marine Ecology Progress Series* 335:95-109.
12. Lin HJ, SW Nixon, DI Taylor, SL Granger and BA Buckley. 1996. Responses of epiphytes on eelgrass, *Zostera marina* L., to separate and combined nitrogen and phosphorus enrichment. *Aquatic Botany* 52:243-258.
13. Lin HJ and KT Shao. 1998. Temporal changes in the abundance and growth of intertidal *Thalassia hemprichii* seagrass beds in southern Taiwan. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 39:191-198.
14. Lin WJ, J Wu and HJ Lin. 2020. Contribution of unvegetated tidal flats to coastal carbon flux. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.15107>.
15. Liu PJ, SJ Ang, AB Mayfield and HJ Lin. 2020. Influence of the seagrass *Thalassia hemprichii* on coral reef mesocosms exposed to ocean acidification and experimentally elevated temperatures. *Science of the Total Environment* 700:134464. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134464>
16. Liu PJ, MC Hsin, YH Huang, TY Fan, PJ Meng, CC Lu and HJ Lin. 2015. Nutrient enrichment coupled with sedimentation favors sea anemones over corals. *PLoS ONE* 10(4):e0125175.
17. Liu PJ, KT Shao, RQ Jan, TY Fan, SL Wong, JS Hwang, JP Chen, CC Chen and HJ Lin. 2009a. A trophic model of fringing coral reefs in Nanwan Bay, southern Taiwan suggests overfishing. *Marine Environmental Research* 68:106-117.
18. Liu PJ, SM Lin, TY Fan, PJ Meng, KT Shao and HJ Lin. 2009b. Rates of overgrowth by macroalgae and attack by sea anemones are greater for live coral than dead coral under conditions of nutrient enrichment. *Limnology and Oceanography* 54(4): 1167-1175.
19. Ripple WJ, C Wolf, TM Newsome, P Barnard, R William and WR Moomaw. 2020. World Scientists' Warning of a Climate Emergency. *BioScience* 70:8-12. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz088>
20. Taylor, DI, SW Nixon, SL Granger, BA Buckley, JP McMahon and HJ Lin. 1995. Responses of coastal lagoon plant communities to different forms of nutrient enrichment—a mesocosm experiment. *Aquatic Botany* 52:19-34.
21. Wu N, C Wang, AG Ausseil, Y Alhafedh, L Broadhurst, HJ Lin, J Axmacher, S Okubo, C Turney, A Onuma, RK Chaturvedi, P Kohli, S Kumarapuram Apadodharan, PC Abhilash, J Settele, J Claudet, T Yumoto, Y Zhang. 2018. Chapter 4: Direct and indirect drivers of change in biodiversity and nature's contributions to people. pp. 337-469. In Karki M, S Senaratna Sellamuttu, S Okayasu, W Suzuki (eds.), *The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Asia and the Pacific*, Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem services, Bonn, Germany.

Adaption to Climate Change in based on Long-Term Ecological Research, an example of Kenting LTER

Hsing-Juh Lin

Department of Life Sciences, National Chung Hsing University
Correspondence: hmlin@dragon.nchu.edu.tw

Abstract

In facing climate change, ecosystem management should respond early on and adopt mitigation and adaptation measures. Kenting National Park is Taiwan's first national park, possessing two major tropical coastal ecosystems, coral reefs, and seagrass beds. The coastal region was dominated by corals before 1992, but after 1995 there were large outbreaks of the green alga *Codium* and the sea anemone *Condylactis*. At that time the understanding of these coastal ecosystems was very limited. Since 2000, Kenting Long-Term Ecological Research (LTER) was implemented to gain a holistic view of the marine ecosystem. Data of the major biotic communities were integrated, the trophic model of the marine ecosystem was constructed, and the mechanisms for the degradation of the marine ecosystem were examined by conducting a series of mesocosm experiments under the scenarios of ocean warming and acidification. Coastal eutrophication caused by an excessive loading of anthropogenic nutrients and land-based sediments after heavy rainfalls pose a major threat to the marine ecosystem. Therefore, the primary task of conserving the marine ecosystem is to prevent an excessive loading of nutrients and sediments from land. Fish and invertebrates can prevent overgrown macroalgae and sea anemones competing over corals and seagrasses, which should be considered as resistance of the marine ecosystem to eutrophication and as enhancement of ecosystem resilience. The conservation of seagrass beds is also critical for coral reefs, as seagrasses play the role of blue carbon sinks and provide “neighboring benefits” to help coral reefs mitigate the impacts of climate change. These results show that the conservation strategies of the marine ecosystem are also applicable to other marine ecosystems around Taiwan.

Keywords: coral, eutrophication, La Niña, seagrass, sedimentation

雲林地區農業長期水稻連作生態系對生產力之評估

王瑞章、潘佳辰、楊藹華*

行政院農業委員會臺南區農業改良場
*聯繫人 e-mail : ahyang@mail.tndais.gov.tw

摘要

臺南區農業改良場雲林分場農業長期生態系試驗區已歷經 14 年，探討長期水田連作區，以監測作物產量、稻稈產量及土壤品質指標作為了解施肥處理對土壤及作物的影響。施肥處理採高投入慣行農耕制度 (Conventional Agroecosystem, CA)及低投入之永續農耕制度(Sustainable driven Agroecosystem, SA)所推薦之施肥量。水稻產量除了 2015、2018 年一期作及 2019 年二期作水稻產量有顯著差異外，其餘產量差異不明顯，結果顯示水稻田間產量變異性經水田連作後逐步趨於穩定。稻蒿含有豐富的鉀與矽，回歸利用。水稻田因浸水還原，有機物分解較慢，故在兩期稻作下，因留在土壤中的根、莖基及稻稈每公頃約有 5~10 噸，再加上 8.8 噸~14 噸稻稈地上物回歸土壤，土壤有機質含量已可維持不減，土壤有機質以表土(0-15 cm)含量維持在 0.3-2.03%之間，而灌溉水質也維持在 pH8.0 左右，呈穩定平衡，因此，永續農耕合理減少肥料投入，亦可維持相當於慣行農耕的產量。

關鍵字：長期生態研究、耕作制度、農業生態系、作物產量

前言

農業生態系有別於自然生態系，因有人為的介入其狀況較自然研究站複雜。全球目前大約有 38 個國家設有長期生態研究站，臺灣於 2006 年成立國內第一個長期農業生態研究計畫(17)，分別於臺南區農業改良場雲林分場之農場(面積 7 ha)、農業試驗所嘉義分所之溪口農場(面積 8 ha)及荔枝原生種保存圃(面積 2.5 ha)等三處，建置長期生態研究站(11)。依續進行 2006 年至 2008 年進行水旱輪作田與旱作連作田以及 2009 年開始至今之雙期作水田、水旱輪作田等與果園生態系等生態系研究(17)，藉由亞熱帶農業長期生態研究站之設立，以利臺灣建立長期試驗數據，並且能與其他國家及其他氣候帶之農業生態研究站進行成果交流。

水稻為臺灣主要糧食作物，一年二期作共種植約 260,188 公頃(2009-2021 年平均)，一、二期作種植比例約 1.5:1，單位面積公頃平均產量為 7,861 公斤/公頃(二期作)，雲林地區為臺灣主要農業大縣，2021 年水稻種植面積為 42,175 公頃，僅次於彰化地區 47,113 公頃(2)，一般雙期作水稻田稻穀第一期作產量均能維持一定程度高產，但在第二期作受高溫、雨水、日照少或颱風之影響，使穗數及稔實率較一期作明顯減少。甚至認為雙期作水田若土壤質地屬於粘重土質，一般土壤總體密度在 1.5g/cm²以上，容易造成排水及透氣性均不良，較不適宜作物之生長，並在前作物稻株埋入土中，產生硫化氫及有機酸等毒害根部，使水稻低產及品質又差(8)。因此在不同地區不同耕作模式有不同的收益(7,13)。為達永續農耕，藉由雙期作水田連作合理的肥料投入，探討是否可滿足作物生長所需養分及控制病蟲害之發生，並維持相當於傳統農耕的產量(5)。

材料與方法

- 一、**試驗時間**：2009 年一期作至 2022 年二期作。
- 二、**試驗地點及面積**：試區設置於臺南區農業改良場雲林分場之農場，雲林分場研究站氣象環境(23°38'N, 120°28'E, 海拔高度 36.9 m)：平均雨量 1,658 mm，平均溫度 23.7°C。屬非石灰性砂頁岩沖積土，仁德系和五里林系等複合土系，土壤 pH 4.0~6.5，質地為砂質壤土。面積為 3.2 公頃。
- 三、**試驗品種**：水稻品種為臺南 11 號
試驗設計：
 - (一)耕作系統：雙期作水田(水稻-水稻)。
 - (二)投入處理：低投入模式(永續農耕 Sustainable driven Agroecosystem；簡稱 SA)、高投入模式(慣行農耕 Conventional Agroecosystem；簡稱 CA)。2012 年加入不施肥為對照處理(CK)。
 - (三)處理重複數：雙期作水田 4 重複。
- 四、**處理之原則**：田間耕犁全面採用中型農機操作。投入處理只考慮肥料與農藥之差別，肥料使用化學肥料，所有作物殘體回歸農田再利用。病蟲害之管理，水稻主要防治稻熱病及二化螟蟲。
- 五、**試驗方法**：水田系統(水稻、水稻)8 區，計 4.12 公頃，肥培與田間處理有高投入、低投入兩種。試驗田灌溉期間主要抽取雲林分場內地下井水或水利會溝渠水作為灌溉水來源。
- 六、**肥培管理標準作業程序**(實際施肥量詳如表 1、2、3)
CA：以現行之推薦管理方法進行耕作，參考最新版的作物施肥手冊等(3)。

SA：考慮長遠的最大利益為依歸，不求取現今最大的利益為目標，其管理方法隨時間與環境變動而調整(4)。

CK：不施用化學肥料。

七、灌溉水質監測：雲林分場試驗田灌溉水分為溝水及井水，溝水為農田水利會提供之灌溉水，水源為濁水溪及清水溪，井水為分場內之地下灌溉水源。每個月採集溝水及井水分析水質。灌溉水採樣後，以玻璃電極法分析灌溉水酸鹼值 (Multi 3630 IDS SET F)。灌溉水先以 0.2 μm 濾膜過濾灌溉水樣品後，以感應耦合電漿原子發射光譜儀(ICP) (HORIBA/ULTIMA C) 分析鈣及鎂。

八、調查項目：水稻成熟期進行稻穀產量調查。稻穀產量調查方法：田區小區產量依採樣規範，水稻成熟時各田區取樣 5 點，每點 100 叢稻株，換算為產量。乾穀含水量之測定，係將取樣水稻之濕稻穀置於溫度 80°C 之通風乾燥箱中，經 48 小時後秤其乾重後換算所得。

九、統計方法：以商用軟體 Microsoft Excel 進行雙尾獨立雙樣本 T 檢定(T-test)，若 p-value 小於 0.05 則判定處理間有顯著差異。



圖 1. 雲林分場試驗設計配置圖。(CA：慣行耕作模式；SA：永續耕作模式；I-IV：重複數)

Fig 1. Experimental design on Yuin-Lin branch station。(CA: Conventional Agroecosystem, SA: Sustainable driven Agroecosystem. I-IV : Replicates)

表 1. 2009-2021 年水稻栽培面積及單位面積產量變化情形
Table 1. Harvested area and yield of rice in 2009-2021

年	收穫面積(公頃)			每公頃平均產量(公斤)		
	總面積	一期作	二期作	總平均產量	一期作	二期作
2009	254,590	151,338	103,252	6,199	6,945	5,106
2010	243,862	139,941	103,922	5,950	6,842	4,750
2011	254,255	153,405	100,849	6,554	7,241	5,508
2012	260,762	156,662	104,101	6,520	6,864	6,003
2013	270,165	162,869	107,296	5,884	6,366	5,151
2014	271,051	166,602	104,449	6,391	6,705	5,889
2015	251,861	146,597	105,264	6,280	7,231	4,956
2016	273,837	168,872	104,965	5,798	6,851	4,105
2017	274,677	169,819	104,859	6,386	7,035	5,335
2018	271,506	169,789	101,716	7,181	7,821	6,114
2019	270,066	169,740	100,326	6,632	6,893	6,191
2020	261,784	159,891	101,893	6,688	7,029	6,152
2021	224,022	127,375	96,647	6,967	7,604	6,129
平均	260,188	157,146	103,041	6,418	7,033	5,491
2021 雲林縣	42,175	28,704	13,471	7,861	8,442	6,623
2021 彰化縣	47,113	27,036	20,078	7,455	8,125	6,553

表 2. 試驗期間不同處理之施肥量(2009(I)~2022(II))
Table 2. Fertilizer application of different treatments from 1st crop, 2009 to 2nd crop, 2022.

Treatment	1st crop	2nd crop
	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O
2009(I)~2014(II)		
a.SA plot	100 : 30 : 30	100 : 30 : 30
b.CA plot	160 : 72 : 84	160 : 72 : 84
2015(I)~2022(II)		
a.SA plot	100 : 30 : 30	100 : 30 : 30
b.CA plot	200 : 72 : 84	200 : 72 : 84
CK plot	No.	No.

CA: Conventional Agroecosystem; SA: Sustainable driven Agroecosystem

結果與討論

1、雙期作水田連作區產量變化

2009年至2022年水田連作系統，一期作水田區，水稻低投入處理平均產量為5,642公斤/公頃至8,660公斤/公頃，CV(變異係數)之平均值為4.9%至15.1%；高投入處理平均產量為5,093公斤/公頃至9,856公斤/公頃，CV之平均值為5.2%至18.2%。對照區平均產量為5307公斤/公頃至6901公斤/公頃；二期作水稻低投入處理平均產量為5,370

公斤/公頃至 8,696 公斤/公頃，CV 之平均值為 5.1% 至 12.6%；高投入處理平均產量為 4,650 公斤/公頃至 9,145 公斤/公頃，CV 之平均值為 5.0%至 14%。對照區平均產量為 4,954 公斤/公頃至 8,007 公斤/公頃。本研究試驗累積 14 年結果顯示(圖 2、圖 3)，以水稻高投入之慣行農耕(CA)與低投入之永續農耕(SA)處理間產量除了 2015、2018 年第一期作水稻產量以 CA 顯著高於 SA，2019 年第二期作水稻產量以 CA 顯著高於 SA，其餘皆無顯著差異；但均較對照(不施肥)產量呈顯著差異，亦較全國水稻平均產量高(圖 2)。

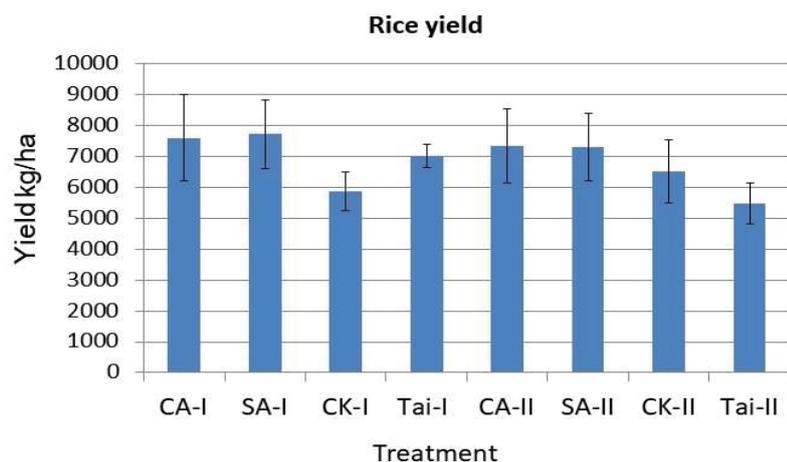


圖 2. 2009-2022 年間雙期作水田系統下不同處理模式對水稻量之影響。

Fig 2. The yield of rice yield under paddy-paddy(LL) system during 2009 to 2022.

CA: Conventional Agroecosystem; SA: Sustainable driven Agroecosystem;
CK: No-fertilizer; Tai: mean yield in Taiwan.

在臺灣南部地區一期作生育期間為 1 月中旬至 6 月下旬，二期作生育期間為 7 月中旬至 11 月中旬，分別探討期作間差異，一期作水田高投入(CA)產量受環境影響變動較低投入(SA)變化明顯(圖 3, 4)，尤其 2016 年高投入(CA)平均單位面積產量為 6,683 公斤/公頃，低投入(SA)為 6,741 公斤/公頃，檢視當年氣象正值水稻生長分蘗期平均氣溫 2 月份為 16.9°C，3 月份為 18.3°C，最低溫度 2 月出現 4.6°C、3 月出現 8°C，累計雨量 2 月份 160 mm，3 月份 213.5 mm，累計日照時數 2 月份 130.4 hr，3 月份 131.6 hr，水稻秧苗對低溫抵抗力較弱，若遭遇生長臨界溫度 10°C 以下的低溫，會出現葉片黃化、生長遲滯及分蘗減少等現象(1)，因此，低溫、低日照與時數時，水稻生長緩和，光合成物質減少，整體生物量會減少，在抽穗開花期長期霪雨會影響稔實率(12)，肥料過高容易造成徒長，因此高投入(CA)反而不利水稻生長，適度給肥(SA)即可。而 2013 年、2014 年、2019 年高投入處理區稻熱病發生均較低投入處理區較嚴重。此應與高投入處理區植株生長較旺盛密度較高有關。二期作生育初期高溫、高濕，生長分蘗期、孕穗期在 8 月中旬至 9 月下旬，雨量多，易造成植株倒伏、穗上發芽、空穀，由調查結果顯示，一期作水稻產量大於二期作，此應與氣象因子有異，二期作易受颱風豪雨等環境影響有關(12,14)。

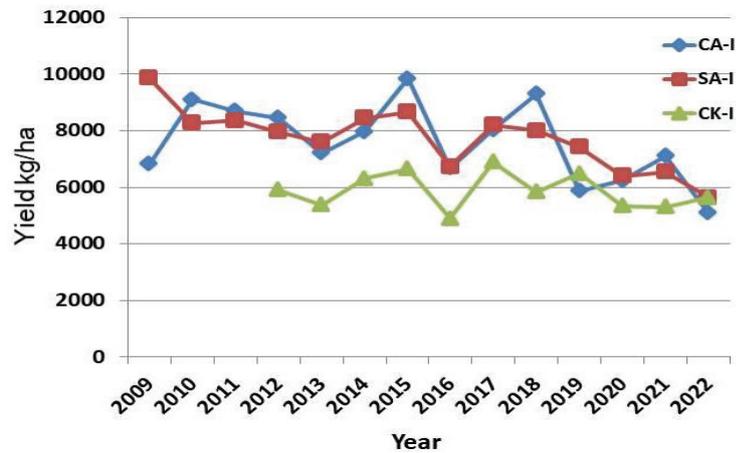


圖 3. 2009-2022 年間不同處理模式對一期作水稻產量之影響。
Fig 3. The effect of fertilizer on rice yield under paddy-paddy(LL) system in 1st crop during 2009 to 2022.
CA: Conventional Agroecosystem; SA: sustainable driven Agroecosystem; CK: No-fertilizer.

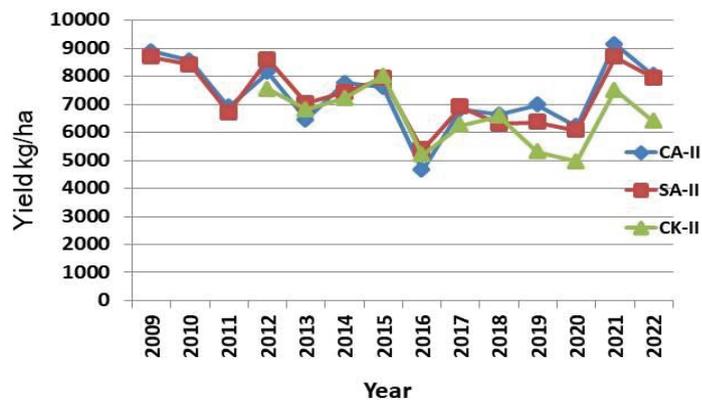


圖 4. 2009-2022 年間不同處理模式對二期作水稻產量之影響
Fig 4. The effect of fertilizer on rice yield under paddy-paddy(LL) system in 2nd crop during 2009 to 2022.
CA: Conventional Agroecosystem; SA: sustainable driven Agroecosystem; CK: No-fertilizer.

表 3. 2009-2021 年農業氣象站雲林分場溫度變化-最低氣溫

Table 3. The change of temperature in Yunlin sub-site of agricultural meteorological station from 2009 to 2021-minimum temperature.

測站：雲林分場												
測目：最低氣溫(°C)												
年/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2009	3.3	12.5	10.8	13.7	17	21	23.3	23.9	23.7	16.9	15	7.1
2010	5	9.5	7.8	14	17.2	20.4	23.4	22.4	21.7	14.5	13.2	5.1
2011	6.1	7.5	11.2	13.5	17.5	9.4	23.2	24	21.2	18.3	15.9	8.4
2012	10.5	10.1	12	18.2	20.7	22.7	22.8	23	19.2	17.4	14.3	8.5
2013	8.2	11.6	10.6	14.8	18.8	23.2	22.3	22.7	20.4	14.7	7.8	6.9
2014	5.2	5.3	12.5	15.7	16.3	23.5	23.9	22.9	24.1	17.2	14.6	8.3
2015	5.4	7.5	13.7	10.1	22.1	23.5	22.7	-	22	19.1	11.4	9.1
2016	4.6	4.6	8	16.9	18.7	23.1	23.1	23.2	22.5	20.9	16.1	15.9
2017	10.7	9.7	11	8.7	17.6	22.8	23.2	23.6	23.2	15.9	16.6	9.6
2018	3.8	6.2	9.4	11.9	20.5	22.2	22.7	22.3	18.8	-	14.2	10.7
2019	8.2	12.9	12.2	16.6	18.9	22.5	23.4	22.5	20.4	17.9	14.6	9.5
2020	4.2	5.5	12.2	10.6	19.4	22.5	23.2	22.9	19.9	18.7	16.6	9.5
2021	4.8	8.7	11.9	15.6	19	22.4	23	23.2	23.5	18	11.5	8
2022	7.9	9.8	8.1	12.4	15.8	22.7	23.5	22.5	21.4	17.4	18.5	3.5

來源：中央氣象局

表 4. 2009-2021 年農業氣象站雲林分場雨量變化-累計雨量

Table 4. 2009-2021 Rainfall change in Yunlin sub-site of agricultural meteorological station - cumulative rainfall.

測站：雲林分場
測目：累計雨量(mm)

年/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2009	0	10.5	80	132.5	7	126	138	749	91.5	28	24.5	19
2010	23	7.5	7	86	130	310	460.5	144	194	9	34	28.5
2011	31.5	15	36.5	4	122.5	144.5	358.5	196.5	137.5	27.5	231	16.5
2012	33	68	14.5	204.5	215	482	354	653.5	37	0.5	163	49.5
2013	21.5	2	21.5	178.5	546.5	44	306	1432.5	236.5	7.5	12	65
2014	0	27.5	41.5	27	394.5	251	236	278.5	120.5	0	2.5	34
2015	7.5	14.5	7.5	78	366	29.5	202.5	126.5	241.5	25	0.5	28.5
2016	165	32.5	160	213.5	85	430.5	247	121	477	22.5	68	0
2017	1	1	26	46.5	49.5	851	394	142.5	5	71.5	8	5.5
2018	86	35.5	34.5	21.5	27.5	289	527.5	722.5	75.5	1.5	16.5	0
2019	3	6	126.5	14	159.5	334.5	232.5	620	67.5	1.5	0	133.5
2020	13.5	0.5	76	34.5	335	102	78.5	356	23	0.5	10	40.5
2021	4.5	27	11.5	27.5	101.5	617	300.5	647	76.5	12.5	6.5	28.5
2022	29	95.5	97.5	46	220	186.5	64.5	481	36	5	1.5	18.5

來源：中央氣象局

表 5. 2009-2021 年農業氣象站雲林分場日照變化-累計日照時數

Table 5. 2009-2021 Sunshine change in Yunlin sub-site of agricultural meteorological station - cumulative sunshine hours.

測站：雲林分場

測目：累積日照時數(hr)

年/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2009	224.2	188.1	157	162.9	218.3	183.5	198.7	174.5	217.5	227.4	174.8	169.8
2010	163.6	139.5	219.3	146.7	201.9	144.8	218.2	224.9	206.6	206.4	176.2	210.3
2011	139	168	135	198.1	152.7	216.3	203	222.8	199.6	193.3	133.2	127.5
2012	133.2	115.1	184.2	150.5	205.2	150.6	198.4	140.6	241.4	242	153.4	143
2013	180.3	177.5	190	103.6	158.4	179.2	202.1	180.4	210.6	252.1	147	147.3
2014	241.2	135.6	146.2	167.8	133	200.7	247.2	231.6	228.8	290.9	188.6	150.4
2015	189.3	161.6	155.5	236.3	180.8	272.7	189.7	63.6	176.7	210.3	216.1	161.1
2016	110.3	130.4	131.6	170.4	219.5	211.4	202.8	179.8	173.3	192.8	158.1	36.2
2017	197.8	144.3	169	134.3	158.1	77.5	171.8	210.9	219.8	224.1	119.1	156.2
2018	195.5	185.5	277.5	245.8	322.2	233.8	274.1	249.5	282.5	270.6	237.7	240
2019	213.7	229.5	231.8	233.5	277.3	272.2	294.3	244.8	257.3	279.8	258.6	210.7
2020	257.6	251.4	276.1	277.6	296.8	308.4	315	283.4	294	280.1	242.2	224.3
2021	247.1	246.8	272.4	262.3	325.2	280.1	319.7	265.3	295.7	279.7	247	241.7
2022	228.8	205.1	269.7	287.3	229.6	292.6	315.9	298.4	276.9	270.9	245.5	248

來源：中央氣象局

2、雙期作水田連作區有機質含量變化

土壤有機質不僅提供植物及微生物養份外，也是土壤暫存養分的能力。耕作土壤通常建議在 3%以上，然而臺灣氣候往往高溫多濕，容易加速微生物分解土壤有機質。雲林分場長期生態設置自 2006 年建置，主要目標著重於臺灣現行幾種耕作制度資材投入對生物、生態系生產力維持之機制及其對環境衝擊等之研究，探求最佳適應管理模式。最早設計為水旱輪作田(水稻－甘藷，水稻－花生)，旱田連作(花生－甘藷)，雙期作水田(水稻－水稻)；因自然環境影響，斗南鎮接近山區雨水較多。2009 年起變更為雙期作水田與水旱輪作田兩種生態系研究，並經多次檢討，2012 年加入對照區(不施肥區)(CK)，本試驗之有機質來源為水稻生產後將作物殘體直接翻入土壤中，且從未額外添加任何品目之有機質肥料。作物的殘體包含蒿桿、殘椿、根部等。稻之植物養分含氮量從 0.4~1.1%、磷 0.02~0.17%、鉀 1.1~3.7%、含矽 3.5~6.6%，稻蒿含有豐富的鉀與矽，值得回歸利用(9)。水稻田因浸水還原，有機物分解較慢，故在兩期稻作下，因留在土壤中的根與莖基每公頃約有 5~10 噸，再加上 8.8 噸~14 噸稻稈(圖 5)地上物回歸土壤，土壤有機質含量已可維持不減，因此縱使不施肥區(CK)產量仍可達一期作 5,307~6,901 公斤/公頃；二期作 5,305~8,007 公斤/公頃。Pampolino 等人(2008)於研究中提到試驗土壤經過 15 年水田連作，試驗區之表土有機質呈現維持水平或是增加(18)。雲林分場水田連作區之表土(0-15 cm)有機範圍約略落在 0.3-2.03%(圖 6)，且隨者時間趨向動態平衡，由於水稻採收後稻稈大多翻耕於表土，符合觀察結果。值得注意的是稻草為唯一的有機質來源，然而在 12 年水田連作下土壤有機質仍維持動態平衡。

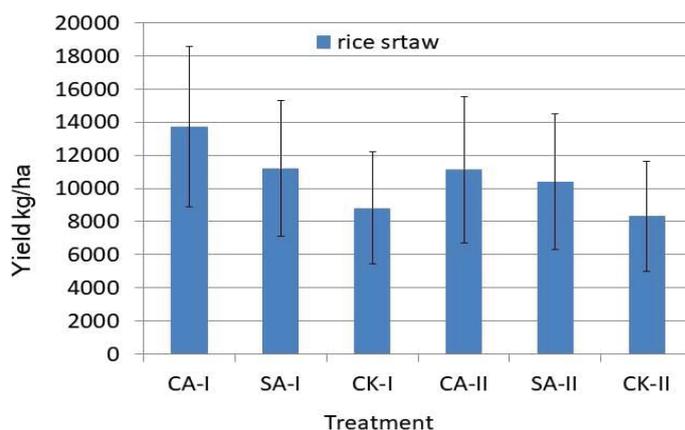


圖 5. 2012-2022 年間雙期作水田系統下不同處理模式對水稻稻稈產量之影響。

Fig 5. The effect of fertilizer on rice straw under paddy-paddy(LL) system during 2012 to 2022.

CA: Conventional Agroecosystem; SA: Sustainable driven Agroecosystem; CK: No-fertilizer.

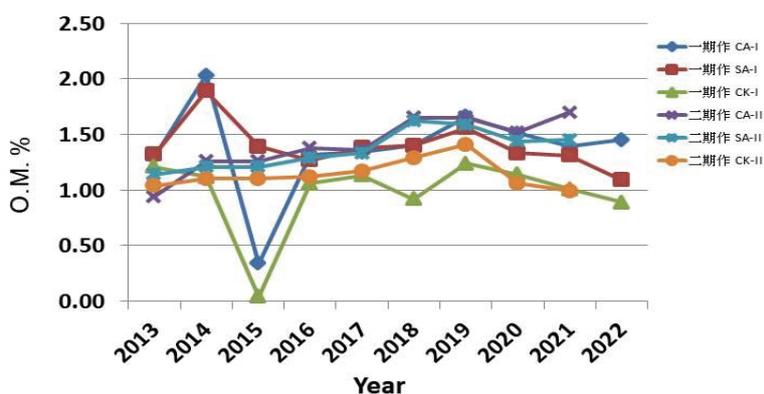


圖 6. 2013-2022 年間不同處理模式對水田連作表土(0-15cm)有機質變化情形。

Fig 6. The trend of soil O.M. in 0-15 cm soil layer under paddy-paddy(LL) system during 2013 to 2022.

CA: Conventional Agroecosystem; CK: No-fertilizer.

3、灌溉水質監測結果

良好的農業灌溉用水水質是確保農糧產品品質之根本，雲林分場灌溉水源包含溝水以及井水，溝水為農田水利會提供之灌溉水，水源為濁水溪及清水溪屬於農業委員會農田水利署雲林管理處斗南站石龜溪圳下游，井水為分場內之灌溉水源。水田灌田時期，當灌區輪流供水不足時，會改採井水對試驗田進行灌溉。溝水酸鹼值介於 6.6~8.8，灌溉水質酸鹼值呈現動態平衡，並隨時可透過 Web Services 網路資訊查詢農業委員會農田水利署-農水業務-灌溉水質資訊，直接讀取最新的環保署監測資訊，了解灌溉

水水溫、pH 值及 EC 值；井水部分則自行取樣監測酸鹼值介於 6.2 ~ 7.3，呈穩定平衡。

結論與建議

水稻施肥量低投入處理一、二期作氮肥僅一般高投入推薦量 62.5%，磷肥僅一般高投入推薦量 41.7%，鉀肥僅一般高投入推薦量 35.7%。又產量上高投入處理乾穀坪割收量與低投入處理差異不大，產量亦未有逐年降低的現象。面對氣候變遷愈劇烈，作物的忍耐性更顯重要，已有眾多的報告(4,10)顯示，作物若肥料施用越多，遇到惡劣的氣候變化反而易導致病蟲害發生，造成減產，產量反不如施肥少者。對於水稻產量而言，永續農耕中合理的減少肥料投入，已可提供作物生長所需養分及控制病蟲害之發生，在長期低投入栽培試驗對水田區產量已經逐步趨於穩定，並能維持相當於慣行農耕的產量。

參考文獻

1. 丁文彥。2012。極端溫度對水稻生育的影響。臺東區農業專訊 82：16-18。
2. 行政院農業委員會編印。2022。農業生產 農業統計年報。
3. 中華肥料協會編印。2005。作物施肥手冊 P 154。
4. 台中區農業改良場編印。2010。作物合理化施肥專輯—特刊 100: p433。
5. 王瑞章、孫文章、江汶錦、林晉卿、黃山內。2012。農業長期生態系對作物生產力及土壤肥力的影響。臺南區農業改良場研究彙報 60：48-67。
6. 江秀娥。2012。農場生產成本分析。農業生態系長期生態究與應用-行政院農業委員會農業試驗所報告書 p.183-198。
7. 李文輝。1992。耕作制度對土壤肥力及作物產量與收益關係之研究。臺南區農業改良場研究彙報 28：23-37。
8. 連深。1978。第二期稻作收量低落之地點間差異及有關因子。中華農學會報 101:52。
9. 黃山內、林晉卿。2020。有機肥料在水稻栽培上之施用技術。中華永續農業協會、行政院農業委員農業試驗所編。第 4 章-2：103-118。
10. 陳昇寬、陳國憲、張汶肇、彭瑞菊、張錦興、謝明憲、羅正宗、林棟樑、鄭榮瑞、游添榮。2010。氣候變遷對雲嘉南地區作物生產影響與因應對策。氣候變遷與糧食危機國際研討會 p.45-52。
11. 陳琦玲、陳炳輝、黃山內、金恆鏢、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(4)：233-246。
12. 張素貞、賴巧娟。2020。稻作生產氣象因子風險評估。苗栗區農業專訊 89-02。
13. 詹碧連、王培珊、詹雅勛。2012。雲嘉南地區稻田耕作制度之研究。臺南區農業改良場研究彙報 59：15-25。
14. 劉大江、謝順景(編)。1979。臺灣二期作稻低產原因及解決方法研討會專集。國科會研討會專集第 2 集。國科會，台北市。

15. 潘佳辰、王瑞章、江汶錦。2017。農業長期生態系之水田連作對土壤肥力及產量的影響：以雲林分場水田連作試驗區為例。臺南區農業改良場研究彙報 72：41-51。
16. Chen, C. L., B. H. Chen, S. N. Huang, T. C. Lin, Z. S. Chen, and C. C. Young. 2004. Report for the visit long term ecological research site for agricultural ecosystem
17. Chen, B. H., C. L. Chen. 2006. Assembling the long term ecological research for agricultural systems in Taiwan. P.5-10.In: Proceeding of Workshop on Long Term Ecological Research in Agricultural Ecosystems. March 8, 2006. Taiwan Agricultural Research Institute. Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan ROC.
18. Pampolino, M. F.; Laureles, E. V.;and Gines, H. C. 2008. Soil carbon and nitrogen changes in long-term continuous lowland rice cropping. Soil Sci. Soc. Am. J. 72: 798- 807.

Evaluation of Crop Productivity by Agricultural Long-term paddy-paddy(LL) system in Yunlin Region

Wang , R. C., C.C . Pan and A. H. Yang*

Tainan District Agricultural Research and Extension, Council of Agriculture, Executive Yuan

*Correspondence:ahyang@mail.tndais.gov.tw

Abstract

Agricultural long term ecosystem has been set up to the 14th years at the Yunlin branch, TNDARES. Effect of fertilization on soil and rice paddy-paddy systems in terms within the crop yield, rice straw yield and soil quality. Results from 14-years study indicated that no yield difference was observed between conventional agro-ecosystem(CA) and Sustainable driven Agroecosystem (SA) cropping systems, except the difference in the rice yield of first cropping season in 2015 and 2018 and second cropping season in 2019. It also showed that all the crops yield were stable year after year, no matter what cropping system, even under the continuous cropping system. Rice sativa is rich in potassium and silicon. The organic matter decomposes slowly in paddy fields due to water immersion. Therefore, under the paddy-paddy system cultivation, there are about 5-10 tons of roots, stem bases and rice straws left in the soil per hectare, plus 8.8-14 tons. The culms return to the soil, and the content of soil organic matter can be maintained unabated. Soil organic matter is maintained at the range 0.3-2.03 % in the 0-15 cm soil depth. The irrigation water quality is also maintained at pH 8.0. It also showed that all the crops yield were sustainably and gradually stable year after year.

Keywords: Long Term Ecological Research, Cropping System, Agricultural Ecosystem, Productivity of Crop

中南部茶區農業氣象之溫度調查與變化趨勢

楊小瑩¹、紀依汝¹、林育聖¹、許淳淇¹、林儒宏^{1*}

1 單位:行政院農業委員會茶業改良場
*聯繫人 e-mail:jhlin@ttes.gov.tw

摘要

農業生態系長期生態之研究於名間生態茶園觀察點蒐集氣象觀測資訊，經整理 2012 年至 2023 年 3 月這 10 年間之氣象資訊，可觀察到以下現象，10 年平均氣溫從 3 月開始氣溫逐漸增加，到 7 月最高，再從 9 月份逐漸下降，10 月下降幅度更大，氣溫逐漸變成夏冬兩季趨勢，再經分析臺中、南投、雲林、嘉義茶區鄰近氣象觀測站可發現，每日最高最低溫之差值之每月平均值與累加值有差異，部分茶區甚至會高於或低於 10 年或 5 年之平均值，顯示這幾年來氣溫變化在部分茶區的確有影響。

經分析 1 月至 4 月以及 10 月到 12 月這 6 個月的降水量普遍不足，在 2020 年 10 月至 2021 年 4 月產生持續性乾旱，在 2023 年 1 月至 3 月也因降水不足也造成中南部茶區乾旱，以及各項供水不足等問題產生，且經常在 6 月及 8 月分別降下強降雨，突顯降水不均之情況，將會有雨季與非雨季的趨勢。

關鍵字：茶、微氣候、農業氣象

Agrometeorological Temperature Survey and Variation Trends in the Tea Areas of Central and Southern Taiwan

Yang Hsiao-Ying¹, Ji Yi-Ru¹, Lin Yu-Sheng¹, Shiu Chun-Chi¹ and Lin Ju-Hung^{1*}

¹ Tea Research and Extension Station.

*Correspondence: jhlin@ttes.gov.tw

Abstract

Research on long-term ecology of agricultural ecosystems Collect meteorological observation information at ecological tea garden observation points. After sorting out the meteorological information for the 10 years from 2012 to March 2023. It can be observed that the 10-year average temperature gradually increases from March to the highest in July.. Then gradually decreased from September, and the decline was even greater in October. The temperature gradually becomes the trend of summer and winter. After analyzing the meteorological observation stations in Taichung, Nantou, Yunlin, and Chiayi tea areas, it can be found that the difference between the daily maximum and minimum temperature is different from the monthly average value and the accumulated value. Some tea areas are even higher or lower than the 10-year or 5-year average, which shows that the temperature changes in recent years have affected the tea areas.

After analyzing the precipitation in the six months from January to April and October to December is generally insufficient,Produce persistent drought from October 2020 to April 2021. From January to March 2023, the lack of precipitation will also cause drought in the central and southern tea regions, which will cause problems in cultivation. Heavy rainfall often falls in June and August respectively, highlighting the uneven precipitation, and there will be a trend of rainy season and non-rainy season.

Keywords: Tea; Microclimate; Agrometeorological

農業長期生態系昆蟲調查、分析應用及注意事項

董耀仁^{1*}、許北辰^{2*}、楊婉秀^{3*}、李奇峯⁴、曾美容⁵、陳淑佩⁶、李啟陽⁷、石憲宗^{8*}、
許育慈⁹、林立¹⁰、陳泰元¹¹、劉東憲¹²、莊國鴻¹³、陳盈丞¹⁴、潘佳辰¹⁵

1,2,3,4,5,6,7,8, 農委會農業試驗所：助理研究員、助理研究員、助理研究員、聘用研究員、約用助理、
研究員、助理研究員、研究員兼組長

9 農委會台東區農業改良場：助理研究員

10 農委會花蓮區農業改良場：助理研究員

11 農委會高雄區農業改良場：助理研究員

12 農委會苗栗區農業改良場：助理研究員

13 農委會桃園區農業改良場：副研究員

14,15 農委會台南區農業改良場：助理研究員

*聯繫人 e-mail:yjdong@tari.gov.tw、bchen@tari.gov.tw、whyang@tari.gov.tw、htshih@tari.gov.tw

摘要

地球上大約 80%動物為昆蟲，昆蟲提供我們經常不自覺接受的生態服務。他們是植物授粉者、動物屍體及植物植體殘渣等有機物質分解者，動物糞便清除者、土壤調節者、天然肥料生產者及作物病蟲害調控者。集約化農耕生產，特別是化學農藥的施用，是昆蟲多樣性的降低的主要原因之一，喪失昆蟲所提供的生態服務功能，直接對農業生產造成嚴重的影響，進而導致人類糧食供應的危機。農業生態系長期昆蟲調查，能幫助農政單位明瞭，不同農耕操作方式、氣候變遷及環境變化等因素影響之下，長期對昆蟲多樣性及所提供生態服務功能的影響，作為政策研擬有力的科學性佐證依據。欲達成上述目標，有賴標準化執行調查工作，資料長期格式化保存、跨領域分享及分析應用。

關鍵字：農業長期生態、昆蟲、監測調查、資料分析應用

前言

昆蟲生物多樣性，支持農業生態系中，害蟲生物防治及授粉等生態服務功能 (Dainese *et al.* 2019)。上述兩種生態服務功能，與糧食生產、營養安全以及人類福祉有關，兩者的全球預估所提供價值，保守估計分別為每年每公頃 24 美元及 14 美元 (Costanza *et al.* 1997)。在亞太地區，昆蟲天敵減輕了入侵害蟲的危害，將作物產量提高了 73% 至 100%，每年因昆蟲天敵的害蟲調節服務，產生 146 億美元至 195 億美元的農場收益 (Wyckhuys *et al.* 2020)。

昆蟲在所有陸地生態系統中都很豐富，並且顯示出物種之間的廣泛差異 (Gullan & Cranston 2010)。由於昆蟲數量眾多及所提供的生態系統服務，昆蟲在農業生態系中的功能意義重大 (Samways 1993)。昆蟲是不同生態系統中的關鍵組成部分，是生態系統中服務功能的主要參與者，由於昆蟲大多被視為害蟲或潛在害蟲，因此昆蟲的這種生態重要性常常被忽視。在農業生態系統中昆蟲的主要服務功能是生態系統循環、授粉、捕食/寄生和分解 (Kim 1993)。

現代農業採集約化生產，包括將農場擴展為大型商業企業，同時將重點轉移到單一栽培，以及增加化學肥料和化學合成農藥的投入 (Emmerson *et al.* 2016; Raven & Wagner 2021)。在這樣的系統中，還更加強調消除雜草、砍伐樹籬和樹木以促進田間機械化。地表水道也進行了改造，包括溪流渠道化，以緩解流動並改善農田的灌溉和排水。這些集約化做法大大減少了昆蟲、草本植物、食蟲脊椎動物和其他生物的避難所，從而導致生物多樣性的全面下降，包括物種數量和生物量 (Wilcove *et al.* 1998; Emmerson *et al.* 2016; Zabel *et al.* 2019)。

在過去十年中，德國陸地生態系統中的節肢動物生物量下降了 41% 至 67%，這是由人為因素(例如，棲息地喪失和農藥污染)、農業集約化和氣候變化驅動的 (Zhou *et al.* 2023)。通過長期調查或在其他環境中進行的比較歷史研究記錄，在西歐或北美呈現了類似的現象 (Stepanian *et al.* 2020; Wagner *et al.* 2021)。昆蟲在農業生態系統中佔據顯著位置並充當主要生態系統服務提供者，昆蟲的長期減少將對社會福祉產生負面影響 (Dainese *et al.* 2019; Wyckhuys *et al.* 2020; Zhou *et al.* 2023)。農業長期生態系昆蟲調查，能幫助明瞭長期不同農耕方法操作及氣候、環境變遷之下，昆蟲族群對應所產生的變化及後續衍生對農業生產及社會福祉的影響，可作為政府施政參考之重要依據，具有重大的研究意義。

我國農業長期生態系昆蟲調查演進

臺灣的農業環境多元，2020 年之前，行政院農業委員會 (下稱農委會) 所屬各場試所參與 "農業長期生態調查計畫" 的機關，僅有農業試驗所 (下稱農試所)、台南區農業改良場、茶葉改良場與苗栗區農業改良場。重點主要是瞭解不同管理模式 (如高低施肥量、輪作)，作物產量與病蟲害變化的相互關係，但受限於資源和人力之故，在原農業長期生態調查各樣站的昆蟲監測，僅限於分析特定瓢蟲族群動態，但缺乏此些瓢蟲的食餌(即害蟲)族群動態調查資料，因此無法客觀反映不同農業操作系統的農業昆蟲(益蟲和害蟲)族群動態的變化因素。

有鑑於此，農委會支持擴大農業長期生態調查監測站，並針對以往待補強的昆蟲鑑定與昆蟲組成分析，列為各擴充樣站的重點研究項目，從農業生態環境、農業生產管理措施、農作經濟規模、氣候變化等議題之相互關係，提供農政部門研擬可兼顧農

業產業與生態環境的政策配套規劃或法令調整，俾使農業長期生態研究主動納入農業主客觀條件，達到同時具備基礎與應用的研究功能。自 2020-2023 年開始進行樣站擴充規劃與勘查，其樣站擴充概況，可依年度區分為四階段，(1) 2020 年於全台增設 8 個農業陸域和 2 個漁業水域之長期監測站；(2) 2021 年擴充台東長濱樣站 (由農試所和台東區農業改良場合作)；(3) 2022 年擴充南投縣埔里百香果樣站 (由農業試驗所和台中區農業改良場合作)；(4) 2023 年擴充彰化縣大村葡萄樣站 (由農業試驗所和台中區農業改良場合作)。總結本細部計畫的陸域昆蟲鑑定樣站，至 2023 年已達 10 站 (詳見附錄，其中屏東枋寮因樣站特性，僅監測芒果重要植物病害發生程度)。

2020-2022 年間，於指標昆蟲瓢蟲部分，已調查到 25 屬，超過 10000 隻瓢蟲，其中含植食性瓢蟲有 6 種、食菌性瓢蟲 1 種，其餘 47 種為食蟲性瓢蟲，總計至少 54 種瓢蟲，約占台灣已之瓢蟲種類的 22.4%，其中捕食性瓢蟲種類占比約 88.9%，與文獻中記載比例相近。調查到的食蟲性瓢蟲中以變斑隱勢瓢蟲 [*Cryptogonus orbiculus* (Gyllenhal)] 數量最多、其次為台南方瓢蟲 [*Sasajiscymnus tainanensis* (Ohta)] 及六條瓢蟲 [*Cheilomenes sexmaculata* (Fabricius)]。上述三種瓢蟲於 8 個樣站中均有發現，為農業生態樣區中分佈最廣之瓢蟲；植食性瓢蟲中，以茄二十八星瓢蟲 [*Henosepilachna vigintioctopunctata* (Fabricius)] 之數量最多且分佈於最多樣站，食菌性瓢蟲雖然僅調查到黃瓢蟲 [*Illeis koebeleri* Timberlake] 1 種，但於所有樣站皆有分佈。8 個陸域樣站中 (許等，2022)。

目前調查到瓢蟲種類數最多者，為苗栗西湖文旦園樣站，其次依序為新竹峨眉桶柑樣站、花蓮富里水稻樣站、台東卑南釋迦樣站、台東池上水稻樣站、台南麻豆文旦樣站及高雄燕巢印度棗樣站。不同樣站間的地理景觀可能為影響瓢蟲種類多樣性的原因。富里及池上水稻樣區一、二期作之優勢瓢蟲，皆為橙瓢蟲及六條瓢蟲，一期作優勢瓢蟲種類數多於二期作，優勢指標瓢蟲於不同農法間發生數量尚無確定趨勢，顯示除農事操作外，生態地景因素可能亦為影響瓢蟲族群重要因子；不同果樹樣區間優勢瓢蟲種類存在差異性，但台南方瓢蟲為 6 個果樹樣站的共通優勢瓢蟲物種，台南方瓢蟲詳細生物學資料目前尚未知，但依文獻中關於同屬瓢蟲食餌紀錄，台南方瓢蟲可能為蚜蟲或介殼蟲等害蟲之天敵。有機農法果園較慣行農法果園存在更多優勢瓢蟲，顯示有機農法的生態農業模式，可維持昆蟲天敵在農業生態系中的害蟲調節功能，有助於壓制害蟲族群爆發，減少化學農藥等防治措施投入，增進農友收益。

於 8 個農業樣站中調查中，共分類出 17 目，超過 40 萬隻昆蟲，其中半翅目、雙翅目及膜翅目昆蟲，為 8 個農業樣站共同優勢分類群。在麻豆文旦、西湖文旦、峨眉桶柑、卑南番荔枝及燕巢印度棗 5 個陸域樣站中，直翅目昆蟲及膜翅目蟻科昆蟲於所有有機樣區調查數量均顯著高於慣行樣區，顯示慣行樣區農業集約化操作模式對昆蟲數量降低的影響，此與國際長期農業生態系昆蟲數量調查研究有相同結果。直翅目昆蟲與膜翅目蟻科，具有作為有機農耕指標昆蟲潛力(資料見附錄)。

昆蟲在農業生產與人類福祉的重要性已被證實，農業長期生態調查工作中，無法忽視影響昆蟲族群變化的因子，長期昆蟲調查資料更是農友及農政單位決策時，不可缺少的科學性佐證依據。目前本計畫，於陸域樣站調查結果，已初步呈現半翅目及雙翅目昆蟲，為所有陸域樣站中，於有機農耕與慣行農耕模式下，均為最優勢的昆蟲分類群，其中葉蟬科為 8 個農業樣站，半翅目昆蟲中之優勢科；搖蚊科為富里及池上水稻樣站一期作及二期作，雙翅目昆蟲中之優勢科。本期程我們將致力完成農業長期生態優勢昆蟲科級鑑定圖鑑，針對現有共同優勢昆蟲科及個別樣站特有的優勢昆蟲科，

建立其鑑定特徵依據、經濟及生態重要性資料，並藉辦理[農業長期生態及昆蟲鑑定工作坊]，提升團隊伙伴執行能力，加速計畫執行進度，促進整體研究成果的量能展現。

農業長期生態系昆蟲調查，所累積調查資料，當本計畫執行時間超過 3, 5, 10, 15, 30, 50 年以上之後，可據以分析農業長期氣候、農耕操作模式及地景生態景觀等因子影響，即可看出各監測站及監測站內各監測點(不同農法) 其昆蟲組成的變化，我們也可以從短期至長期的變化，進一步釐清每一時段的可能變化原因，向農友或農政機關，提出具有科學依據論述，且符合實務(兼顧環境永續與經濟效益)需求的建議，包括配套政策工具或改良型的農業操作策略。

昆蟲在農業生態系統重要性

為不斷增長的人口生產足夠的糧食已成為全球關注的問題。目前世界上幾乎所有的肥沃土地都在使用中，耕地面積已經無法大幅擴大。全球面臨的挑戰是如何確保高產和優質產量，並使農業生產與環境生態能兼容。自從人類從事農作物種植以來，害蟲就伴隨著農作物生長發生，昆蟲與植物間是一種相互作用關係 (Samways 1993)，全世界的昆蟲中，大約 50% 的昆蟲種類是植食性的，其中大多數植食性昆蟲以一個或幾個相近植物科的植物為食 (Schoonhoven *et al.* 2005)。植食性昆蟲對全世界以化學防治方法控制害蟲為害的農業生產造成 18% 的損失 (Losey & Vaughan 2006)。儘管植食性昆蟲造成這些損失，但只有不到 0.5% 昆蟲種類被認為是害蟲。除了以人類為中心的觀念和社會偏見之外，昆蟲在生態背景下並不是害蟲 (Kim 1993)。

昆蟲影響人類的生存，因為沒有昆蟲提供的生態服務功能，農作物就無法生產收穫，世界上超過 72% 的作物依賴昆蟲授粉 (Dicke 2017)，授粉昆蟲提高或穩定了全球四分之三的所有作物類型的產量，按體積計算佔全球作物產量的三分之一 (Garibaldi *et al.* 2013)，而且已知多種昆蟲與作物種子產量有關 (Hoehn *et al.* 2008)。授粉昆蟲類類包括數百種的獨居蜂、熊蜂、蠅類、甲蟲和蝴蝶，有時野生蜜蜂授粉比人工飼養蜜蜂更重要 (Garibaldi *et al.* 2013)。據估計，全世界農作物產量中，昆蟲的授粉服務對作物產量的貢獻率為 9.5% (Gallai *et al.* 2009)。

全球 80% 開花植物由昆蟲授粉，動物授粉者為 87 種全球作物的生產做出貢獻，包括來自 200 個國家/地區的可可 (*Theobroma cacao*)、獼猴桃 (*Actinidia deliciosa* var. *deliciosa*)、百香果 (*Passiflora edulis*) 和西瓜 (*Citrullus lanatus*)，這些作物中有 30% 參與了全球經濟糧食生產 (Khalifa *et al.* 2021)。全球授粉的經濟價值平均為 1530 億歐元，佔 2005 年世界農業生產的 9.5%。一噸不依賴昆蟲授粉的作物產量價值約為 151 歐元，而依賴授粉媒介的作物的平均價值為 761 歐元 (Gallai *et al.* 2009)。在美國，昆蟲授粉每年就產生高達 160 億美元的價值，其中僅來自蜜粉授粉所產生的價值便達 120 億美元 (Calderone 2012)。

害蟲防治是農作物生產過程中不可避免的，作物害蟲之昆蟲天敵於農業生態系統中發揮生物調節的重要生態服務功能。超過 75% 的田間調查研究顯示，通才捕食者 (generalist predators) 顯著減少了農田中的害蟲數量 (Symondson *et al.* 2002)。步行蟲是農田中主要的通才捕食者，可有效減少農作物重要經濟害蟲如穀物蚜蟲、鱗翅目幼蟲、植食性甲蟲及菜蛆 (*Delia radicum* L.) 等雙翅目害蟲的數量 (Kromp 1999)。自然存在的昆蟲天敵對成功控制作物害蟲具有關鍵的經濟和生態重要性，評估害蟲天敵負責農田生物害蟲控制的效果估計可達 50-90%，僅在美國，昆蟲天敵對作物害蟲生物防治所帶

來的經濟效益一年可達 44.9 億美元，在中國華北平原棉花生產中，將目前棉田的瓢蟲密度提高一倍估計可為棉農帶來 3 億美元的收益，即使在目前殺蟲劑使用水平很高的情況下，額外的一隻瓢蟲也能為農民帶來 0.05 元人民幣(約合 0.01 美元-當時貨幣)的經濟效益 (Pimentel 2005； Losey & Vaughan 2006； Huang *et al.* 2018)。

昆蟲在改良農業土壤方面也很重要，通過它們在土壤中的活動，糞金龜增加了氮、磷、鉀、鈣和鎂或總蛋白質含量，與施用化學肥料相較，顯著提高了小麥的產量 (de Groot *et al.* 2002)。螞蟻築巢活動和螞蟻巢內食物資源的集中，會影響土壤條件並改變重要的地下生物群落。螞蟻通常將它們的巢穴保持在一個常溫高於環境空氣溫度的恆溫環境中，在資源、養分和恆溫等條件下，螞蟻巢穴可以成為多樣性熱點，是共生和寄生昆蟲物種的家園(Frouz & Jilková 2008； Campbell & Crist 2016)。在巢穴中，螞蟻活動可以通過三個過程改變土壤養分和 pH 值：(1) 螞蟻可以在築巢過程中移動、分離和改變土壤物質；(2) 築巢可以通過改變巢內環境條件間接改變養分的溶解度；(3) 螞蟻覓食將食物資源和廢棄物集中在巢穴內(Cammeraat & Risch 2008)。巢土變化的性質取決於原始土壤條件。以 pH 為例，螞蟻活動通常會中和巢穴土壤(Frouz & Jilková 2008)。

除了上述服務功能外，在全球實現環境可持續糧食安全的背景下，可食用昆蟲作為人類未來的食物已成為人們日益關注的問題 (Lange & Nakamura 2021)。

長期農業生態昆蟲調查必要性

隨著人們對全世昆蟲數量變化趨勢的日益關注，對昆蟲族群數量變化的標準化研究變得越來越重要和需要。越來越多的人認識到昆蟲種群可能正在減少，這引起了科學家對昆蟲種群長期監測的新呼籲，以及廣大公眾參與昆蟲調查工作的願望。然而，由於昆蟲的多樣性和數據收集方法的多樣化，長期昆蟲監測方法普遍缺乏標準化，因此突然和無計劃地擴大數據收集，缺乏對標準和最佳監測方法的協調關注，所得資料可能無法滿足對昆蟲生態潛力評估或保育等政策需求 (Montgomery *et al.* 2021)。

在全球科學研究證據的支持下，昆蟲普遍減少的威脅引發了廣泛而直言不諱的討論及憂慮(Conrad *et al.* 2006； Hallmann *et al.* 2017； van Klink *et al.* 2020)。但即使是這種昆蟲減少的趨勢被研究者關注，特定分類群及不同地區昆蟲減少的驅動因素仍不清楚 (Fox 2013; Wagner 2020)。研究人員需要對農業生態系統中，昆蟲的豐度和多樣性進行更系統、更長期的監測，儘管許多監測計劃已經存在，但調查時間足夠長，可以得出有關昆蟲種群和多樣性隨時間變化的穩健、獨立結論的研究卻相對較少，並且這些監測計劃在地理和分類學覆蓋範圍內必然受到限制 (Shortall *et al.* 2009)。目前關於農業長期生態系長期且完整的昆蟲調查數據非常有限，長期監測工作早就應該進行，但由於多種原因而被阻止，包括缺乏資金、動力和組織等。目前鑑於昆蟲數量減少受到重視及生態農業發展受到關注，有助於廣泛、長期的農業生態系昆蟲調查工作的執行與發展。

長期農業生態昆蟲調查方法

陸域節肢動物為生態系統中的重要組成，對不同昆蟲分類群標準化監測方法，需考量各種野外環境條件，並針對不同目標，快速、準確且可靠地對它們進行普查顯得尤為重要。除傳統使用之掃網法(Sweep Netting)及黃色黏蟲紙(Sticky Card Trapping)外，尚包括：馬氏網 (Malaise Trapping)、燈光誘集 (Light Trapping)、盤式誘捕器 (Pan

Trapping)、掉落式陷阱 (Pitfall Trapping)、拍打片 (Beating Sheets)、聲學監測 (Acoustic Monitoring) 及主動目視調查 (Active Visual Surveys)。

掃網法：為簡單且常用的昆蟲採集方法，以昆蟲網在植被或草地中以畫 8 字的方式橫掃，其方法操作簡單，不需要複雜的設備或專業知識，任何人都可以快速上手。與其他昆蟲採集方法相比，掃網法具有很強的適應性和廣泛性，可以在短時間內捕捉到大量昆蟲樣本(Yi *et al.* 2012)，且設備成本較低，對環境的影響較小。與其他利用化學物質、視覺或其他形式的誘引採集法來說，掃網為較被動式的採集法，對於目標昆蟲的族群密度及易捕捉性較無偏差 (Melbourne 1999; Mazon and Bordera 2008; Yi *et al.* 2012)。掃網方法主要適用於活動於植被表面的昆蟲，對於生活在樹冠、地下或其他隱蔽處的昆蟲，採用其他採集方法可能更為合適。

黃色黏蟲紙：各色黏蟲紙顏色的作用已在許多昆蟲種類上應用，昆蟲對不同顏色的偏好與其所取食的植物部位有關(Chu *et al.* 2000; Chen *et al.* 2004)。黃色黏蟲紙小型的刺吸式昆蟲(如粉蝨、薊馬與葉蟬)及其天敵昆蟲皆具吸引力(Wallis and Shaw, 2008; Reddy and Rajan, 2016)。使用黏紙調查設備成本低，可以在特定區域內多次使用，但缺點為黏膠不易從樣本上移除，可能對樣本造成損害。

馬氏網：僅適用於監測飛行性昆蟲，包括雙翅目、膜翅目、半翅目、鱗翅目及半水生昆蟲分類群等。放置位置十分重要，通常應沿著自然飛行走廊(例如，溪流或灌木叢之間間隙)放置，以最大限度地提高捕獲量 (Malaise 1937; Montgomery *et al.* 2021)。

燈光誘捕：燈光誘捕是調查夜間飛行昆蟲的最常見和最有效的方法之一，燈光誘捕適用於監測陸地和水生棲息地的趨光性夜間飛行昆蟲，並用於調查範圍廣泛的昆蟲分類群。燈光誘蟲器提供了一個收集標準化和可比較數據的機會，但許多因素會影響燈光誘捕昆蟲的數量和組成，包括誘蟲器類型、季節、一天中的時間、採樣持續時間和光源等。雖然燈光誘蟲器可以吸引周圍環境中的昆蟲，但在超過 30 公尺以上的距離很少會吸引昆蟲，因此陷阱位置周遭環境將影響被捕獲的生物 (Liu *et al.* 2007; Macgregor *et al.* 2017; Montgomery *et al.* 2021)。

盤式誘捕器：盤式誘捕器是裝滿液體的托盤，用來收集昆蟲。盤式誘捕器適用於監測飛行昆蟲。它可有效採樣蚜蟲(半翅目)、薊馬(膜翅目)、蜜蜂和寄生蜂(膜翅目)、蒼蠅(雙翅目)、一些甲蟲(鞘翅目)，甚至一些蝗蟲(直翅目)。每個分類群的誘捕效果隨盤顏色的不同而有很大差異，黃色陷阱通常收集最大的捕獲量和最高的總昆蟲多樣性，盤式誘捕器通常放置在目標昆蟲可以看到的開闊區域。陷阱可以放置在一起，最短間隔距離為 5 m，此為它們不會相互影響的最小距離 (Moericke 1951; Vrdoljak & Samways 2012; Montgomery *et al.* 2021)。

掉落式陷阱：掉落式陷阱是放置在與地面齊平的容器，用於捕捉地棲(表生)昆蟲。最適合對地棲甲蟲(鞘翅目)及螞蟻(膜翅目：蟻科)進行採樣，陷阱之間 25 m 的距離可確保樣本的獨立性 (Skvarla *et al.* 2014; Montgomery *et al.* 2021)。

拍打片：拍打片是由框架支撐的一塊織物，其放置在感興趣的物體(例如樹枝)下方。然後就由搖動或擊打，使昆蟲落在可以收集或記錄的織物上。這種主動採樣方法通常與吸氣器結合使用，以吸取快速移動的分類群。目前，最常見的設計是兩塊木頭或 PVC 管形成一個“X”，後面拉伸一塊白色織物(例如床單)。替代設計包括簡單地將床單放在地上，甚至使用雨傘。拍打片適用於對棲息在樹木和灌木叢中的昆蟲進行採樣 (Hurlbert *et al.* 2019; Montgomery *et al.* 2021)。

聲學監測：聲學監測器提供了一種被動的、非破壞性的方法來檢測和識別昆蟲，

聲學監測是監測在通信中使用聲音或振動的昆蟲的適當方法，聲學監測特別適用於響亮的陸生昆蟲，例如直翅目或蟬總科，因為它們會產生特定物種的求偶叫聲，根據聲音的振幅和頻率、地形和植被等景觀異質性以及天氣，在環境噪聲之上可檢測到聲信號的距離會有所不同，建議可將生物聲學設備放在固定位置 (Penone *et al.* 2013 ; Gibb *et al.* 2019 ; Montgomery *et al.* 2021)。

主動目視調查：主動目視調查通常用於記錄昆蟲的豐度和多樣性，需要付出巨大的努力，而且對於大量昆蟲物種來說不容易同時進行。適用於在野外可以輕鬆檢測和識別或拍攝的大型昆蟲。蝴蝶、蜻蜓和豆娘以及大黃蜂等大型蜜蜂可適用視覺調查進行有效採樣 (Schmucki *et al.* 2016 ; Wepprich *et al.* 2019 ; Montgomery *et al.* 2021)。

除專注於調查監測工作外，亦不能忽略昆蟲標本以供後續鑑定。鑑定後，通常由科學家決定是應該保留還是丟棄標本。因此，應格外小心，確保標本得到妥善保存。在 80-95% 的乙醇中保存標本以更好地保存 DNA 變得越來越普遍。無論採用何種保存方法，都值得在開始監測項目之前，製定標本存放和編目計劃。最佳情況下，檔案存放應包括所有調查記錄以及標本，以提高長期再利用價值 (Heraty *et al.* 2020 ; Montgomery *et al.* 2021)。

就像物理標本一樣，數據是未來科學的寶貴資源，長期農業生態系昆蟲調查，所收集的數據需要被數據化並上傳到網站或在線數據庫，這些網站或在線數據庫的建立是為了保存有關收集方法的數據。最近的努力呼籲統一的全球監測標準，雖然一個數據標準不太可能適用於所有昆蟲監測。與標本一樣，在開始監測項目之前考慮數據管理計劃至關重要，數據標準是該計劃的關鍵部分。然而，其他因素也很關鍵，包括開發本地數據存儲解決方案、決定長期數據存儲庫、確保為參與數據收集的人員提供適當的信用模型，以及數據產品的許可和使用協議 (Michener 2015 ; Montgomery *et al.* 2021)。

長期農業生態昆蟲調查資料分析應用

長期農業生態系昆蟲調查資料可供分析(1)昆蟲發生及分佈；(2)物候學資料；(3)豐度與生物量；(4)多樣性與物種組成 (Montgomery *et al.* 2021)。

昆蟲發生及分佈：長期農業生態系昆蟲的發生及分佈的變化，是表明農耕操作、氣候、作物及環境變化如何影響昆蟲族群及多樣性的重要指標。長期昆蟲的發生及分佈監測資料，可能是最常被分析應用的資料，特別是對於農業生態系統中入侵種及氣候變化所導致昆蟲分佈範圍變化的情況 (Boyes *et al.* 2019 ; Outhwaite *et al.* 2019)。

物候學：長期物候學監測資料，可以表示調控昆蟲族群生命週期時間因素的變化，從溫度和降雨模式到植物的開花期。昆蟲因物候學不同所導致的變化可能會使它們與生態系中其他類群(從植物到鳥類)產生發生時期的不匹配，並可能進一步對這些類群的族群數量產生重大的影響，目前有關昆蟲物候變化的記錄很少，但最近對氣候變化影響的興趣促使人們在監測工作中更加關注昆蟲物候學 (Gimesi 2012 ; Visser & Gienapp 2019)。

豐度與生物量：昆蟲在農業生態系中，豐度和生物量的趨勢變化，都是評估生態系統的重要衡量標準，對於了解生態系統的健康狀況，以及為何需要採用保護和管理措施的依據非常重要。評估農業生態系中昆蟲的豐度和生物量，通常需要昆蟲存在和不存在數據，以及每個昆蟲分類群個體的準確計數。這種監測形式資料上很少見，但

在引起近期人們對昆蟲數量減少的興趣方面可能是最具影響力的(Hallmann *et al.* 2017 ; Wepprich *et al.* 2019)。

多樣性與物種組成：農業生態系昆蟲生物多樣性的變化，例如物種多樣性和組成，代表昆蟲群落如何應對環境變化。估計昆蟲多樣性和物種組成，通常需要農業生態系中，多個昆蟲分類群的存在和消失數據，並期望跨分類群的抽樣可能性相同。與豐度、生物量和物候監測相比，監測昆蟲多樣性和組成變化工作相對普遍(Brooks *et al.* 2012 ; Valtonen *et al.* 2017)。

農業長期生態系昆蟲調查資料，可提供農友及政府決策參考資訊，害蟲發生物候期長期變化資訊，協助農友即時因應害蟲出現，採取適當的防治措施，減少對作物損害 (Ziesche *et al.* 2020)。在英國與蚜蟲相關的經濟損失每年可能達到 1.9 億英鎊。羅漢姆斯特研究中心昆蟲調查(Rothamsted Insect Survey, RIS)成立於 1964 年，是一個遍布英國的昆蟲誘捕器網絡，目前包括 80 個大型飛蛾燈光誘捕器和 16 個蚜蟲吸入誘捕器。RIS 藉由長期的蚜蟲調查工作，迄今創建了世界上最廣泛的昆蟲種群和隨時間遷徙的長期數據集所得調查資料。這些資料應用包括：1.農友通過採取預防措施，施減少蚜蟲造成的損害；2.政府鼓勵農友適時殺蟲劑，降低生產成本及預防蚜蟲抗藥性演變的可能性；3.為政府減少對授粉昆蟲的危害的決策提供信息；4.就由檢測入侵昆蟲物種的到來和傳播，以及氣候驅動的現有昆蟲威脅的增加，有助於政府評估氣候變化的影響，並為緩解這些影響的策略提供信息；5. RIS 提供的調查數據和昆蟲樣本幫助英國和世界各地的科學家對氣候變化、光污染和昆蟲減少的原因等主題進行富有成效的研究 (Insect Survey aids decision-making for farmers and environment)。

結語

昆蟲和陸生節肢動物被認為是物種豐富度的最大貢獻者，昆蟲約佔所有已知物種的 66%，佔當今全球生物多樣性的四分之三以上，已知昆蟲約有 100 萬種，(Kim 1993 ; Samways 1993 ; Samways 2005 ; Zhang 2011 ; Stork *et al.* 2015 ; Dicke 2017)。雖然植食性昆蟲對全世界的農業生產造成 18% 的損失 (Losey & Vaughan 2006)，但只有不到 0.5% 昆蟲種類被認為是害蟲。然而昆蟲所提供的生態系統服務的全球價值估計為每年 33 萬億美元 (Costanza *et al.* 1997)。農業長期生態系，標準化昆蟲調查資料，經由格式化妥善保存與分析，可提供種植農友農耕操作及政府農業政策的決定依據。此外，尚可提供模擬不同氣候及環境情境下，農業害蟲發生及變化趨勢所需參數資料。就由跨領域專家的協同研究，有助於我國農業生產的永續發展。

參考文獻

1. 許北辰、董耀仁、石憲宗、李奇峯、曾美容、陳淑佩、李啟陽、許育慈、林立、陳泰元、劉東憲、莊國鴻、陳盈丞。2022。農業生態系長期昆蟲普查。2022 農業生態系長期生態研究研討會專刊。P. 9-29.
2. Boyes, D. H., R. Fox, C. R. Shortall, and R. J. Whittaker. 2019. Bucking the trend: the diversity of Anthropocene 'winners' among British moths. *Front. Biogeogr.* 11:3862. doi: 10.21425/F5FBG43862
3. Brooks, D. R., J. E. Bajer, S. J. Clark, D. T. Monteith, C. Andrews, S. J. Corbett, D. A. Beaumont, and J. W. Chapman. 2012. Large carabid beetle declines in a United Kingdom

- monitoring network increases evidence for a widespread loss in insect biodiversity. *J. Appl. Ecol.* 49, 1009–1019. doi: 10.1111/j.1365-2664.2012.02194.x
4. Calderone, N.W. 2012. Insect pollinated crops, insect pollinators and US agriculture: Trend analysis of aggregate data for the period 1992–2009. *PLoS ONE* 2012, 7, e37235.
 5. Cammeraat, E. L. H., and A. C. Risch. 2008. The impact of ants on mineral soil properties and processes at different spatial scales. *J. Appl. Entomol.* 132:285–294. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2008.01281.x>
 6. Campbell, K. U., and T. O. Crist. 2016. Species traits and environmental characteristics together regulate ant-associated biodiversity. *Ecol. Evol.* 6:6397–6408. <https://doi.org/10.1002/ece3.2276>
 7. Chen T. Y., Chu C. C., Fitzgerald G., Natwick E. T., Henneberry T. J. 2004. Trap evaluations for thrips (Thysanoptera: Thripidae) and hoverflies (Diptera: Syrphidae). *Environ. Entomol.* 33(5): 1416-1420
 8. Chu C. C., Pinter P. J. Jr, Henneberry T. J., Umeda K., Natwick E. T., Wei Y. A., Reddy V. R., Shrepatis M. 2000. Use of CC traps with different trap base colors for silverleaf whiteflies (Homoptera: Aleyrodidae), thrips (Thysanoptera: Thripidae), and leafhoppers (Homoptera: Cicadellidae). *J Econ Entomol.* 93(4):1329-37.
 9. Conrad, K. F., M. S. Warren, R. Fox, M. S. Parsons, and I. P. Woiwod. 2006. Rapid declines of common, widespread British moths provide evidence of an insect biodiversity crisis. *Biol. Conserv.* 132, 279–291. doi: 10.1016/j.biocon.2006.04.020
 10. Costanza, R., R. d'Arge, R. D. Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Suttonkk, and M.V. D. Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature.* 387: 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
 11. Dainese M, E. A. Martin, M. A. Aizen, M. Albrecht, I. Bartomeus, R. Bommarco, L. G. Carvalheiro, R. Chaplin-Kramer, V. Gagic, L. A. Garibaldi, J. Ghazoul, H. Grab, M. Jonsson, D. S. Karp, C. M. Kennedy, D. Kleijn, C. Kremen, D. A. Landis, D. K. Letourneau, L. Marini, K. Poveda, R. Rader, H. G. Smith, T. Tscharntke, G. K. S. Andersson, I. Badenhauer, S. Baensch, A. D. M. Bezerra, F. J. J. A. Bianchi, V. Boreux, V. Bretagnolle, B. Caballero-Lopez, P. Cavigliasso, A. Četković, N. P. Chacoff, A. Classen, S. Cusser, F. D. da Silva E Silva, G. A. de Groot, J. F. Dudenhöffer, J. Ekroos, T. Fijen, P. Franck, B. M. Freitas, M. P. D. Garratt, C. Gratton, J. Hipólito, A. Holzschuh, L. Hunt, A. L. Iverson, S. Jha, T. Keasar, T. N. Kim, M. Kishinevsky, B. K. Klatt, A. M. Klein, K. M. Krewenka, S. Krishnan, A. E. Larsen, C. Lavigne, H. Lieke, B. Maas, R. E. Mallinger, E. Martinez Pachon, A. Martínez-Salinas, T. D. Meehan, M. G. E. Mitchell, G. A. R. Molina, M. Nesper, L. Nilsson, M. E. O'Rourke, M. K. Peters, M. Plečaš, S. G. Potts, D. L. Ramos, J. A. Rosenheim, M. Rundlöf, A. Rusch, A. Sáez, J. Scheper, M. Schleuning, J. M. Schmack, A. R. Sciligo, C. Seymour, D. A. Stanley, R. Stewart, J. C. Stout, L. Sutter, M. B. Takada, H. Taki, G. Tamburini, M. Tschumi, B. F. Viana, C. Westphal, B. K. Willcox, S. D. Wratten, A. Yoshioka, C. Zaragoza-Trello, W. Zhang, Y. Zou, and I. 2019. Steffan-Dewenter. A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Sci. Adv.* 5(10):eaax0121. doi: 10.1126/sciadv.aax0121. PMID: 31663019; PMCID: PMC6795509.
 12. Da Rocha, J. R. M., J. R. De Almeida, G. A. Lins, and A. Durval. 2010. Insects as indicators of environmental changing and pollution: a review of appropriate species and their monitoring. *Holos environment.* 10: 250-262.
 13. De Groot, R.S., M. A. Wilson, and R. M. J. Boumans 2002. A typology for the classification,

- description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecol. Econ.* 41: 393-408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
14. Dicke, M. 2017. Ecosystem Services of Insects. in: Van Huis, A., and J. K. Tomberlin. eds., *Insects as Food and Feed: From Production to Consumption*, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands, 61-76.
 15. Emmerson, M, M. B. Morales, J. J. Oñate, P. Batary, F. Berendse, J. Liira, T. Avaik, I. Guerrero, R. Bommarco, S. Eggers, T. Pärt, T. Tschardtke, W. Weisser, L. Clement, and J. Bengtsson. 2016. How agricultural intensification affects biodiversity and ecosystem services. *Adv. Ecol. Res.* 55:43–97. <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2016.08.005>
 16. Fox, R. 2013. The decline of moths in Great Britain: a review of possible causes: the decline of moths in Great Britain. *Insect Conserv. Divers.* 6: 5–19. doi: 10.1111/j.1752-4598.2012.00186.x
 17. Frouz, J., and V. Jilková. 2008. The effect of ants on soil properties and processes (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News*, 11: 191-199.
 18. Gallai, N., J. M. Salles, J. Settele, and B. E. Vaissière. 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecol. Econ.* 68: 810–821. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.014>
 19. Gibb, R., E. Browning, P. Glover-Kapfer, and K. E. Jones. 2019. Emerging opportunities and challenges for passive acoustics in ecological assessment and monitoring. *Methods Ecol. Evol.* 10, 169–185. doi: 10.1111/2041-210X.13101
 20. Garibaldi, L.A., I. Steffan-Dewenter, R. Winfree, M. A. Aizen, R. Bommarco, S. A. Cunningham, C. Kremen, L. G. Carvalheiro, L. D. Harder, O. Afik, I. Bartomeus, F. Benjamin, V. Boreux, D. Cariveau, N. P. Chacoff, J. H. Dudenhöffer, B. M. Freitas, J. Ghazoul, S. Greenleaf, J. Hipólito, A. Holzschuh, B. Howlett, R. Isaacs, S. K. Javorek, C. M. Kennedy, K. M. Krewenka, S. Krishnan, Y. Mandelik, M. M. Mayfield, I. Motzke, T. Munyuli, B. A. Nault, M. Otieno, J. Petersen, G. Pisanty, S. G. Potts, R. Rader, T. H. Ricketts, M. Rundlöf, C. L. Seymour, C. Schüepp, H. Szentgyörgyi, H. Taki, T. Tschardtke, C. H. Vergara, B. F. Viana, T. C. Wanger, C. Westphal, N. Williams, and A. M. Klein. 2013. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science*, 339, 1608-1611. <https://doi.org/10.1126/science.1230200>
 21. Ghini, S., M. Fernandez, Y. Pico, R. Marin, F. Fini, J. Manes, and S. Girotti, S. 2004. Occurrence and distribution of pesticides in the province of Bologna, Italy, using honeybees as bioindicators. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 47: 479-488. <https://doi.org/10.1007/s00244-003-3219-y>
 22. Gimesi, L. 2012. The effect of climate change on the phenology of moth abundance and diversity. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 10, 349–363. doi: 10.15666/aeer/1003_349363
 23. Gullan, P.J., and P. S. Cranston. 2010 *The insects: an outline of entomology*. Wiley-Blackwell Press. Hoboken, N.J. 584 pp.
 24. Hallmann, C. A., M. Sorg, E. Jongejans, H. Siepel, N. Hofland, H. Schwan, W. Stenmans, A. Müller, H. Sumser, T. Hörren, D. Goulson, and H. de Kroon. 2017. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE* 12:e0185809. doi: 10.1371/journal.pone.0185809
 25. Heraty, J., D. Yanega, and S. Triapitsyn. 2020. Museum specimen preparation guidelines (incl. Vouchers). Available online at: https://entmuseum.ucr.edu/specimen_preparation/index.html.
 26. Hilsenhoff, William L. 1998. A modification of the biotic index of organic stream pollution

- to remedy problems and permit its use throughout the year. *The great lakes entomologist*. 31 (1): 1-12
27. Hodek, I. 1973. *Biology of Coccinellidae*. Academia, Prague & Dr. W. Junk, The Hague, 260 pp.
28. Hoehn, P., T. Tschardt, J. M. Tylianakis, and I. Steffan-Dewenter, I. 2008. Functional group diversity of bee pollinators increases crop yield. *Proc. R. Soc. B: Biol. Sci.* 275: 2283-2291. <https://doi.org/10.1098/rspb.2008.0405>
29. Hölldobler, B. and E. O. Wilson. 1990. *The ants*. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, USA. 752 pp.
30. Huang, L., K. Zhou, W. Zhang, X. Deng, W. V. D. Werf, Y. Lu, K. Wu, and M. W. Rosegrant. 2018. Uncovering the economic value of natural enemies and true costs of chemical insecticides to cotton farmers in China. *Environ. Res. Lett.* 13: 064027. DOI: 10.1088/1748-9326/aabfb0
31. Hurlbert, A., T. Hayes, T. McKinnon, and C. Goforth. 2019. Caterpillars Count! A citizen science project for monitoring foliage arthropod abundance and phenology. *Citiz. Sci. Theory Pract.* 4:1-12. <https://doi.org/10.5334/cstp.148>
32. Insect survey aids decision-making for farmers and environment. Available at <https://www.ukri.org/about-us/how-we-are-doing/research-outcomes-and-impact/bbsrc/insect-survey-aids-decision-making-for-farmers-and-environment/>
33. Iperiti, G. 1999. Biodiversity of predaceous coccinellidae in relation to bioindication and economic importance. *Agriculture. Ecosyst. Environ.* 74:323–342.
34. Jankielsohn, A. 2018. The importance of insects in agricultural ecosystems. *Adv. in Entomol.* 6: 62-73.
35. Khalifa, S. A. M., E. H. Elshafiey, A. A. Shetaia, A. A. A. El-Wahed, A. F. Algethami, S. G. Musharraf, M. F. AlAjmi, C. Zhao, S. H. D. Masry, M. M. Abdel-Daim, M. F. Halabi, G. Kai, Y. Al Naggat, M. Bishr, M. A. M. Diab, and H. R. El-Seedi. 2021. Overview of Bee Pollination and Its Economic Value for Crop Production. *Insects.* 12:688. doi: 10.3390/insects12080688.
36. Kim, K.C. 1993. Biodiversity, Conservation and Inventory: Why Insects Matter. *Biodivers. Conserv.* 2: 191-214. <https://doi.org/10.1007/BF00056668>
37. Kromp, B. 1999. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agric. Ecosyst. Environ.* 74: 187-228. <https://doi.org/10.1016/S0167-8809>
38. Lange, K. W., and Y. Nakamura. 2021. Edible insects as future food: chances and challenges. *J. Future Foods.* 1: 38–46. doi: 10.1016/j.jfutfo.2021.10.001
39. Liu, Y., J. C. Axmacher, L. Li, C. Wang, and Z. Yu. 2007. Ground beetle (Coleoptera: Carabidae) inventories: a comparison of light and pitfall trapping. *Bull. Entomol. Res.* 97, 577–583. doi: 10.1017/S0007485307005299
40. Losey, J.E. and M. Vaughan. 2006. The Economic Value of Ecological Services Provided by Insects. *BioScience*, 56: 311-323.
41. Macgregor, C. J., D. M. Evans, R. Fox, and M. J. O. Pocock. 2017. The dark side of street lighting: impacts on moths and evidence for the disruption of nocturnal pollen transport. *Glob. Change Biol.* 23, 697–707. doi: 10.1111/gcb.13371
42. Malaise, R. 1937. A new insect-trap. *Entomol. Tidskr.* 58, 148–160.
43. Mazon, M., and S. Bordera. 2008. Effectiveness of two sampling methods used for

- collecting Ichneumonidae (Hymenoptera) in the Cabañeros National Park (Spain).
44. Eur. J. Entomol. 105:879–888.
 45. Mejer, J. D. 1984. The influence of ants on seeding operations in Northern Australian 1、mined areas. Reclam. Reveg. Res. 2: 299–313.
 46. Melbourne, B. A. 1999. Bias in the effect of habitat structure on pitfall traps: an experimental evaluation. Aust. J. Ecol. 24:228–239.
 47. Matlock, R. B., Jr., and R. de la Cruz. 2003. Ants as indicators of pesticide impacts in banana. Environmental Entomology 32: 816-829.
 48. Michener, W. K. 2015. Ecological data sharing. Ecol. Inform. 29: 33–44. doi: 10.1016/j.ecoinf.2015.06.010
 49. Moericke. 1951. Eine Farbfalle zur Kontrolle des Fluges von Blattläusen, insbesondere der Pfirsichblattlaus, *Myzodes persicae* (Sulz.). Nachrichtenblatt Dtsch. Pflanzenschutzdiensten 3: 23–24.
 50. Montgomery, G. A., M. W. Belitz, R. P. Guralnick, and M. W. Tingley. 2021. Standards and best practices for monitoring and benchmarking insects. Front Ecol. Evol. 8: 579193. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.579193>
 51. Nichol, E., T. Larsen, S. Spector, A. L. Davise, C.F. Esobar, M. Favilad, and K. Vulinec. 2007. Global dung beetle response to tropical forest modification and fragmentation: A quantitative literature review and meta-analysis. Biologic. Conserv. 137: 1–19.
 52. Outhwaite, C. L., G. D. Powney, T. A. August, R. E. Chandler, S. Rorke, O. L. Pescott, M. Harvey, H. E. Roy, R. Fox, D. B. Roy, K. Alexander, S. Ball, T. Bantock, T. Barber, B. C. Beckmann, T. Cook, J. Flanagan, A. Fowles, P. Hammond, P. Harvey, D. Hepper, D. Hubble, J. Kramer, P. Lee, C. MacAdam, R. Morris, A. Norris, S. Palmer, C. W. Plant, J. Simkin, A. Stubbs, P. Sutton, M. Telfer, I. Wallace, and N. J. B. Isaac. 2019. Annual estimates of occupancy for bryophytes, lichens and invertebrates in the UK, 1970–2015. Sci Data 6: 259. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0269-1>
 53. Peck, S. L., B. Mcquaid, and C. L. Campbell. 1998. Using ant species (Hymenoptera: Formicidae) as a biological indicator of agroecosystem condition. Environ. Entomol. 27: 1102-1110.
 54. Penone, C., I. L. Viol, V. Pellissier, J. F. Julien, Y. Bas, and C. Kerbiriou. 2013. Use of large-scale acoustic monitoring to assess anthropogenic pressures on orthoptera communities. Conserv. Biol. 27, 979–987. doi: 10.1111/cobi.12083
 55. Pimentel, D. 2005. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. Environ. Dev. Sustain. 7: 229-252.
 56. Raven, P. H., and D. L. Wagner. 2021. Agricultural intensification and climate change are rapidly decreasing insect biodiversity. Proc. Natl. Acad. Sci. 118(2) e2002548117. <https://doi.org/10.1073/pnas.2002548117>
 57. Rusek, J. 1998. Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. 1、Biodivers. Conserv. 7: 1207–1219.
 58. Samways, M.J. 1993. Insects in Biodiversity Conservation: Some Perspectives and Directives. Biodivers. Conserv. 2: 258-282. <https://doi.org/10.1007/BF00056672>
 59. Samways, M.J. 2005. Insect Diversity Conservation. Cambridge University Press, New York, 25-29. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511614163>

60. Schmucki, R., G. Pe'er, D. B. Roy, C. Stefanescu, C. A. M. V. Swaay, T. H. Oliver, M. Kuussaari, A. J. V. Strien, L. Ries, and J. Settele. 2016. A regionally informed abundance index for supporting integrative analyses across butterfly monitoring schemes. *J. Appl. Ecol.* 53, 501–510. doi: 10.1111/1365-2664.12561
61. Schoonhoven, L.M., J. J. A. Van Loon, and M. Dicke 2005. *Insect-Plant Biology*. Oxford University Press, Oxford, UK, 400 pp.
62. Shortall, C. R., A. Moore, E. Smith, M. J. Hall, I. P. Woiwod, and R. Harrington. 2009. Long-term changes in the abundance of flying insects. *Insect Conserv. Divers.* 2: 251–260. doi: 10.1111/j.1752-4598.2009.00062.x
63. Skvarla, M. J., J. L. Larson, and A. P. G. Dowling. 2014. Pitfalls and preservatives: a review. *J. Entomol. Soc. Ont.* 145: 15-43. <https://journal.lib.uoguelph.ca/index.php/eso/article/view/3734>
64. Stepanian, P. M., S. A. Entekin, C. E. Wainwright, D. Mirkovic, J. L. Tank, and J. F. Kelly. 2020. Declines in an abundant aquatic insect, the burrowing mayfly, across major North American waterways. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 117: 2987-2992.
65. Stork, N.E., J. McBroom, C. Gely, and A. J. Hamilton, A.J. 2015. New approaches Narrow Global Species Estimates for Beetles, Insects, and Terrestrial arthropods. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 112: 7519-7523. <https://doi.org/10.1073/pnas.1502408112>
66. Symondson, W.O.C., K. D. Sunderland, and M. H. Greenstone, M.H. 2002. Can generalist predators be effective biocontrol agents? *Ann. Rev. Entomol.* 47: 561-594. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.47.091201.145240>
67. Valtonen, A., A. Hirka, L. Szocs, M. P. Ayres, H. Roininen, and G. Csóka. 2017. Long-term species loss and homogenization of moth communities in Central Europe. *J. Anim. Ecol.* 86, 730–738. doi: 10.1111/1365-2656.12687
68. van Klink, R., D. E. Bowler, K. B. Gongalsky, A. B. Swengel, A. Gentile, and J. M. Chase. 2020. Meta-analysis reveals declines in terrestrial but increases in freshwater insect abundances. *Science* 368, 417–420. doi: 10.1126/science.aax9931
69. Visser, M. E., and P. Gienapp. 2019. Evolutionary and demographic consequences of phenological mismatches. *Nat. Ecol. Evol.* 3, 879–885. doi: 10.1038/s41559-019-0880-8
70. Vrdoljak, S. M., and M. J. Samways. 2012. Optimising coloured pan traps to survey flower visiting insects. *J. Insect Conserv.* 16, 345–354. doi: 10.1007/s10841-011-9420-9
71. Wagner, D. L. 2020. Insect declines in the anthropocene. *Annu. Rev. Entomol.* 65: 457–480. doi: 10.1146/annurev-ento-011019-025151
72. Wagner, D. L., E. M. Grames, M. L. Forister, M. R. Berenbaum, and D. Stopak. 2021. Insect decline in the Anthropocene: Death by a thousand cuts. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 118: e2023989118.
73. Wepprich, T., J. R. Adrion, L. Ries, J. Wiedmann, and N. M. Haddad 2019. Butterfly abundance declines over 20 years of systematic monitoring in Ohio, USA. *PLoS ONE* 14:e0216270. doi: 10.1371/journal.pone.0216270
74. Wilcove, D. S., D. Rothstein, J. Dubow, A. Phillips, and E. Losos. 1998. Quantifying threats to imperiled species in the United States: Assessing the relative importance of habitat destruction, alien species, pollution, overexploitation, and disease. *Bioscience.* 48:607–615. <https://doi.org/10.2307/1313420>
75. Wyckhuys, K. A. G., Y. Lu, W. Zhou, M. J. W. Cock, S. E. Naranjo, A. Fereti, F. E. Williams, and M.J. Furlong. 2020. Ecological pest control fortifies agricultural growth in

- Asia-Pacific economies. *Nat. Ecol. Evol.* 4:1522–1530. doi:10.1038/s41559-020-01294-y
76. Yi, Z., F. Jinchao, X. Dayuan, S. Weiguo, and J. C. Axmacher. 2012. A comparison of terrestrial arthropod sampling methods. *J. Resour. Ecol.* 3:174–182.
77. Zabel, F., R. Delzeit, J. M. Schneider, R. Seppelt, W. Mauser, and T. Václavík. 2019. Global impacts of future cropland expansion and intensification on agricultural markets and biodiversity. *Nat. Commun.* 10:1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10775-z>
78. Zahoor, M.K., A. Suhail, J. Iqbal, and Z. Zulfaqr. 2003. Biodiversity of predaceous coccinellids and their role as bioindicators in an agro-ecosystem. *Int. J. Agric. Biol.* 5:555–559.
79. Zhang, Z.Q. 2011. Animal Biodiversity: An Introduction to Higher-level classification and Taxonomic richness. *Zootaxa.* 3148: 7-12.
80. Zhou, Y., H. Zhang, D. Liu, A. Khashaveh, Q. Li, K. A. Wyckhuys, and K. Wu. 2023. Long-term insect censuses capture progressive loss of ecosystem functioning in East Asia. *Sci. Adv.* 9(5), eade9341.
81. Ziesche, T. M., J. Bell, F. Ordon, E. Schliephake, and T. Will. 2020. Long-term monitoring of insects in agricultural landscapes. *Mitteilungen der DGaE.* 22: 101-106.

附錄：

表 1. LTER 樣區

站別	位置	調查標的	成立年分
核心站	苗栗苑裡-稻鴨莊	水稻	2016
核心站	南投名間茶園	茶	2011
核心站	嘉義分所	荔枝	2006
核心站	嘉義分所-古坑農場	荔枝	2009
核心站	嘉義分所-溪口農場	水稻、落花生	2006
核心站	台南改良場-雲林分場	水稻、落花生	2006
農業衛星站	苗栗西湖	文旦	2020
農業衛星站	新竹峨眉	桶柑	2020
農業衛星站	彰化大村	葡萄	2023
農業衛星站	南投埔里	百香果	2022
農業衛星站	台南麻豆	文旦	2020
農業衛星站	高雄燕巢	印度棗	2020
農業衛星站	屏東枋山	芒果	2020
農業衛星站	花蓮富里	水稻	2020
農業衛星站	台東池上	水稻	2020
農業衛星站	台東卑南	番荔枝	2020
漁業衛星站	高雄永安	石斑魚	2020
漁業衛星站	屏東枋寮	午仔魚	2020
候選衛星站	台東長濱	芭蕉	2021

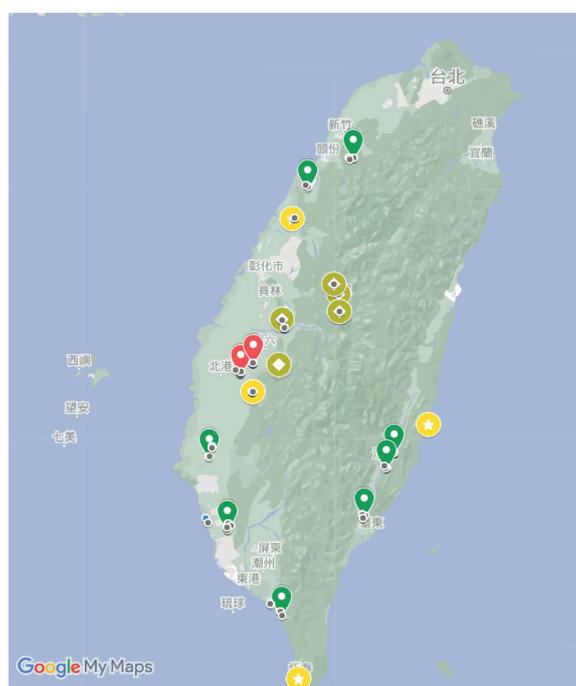


圖 1. LTER 樣區位置圖

表 2. 不同農法果樹樣站不同生育期直翅目昆蟲調查數量

果樹樣站/調查數量	開花期		小果期		中果期		採收期	
	慣行	有機	慣行	有機	慣行	有機	慣行	有機
麻豆	2--17	1--17	0--4	1--18	1--11	1--16	2--3	1--46
西湖	0--1	0--4	0--4	0--38	0--10	1--59	0--21	3--29
峨眉	1--16	9--91	0--7	0--17	0--25	0--40	0--21	2--59
卑南	0--5	5--44	0--3	0--43	0--1	0--31	0--1	0--33
燕巢	0--3	0--30	0--3	4--48	0--1	6--33	0--36	0--15

表 3. 不同農法果樹樣站不同生育期直翅目科級分類群調查數量

果樹樣站/農法/調查數量	麻豆		西湖		峨眉		卑南		燕巢	
	慣行	有機	慣行	有機	慣行	有機	慣行	有機	慣行	有機
Acrididae	10	40	35	152	145	403	9	274	26	268
Gryllacridae	0	0	0	0	0	0	0	6	1	0
Gryllidae	34	149	0	0	22	23	2	55	22	107
Pyrgomorphidae	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0
Tetrigidae	0	15	0	6	0	13	0	7	0	8
Tettigoniidae	10	26	54	104	40	115	1	136	15	84
Tridactylidae	0	6	0	0	0	4	0	0	0	0

表 4. 不同農法果樹樣站不同生育期蟻科調查數量

果樹樣站/農法/不同生育期/調查數量	麻豆		西湖		峨眉		卑南		燕巢	
	慣行	有機	慣行	有機	慣行	有機	慣行	有機	慣行	有機
開花期	128	473	18	170	160	944	298	1429	43	265
小果期	294	789	132	420	606	3479	109	742	16	331
中果期	436	1315	140	2411	734	3375	222	1153	30	539
採收期	925	1609	401	1692	73	707	29	428	277	355

Agricultural Long-term Ecosystem Insect Survey, Analysis Application and Precautions

Yaw-Jen Dong^{1*}, Pei-Chen Hsu^{2*}, Wan-Hsiu Yang^{3*}, Chi-Feng Lee⁴, Mei-Jung Tseng⁵,
Shu-Pei Chen⁶, Chi-Yang Lee⁷, Hsien-Tzung Shih^{8*}, Yu-Tzu Hsu⁹, Li Lin¹⁰,
Tai-Yuan Chen¹¹, Tung-Hsen Liu¹², Kuo-Hung Chuang¹³, Ying-Cheng Chen¹⁴,
and Chia-Chen Pan¹⁵

- 1 Assistant Researcher Taiwan Agricultural Research Institute; yjdong@tari.gov.tw
 - 2 Assistant Researcher Taiwan Agricultural Research Institute; bchen@tari.gov.tw
 - 3 Assistant Researcher Taiwan Agricultural Research Institute; whyang@tari.gov.tw
 - 4 Associate Researcher Taiwan Agricultural Research Institute; chifeng@tari.gov.tw
 - 5 Project Assistant Taiwan Agricultural Research Institute; archiveppc@tari.gov.tw
 - 6 Researcher Taiwan Agricultural Research Institute; spchen@tari.gov.tw
 - 7 Assistant Researcher Taiwan Agricultural Research Institute; cylee@tari.gov.tw
 - 8 Researcher and Division Director Taiwan Agricultural Research Institute; htshih@tari.gov.tw
 - 9 Assistant Researcher Taitung District Agricultural Research and Extension Station; ythsu@mail.ttdares.gov.tw
 - 10 Assistant Researcher Hualien District Agricultural Research and Extension Station; lilin@hdares.gov.tw
 - 11 Assistant Researcher Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station; taiyuan@mail.kdais.gov.tw
 - 12 Assistant Researcher Miaoli District Agricultural Research and Extension Station; Liuth@mdais.gov.tw
 - 13 Associate Researcher Taoyuan District Agricultural Research and Extension Station; khchuang@tydais.gov.tw
 - 14 Assistant Researcher Tainan District Agricultural Research and Extension Station; cychen@mail.tndais.gov.tw
 - 15 Assistant Researcher Tainan District Agricultural Research and Extension Station; ccpan@mail.tndais.gov.tw
- *Correspondence: yjdong@tari.gov.tw; bchen@tari.gov.tw; whyang@tari.gov.tw; htshih@tari.gov.tw

Abstract

About 80% of animals on the planet are insects, which provide us with ecological services that we often do not noticed. They serve as plant pollinators, decomposers of organic matter such as animal carcasses and plant residues, removers of animal manure, soil conditioners, producers of natural fertilizers, and regulators of crop pests and diseases. Intensive agricultural production, especially the application of chemical pesticides, is one of the main factors contributing to the decline in insect diversity. The loss of ecosystem service functions provided by insects directly has a serious impact on agricultural production, leading to a crisis in human food supply. Long-term insect surveys in agro-ecosystems can help agricultural authorities understand the long-term impacts of different farming practices, climate change, and environmental changes on insect diversity and ecosystem services they provide, providing a strong scientific basis for policy formulation. To achieve these goals, it is essential to standardize the execution of survey work, preserve long-term formatted data, foster cross-disciplinary sharing and analysis and application.

Keywords: Long-term agricultural ecology, insects, monitoring surveys, data analysis applications

長期生態調查的資料管理原則

陸聲山^{1*}、林朝欽²

1 行政院農業委員會林業試驗所福山研究中心

2 行政院農業委員會林業試驗所森林保護組(退休研究員)

*聯繫人 e-mail: sslu@tfri.gov.tw

摘要

長期生態研究計畫的目的，就是希望藉由收集與整合長期的生態資料，來解答短期、小尺度的個別計畫所無法回答的生態問題。而此一計畫成敗的最大關鍵之一，就是長期累積的資料是否能有效的被保存、累積、整合、分析，產出足以解答生態問題的資訊與知識。生態資訊學的興起，除改變傳統資料蒐集與利用的模式，也將對現行研究計畫管理與資料保存的策略產生一定的衝擊。如今結合資訊管理的研究流程已備受重視，資料管理不再與研究工作分離，而成為研究工作的一重要部分，研究一開始也需有資料管理計畫。本文列出的七項原則主要依據 Robert B. Cook *et al.* (2000)而來，包括有意義的資料檔案名稱、使用一致性且穩定的檔案格式、完整定義研究參數、一致性的資料排列格式、資料檢核與品質控管、資料集標題、提供後設資料，仍可做為資料保存與管理有關的準則。

關鍵字： 後設資料、生態資訊學、原始資料、EML

前言

對生態學家，尤其是從事田野研究的人員而言，在野外辛苦的蒐集資料並不是一件困難的事，更大的挑戰或許是如何讓所蒐集到的資料能在日後發揮最大的科學上或應用上的價值。讓辛苦獲得的資料不至於在發表一、兩篇報告後，甚至沒有產生任何的貢獻，就淹沒在堆積如山的紙張、書冊、資料夾中，或是消失在過時的電腦檔案裡，無法再被讀取、使用。長期資料的保存、累積、使用、分析與整合，以解決較大時間與空間尺度的生態問題，所面臨的挑戰更為嚴苛。

傳統生態學研究中，研究者經常只是各自進行小規模或尺度的觀察和試驗，所蒐集到的資料往往也只有一位或少數幾位研究者進行分析，以這樣的尺度與方式收集到的資料，很難用於推導出共同或通用的生態理論。然而現今環境的許多重大議題，例如全球暖化、生物多樣性流失、外來種的入侵或自然資源耗竭等，越來越需要瞭解在大規模的空間和時間尺度下複雜生態系統的運作，所需要的資料也早已超過針對單一對象或地點蒐集資料的範圍，越來越迫切要求各類資料的共享、整合。

研究人員無法獨立完成這種大規模空間和時間尺度下的生態研究，尤其跨領域的整合型研究，這種需求也導致了研究人員意識到必須增加對資料的分享與取得的能力，因此強化資料保存、累積、使用、分析與整合的資訊管理工作日形重要。本文將從研究流程觀點切入，列出資料蒐集與儲存有關的準備工作，供研究人員做為參考，以促進研究資料建檔、流通、共享與應用。

生態資訊學的興起

美國長期生態研究網自 1983 年設立後，十餘年來的發展已逐漸形成生態資訊學 (Eco-informatics) 的新學門，透過運用新的資訊技術不僅能從事許多以往無法完成的研究，也加速促進各不同研究領域間的整合。生態資訊學的興起，除改變傳統資料蒐集與利用的模式，也將對現行研究計畫管理與資料保存的策略產生一定的衝擊。傳統上，研究人員對所蒐集的資料並未進行系統化的管理，以致於這些辛苦所蒐集或調查到的原始資料(raw data)往往隨著計畫執行完畢而消失。

事實上許多觀察到的生態現象所發展出的理論，往往受限於能否取得適當的長期資料，而這也是長期生態研究值得被重視的原因之一。生態資料的長期價值及其效益，若要能促進生態學研究的進展和解決重要的環境問題，將取決於是否有適當和充分的後設資料，也就是要具有敘述資料內容、內涵、品質、結構和可及性等敘述性資訊。

資料管理是各個長期生態研究站研究計畫的一部分，因此在資訊管理系統上的設計是根據各站研究目標的時程來作規劃的，同時也必須考慮到不同的資料形式，資料彼此間的相互連結，以及能促進跨領域間的研究。因此，在一開始的資訊管理目標確立後，整個資訊系統便朝建立一個高效能與可及性高的資訊存取環境，以促進不同資料間的連結，及維持整個資料庫的完整性兩大方向著手進行。

結合資訊管理的研究流程

傳統上研究計畫的執行，研究流程從研究設計、資料收集、資料整理、資料分析到撰寫報告、各階段環環相扣，每一階段仍需再度評估是否符合原先設計目標，便可據以修正研究步驟或需收集之資料。但往往未將資料管理視為研究的一重要環節，造

成日後資料整合與分享的困難。如今結合資訊管理的研究流程已備受重視，資料管理不再與研究工作分離，而成為研究工作的一重要部分。

尤其國科會自 2020 年 8 月開始推動資料管理方案(Data Management Plan, DMP)試辦計畫，當時係由原為科技部自然司的永續學門推動此計畫，了解負責任的資料管理是永續發展研究的重要元素。透過中研院莊庭瑞副研究員帶領的「研究資料寄存所」(depositor)計畫團隊，協助數個整合型計畫提出 DMP，對於研究團隊執行 DMP 計畫具有很大的實質幫助。這項政策的推動，使得研究人員對資料管理更為重視，計畫執行期間也能將資料寄存於公眾可取用的「研究資料儲存庫」(research data repository)。

為達成資料的整合與分享，尤其是跨領域的整合型計畫，最有效的方式是在研究過程的一開始，資訊管理人員便參與研究的設計，這能促進資管人員與研究人員的對話與相互了解，對資料使用或檔案管理的現況與可能面臨的障礙能確實掌握。此外，透過蒐集各研究人員計畫之調查資料表單，或研究人員提供他們所需蒐集及量測的資料，以利做為資料倉儲或歸檔用，將可減少日後資料整合實行上的困難。

有效的資料庫整合方式是在研究過程的一開始，各個研究人員當提供他們的資料或檔案做為資料倉儲或歸檔用時，便能符合研究流程原則與規範。本文列出資料蒐集與儲存有關的準備工作，供研究人員做為參考。這些指導原則使得研究人員能有所遵循，而達到未來擴大資料的利用性。

資料蒐集與儲存的原則

一、有意義的資料檔案名稱

檔案名稱應能反映出資料內容及充足資訊以作為未來檔案的識別，檔案名稱最好能縮寫涵蓋計畫代號、計畫題目、地點、主持人、年度等的識別，大型計畫的檔案名稱甚至應思考系統性的涵蓋所有子計畫。以下幾個為較適當與較不適當的檔名範例：

plantation Lienhuachih biodiv insect 2006-2007.csv

計畫名稱 地區 子計畫 時間 檔案格式

檔案名稱雖然以上述的充足資訊較佳，但亦須配合資料庫管理系統的規則，例如字元長短、特別字型使用、以及存檔的目錄等。

二、使用一致性且穩定的檔案格式

檔案格式的一致性影響未來資料使用難易的關鍵，通常以 ASCII 格式儲存的檔案格式是最穩定且一致的，但 ASCII 檔案可能在不同語言上有些位元的差異。雖然如此，ASCII 的文字格式檔案全球通用，且不會因為軟體更新或軟體不同而造成未來使用的問題。另外，檔案格式切忌以極特殊的軟體格式作為永久儲存的格式。在文字檔案格式中有不同的分隔方式，例如逗號、分號等，最好亦能有一致性，常用的逗號分格值(csv)即為較普遍接受的一種格式。此外，避免將統計後的數字放入檔案，圖與表亦如此。某些圖形檔(如影像、GIS 的網格)雖然沒有特殊的建議，但存成二位元格式(binary format)應該是比較適當的。如果沒辦法統一存成上述比較能永久保存的格式，最好能互相討論後瞭解每個子計畫日後將使用的檔案格式。

三、完整定義研究參數(parameters)

為了以後的資料分享及倉儲，資料檔中的參數必須定義完整，包括參數的名稱、量測的單位、格式(型態)，最好能製作一份編碼簿記錄這些詳細內容，參數名稱最好能簡單易懂，例如溫度(temp)、降雨量(Precip)、經緯度(Lat, Long)，在使用英文字時亦應

保持大小寫一致性，例如不要在同一檔案中使用 temp、Temp、TEMP 三種不同形式的英文字代表同一參數。另外，某些軟體(尤其是 DOS 的舊軟體)不見得讀得懂中文字，而英文字母亦有八個字母限制，因此必須注意這類軟體的規定。

參數名字以中文命名只能在中文系統中使用，其未來性以及國際交換易受限，因此非常不建議資料檔中的參數以中文命名。參數所使用的單位必須明白定義及記錄，國際上大部分使用公制單位(SI)，不過各領域中或有特殊的單位，不見得與標準相同，只要說明清楚即可適用。參數的型態(文字、數字)必須一致，許多以試算表(Excel)建立的資料，因其參數之型態不一致而導致資料在未來交換中變成無用的內容。

四、一致性的資料排列格式

資料排列的格式影響爾後的統計分析，何種排列方式較恰當則因人而異，但建議使用一致的排列方式。不論那一種排列格式，觀測值必須在獨立的欄或列中。一般而言，欄(column)通常是放參數，列(row)放觀測值，這種排列是矩陣似的表單格式

五、資料檢核與品質控管

除了科學上的品質確認外，就資料檔本身最基本的品質控制可列舉如下：

1. 核對資料檔的資料欄位確實分隔清楚。
2. 核對檔案內的主要資料欄，如樣區號碼、時間、日期、座標等沒有缺失值或空白。
3. 檢視資料內容有無不合理值，例如 PH74，最好能印出或排序檢查。
4. 用統計的頻度或摘要方式檢查一般結果，例如年平均氣溫 36°C可能是不合理的值。
5. 如果有座標值，應利用 GIS 軟體將座標值展示在圖上以做核對。
6. 確認由 data logger 或野外電腦的檔案轉錄，最好的方法是轉錄前作一份摘要統計，與轉錄後的摘要比對，以確認轉錄無誤。

六、資料及標題

任何資料集應給予一個標題，並在這個標題之下建一份完整的說明文件後設資料(metadata)，研究人員應體認這份資料可能是未來 10 年或 20 年其他人必須再使用，因此這份文件以及文件所描述的資料必須易讀易懂，尤其是資料的蒐集方法與使用儀器的描述，因為使用者可能根本不瞭解當時的計畫內容。較好的標題如：Lake metabolism data of Yuan-Yan Lake in Taiwan, 20040822-20040828。這個標題清楚涵蓋了時間範圍、地點以及主題。

七、提供後設資料文件

所有資料集都必須提供後設資料文件，這份文件不只是讓研究人員自己使用，也必須讓未來資料使用者能看得懂；後設資料的建立必須有一致的標準，即在一個標準化的格式下描述所蒐集到的資料，尤其當未來的使用者完全不清楚這份資料的研究背景與方法。目前生態研究使用的標準 EML(Ecological Metadata Language)，以及熟知的公用軟體如 Morpho 提供了簡單的使用介面。為了能確保後設資料能在未來使用，以 ASCII 的文字檔儲存是最理想的，沒有人能保證 20 年後 MS Word 還是大部份人用的文字編輯器，如果 20 年後的人不用 MS Word，那麼以 MS Word 編輯的後設資料就變成無用的文件。

本文列出的七項原則主要依據 Best Practices for Preparing Ecological and Ground-Based Data Sets to Share and Archive (Robert B. Cook *et al.*, 2000)而來，讀者可進一步參考原文。

結語

生態研究在長期的資料蒐集過程中，已累積了數量龐大且差異性極大的資料檔案，加上資料檔案分散各地不易取得，使得即時獲取資料的分享機能無法發揮，不僅難以擴大資料的應用面，更因許多資料庫缺乏管理極易造成資料的流失，不但減損了這些研究資料的價值，同時也相對提高了研究成本，更無法整合既有資料，產生新的研究價值。因此如何在龐雜、分散與異質性的資料中找到特定需要的資料，如何確保資料的長久保存與取得，以及如何確保資料的分享與整合，一直是我們生態研究人員所面臨的難題。為了解決這些問題，需要建立一套標準，使得各系統之間有所遵循，才能進行資料的存取、索引、檢索與共享，後設資料便是扮演這樣的角色與功能，因此後設資料的推動與實施是非常重要的。

將資料管理視為研究的重要環節，資料整合與分享已成為這些計畫的首要之務，資料管理不應與研究工作分離，而成為研究工作的一重要部分。本文強調透過研究流程一開始的資料管理規劃，改善研究人員在資料蒐集與儲存的準備工作，提昇資料品質的控管，使得跨領域研究之資料整合、流通與共享，不再是夢想了。

參考文獻

1. 李玲玲、陸聲山。2005。資料整合與分享的時代—談台灣長期生態研究網(TERN)的資訊管理。林業研究專訊 12(6): 3-5。
2. 林朝欽、陸聲山。2007。從研究流程談整合型計畫的資料蒐集與管理。林業研究專訊 14(1): 27-30。
3. 陸聲山、林朝欽。2005。生態資料檢索標準與使用—EML(Ecological Metadata Language)介紹。林業研究專訊 12(1): 5-8。
4. 陸聲山、鄭美如、林朝欽。2004。美國長期生態研究網之網站服務發展現況。林業研究專訊 11(4): 6-8。
5. 黃寶霈。2022。長期社會生態系統研究的資料管理原則。 <https://rdm.depositar.io/resources/20221007-LTSER-data-managment-principles>
6. Cook, B., Olson, R.J., Kanciruk, P., Hook, L.A. 2001. Best practices for preparing ecological data sets to share and archive. *Bulletin of the Ecological Society of America* 82(2), DOI: 10.2307/20168543.
7. Cook, R.B., Wei Y., Hook, L.A., Vannan, S.K.S., McNelis J.J. 2018. Preserve: Protecting Data for Long-Term Use. In: F. Recknagel, W. Michener (eds) *Ecological Informatics*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59928-1_6.
8. Costello, M.J., Wiczorek, J. 2014. Best practice for biodiversity data management and publication. *Biological Conservation* 173: 68-73.
9. Kaplan N.E., Baker K.S., Karasti H. 2021. Long live the data! Embedded data management at a long-term ecological research site. *Ecosphere* 12(5), 1. [e03493]. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3493>.
10. Sutter, R.D., Wainscott, S.B., Boetsch, J.R., Palmer, C.J., Rugg, D.J. 2015. Practical guidance for integrating data management into long-term ecological monitoring projects. *Wildlife Society Bulletin*. 39(3): 451-463.

Data management guidance for long-term ecological research

Sheng-Shan Lu^{1*} and Chau-Chin Lin²

¹ Fushan Research Center, Taiwan Forestry Research Institute; sslu@tfri.gov.tw

² Forest Protection Division, Taiwan Forestry Research Institute; linchauchin@gmail.com (retired researcher)

*Correspondence: e-mail: sslu@tfri.gov.tw

Abstract

The purpose of long-term ecological research is to answer ecological questions that cannot be answered by short-term, small-scale individual projects by collecting and integrating long-term ecological data. One of the biggest issues to the success of this project is whether the long-term accumulated data can be effectively preserved, accumulated, integrated, and analyzed to produce information and knowledge sufficient to answer ecological problems. The rise of eco-informatics, in addition to changing the traditional data collection and utilization model, will also have a great impact on the current research project management and data preservation strategies. Nowadays, the research process combined with information management has received much attention. Data management is no longer separated from the research work, but has become an important part of the research work. A data management plan is also required at the beginning of the research. The seven best practices for preparing environmental data sets to share are: 1. define the contents of your data files, 2. use consistent data organization, 3. use consistent file structure and stable file formats for tabular and image data, 4. assign descriptive file names, 5. perform basic quality assurance, 6. assign descriptive data set titles, 7. provide data set documentation and metadata (Robert B. Cook *et al.*, 2000). These can still be used as guidelines for data preservation and management.

Keywords: metadata; eco-informatics; raw data; EML

農耕模式對減排、 碳匯效益及調適

因應全球氣候變遷之作物育種

王強生

國立中興大學農藝學系

聯繫人 e-mail : wangchansen@gmail.com

摘要

作物育種是作物栽培與糧食生產的根本，因此作物育種方法與成果決定作物栽培生產之成敗。全球氣候變遷造成非預期之生物逆境(病、蟲、草害)與非生物(光線、溫度、浸水、乾旱、鹽害及二氧化碳等)逆境，因應這些逆境都需要從根本的作物品種改良作起。基因體解序後，後基因體時代已經來臨，遺傳學所遵循的中心定則(**central dogma**)已演進到新中心定則(**new central dogma**)；我們對基因體的解析效率與精準度已大大的提升，由於遺傳學之發展與育種策略息息相關；因此遺傳學的觀測層次與育種的選拔方法都必須與時俱進。在此以豐氮化鈉誘變所建立的水稻突變庫為材料，進行白葉枯病、稻熱病及紋枯病之抗病分子育種育種，及耐旱育種為例，依據育種之中心定則，由突變庫篩選、選親雜交、基因定位、分子標誌設計、分子選拔與純化，以至新品種的育成為例，探討由遺傳學的進展，探討作物育種方法之演進，及基因體學在基因型與外表型分析技術之進展與育種之應用。由作物性狀的種類與基因特性與關聯性，說明誘變育種、傳統雜交育種、分子輔助育種及基因體育種之原理與應用，以結合全基因體基因型與外表型分析，說明「先設計再育種」為後基因體時代的糧食作物育種策略與趨勢。

關鍵字：氣候變遷、新中心定則、傳統雜交育種、分子輔助育種、基因體育種、定序基因分型、全基因體基因型分析、基因體選拔、數量性狀基因座、育種家晶片、設計育種。

Rice Breeding for the Climate Changes

Chan Sen, Wang

Department of Agronomy, National Chung Hsing University
Correspondence: wangchansen@gmail.com

Abstract

Crop breeding is the foundation of crop cultivation and food production, so crop breeding methods and results determine the success of crop cultivation and production. Global climate changes have caused unexpected biotic (disease, insect, weed damage) and abiotic (light, temperature, flooding, drought, salt, and carbon dioxide, etc.) adversities. In facing to these adversities requires the improvement of fundamental crop varieties. After a whole crop genome can be sequenced, the post-genome era has come, and the central dogma followed by genetics has evolved to the new central dogma; our analysis efficiency and accuracy of the genome have been greatly improved; because the development of genetics is closely related to the breeding strategy; therefore, the observation level of genetics and the selection method of breeding must keep up with the times. Here, using the rice mutation library established by sodium azide mutagenesis as the materials, molecular breeding for bacterial blight, blast, and sheath blight diseases, and drought-tolerant in rice are taken as examples. To the central dogma of plant breeding including mutants screening, parental selection, crossing, genetic mapping, molecular marker design, phenotype selection, purification, fixation, and variety release. We use the breeding of new rice varieties as examples to discuss the progress of genetics, the evolution of crop breeding methods, and the role of genomics in genotyping. The progress of phenotyping and genotyping technologies and their applications in rice breeding. Based on the types and number of traits and gene characteristics and their correlations, the principles and applications of mutation breeding, traditional breeding, molecular-assisted breeding, and genomic breeding are explained. "Breeding by design or design crop" refers to the strategy and trend of food crop breeding in the post-genomic era.

Keywords: climate changes, new central dogma, traditional breeding, marker-assisted breeding (MAS), genomic breeding (GB), genotyping by sequencing (GBS), genome-wide genotyping (GWG), genomic selection (GS), quantitative trait loci (QTLs), breeder's chip, design breeding.

氣候變遷下荔枝園管理調適

張哲璋¹、朱彧瑩^{1*}、柯昱成¹、陳柱中²、方信秀³、莊凱恩⁴；陸明德⁵

1 單位:行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所

2 單位:行政院農業委員會農業試驗所農業化學組

3 單位:行政院農業委員會農業試驗所鳳山分所

4 單位:行政院農業委員會農業試驗所農業經濟組

5 單位:行政院農業委員會農業試驗所農業作物組

*聯繫人 e-mail:yuyingchu@tari.gov.tw

摘要

荔枝為臺灣中南部重要的經濟果樹，然而近年受氣候變遷衝擊，荔枝開花困難且產量不穩情形頻增，甚至近5年平均受損金額排名飆升至第3名。在此情況下，荔枝農友生計嚴重受影響，同時也導致近年來栽培面積明顯持續下降。荔枝的開花受到溫度、成熟枝梢及葉片、品種、水分等因素影響，調控機制複雜。荔枝的花芽分化需要充足的涼溫誘導，乾旱及充足的成熟葉片數可有助於花芽分化。花穗發育則需要相對較高的溫度及水分，以促進細胞分裂與生長。異常氣候易導致花芽分化所需條件不足。透過掌握荔枝生長及開花特性，運用栽培技術提高花芽形成率、研發催花藥劑、搭配環控設施及調整品種適地適種等策略，能有效因應未來氣候挑戰。

關鍵字：涼溫需求、暖冬、花芽分化、控梢

前言

荔枝(*Litchi chinensis* Sonn.)為無患子科(Sapindaceae)多年生亞熱帶常綠果樹，為臺灣重要的經濟果樹。臺灣的荔枝是距今約 300 年前由先民自大陸引進的，但荔枝實際成為重要經濟果樹只有 40 多年的歷史。根據農糧署統計，民國 77 年時荔枝種植面積達全盛時期，曾超過 1 萬 5 千公頃。然而，近年受缺工及務農人口老化、異常氣候及蟲害等因素影響，荔枝的栽培面積逐年減少，自 2017 年時已降至 1 萬公頃以下(圖 1)。2021 年全台栽培面積為 9,667 公頃，總產量為 57,997 公噸，年產值約 38.9 億元(農業統計年報，2022)。而根據 2023 年農糧署農情預測，今年度的收穫面積僅 9,598 公頃。儘管如此，荔枝仍為中南部區域極重要的果樹作物，主要產地為高雄、台中、南投、台南、彰化及嘉義，屏東、台東、雲林、新竹及苗栗等縣市亦有少量栽培(農業統計年報，2022)。主要栽培品種‘黑葉’佔全台栽培面積 49.9%，其次為‘玉荷包’佔 35%，糯米糍佔 4.9%，‘沙坑’、‘桂味’及台農系列等其他品種則約佔 9.4%(李和張，2022)。

近幾年受氣候變遷的影響異常氣候發生頻率大增，包括 2013-2014 年春季乾旱、2014-2015 年暖冬多雨、2015-2016 年早春寒流、2018-2019 年暖冬乾旱及 2020-2021 年百年大旱。異常氣候導致荔枝減產情形，嚴重影響農友生計，因而導致栽培面積持續下降，廢園增加。本文謹就荔枝開花結果生理的探討，提出氣候變遷下荔枝生產管理之因應對策。

氣候變遷對臺灣荔枝生產的影響

荔枝常被當作氣候變遷影響生產的指標作物。觀察國內荔枝歷年的單位面積產量波動，於 2002-2011 年時變異係數為 11.95%，然而於 2012-2021 年卻高達 30.15%，遠高於其他果樹種類(表 1)，可知近年荔枝產量的震盪幅度極大(圖 1)，顯示其生產極為不穩定。農試所長期生態研究小組藉由長期數據監測建立‘玉荷包’荔枝抽穗模型，套用不同升溫情境進行預測，同樣也提出高雄以南產區在 30 年內‘玉荷包’荔枝無法抽穗開花問題明顯加劇，栽培風險提高的狀況(張等，未發表資料)。而另一方面，由近 5 年、10 年、20 年及 30 年二十大作物平均受損金額統計可發現，荔枝在近 20 年及 30 年的平均受損金額排名第 14，然而將統計時間縮減至近 10 年及近 5 年時則飆升至第 5 名及第 3 名。進一步檢視荔枝所受到的天然災害種類與比例，以 2011-2020 年間平均來看，颱風(41%)及豪雨(25%)仍為主要天然災害種類，然而比較 2011-2015 年與 2016-2020 年各類天然災害發生頻度及災損金額，可發現近年颱風發生頻度降低，暖冬及兩害發生頻率增加的現象。其中暖冬災損的金額高達 20 億台幣，遠高於其他災害的總和(臺閩地區農作物災害損失，2022)。

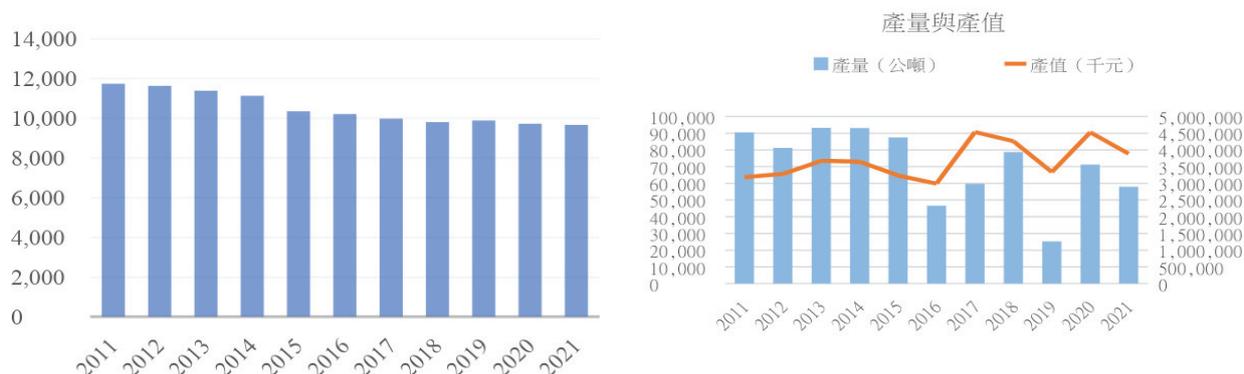


圖 1. 民國 100-110 年間荔枝種植面積、產量與產值變化圖

表 1. 2002-2011 及 2012-2021 國內重要果樹單位面積年產量變異係數比較

時間	單位面積產量(t/ha)變異係數(CV)				
	柑橘類	龍眼	芒果	荔枝	酪梨
2002-2011	10.32%	14.92%	22.03%	11.95%	26.59%
2012-2021	7.29%	28.18%	12.86%	30.15%	16.03%

荔枝花芽分化及相關因子探討

關於荔枝開花生理與相關因子前人已有一些綜述文獻討論(李, 2008; Davenport and Stern, 2005; Stern and Gazit, 2008)。參考這些文獻, 我們提出了較簡明易懂的模型圖(圖 2、3), 希望有助於讀者瞭解讀者對下文的說明。植物花芽分化是芽體分生組織在基因表現、組織解剖、生理及外表型態系列變化, 其中在生理意義是植物生長荷爾蒙與開花促進物質彼此的消長。荔枝從營養生長至開花的過程約分成營養芽休眠(bud dormancy)、花芽誘導(floral induction)、花芽創始(floral initiation)、花芽發育(Inflorescence development)及小花開放(anthesis)等階段(Wei *et al.*, 2013)。英文的花芽分化(foral differentiation)指的是花芽創始及以後的階段, 但在中文常是包括花芽誘導及創始至花序肉眼可見的階段。荔枝根系可能在調節芽的休眠中扮演著起著不可或缺的角色。新根生長時在根尖會產生大量的營養生長荷爾蒙如細胞分裂素(cytokinin)或激勃素(gibberellins), 經由木質部向上運移至莖頂促進萌梢(Davenport and Stern, 2005; Yuan and Huang, 1993), 因此要讓芽進入休眠, 根部的生長活力需要下降, 才能進一步降低芽體活動, 此時就需要相關的因子配合, 例如乾旱(李, 2008; 張, 1999; Menzel and Simpson, 1994)、低根溫(O'Hare, 2004)或其他栽培措施例如環狀剝皮(李, 2008; Liu, *et al.*, 2022)等。

花芽誘導的階段是在營養芽休眠的狀態下進行(Wei *et al.*, 2013)。溫度為影響荔枝開花的決定性因子(Das *et al.*, 2002; Stern and Gazit, 2003)。成熟葉片則是感應涼溫誘導的器官。當葉片感應到足夠的涼溫訊息會提高開花基因的表達, 轉錄後的開花促進蛋白運到芽體(Ding, *et al.*, 2015, Shen, *et al.*, 2016), 進行花芽分化的系列過程。許多學者均

針對荔枝花芽誘導(分化)所需涼溫的閾值提出不同看法。以‘玉荷包’荔枝為例，鄧指出‘玉荷包’荔枝花芽誘導涼溫閾值範圍約為 17~19°C，在 20/15°C 生長箱中及根圈充分灌水之條件下，成熟梢需 35 天至 43 天花芽分化至肉眼可辨視程度，在日夜變溫 22/17°C 時則需 42~50 天。張指出‘玉荷包’荔枝以日/夜溫 20/15°C 溫度控制環境處理 4 週可達開花決定狀態，6 週有最佳開花率。Chen 等調查田間‘玉荷包’荔枝植株，建立花芽分化及開花的溫度模型，指出花芽分化的基礎溫度 (base temperature) 為 23.42°C。方等 (2022) 依多年氣象資料與當期批發市場‘玉荷包’荔枝交易總量進行回歸分析，結果顯示與每日低於 24°C 的小時數加總相關性最高。張等 (未發表資料) 以田間長期生態調查數據建立‘玉荷包’荔枝抽穗模型，花芽分化上限溫度約為 21.9°C。不同品種荔枝之誘導花芽分化所須的涼溫需求量不同。在澳洲，Olesen 等(2003)認為‘Kwai May Pink’花芽誘導的溫度在 17-19°C 以下。國內主要栽培品種大致可分為三類：開花易者以‘玉荷包’為代表，中者以‘黑葉’為代表，難者以‘糯米糍’為代表，誘導它們花芽分化的上限溫度分別約是 22~23°C、20°C 及 15°C (張，1999；張和張，2017)。花芽誘導所需涼溫累積的時間較難估算，但一般認為要 4 週以上，適當涼溫累積時間增加時有利於純花穗的分化 (Menzel and Simpson, 1995)。溫度對花芽誘導的影響似乎主要在氣溫，根溫會影響芽休眠期，進而影響成花率，但若無適當的地上部溫度配合，低根溫並無法誘導荔枝開花 (Menzel and Simpson, 1989; O’Hare, 2004)。

水分對花芽誘導的角色則較有爭議，適度的乾旱對花芽誘導有利，但若無適當的涼溫度配合僅是持續乾旱並無法誘導荔枝開花 (張，1997，Stern and Gazit, 2003)。Shen 等 (2016) 等的試驗結果顯示，雖然僅是乾旱處理無法誘導開花，但先以土壤水分含量 8-15% 的乾旱處理 14 天後再進行 15°C 誘導會較對照組(土壤水分含量 28%) 提早 3-6 天開花，另外從葉片轉錄組學變化分析表明乾旱低溫複合處理組與單純低溫處理組有基因差異表達，其中有些轉錄因數被鑒定為樞紐基因，在荔枝花誘導的調控中起核心作用。因此該文作者認為在荔枝花芽創始乾旱和低溫有相關基因表達的相互作用存在。田間試驗結果顯示乾旱有促進開花及提高及提產量的效果 (Nakata and Suehisa, 1969)。在台灣，從近年實際案例分析，可看出秋季適當的乾燥環境有利於荔枝進入停梢休眠狀態，促進花芽分化。以玉荷包為例，2019-2020 年，秋季較乾燥，早冬溫度降得快，即使冬季 12 月時有降雨，但不影響開花，高雄市荔枝產量仍達 19,475 公噸。然而，2021-2022 年時雖然冬季很冷，卻因秋季有雨，不利控梢，開花情形不佳，高雄市荔枝產量僅約 11,994 公噸(高雄市主要農產品生產概況，2022)。另外如前文所述在歷年學者所提出的‘玉荷包’開花的涼溫閾值研究結果差異大，在田間試驗所得的涼溫閾值相對較高，此固然與運用計算的模式不同有關，但在人工控制環境盆栽試驗不易製造適當的乾旱環境亦可能是一個重要因素。由此推斷水分因子對荔枝的涼溫需求量可能有一定的效應。

在台灣，秋冬季的低溫 (氣溫與根溫) 與乾旱常同時出現，兩者的效應難以分開辨析。此外，休眠芽與花芽誘導過程的分界點難以從外觀芽型態界定，多數的研究都是以花芽創始當作花芽誘導的終點，但這三者所需的涼溫值與長度有可能是不相同的。然而正是因為荔枝花芽誘導的閾值與長度可能非固定值而是在一個範圍，吾人才有可能在氣候變遷的環境中利用栽培技術與化學藥劑進行適當的田間管理以提高開花率與產量。

荔枝花穗發育則需要適當的水促進細胞生長，春季如過度乾旱可能使已誘導好的花芽無法順利萌出抽長，需透過灌溉補充花穗發育所需水分(Carr and Menzel, 2014)。此

時水分管理是需特別注意的，如冬季低溫略不足時，花穗帶葉情形較多，此時過多的水反而會使葉片生長勢強，甚至導致花穗敗育轉為營養梢。至開花期時。另因雌花開放期短，通常柱頭在 3 天左右開始褐化，若在雌花開放期間遭遇低溫霪雨，會嚴重影響授粉，導致結果不良且病害防治較困難(Kumar, 2012)。

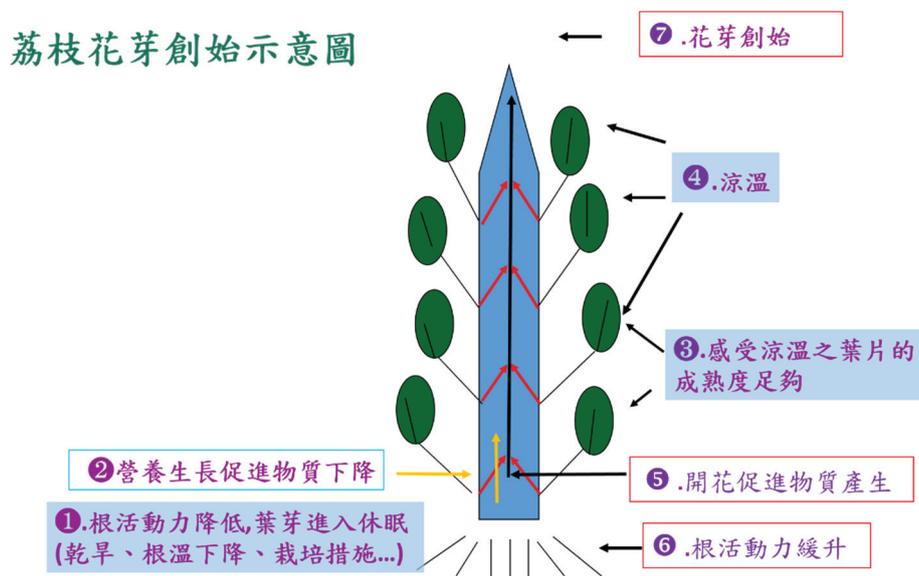


圖 2. 荔枝花芽創始示意圖

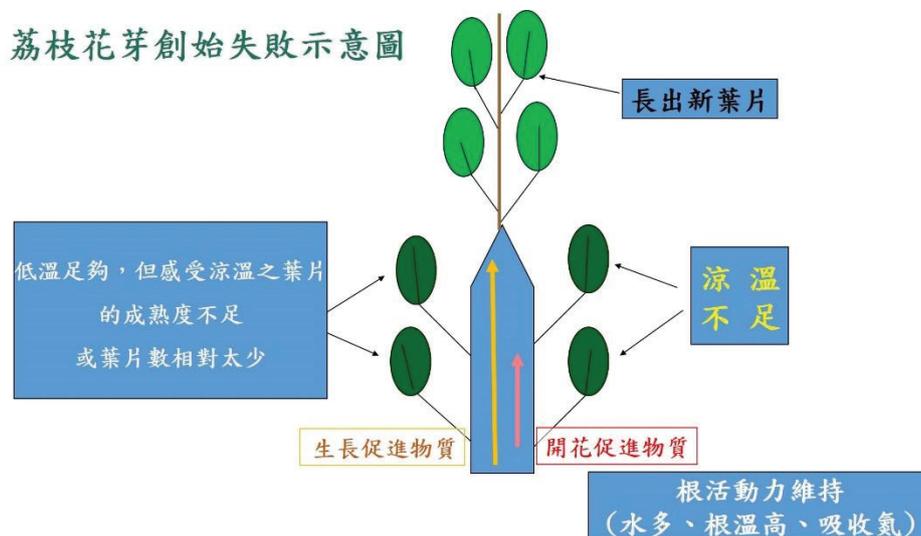


圖 3. 荔枝花芽創始失敗示意圖

氣候變遷下荔枝栽培管理的因應之道

明瞭了花芽分化的相關生理機制後，要制定氣候變遷下荔枝園的管理策略就相對容易得多。成熟葉片是花芽分化訊息的接收器官亦是光合產物的供源，其數量及成熟度直接關係到荔枝的誘導成花與後續的結果。花芽誘導之前芽體必須先進入休眠，所

以適時製造根部生長逆境，讓枝條停止發育，進而讓芽體進入休眠狀態是重要的。此為調控及促進開花的重點，其他如品種的選擇，病蟲害的管理，化學藥劑與設施的運用也都有其重要性。茲將作法簡敘如下：

1. 枝梢管理

在氣候變遷環境下，「修剪」及「控梢」為荔枝枝梢管理的重點。一般植體愈大且或株齡略大的植株，也愈容易花芽分化，此可能與其成熟葉片的數量有關。強修剪植株往往需較多的涼溫才能誘導開花，生產風險較高。因此在氣候變遷環境下，建議以「弱剪」取代強剪(林等，1991；張和鄭，2001)，增加可感應涼溫的植體葉片數量，並增高光合產物的蓄積量，以提供花芽分化所需之充足的能源，進而提升因應異常氣候能力。‘玉荷包’等必須疏花的品種(張和林，2003)，在改變修剪強度時可能使植株高度增加，不易作業，疏花方式可調整以竹竿打花取代手工疏花處理。

荔枝生產需掌握秋季末段梢抽出及成熟時機(張等，2014; O’Hare, 2002)，搭配環剝(張和鄭，2001)、高磷鉀肥及生長調節劑等(陳，1994；張，2008)控梢手段使植株末段梢成熟後能維持停梢，於冬季感應涼溫進行花芽分化(圖 2)。控梢需於 10 月底至 11 月中下旬進行，視當年氣候環境、栽培地點、品種與葉片成熟度綜合考量調整控梢時間與手段。一般而言早生品種涼溫需求較低，可較晚控梢，晚熟品種如‘糯米糍’，10 月底就要準備控梢(張和張，2017)。

2. 水分管理及簡易設施的運用

針對花期靈雨的應對策略包含：搭設遮雨棚、搭配不同產期的品種及加強病蟲害防治。然而，搭設遮雨棚成本高，效果卻不一定會立刻顯現，且需配合矮化管理。搭配不同產期的品種為國外常採用的方式，但國內果農平均栽培面積小，較少採用。此外，由於短時強降雨情形增加，栽培時需注意維持土壤溼度，避免裂果之危機(李，2008)。或可搭配果園覆蓋作物以緩衝水分變化，包括綠肥、水土保持用草類，以及雜草等任何其他生長在果園上的植物。

3. 病蟲害管理

荔枝較重要的病害有露疫病、酸腐病及褐根病，蟲害則有荔枝細蛾及荔枝椿象為主。露疫病發病適宜環境為連續陰雨日，然而受氣候變遷影響，降雨型態改變，梅雨減少、短時強降雨情形增加，近年反而較少有聽聞大範圍的露疫病災情。值得注意的是，近年生產不穩定，栽培面積逐漸減少，廢園面積增加，由於廢園植株高大，藥劑防治不易，農友應注意鄰近廢園可能成為病蟲害防治破口。

4. 更換品種

隨氣候暖化，可以透過更換易開花品種以降低生產風險，例如南部‘玉荷包’可視氣候暖化進展更換為‘台農 6 號’(鄧和陳，2011)；中部地區可將中晚生品種‘黑葉’及‘糯米糍’更換成‘玉荷包’、‘台農 2 號’、‘台農 7 號’、‘台農 3 號’等品種(張等，2009；2014；鄧和劉，2007a)。中部以北(苗栗、新竹)地區則可考慮種植‘台農 5 號’及‘台農 4 號’等質優、豐產且耐風的品種(張等，2010；鄧和劉，2007b)。另在學研單位透過與易開花品種(例如‘三月紅’、‘Khom’)雜交及藉由易開花型有關的分子標記(LcFT1 啟動子)輔助育種及實生苗選拔是重要的育種策略(Ding, *et al.*, 2015, 2021; Chang, *et al.*, 2023; 李及張, 2022)，相關工作也正在陸續進行中(Chang, *et al.*, 2023)。

5. 其他

在近年韌性農業計畫中，亦有針對荔枝調適栽培技術進行相關研究。農試所鳳山

分所經溫度數據運算指出 12 月的氣溫與當期的產量相關性最高(方等, 2022), 因此嘗試運用設施以控制環境, 透過架設噴霧於冬季進行降溫處理, 提升荔枝的開花率(方, 未發表資料)。嘉義分所亦研究於花芽誘導時施用細胞分裂素(kinetin)作為催花藥劑, 可提高晚生品種的開花率(柯等, 未發表資料)。

結語

氣候變遷對農業生產造成極大的衝擊, 尤其暖冬及霪雨為目前災損金額最高的兩項, 其中暖冬更佔近 10 年全部天然災害損失金額的 60% 以上。為因應氣候變遷的衝擊, 我國荔枝的生產可朝下列方向因應: (1) 運用栽培技術提高花芽形成率, 例如改變修剪模式並加強秋冬季停梢管理, 以增加葉片數及提高末段梢成熟度等技術降低花芽誘導所需的涼溫需求量。(2) 研發催花藥劑。(3) 搭配設施控制花芽分化及開花環境。(4) 因應暖化趨勢, 適當調整產區的品種及育種研發。農民亦應掌握荔枝生長及開花特性, 適地適種, 以因應氣候挑戰。

參考文獻

1. 方信秀、邱國棟、徐智政、李文立。2022。運用氣象資料預測當期荔枝產量之可行性研究。台灣農業研究。71:343–357
2. 行政院農業委員會。2021。農業統計年報。<<https://agrstat.coa.gov.tw/sdweb/public/book/Book.aspx>>
3. 行政院農業委員會。2022。臺閩地區農作物災害損失。<<https://agrstat.coa.gov.tw/sdweb/public/official/OfficialInformation.aspx>>
4. 李建國。2008。荔枝學。北京：中國農業出版社。
5. 李昱錡、張哲嘉。2022。‘玉荷包’荔枝花續發育與結實特性影響果實生產之研究進展與因應, p. 81–93。刊於臺灣果樹研究與發展研討會專刊。國立中興大學園藝學系。臺灣台中。
6. 林宗賢、沈素美、顏昌瑞、林添成、張哲璋。1991。果實、葉片、光照與修剪對荔枝開花的影響。園藝作物產期調節研討會專集 II。台中區農業改良場。臺灣台中。
7. 高雄市主要農產品生產概況。2022。<<https://pxweb.kcg.gov.tw/px9/Dialog/Saveshow.asp>>
8. 張仁育、張宇安、方明義、林美莉、張哲璋。2014。評估荔枝翌年開花所需當年生枝條末段梢成熟之邊際時間點。臺灣園藝 60:27–39
9. 張哲璋。1999。荔枝開花之調控。國立臺灣大學園藝學研究所博士論文。臺灣臺北。
10. 張哲璋、張仁育。2017。荔枝產業結構的調整與產期調節研究。刊於果樹產期調節研究發展與產業調適研討會論文輯, p. 101-112。台中區農業改良場。臺灣台中。
11. 張哲璋、趙政男、陳右人、鄭正勇。1997。溫度及乾旱對荔枝開花的影響。中國園藝 43(4): 322–329。
12. 張哲璋、鄭正勇。2001。修剪及環剝對荔枝開花的影響。中國園藝 47(3): 254–258。
13. 張哲璋、顏昌瑞、王婉伶、蔡武雄、程永雄、何昭吉。2009。荔枝‘台農 3 號玫瑰紅’之育成。臺灣農業研究 58: 208–213。

14. 張哲璋、顏昌瑞、王婉伶、劉茂南。2010。荔枝新品種‘台農 5 號’(紅寶石)之育成。臺灣農業研究 59: 197–208。
15. 張哲璋、顏昌瑞、王婉伶、劉茂南、張仁育。2014。荔枝新品種「台農 7 號(早大荔)」之育成。臺灣農業研究 63(1): 43–56。
16. 張哲嘉。2008。改進‘糯米糍(73-S-20)’荔枝生產枝生理基礎與研究進展。荔枝產業發展研討會專刊, p. 95-114。國立屏東科技大學農園系。臺灣屏東。
17. 張哲嘉、林宗賢。2003。疏花序對玉荷包荔枝花性、著果與果實品質之影響。中華農學會報 4(5):418–428。
18. 陳溪潭。1994。利用益收(Ethrel)及耕作處理對荔枝花性及產量影響之研究。臺南區農業改良場研究彙報 31: 35–45。
19. 鄧永興。1996。'玉荷包'荔枝密植栽培之修剪與花期調節。國立臺灣大學園藝學研究所博士論文。臺灣臺北。
20. 鄧永興、劉政道。2007a。荔枝新品種‘台農 2 號-旺荔’之育成。農業試驗所技術服務 71: 6–9。
21. 鄧永興、劉政道。2007b。荔枝新品種‘台農 4 號-吉荔’之育成。農業試驗所技術服務 72: 4–7。
22. 鄧永興、陳甘澍。2011。荔枝新品種‘台農 6 號-豔荔’之介紹。農業試驗所技術服務 87: 5–8。
23. Carr, M. K. V.; Menzel, C. M. The water relations and irrigation requirements of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.): A review. *Exp. Agric.* 2014, 50(4), 481-497.
24. Chang, J.; Ho, Y. W.; Tao, C. N.; Chang, J. W. The unique LcFT1 gene sequence linked to early-flowering in the tropical litchi ‘Khom’. *Acta Hort.* 2023, 1362. 389-396.
25. Chen, P.A.; Lee, C.L.; Roan, S.F.; Chen, I.Z. Temperature model of litchi flowering — From induction to anthesis. *Scientia Hort.* 2016, 205, 106-111.
26. Das, B.; Sureja, A. K.; Jindal, P. C. Flowering and fruit set in lychee (*Litchi chinensis* (Gaertn.) Sonn.)—A review. *Agric. Rev.* 2002, 23(1), 59-64.
27. Davenport, T.; Stern, R.A. Flowering. In *Litchi and Longan: Botany, Cultivation and Uses*; Menzel, C.M., Waite, G.K., Eds.; CABI Publishing: Wallingford, UK, 2005, pp. 87–113.
28. Ding, F.; Zhang, S.W.; Chen, H.B.; Su, Z.X.; Zhang, R.; Xiao, Q.S.; Li, H.L. Promoter difference of LcFT1 is a leading cause of natural variation of flowering timing in different litchi cultivars (*Litchi chinensis* Sonn.). *Plant Sci.* 2015, 241, 128–137.
29. Ding, F.; Li, H.; Wang, J.; Peng, H.; Chen, H.; Hu, F.; Lai, B.; Wei, Y.; Ma, W.; Li, H.; He, X.; Zhang, S. Development of molecular markers based on the promoter difference of LcFT1 to discriminate easy-and difficult-flowering litchi germplasm resources and its application in crossbreeding. *BMC Plant Biol.* 2021, 21, 539.
30. Kumar, R. Effect of climate change and climate variable conditions on litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) productivity and quality. In *IV International Symposium on Lychee, Longan and Other Sapindaceae Fruits 2012*, 1029, 145–154.
31. Liu, P.; Huang, J.J.; Cai, Z.Y.; Chen, H.T.; Huang, X.; Yang, S.N.; Su, Z.X.; Azam, M.; Chen, H.B.; Shen, J.Y. Influence of girdling on growth of litchi (*Litchi chinensis*) roots during cold-dependent floral induction. *Sci. Hort.* 2022, 297, 1109.
32. Menzel, C.M.; Simpson, D.R. Effect of temperature on growth and flowering of litchi

- (*Litchi chinensis* Sonn.) cultivars. J. Hortic. Sci. 1988. 63(2), 349–360.
33. Menzel, C.M.; Simpson, D.R. Effect of environment on growth and flowering of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.). In: International Symposium on the Culture of Subtropical and Tropical Fruits and Crops. 1989, 275, 161–166.
 34. Menzel, C.M.; Simpson, D.R. Effects of temperature and leaf water stress on panicle and flower development of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). J. Hort. Sci. 1991, 66, 335-344.
 35. Menzel, C.M.; Simpson, D.R. Lychee. 1994, 123-145. In B. Schaffer and P.C. Anderson (eds.). Handbook of environmental physiology of fruit crops. Vol 2. Subtropical and tropical crops. CRC Press, Boca Raton, Fla.
 36. Menzel, C.M.; Simpson, D.R. Temperatures above 20°C reduce flowering in lychee (*Litchi chinensis* Sonn.). J. Hort. Sci. 1995, 70, 981-987.
 37. Nakata, S.; Suehisa, R. Growth and development of *Litchi Chinensis* as affected by soil-moisture stress. Amer. J. Bot. 1969, 56(10), 1121-1126.
 38. O'Hare, T.J. Interaction of temperature and vegetative flush maturity influences shoot structure and development of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.). Sci. Hort. 2002, 95: 203–211.
 39. O'Hare, T. J. Impact of root and shoot temperature on bud dormancy and floral induction in lychee (*Litchi chinensis* Sonn.). Sci. hort. 2004, 99(1), 21-28.
 40. Olesen, T., Menzel, C. M.; Wiltshire, N.; McConchie, C. A. Flowering and shoot elongation of lychee in eastern Australia. Austral. J. Agric. Res. 2002, 53(8), 977-983.
 41. Shen, J.Y.; Xiao, Q.S.; Qiu, H.J.; Chen, C.J.; Chen, H.B. Integrative effect of drought and low temperature on litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) floral initiation revealed by dynamic genome-wide transcriptome analysis. Sci. Rep. 2016, 6, 32005.
 42. Stern, R.A.; Gazit, S. The Reproductive Biology of the Lychee. 2003, pp. 393–453. In *Horticultural Reviews*; Janick, J., Ed.; John Wiley and Sons, Inc. Publishing: Hoboken, NJ, USA,
 43. Wei, Y. Z.; Zhang, H. N.; Li, W. C.; Xie, J. H.; Wang, Y. C.; Liu, L. Q.; Shi, S. Y. Phenological growth stages of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) using the extended BBCH-scale. Scientia Hort. 2013, 161, 273-277.
 44. Yuan, R.C.; Huang, H.B. Regulation of root and shoot growth and fruit-drop of young litchi trees by trunk girdling in view of source-sink relationships. J. Fruit Sci. 1993, 10, 195-198.

Management adjustment of litchi orchard under climate change

Jer-Way Chang¹, Yu-Ying Chu^{2*}, Yu-Cheng Ke², Chu-Chung Chen⁴, Hsin-Hsiu Fang⁶,
Kai-En Chuang³ and Ming-Te Lu³

1 Researcher of Chiayi Agricultural Experiment Station, TARI, COA

2 Assistant Researcher of Chiayi Agricultural Experiment Station, TARI, COA

3 Assistant Researcher of Taiwan Agricultural Research Institute, COA

4 Associate Researcher of Taiwan Agricultural Research Institute, COA

5 Researcher of Taiwan Agricultural Research Institute, COA

6 Assistant Researcher of Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, TARI, COA

*Correspondence: yuyingchu@tari.gov.tw

Abstract

Litchi is an important economic fruit tree in central and southern Taiwan. However, Flowering and production of litchi became hard and unstable due to the impact of climate change in recent years. The average damage amount in the past five years has even soared to the third place. Under such circumstances, the livelihood of litchi farmers has been seriously affected, and it has also led to a significant and continuous decline in the cultivated area in recent years. The flowering of litchi controls by a complex regulation mechanism, which is affected by factors such as temperature, mature shoots and leaves, varieties, and water. The flower bud differentiation of litchi needs sufficient cool temperature to induction. Furthermore, drought and plants with sufficient number of mature leaves can also promote flower bud differentiation. After flower initiation, development of flower panicle requires relatively high temperature and moisture in order to promote cell division and growth. Abnormal climates can easily lead to insufficient conditions for flower bud differentiation. Only by mastering the growth and flowering characteristics of litchi, such as: using cultivation techniques to increase the flower bud formation rate, developing flower forcing agents, utilizing environmental control facilities, or adjusting varieties to suitable planting area, can meet the coming challenge of climate change.

Keywords: cool temperature requirement; warm winter; flower initiation; shoot control

有機輪作制度對作物產量與品質之影響

侯金日¹、黃啟鐘²

1 國立嘉義大學農藝學系

2 國立嘉義大學生物資源系

聯繫人 e-mail:houcj@mail.ncyu.edu.tw

摘要

研究主要探討有機紅豆、落花生、薏苡、綠豆與有機甘藷、馬鈴薯、胡麻輪作體系下作物產量、土壤肥力、病蟲害及品質之影響，進行四種作物春作種植與三種作物秋作輪作，夏作部分種植綠肥養地，探討 7 種雜糧作物輪作體系下對產量與品質之影響。試驗結果如下：

春作有機紅豆栽培顯示始花後 40-60 天收穫皆有最高小區產量、溝間兼植覆蓋作物顯著降低雜草密度，促進紅豆種子產量提昇。有機紅豆栽培中耕二次及一次；敷蓋稻草；溝間間植太陽麻與綠肥大豆有最高小區種子產量。適當可使用有機質肥料豬糞或雞糞，二次施肥對產量有提升效果。有機紅豆栽培無論何種管理方式較慣行栽培相較皆可提高種仁自由基清除率及花青素含量。有機紅豆病蟲害綜合管理以黃色黏蟲紙誘殺害蟲與誘集重要天敵達成以蟲克蟲、以菌制菌之制約效應。

春作有機落花生栽培顯示始花後 70 天及 80 天收穫有最高之鮮莢果產量與乾莢果產量及種子產量；有機落花生栽培中耕二次及一次；敷蓋花生殼與稻草；溝間間植太陽麻與綠肥大豆有最高鮮莢果產量與乾莢果產量及種子產量。有機落花生栽培無論何種管理方式較慣行栽培相較皆可提高種仁總酚含量與 DPPH 自由基清除率。有機落花生病蟲害綜合管理以黃色黏蟲紙誘殺害蟲與誘集重要天敵達成以蟲克蟲、以菌制菌之制約效應。

夏作種植 (田菁、太陽麻、綠肥大豆)綠肥作物有助土壤肥力提升，對秋作種植有機甘藷，無論何種有機栽培管理皆有提升產品與品質之效果。而夏作種植水稻與綠肥作物後，綠肥作物區提升土壤肥力、水稻區則降低秋作馬鈴薯雜草之危害雜草之危害，綠肥作物區則增加土壤肥力，有助於馬鈴薯塊莖產量之提升。

有機薏苡、綠豆與胡麻輪作顯示，春作種植有機薏苡與有機綠豆，秋作輪作有機胡麻，不同處理之有機薏苡有很高之種子產量、與慣行相較有更高之抗氧化能力與自由基清除率。夏作種植綠肥與未種植綠肥相較也能有效提高秋作有機胡麻小區種子產量。

關鍵字：有機栽培、輪作、落花生、紅豆、綠豆、甘藷、馬鈴薯、薏苡、胡麻

前言

有機農業促進法 2019 年 5 月 30 日實施，共計 6 章 42 條，定義為：指基於生態平衡及養分循環原理，不施用化學肥料及化學農藥，不使用基因改造生物及其產品，進行農作、森林、水產、畜牧等農產品生產之農業（行政院農委會有機農業促進法，2018）。有機栽培 (organic cultivation) 過程中與豆科植物輪作，並利用農場內外廢棄物及含植物營養之天然礦石等方式，以維護地力之耕作方式。孫(1978) 指出「綠肥為新鮮青草或幼嫩植株之枝葉 (多為豆科作物)，埋入土中後可供為肥料使用，就此目的而栽培之作物稱為綠肥作物」，種植綠肥可提供許多好處，最重要的是增加作物產量，改善作物品質，抑制雜草生長，病蟲害防治，增加土壤有機質含量、土壤養分或促進氧之有效化、避免土壤表面受雨水沖刷及流失或滲漏(leaching)、營養分流失、提供蜜源，美化農村景觀，其他如減少化學肥料之使用而降低對環境尤其是地下水之污染。常見的綠肥作物多為豆科作物，如田菁、太陽麻、大豆、紫雲英等。綠肥作物因生長期短，且能短時間內積蓄養分，可取代化學肥料提供植物所需養分，維持生態環境平衡，達到永續農業之目標。豆科綠肥作物可固定空氣中游離氮氣，增加土壤中氮素的含量，因此可減少施用氮素肥料量 1 / 3 以上 (Watanabe *et al.*, 1991)。Roy *et al.*(1988) 以太陽麻及田菁作為綠肥，對水稻穀粒收量、相對產量促進及氮素利用效率有明顯增加。

輪作是以數種作物，按照特定次序輪流栽植於同一塊田的一種耕作制度，輪作較盛行者為與豆科作物輪作與水旱田輪作，在增進土壤地力、降低病蟲與雜草之危害皆有顯著之效果(黃與黃，2004)。根據記載，在 3000 多年前中國人就懂得運用作物輪作。雖然在 1950 年代，人們認為化學合成肥料及農藥可以永遠的取代輪作帶來的效益，但現在觀念已逐漸改變(鄧等，1998)。如玉米與大豆輪作可較玉米連作增產 5-20% (鄧等，1998)。彭 (1992) 研究指出，連續五年研究水稻與花生、玉米、高粱輪作，可增加土壤中有機質和鉀肥含量。李(1991)研究顯示，與綠肥作物輪作最為可行，與大豆輪作每公頃增產 23%。輪作綠肥可固定自然界的氮肥來提供下期作物利用，又可覆蓋地表降低沖蝕，且不必添加肥料，節省生產成本。李 (1991) 研究又指出以「水稻-大豆-玉米」輪作時，全年總收益較雙期作水稻連作多 68%；而「高粱-大豆-玉米」輪作收益則比水稻連作增加 64%，由此結果知，實施輪作豆科綠肥能維持理想產量與收益。吳等 (2007) 研究綠肥大豆對水稻產量及土壤肥力之影響指出，輪作綠肥大豆可以增加土壤有機質、總氮含量及有效性氧化鎂含量，有利於增進水稻產量。另一些報告指出大豆與玉米輪作較玉米連作增加玉米產量 32% (Lesoing, 1998)，大豆與高粱輪作有同樣提高後作產量的效果(Penas, 1982)。在加拿大的研究也發現利用豆科作物 (如扁豆) 與小麥輪作可提高小麥產量和土壤含氮量(Wright, 1990)，又芬蘭的研究指出利用豆科植物與小麥輪作可增加小麥的產量及減少小麥根部病害(Karvonen, 1993)。輪作是以數種作物，按照特定次序輪流栽植於同一塊田的一種耕作制度，輪作較盛行者為與豆科作物輪作與水旱田輪作，在增進土壤地力、降低病蟲與雜草之危害皆有顯著之效果 (黃與黃，2004)。輪作為一古老的耕作制度。根據記載，在 3000 多年前中國人就懂得運用作物輪作。雖然在 1950 年代，人們認為化學合成肥料及農藥可以永遠的取代輪作帶來的效益，但現在觀念已逐漸改變 (鄧等，1998)。如玉米與大豆輪作可較玉米連作增產 5-20% (鄧等，1998)。

許多研究顯示作物有機栽培可提升利用部位之品質，進而提高產品價值，一般有

機栽培作物之抗氧化活性大多較慣行栽培高，Olsson *et al.*(2006) 研究有機與慣行栽培草莓抗氧化活性之比較，抗氧化物質濃度具有差異，有機栽培草莓萃取物對於老鼠癌細胞的抑制程度比慣行栽培草莓萃取物高。

趙等 (2009) 指出紅豆含有多種活性物質，除了多酚外亦有單寧，兩者皆具有很強的抗氧化活性，另外還含有大量花青素。有機農業可能有較高的酚類含量，主要原因為沒有噴合成殺蟲劑可能使植物更有機會曝露在嚴峻情況下，誘導了天然防禦物質的增強 (Winter and Davis, 2006)。Reyes *et al.* (2007) 也指出植物受到攻擊與劇烈狀況下會誘導次生代謝產物的合成，特別由苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 活性的調控，產生更多的酚類化合物。以往的研究報告指出，有機水果和蔬菜比慣行栽培有較高的類黃酮和抗壞血酸 (Asami *et al.*, 2003)。此外，有顯著的花青素和酚類化合物以及抗氧化能力均被發現於有機栽培的藍莓中(You *et al.*, 2011)。Dani *et al.* (2007) 研究發現中，有機栽培之葡萄，其總酚與花青素含量皆高於慣行栽培。邱 (2014) 研究指出中，有機栽培落花生的抗氧化活性均較慣行栽培為佳。

紅豆屬豆科一年生草本植物，種子含有 20~30%左右的蛋白質，0.2~0.6%脂肪，55~69%澱粉，多種胺基酸和維生素，其中離胺酸及維生素 B 含量為豆類中較高者。110 年農業統計年報統計，紅豆的栽培面積為 6,270 公頃，年產量為 12,587 公噸，總產值 821,068 千元，主要集中在屏東縣及高雄縣地區。

落花生 (peanut) 為台灣最重要食用油料與雜糧作物。台灣農業年報 110 年統計目前栽培面積 18,049 公頃、總產量 49,636 公噸、總產值 2,883,410 千元，有春、秋作栽培。落花生在台灣之栽培一般農民採用慣行之非有機栽培法，栽培管理已漸趨向省工低成本之方式邁進。而落花生除富含脂肪外，也富含蛋白質、總酚、類黃酮、白裡蘆醇能提高抗氧化能力，有益人類健康。

馬鈴薯 (*Solanum tuberosum* L.) 又稱洋芋，為茄科之一年生之作物，原產於南美洲祕魯境內之安地斯山脈，為熱帶、亞熱帶及溫帶地區之重要糧食與蔬菜作物。根據 110 年台灣農業統計年報資料，馬鈴薯栽培面積 2,738 公頃，每公頃塊莖產量 22,707 公斤，年產量為 62,174 公噸，年總產值達 1,530,739 千元。主要集中在雲林縣、台中縣及嘉義縣地區。

甘藷(Sweet potato)塊根為主要利用部位，可作食糧、輔食糧、飼料、及食品加工原料製造澱粉和酒精，莖葉是良好飼料，嫩葉和幼芽可供作蔬菜。甘藷塊根成分富含碳水化合物、蛋白質、脂肪及植物性纖維，營養價值極高。甘藷主要栽培品種台農 57 號、台農 66 號、台農 68 號、台農 71 號、台農 72 號 (賴等，2003)，以台農 57 號種植面積最廣，佔總種植面積之一半。據台灣農業年報統計；110 年全台甘藷種植面積為 8,782 公頃，總產量達 213,712 公噸，年總產值達 3,421,533 千元。台灣甘藷主要種植縣市為雲林縣、彰化縣、台南市、台中市、嘉義縣等縣市。

薏苡為台灣重要雜糧作物之一，目前台灣薏苡種植面積依農糧署 110 年統計資料全台種植面積 71.46 公頃，總產量達 180.76 公噸，年總產值達 9,728 千元。主要種植於嘉義縣 10.3 公頃、彰化縣 37.92 公頃、南投縣 11.60 公頃、臺中市 5.99 公頃、花蓮縣 3.5 公頃，產地以彰化縣二林鎮、台中市大雅區、嘉義縣朴子市與東石鄉、雲林四湖等地區為主。

綠豆屬豆科一年生草本植物，籽粒含有 20~24%的蛋白質，0.5~1.5%脂肪，碳水化合物及各種礦物質和維生素。110 年農業統計年報統計，綠豆的栽培面積為 50.89 公頃，年產量為 50.74 公噸，總產值 5,074 千元，主要集中在臺南市、高雄市、花蓮縣、

嘉義縣等縣市。

胡麻為台灣重要雜糧作物之一，目前台灣胡麻種植面積依農糧署 110 年統計資料全台種植面積 2,113 公頃，總產量達 1,932 公噸，年總產值達 403,635 千元。主要種植於臺南市 1,491.32 公頃、屏東縣 134.69 公頃、台中市 126.20 公頃、彰化縣 115.92 公頃、苗栗縣 112.83 公頃。

目前 7 種雜糧與根莖類作物在有機栽培體系種植面積不超過 500 公頃，但價格較慣行栽培高出 2-4 倍以上，有機紅豆、落花生、薏苡、綠豆、胡麻、甘藷與馬鈴薯價格高且產品供不應求。在農委會大糧倉計畫施作之作物中，雜糧作物為重要之推動項目，7 種雜糧與根莖類作物若能積極拓展有機栽培，藉由輪作體系來加以生產，對有機產業之推動將能有所助益。

結果與討論

一、春作有機紅豆、夏作綠肥與秋作馬鈴薯輪作體系下對作物產量及品質之影響

本研究主要目的為有機紅豆與馬鈴薯之輪作制度，對春作有機紅豆栽培技術之改進，建立春作有機紅豆之生產模式。夏作則配合旱作綠肥種植與水田水稻種植，兩者收穫後，種植秋裡作有機馬鈴薯，進一步了解種植水稻與種植綠肥後對後作馬鈴薯田間雜草相、病蟲害與產量之影響。

1. 栽培管理對紅豆有機栽培影響：

A. 田間雜草相分布與密度調查顯示生育中期雜草種類以小葉灰藿最多，其次為龍葵與小葉碎米荳，後期則以芒稷較多。而人工除草、敷蓋稻殼與稻草之雜草乾重與密度間皆無顯著差異。B. 種植期與收穫期農藝性狀產量影響，顯示中植(2 月 5 日種植)在兩品種(高雄 8 號與高雄 9 號)於始花後 40 天與 50 天收穫，在人工除草、敷蓋稻殼與稻草處理皆有最高之單株種子數與小區種子產量，小區種子產量高雄 8 號介於 4,225~5,434 g/10 m²、高雄 9 號介於 4,864~8,052 g/10 m²。而中植 40 天與 50 天收穫兩者在不同處理間則無顯著差異。三種處理以敷蓋稻殼表現最佳，其次為稻草與人工除草，但整理在種植期與收穫期間表現並不一致。C. 紅豆高雄 8 號早植、中植、晚植皆以始花後 50 天收穫小區種子產量最高；高雄 9 號早植始花後 50 天收穫小區種子產量最高、中植始花後 40 天收穫小區種子產量最高。

2. 有機有無病蟲害管理對紅豆產量之影響：

顯示高雄 8 號有機有無病蟲害管理對單株種子數與小區種子產量影響不大，播種期以早植有最高之小區種子產量達 6,637.5 g/10 m²。高雄 9 號有機有無病蟲害管理對單株種子數與小區種子產量影響不大，播種期以中植有最高之小區種子產量達 5,409 g/10 m²。

3. 亞磷酸不同稀釋倍數處理，對紅豆產量及枯葉率之影響：

顯示無論早、中、晚植區稀釋 10 倍與 20 倍枯葉率達 100%，稀釋 30 倍枯葉率達 95%、稀釋 40 倍枯葉率達 85%-90%，對小區種子數與種子產量則無顯著差異。建議春作噴施 20 倍亞磷酸後，五天後可進行機械採收。檢測土壤 pH 值，顯示處理間並無顯著差異。

4. 種植密度對紅豆有機栽培農藝性狀及產量之影響：

顯示無論早、中、晚植高雄 9 號皆以株距 5 公分有最高小區種子產量，而高雄 8 號則於早、中、晚植表現並不一致，早植 10 公分、中植 15 公分、中植 5 公分；兩品種高

雄 8 號與高雄 9 號於株距 20 公分有最高之單株種子產量。以種植期而言中植有最高種子數、種子種與小區種子產量。

5.有機紅豆栽培種子品質顯示：

兩品種適度中耕有提高種仁自由基清除率及花青素含量，尤其中耕二次表現更佳。敷蓋處理高雄 8 號以敷蓋稻草自由基清除率最高，高雄 9 號則 3 種敷蓋(稻草、稻殼、花生殼)處理自由基清除率及花青素含量皆較未敷蓋處理之對照組為高。肥料不同施用量雞糞於高雄 8 號高施、高雄 9 號中施有最高自由基清除率及花青素含量；牛糞於高雄 8 號表現不一致、高雄 9 號高施有最高自由基清除率及花青素含量。肥料不同施用期兩品種於雞糞堆肥皆以全施有最高自由基清除率及花青素含量；牛糞於全施與分施之自由基清除率及花青素含量表現較對照組為佳，且所有有機栽培處理皆較慣行栽培者為高。

6.紅豆病蟲害管理：

2017 年 1 至 5 月間，在嘉義新港鄉實施春作紅豆(*Vigna angularis*) 有機栽培，以高雄 8 號和高雄 9 號品種作為試驗植材。試驗田劃分為整合管理與對照區，兩試驗區以黃色黏紙誘得小型重要害蟲，分別為粉蝨科 (Aleyrodidae) 棲群密度高峰皆出現於 3 月初 313.5 與 314.3 隻/片；葉蟬科 (Cicadellidae) 棲群密度高峰皆出現於 3 月中旬 284.1 與 302.9 隻/片；薊馬科 (Thripidae) 棲群密度高峰皆出現於 3 月底 41.7 與 87.4 隻/片。在兩試驗區紅豆生長全期，以兩種夜蛾中改式性費洛蒙誘蟲器，計誘得斜紋夜蛾 (*Spodopteralitura*) 成蟲數為 1,228 與 1,328 隻/2 支，而甜菜夜蛾 (*S. exigua*) 成蟲數為 2,376 與 1,795 隻/2 支，其中以甜菜夜蛾成蟲密度較斜紋夜蛾高 1.9 與 1.4 倍。在兩試驗區以黃色黏紙誘得寄生與捕食性天敵成蟲，分別為寄生蠅科 (Tachinidae) 棲群密度高峰皆出現於 4 月底 31.2 與 29.6 隻/片；小繭蜂科 (Braconidae) 棲群密度高峰皆出現於 5 月底 5.2 隻/片與 5.4 隻/片；姬蜂科 (Ichneumonidae) 棲群密度高峰皆出現於 5 月中旬對照區 9.1 隻/片；瓢蟲科 (Coccinellidae) 棲群密度高峰皆出現於 4 月底 6.9 與 5.6 隻/片；唯 3 月底至 5 月中旬，皆可發現黃瓢蟲 (*Illeis koebeli*) 之幼、成蟲取食葉片上白粉病 (*Sphaerotheca fuliginea*) 菌絲，其中以 4 月底在兩試驗區之族群密度較高，達 3.2 與 4.6 隻/片，可降低此病原菌的蔓延。

7.夏作水稻與撒播綠肥對有機田土壤肥力之比較：

兩品種試區皆顯示土壤 pH 值在水稻與三種綠肥間 pH 會有下降趨勢；在有機質方面種植三種綠肥作物於馬鈴薯種植前即採收後皆有最高含量、水稻區則有機質含量較低；總氮含量、有效磷含量與交換性鉀含量方面，均以綠肥 (綠肥大豆、田菁與太陽麻) 種植後顯著最高；於交換性鈣與交換性鎂方面，則水稻與綠肥間差異不大。

8.種植綠肥與水稻後秋裡作馬鈴薯不同栽培管理對產量之影響：

有機栽培是一種不使用化學肥料及農藥，藉由與豆科植物輪作，並利用農場內外廢棄物及種植綠肥來維護地力之耕作方式。而免耕栽培是根據馬鈴薯由地下塊莖膨大形成的生長發育規律，在溫濕度適當的條件下，只要將植株基部遮光就可以結薯塊的原理。

本試驗以馬鈴薯克尼伯與台農一號兩個品種，分別於種植太陽麻、綠肥大豆與田菁翻耕與水稻收割後，於有機認證合格農田上進行免耕處理，處理分為人工除草 (一次)、敷蓋稻草 5 公分與 10 公分三種，並於栽種後 90、100 及 110 天收穫，以了解種植三種綠肥與水稻後對有機馬鈴薯免耕栽培田間雜草相與產量之影響。結果顯示，免耕栽培敷蓋稻草 (5 公分、10 公分) 可以提高馬鈴薯塊莖產量也可以減少雜草生長，稻草敷

蓋 5 公分與敷蓋 10 公分的處理不論是在雜草密度與乾重都少於人工除草(一次)，但其綠化率則較人工除草來的高，而不論是克尼伯或台農一號，其水稻試區生育期雜草密度與乾重皆較綠肥試區(太陽麻)的雜草少。在兩品種間小區面積產量則台農一號較克尼伯高，至於不同收穫期中，台農一號以種植後 110 天的小區面積產量為相對最高，而克尼伯以種植後 100 天的小區面積產量則漸趨於穩定。

三種綠肥翻耕與水稻收割後種植馬鈴薯，於人工除草區收穫馬鈴薯塊莖顯示，克尼伯於不同收穫期於三種綠肥翻耕區中塊莖產量皆較種植水稻後種馬鈴薯為高；台農 1 號於不同收穫期於三種綠肥翻耕區中塊莖產量以太陽麻與田菁翻耕較種植水稻後種馬鈴薯產量為高。

二、春作有機落花生、夏作綠肥與秋作甘藷輪作體系下對作物產量及品質之影響

本研究為有機落花生與甘藷之輪作制度，並對春作有機落花生栽培技術改進，建立春作有機落花生之生產模式。夏作則配合旱作綠肥種植，兩個半月後翻耕浸水一週，種植秋作有機甘藷，進一步了解種植綠肥後對秋作甘藷田間雜草相、病蟲害與產量之影響。

1. 春作有機落花生農藝性狀與產量之影響：

1). 不同雜草管理方式對落花生有機栽培雜草分佈影響：在三品種(台南選 9 號、台南 14 號與台南 18 號)雜草鮮重與乾重皆顯示以種植後 120 天最高，敷蓋花生殼、稻殼與稻草處理與人工除草及中耕除草差異不顯著，生育 80 天前各區差異不大，100 天顯著提高，120 天達高峰。敷蓋稻草於生育初期與中期(20 天至 80 天)抑制雜草效果較佳，100 天以後差異不明顯。雜草數目初期敷蓋花生殼抑制效果最佳，中後期稻草抑制效果較佳。

2). 不同雜草管理方式對落花生有機栽培農藝性狀與產量之影響：台南選 9 號與台南 14 號以人工除草 2 次、台南 18 號以人工除草 2 次及敷蓋稻殼有最高之莢果乾重、種子重、種子數、小區莢果產量與小區種子產量。雜草管理以人工除草 2 次及敷蓋稻殼最佳。

2). 成本效益分析顯示落花生台南選 9 號以人工除草二次及敷蓋花生殼、台南 14 號以人工除草二次及敷蓋稻草、台南 18 號以人工除草二次及敷蓋稻殼有最高之淨收益。

3. 有機有無病蟲害管理對落花生農藝性狀及產量影響；顯示三品種台南選 9 號、台南 14 號、台南 18 號與兩種管理方式在莢果乾重、種子重、種子數、小區莢果產量與小區種子產量，並無顯著差異，顯示有機無病蟲害管理能有相當高之產量。三品種中以台南 18 號有最高莢果乾重、種子重、種子數、小區莢果產量與小區種子產量。

4. 春作有機落花生不同管理各成分間種仁微量元素之影響顯示台南選 9 號與 18 號敷蓋稻草、台南 14 號敷蓋稻殼較高之鐵含量，介於 33.63-44.45 mg/kg；台南 14 號與 18 號以敷蓋花生殼有較高之錳與銅含量，錳介於 6.87-12.58 mg/kg、銅介於 12.77-15.08 mg/kg；而鋅在各品種處理間表現較不一致，以台南 14 號敷蓋花生殼最高為 41.72 mg/kg。品種間台南 14 號有較高之鐵、錳、銅、鋅含量，台南 18 號則較低；栽培管理敷蓋花生殼有顯著較高之錳、銅、鋅含量，敷蓋稻殼鐵含量有較高之表現。

5. 有機落花生栽培無論何種管理方式種人抗氧化能力有機栽培無論何種管理方式皆較慣行栽培提高種仁總酚含量與 DPPH 自由基清除率。

6. 落花生有機栽培不同管理方法對土壤肥力之影響顯示台南選 9 號與 18 號敷蓋花生殼有較高之有機質、磷、鉀與鎂含量；台南 14 號敷蓋稻草有最高之鉀、鈣、鎂含量，

pH 值與鈣則表現不一致。

7.有機落花生有機栽培病蟲害之整合管理：在 2019 年春作在雲林水林鄉實施落花生 (TN9、TN14 及 TN18 號品種) 有機栽培病蟲害整合管理之研究。試驗田劃分為整合管理與有機資材區 (對照區)。在兩試驗區以黃色黏紙誘得小型重要害蟲成蟲高峰期及其棲群密度，分別為粉蝨科 (Aleyrodidae) 皆出現於 5 月中旬；葉蟬科 (Cicadellidae) 於 4 月底與 5 月中旬；薊馬科 (Thripidae) 皆出現於 4 月底。在兩試驗區放置斜紋夜蛾 (*Spodoptera litura*) 性費洛蒙中改式誘蟲器，誘得此雄蟲高峰期及族群密度皆出現於 5 月中旬，甜菜夜蛾 (*S. exigua*) 性費洛蒙中改式誘蟲器，計誘得此雄蟲高峰期及族群密度，分別為 4 月中旬與 3 月底。春作落花生兩試驗區三個品種之莢果易感染黑斑病，惟以整合管理區 TN18 號品種之罹病率 25.7% 低於對照區之 44.5%；莢果白絹病 (*Sclerotium rolfsii*) 以整合管理區之 TN18 號品種之罹病率 0% 低於對照區之 6.4%。在兩試驗區以黃色黏紙誘得寄生與捕食性天敵成蟲高峰期及其棲群密度，與害蟲發生之高峰期成正相關。

8.夏作灑播綠肥作物 (田菁、太陽麻、綠肥大豆) 75 天後翻耕，綠肥作物農藝性狀顯示，種植田菁有最高之株高、地上部鮮重、根鮮重、根長度、根瘤數、地上部乾重、地上部乾重、小區鮮重、小區乾重，田間雜草鮮重與乾重則為最少。土壤肥力檢測田菁、綠肥大豆與太陽麻區土壤氮、有機質、鉀、鈣、鎂含量皆較未種植綠肥之對照區為高。

9.秋作有機甘藷品種以台農 57 號、台農 66 號為試驗材料，2018 年和 2019 年種植在雲林水林鄉有機驗證合格之農地中。前作綠肥作物翻耕處理分為：綠肥大豆、太陽麻、田菁、對照組，敷蓋處理分為：人工除草一次、花生殼粉敷蓋、稻殼敷蓋、稻草敷蓋，進行 2 年秋作試驗，調查前作翻耕綠肥和有機資材敷蓋對於甘藷有機栽培田間雜草相、農藝性狀和產量的影響。試驗結果顯示：前作綠肥翻耕對田間雜草數量沒顯著的影響。敷蓋處理對田間雜草相的部分，甘藷定植 20 天時，人工除草一次的雜草密度和雜草乾重都明顯高於試驗組，雜草乾重和雜草密度都以甘藷定植 80 天達到高峰，在甘藷定植 20 天到 80 天之間，稻草敷蓋組的雜草密度和乾重為最低，在甘藷定植 140 天時花生殼粉敷蓋雜草密度和乾重為最低。田間雜草種類以小葉灰藿、香附子、龍葵、苦蕒最為常見。在農藝性狀與產量的部分，敷蓋花生殼粉對於單株塊根重和小區產量有顯著提升的效果，前作綠肥大豆對塊根數和小區產量有較佳的效果，前作綠肥翻耕處理和敷蓋處理都對於蟻象危害率沒有顯著影響。綜合本次試驗，在雲林水林地區種植有機甘藷，在甘藷種植前種植綠肥大豆先進行翻耕入土，再種植甘藷台農 57 號，並使用花生殼粉敷蓋，有最佳甘藷產量表現。

10.有機甘藷塊根微量元素顯示，收穫期的部分，種植後 165 天(晚期採收)有最高的銅元素含量(0.174 mg/kg)和鐵元素含量(2.648 mg/kg);種植後 135 天(早期採收)擁有最高的鋅元素含量(0.104 mg/kg)。甘藷品種的部分，台農 66 號有最高的銅元素含量(0.175 mg/kg)和鐵元素含量(2.305 mg/kg);台農 74 號有最高的鋅元素含量(0.113 mg/kg);台農 57 號塊根微量元素則略低於其他兩種甘藷品種。前作綠肥翻耕處理的部分，田菁有最高的銅元素含量(0.172 mg/kg)和鋅元素含量(0.115 mg/kg);綠肥大豆有最高的鐵元素含量(2.32 mg/kg);太陽麻略低於其他兩種前作綠肥翻耕處理。敷蓋處理的部分，花生殼粉敷蓋擁有最高的銅元素(0.17 mg/kg);稻殼敷蓋擁有最高的鋅元素含量(0.106 mg/kg)和鐵元素含量(2.207 mg/kg);稻草敷蓋的微量元素則略低於其他兩種敷蓋方式。

三、春作有機薏苡、綠豆、夏作綠肥與秋作有機胡麻輪作體系下對作物產量及品質之影響

本研究為有機薏苡、綠豆與胡麻之輪作制度，並對春作有機薏苡栽培技術改進，建立春作有機薏苡與綠豆之生產模式。夏作則配合旱作綠肥種植，兩個半月後翻耕浸水一週，種植秋作有機胡麻，進一步了解種植綠肥後對秋作胡麻產量之影響。

1.春作有機薏苡不同栽培管理對農藝性狀與產量影響顯示:

1).不同敷蓋處理對薏苡有機栽培雜草分佈影響：在五品種 (台中 1 號、台中 2 號、台中 3 號、台中 4 號與台中 5 號) 雜草鮮重與乾重皆顯示以種植後 60 天及 80 天最高；敷蓋花生殼粉在 5 個薏苡品種中於生育 40-100 天大都達到最大之抑制雜草效果，其次稻殼、稻草敷蓋與中耕除草差異不顯著，中耕除草於生育 20 天有最大之雜草鮮、乾重。雜草密度初期除中耕鋤草差異較大外，其餘三種敷蓋差異不大，中後期 (40 至 100 天) 敷蓋花生殼與中耕除草較少。雜草種類初期 (20 天) 以禾本科牛筋草、大戟科白苞星星草、菊科醴腸、莎草科香附子最多，中期 40 天及 60 天以莧科之滿天星、茄科之苦蕺也開始出現；後期 80 及 100 天則以莎草科香附子、禾本科牛筋草、大戟科白苞星星草、莧科之滿天星、茄科之苦蕺外，禾本科鐵線草、芒稷也陸續出現。

2).不同敷蓋處理對薏苡有機栽培農藝性狀與產量影響:有機敷蓋處理間台中 1 號以中耕除草整體表現最佳，有最高之種子數、種子重與小區種子產量較高，台中 2 號及 3 號以敷蓋稻殼及稻草表現最佳，種子數、種子重、結實率與小區種子產量最高，台中 4 號與台中 5 號皆以皆以敷蓋花生殼粉及中耕除草表現最佳，種子數、種子重與小區種子產量最高；不同敷蓋處理間之比較以花生殼粉表現最佳，種子數、種子重與小區種子產量最高，其次為人工除草；品種間產量比較而言台中 4 號與 5 號有最高之小區種子產量、其次為台中 2 號，台中 3 號與台中 1 號小區種子產量則較低。

2.整合管理區與無病蟲害管理對薏苡農藝性狀及產量影響顯示台中 2 號、台中 3 號、台中 4 號與台中 5 號皆顯示整合性管理區皆較無病蟲害管理區種子重與小區種子產量來得高，台中 4 號與台中 5 號呈顯著差異、台中 2 號與台中 3 號則無顯著差異。台中一號則在無病蟲害處理區較整合性之管理區有最高之種子數、種子重與小區種子產量。

3.薏苡有機栽培敷蓋處理與品種間成本效益分析，台中 4 號與 5 號有最高之淨收益；有機敷蓋處理間人工除草與敷蓋花生殼粉淨收益高。

4.有機薏苡五品種敷蓋處理採收後對土壤 pH、有機質、有機碳與碳儲量影響，顯示經敷蓋(稻草、稻殼與花生殼)處理後五品種與對照組未敷蓋相較 pH 值有降低；有機質、有機碳與碳儲量則增加。

5.薏苡有機栽培抗氧化能力顯示綜合管理區與無病蟲害管理區抗氧化能力顯示 DPPH 自由基清除力、亞鐵螯合力、還原能力與總酚含量皆較慣行栽培為佳。

6.春作有機綠豆不同栽培管理方式對農藝性狀與產量之影響:

1).不同敷蓋處理與收穫期對綠豆有機栽培雜草分佈影響：綠豆台南 5 號雜草鮮重與乾重皆顯示以種植後 80 天最高，敷蓋花生殼粉、稻殼顯著較少，且與中耕除草差異不顯著，生育期 20 天雜草較少，生育 40-80 天敷蓋花生殼粉抑制雜草效果最佳。雜草種類初、中期 40 天及 60 天以莎草科香附子最多，其次禾本科鐵線草與芒稷、大戟科白苞星星草；後期 80 天以莎草科香附子最多、其次為禾本科牛筋草、鐵線草與芒稷。

2).不同收穫期與敷蓋處理對綠豆有機栽培農藝性狀與產量之影響：始花後 40、50、60 天採收顯示始花後 40 天與 50 天採收在各不同之敷蓋處理間皆有最高之總莢果數、莢果重、種子數、種子重與小區種子產量，其中以中耕處理及稻殼處理 40 天採收最高

小區種子產量為最高，分別為 6.33kg/10m² 與 5.16 kg/10m²。花生殼粉處理區與稻草處理區始花後 40 天與 50 天收穫小區種子產量 40 天分別為 5.87 kg/10m² 與 5.67 kg/10m²，50 天分別為 5.60 kg/10m² 與 5.77 kg/10m²。敷蓋處理間比較以花生殼粉表現最佳，小區種子產量達 5.56 kg/10m²；收穫期間比較以始花後 40 天最佳，小區種子產量達 5.75 kg/10m²。

7.有無病蟲害管理、收穫期與種植株數(每穴 1 株、每穴 2 株、每穴 3 株)對農藝性狀及產量影響:顯示有病蟲害管理區每穴 3 株於始花後 40 天與 50 天收穫有最高之小區種子產量，達 11.76 kg/10m² 與 10.58 kg/10m²；而每穴 1 株最高之株高、單株總莢果數、單株莢果重、單株種子數與單株種子重。而無論每穴種植株數、有無病蟲害管理，皆隨收穫期之延遲小區種子產量降低。

8.收穫期對整合管理區與無病蟲害管理對綠豆有機栽培農藝性狀及產量影響；顯示 2 種栽培方式對綠豆台南 5 號在莢果重、種子重、種子數、小區種子產量皆以整合管理區表現較佳，收穫期以始花後 40 天最佳。

9.敷蓋處理與採收次數對綠豆有機栽培農藝性狀及產量之影響:採收次數對綠豆有機栽培農藝性狀與產量之影響：顯示 4 種敷蓋處理採收 2 次(小區種子產量介於 8.0 kg/10m² ~ 8.95 kg/10m²)；與採收 3 次(小區種子產量介於 6.92 kg/10m² ~ 9.3 kg/10m²)差異不大，採收 1 次因後期採收降雨影響整體產量(小區種子產量介於 3.98 kg/10m² ~ 4.52 kg/10m²)。採收 2 次對小區種子產量之貢獻度約為 80:20；採收 3 次對小區種子產量之貢獻度約為 62:22:16 之間，顯示採收兩次於第一次採收時貢獻度最高。春作有機綠豆不同收穫期與不同敷蓋成本效益分析，顯示開花後 40 天與 50 天收穫有最高淨收益表現，達 90 萬以上。而人工除草與稻草敷蓋最高淨收益也達 90 萬以上。

10.有機綠豆採收次數採收次數分兩次採收與三次採收最高淨收益。有無病蟲害管理與每穴種植株數及採收日期對有機綠豆產量成本效益分析，無論有無病蟲害管理皆以一穴種植 2 株及 3 株有最高之淨收益。採收日期以始花後 40 天及 50 天收穫淨收益最高。採收期與有無病蟲害管理對春作有機綠豆成本效益分析，無論始花後 40 天、50 天、60 天皆以有機有病蟲害管理有最高之淨收益。

11.有機綠豆不同敷蓋處理採收後對土壤 pH、有機質、有機碳與碳儲量影響，顯示經敷蓋(稻草、稻殼與花生殼)處理後與對照組未敷蓋相較 pH 值有降低；有機質、有機碳與碳儲量則增加。

12.春作綠豆與薏苡有機栽培病蟲害之整合管理：1.田間病蟲害與天敵之分布:春作薏苡(*Coix lacryma-jobi* L.)台中 1、2、3、4 及 5 號與綠豆(*Vigna radiate* (L.))台南 5 號品種之有機栽培病蟲害整合管理。試驗區劃分為整合管理與對照區。在兩試驗區以黃色黏紙誘得主要害蟲成蟲高峰期與其群棲密度，分別為粉蝨科(Aleyrodidae)害蟲皆於 5 月下旬，達 160.3 與 160.6 隻/片；薊馬科(Thripidae)害蟲皆於 5 月下旬，達 119.9 與 130.0 隻/片；葉蟬科(Cicadellidae)害蟲皆於 5 月下旬，達 41.3 與 53.0 隻/片。在兩試驗區，以黃色黏紙誘得捕食及寄生性天敵成蟲高峰期及其數量，分別為瓢蟲科(Coccinellidae)捕食性天敵於 6 月中旬，達 8.8 與 5.3 隻/片；小繭蜂科(Braconidae)寄生蜂皆於 5 月上旬，達 4.2 與 6.7 隻/片與 4.3 隻/片；姬蜂科(Ichneumonidae)寄生蜂皆於 5 月上旬，均達 1.3 隻/片；寄生蠅科(Tachinidae)成蟲於 4 月中旬與 5 月下旬，達 1.3 與 1.8 隻/片。在兩試驗區，以斜紋夜蛾(*Spodopteralitura*)中改式性費洛蒙誘蟲器，計誘得雄性成蟲高峰期與其棲群密度，皆於 5 月下旬，達 96.5 與 258.0 隻/支。薏苡葉枯病在兩試驗小區的 5 個品種，於春作 5 月上旬之前其罹病度為 26.6 及 39.2% 以下，但於採收期的春作 6 月中旬，

其罹病度高達 67.4-85.1%及 42.2-71.8%。

13.夏作灑播綠肥作物(田菁、太陽麻)60 天後翻耕，綠肥作物農藝性狀顯示，種植田菁有最高之株高、地上部鮮重、根鮮重、根長度、根瘤數、地上部乾重、地上部乾重、小區鮮重、小區乾重，田間雜草鮮重與乾重則為最少。土壤肥力檢測田菁與太陽麻區土壤氮、有機質、鉀、鈣、鎂含量皆較未種植綠肥之對照區為高。

14.秋作種植有機胡麻三品種顯示嘉大 1 號前作綠肥為田菁敷蓋稻草有最高之蒴果數、種子重、種子數與小區種子產量；嘉大 2 號與台南 1 號也為前作綠肥為田菁但兩者皆以敷蓋花生殼粉有最高之蒴果數、種子重、種子數與小區種子產量。且無論前作為綠肥大豆、太陽麻與田菁皆較前作未種植綠肥作物者產量來得高。

結語

七種雜糧與根莖類作物在有機栽培輪作體系確實有增加作物產量與品質之效果，而有機作物輪作體系下病蟲害控制也是相當重要之一環，選用理想之輪作物種植前淹水 10 天，配合春、秋作不同季節播種，可避開病蟲危害之高峰期。而作物對夏季多雨之耐受性也為作物季節性播種須考慮之要項之一，因此有機作物輪作體系上，春作建議種植落花生、紅豆、薏苡、綠豆，配合夏季種植綠肥作物，秋作種植有機甘藷、胡麻，秋冬裡作種植馬鈴薯，可提升七種有機雜糧與根莖類作物之產量與品質。

參考文獻

1. 吳昭慧、吳文政、連大進、黃內山。2007。綠肥大豆對水稻產量及土壤肥力之影響。台南區農業改良場研究彙報 49：49-55。
2. 李文輝。1991。耕作制度影響土壤肥力及作物產量之研究。輪作制度對土壤肥力及作物之影響研討會論文集。中華土壤肥料學會。p.95-110。
3. 邱齡慧。2014。有機栽培技術對落花生種仁總酚、類黃酮及抗氧化活性之影響。碩士論文。嘉義：國立嘉義大學農藝系學系研究所。
4. 孫志皓。1978。農藝各論 PP.519-543。中華書局。台北市。
5. 彭武男。1992。水稻旱作輪作制度與土壤理化性、病蟲害發生及作物生產力之關係試驗報告(1986-1990 年)：20-39。
6. 黃鴻章、黃振文。2004。輪作是改變農作物與微生物命運的推手--淺談輪作栽培與作物病害防治:254:26-33。
7. 臺灣農業年報。2023。http://agrstat.coa.gov.tw/sdweb/public/book/Book.aspx.
8. 鄧耀宗、黃伯恩。1993。台灣永續農業之現況與展望。永續農業研討會專輯，pp.18。台中區農業改良場，台中，台灣。
9. 趙建京、范志紅、周威。2009。紅小豆保健功能研究進展。中國農業科技導報 11(3): 46-50。
10. Asami, D. K., Y. J. Hong, D. M. Barrett and A. E. Mitchell. Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn Grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. J. Agric. Food Chem. 51: 1237–1241.
11. Dani, C., L. S. Oliboni, R. Vanderlinde, D. Bonatto, M. Salvador and J. A. P. Henriques.

2007. Phenolic content and antioxidant activities of white and purple juices manufactured with organically- or conventionally-produced grapes. *Food Chem. Toxicology*. 45: 2574–2580.
12. Karvonen, T. 1993. Tactical management in cold climates. Pages 163-170 in : *International Crop Science I*. Buxton, D. R., Shibles, R., Forsberg, R. A., Blad, B. L., Asay, K. H., Paulsen, G. M., and Wilson, R. F.(eds.).Crop Science Society of America Inc., Madison, Wisconsin, USA.
13. Lesoing, G. W. 1998. Progress report on research project 12-158.Agricultural Research and Development center, Mead, Nebraska
14. Olsson, M. E., C. S. Andersson, S. Oredsson, R. H. Berglind and K. E.
1、Gustavsson. 2006. Antioxidant levels and inhibition of cancer cell proliferation in vitro by extracts from organically and conventionally cultivated strawberries. *J. Agric. Food Chem.* 54: 1248-1255.
15. Penas, E. J. 1982. Soybean in rotation-what's their worth? *Soil Science News*. Univ. Nebraska Extension Service, vol. 4, no. 9. Roy, A. C., S. B. C. Roy, A. C., S. B. C. Wanki and J. K. Takow. 1988. Sustainable agriculture green manure in rice farming. IRRI. Los, Banos Philippines., pp.333-341.
16. Reyes, L. F., E. Villareal and L. Cisneros-Zevallos. 2007. The increase in
1、antioxidant capacity alter wounding depends on the type of fruit or vegetable tissue. *Food Chem.* 101(3): 1254-1262.
17. Watanabe, I. B. Padre and R. Corazon. 1991. Mineralization of azolla N and its availability to wetland rice. I. Nitrogen ineralization of different azolla species as affected by their chemical composition. *Soil Sco. Plant Nutri.*37(4) : 679-668.
18. Winter, C. K. and S. F. Davis. 2006. Organic Foods. *J. Food Sci.* 71: 117–124.
19. Wright, A. T. 1990. Yield effect of pulses on subsequent cereal crops in the northern prairies. *Can. J. Plant Sci.* 70 : 1023-1032.
20. You, Q., B. W. Wang, F. Chen, Z. L. Huang, X. Wang and P. G Luo. 2011.Comparison of anthocyanins and phenolics in organically and conventionally grown blueberries in selected cultivars. *Food Chemistry*, 125: 201–208.

Effects of organic rotation system on crop yield and quality

Chin-Jin Hou¹ and Chi-Chung Huang²

1. National Chiayi University, Department of Agronomy; houcj@mail.ncyu.edu.tw
2. National Chiayi University, Department of Biological Resources ; chuang@mail.ncyu.edu.tw
Correspondence: houcj@mail.ncyu.edu.tw

Abstract

This study mainly explores the effects of organic red beans, peanuts, coix, mung beans, sweet potatoes, potatoes, and sesame on crop yield, soil fertility, pests and diseases, and quality. Four crops were planted in spring and three crops were rotated in autumn, and some of the summer crops were planted with green manure land to explore the effects of the rotation system of 7 cereals grains on yield and quality. The experimental results are as follows: Organic red bean cultivation in spring shows that harvesting 40-60 days after the first flowering has the highest plot yield, and inter-furrow planting cover crops can significantly reduce the density of weeds and promote the increase of red bean seed yield. The second and first intertillage of organic red bean cultivation; mulching with straw; planting sun hemp and green manure soybeans between the furrows has the highest seed yield in the plot. Appropriate organic fertilizers such as pig manure or chicken manure can be used, and the secondary fertilization can improve the yield. The organic red bean cultivation can increase the free radical scavenging rate and anthocyanin content of the kernel no matter what management method is compared with the conventional cultivation. The integrated management of organic red bean diseases and insect pests uses yellow sticky insect paper to trap and trap important natural enemies to achieve the restrictive effect of using insects to kill insects and using bacteria to control bacteria.

Organic peanut cultivation in spring shows the highest yield of fresh pods, dry pods and seeds when harvested 70 days and 80 days after the first flowering; organic peanut cultivation is intertilled twice and once; covered with peanut shells and straw; The yield of fresh pods, dry pods and seeds was the highest in the interplanting of sun hemp and green manure soybean in the furrow. Organic peanut cultivation can increase the total phenolic content and DPPH free radical scavenging rate compared with the conventional cultivation regardless of the management method. The integrated management of organic falling peanut diseases and pests uses yellow sticky insect paper to trap and trap important natural enemies to achieve the control effect of using insects to defeat insects and using bacteria to control bacteria. Planting green manure crops in summer crops (Sesbania, sun hemp, green manure soybean) can help improve soil fertility, and planting organic sweet potatoes in autumn, no matter what kind of organic cultivation management has the effect of improving the product and quality. After planting rice and green manure crops in summer crops, the green manure crop area increases soil fertility, the rice area reduces the damage of potato weeds in autumn crops, and the green manure crop area increases soil fertility, which helps increase potato tuber yield. The organic coix, mung bean and sesame crop rotation shows that organic coix and organic mung bean are planted in spring, and organic sesame is grown in autumn crop rotation. Organic coix with different treatments has high seed yield, and has higher antioxidant capacity and free radicals compared with conventional practice clearance rate. Planting green manure in summer cropping can also effectively increase the seed yield of organic sesame plots in autumn cropping compared with no green manure planting

Keywords: organic cultivation, crop rotation, peanut, red bean, mung bean, sweet potato, potato, coix, sesame

強化有機土壤的健康評估

侯秉賦^{1*}、Amanda Michleski²、Yichao Rui³、Andrew Smith⁴

1:行政院農業委員會高雄區農業改良場

2: Rodale Institute, USA. (Precision Testing Labs, USA)

3: Rodale Institute, USA (Department of Agronomy, Purdue University, USA)

4: Rodale Institute, USA

*聯繫人 e-mail: befu@mail.kdais.gov.tw

摘要

羅代爾研究所(Rodale Institute)長期耕作系統試驗田 (Farming system trial, FST) 是北美地區歷史最悠久的有機試驗田，其宗旨「健康的土壤等於健康的食物等於健康的人們(Healthy Soil = Healthy Food = Healthy People)」影響許多人，而其中再生性有機農業 (regenerative organic agriculture) 是目前推動的主要目標。結合覆蓋作物及非耕犁操作的再生性有機農業，不僅可強化土壤健康，目前用於栽培玉米、大豆等糧食作物皆可達到大面積栽培目標。先前的調查發現，非耕犁的土壤穿透性在有機區及慣行區存在極大差異，而利用維持土壤結構的採樣方式，可維持土壤物理特性，再利用不同水量梯度處理土壤，發現有機區土壤與慣行區土壤確實對小胡瓜發芽及植株生長，特別是根系生長有顯著不同的影響。以有機區平均根長 7.7 公分基準下，小胡瓜最適水量在有機土壤可介於 15~80 mL 之間，而慣行區則為 30~60 mL，過少或過多的水量均造成小胡瓜根系縮短。且不論何種水量處理，有機區土壤均較慣行區土壤更容易使小胡瓜發芽與具備更深的根長，意即有機土壤較慣行土壤更有利於根系發展。此結果暗示，面對極端氣候，特別是降雨不均的情形下，有機土壤可緩解氣候帶來的逆境因子，使作物具備更高的韌性以渡過不良環境。

關鍵字：羅代爾研究所、有機農法試驗、再生性有機農業、土壤性質、根長

前言

適當的農耕、輪作及施肥等操作方式，理論上可恢復土壤的健康狀態，有效控制土壤傳播性病害的發生，確保永續農業發展，且可兼顧農民收入、降低環境影響與促進作物生長。藉由美國羅代爾研究所長期有機試驗的研究 (超過 70 年)，收集長期有機農法試驗田土壤理化性質變動、產量調查及病蟲害調查資料，實際參與再生性有機農業操作，並以小型盆栽試驗探討有機區土壤與慣行區土壤，比較不同水量處理下之土壤物理性對作物根系產生的影響，期望有助提供我國有機及友善耕作栽培參考。

先前高雄區農業改良場長期有機農法試驗，比較不同施肥條件下土壤性質改變情形，試驗結果顯示，產酸之化學氮肥使土壤酸鹼度下降，以在旱田輪作區影響較大。在旱田輪作區施用化學肥料，可以增加土壤有機碳，在水旱輪作區則無明顯之影響，惟施有機質肥料，則在兩輪作系統土壤有機碳均有增加趨勢。此外，長時期施用有機質肥料，可以累積土壤中的難分解碳與氮；化學氮肥使土壤中難分解氮與碳庫較小，故有機質肥料之長期施用可顯著改善土壤品質。再利用次世代序列分析技術，發現不僅不同施肥條件會影響微生物組成，不同的輪作制度 (水旱田輪作(R1)及旱田輪作(R2)) 影響土壤微生物組成更為顯著。進一步盆栽試驗結果亦顯示，旱田輪作且施用化學肥料的土壤 (R2CF)，較易發生瓜類苗期病害，此現象與微生物多樣性及特定微生物種類之間存在顯著相關性。而先前長期試驗資料收集及分析結果也顯示，相對溼度增加對於施用化學肥料區的甜玉米產量有負面影響，而施用有機質肥對於相對濕度的增加相對有較頓感的反應，此結果也暗示，長期施用有機質肥料可能有助降低作物對於氣候變化帶來的影響。

然而，對於土壤物理性質對作物生長的影響近來較少被報導，因此，藉由美國羅代爾研究所長期有機試驗的研究 (超過 40 年)，嘗試探討其長期有機耕作系統試驗田 (Farming system trial, FST) 土壤理化性質對作物的生長影響。

長期有機耕作系統試驗，自 1981 年開始比較慣行與有機栽培的差異，其試驗方式基植於健康的土壤方能產生健康的作物，因此，著重於比較有機質肥料(分為動物性肥料、豆科肥料)與慣行(化學肥料)的差異，此外，另有比較不耕犁的差異。在試驗後近 40 年的觀察發現，有機禽畜糞肥區土壤有機質含量約為 4.4%，有機豆類肥區有機質含量約為 4%，慣行區則約為 3.5%。調查也顯示有機區增加地下水補充及減少逕流，地下水在有機區補充達 15~20%，高於慣行區。此外，在 2018 年的調查發現，慣行區使用除草劑 (草脫淨, Atrazine)，也在地表下水分收集器中發現 1~3 ppb 的殘留情形，而有機區則皆未發現。

近年來羅代爾研究所對於土壤健康的探討著重於土壤物理性質，發現慣行區土壤穿透特性 (penetration resistance) 較有機區為差 (慣行區部分耕犁區 (CNV-RT) 可穿透深度約 18 公分，在到達 300PSI 的壓力下。而有機區可穿透深度約為 30.5 公分)，兩者相差約為 0.5 倍 (圖 1)。而在水滲透性 (water infiltration)，慣行區土壤每小時約可穿透土壤 15 公分，而在有機區，水分穿透速度可達 30~35 公分，兩者相差超過 2 倍。由於土壤穿透特性及水滲透性的不同，推測在特定的給水條件下，將對作物生長產生不同的影響，因此，利用此處的土壤進行不同給水量測試的盆栽試驗。

材料與方法

本試驗利用羅代爾研究所非耕犁區土壤，比較非耕犁區之有機區土壤與慣行區土壤對於小胡瓜發芽與根系生長的影響。有機區土壤為豆類肥區，其土壤有機質含量為 5.24%，團粒結構穩定性為 24.32；慣行區有機質含量則為 3.39%，團粒結構穩定性則為 12.75 (表 1)。

材料：

1. 土壤來源：長期試驗田區慣行區土壤 (No. 432)與有機區土壤 (No.421)。
2. 作物種子:小胡瓜種子 (*Cucumis sativus*, NOKYA F1)，購於 Johnny's Seed Co. Ltd.。
3. 採土工具：慣性錘 (Slide Hammer)、土壤取樣器(Split Soil Core Samplers, 1 3/8" × 12" split ses w/core tip)、延伸桿(5/8" * 2' SST Extension)。
4. 採樣後之土壤，以土壤採樣器內徑不銹鋼環直接作為小型盆栽使用。

方法：以慣性錘等工具採土後，將土團至於簡易溫室中，試驗開始前一天，所有土壤均統一澆灌水量 15ml，確保均含有飽和水分。試驗種子不催芽，直播種子置於土下 5 公分，其上覆土。因受限盆栽大小，每日給水量以每 2~3 小時給水一次，每次 15~20ml，達當日給水量後即不再給水。

試驗設計：每區土樣共採 28 個土團 (cores)，每土團置 3 顆小胡瓜種子為 1 重複處理，每 4 土團為 1 組，共分為 7 組，每組每日澆水量分別為 0, 5, 15, 30, 45, 60, 80 mL，每 2~4 天調查發芽率，第 12 天調查植株高度、根系長度、鮮重。植株經熱風乾燥 3 天後調查乾重。統計分析係利用 SAS-EG 套裝軟體 (v7.1) 所完成。

結果與討論

在不同水分處理下(分別為 0ml、5ml、15ml、30ml、45ml、60ml、80ml)，非耕犁有機土壤與非耕犁慣行土壤確實對小胡瓜發芽及植株生長，特別是根系生長有不同的影響。

在不同水量處理下，小胡瓜種子有機土壤的發芽速度普遍較慣行土壤為快，在水量 5 mL~45 mL 處理下，最終發芽率均可達 100%，但較為極端的水量處理下，有機土的發芽率亦較慣行土為高，例如在 0 mL 處理下，有機土的發芽率可達 60%，然慣行土發芽率則不到 10%；在 80 mL 處理下，有機土的發芽率可達 50%，而慣行土的發芽率則為 41.6%(圖 2)。此外，同時在 5 mL 處理下，發芽率無明顯不同，但發現慣行土壤容易對小胡瓜苗造成缺水，造成植株倒伏。

造成發芽率不同，可能的原因之一為有機土壤保持水分的功能較佳，故可促使植物較快萌芽，亦有可能因有機土壤微生物菌相豐富度較高，微生物與植物的交互作用所造成。

根系調查時可見有機土壤較慣行土壤更有利於根系發展，普遍有較長的根長(圖 3、圖 5)。全部 7 個水量處理中，僅 30 mL 的處理兩者根長無顯著差異，其他 6 個處理均出現顯著差異。進一步比較莖長，可發現 5 個水量處理無顯著差異，僅 0 mL 及 30 mL 出現顯著差異。而在植株全長部分，大多數的處理均出現顯著差異。由上述結果可知，造成植株全長差異的原因主要在於根長的差異所造成。且可觀察到，植株的全長與根長在水量 0 mL~45 mL 處理下，隨著水量增加而加長，超過 45 mL 則開始出現根長變短的趨勢，這部分推測可能與水分過多造成的逆境有關。

此外，比較植株全株鮮重與乾重(圖 4)發現，鮮重部分僅在 5 mL 與 30 mL 出現顯著差異，其他處理均無顯著差異。在乾重部分則全無顯著差異。在鮮重部分造成的差異原因，因 5 mL 的根長有機土比慣行土長，而 30 mL 則因地上部(莖長)較長而造成。由上可推論，造成有機土的根系較長的原因不在不同土壤的營養成分不同(若是營養成分不同造成根系長度的不同，乾重部分應該會出現重量差異)，而是土壤質地所造成。且因不同水量的處理下，均有相同趨勢(有機土的根長較長)，故可更加確定土壤物理性質影響根長甚大。

比較相同水量處理對有機區土壤與慣行區土壤的根長比率，可以發現，除了 0 mL 與 30 mL 出現極端值外，其他處理組根長比率大約介於 1.41~1.65。另一方面，依據土壤穿透性的資料可知，有機區土壤/慣行區土壤，其穿透比率約為 1.69 ($30.5/18=1.69$)。因根長比率與穿透性比率相近，推測造成根長的差異可能的原因之一即為土壤穿透性。

另外，在澆水 80 ml 處理下，有機土壤的發芽率明顯較慣行土壤為高，但因有機土壤可能存在不均質情形，或採樣時造成土壤結構破壞，故亦有不發芽的情形。植株生長情形無明顯不同，但根系調查時可見有機土壤較慣行土壤更有利於根系發展，普遍有較長的根長。

由本操作系統根系發展情形可知，以有機區平均根長 7.7 公分為基準，小胡瓜最適水量在有機土壤具有較寬範圍，可介於 15~80 mL 之間，而慣行土壤則以 30~45 mL 較為適合，過少或過多的水量均造成小胡瓜根系縮短。過少的水量直接影響根系細胞生理作用，過多的水量則可能造成土壤氧氣含量下降，進而影響生理作用。

綜合上述，小胡瓜種子在不同水量處理下，有機區土壤均較慣行區土壤更容易使小胡瓜發芽，且不論何種水量處理下有機區土壤可使小胡瓜具備更深的根長。因此可推論，面對極端氣候，特別是降雨不均的情形下，有機土壤可降低氣候帶來的逆境因子，使作物具備更高的韌性以渡過不良環境。

結語

品種與環境對農業生產影響甚大，環境因子中土壤健康與否更是影響植株健康的關鍵。藉適當的耕作方式可長期維持良好的土壤性質，易使種子較快萌發，亦可使植株根系生長旺盛，較長的根系發展能獲取更多的水分與營養元素，同時可降低溫度或水分變動帶來的逆境挑戰，有助維持作物產量與品質，達到永續生產的目標。

致謝(Acknowledgement)

We deeply appreciate CEO: Jeff Moyer, HR: Becca Kahle, Research team: Dr. Reza Afshar, Dr. Madhav Dhakal, Dr. Philip Hinson, Dr. Gladis Zinati and Ms. Annie Benson for kind help and valuable instruction. The displayed data authorized by Chief Operating Officer of Rodale Institute.

參考文獻

1. 侯秉賦、張文綺。2015。高雄區農業改良場 28 年有機栽培試驗研究成果回顧。高雄區農業改良場研究彙報 26(2):21-33。
2. Gladis Zinati. 2021. Variations in Soil Health Indicators as a Result of Cropping Systems and Management Practices in the Vegetable Systems Trial at Rodale Institute. Rodale Institute, published on June 23, page 1-4.
3. Gladis Zinati, Lavanya Reddivari, and Dan Kemper. 2019. Reduced-Tillage Increases Nutrient Concentrations in Stored Winter Squash: α -Carotene, Lutein, Phosphorus and Calcium. Rodale Institute, published on February 27, page 1-4.
4. Jeff Moyer, Andrew Smith, Yichao Rui, and Jennifer Hayden, 2020. REGENERATIVE AGRICULTURE and the SOIL CARBON SOLUTION. Rodale Institute, page 1-21.
5. Jessica Feeser, Gladis Zinati, and Jeff Moyer. 2014. Beyond black plastic: cover crops and organic no-till for vegetable production. Rodale Institute, page 1-23.
6. Ping-Fu Hou, Chia-Hung Chien, Yi-Fan Chiang-Hsieh, Kuan-Chieh Tseng, Chi-Nga Chow, Hao-Jen Huang & Wen-Chi Chang. 2018. Paddy-upland rotation for sustainable agriculture with regards to diverse soil microbial community. Scientific reports. 8, 1, 7966.
7. Ping-Fu Hou, Yao-Tsung Chang, Jung-Mao Lai, Kuo-Lung Chou, Shun-Fa Tai, Kuan-Chieh Tseng, Chi-Nga Chow, Shuen-Lin Jeng, Hao-Jen Huang and Wen-Chi Chang. 2020. Long-term effects of fertilizers with regional climate variability on yield trends of sweet corn. Sustainability (Switzerland). 12, 9, 3528.
8. The Farming Systems Trial Celebrating 30 Years. Rodale Institute, 611 Siegfriedale Road, Kutztown, PA 19530.

表 1. 羅代爾研究所 (Rodale Institute) 長期耕作系統試驗田 (Farming system trial, FST) 2021 年土壤理化性質

2021Crop	Tillage	System	Location	DateSampled	Packaging	BaseSoilTexture	AggregateStability	OrganicMatter	Soc (%)	P ppm	K ppm	Mg ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm	TotalC (%)	TotalN (%)	ActiveCarbon	pH	Mod. Morgia		OverallScore				
																				n	ppm		n	ppm		
CORN	no-till	CNV	96	2044	44524	basic	fine	12.75	3.39	1.40	3.5	65.1	88.8	2.9	5.8	0.5	1.419	0.254	526.9	6.16	766.8	0.23	68.67	5.15	0.07	66.14
WHEAT	no-till	LEG	86	2034	44524	basic	fine	24.32	5.24	2.71	6.7	173.7	90.2	3.2	9.5	0.6	2.742	0.352	705.1	6.48	1052.3	0.17	111.43	5.82	0.14	84.93

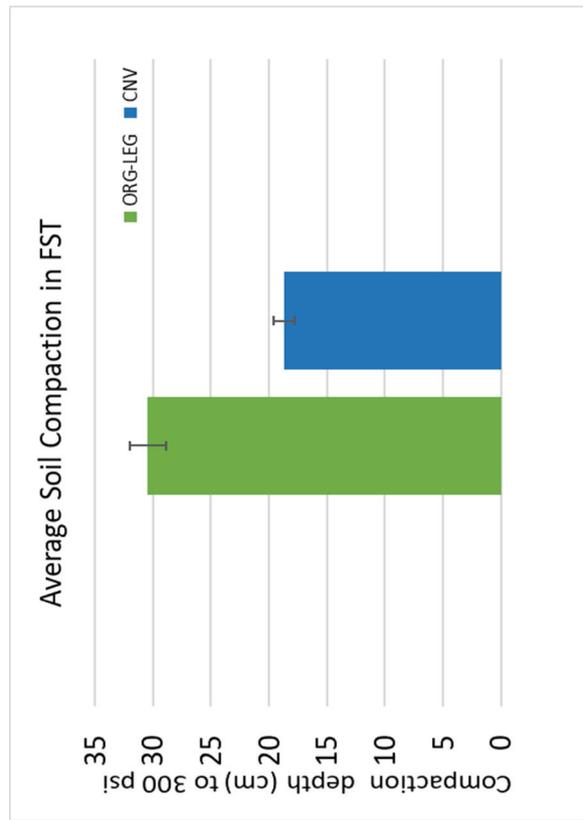


圖 1. 有機區土壤(ORG-LEG)與慣行區土壤(CNV)土壤穿透性比較，有機區土壤在 300 psi 的壓力下，可穿透深度較慣行區土壤為深，分別約為 30.5 cm 及 18 cm。

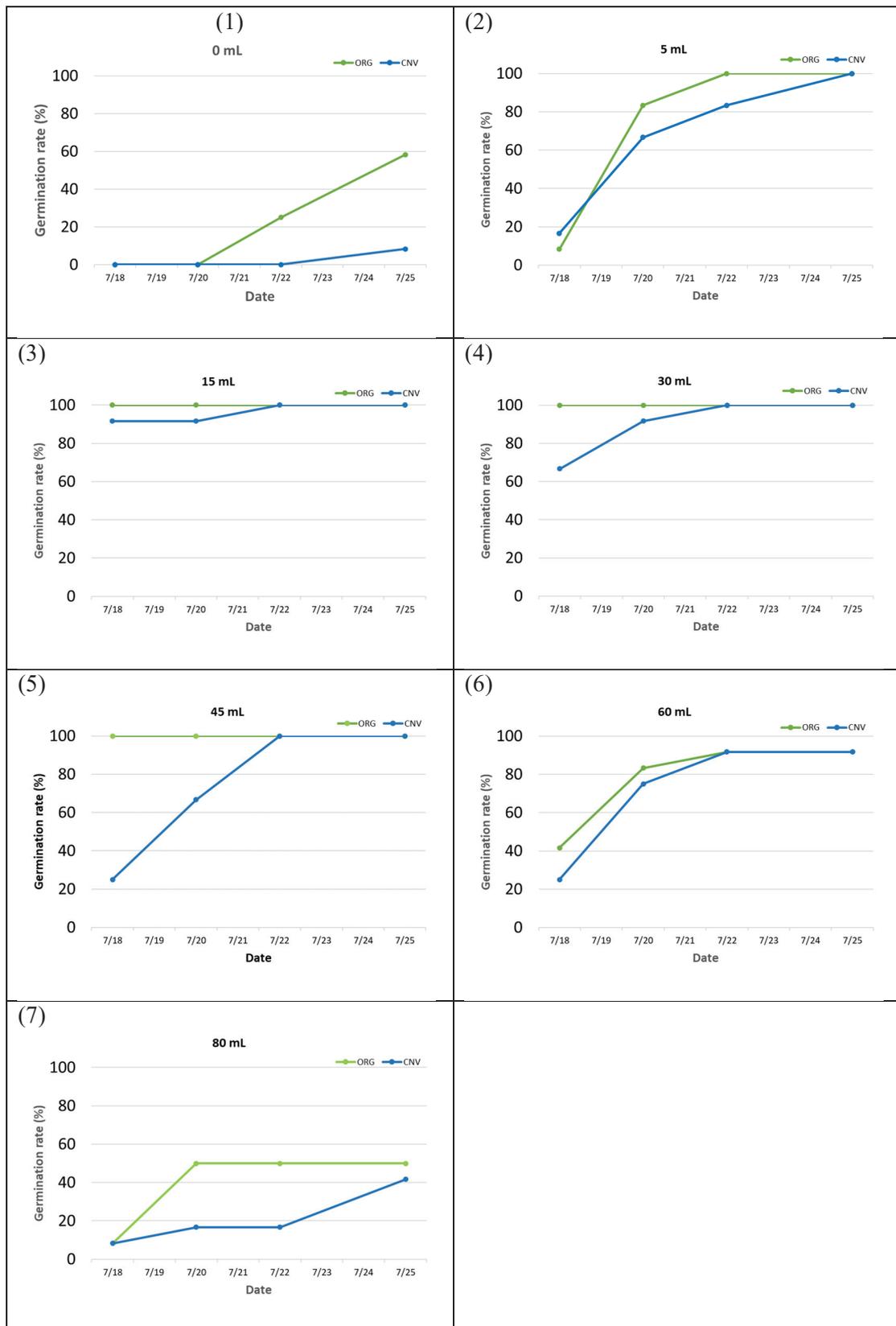


圖 2. 小胡瓜種子兩種土壤(有機(ORG)與慣行(CNV))不同水量處理下(0 ml(1)、5 ml(2)、15ml(3)、30 ml(4)、45 ml(5)、60 ml(6)、80 ml(7))，發芽率情形。

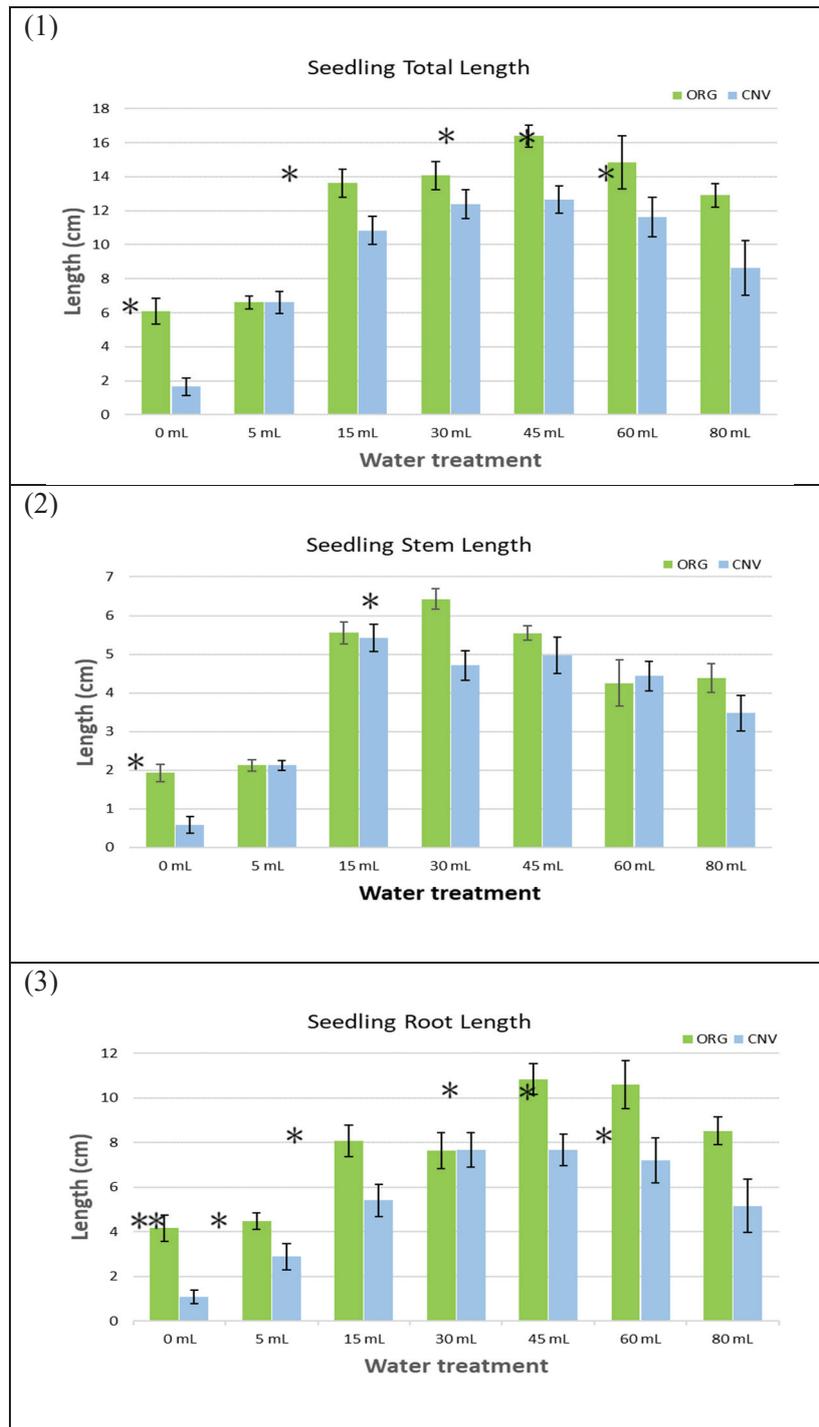


圖 3. 小胡瓜在兩種土壤(有機(ORG)與慣行(CNV))不同水量處理下(0 ml、5 ml、15ml、30 ml、45 ml、60 ml、80 ml)，植株全長(1)、莖長(2)及根長(3)比較。

星號表示有機與慣行間存在顯著差異，*: $p < 0.05$ ，**: $p < 0.01$ 。(The asterisk (*) is used to represent a comparative statistically significant result between ORG and CNV by an independent-samples t-test, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$.)

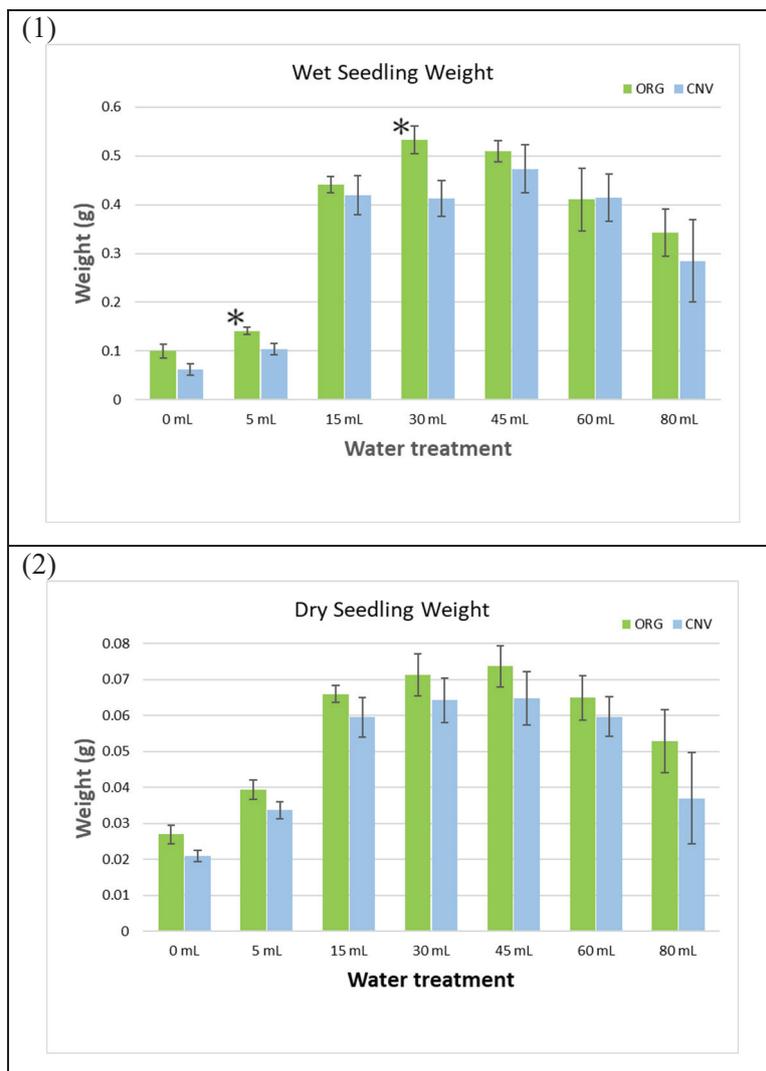
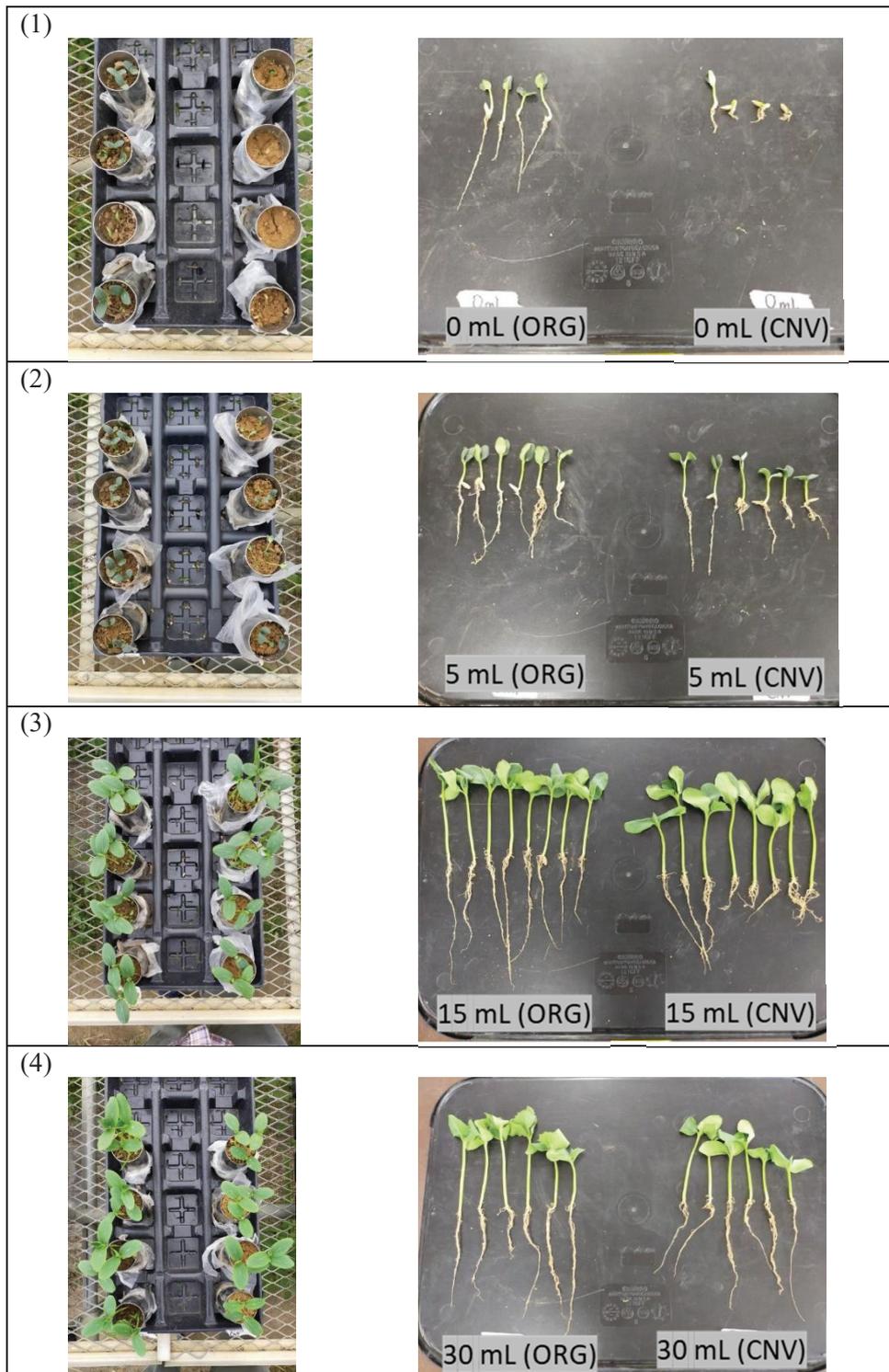


圖 4. 小胡瓜在兩種土壤(有機(ORG)與慣行(CNV))不同水量處理下(0 ml、5 ml、15ml、30 ml、45 ml、60 ml、80 ml)，鮮重(1)與乾重(2)比較。

星號表示有機與慣行間存在顯著差異，*： $p < 0.05$ ，**： $p < 0.01$ 。(The asterisk (*) is used to represent a comparative statistically significant result between ORG and CNV by an independent-samples t-test, *： $p < 0.05$, **： $p < 0.01$.)



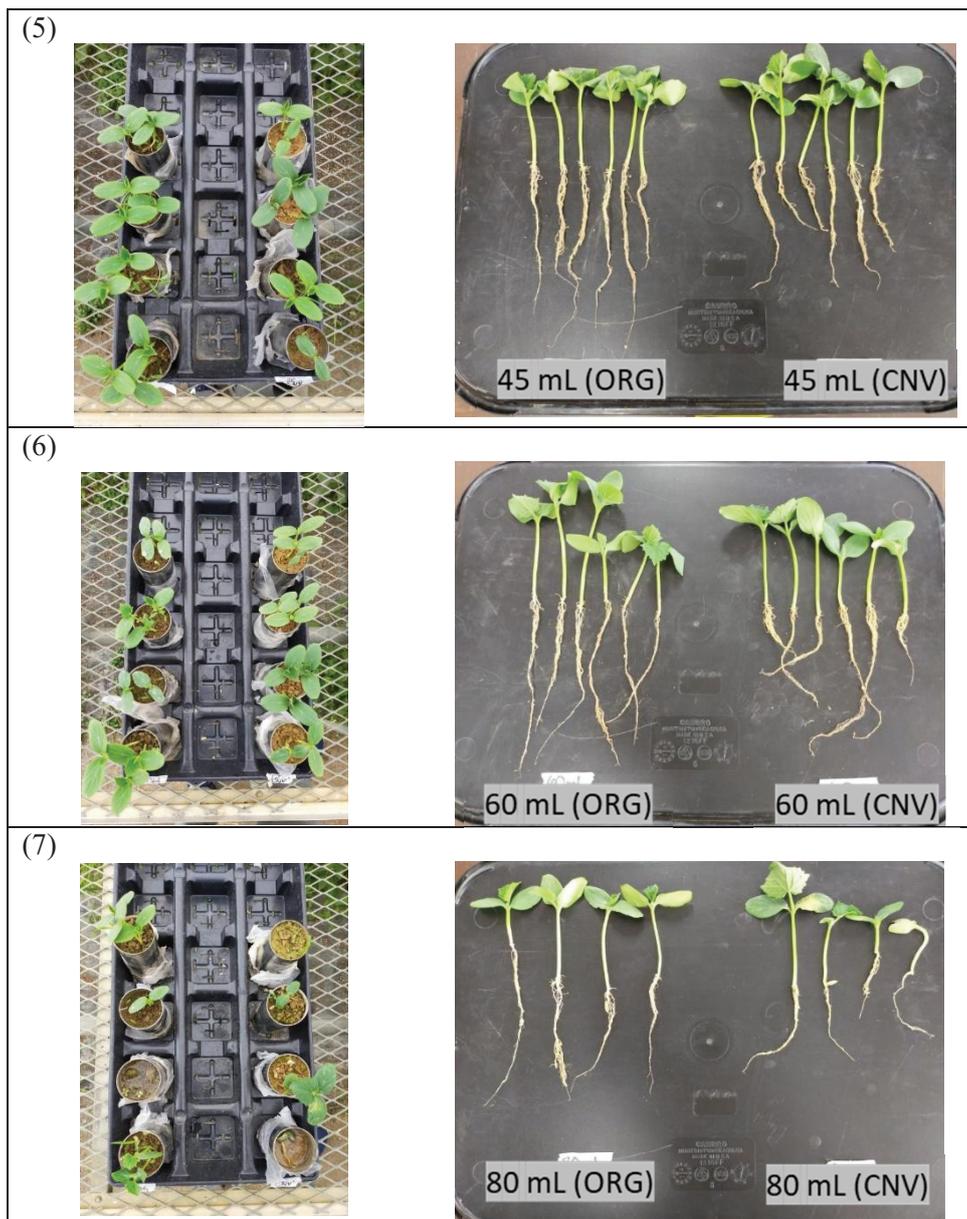


圖 5.小胡瓜種子在不同水量處理下生長情形(圖片編號(1)~(7)，分別為水量處理 0 ml、5 ml、15ml、30 ml、45 ml、60 ml、80 ml)，同一照片中，左:非耕犁有機土壤(ORG)，右:非耕犁慣行土壤(CNV)。

Health Assessment of Enhanced Organic Soils

Ping-Fu Hou^{1*}, Amanda Michleski², Yichao Rui³ and Andrew Smith⁴

1 Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station, Taiwan. befu@mail.kdais.gov.tw

2 Precision Testing Labs, USA. amichleski3@gmail.com

3 Department of Agronomy, Purdue University, USA. ruiy@purdue.edu

4 Rodale Institute, USA. andrew.smith@rodaleinstitute.org

*Correspondence: befu@mail.kdais.gov.tw

Abstract

The Rodale Institute's long-term organic farming system trial (Farming system trial, FST) is the longest organic trial field in North America. The motto: healthy soil equals healthy food equals healthy people (Healthy Soil = Healthy people Food = Healthy People) affects many people, and regenerative organic agriculture is the main goal of current promotion. Regenerative organic agriculture combined with cover crops and non-tillage operations can not only enhance soil health, but is successfully used to cultivate corn, soybeans and other food crops to achieve large-scale cultivation goals. Previous research found that soil penetration (water infiltration) by the Rodale Institute's non-tillage experiment differed dramatically between organic and conventional soils. In this experiment, the sampling method of maintaining the soil structure was used to maintain the physical properties of the soil. The soil was treated with different watering gradients where cucumber seeds embedded. It was found that the soil from the organic area and the soil from the conventional area indeed affect the germination and growth of cucumber. Especially, there were significantly different on root extension. Based on the average root length extension of organic by 7.7 cm, the optimum amount of watering for cucumber is from 15 to 80 mL in organic soil, and 30-60 mL in conventional soil. Too little or too much water will cause the root shortened. Regardless of the amount of water treatment, the soil from the organic area is more likely to germinate and have deeper root length than the soil from the conventional area, which means that the organic soil is more conducive to root extension than the conventional soil. This result implies that in the face of extreme climate, especially in the case of uneven rainfall, organic soil can alleviate the stress factors brought by climate, so that crops have higher resilience to survive in the adverse environment.

Keywords: Rodale Institute, Farming Systems Trial, Regenerative Organic Agriculture, Soil Properties, Root Extension

壁報成果展示

國際合作全球採樣計畫LifePlan臺灣 樣站建置與初步成果

本研究以臺灣農業長期生態研究資料為基礎，加入芬蘭赫爾辛基大學主導的LifePlan計畫(圖1)，計畫期程自2020年至2025年，透過一致性的採樣方法盤點全球生物資源並探究全球都市(urban)與郊區(natural)特定生物多樣性變遷，監測計畫選定嘉義分所與古坑農場分別做為都市與郊區樣區，監測項目包含生態聲景、動物影像、馬氏網昆蟲相普查、孢粉旋風採樣與外生菌根研究，並以新科技進行資料分析，如人工智慧(Artificial intelligence, AI)分析生態聲景與動物影像、次世代定序(Next Generation Sequencing, NGS)分析昆蟲與外生菌根種類。監測期間於古坑農場拍攝到一級保育動物石虎(*Prionailurus bengalensis* Kerr)(圖2)，證實特有生物研究保育中心所繪製之石虎預測分布圖確實存在石虎(圖2)，對石虎的保育有極大的幫助。



圖1、Lifeplan計畫全球樣區分布圖與臺灣兩處試驗樣區

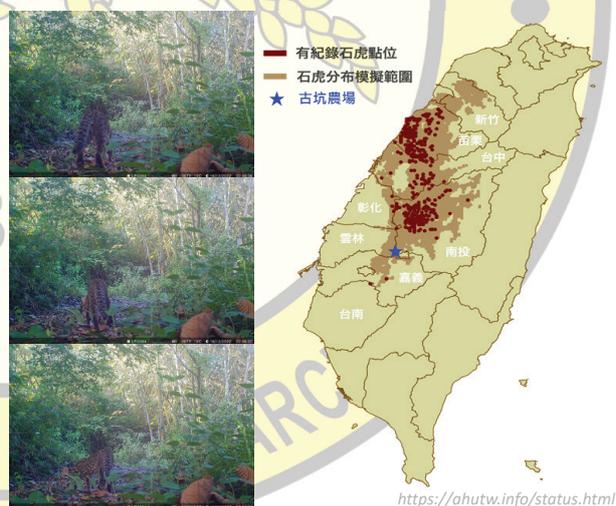


圖2、古坑農場拍攝到的石虎影像與特有生物研究保育中心繪製的石虎預測分布圖

研究單位：行政院農業委員會農業試驗所

研究人員：蔡正國、巫思揚、胡正宏、張仁育*、陳琦玲

*E-mail: jychang@tari.gov.tw

支持永續農業發展之生態系服務給付政策 —借鏡日本及歐盟策略

研究背景

臺灣地形環境多元豐富，形塑出多樣的生態系，孕育出龐大的動植物資源，這些資源支持著人類的社會與文化，其中人類的農耕活動建構出的農業生態系，更是與自然有高度的互動，並提供人類多項生態系服務，使人類受惠。

目前國際間有鑑於氣候變遷所置衝擊，為推動環境永續發展，對生態系服務有著高度關注。日本政府及歐盟方面皆希望藉由透過直接給付政策，將農業生產轉換為強調環境保護的方式，支持農民採用更永續的農法操作。

政策比較	歐盟(愛爾蘭)	日本	臺灣
給付對象	不特定農民	① 農業團體 ② 大面積耕地農民	① 友善耕作農地 ② 實際耕作農民
政策名稱	ECO-Scheme	環境保全型農業直接支付給付	農糧署- 有機及友善環境耕作補貼
給付金額	給付金額：70-80歐元/公頃	有機農業：12,000日元/10畝	友善環境耕作：3萬元/公頃
給付項目與金額	1. 保持原始環境	碳儲效益堆肥：4,400日元/10畝	有機轉型驗證： 生態獎勵+生產補貼 6-8萬元/公頃
	2. 粗放的畜牧管理	覆蓋作物（農田綠肥）： 6,000日元/10畝	有機驗證：3萬/公頃
	3. 限制化學氮素使用	覆蓋作物（畝間綠肥）： 3,200-5,400日元/10畝	林務局-瀕危物種及 重要棲地生態服務給付推動方案
	4. 種植原生樹種或樹籬	草生栽培：5,000日元/10畝	友善農地給付：至高2萬元/公頃
	5. 使用GPS機械控制施肥	免耕犁播種： 3,000日元/10畝	自主通報給付：至高1萬元/場域
	6. 土壤採樣及適量石灰施用	天敵棲地植物(高知縣)： 8,000日元/10畝	巡護監測給付：至高6萬元/社區
	7. 間作種植	性費洛蒙導入(和歌山)： 8,000日元/10畝	農田棲地給付：至高3萬元/公頃
	8. 多種類草地種植	有機耕地增加：4,000日元/10畝	

小結

綜觀以上農業環境政策的給付項目，多以有助環境復原或減少破壞的操作為主，且皆是因地制宜。歐盟的新農業共同政策(NEW CAP)由各會員國根據本地環境與農業狀況制定項目，日本則分為全國項目及各地特產項目；台灣以有機農業為主對地直接補貼，雖給付項目相對嚴格，但隨「有機農業促進法」推動，適宜的生態系服務給付政策將有助支持國內有機農業及友善耕作面積的持續增加；參考國外的政策內容，亦有助發展更具執行效益的激勵制度以推動永續農業發展。



單位：行政院農業委員會農業試驗所
研究人員：林語玥*、張仁育、陳琦玲
*E-mail：pes@tari.gov.tw



農業長期生態試驗園區指標昆蟲調查 — 以六條瓢蟲為例

Surveys of insect as the indicator in experiment fields of long-term ecological research for agriculture - *Cheilomenes sexmaculata*

關鍵字：食蚜瓢蟲、指標昆蟲、六條瓢蟲、氣候因子

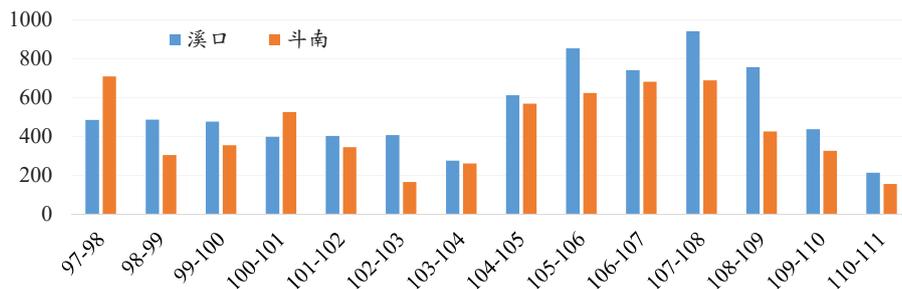
本研究以六條瓢蟲 (*Cheilomenes sexmaculata*) 為指標昆蟲 (indicator)，於農業試驗所溪口農場及台南區農業改良場雲林分場試區進行長期調查，希望能觀察農業生產體系中肥料與農藥的投入，及氣候因子變化等對害蟲天敵族群的影響，有助於未來建立符合農業永續經營的作物管理模式時可提供參考資訊。本研究在雲林分場與溪口農場二試區，於 2006-2022 年水稻兩個期作之分蘗初期起分別進行 5-6 次調查，每二星期將黃色黏板收回並置換上新黏板 (圖一)，於實驗室內鑑定記錄黏板上所捕獲六條瓢蟲數量 (圖二)。2006-2022 年調查之六條瓢蟲數量如圖三，總蟲數於二場各期作的越後期皆越少。瓢蟲食餌昆蟲的存活與族群發展常受降雨的影響 (Abbas et al. 2014)，因此初步推測雨量可能間接影響瓢蟲的族群動態。



圖一、調查用黏蟲板



圖二、六條瓢蟲為雲林分場及溪口農場之優勢瓢蟲種類



圖三、2006-2022 年長期生態試驗園區六條瓢蟲之每年平均數量變化

參考文獻：Abbas, Q., I. Ahmad,, M. A. Shahid, and M. F. Akhtar. Role of Climatic Factors on Population Fluctuation of Aphids (*Brevicoryne Brassicae*, *Myzus persicae* and *Lipaphis erysimi*) on Canola (*Brassica napus*) in Punjab, Pakistan. Pakistan J. of Nutrition 13(12):705-709.

單位：行政院農業委員會農業試驗所 應用動物組
研究人員：許北辰*、余志儒、陳健忠、董耀仁、楊婉秀
* E-mail : bchen@tari.gov.tw

農業長期生態系-柑橘粉介殼蟲 之寄生蜂普查

自2001年起，針對農業生態系中柑橘粉介殼蟲之寄生蜂普查，共計絨小蜂科(Eulophidae) 1種及跳小蜂科(Encyrtidae) 9種。跳小蜂科樣本經鑑定分屬跳小蜂亞科(Encyrtinae)1種 *Encyrtus aurantii* 及以四突跳小蜂亞科(Tetracneminae) 的長索跳小蜂族 (Anagyrini)之種類，包括亞克拉長索跳小蜂(*Anagyrus agraeensis*)、粉蚧長索跳小蜂(*A. dactylopii*)、異角長索跳小蜂(*A. diversicornis*)、卡瑪長索跳小蜂(*A. kamali*)、長翅長索跳小蜂(*A. longipennis*)、米氏長索跳小蜂(*A. mirza*)、粉蚧長角跳小蜂(*Leptomastix dactylopii*) 及 *Gyranusoidea* sp.。上述寄生蜂以寄生在柑橘最常見之太平洋臀紋粉介殼蟲(*Planococcus minor*)為主。



單位:行政院農業委員會農業試驗所
研究人員: 陳淑佩*
*E-mail:spchen@tari.gov.tw

農業生態系-柑橘介殼蟲普查

本研究自2001年迄今，針對農業生態系中的柑橘進行介殼蟲普查，共計4科 21 種。包括盾介殼蟲科之凹圓盾介殼蟲(*Aspidiotus excisus*)、褐圓盾介殼蟲(*Chrysomphalus aonidum*)、椰子橢圓盾介殼蟲(*Hemiberlesia lataniae*)、橘紫蠟盾介殼蟲(*Lepidosaphes beckii*)、長蠟盾介殼蟲(*Le. gloverii*)、糠片盾介殼蟲(*Parlatoria pergandii*)、橘黑片盾介殼蟲(*Pa. ziziphi*)、柑橘并盾介殼蟲(*Pinnaspis aspidistrae*)、三葉網背盾介殼蟲(*Pseudaonidia trilobitiformis*)，以褐圓盾介殼蟲為優勢種類；粉介殼蟲科之知本松粉介殼蟲(*Crisicoccus chipponensis*)、鳳梨嫡粉介殼蟲(*Dysmicoccus brevipe*)、絲粉介殼蟲(*Ferrisia virgata*)、橘球粉介殼蟲(*Nipaecoccus viridis*)、櫻丹綿粉介殼蟲(*Phenacoccus parvus*)、美地綿粉介殼蟲(*Ph. madeirensis*)、太平洋臀紋粉介殼蟲(*Planococcus minor*)、橘臀紋粉介殼蟲(*Pl. citri*)、康氏粉介殼蟲(*Pseudococcus comstocki*)。以太平洋臀紋粉介殼蟲為本科之優勢種類；軟介殼蟲科包括扁堅介殼蟲(*Coccus hesperidum*)、咖啡硬介殼蟲(*Saissetia coffeae*)及碩介殼蟲科(Margarodidae)之吹綿介殼蟲(*Icerya purchasi*)。



單位:行政院農業委員會農業試驗所
研究人員: 陳淑佩*
*E-mail:spchen@tari.gov.tw

長期氣候下指標昆蟲族群量之探討-以瓢蟲為例

1. 本篇以行政院農委會台南區農改場雲林分場為調查地點，以12年的農業長期生態調查數量最多的六條瓢蟲為例，進行分析指標瓢蟲與年均溫、相對濕度、平均日照時數及累積雨量等四個大尺度氣候因子之間的關係。
2. 針對上述氣候因子與六條瓢蟲數量進行廣義線性模型分析 (Generalized Linear Model, 簡稱GLM)，結果顯示年均溫、相對濕度及平均日照時數與瓢蟲數量呈負相關；累積雨量與瓢蟲數量呈正相關。此結果將有助於深入瞭解瓢蟲在特定環境條件下的生態行為和適應能力，作為農業生產病蟲害管理策略參考資料，並可依此結果進行更小尺度之氣候因子分析參考方向。

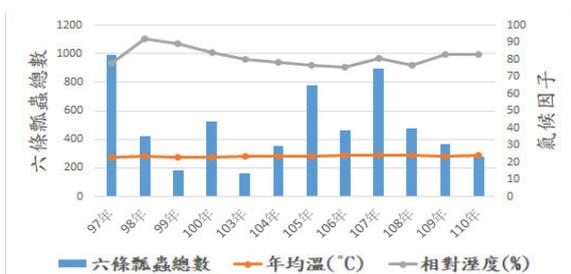


圖1.六條瓢蟲數量與年均溫及相對溼度比較圖

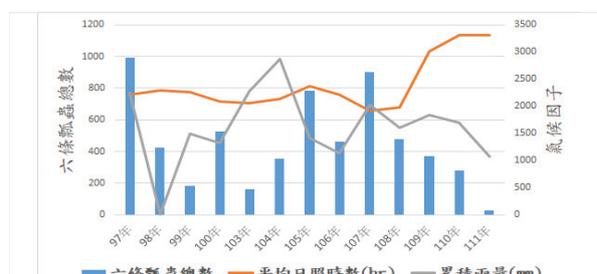


圖2.六條瓢蟲數量與平均日照時數及累積雨量比較圖

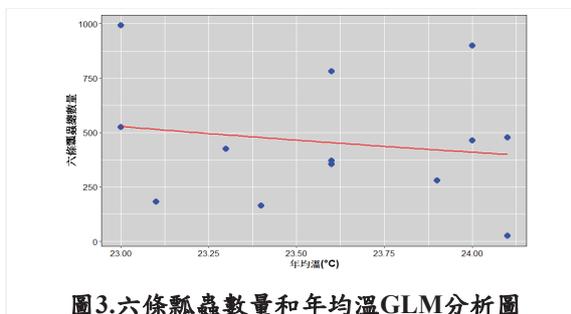


圖3.六條瓢蟲數量和年均溫GLM分析圖

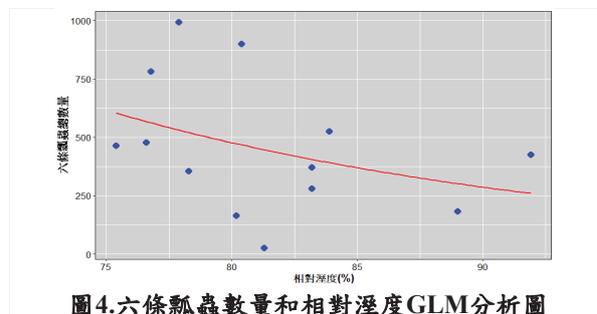


圖4.六條瓢蟲數量和相對溼度GLM分析圖

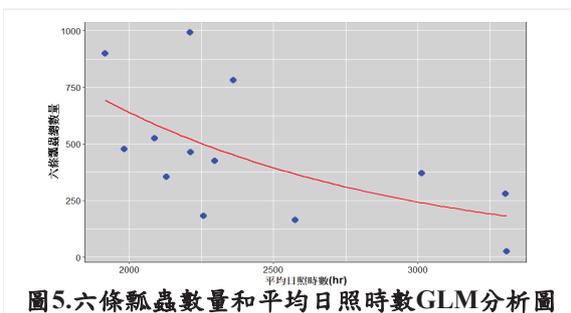


圖5.六條瓢蟲數量和平均日照時數GLM分析圖

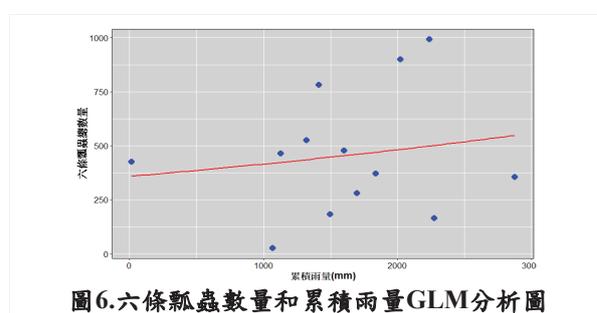


圖6.六條瓢蟲數量和累積雨量GLM分析圖

單位: 農業試驗所應用動物組
研究人員: 楊婉秀*、許北辰、董耀仁
*E-mail: whyang@tari.gov.tw

農業長期生態系 -果樹樣站昆蟲多樣性普查

- 1.2020-2022年於西湖文旦、麻豆文旦、峨眉桶柑、卑南番荔枝及燕巢印度棗，5個果樹樣站之有機及慣行園區，以掃網法每年於開花期、小果期、中果期及採收期各調查1次。
- 2.共調查到17個目昆蟲及蛛形綱蜘蛛，其中所有果樹樣站，慣行及有機園區，優勢目級分類群為半翅目、雙翅目及膜翅目。
- 3.所有果樹樣站有機園區生物多樣性均高於慣行園區。

• 表1 果樹樣站目級分類群

麻豆	西湖	峨眉	卑南	燕巢
毛翅目	毛翅目	毛翅目	毛翅目	毛翅目
半翅目	半翅目	半翅目	半翅目	半翅目
直翅目	直翅目	直翅目	直翅目	直翅目
革翅目	革翅目	革翅目	革翅目	革翅目
膜翅目	膜翅目	膜翅目	膜翅目	膜翅目
蛛形綱	蛛形綱	蛛形綱	蛛形綱	蛛形綱
蜚蠊目	蜚蠊目	蜚蠊目	蜚蠊目	蜚蠊目
彈尾目	彈尾目	彈尾目	彈尾目	彈尾目
膜翅目	膜翅目	膜翅目	膜翅目	膜翅目
鞘翅目	鞘翅目	鞘翅目	鞘翅目	鞘翅目
蟻蟻目	蟻蟻目	蟻蟻目	蟻蟻目	蟻蟻目
嚼蟲目	嚼蟲目	嚼蟲目	嚼蟲目	嚼蟲目
雙翅目	雙翅目	雙翅目	雙翅目	雙翅目
總翅目	總翅目	總翅目	總翅目	總翅目
鱗翅目	鱗翅目	鱗翅目	鱗翅目	鱗翅目

• 表2 優勢目級分類群

分類群	麻豆		西湖		峨眉		卑南		燕巢	
	慣行	有機	慣行	有機	慣行	有機	慣行	有機	慣行	有機
毛翅目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
半翅目	234-340	345-449	93-147	31-49	131-201	90-130	271-367	80-122	298-426	76-122
竹節蟲目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
直翅目	1	4-6	2-4	8-12	4-6	10-16	0	13-17	1-3	11-15
革翅目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
膜翅目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
蛛形綱	15-23	32-22	16-24	26-40	32-46	31-39	17-51	11-15	133-277	36-48
蜚蠊目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
彈尾目	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
鞘翅目	0	4-14	0	0	0	0	0	0	0	0
膜翅目	1-3	4-14	3-7	9-41	10-6	20-64	83-227	11-25	34-88	53-115
鞘翅目	55-79	142-122	45-67	131-209	64-86	197-273	36-62	116-178	31-61	54-70
蟻蟻目	4-6	6-8	2-4	11-15	3-5	8-10	3-5	4-8	5-7	6-10
嚼蟲目	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
嚼蟲目	0-2	1	0	0	0	0-2	0	0	1	0
雙翅目	225-345	241-315	167-239	42-66	162-196	107-137	104-144	86-116	236-330	82-124
總翅目	1	6-14	9-21	11-17	8-12	12-18	2-6	4-8	12-32	1-3
鱗翅目	2-4	4-6	8-14	5-7	6-10	7-11	5-9	3-5	5-1	1-3

• 表3 果樹樣站多樣性比較1

果樹樣站	生物多樣性指數	
	慣行	有機
麻豆文旦		
Simpson	0.63	0.66
Shannon	1.17	1.32
西湖文旦		
Simpson	0.69	0.74
Shannon	1.46	1.73
峨眉桶柑		
Simpson	0.72	0.75
Shannon	1.52	1.68

• 表4 果樹樣站多樣性比較2

果樹樣站	生物多樣性指數	
	慣行	有機
燕巢印度棗		
Simpson	0.74	0.81
Shannon	1.51	1.78
卑南番荔枝		
Simpson	0.70	0.75
Shannon	1.45	1.61

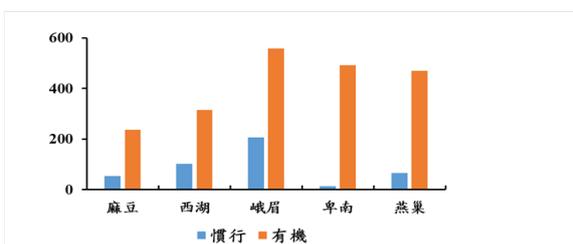
單位:行政院農業委員會農業試驗所
研究人員:董耀仁*、許北辰、楊婉秀、李奇峰、石憲宗
*E-mail:yjdong@tari.gov.tw

農業長期生態系 -果樹樣站直翅目昆蟲普查

1.2020-2022年於西湖文旦、麻豆文旦、峨眉桶柑、卑南番荔枝及燕巢印度棗，5個果樹樣站之有機及慣行園區，以掃網法每年於開花期、小果期、中果期及採收期各調查1次直翅目昆蟲數量。

2.共調查到 Acrididae (蝗科)、Gryllidae (蟋蟀科)、Gryllidae (蟋蟀科)、Pyrgomorphidae (尖蝗科)、Tetrigidae (菱蝗科)、Tettigoniidae (螽蟴科)及Tridactylidae (蚤蝗科) 等7科直翅目昆蟲。

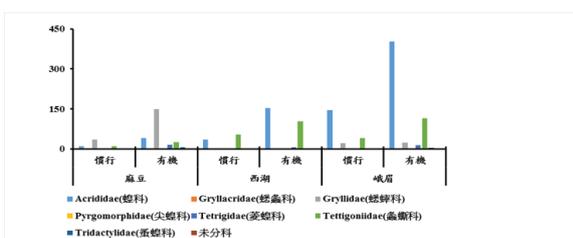
3.所有果樹樣站中，蝗科及螽蟴科於有機園區數量均顯著高於慣行園區，菱蝗科則只在有機園區調查發現。



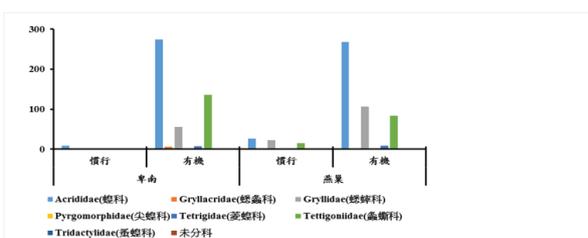
• 圖1 直翅目昆蟲調查數量

• 表1 不同生育期調查數量

果樹樣站/數量	開花期		小果期		中果期		採收期	
	慣行	有機	慣行	有機	慣行	有機	慣行	有機
麻豆	2-17	1-17	0-4	1-18	1-11	1-16	2-3	1-46
西湖	0-1	0-4	0-4	0-38	0-10	1-59	0-21	3-29
峨眉	1-16	9-91	0-7	0-17	0-25	0-40	0-21	2-59
卑南	0-5	5-44	0-3	0-43	0-1	0-31	0-1	0-33
燕巢	0-3	0-30	0-3	4-48	0-1	6-33	0-36	0-15



• 圖2 科級分類群調查數量1

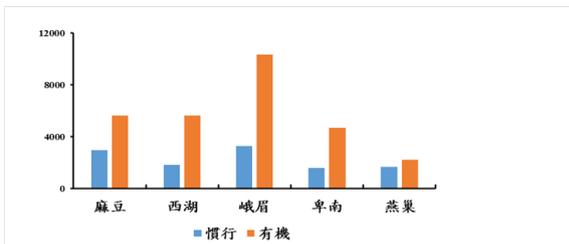


• 圖3 科級分類群調查數量2

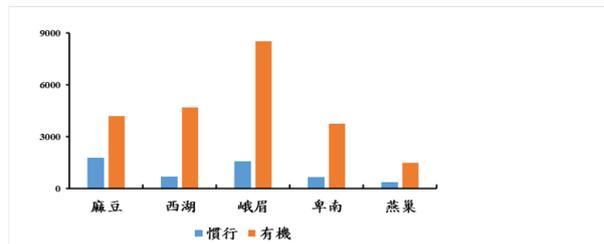
單位:行政院農業委員會農業試驗所
研究人員:董耀仁*、許北辰、楊婉秀、李奇峰、石憲宗
*E-mail:yjdong@tari.gov.tw

農業長期生態系- 果樹樣站膜翅目蟻科昆蟲普查

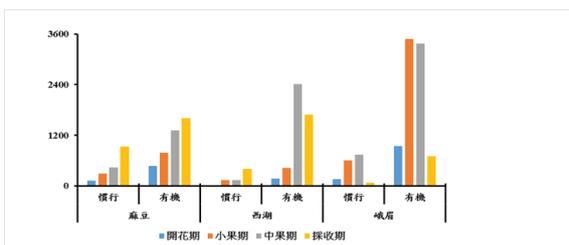
- 1.2020-2022年於西湖文旦、麻豆文旦、峨眉桶柑、卑南番荔枝及燕巢印度棗，5個果樹樣站之有機及慣行園區，以掃網法每年於開花期、小果期、中果期及採收期各調查1次膜翅目昆蟲數量。
- 2.所有果樹樣站中，膜翅目昆蟲數量與蟻科昆蟲數量，於有機園區均顯著高於慣行園區。
- 3.所有果樹樣站中，於不同生育期間，有機園區調查到蟻科昆蟲數量均高於慣行園區。



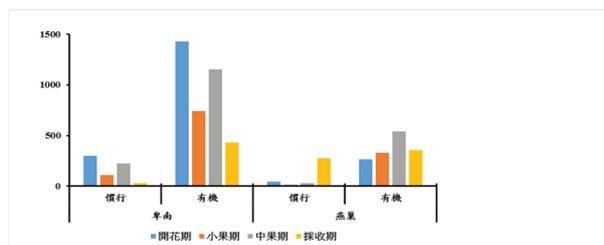
• 圖1 膜翅目昆蟲調查數量



• 圖2 蟻科昆蟲調查數量



• 圖3 不同生育期調查數量1



• 圖4 不同生育期查數量2

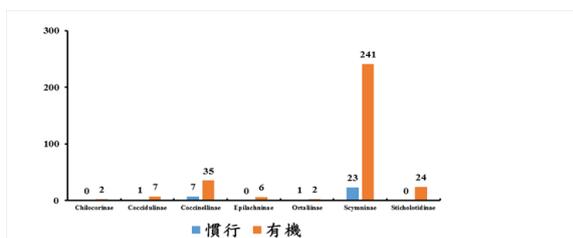
單位:行政院農業委員會農業試驗所
研究人員:董耀仁*、許北辰、楊婉秀、李奇峰、石憲宗
*E-mail:yjdong@tari.gov.tw

屋拉力部落文旦園瓢蟲發生初探

1. 2022-2023年於花蓮縣瑞穗鄉屋拉力部落有機及慣行文旦園，以黃色黏蟲紙搭配掃網法，每2個月進行瓢蟲種類調查1次。

2. 共調查到7個亞科 (Chilocorinae、Coccidulinae、Coccinellinae、Epilachninae、Ortaliinae、Scymninae、Sticholotidinae)，8族 (Aspidimerini、Coccinellini、Epilachnini、Noviini、Ortaliini、Platynaspidini、Scymnini、Sticholotidini)，17屬25種349隻瓢蟲。

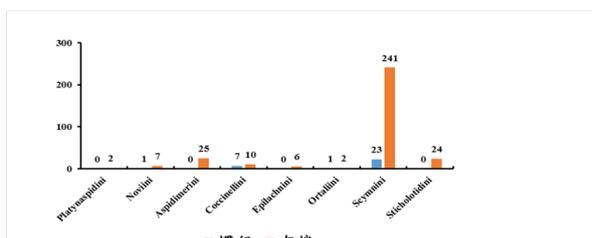
3. 慣行田區共調查到8屬10種32隻瓢蟲，有機田區共調查到16屬23種317隻瓢蟲。



• 圖1 不同亞科瓢蟲數量

• 表1 慣行田區瓢蟲種類

種類	數量
台灣三色瓢蟲 <i>Amida tricolor formosana</i> Kurisaki, 1920	1
六條瓢蟲 <i>Cheilomenes sexmaculata</i> (Fabricius, 1781)	1
橙瓢蟲 <i>Micraspis discolor</i> (Fabricius, 1798)	5
龜紋瓢蟲 <i>Propylea japonica</i> (Thunberg, 1781)	1
澳洲瓢蟲 <i>Rodolia cardinalis</i> (Mulsant, 1850)	1
弧斑方瓢蟲 <i>Sasajiscymnus orbiculatus</i> (Yang, 1971)	4
五斑方瓢蟲 <i>Sasajiscymnus quinquepunctatus</i> (Weise, 1923)	1
台南方瓢蟲 <i>Sasajiscymnus tainanensis</i> (Ohta, 1929)	13
內囊小瓢蟲 <i>Scymnus yangi</i> Yu et Pang, 1993	3
黑囊食蚜瓢蟲 <i>Stechorus aptus</i> Kapur, 1948	2



• 圖2 不同族瓢蟲數量

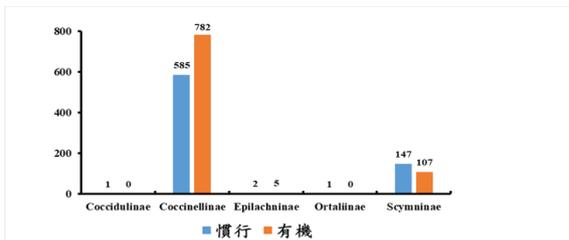
• 表2 有機田區瓢蟲種類

種類	數量
台灣三色瓢蟲 <i>Amida tricolor formosana</i> Kurisaki, 1920	2
四斑隱脈瓢蟲 <i>Aspidimerus esakii</i> Sasaji, 1968	1
黑翅斧瓢蟲 <i>Axinoscymnus nigripennis</i> Kamiya, 1965	17
六條瓢蟲 <i>Cheilomenes sexmaculata</i> (Fabricius, 1781)	5
黑澤隱脈瓢蟲 <i>Cryptogonus kurosawai</i> Sasaji, 1968	1
變斑隱脈瓢蟲 <i>Cryptogonus orbiculus</i> (Gyllenhal, 1808)	23
中華食蚜瓢蟲 <i>Epilachna chinensis</i> (Weise, 1912)	1
茄二十八星瓢蟲 <i>Hemipilachna vigintioctopunctata</i> (Fabricius, 1775)	5
黃瓢蟲 <i>Illeis koebeleri</i> Timberlake, 1943	4
黃環瓢蟲 <i>Jauravia limbata</i> Motschulsky, 1858	1
橙瓢蟲 <i>Micraspis discolor</i> (Fabricius, 1798)	1
四斑廣盾瓢蟲 <i>Platynaspidium maculosus</i> (Weise, 1910)	1
五斑廣盾瓢蟲 <i>Platynaspidium quinquepunctatus</i> Miyatake, 1961	1
澳洲瓢蟲 <i>Rodolia cardinalis</i> (Mulsant, 1850)	2
小紅瓢蟲 <i>Rodolia okinawensis</i> Miyatake, 1959	5
弧斑方瓢蟲 <i>Sasajiscymnus orbiculatus</i> (Yang, 1971)	26
台南方瓢蟲 <i>Sasajiscymnus tainanensis</i> (Ohta, 1929)	84
中黑小瓢蟲 <i>Scymnus centralis</i> Kamiya, 1965	2
黑襟毛瓢蟲 <i>Scymnus hoffmanni</i> Weise, 1879	3
內囊小瓢蟲 <i>Scymnus yangi</i> Yu et Pang, 1993	74
黑囊食蚜瓢蟲 <i>Stechorus aptus</i> Kapur, 1948	35
麗隱脈瓢蟲 <i>Sticholotis formosana</i> Weise, 1923	22
褐背隱脈瓢蟲 <i>Sticholotis hirashimai</i> Sasaji, 1967	1

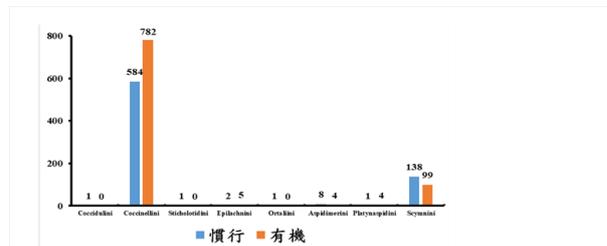
單位:行政院農業委員會農業試驗所
研究人員:董耀仁*、許北辰、楊婉秀、李奇峰、石憲宗
*E-mail:yjdong@tari.gov.tw

織羅部落水稻田瓢蟲發生初探

1. 2022-2023年於花蓮縣瑞穗鄉織羅部落有機及慣行水稻田，以黃色黏蟲紙搭配掃網法，每2個月進行瓢蟲種類調查1次。
2. 共調查到5個亞科 (Coccidulinae、Coccinellinae、Epilachninae、Ortaliinae、Scymninae)，7族 (Coccidulini、Coccinellini、Epilachnini、Ortaliini、Aspidimerini、Platynaspidini、Scymnini)，17屬19種1630隻瓢蟲。
3. 慣行田區共調查到15屬16種736隻瓢蟲，有機田區共調查到13屬13種894隻瓢蟲。



• 圖1 不同亞科瓢蟲數量



• 圖2 不同族瓢蟲數量

• 表1 慣行田區瓢蟲種類

種類	數量
台灣三色瓢蟲 <i>Amida tricolor formosana</i> Kurisaki, 1920	1
六條瓢蟲 <i>Cheilomenes sexmaculata</i> (Fabricius, 1781)	169
波紋瓢蟲 <i>Coccinella transversalis</i> Fabricius, 1781	5
變斑隱勢瓢蟲 <i>Cryptogonus orbiculus</i> (Gyllenhal, 1808)	8
孟氏隱勢瓢蟲 <i>Cryptolaemus montrouzieri</i> Mulsant, 1853	1
八條瓢蟲 <i>Harmonia octomaculata</i> (Fabricius, 1781)	14
茄二十八星瓢蟲 <i>Hensepilachna vigintioctopunctata</i> (Fabricius, 1775)	2
錨紋瓢蟲 <i>Lemnia biplagiata</i> (Swartz, 1808)	16
赤星瓢蟲 <i>Lemnia saucia</i> (Mulsant, 1850)	4
橙瓢蟲 <i>Micraspis discolor</i> (Fabricius, 1798)	209
四斑盾盾瓢蟲 <i>Platynaspidius maculosus</i> (Weise, 1910)	1
龜紋瓢蟲 <i>Propylaea japonica</i> (Thunberg, 1781)	167
台南方瓢蟲 <i>Sasajiscymnus tainanensis</i> (Ohta, 1929)	8
黑襟毛瓢蟲 <i>Scymnus hoffmanni</i> Weise, 1879	128
內囊小瓢蟲 <i>Scymnus yangi</i> Yu et Pang, 1993	1
黑囊食蝸瓢蟲 <i>Stechorus aptus</i> Kapur, 1948	1
麗瓢蟲 <i>Sticholotus formosana</i> Weise, 1923	1

• 表2 有機田區瓢蟲種類

種類	數量
六條瓢蟲 <i>Cheilomenes sexmaculata</i> (Fabricius, 1781)	61
九星瓢蟲 <i>Coclophora inaequalis</i> (Fabricius, 1775)	1
變斑隱勢瓢蟲 <i>Cryptogonus orbiculus</i> (Gyllenhal, 1808)	4
八條瓢蟲 <i>Harmonia octomaculata</i> (Fabricius, 1781)	6
茄二十八星瓢蟲 <i>Hensepilachna vigintioctopunctata</i> (Fabricius, 1775)	5
錨紋瓢蟲 <i>Lemnia biplagiata</i> (Swartz, 1808)	14
橙瓢蟲 <i>Micraspis discolor</i> (Fabricius, 1798)	569
中斑彎葉毛瓢蟲 <i>Nephus tagiapatus</i> (Kamiya, 1961)	2
四斑盾盾瓢蟲 <i>Platynaspidius maculosus</i> (Weise, 1910)	4
龜紋瓢蟲 <i>Propylaea japonica</i> (Thunberg, 1781)	131
台南方瓢蟲 <i>Sasajiscymnus tainanensis</i> (Ohta, 1929)	3
黑襟毛瓢蟲 <i>Scymnus hoffmanni</i> Weise, 1879	92
黑囊食蝸瓢蟲 <i>Stechorus aptus</i> Kapur, 1948	2

單位:行政院農業委員會農業試驗所
研究人員:董耀仁*、許北辰、楊婉秀、李奇峰、石憲宗
*E-mail:yjdong@tari.gov.tw



不同耕作農法對土壤微生物菌相之影響

郭聆亦*、張明暉、鄭智元、簡仲生
行政院農委會農業試驗所農業化學組
E-mail: lyguo@tari.gov.tw

摘要

土壤微生物不僅參與養分循環，更與動植物的健康與否有重要的關聯。不同的耕作模式會影響土壤的物化性質與肥力，間接影響到微生物菌相組成(Xiuli et al. 2018)。隨著定序技術的進步，次世代定序的出現能夠快速且全面性地分析土壤微生物整體菌相，加上原有的土壤物理、化學和生物性質分析，可以用這些資訊得到作物在耕作時，土壤與作物之間的關聯性，因此透過設有監測站配合土壤微生物的分析，可以更全面地了解土壤與作物之間在耕作系統中的關係。

材料與方法

- 採樣方法：**採集方式為設定於每監測樣田以英文字母「V」為設計分別採集3個點，所採集三個樣點距離田區邊界至少三公尺以上。挖取深度為0-15 cm，採集樣點如表一所示。
- 萃取方法：**使用市售之試劑DNeasy® PowerSoil® Pro Kit (QIAGEN Inc.) 進行 DNA 萃取；萃取完成之樣品以螢光定量儀 (Invitrogen™, Qubit™ Fluorometer) 檢測土壤 DNA 濃度。
- 分析方法：**將所萃取之 DNA 進行次世代(NGS)高通量序列分析 (Illumina, Miseq)。細菌：16S V3-V4；真菌：ITS分析定序(NGS)所得之數據，整合每一田區之土壤資料並分析田區前十大宗優勢菌相與各田區之生物多樣性指數及生物豐富度指數等分析。

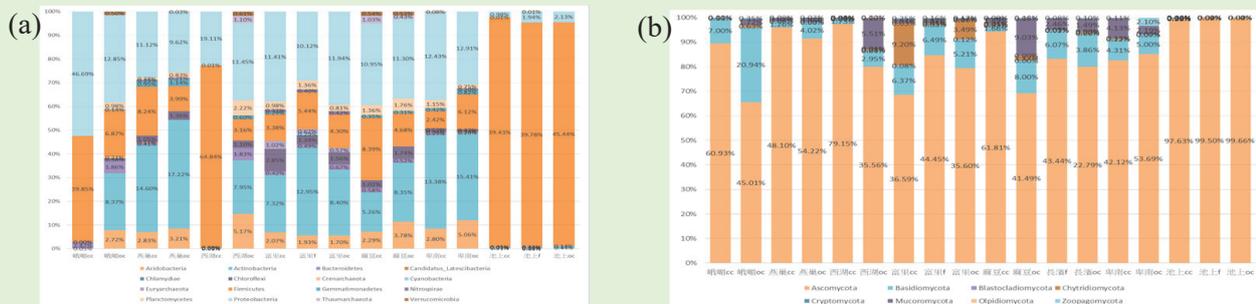
表一、111年LTER監測站採集樣點

		慣行CC	友善FC	有機OC
新竹峨眉	桶柑	●		●
苗栗西湖	文旦	●		●
台南麻豆	文旦	●		●
高雄燕巢	印度棗	●		●
台東卑南	鳳梨釋迦	●		●
台東池上	水稻	●	●	●
花蓮富里	水稻	●	●	●

結果

表二、111年LTER監測站土壤基本性質

編號	樣品	pH	電導度 (µS/cm)	有機質 (%)	有效磷		土壤肥力檢測									
					銨態	硝態	氮	鉀	鈣	鎂	鈉	鋅	銅	錳	鈷	
1	燕巢印度棗-慣行	7.6	150.5	2.9	5.1	6.2	681.4	408.5	3219.0	688.7	525.5	43.0	2.1	5.2	45.3	
2	燕巢印度棗-有機	7.6	146.3	4.3	6.1	9.7	633.9	191.5	3741.6	834.5	534.5	78.7	2.9	4.4	26.4	
3	卑南番荔枝-慣行	6.2	76.5	3.5	5.5	10.6	452.3	244.8	1457.2	162.4	461.5	66.5	0.4	2.7	12.6	
4	卑南番荔枝-有機	6.7	103.6	3.2	5.2	11.3	558.9	180.4	2117.3	372.0	552.4	90.2	0.7	3.4	16.0	
5	富里水稻-慣行	6.8	85.9	3.0	5.0	2.9	20.0	124.6	2886.0	428.4	778.7	76.2	1.1	5.6	4.6	
6	富里水稻-友善	6.8	64.5	3.0	10.0	7.0	41.6	151.6	3060.3	482.5	690.3	21.0	0.9	5.9	5.0	
7	富里水稻-有機	7.0	101.2	2.0	6.4	7.9	30.5	185.0	2748.3	498.1	626.4	114.8	0.8	6.9	3.0	
8	池上水稻-慣行	6.6	218.2	3.3	8.1	52.9	50.2	273.4	4395.6	297.8	585.5	60.6	1.3	7.5	2.4	
9	池上水稻-友善	6.8	149.7	2.9	4.9	17.8	27.1	220.6	4636.9	348.7	520.5	100.8	1.3	8.1	2.4	
10	池上水稻-有機	7.1	174.1	2.8	5.4	42.4	44.3	176.8	3707.9	600.4	510.4	69.7	0.7	6.6	2.1	
11	麻豆文旦-慣行	7.5	92.3	1.6	-	-	212.3	181.7	2679.0	418.3	-	-	-	-	-	
12	麻豆文旦-有機	7.5	60	1.6	-	-	286.0	250.3	3108.0	428.0	-	-	-	-	-	
13	西湖文旦-慣行	6.0	66.0	2.5	-	-	128.0	226.0	1736.0	225.0	402	81	-	3.09	14	
14	西湖文旦-有機	6.6	62	1.3	-	-	119.0	190.0	2013	345	215	42	-	4.03	16	
15	峨眉桶柑-慣行	4.2	50	1.9	-	-	108	61	111	36	-	-	-	-	-	
16	峨眉桶柑-有機	5.1	30	1.7	-	-	58	54	251	99	-	-	-	-	-	



圖一、111年各監測田區微生物相分布，細菌(a)、真菌(b)，依照各田區樣品內前十大菌門進行排序。



圖二、111年各監測田區之微生物多樣性指數：細菌豐富度指數 Chao 1、細菌貧度多樣性指數

討論與結論

- 16 塊樣田之 Shannon 指數與 Chao1 index 有相同的趨勢。
- 結果顯示細菌與真菌豐富度在 7 個地區內有機與友善豐富程度大於慣行的有 5 區約佔 71%，由此現象推測以較友善之農業耕作模式進行作物栽培，確實能夠使土壤擁有較高之物種豐富程度，增加微生物多樣性與生態平衡。

減少肥料投入稻作生產之農場所 得評估

1. 溪口農場(圖1、圖2)與雲林分場 (圖3、圖4)不論第1期作或第2期作水稻生產，多數年度皆呈現CA產值較SA來得高。但若扣除肥料費的成本，可發現二者間的差距會縮小，甚至部分年度SA所得較CA來得高。
2. 在減少施肥量的SA生產模式中，產值不一定會較CA低，所得也有機會高於CA。未來可再結合稻穀的品質，進行差別價格的所得分析，更能精準呈現CA與SA生產模式差異的長期成果。

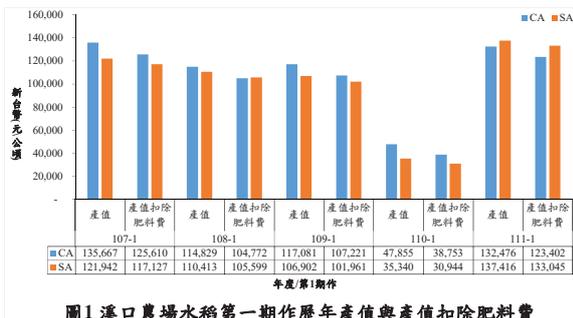


圖1 溪口農場水稻第一期作歷年產值與產值扣除肥料費

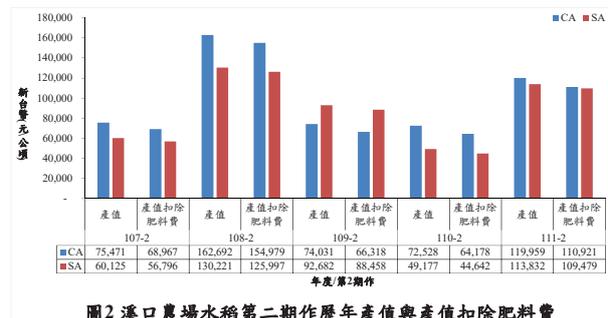


圖2 溪口農場水稻第二期作歷年產值與產值扣除肥料費

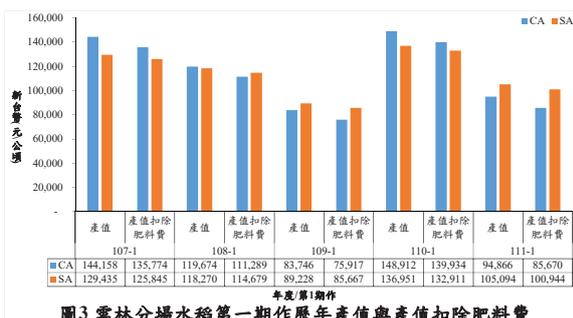


圖3 雲林分場水稻第一期作歷年產值與產值扣除肥料費

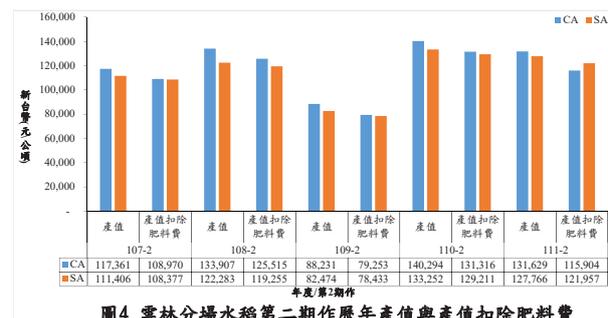
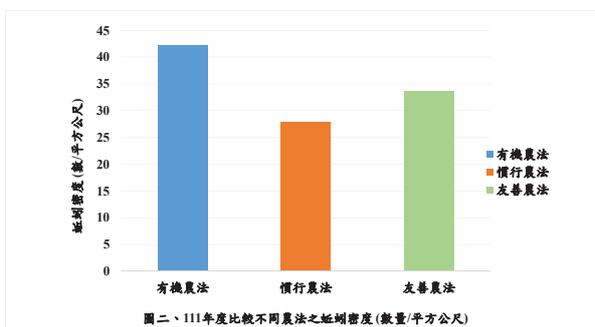


圖4 雲林分場水稻第二期作歷年產值與產值扣除肥料費

單位:農業試驗所
研究人員:莊凱恩*、江秀娥
*E-mail:knchuang@tari.gov.tw

不同農法對蚯蚓生態之影響

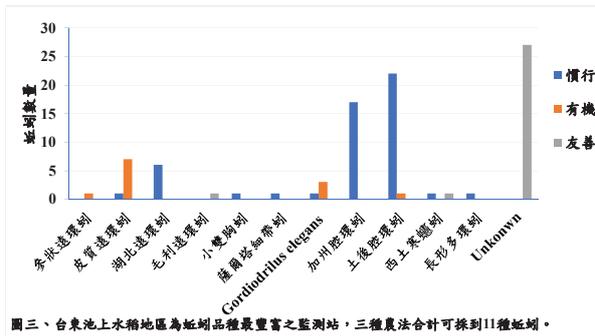
蚯蚓在農業環境中的土壤生態系統中重要的指標生物之一，本研究在不同農法模式(慣行、友善、有機)下進行蚯蚓多樣性與族群密度調查，以期了解不同農法對蚯蚓生態之影響性，並累積長期調查數據資料，並觀察氣候變遷影響性。111年度共調查了12農業生態系長期生態監測站(圖一)，共計採得1127隻蚯蚓，慣行、友善、有機農法的蚯蚓平均密度分別為27.8、33.6和42.1隻/平方公尺(圖二)，蚯蚓密度在3種不同農法間沒有顯著差異(ANOVA $F(2, 20) = 3.49 > F = 0.58649, p > 0.05$)。利用分子生物技術方法鑑定蚯蚓品種，得到6科8屬21種的鑑定結果，其中遠環蚓屬的種類數較多(表一)，在蚯蚓多樣性調查方面上，慣行農法可調查到20種蚯蚓，調查頻率最高為土後腔環蚓；有機可調查到17種蚯蚓，以黃頭蝟蚓分布較廣；友善農法則可調查到8種蚯蚓，無特定優勢品種。單一監測站調查結果中，以台東池上地區可調查到最多品種，各個農法合計11種(圖三)。



表一、比較不同農法之蚯蚓品種

農法	數量	有機農法(監測站10)	數量	慣行農法(監測站10)	數量
友善農法(監測站3)					
		<i>Amynthas asaceus</i>	3		
皮質遠環蚓	2	參狀遠環蚓	11	參狀遠環蚓	13
		毛刺遠環蚓	8	皮質遠環蚓	5
		羅雅遠環蚓	75	羅雅遠環蚓	7
		吳斯遠環蚓	1		
湖北遠環蚓	2			湖北遠環蚓	6
毛刺遠環蚓	1	毛刺遠環蚓	36	毛刺遠環蚓	54
		壯偉遠環蚓	16	壯偉遠環蚓	1
		包氏重胃蚓	5	包氏重胃蚓	7
		<i>Dichogaster modigliani</i> *	3	<i>Dichogaster modigliani</i> *	1
彈跳重胃蚓	1	巴氏杜拉蚓	94	彈跳重胃蚓	1
		<i>Eukerria kuekenthalii</i> *		巴氏杜拉蚓	9
		<i>Gordiodrilus elegans</i> *	3	<i>Gordiodrilus elegans</i> *	10
		加州腔環蚓	11	加州腔環蚓	18
土後腔環蚓	25	土後腔環蚓	55	土後腔環蚓	141
西土索繭蚓	1	西土索繭蚓	76	西土索繭蚓	1
長形多環蚓	4	黃頭蝟蚓	65	長形多環蚓	8
		Unknown**	103	Unknown**	2
9種蚯蚓	64	17種蚯蚓	587	20種蚯蚓	405

* 有機農法固有品種
 * 慣行農法固有品種
 * 有機與慣行曾出現之品種
 * 慣行與友善曾出現之品種
 * 資料參考文獻中未見者
 ** unknown: 未知種



單位: 農業藥物毒物試驗所
研究人員: 林芳妘、陳淑娟、林麗淑、謝玉貞*
*E-mail: ych@tactri.gov.tw

不同農法農地中的螞蟻多樣性

Diversity of Ant (Hymenoptera: Formicidae) in Different Farming Systems and Crops

本研究想要了解慣行農法和有機農法對於螞蟻的影響，在花蓮設置實驗樣區，至今 (2021/11-2023/01) 已調查 8 次。目前共採樣到 6397 隻螞蟻個體，分別屬於 5 個亞科 29 屬 44 種。

有機文旦園比慣行文旦園有較高的優勢指數，歸因於多樣寡家蟻的相對豐富度佔總個體數的近七成，優勢物種的存在導致物種均勻度偏低。文旦園中，物種數和螞蟻活動，皆是有機文旦園的螞蟻活動顯著高於慣行文旦園；有機水稻田的螞蟻活動數有高於慣行水稻田。不同的農法確實會使得螞蟻多樣性有差異。

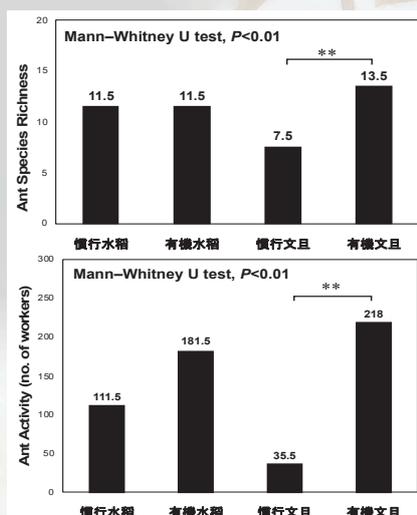
期望長期的監測資料能提供農業生產及生態系統管理之建議，降低對原始環境的影響，促進永續發展。

表一、110 年 11 月至 112 年 1 月於花蓮玉里鎮春日水稻田及鶴岡村屋拉力文旦園以掉落式陷阱及落葉袋採集法調查不同農法的螞蟻相的多樣性指數。

農作物	水稻田		柚子園	
	慣行	有機	慣行	有機
物種數 Taxa	22	24	24	32
個體數 Individuals	1316	1908	412	2963
優勢指數_D	0.2229	0.1893	0.1873	0.469
辛普森指數_1-D	0.7771	0.8107	0.8127	0.531
香農指數_H	1.921	1.962	2.154	1.453
均勻度指數_eH/S	0.3103	0.2965	0.3591	0.1337

表二、110 年 11 月至 112 年 1 月於花蓮農地調查的螞蟻優勢物種及數量。

慣行文旦優勢物種		
物種	個體數量(隻)	數量百分比 (%)
史密皺家蟻	136	33.2%
多樣寡家蟻	100	24.4%
日本皺家蟻	38	9.3%
皮氏大頭家蟻	23	5.6%
寬結大頭家蟻	18	4.4%
褐大頭家蟻	18	4.4%
其他螞蟻 (18種)	79	18.8%
有機文旦優勢物種		
物種	個體數量(隻)	數量百分比 (%)
多樣寡家蟻	2004	67.6%
中華單家蟻	205	6.9%
知本火家蟻	148	5.0%
其他螞蟻 (29種)	606	20.5%
慣行水稻優勢物種		
物種	個體數量(隻)	數量百分比 (%)
褐大頭家蟻	512	38.9%
中華單家蟻	291	22.1%
火家蟻 sp.	130	9.9%
慌琉璃 sp.	95	7.2%
其他螞蟻 (18種)	288	21.9%
有機水稻優勢物種		
物種	個體數量(隻)	數量百分比 (%)
褐大頭家蟻	531	27.8%
火家蟻 sp.	453	23.7%
中華單家蟻	370	19.4%
八重山尼蘭德山蟻	204	10.7%
其他螞蟻 (20種)	350	18.3%



圖一、不同農法的螞蟻相的物種數與螞蟻活動。(上) 不同樣區的物種數; (下) 不同樣區的螞蟻活動。物種數與螞蟻活動顯示的數值為中位數。
*表示以 Mann-Whitney U test 檢驗有顯著差異。

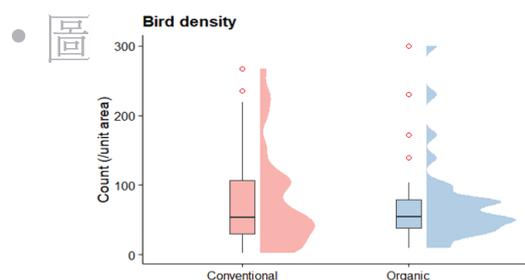
單位：國立彰化師範大學

研究人員：林宗岐*

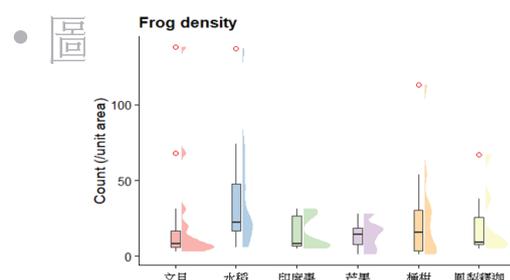
*E-mail: cclin@cc.ncue.edu.tw

農業野生動物之棲地偏好與趨勢 指標

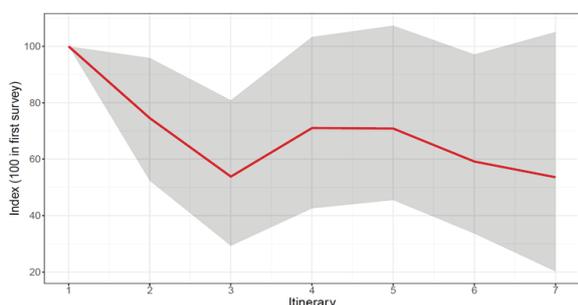
建立生物多樣性友善農業為推動新農業的重要研究。為此，我們自2021年起於八處監測站執行鳥類、兩棲類、爬行類的調查。農法方面，有機區鳥類密度顯著高於慣行區；物種豐富度在兩種農法間皆無顯著差異。作物方面，水稻、印度棗、桶柑及鳳梨釋迦的鳥類密度顯著高於其他，柚園內的鳥類密度顯著較低，芒果則無顯著。水稻田內兩棲類密度顯著高於其他作物。印度棗園內爬行類密度顯著高於其他作物。物種豐富度方面，柚子園的鳥類物種數顯著低於其他作物。兩棲類物種數方面，各作物間無顯著差異。爬行類物種數方面，印度棗園內顯著低於其他作物。複合物種指標方面，農地鳥類指標無顯著變化，但下降趨勢接近顯著門檻；農地蛙類指標顯著減少。



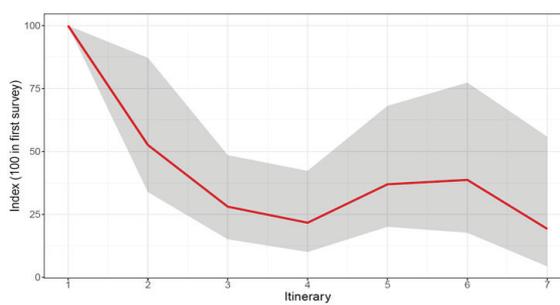
有機區鳥類紀錄數顯著高於慣行區($p < 0.001$)



水稻田內兩棲類密度顯著高於其他作物($p < 0.01$)



農地鳥類指標無顯著變化(2.5百分位 = 20.15、中位數 = 53.56、97.5百分位 = 105.11)



農地蛙類指標則顯著減少(2.5百分位 = 5.13、中位數 = 19.98、97.5百分位 = 58.70)。

單位：¹行政院農業委員會特有生物研究保育中心
研究人員：林大利^{1*}、林湧倫¹、杜昀姍¹
*E-mail: dalilin@tesri.gov.tw



111年度高屏地區養殖漁村水質長期監測成果概觀

本研究運用自動物聯網傳感器自動收集高雄市永安區及屏東縣枋寮鄉養殖漁村4處監測站水質即時資料，發現溶氧變化具有日周期性，且深受日照、降雨等天氣影響；水溫部分因枋寮引入較低溫之地下水，水溫相對較低，永安轉型測站雖引入較低溫的LNG冷排水，但因換水量不大且電極深度較淺，受日照及溫度分層影響，水溫並無明顯偏低；各監測站酸鹼值雖有日變化週期，但平均來看皆維持在7.5-8.0之間，對養殖生物來說較為穩定安全；氧化還原電位方面，除移魚等人為操作擾動水體導致急降以外，各監測站平均值皆落在350-450 mv等安全範圍內；鹽度變化除受連續降雨或長時間日照蒸發作用會導致鹽度變動較大以外，主要以進水鹽度為變動主因，由於枋寮地區養殖之午仔魚較具廣鹽性，引入地下淡水與海水混合後，使養殖池鹽度偏低，相關數據整理儲存後，可作為未來分析養殖漁村水質長期生態變化趨勢及預警減災之參考資料。

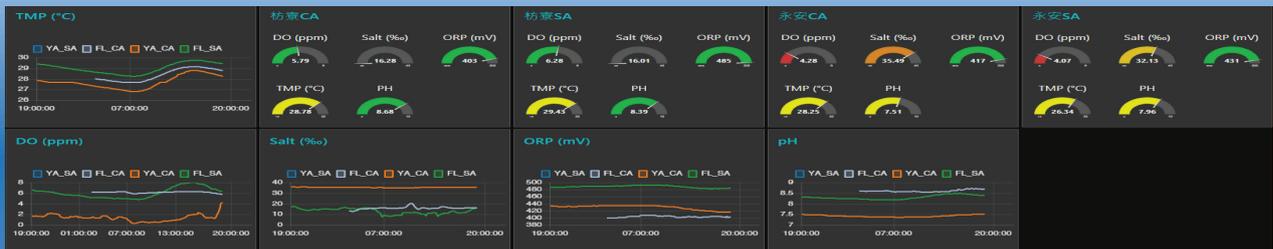


圖1 透過爬蟲軟體抓取應用程式介面以獲得水質資訊，並轉化為EML文件格式儲存在Metacat資料庫中，可供分析查閱。

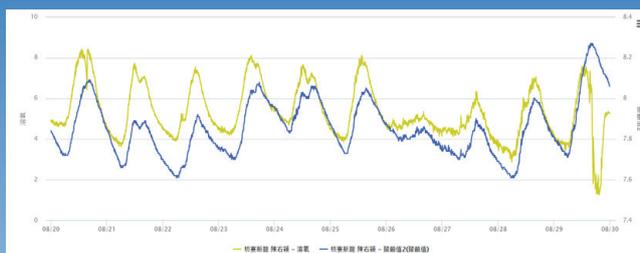


圖2 陰雨天對溶氧及pH有顯著影響，變化趨勢一致

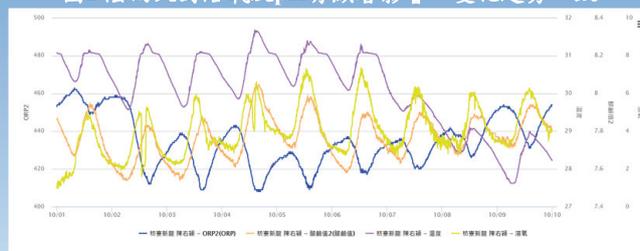


圖3 溶氧、pH、水溫呈正相關，三者與ORP則呈現負相關



圖4 監測站社區人員利用水質資訊看板進行漁村生態導覽活動

單位：行政院農業委員會水產試驗所東港生技研究中心
研究人員：許自研*
*E-mail: zyxu@mail.tfrin.gov.tw

慣行及有機農法對新竹縣峨眉鄉桶柑果園土壤及蟲相之影響(三年期)

- 2020年桃園區農業改良場加入農業生態系長期生態監測站擴站計畫，選定新竹縣峨眉鄉桶柑慣行及有機栽培果園進行長期生態監測，每年花期、小果期、中果期及大果期懸掛黃色黏板(YSP)進行指標昆蟲監測，並進行果園土壤及葉片植體分析，記錄不同農法操作之施肥、用藥及產量。
- 薊馬監測結果顯示，2020年慣行區及有機區花期時密度分別為10.5隻/黏板/兩週及22.6隻/黏板/兩週，慣行區薊馬密度較有機區低的原因可能來自於化學藥劑之介入，中果期慣行區兩次監測結果高達36.2與21.9隻/黏板/兩週，有機區密度亦上升達16.6及2.6隻/黏板/兩週，2021年整體薊馬監測密度低於2020年，然花期及中果期仍有密度較高之趨勢；2022年慣行區花期薊馬密度0.4及1.4隻/黏板/兩週，屬於低密度，可能與用藥或降雨有關，中果期兩次監測薊馬密度則升高至45.6及13.6隻/黏板/兩週，顯示中果期有再次防治薊馬之必要性。(圖1)
- 瓢蟲類監測結果顯示，三年監測結果顯示有機區瓢蟲類數量普遍高於慣行區，尤以花期及小果期之趨勢最為明顯，瓢蟲數量及多樣性之監測，有作為桶柑果園生態監測指標之潛力。(圖2)
- 三年土壤與植體採樣調查可了解有機區跟慣行監測區之土壤與果樹之養分吸收狀況，土壤酸鹼度在慣行區呈現偏低但持平之趨勢，而有機區酸鹼度雖較慣行區高，但呈現下降趨勢。且因有機區不施用肥料，故慣行區之肥力略高於有機區。慣行區及有機區仍屬於強酸性土壤範圍，建議增施石灰石粉或蚬貝粉以補充鈣及提升酸鹼度，並施用有機質肥料。建議施肥策略採深層施肥，以增加底土養分含量。植體鉀含量偏低，建議可增施鉀肥，配合土壤酸鹼度改良，增加養分吸收效率。(表1、表2)

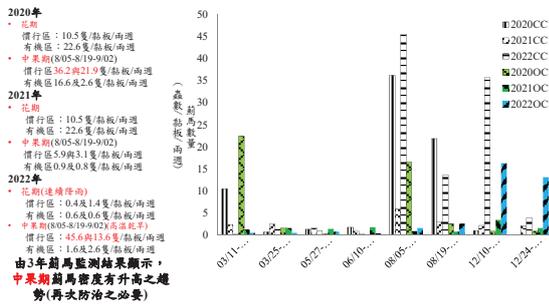


圖1. 2020-2022年桶柑慣行及有機栽培區黃色黏板薊馬監測結果

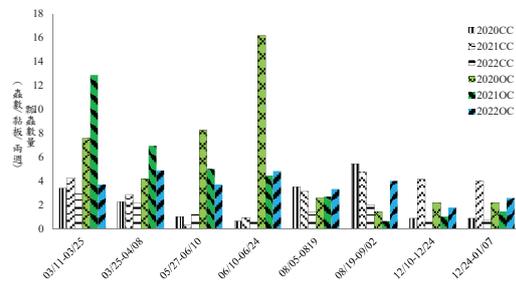


圖2. 2020-2022年桶柑慣行及有機栽培區黃色黏板瓢蟲監測結果

農法	編號	土壤	pH (1:1)			電導度 EC (1:5) (dS m ⁻¹)			有機質 (%)		
			2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022
慣行栽培	1	底土	3.7	4.2	4.2	0.15	0.15	0.05	2.8	2.0	1.9
	1	表土	4.0	4.3	4.1	0.10	0.10	0.06	2.9	1.5	1.2
	2	底土	4.1	4.2	4.2	0.13	0.13	0.05	1.9	1.6	1.7
	2	表土	4.5	4.8	4.1	0.06	0.06	0.06	1.5	1.1	1.2
有機栽培	3	底土	4.2	4.9	4.5	0.04	0.04	0.05	1.6	1.3	1.5
	3	表土	4.6	5.2	4.6	0.04	0.04	0.06	1.2	0.6	1.1
	4	底土	4.0	4.2	4.2	0.09	0.09	0.06	1.4	1.4	2.8
	4	表土	4.3	5.0	4.1	0.06	0.06	0.08	1.0	0.8	1.0
平均值			4.2	4.6	4.2	0.08	0.08	0.06	1.7	1.3	1.6
標準差			0.3	0.4	0.2	0.04	0.04	0.01	0.6	0.4	0.6
有機栽培	1	底土	5.4	5.9	5.1	0.03	0.03	0.03	1.8	1.4	1.4
	1	表土	5.2	5.5	5.1	0.03	0.03	0.02	1.5	1.2	0.9
	2	底土	5.2	5.7	4.9	0.04	0.04	0.02	1.9	1.6	1.6
	2	表土	5.0	5.5	4.9	0.02	0.02	0.02	1.2	0.8	0.7
有機栽培	3	底土	4.8	5.9	5.2	0.03	0.03	0.04	3.1	2.1	2.7
	3	表土	5.1	5.6	4.7	0.02	0.02	0.03	1.7	1.4	1.6
	4	底土	5.8	6.5	5.7	0.06	0.06	0.04	1.6	1.6	1.3
	4	表土	5.7	6.2	5.6	0.05	0.05	0.03	1.2	0.9	0.9
平均值			5.3	5.9	5.2	0.03	0.04	0.03	1.8	1.4	1.4
標準差			0.3	0.3	0.3	0.06	0.01	0.01	0.6	0.4	0.6
參考值			5.5-6.8			0-6			3.0		

表1. 2020-2022年調查田區土壤酸鹼度、電導度及有機質分析結果

農法	編號	N (%)	P (%)			K (%)			Ca (%)				
			2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022		
慣行栽培	1	3.25	3.43	3.36	0.10	0.12	0.14	0.6	0.8	0.7	1.01	1.27	1.06
	2	3.34	3.14	3.10	0.13	0.11	0.15	0.9	0.8	0.7	1.50	1.89	1.10
	3	3.11	2.93	2.72	0.12	0.11	0.12	0.6	0.5	0.6	1.73	1.67	1.30
	4	3.36	3.12	3.12	0.14	0.13	0.15	0.9	0.9	0.8	1.62	1.47	1.10
平均值		3.27	3.16	3.08	0.12	0.12	0.14	0.73	0.74	0.70	1.46	1.58	1.14
標準差		0.11	0.18	0.26	0.02	0.01	0.01	0.19	0.16	0.11	0.32	0.23	0.11
有機栽培	1	2.94	3.17	2.38	0.11	0.12	0.12	0.7	0.7	0.6	2.23	1.94	1.70
	2	2.82	2.79	2.37	0.13	0.10	0.12	0.9	0.6	0.6	2.25	1.68	1.68
	3	2.80	2.78	2.67	0.11	0.11	0.12	0.6	0.5	0.4	1.87	1.99	1.60
	4	2.82	3.29	2.74	0.11	0.14	0.12	0.6	0.6	0.5	2.32	1.94	1.83
平均值		2.85	3.01	2.54	0.11	0.12	0.12	0.72	0.59	0.52	2.17	1.89	1.70
標準差		0.06	0.23	0.19	0.01	0.01	0.003	0.12	0.06	0.09	0.20	0.12	0.10
參考值		2.9-3.2			0.12-0.18			1.4-1.7			2.5-4.5		

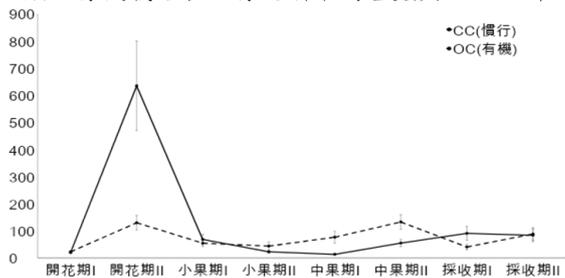
表2. 2020-2022年調查區之植體分析結果(氮、磷、鉀及鈣)

單位：桃園區農業改良場
 研究人員：莊國鴻、湯雪溶*
 *E-mail: sjtang@tydais

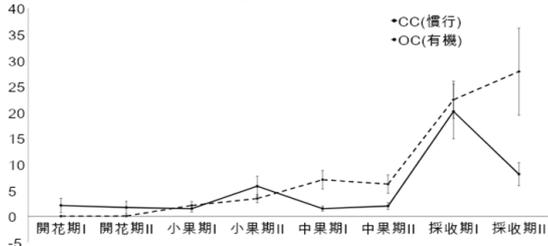
慣行及有機農法對文旦果園標的昆蟲及產量之影響：以苗栗縣西湖鄉為例

本試驗自109-111年度於苗栗縣西湖鄉有機及慣行栽培文旦果園進行長期生態監測，每年於開花期、小果期、中果期及採收期懸掛黃色黏板進行標的昆蟲薊馬、東方果實蠅及瓢蟲監測、果園土壤特性分析、葉片植體分析及產量調查。

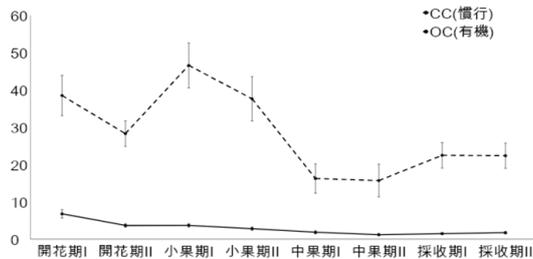
109至111年特定蟲相調查累積數量顯示，薊馬好發於慣行園區的開花期(慣行園區第二次開花期累計數量22,822隻；有機累計數量4,672隻)，顯示有機耕作環境有助於降低薊馬族群；東方果實蠅不論有機或慣行均於採收期出現數量高峰(有機累計數量1,809隻；慣行累計數量1,018隻)；有機園區的瓢蟲各時期均高於慣行園區(有機累計數量8,199隻；慣行累計數量834隻)，推測為慣行農法施用化學農藥的環境不利於瓢蟲族群建立。文旦單株產量調查顯示，有機及慣行果園於109年及110年單株產量介於187.27至224.98公斤，統計上未達顯著差異；111年則以有機果園產量267.20公斤高於慣行果園219.47公斤並達顯著差異，三年平均產量以有機果園平均單株產量226.48公斤略高於慣行果園218.81公斤，惟統計上未達顯著差異。110年有機果園平均單株產量較少，推測可能與當年3-5月份開花至小果期時乾旱及較粗放管理等因素有關，但統計上未達顯著差異；109年、111年及三年平均單株產量皆以有機果園產量較高，顯示有機栽培管理有逐漸平衡害蟲與天敵族群的關係，亦能維持較佳的農業生態系之生產力。



圖一、109至111年西湖鄉文旦有機及慣行薊馬累計數量



圖二、109至111年西湖鄉有機及慣行東方果實蠅累計數量



圖三、109至111年有機及慣行園區瓢蟲累計數量

表一、109至111年西湖鄉文旦有機及慣行單株產量(公斤/株)

年度/ 耕作方式	有機	慣行
109	224.98 ± 32.2 a	218.57 ± 25.0 a
110	187.27 ± 25.0 a	218.40 ± 25.3 a
111	267.20 ± 19.7 a	219.47 ± 21.0 b
年平均產量	226.48 ± 15.7 a	218.81 ± 13.3 a

^aMeans within each row followed by the same letter are not significantly different at 5% level by paired t-test. ^bMean ± SE



圖四、有機文旦果園監測站黃色黏板設置及文旦中果期生長情形

單位:苗栗區農業改良場

研究人員:張凱傑、劉東憲、蔡正賢、林鈺荏、任心怡*

*E-mail:herb36@mdais.gov.tw

中部地區百香果 -不同栽培方法之土壤有效性元素比較

- 南投縣是百香果重要產區。百香果進入生產期後覆蓋面積大，但除基肥外，追肥集中在植株主幹周圍。百香果長期調查站包含：有機栽培田區(OC1、2)位於埔里盆地，土壤屬砂頁岩粘板岩混合非石灰性沖積土；慣行田區(CC5-8)位於大坪頂地區，為洪積母質紅壤；臺中改良場埔里分場，設有機(OC3)與慣行(CC4)對照田區，屬砂頁岩黃壤，各區土壤基本性質存在差異。百香果土壤調查分別於期作初期約2-4月及期作末期11月進行。
- 期作初期，由於基肥後，表土養分較高，電導度亦較高。將不同時期土壤養分比較，有機區(OC1、OC2)，除鈣、鎂、銅、鐵等元素外，氮磷鉀元素濃度大多皆減少(正值)，顯示土壤營養鹽殘留較少；埔里分場(OC3、CC4)，參考合理化施肥，有效性元素殘留相較有機栽培減少更多(正值)；慣行田區(CC5-8)則有明顯殘留情形，特別是氮的殘留(負值)。初步比較較，慣行田區有較高營養鹽殘留之情形，肥分有過度追施情形。

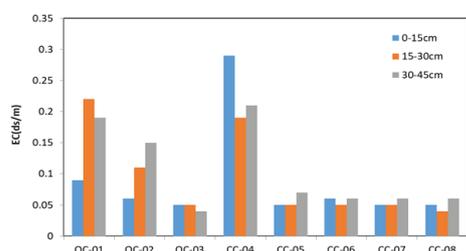


圖1. 種植初期(2-4月)土壤EC值

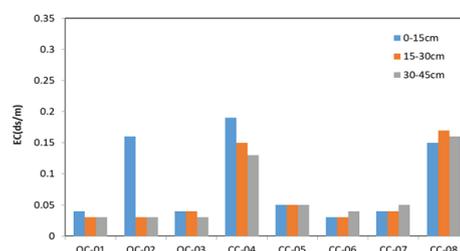


圖2. 收穫末期(12月)土壤EC值

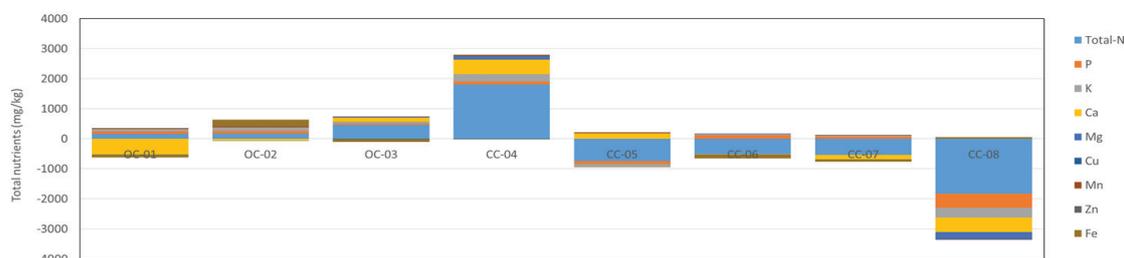


圖3. 年度期作土壤有效性元素變化(種植初期減收穫末期)

單位：臺中區農業改良場
研究人員：廖崇億*、昌佳致、郭雅紋、白桂芳
*E-mail:cylliao@tdais.gov.tw

中部地區葡萄與百香果- 不同栽培模式之蟲相調查

本研究透過彰化縣葡萄園及南投縣百香果園之農業生態系長期監測站點建置，尋求適合農業永續發展的管理模式。彰化縣葡萄產區分布於溪湖及大村等鄉鎮，目前最普遍的栽培為分別在6-7月生產夏果與12-1月生產冬果之一年二收模式，以及利用溫室設施生產4-5月的春果模式。南投縣埔里鎮大坪頂為百香果專業產區，種植面積已佔全臺2/3以上，主要收穫期為6月至隔年1月。

1. 葡萄研究自2023年開始，選擇生產春果的溫室葡萄園及1年2收栽培模式的網室葡萄園進行調查，共計6個試驗區。樣區分別在葡萄催芽後、花期、掛果期於棚下置黃色黏板及利用掃網調查常見瓢蟲及薊馬等標的昆蟲，並運用產量、用藥與施肥紀錄、設施種類及產期調節模式分析生態調查資料，以建立葡萄週期變化資料庫。

2. 百香果研究自2022年開始，於南投縣魚池鄉及埔里鎮百香果園進行。田區調查結果指出，蚜蟲及瓢蟲數量以4月最多，8月最少，推測為7-8月份平均溫度較高(27°C)造成昆蟲數量較少。全年瓢蟲數量有機區顯著高於慣行區，並且以魚池地區數量最多。全年蚜蟲數量在各園區間無顯著差異，且以4-6月蚜蟲數量較多，8-10月數量較少。黃色黏板調查雖無東方果實蠅和熱潛蠅被誘集，但植株仍有受害徵狀，推測原因為實施藥劑管理致使標的昆蟲族群密度降低，致不易受黃色黏板誘引。



圖1. 網室栽培田區(左)與溫室栽培田區(右)葡萄植株生長情形。



圖2. 慣行田區百香果熱潛蠅危害果實情形(左)及其羽化孔(右)。

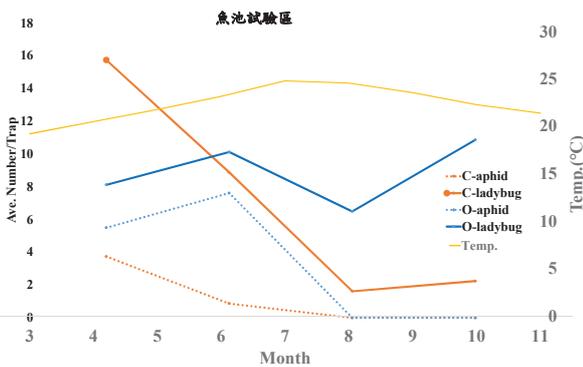


圖3. 2022年不同月份中央氣象局魚池測站(埔里分場72HA00)平均氣溫與慣行試驗區、有機試驗區蚜蟲(aphid)及瓢蟲(ladybug)之數量變化。

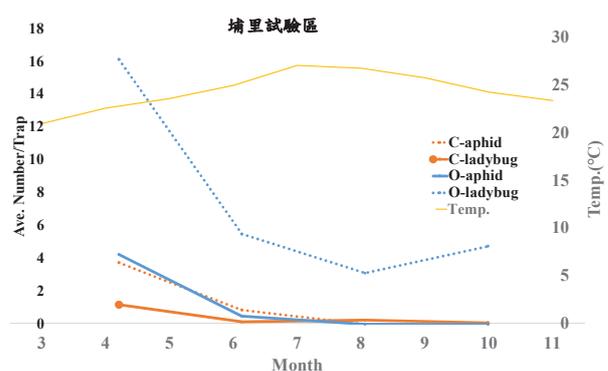


圖4. 2022年不同月份中央氣象局埔里測站(COH890)平均氣溫與慣行試驗區、有機試驗區蚜蟲(aphid)及瓢蟲(ladybug)之數量變化。

研究人員: 昌佳致*、郭雅紋、董耀仁、廖崇德、張仁育、王茗慧、白桂芳
*E-mail: clipchang@tdais.gov.tw



行政院農業委員會臺南區農業改良場
Tainan District Agricultural Research & Extension Station

芒果小黃薊馬監測及藥劑篩選試驗

行政院農業委員會臺南區農業改良場

陳盈丞、黃美靜

前言

芒果(*Mangifera indica* L.)為台灣內、外銷市場重要的農產品，是我國第二大外銷鮮食水果。台灣芒果園出現的薊馬種類至少有6種(Shih *et al.* 2013)，其中以小黃薊馬(*Scirtothrips dorsalis* Hood)、花薊馬[*Thrips hawaiiensis* (Morgan)]發生最為普遍。近年來以小黃薊馬危害最為嚴重，在芒果抽芽期大量發生吸食危害新芽，造成新芽變形皺縮或枯萎(圖1)，影響芒果樹勢生長及後期之花穗形成；而小黃薊馬危害花穗會影響結果數量，幼嫩小果受薊馬銜食表皮受傷，成長後果實表皮褐化粗糙而失去商品價值，因此，徹底防治小黃薊馬為目前芒果生產過程中亟待解決的問題之一。

材料方法

2021年4月至2023年2月於玉井芒果園內懸掛黃色及藍色黏紙各3張(215 mmx 150 mm，高冠牌)，每兩週更換一次，並將其攜回實驗室以解剖顯微鏡檢查，紀錄黏紙上捕捉到的小黃薊馬及花薊馬數量。藥劑篩選測試小黃薊馬二齡幼蟲對藥劑之敏感性，以浮葉法方式進行試驗，透過藥劑噴霧塔噴施可用於芒果上之9種登記殺蟲劑及登記於柑橘薊馬類之2種藥劑，而對照組噴施RO (Reverse Osmosis, RO)水，每處理三重複，噴施藥劑後置於恆溫生長箱(25°C，55% RH，12L:12D)，並於12、24及48小時進行觀察，計算死亡蟲數及校正死亡率。

結果與討論

監測資料顯示(圖2)小黃薊馬於芒果整個生育期皆有發生，其中大量發生於兩個時期，分別為2~3月開花期及7~8月芒果採收期後。而花薊馬主要發生在芒果2~3月開花期，其他時期僅零星發生，且以藍色黏紙數量較黃色黏紙高。另外可觀察到小黃薊馬田間密度會受雨量影響，當有長期降雨時，族群密度數量會呈現下降趨勢。若花期未有明顯降雨情形，將導致族群密度呈現上升趨勢。2023年2月盛花期時降雨量為0 mm，小黃薊馬族群數樣達到三年來的高峰，平均每張黃色黏紙有1,622隻，藍色黏紙有832隻。郝(2017)調查芒果於不同時期小黃薊馬數量也有類似的結果，且將小黃薊馬族群累計數量與每月氣象資料分析顯示小黃薊馬族群變動與雨量呈負相關，但與溫度呈正相關。因此，未來農民在芒果小黃薊馬用藥管理上，可參考當年度花期的降雨情形來決定用藥頻度及種類。藥劑篩選結果(表1)顯示以芒果登記藥劑11.7%賜諾特8000倍、10%克凡派1000倍、2.5%賜諾殺1000倍及柑橘薊馬類藥劑43%佈飛松1000倍、20%覆滅蟪400倍噴施小黃薊馬二齡幼蟲，處理48小時後藥劑效果顯著高於其他藥劑，其校正死亡率可達90%以上，其次為40%納乃得1500倍，處理後48小時之校正死亡率為57.0%，其他供試藥劑之效果均不佳，處理後48小時校正死亡率為16.4%~32.3%。藥劑效果較佳之5種藥劑分別為3種不同的作用機制，其中佈飛松及覆滅蟪雖非芒果登記用藥，但亦可供參考登記應用，作為田間防治薊馬時輪用藥劑之參考。



圖1. 小黃薊馬於芒果上造成的為害狀。(a)小黃薊馬聚集於葉脈受害;(b)小黃薊馬危害嫩葉造成褐化;(c)小黃薊馬危害果實造成傷疤。

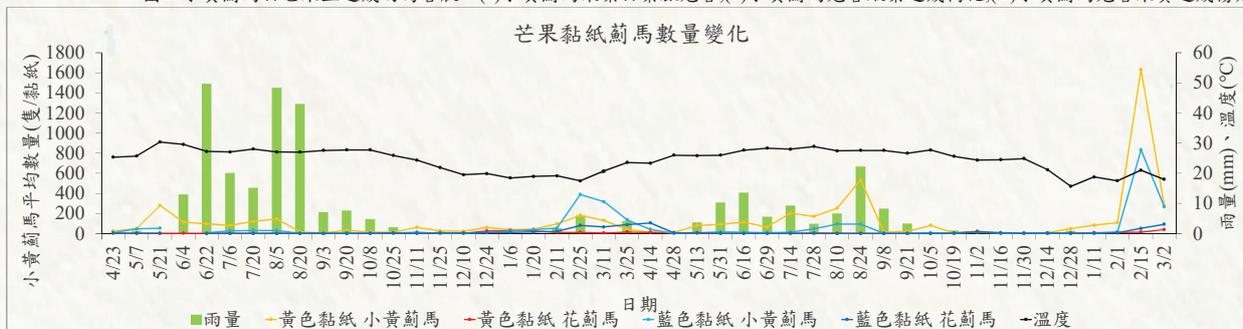


圖2. 台南玉井試驗區黏紙上薊馬數量及平均溫度、相對濕度

表1. 以噴藥塔對小黃薊馬若蟲噴施不同供試藥劑後 12 小時、24 小時、48 小時死亡率

	藥劑名稱	IRAC	劑型	推薦稀釋倍率(倍)	濃度(ppm)	施藥後時數及死亡率(%)		
						12 hrs	24 hrs	48 hrs
芒果登記藥劑	賜諾特	5	11.7%水懸劑	8000	14.6	59.8±11.6 ^{abc}	83.5±6.3 ^a	97.9±1.5 ^a
	克凡派	13	10%水懸劑	1000	100.0	73.3±6.0 ^a	78.6±8.6 ^{ab}	91.5±5.5 ^a
	賽洛寧	3A	2.8%乳劑	1000	28.0	13.5±5.1 ^d	15.6±3.6 ^c	32.3±6.2 ^c
	益達胺	4A	9.6%溶液	1500	64.0	1.9±3.6 ^d	6.7±7.1 ^{ef}	30.9±8.5 ^c
	亞滅培	4A	20%水溶性粉劑	3000	66.7	3.9±2.4 ^d	8.7±5.5 ^{ef}	22.5±7.3 ^{cd}
	畢芬寧	3A	2.8%乳劑	1000	28.0	2.5±4.4 ^d	4.4±5.3 ^c	20.7±8.5 ^{cd}
芒果其他蟲害登記藥劑	賜諾殺	5	2.5%水懸劑	1000	25.0	64.6±10.4 ^{ab}	78.7±8.7 ^{ab}	97.0±4.3 ^a
	納乃得	1A	40%水溶性粉劑	1500	266.7	9.5±8.4 ^d	34.9±11.7 ^d	57.0±24.0 ^b
	第滅寧	3A	2.8%乳劑	1500	18.7	7.1±2.4 ^d	11.1±3.6 ^{ef}	16.4±3.6 ^{cd}
非芒果登記藥劑	佈飛松	1B	43%乳劑	1000	430.0	46.4±8.8 ^c	70.3±3.1 ^{bc}	96.9±2.5 ^a
	覆滅蟪	1A	20%水溶性粉劑	400	500.0	51.2±8.8 ^{bc}	62.1±2.1 ^c	96.0±1.4 ^a

慣行及有機農法對於文旦果園土壤 及蟲相之影響:以麻豆地區為例

2022年於麻豆地區進行慣行及有機文旦園區下不同作物生長期之特定蟲相調查及採收期進行土壤肥力、植體養分及產量調查：

1. 小黃薊馬於開花期族群較高、東方果實蠅於中果期後族群較高。瓢蟲族群於各監測時期之族群數量皆以有機區較高。有機園區瓢蟲族群較慣行園區高，顯示有機農法可能提高益蟲族群外。
2. 土壤肥力除土壤有效性鈣以外，其餘指標於慣行及有機園區未達到顯著差異。比對文旦建議葉片濃度，慣行及有機園區之葉片分析結果除葉片鉀含量高於建議值為其於皆在建議值中。

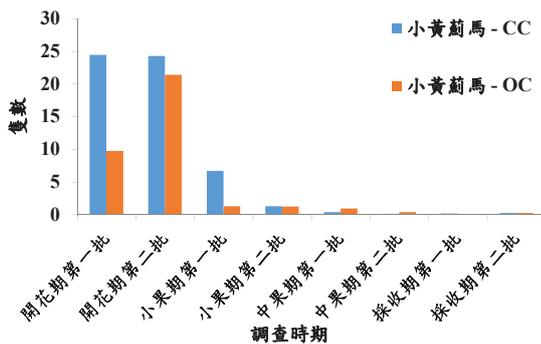


圖1. 2022年有機及慣行文旦果園之小黃薊馬族群變化
表1. 慣行及有機園區表土(0-15公分)土壤肥力分析結果

分析項目	慣行	有機	p-value
EC, dS m ⁻¹	0.12	0.10	0.664
pH	7.37	7.86	0.185
O.M., %	1.73	1.43	0.627
有效性磷, mg kg ⁻¹	405.5	220.1	0.200
交換性鉀, mg kg ⁻¹	275.3	234.7	0.583
交換性鈣, mg kg ⁻¹	3108.9	2942.1	0.754
交換性鎂, mg kg ⁻¹	455.4	491.0	0.719

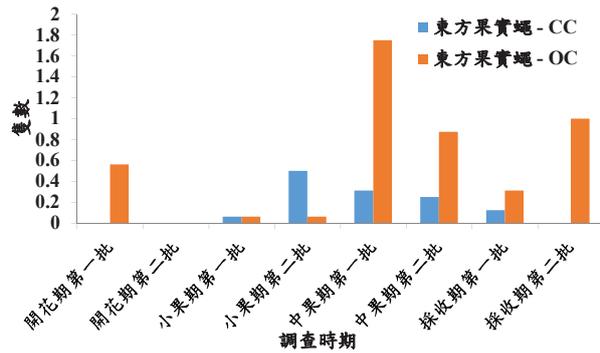


圖2. 2022年有機及慣行文旦果園之東方果實蠅族群變化
表2. 慣行及有機文旦園區葉片分析結果

分析項目	慣行	有機	p-value	建議值 (mg kg ⁻¹)
氮(mg kg ⁻¹)	26378	24363	0.137	22000-25800
磷(mg kg ⁻¹)	1319	1277	0.417	1200-1800
鉀(mg kg ⁻¹)	23742	22448	0.360	14000-17000
鈣(mg kg ⁻¹)	31673	38441	0.006*	25000-45000
鎂(mg kg ⁻¹)	3674	3930	0.149	2600-5000

*表示處理間達到顯著差異，p<0.05

單位: 臺南區農業改良場¹、國立嘉義大學植物醫學系²
研究人員: 潘佳辰¹、陳盈丞¹、林明瑩²、魏紹華²、簡芝楹¹、黃瑞彰¹
*E-mail: ccpan@tndais.gov.tw

卑南鄉鳳梨釋迦果園生態監測站之 蟲相、土壤肥力及產量調查

為使農業長期生態監測站具有穩定、一致的調查方法，累積長期調查成果，於臺東縣卑南鄉鳳梨釋迦果園設置8處長期生態監測站，其中4處為慣行農法，另外4處為有機農法。

蟲相調查結果發現除萌芽期薊馬在慣行栽培果園較高（262.8隻/黏蟲紙/2週）外，在兩種栽培模式中族群量相近，有機果園在不同的果樹生育期中，薊馬族群均介於29.9-71.2隻/黏蟲紙/2週，開花授粉期略高。粉介殼蟲族群數量在不同的果樹生育期中，有機果園採得之蟲數均較慣行果園高；瓢蟲類以有機果園誘得之瓢蟲數高於慣行果園。

土壤分析方面，除了CC-3，土壤有機質含量普遍皆大於3%，為高土壤有機質含量，但土壤有效性磷含量及土壤交換性鉀含量，不論是慣行農法或是有機農法之果園，其土壤數值普遍偏高，可能與農友肥培管理方式有關。

產量調查方面，有機農法單株產量較慣行區低52%，未來將持續調查相關資料，並探討提升產量之管理方式。

表1. 111年臺東區卑南鄉鳳梨釋迦監測站土壤分析、產量及品質調查結果

農法	試驗場域代號	有機質含量 (%)	有效性磷含量 (mg/kg)	交換性鉀含量 (mg/kg)	單果重 (g)	單株產量 (kg)
慣行	CC-1	3.6	722.7	460.8	624	23.1**
	CC-2	3.6	109.5	235.7	630	22.0**
	CC-3	2.8	215.3	521.4	635	20.3**
	CC-4	3.2	543.4	382.3	634	22.8**
有機	OC-1	7.4	417.3	473.4	529	12.7
	OC-2	4.9	223.9	878.4	666	13.9
	OC-3	10.9	464.7	217.1	456	4.1
	OC-4	9.4	528.9	305.6	628	11.3

註：**: p value < 0.01

研究人員:張繼中*、黃文益、許育慈、蔡恕仁
*E-mail:720a@mail.ttdares.gov.tw

不同農法對芒果炭疽病之生態影響

1. 111年度於枋山鄉芒果園設立5區農業長期生態監測站，其中包含有機農法芒果園1區(OC_01)、友善轉型農法芒果園1區(FC_01)及慣行農法芒果園3區(CC_01-03)。已於2月（花期偶入小果期）、6月（採收期）及10月(生長期)，共3個不同芒果生長時期進行芒果炭疽病監測調查，每時期每2週進行監測調查一次。每次調查每區逢機選取4株芒果樹，每株逢機選取6片葉片進行調查，6月（採收期）時增加果實調查，每株逢機選取6顆芒果進行調查。共計完成30場次監測調查。另，亦協助農試所於採收期進行芒果葉片及果實樣本採集，各5場次。
2. 2月、6月及10月監測園區內芒果葉片的炭疽病監測調查結果詳如下圖1，其中友善及有機園區之炭疽病罹病度隨時間增加，於生長期最為嚴重，而在3區慣行園區部分，則無一定趨勢。整體而言以有機園區之炭疽病罹病度最高，其次為友善園區。
3. 因受111年度年初天災影響導致謝花，故監測園區中僅剩慣行CC_01及CC_02園區有果實供炭疽病及產量調查。該二園區之果實的果實炭疽病罹病度分別約8.7%與12.9%，而每分地產量分別約686公斤與400公斤。

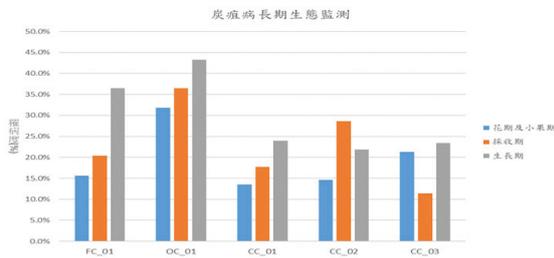


圖1、各監測田區之炭疽病發生情形。



圖2、各監測田區之地理位置。

OC_01									
氮(%)	磷(%)	鉀(%)	鈣(ppm)	鎂(ppm)	錳(ppm)	鐵(ppm)	銅(ppm)	鋅(ppm)	鈉(ppm)
1.22	0.18	1.24	14663.88	2802.45	115.47	46.74	12.39	22.21	279.94
FC_01									
氮(%)	磷(%)	鉀(%)	鈣(ppm)	鎂(ppm)	錳(ppm)	鐵(ppm)	銅(ppm)	鋅(ppm)	鈉(ppm)
1.37	0.16	1.02	34876.47	2163.01	45.64	58.15	14.21	32.22	186.07
CC_01									
氮(%)	磷(%)	鉀(%)	鈣(ppm)	鎂(ppm)	錳(ppm)	鐵(ppm)	銅(ppm)	鋅(ppm)	鈉(ppm)
1.17	0.19	1.03	24949.94	2987.34	240.95	56.91	35.76	45.36	301.87
CC_02									
氮(%)	磷(%)	鉀(%)	鈣(ppm)	鎂(ppm)	錳(ppm)	鐵(ppm)	銅(ppm)	鋅(ppm)	鈉(ppm)
1.24	0.22	0.95	25942.06	3964.08	107.24	48.7	14.58	29.58	187.23
CC_03									
氮(%)	磷(%)	鉀(%)	鈣(ppm)	鎂(ppm)	錳(ppm)	鐵(ppm)	銅(ppm)	鋅(ppm)	鈉(ppm)
1.41	0.23	1.2	8625.9	3495.94	46.87	38.79	15.43	23.19	228.12

圖3、各監測田區之芒果葉片植體分析。

OC_01											
酸鹼度	有機質(%)	磷(ppm)	鉀(ppm)	鈣(ppm)	鎂(ppm)	錳(ppm)	鐵(ppm)	銅(ppm)	鋅(ppm)	鈉(ppm)	電導度
6.24	2.84	803	250	3077	200	498	12	1.1	14	30	0.04
FC_01											
酸鹼度	有機質(%)	磷(ppm)	鉀(ppm)	鈣(ppm)	鎂(ppm)	錳(ppm)	鐵(ppm)	銅(ppm)	鋅(ppm)	鈉(ppm)	電導度
6.8	2.72	196	195	3846	268	400	62	3.6	7.5	14	0.12
CC_01											
酸鹼度	有機質(%)	磷(ppm)	鉀(ppm)	鈣(ppm)	鎂(ppm)	錳(ppm)	鐵(ppm)	銅(ppm)	鋅(ppm)	鈉(ppm)	電導度
6.24	4.39	71	237	2003	294	256	26	7	14	13	0.06
CC_02											
酸鹼度	有機質(%)	磷(ppm)	鉀(ppm)	鈣(ppm)	鎂(ppm)	錳(ppm)	鐵(ppm)	銅(ppm)	鋅(ppm)	鈉(ppm)	電導度
6.16	2.09	16	80	1339	380	152	37	4.7	2.7	16	0.05
CC_03											
酸鹼度	有機質(%)	磷(ppm)	鉀(ppm)	鈣(ppm)	鎂(ppm)	錳(ppm)	鐵(ppm)	銅(ppm)	鋅(ppm)	鈉(ppm)	電導度
6.68	1.2	46	124	1144	301	235	64	7.2	4.8	12	0.03

圖4、各監測田區之土壤分析。

單位: 高雄區農業改良場
研究人員: 陳泰元 助理研究員
E-mail: taiyuan@mail.kdais.gov.tw

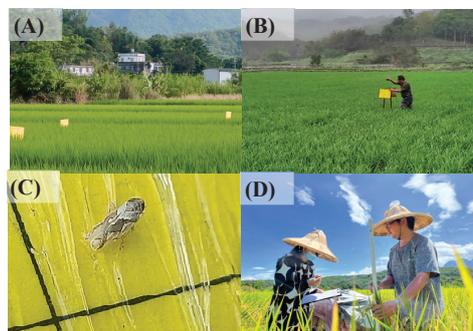
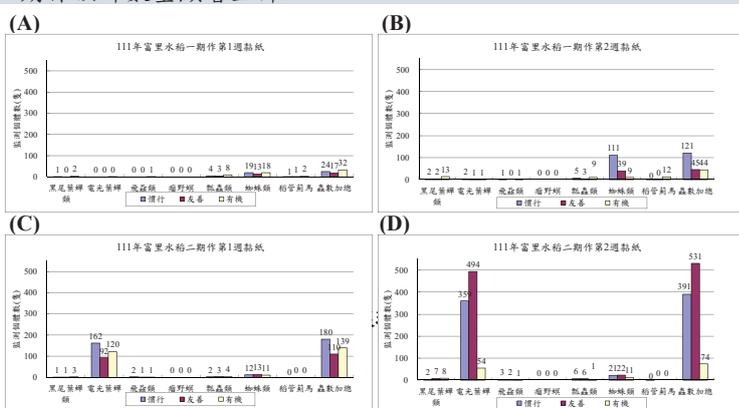


行政院農業委員會花蓮區農業改良場
Hualien District Agricultural Research and Extension Station, COA

花蓮富里水稻產區長期生態監測

本研究自109年開始，於花蓮縣富里鄉水稻田進行生態監測，比較慣行、友善和有機不同農法間，其昆蟲相、土壤理化性質、植體元素分析與水稻產量。

一、蟲相調查：111年黃色黏板調查昆蟲相結果與歷年類似(圖一)，天敵主要捕獲類群為蜘蛛目，尤在一期作調查中占總蟲數五成以上，且慣行田區數量較高，可能與其數量較豐富的中性物種(搖蚊等非直接危害水稻之昆蟲類群)有關。稻管薊馬監測數量為歷年最低，有機田區數量最多，主要發生於一期作，二期作數量極少。飛蟲類則全年均僅有零星紀錄，並未監測到瘤野螟。電光葉蟬為新增監測項目，於二期作族群數量顯著上升。



圖二、試驗過程影像紀錄

(A)黃色黏板架設情形 (B)農友協助黃色黏板架設
(C)電光葉蟬 (D)場內同仁進行產量調查

圖一、111年水稻田監測害蟲和天敵之數量。

(A)一期作第一週、(B)一期作第二週、(C)二期作第一週、(D)二期作第二週

二、營養分析：在土壤酸鹼度及電導度方面，本年度各區二期作間差異不大(表一)，皆在pH 6.4-6.9間，及EC 0.1-0.2 dS/m間。表土有機質的變化方面，相較於110年各區間無顯著差異，本年度分析結果呈現出慣行田區較低，友善及有機田區較高的趨勢。另植體營養分析中有機田區二期作有機質顯著高於另外二區，推測與造成曬田終止分蘖效果不佳，使無效分蘖數增加(三區分別為0.5、1.1、4.5)相關(表二)。

三、產量調查：一期作產量以慣行農法田區5873 kg/ha為最高，其次是友善田區，產量為5486 kg/ha，有機田區顯著低於前二者為4697kg/ha。二期作水稻產量於慣行和友善分別為6190、6098kg/公頃，有機田區產量則降至2159kg/公頃(表三)，經比對調查資料，為有機田區在接近採收期時遭逢二化螟危害嚴重，造成分蘖數下降(三區分別為22.0、24.2、19.4)之現象(表二)。

表一、111年水稻田三樣區監測點土壤理化性質

期作	農法	樣區	酸鹼度	電導度(mS/cm)	有機質含量(%)
一期作	慣行	表土	6.73	0.16	2.78
		底土	7.23	0.17	2.08
	友善	表土	6.43	0.20	3.70
		底土	6.75	0.21	2.23
	有機	表土	6.80	0.12	2.90
		底土	7.10	0.11	2.43
二期作	慣行	表土	6.85	0.11	2.80
		底土	6.95	0.10	1.90
	友善	表土	6.60	0.10	3.13
		底土	6.83	0.11	1.88
	有機	表土	6.48	0.11	3.60
		底土	6.63	0.09	3.13

表二、111年水稻田三樣區植體營養分析

期作	農法	樣區	株高(cm)	分蘖數	穗數 (有效分蘖數)	無效分蘖數
一期作	慣行		108.20	26.65	26.55	0.10
	友善		98.85	29.80	29.70	0.10
	有機		99.15	26.00	25.45	0.55
二期作	慣行		107.70	22.00	21.50	0.50
	友善		103.20	24.20	23.15	1.05
	有機		104.40	19.35	14.85	4.50

表三、109年至111年三樣區水稻產量(kg/ha)

	慣行 CC	友善 FC	有機 OC
109 一期作	5705 ± 938.98	5770 ± 1072.53	4520 ± 663.18
109 二期作	5515 ± 645.32	4960 ± 1746.21	5605 ± 985.74
110 一期作	8115 ± 1091.24	8285 ± 1105.33	7180 ± 981.93
110 二期作	4525 ± 299.69	3800 ± 380.38	3600 ± 375.25
111 一期作	5873 ± 315.38	5486 ± 254.35	4697 ± 520.78
111 二期作	6190 ± 885.86	6098 ± 476.67	2159 ± 541.88

研究人員: 林立*、倪禮豐、林俊成、嚴國恩、陳怡樺
*E-mail: llin@hdares.gov.tw

112年度農業生態系長期生態研究研討會

池上鄉水稻生態監測站之 蟲相、土壤肥力及產量調查

為使農業長期生態監測站具有穩定、一致的調查方法，累積長期調查成果，於臺東縣池上鄉水稻田設置8處長期生態監測站，其中4處為慣行農法，另外4處為有機或友善農法。

蟲相調查結果發現害蟲飛蟲類及瘤野螟均未採得，黑尾葉蟬類族群亦偏低，各不同栽培模式之田區採得之蟲數介於0.2-1.0隻/黏紙/週，以慣行區最高，友善區次之；天敵蜘蛛在不同栽培模式下族群密度差異不大，以有機栽培區略高於其他栽培區；瓢蟲則以友善及有機栽培區高於慣行栽培區。

土壤分析方面，1、2期作有機或友善農法水稻田之土壤有機質含量皆高於3%，但土壤有效性磷含量及土壤交換性鉀含量，不論是慣行農法或是有機、友善農法之水稻田，其土壤數值皆為偏高，可能與農友肥培管理方式有關。

產量調查方面，第1期作及第2期作有機及友善農法稻米產量普遍可達5,000公斤，但仍較慣行栽培產量低（友善減少18%，有機減少30%）。未來將持續調查相關資料，並探討提升產量之管理方式。

表1. 111年臺東區池上鄉水稻監測站土壤分析、產量及品質調查結果

農法	試驗場域代號	有機質含量 (%)		有效性磷含量 (mg/kg)		交換性鉀含量 (mg/kg)		第1期作產量 (kg/ha)	第2期作產量 (kg/ha)
		I	II	I	II	I	II		
慣行	CC-1	2.86	2.62	10.2	7.7	98.6	91.0	6,337*	6,866*
	CC-2	4.20	3.98	22.0	25.8	85.1	113.0	6,865*	6,924*
	CC-3	2.62	2.51	15.2	20.2	69.3	116.6	7,921**	7,628**
	CC-4	2.71	2.27	25.8	21.6	107.4	59.8	5,750	6,278*
友善	FC-1	5.05	4.75	15.7	12.3	129.2	113.6	5,868	5,623
有機	OC-1	4.87	4.42	22.3	20.1	84.8	117.8	5,985	5,223
	OC-2	4.02	3.54	17.8	17.0	146.2	136.0	4,518	4,108
	OC-3	3.56	3.72	34.5	31.9	171.4	138.4	5,457	5,105

註：1. I為1期作，II為2期作。

2. I期作之各試驗場域種植品種皆為高雄139號；2期作除CC-1種植品種為高雄145號及CC-4種植品種為臺稈2號，其餘種植品種為高雄139號。

3. *: p value < 0.05；**: p value < 0.01

研究人員:張繼中*、黃文益、許育慈、蔡恕仁
*E-mail:720a@mail.ttdares.gov.tw

綜合座談與活動花絮

綜合座談

1. 提問：在氣候變遷影響下，種植茭白筍季節氣溫越來越高，近年來容易出現熱障礙的現象，影響茭白筍生長，請問農友在自行留種時，該如何克服熱障礙？

回覆：茭白筍是營養繁殖的作物所以他們每一株的基因型是完全一致的，也沒有種原可以利用，更難以雜交，因此無法用傳統育種的方式來改良耐熱性。
2. 提問：水稻休耕期間，會建議種植甚麼植物來營造田區有益昆蟲族群？

回覆：一般狀況下，建議在田埂上種植開花植物，來吸引授粉昆蟲並且營造有益昆蟲生活環境。營造過程中需要維持開花植物能整年度生長，以維持有益昆蟲族群。參考資料上，建議可參閱花蓮區農業改良場出版之利用田埂開花植被管理水稻田害蟲等刊物。
3. 提問：能否再說明一次如何在氣候變遷下進行作物育種。

回覆：

 - (1) 長期氣溫或氣候的預測，需要將過去 10 年的高低溫，平均值，都收集起來，這就是我們的基本資訊。但是現在的氣候是非常容易驟變的，預測起來也比以前困難，所以我們能夠做到短期大約三五天內的預測能夠準確已經很不容易了。
 - (2) 未來面臨的作物育種是要育成具有強的韌性特性，在極高與極低的範圍內都能存活的品種，需要能忍受最高，最低溫的溫度變化，所以如前面所說的抗紋枯病的育種相同，都是屬於多基因控制的性狀，基因多，效應很小，容易受到環境因子的影響，所以必須堆疊多個基因才能夠達到具有韌性的特性，如耐旱性、耐熱性等，都是屬於此類的特性這是目前我們所能做到的，是一極為挑戰的工作。
 - (3) 育種是一長期的工作本來就趕不上氣候的變化，必須未雨綢繆，所以我們要先針對現有的目標性狀進行篩選、建立可用的基因型，我們還要繼續努力。
4. 今天的會議中談論到目前已經收集到許多農業長期生態研究資料，為了能夠更清楚試驗田區中各因子之間的關係，建議可以進行結構方程模型（Structural Equation Modeling）分析。
5. 農友也需要對於自己的園區進行生態觀察，不論是耕作老手或是新手皆需要，建議未來能有相關的教育訓練或是觀察的 SOP 讓有興趣觀察園區生態的農友可以順利上手。

活動花絮



范主任秘書美玲開場致詞



林所長學詩開場致詞



楊場長宏瑛開場致詞



楊分場長藹華於臺南場服務超過 32 年，
祝福分場長榮退愉快！



與會來賓大合照



場長及黃副研究員向主秘解說本場國
土生態綠色網絡執行成果



黃山內董事長擔任第一節主持人



陳琦玲博士主講「農業長期生態研究回顧與展望」



楊秋忠院士主講「長期水旱田輪作生態系在不同施肥處理之土壤微生物研究」



林幸助終身特聘教授主講「長期生態研究甘苦談：以墾丁為例」



楊藹華分場長主講「雲林地區農業長期生態系對作物生產力之評估」



林儒宏站長主講「中南部茶區農業氣象之溫度調查與變化趨勢」



董耀仁助理研究員主講「農業長期生態系昆蟲調查、分析應用及注意事項」



陸聲山研究員主講「長期生態調查的資料管理原則」



張哲瑋研究員主講「氣候變遷下荔枝園管理調適」



王強生教授主講「因應氣候變遷水稻育種策略」



侯金日副教授主講「有機輪作制度對作物產量與品質之影響」



侯秉賦助理研究員主講「強化有機土壤的健康評估」



綜合座談時間與會來賓針對議題提問及提供建議

國家圖書館出版品預行編目(CPI)資料

農業生態系長期生態研究研討會專刊. 112年度 /
陳琦玲, 楊秋忠, 林幸助, 楊藹華, 林儒宏, 董耀仁,
陸聲山, 王強生, 張哲瑋, 侯金日, 侯秉賦作 ;
潘佳辰, 簡芝楹, 黃瑞彰主編.

-- 臺南市: 行政院農業委員會臺南區農業改良場,
民112.07 面; 公分

ISBN 978-626-7110-99-7(平裝)

1.CST: 農業生態 2.CST: 永續農業 3.CST: 文集

430.163307 112012059

書名 | 112年度農業生態系長期生態研究研討會專刊
作者 | 陳琦玲、楊秋忠、林幸助、楊藹華、林儒宏、董耀仁、陸聲山
王強生、張哲瑋、侯金日、侯秉賦 (按文章順序)
發行人 | 楊宏瑛
主編 | 潘佳辰、簡芝楹、黃瑞彰
出版機關 | 行政院農業委員會臺南區農業改良場
地址 | 712009臺南市新化區牧場70號
網址 | <https://www.tndais.gov.tw/>
電話 | 06-5912901
印刷 | 拾浩企業社
出版年月 | 112年7月
編印本數 | 450本
定價 | 300元
展售書局 | 國家書坊台視總店
台北市松江路209號1樓
(02)25180207
五南文化廣場
台中市中山路6號
(04)2226033 0轉36

ISBN | 978-626-7110-99-7 (平裝)



行政院
農業委員會 臺南區農業改良場



9 786267 110997

定價：300元