

農業用微生物產業固本與加值應用技術研發 成果與展望

蘇俊峯^{1*}、林宗俊¹、郭聆亦²、林素禎³、陳俊位⁴、郭建志⁵、謝廷芳⁶

¹ 農業部農業試驗所植物病理組副研究員。

² 農業部農業試驗所農業化學組助理研究員。

³ 農業部農業試驗所農業化學組副研究員。

⁴ 農業部臺中區農業改良場作物環境科研究員。

⁵ 農業部臺中區農業改良場作物環境科副研究員。

⁶ 農業部農業試驗所主任秘書。

* forte9135101@tari.gov.tw

摘 要

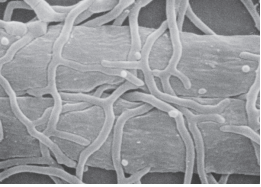
為確保臺灣農業永續發展，活絡我國微生物製劑產業，加速評估生物農藥、生物肥料的推廣應用，以及生物性防治資材技術研發與產業化，協助回復土壤地力，強化農地生態與生物多樣性研究。農業部於2021-2024年規劃辦理「農業用微生物產業固本與加值應用技術研發」統籌計畫，計畫聚焦於 (1) 建構微生物功能性功效與安全性評估技術，活絡微生物製劑產業；(2) 建立健康土壤的微生物評估指標，協助土壤回復地力；(3) 發展農業用微生物加值應用技術，增加作物對環境逆境的緩解能力，紓解農產業面臨的問題。繼之，2025-2028年持續規劃「農業用有益微生物產業化之推動與升級」統籌計畫，將聚焦於業者參與式研發、微生物代謝體分析應用、微生物套組導入農田的使用與為作物栽培提供One Health的解決方案。

關鍵字：微生物製劑、植物保護、環境逆境、同一健康

前 言

微生物是生態系的重要組成之一，對人類生活與環境影響甚鉅。一般認為微生物可在農業環境中，與各種棲息地的其他物種共存，達到理想的生態效果，因此具有廣泛的環境應用潛力。針對具特定功能或特徵的微生物菌株收集，是利用微生物應用潛力與開發新技術的關鍵步驟。微生物的可培

養收集與建立微生物生物資源儲存庫，是對於生物資源的保護和流通，乃至於針對生命科學的進步至關重要。模式菌株 (type strains) 主要用於分類學的研究，而參考菌株 (reference strains) 則可應用於農業、生物技術、製藥研究，以及商業行為上 (Anand *et al.*, 2022)。第一個菌種保藏庫是由弗蘭蒂塞克·克拉爾教授 (Prof. Frantisek Král) 於1890年在布拉格德國大學 (German University of



Prague) 建立的。繼之，1894年比利時在魯汶天主教大學 (Mycothèque de l'Université catholique de Louvain, MUCL) 成立真菌收藏庫，以及1906年在荷蘭成立的中央真菌培養所 (Centraalbureau voor Schimmelcultures, CBS)。美國菌種保存中心 (American Type Culture Collection, ATCC) 於1925年在美國成立，保存了不同類型的微生物 (Díaz-Rodríguez *et al.*, 2021)。現今國際菌種聯盟 (World Federation for Culture Collections, WFCC) 是協調全球微生物菌種保存的主要組織，透過國際微生物資料網絡 (World Data Centre for Microorganisms, WDCM, <https://ccinfo.wdcm.org/>)，推動線上管理國際數據庫的最新研究，目前 (2024年8月) WDCM 列出了全球 860 個收藏機構，其中317個位於亞洲地區、271個在歐洲、214個在美洲、42個在大洋洲、27個在非洲。WFCC在保存微生物多樣性方面發揮著基本作用，並為農業、環境、工業和醫學微生物學等各種產業應用，提供了穩定的、且具有潛力菌株的可行性。目前在WDCM中註冊的微生物總數4,013,617株，其中1,613,496是細菌株、861,933是真菌株、39,858是病毒株與32,629是細胞。

另一方面，土壤退化 (soil degradation) 是糧食生產中最嚴重的環境問題，會導致發展中國家的貧困和飢餓問題 (Pereira *et al.*, 2017)。全球大約有52%的農業用地，由於侵蝕、鹽化、酸化、污染或壓實等問題遭到中度或嚴重程度的土壤退化影響 (Kopittke *et al.*, 2019)。土壤侵蝕 (soil erosion) 是全球土地退化的最大原因，每年導致 750 億噸肥沃土壤流失，經濟成本約為 4,000 億美元 (Pereira *et al.*, 2017)。因此，農民需依賴使用大量的化學肥料與農藥進行施肥與病蟲害的控制，這對人類和環境健康會產生許多負面的影響 (Villarreal-Delgado *et al.*, 2018)。在過

去的40年裡，許多農業資材的大量使用在農業栽培過程中，如氮肥 (N) 使用增加7.4倍，但同期的產量僅增加2.4倍，或許說明作物減少高效利用氮的能力 (Hirel *et al.*, 2011)，從而增加了農業生產的經濟和環境成本 (Sharip *et al.*, 2012)。因此，發展創新、可永續的農業栽培管理技術，專注於解決當前密集、且不可永續的農業管理相關環境、經濟與社會問題，是確保糧食生產安全所必需面對的課題 (Cano *et al.*, 2017)。

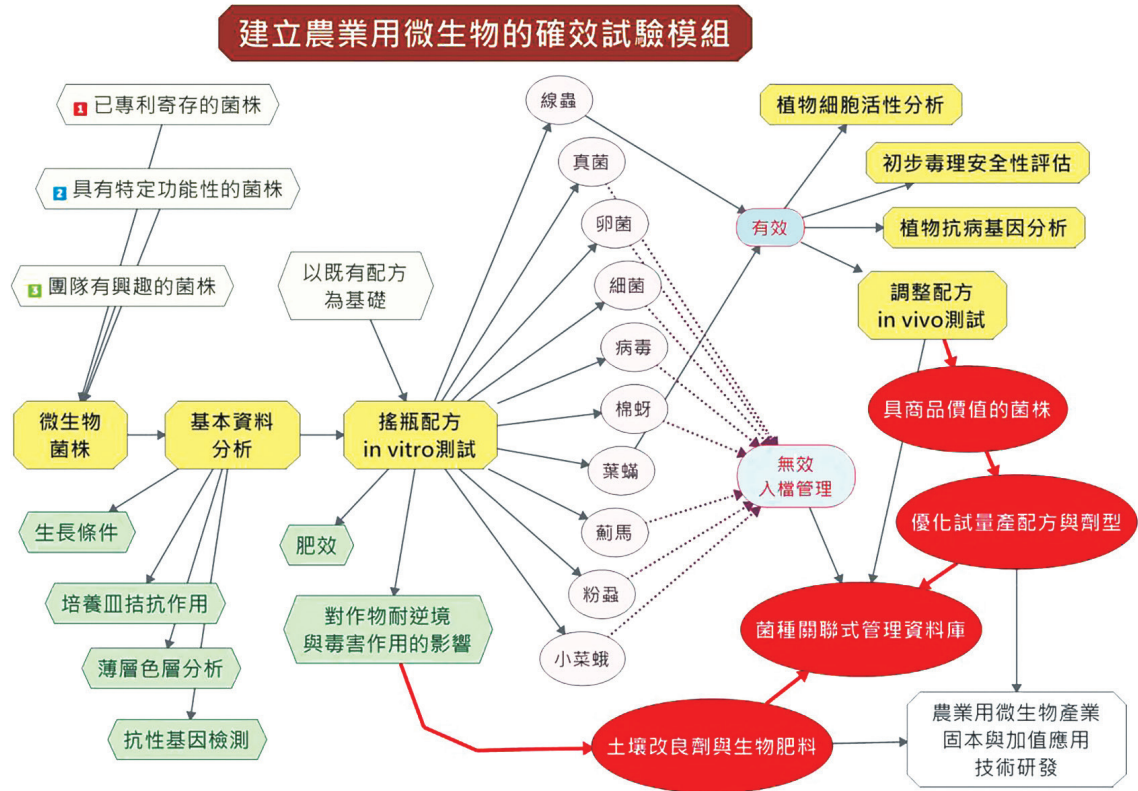
因此，為確保臺灣農業永續發展，保育農業資源與生態環境，協助回復土壤地力，強化農地生態與生物多樣性研究。以及活絡我國微生物製劑產業，加速評估生物農藥、生物肥料的推廣應用，生物性防治資材技術研發與產業化。進而健全農產品安全體系，增加作物對環境逆境的緩解能力，達成農業生產的產銷平衡。農業部於2021-2024年規劃辦理「農業用微生物產業固本與加值應用技術研發」統籌計畫，首先盤點我國農業用微生物研發流程與面臨的問題，在技術面有產品成熟度偏低與櫥架壽命過短；在應用面有產品多樣性不足與產品功能單一化；在法規面有登記流程冗長與與國際趨勢有落差，登記品項有遺缺。因此計畫聚焦於 (1) 建構微生物功能性功效與安全性評估技術，活絡微生物製劑產業；(2) 建立健康土壤微生物評估指標，協助土壤回復地力；(3) 發展農業用微生物加值應用技術，增加作物對環境逆境的緩解能力，紓解農產業面臨的問題，包括農藥減半、有機栽培、氣候變遷、不可再生原料短缺與大眾對環境品質的要求。

建構微生物功能性功效與安全性評估技術，活絡微生物製劑產業

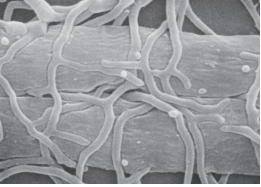
工業用微生物菌株開發，需要對細胞代謝進行系統性的工程設計和最佳化，理解細

胞層次代謝、基因調控和訊號網絡之間複雜的相互作用與困難點，而這些挑戰可以透過系統生物學 (systems biology)、合成生物學 (synthetic biology) 和演化工程 (evolutionary engineering) 等新技術與工具，以有系統性的方法來克服。近年來，系統代謝工程 (systems metabolic engineering) 的主要成果，包括利用微生物生產胺基酸 (L-纈氨酸、L-蘇氨酸、L-賴氨酸和L-精氨酸)、大宗化學品 (1,4-丁二醇、1,4-二氨基丁烷、1,5-二氨基戊烷、1,3-丙二醇、丁醇、異丁醇和琥珀酸)

和藥物 (青蒿素) (Lee & Kim, 2015)。農業用微生物菌株的開發尚未達到工業用系統代謝工程學的程度，但是建構有系統性的研發團隊，依功能性有系統性的篩選農業用微生物菌株是最基本的核心價值。因此，2021-2024年規劃辦理的「農業用微生物產業固本與加值應用技術研發」統籌計畫，聚焦在功能性農業用微生物菌株的篩選，建立農業用微生物確效試驗模組流程 (圖一)，將功能性菌株的篩選分為下列5個步驟，並建立共同菌株、共同研發的研究團隊：



圖一、建立農業用微生物確效試驗模組流程圖。



1. 菌株來源與保存：微生物菌株的可培養收集與建立微生物生物資源儲存庫，是對於生物資源的保護和流通，乃至於針對生命科學的進步至關重要 (Anand *et al.*, 2022)。規劃的菌株收集策略，包括依一般農業用微生物菌株的篩選流程獲取微生物菌株 (農業部農業試驗所蔡佳欣副研究員)、利用提升植物免疫功能性微生物的篩選 (國立屏東科技大學林宜賢教授)、與利用相生相剋原理分離昆蟲病原細菌 (農業部農業試驗所張淑貞副研究員)。所收集得到的微生物菌株，則專案寄存於財團法人食品工業發展研究所 (古家榮研究員)。此外，在由已專利寄存在財團法人食品工業發展研究所可分讓使用的菌株，以及過去研究人員已收集、可分讓使用的菌株，目前 (2024年8月) 已收集於菌種關聯式管理資料庫的菌株計有173株菌株 (<https://airtable.com/shrQLSYngKqwn00L1>)。
2. 功能性測試：收集之可分讓使用的菌株，則進行農業用有益微生物菌株基礎資料與功能測試表的分析與填寫，其中功能性分析的項目 (農業部農業試驗所林宗俊副研究員、陳純葳助理研究員) 有分析產具酵素活性之代謝物，包括Chitinase、Cellulase、Xylanase、Laccase、Protease、Lipase、Amylase與Urease等；分析產具抗生活性之代謝物，包括Amylocyclicin、Amylolysin、Bacillaene、Bacillomycin D、Bacilysin、Difficidin、Ericin、Fengycin、Fusaricidin、Iturin、Macrolactin、Mersacidin、Plantazolicin、Polymyxin、Sublancin、Subtilin、Subtilosin A與Surfactin等；產具生長調節之代謝物，包括Absciscic acid、Cytokinin、Gibberellin與Indole-3-acetic acid等。
3. 確效性測試：雖然農業用微生物的菌株是

產業化、商品化與田間應用的基礎，但在考量研發量能與產業應用的前提之下，則依前述菌株來源與功能性物質分析的結果，挑選特定目的菌株進入確效性測試。所挑選的菌株首先應進行初步毒理安全性評估 (財團法人農業科學研究院林秀芬研究員)，接續則進行對有害生物防治潛力的確效性、肥效的確效性測試 (農業部農業試驗所林素禎副研究員)，以及對植物細胞活性影響分析。在對有害生物防治潛力的確效性分析，有針對線蟲 (農業部農業試驗所蘇俊峯副研究員)、真菌 (農業部農業試驗所蘇俊峯副研究員)、細菌 (農業部農業試驗所蔡佳欣副研究員)、病毒 (農業部農業試驗所鄭櫻慧研究員)、綿蚜 (農業部農業試驗所許北辰副研究員)、葉蟬 (農業部農業試驗所張淑貞副研究員)、薊馬 (農業部農業試驗所林鳳琪研究員) 與小菜蛾 (農業部農業試驗所江明耀助理研究員) 的確效性分析。在針對植物細胞活性影響分析，則針對在小胡瓜進行耐旱逆境影響評估 (農業部農業試驗所李雅琳研究員)，以及針對水稻對苗期植株生長 (農業部農業試驗所林大鈞副研究員) 與根系生長 (農業部農業試驗所游舜期助理研究員) 的影響評估。

4. 增量與增值配方開發：回歸農業用微生物最初的基本價值問題，農業用微生物對作物的作用機制在哪裡？以功能性為篩選、評估的依據，建立農用多樣性微生物菌株篩選、資料庫與保存技術之後。然後輔以功能性微生物製劑配方的優化研發，開發可優化製劑產物或二次代謝物，如植物生長激素、抗病反應物質或分解酵素等的專用與通用配方 (國立高雄師範大學謝建元教授)。進一步，針對儲存期限較短，以致應用性受限的製劑，開發功能性微生物產

品櫥架壽命技術 (農業部農業藥物試驗所梁瑩如副研究員)。

5. 推廣發表：邀集農業部各試驗改良場所、臺灣植物保護工業同業公會，以及財團法人農業科學研究院產學研聯盟籌辦「微生物牛墟日」。日治時代牛墟的設立，最主要在「防止竊牛」。牛是農村時代最重要的生財工具，一旦將其集中買賣，則可減少偷竊、轉售，防止哄抬或削價競爭，同時牛墟亦可以提供為教育的場所。秉持相同理念，「微生物牛墟日」訂於每年4、7、11月各辦理1次，截至2024年7月已辦理7次。提供農業用微生物菌株有一個共同菌株、共同研發的平台，可以進行成品的展示、成果的展現，讓業界能參與式研發，以符合市場需求。參與者亦可獲取相關的知識，並進行互動式的討論，讓產業能更加蓬勃發展。

建立健康土壤微生物評估指標，協助土壤回復地力

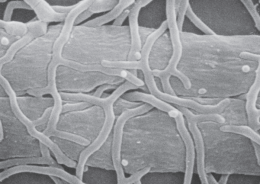
農田土壤的分析，過去多著重於物理性與化學性，然而土壤微生物相具有多樣性、世代週期短，以及對環境情境改變得快速反應，可以提供土壤劣化的初期警訊，因此透過釐清農田土壤微生物菌相或生態的動態變化，將有助於了解土壤健康程度。土壤微生物菌群可包含多源基因體 (meta-genomics) 與功能基因組所轉錄、轉譯產生之代謝物質、酵素與蛋白質，導入次世代定序 (NGS) 高通量分析技術，分析土壤微生物相與特定功能基因組 (functional genomics)，以建立臺灣農田土壤微生物菌相及功能性基因資料庫。藉此，開發拮抗微生物或其他有益微生物菌群，用以改善已劣化的土壤微生物菌相，並搭配健康土壤的微生物評估指標，以微生物技術改善土壤因長期失衡所造成之地力劣

化，增加問題土壤的作物產量與品質，以回復土壤地力、維護土壤健康。

以一般田土 (以香蕉田為標的) 與砂質性土壤 (以落花生田為標的) 選擇具有代表性的農田土壤，從中建立採樣作業與定位資訊，並完成選定田區之健康與非健康土壤微生物的次世代定序資料，建立次世代定序所需土壤及植體之採樣標準作業流程，建立健康土壤微生物指標，以提供地力劣化土壤管理參考。初步以beta-ketoadipate pathway監測香蕉田土的 *Fusarium oxysporum* 活性，可作為土壤地力評估指標 (農業部農業試驗所張明暉副研究員)。微生物資材的田間應用性，可能需要較長時間才會有效果顯現，可能會因為不同地區的土壤質地、微氣候，而影響微生物資材的應用成效。因此，於2023-2024年規劃於3個共同試驗田區 (包括雲林、高雄及屏東試驗田)，供試的香蕉苗株先行接種共生型菌根菌微生物製劑 (農業部農業試驗所林素禎副研究員) 後，再導入不同有益微生物複合配方 (農業部臺南區農業改良場黃瑞彰副研究員、農業部高雄區農業改良場張耀聰副研究員、農業部臺東區農業改良場黃文益助理研究員)，測試比較減緩香蕉連作障礙土壤問題的成效。試驗結果顯示，不同有益微生物複合配方的處理皆可改善土壤地力、促進香蕉生長與結果。但是單一微生物菌株在防治單一作物病害時 (香蕉黃葉病)，需要搭配良好的田間管理，較能發揮病害防治的功效 (農業部農業試驗所郭聆亦助理研究員)。

發展農業用微生物加值應用技術，增加作物對環境逆境的緩解能力

臺灣位於亞熱帶與熱帶地區，高溫，多雨，加上高度密集的耕作土壤，使臺灣農田土壤容易引起地力衰退、土壤劣化等問題。同時，大量使用化學肥料已經使土地難以



負擔，出現了土壤酸化、鹽鹼化、有機質匱乏、地力下降以及嚴重的土壤傳播病害等問題。近年來氣候變遷影響日益顯著，冬季霪雨、春季乾旱及夏季暴雨等現象，急遽氣候異常變化，往往造成農民栽培管理及用藥防治之缺口，一旦豪大雨田間積水，容易導致疫病蟲害發生，唯有藉助適當土壤管理及開發有益微生物菌群加以應用，藉以維持良好田間作物生長條件，優化土壤微生物菌群，以促進作物養分吸收能力，並維持良好土壤管理模式，減少根部病原發生機率，藉以提升作物對病蟲害感染預防機制。

應用功能性微生物資材聚焦於葉菜類作物的耐淹水逆境 (農業部臺中區農業改良場郭建志副研究員)、溫帶果樹的耐低溫逆境 (農業部臺中區農業改良場藍玄錦助理研究員)、熱帶果樹的耐低溫逆境 (農業部臺東區農業改良場王誌偉助理研究員)、設施作物的耐高溫逆境 (農業部高雄區農業改良場張廖伯勳助理研究員)、以及蔬果類作物的耐乾旱逆境 (農業部苗栗區農業改良場朱盛祺副研究員) 的試驗研究。探究其影響及增益作物對環境逆境的緩解能力的關鍵因子，作為依功能性篩選具潛力、高質量的微生物製劑產品的改良依據，以增加作物對環境逆境的緩解能力。進一步，為探究功能性微生物增加作物對環境逆境的緩解能力的學理依據，則建立功能性微生物生物膜及植物微生物體解析平台 (國立中興大學黃姿碧教授)、芽孢桿菌屬有益微生物提升作物耐逆境能力測試平台 (國立中興大學張碧芳教授)、新型植物內生菌及生物刺激素提升蔬果類作物耐旱潛能篩選平台 (國立中興大學黃介辰教授)、與提升熱帶果樹緩解低溫障礙之微生物製劑測試平台 (財團法人農業科學研究院林育萱所長)。最終，將建構標準化之微生物提升作物環境逆境功效驗證規範，與推薦最佳效益的施作應用技術。

討論與展望

全球基於微生物的產業年複合增長率為14.6%，全球銷售額2027年預估為126億美元，涵蓋上、中、下游農業生產鏈。在環境面的應用上可用於防病、抗蟲、耐候、去廢、回復地力，與營造One Health環境。盤點臺灣農業用微生物產業所面臨的瓶頸，包括 (1) 低門檻新興農業資材崛起，排擠微生物品項市場價值；(2) 農業微生物產業鏈幾乎斷鏈，廠商投資意願薄弱；(3) 農業生態環境嚴重失衡，連作障礙頻繁及生物多樣性驟減。因此延續2021-2024年規劃辦理的「農業用微生物產業固本與加值應用技術研發」統籌計畫，農業部2025-2028年持續規劃「農業用有益微生物產業化之推動與升級」統籌計畫，研究主軸有三，包括 (1) 優選農業用功能性微生物菌株與應用；(2) 突破農業用微生物商品化瓶頸；與 (3) 活絡農業用微生物產業發展。有別於「農業用微生物產業固本與加值應用技術研發」統籌計畫聚焦在系統性篩選、確效平台、耐候應用與回復土壤地力研究上，「農業用有益微生物產業化之推動與升級」將聚焦於業者參與式研發、微生物代謝體分析應用、將微生物套組導入農田使用與為作物提供One Health的解決方案。

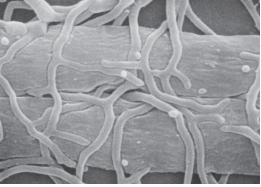
「同一健康」(One Health) 是一種綜合的、聯合增進的方法，目的是可持續地平衡和優化人類、動物和生態系統的健康。其認為人類、家養和野生動物、植物以及更廣泛環境 (包括生態系統) 的健康是緊密聯繫和相互依賴的。此方法動員社會不同層面的多個部門、學科和社區共同努力，促進福祉並應對對健康和生態系的威脅，同時滿足對清潔水、能源和空氣、安全和營養食品的共同需求，採取應對氣候變化的行動，促進永續發展 (World Health Organization (WHO)),

2021)。從「同一健康」的角度出發，使用成本-效益分析可以幫助優化植物保護的淨收益，增益食品安全，同時最小化在實踐植物健康策略時，對人類、動物和生態系統的負面影響。以這樣的基礎，可聚焦於 (1) 如何透過使用農業化學品保護植物健康，又能讓人類暴露於農藥殘留和病原菌的風險最小化，並能降低殺菌劑和殺蟲劑的抗藥性問題；和 (2) 如何透過優先考慮作物的健康，用以最大化農業生產量，以確保食品安全與保護環境生態系 (Hoffmann *et al.*, 2022)。

作物生產量的提升，對於不斷成長的全球人口糧食安全問題至關重要。然而農業生產的過程，同時也會威脅到人類健康與生態安全。農業排放了34%的溫室氣體 (Crippa *et al.*, 2021)、消耗了84%的淡水 (Shiklomanov & Rodda, 2003)，並且是導致水生生態系氮磷污染的優養化 (Galloway *et al.*, 2008; Carpenter & Bennett, 2011)。此外，農業導致土壤退化和侵蝕 (Chen *et al.*, 2002; Montgomery, 2007)，與過度開墾導致生物多樣性喪失 (Norris, 2008)，又因破壞生態系統，從而增加新的人畜共通傳染疾病的風險 (Gibb *et al.*, 2020)。有機栽培系統，與傳統慣行栽培系統相比，每單位土地面積的作物產量約降低19-25%，但在耕地單位面積之內對環境的破壞相對較少 (Seufert & Ramankutty, 2017)。在食物生產的過程中維護植物健康是必要的措施，但是這些措施有可能會危及人類與環境的健康。針對這樣的威脅，因應方案可由四個面向著手，包括 (1) 從農業化學品供應鏈著手，限制毒性最強的化學品供應；(2) 在田間教育農民，提供與環境友善、兼負生態安全的栽培技術，並監督這些耕作實務；(3) 透過零售標籤的使用，去影響消費者的選擇；(4) 教育消費者食品安全的重要性。其中，以教育農民，並提供與環境友善、兼負生態

安全的栽培技術最為重要 (Hoffmann *et al.*, 2022)。

以「同一健康」的角度來回應「實現糧食安全與減少對環境傷害」的複雜挑戰，「同一健康」的兩個主要作法，首先鼓勵由多方面領域考量成本和效益 (cost-benefit analysis, CBA)。高所得國家政府經常使用CBA來量化和比較，在人類健康、環境品質和人民收入等領域的公共投資和監管趨勢變化 (Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), 2018)。CBA在植物健康上，經常被用來考慮農藥使用對人類健康或環境的影響，根據全球農作物損失負擔倡議 (Global Burden of Crop Loss Initiative)，植物健康通常不被視為一種獨立的結果，該計劃旨在建立標準化系統，用以衡量與植物病蟲害相關的經濟成本 (Finegold *et al.*, 2019)，在動物健康上，則有全球動物疾病負擔 (GBADs) 計劃 (Huntington *et al.*, 2021)。這些計劃努力的目標都在將促進動、植物健康時所承受的負擔，納入這些專業領域的權衡決策中。由於權衡決策預計主要取決於環境危害強度、糧食安全狀況和收入水準，而所有這些因素在不同國家之間差異很大，因此需要針對具體情境進行分析。其次，透過匯集來自不同領域的專家促成創新的服務。利用協同合作的模式，相關的多領域專家有提供創新性的植物健康服務。如由CABI全球植物診所 (Global Plant Clinic) 在孟加拉國、玻利維亞、尼加拉瓜和烏干達建立的植物健康診所，受人類健康服務模式的啟發，這些診所設立在市場中心地點，由推廣工作者提供有關植物健康問題的建議，並回答農民關於動物健康的問題 (Boa *et al.*, 2015)。該模式旨在提高植物健康服務的覆蓋範圍和質量，並擴大農民獲取這些服務的機會。這可能包括從一個領域到另一個領域的服務交付模式的轉



移，或識別植物健康與其他領域之間的協同效應。

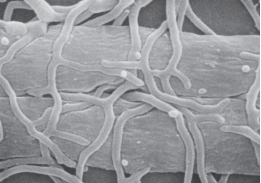
誌 謝

感謝農業部2021-2024年「農業用微生物產業固本與加值應用技術研發」統籌計畫，與2025-2028年「農業用有益微生物產業化之推動與升級」統籌計畫的經費支持。

參考文獻

1. Al-Sadi, A. M. 2017. Impact of plant diseases on human health. *Int. J. Nutr. Pharmacol. Neurol. Dis.* 7, 21-22. doi:10.4103/ijnpnd.ijnpnd_24_17.
2. Anand, U., Vaishnav, A., Sharma, S. K., Sahu, J., Ahmad, S., Sunita, K., Suresh, S., Dey, A., Bontempi, E., Singh, A. K., Proćków, J., Shukla, A. K. 2022. Current advances and research prospects for agricultural and industrial uses of microbial strains available in world collections. *Sci. Total Environ.* 842, 1-22. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.156641.
3. Boa, E., Danielsen, S., Haesen, S. 2015. Better together: identifying the benefits of a closer integration between plant health, agriculture and one health. In *One health: the theory and practice of integrated health approaches*. eds. J., Zinsstag, E., Schelling, D., Waltner-Toews, M., Whittaker, and M., Tanner, Wallingford: CABI. p. 258–271. doi:10.1079/9781780643410.0258.
4. Cano, A., Vélez, D., Morgado, C. A. 2017. The role of biotechnology in agricultural production and food supply. *Cien. Inv. Agr.* 44, 1-11. doi:10.7764/rcia.v44i1.1567.
5. Carpenter, S. R., Bennett, E. M. 2011. Reconsideration of the planetary boundary for phosphorus. *Environ. Res. Lett.* 6(1), 014009.
6. Chen, J., Chen, J. Z., Tan, M. Z., Gong, Z. T., 2002. Soil degradation: a global problem endangering sustainable development. *J. Geog. Sci.* 12(2), 243-252.
7. Crippa, M., Solazzo, E., Guizzardi, D., Monforti-Ferrario, F., Tubiello, F. N., Leip, A. 2021. Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nat. Food* 2(3),198-209.
8. Díaz-Rodríguez, A. M., Salcedo Gastelum L. A., Félix Pablos, C. M., Parra-Cota, F. I., Santoyo, G., Puente, M. L., Bhattacharya, D., Mukherjee, J., de los Santos-Villalobos, S. 2021. The current and future role of microbial culture collections in food security worldwide. *Front. Sustain. Food Syst.* 14,1-14. doi:10.3389/fsufs.2020.614739.
9. Finegold, C., Ried, J., Denby, K., Gurr, S. 2019. Global burden of crop loss. *Gates Open Res.* 3, 1599. doi:10.21955/gatesopenres.1116448.1.
10. Galloway, J. N., Townsend, A. R., Erisman, J. W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J. R., Martinelli, L. A., Seitzinger, S. P., Sutton, M. A. 2008. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science* 320(5878), 889-892.
11. Gibb, R., Redding, D. W., Chin, K. Q., Donnelly, C. A., Blackburn, T. M., Newbold, T., Jones, K. E. 2020. Zoonotic host diversity increases in human-dominated ecosystems. *Nature* 584, 398-402.
12. Hirel, B., Tétu, T., Lea, P. J., Dubois, F. 2011. Improving nitrogen use efficiency in crops

- for sustainable agriculture. *Sustainability* 3, 1452-1485. doi:10.3390/su3091452.
13. Hoffmann, V., Paul, B., Falade, T. *et al.* 2022. A one health approach to plant health. *CABI Agric. Biosci.* 3, 62. doi:10.1186/s43170-022-00118-2.
14. Huntington, B., Bernardo, T. M., Bondad-Reantaso, M., Bruce, M., Devleeschauwer, B., Gilbert, W., Grace, D., Havelaar, A., Herrero, M., Marsh, T. L., Mesenhowski, S. 2021. Global burden of animal diseases: a novel approach to understanding and managing disease in livestock and aquaculture. *Rev. Sci. Tech.* 40, 567-584. doi:10.20506/rst.40.2.3246.
15. Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., Lombi, E. 2019. Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environ. Int.* 132, 105078. doi:10.1016/j.envint.2019.105078.
16. Lee, S., Kim, H. 2015. Systems strategies for developing industrial microbial strains. *Nat. Biotechnol.* 33, 1061-1072. doi:10.1038/nbt.3365.
17. Montgomery, D. R. 2007. Soil erosion and agricultural sustainability. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 104(33), 13268-13272. doi:10.1073/pnas.0611508104.
18. Norris, K. 2008. Agriculture and biodiversity conservation: opportunity knocks. *Conserv. Lett.* 1(1), 2-11. doi:10.1111/j.1755263X.2008.00007.
19. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). 2018. Cost-benefit analysis and the environment: further developments and policy use. Paris: OECD Publishing: 10.1787/9789264085169-en.
20. Pereira, P., Brevik, E. C., Oliva, M., Estebarez, F., Depellegrin, D., Novara, A., Cerdà, A., Menshovet, O. 2017. Goal oriented soil mapping: applying modern methods supported by local knowledge. In *Soil Mapping and Process Modeling for Sustainable Land Use Management*, eds. P. Pereira, P., Brevik, E., Muñoz, M., and Miller, B. Elsevier. pp.61-83 doi:10.1016/B978-0-12-805200-6.00003-7.
21. Rizzo, D. M., Lichtveld, M., Mazet, J. A. K. *et al.* 2021. Plant health and its effects on food safety and security in a One Health framework: four case studies. *One Health Outlook* 3, 6. doi:10.1186/s42522-021-00038-7.
22. Scholthof, K. B. G. 2023. One foot in the furrow: linkages between agriculture, plant pathology and public health. *Annu. Rev. Public. Health* 24:153–174. doi:10.1146/annurev.publhealth.24.090302.155542.
23. Seufert, V., Ramankutty, N. 2017. Many shades of gray-the context-dependent performance of organic agriculture. *Sci. Adv.* 3(3), e1602638. doi:10.1126/sciadv.1602638.
24. Sharip, Z., Schooler, S. S., Hipsey, M. R., Hobbs, R. J. 2012. Eutrophication, agriculture and water level control shift aquatic plant communities from floating-leaved to submerged macrophytes in Lake Chini, Malaysia. *Biol. Invasions* 14, 1029–1044. doi:10.1007/s10530-011-0137-1.
25. Shiklomanov, I. A., Rodda, J. C. 2003. *World water resources at the beginning of the 21st century*. Cambridge: UNESCO and Cambridge University Press.



26. Valenzuela-Aragon, B., Parra-Cota, F. I., Santoyo, G., Arellano-Wattenbarger, G. L., de los Santos-Villalobos, S. 2018. Plant-assisted selection: a promising alternative for in vivo identification of wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum*) growth promoting bacteria. *Plant soil* 435, 367-384. doi:10.1007/s11104-018-03901-1.
27. World Health Organization (WHO). 2021. Tripartite and UNEP support OHHLEP's definition of "One Health" . December 1 2021, News Release. <https://www.who.int/news/item/01-12-2021-tripartite-and-unep-support-ohhlep-s-definition-of-one-health>. Accessed 28 June 2024.

Recent Achievements and Prospects of the Solid Foundation and Value-added Application Technologies in Agricultural Microbial Industry

Jiunn-Feng Su^{1*}, Tsung-Chun Lin¹, Ling-Yi Guo², Su-Chen Lin³,
Chein-Wei Chen⁴, Chien-Chin Kuo⁵ and Ting-Fang Hsieh⁶

¹ Associate Researcher, Plant Pathology Division, Taiwan Agriculture Research Institute, Ministry of Agriculture, Taichung, Taiwan, ROC.

² Assistant Researcher, Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agriculture Research Institute, Ministry of Agriculture, Taichung, Taiwan, ROC.

³ Associate Researcher, Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agriculture Research Institute, Ministry of Agriculture, Taichung, Taiwan, ROC.

⁴ Researcher, Crop Environment Section, Taichung District Agricultural and Extension Station, Ministry of Agriculture, Changhua, Taiwan, ROC.

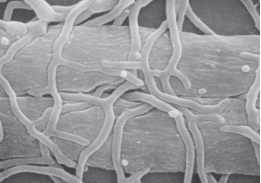
⁵ Associate Researcher, Crop Environment Section, Taichung District Agricultural and Extension Station, Ministry of Agriculture, Changhua, Taiwan, ROC.

⁶ Secretary General, Taiwan Agriculture Research Institute, Ministry of Agriculture, Ministry of Agriculture, Taichung, Taiwan, ROC.

* Corresponding author, e-mail: forte9135101@tari.gov.tw

ABSTRACT

The Ministry of Agriculture (MOA) aims to ensure the sustainable development of Taiwan's agriculture. Its goals include invigorating the microbial agent industry, accelerating the evaluation and promotion of biopesticides and biofertilizers, and advancing the research and industrialization of biological control material technology. Additionally, the MOA aims to restore soil fertility and strengthen research on agricultural land ecology and biodiversity. The MOA plans to implement the "Research and Development of Fundamental and Value-Added Application Technologies for Agricultural Microbial Industries" coordination project from 2021 to 2024. The plan focuses on (1) developing techniques for the functional efficacy and safety assessment of microorganisms to invigorate the microbial formulation industry; (2) Establish microbial assessment indicators for healthy soil to help soil recover fertility; (3) Develop value-added application technologies for agricultural microorganisms to enhance crops' ability to mitigate environmental stresses and address issues faced



by the agricultural industry. Subsequently, from 2025 to 2028, there will be a continuous plan titled “Promotion and Upgrading of the Industrialization of Beneficial Microorganisms for Agriculture.” This plan will focus on participatory research and development by industry players, the application of microbial metabolomics analysis, the introduction of microbial kits in farms, and providing One Health solutions for crops.

Keywords: Microbial agent, Plant protection, Environmental stress, One Health