農業試驗所特刊第254號
Special Publication of TARI No. 254

農業部農業試驗所
Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture

農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所

114年度建構熱帶作物永續管理研究成果研討會專刊

Proceedings of the Symposium on the 2025 Research Achievements of Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute



中華民國115年4月 | April, 2026

農業試驗所特刊第254號
Special Publication of TARI No. 254

農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所
114年度建構熱帶作物永續管理研究成果研討會專刊

Proceedings of the Symposium on the 2025 Research Achievements of Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute

中華民國115年4月｜April, 2026

農業部農業試驗所
Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture
Taichung, Taiwan, Republic of China

農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所114年度建構熱帶作物永續管理研究成果研討會

◎議程表◎

時　間：中華民國115年3月12日(星期四)
地　點：農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所會議室
主辦單位：農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所

時間	演講題目	演講者	貴賓/主持人
09:00-09:20	報到		
09:20-09:30	開幕致詞	農業試驗所王仕賢所長	
09:30-10:10	淨零與智能雙軸轉型：新世代園藝之環控栽培與自動化	鳳山分所李文立分所長	
10:10-10:30	團體合影及茶敘		
第一節 育種與生理特性探討			
10:30-10:50	番荔枝屬新品種 '台農1號 - 綠翡翠' 的育成	熱帶果樹系 方信秀 副研究員	鳳山分所 熱帶果樹系 邱國棟主任
10:50-11:10	國內小番茄品種抗番茄捲葉病情形及試種評估	蔬菜系 羅妙禎 助理研究員	
11:10-11:30	臺灣栽培之無花果品種特性初探	熱帶果樹系 陳薪喨 助理研究員	
第二節 栽種技術與永續栽培模式			
11:30-11:50	夏季花椰菜育苗的高溫改善與評估	蔬菜系 林楨祐 副研究員	鳳山分所 蔬菜系 王三太主任
11:50-13:10	午餐及休息		
13:10-13:30	番石榴生育需水量調查	熱帶果樹系 高碧霜 助理研究員	鳳山分所 蔬菜系 王三太主任
13:30-13:50	果有機與慣行栽培大量元素差異初步探討-以燕巢試區為例	熱帶果樹系 郭展宏 副研究員	
13:50-14:10	加工用蘿蔔品種篩選評估	蔬菜系 林照能 助理研究員	
14:10-14:30	建立番木瓜果園土壤碳匯增進之栽培模式	熱帶果樹系 徐智政 副研究員	
14:30-14:50	休息及茶敘		
第三節 病蟲害調查與防治技術			
14:50-15:10	榴槤葉斑病調查與病原性測試	植保系 蔡蒨陞 助理研究員	鳳山分所 植物保護及園產品加工系 鄭櫻慧主任
15:10-15:30	農用有益微生物防治番茄細菌性斑點病之初步探討	植保系 曹麗玉 助理研究員	
15:30-15:50	農用微生物應用於苦瓜萎凋病之防治效果評估	植保系 陳星妤 研究助理	
15:50-16:10	北高雄露天小果番茄園的粉蝨綜合管理	植保系 賴信順 助理研究員	
16:10-17:00	綜合交流討論	鳳山分所李文立分所長	
17:00~	賦歸		

序言

面對全球氣候變遷加劇與農業勞動力結構改變，熱帶園藝產業正迎來關鍵轉型時刻。農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所深耕南臺灣，肩負熱帶果樹、蔬菜育種及植物保護與加工之重任。「114 年度建構熱帶作物永續管理研究成果研討會」彙整分所同仁過去一年的研發精華，針對產業趨勢提出具體解方，期為我國熱帶農業注入新動能。

本次研討會聚焦「淨零與智能雙軸轉型」，探討以環控栽培與自動化技術，實踐精準生產與節能減碳。在極端氣候下，建立韌性農業體系不僅是政策方針，更是落實於田間的技術實踐。

在品種改良方面，鳳山本所延續優良育種傳統，致力選育耐熱、抗病且高品質品種。成果涵蓋番荔枝新品種「台農 1 號-綠翡翠」的育成、小番茄抗黃化捲葉病毒病之評估，以及無花果在地化栽培篩選，全面提升產業競爭力。

有關栽培技術與永續模式，針對夏季花椰菜育苗耐熱改善、番石榴需水量調查，及番木瓜果園土壤碳匯模式建立等議題深入探討，積極回應氣候暖化困境並挖掘固碳潛力。此外，亦針對加工蘿蔔與有機棗栽培進行評估，透過多元利用與友善耕作，提升農產附加價值。

植物保護方面，落實環境友善的病蟲害綜合管理為農業發展重點，藉由利用有益微生物防治番茄與苦瓜病害，以及建立露天小果番茄粉蝨綜合管理技術，期望降低化學農藥依賴，在保障食安的同時，維護農田生態平衡。

展望未來，鳳山分所將持續整合跨系所資源，從育種、栽培管理到採後加工，提供全方位技術支援。期盼與各界先進透過交流激盪創新思維，共同為臺灣熱帶園藝產業的永續發展貢獻心力。

農業部農業試驗所 所長 王仕賢 謹識

序言

各位貴賓、研究夥伴與朋友們：

歡迎閱覽農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所「114 年度建構熱帶作物永續管理研究成果研討會專刊」。

鳳山分所作為南臺灣熱帶作物研究重鎮，始終致力於「讓民眾一年四季皆能享用優質、安全的農產品」。本次專刊不僅探討農業理論，更強調實務應用，期能將研究成果轉化為實際助益。

在「吃得新鮮」方面，我們成功育成番荔枝新品種「台農 1 號-綠翡翠」，並優選小番茄與無花果品種，豐富南部作物多樣性；面對氣候變遷挑戰，本所亦積極評估夏季花椰菜培育技術，力求突破種植限制。

在「吃得安心」方面，順應環境友善耕作趨勢，我們推廣以「有益微生物」替代化學農藥，應用於苦瓜與番茄病害防治。透過精準病蟲害管理，我們不僅守護土地環境，更為消費者的食安嚴格把關。

農業的進步除仰賴研究投入，更需要民眾與農友的支持。期盼各位能透過本專刊獲取新知，與我們激盪出創新火花，攜手共譜臺灣農業發展的新篇章。

敬祝 平安順心。

農業部農業試驗所

鳳山熱帶園藝試驗分所 分所長 謹識

目錄

篇名	作者	頁碼
番荔枝屬新品種 ‘台農 1 號 - 綠翡翠’ 的育成	方信秀、邱國棟、李文立	1
國內小番茄品種抗番茄捲葉病情形及試種評估	羅妙禎、王三太	11
臺灣栽培之無花果品種特性初探	陳薪嘵	21
夏季花椰菜育苗的高溫改善與評估	林楨祐、陳宣蘋、羅惠齡	28
番石榴生育需水量調查	高碧霜、許健輝、邱國棟、謝鴻業	35
棗有機與慣行栽培大量元素差異初步探討-以燕巢試區為例	郭展宏、郝秀花、陳素漪	43
加工用蘿蔔品種篩選評估	林照能、羅惠齡、王三太	56
建立番木瓜果園土壤碳匯增進之栽培模式	徐智政、陳薪嘵、李文立	64
榴槤葉斑病調查與病原性測試	蔡莽隍	74
農用有益微生物防治番茄細菌性斑點病之初步探討	曹麗玉、蔡宜容、洪素秋、鄭櫻慧	83
農用微生物應用於苦瓜萎凋病之防治效果評估	陳星妤、洪素秋、鄭櫻慧、曹麗玉	94
北高雄露天小果番茄園的粉蝨綜合管理	賴信順、鄭櫻慧	111

番荔枝屬新品種‘台農 1 號 - 綠翡翠’的育成

方信秀、邱國棟、李文立

農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所熱帶果樹系

摘要

番荔枝屬果樹為台灣特色水果，番荔枝‘台東 2 號 - 大目’與‘鳳梨釋迦’為主要栽培品種。為提振消費者食用多樣性，以人工雜交選育方式，篩選出‘台農 1 號 - 綠翡翠’(*Annona atemoya* ‘Tainung No.1-Green jade’) ，品種特性包括果形三角圓錐形、果萼端形狀尖形、果重約 607.1 g、果長約 124.1 mm、果形指數約 1.26、鱗溝展開度約 3.5 mm、鱗溝顏色黃綠色、鱗目形狀或表皮紋路形狀為水滴形、果皮顏色為黃綠色、平均種子數約 39 粒、果實軟熟天數 4–6 天及果肉可溶性固形物約 21.1 °Brix，與市場主要品種比較，主要優點為大果、種子數少、香氣濃、水分高與可食率高，口感相當優良，具市場競爭力，可提供消費者多樣化選擇。

關鍵詞：鳳梨釋迦、番荔枝、新品種

緒言

番荔枝與鳳梨釋迦為番荔枝科 (Annonaceae) 番荔枝屬 (*Annona spp.*) 果樹。番荔枝科包括約 107 個屬和 2400 種木本植物，分佈於全球各地，但只有番荔枝屬和泡泡屬 (*Asimina*) 的果實可供食用，經濟價值較高的包括番荔枝 (*A. squamosa*, sweetsop)、冷子番荔枝 (*Annona cherimola*, cherimoya)、鳳梨釋迦 (*A. × atemoya*, atemoya)、刺番荔枝 (*A. muricata* L., soursop)、山刺番荔枝 (*A. montana* Macf. , mountain soursop)、圓滑番荔枝 (*A. glabra*, pond apple)、牛心梨 (*A. reticulate*, Bullock’s-heart) (Guo *et al.,* 2017；Tran *et al.,* 2021)。番荔枝與鳳梨釋迦於台灣較具經濟價值而有大面積種植。番荔枝‘台東 2 號 - 大目’全台種植面積 2,551 公頃，台東縣種植 2,379 公頃佔總面積 93%，鳳梨釋迦全台種植面積 2,655 公頃，台東縣種植 2,620 公頃佔總面積 99% (農業統計年報, 2023)。

台灣多年來主要品種持續更替

番荔枝俗稱為釋迦，原產地在祕魯或厄瓜多 (Marler *et al.,* 1994)，由於其營養豐富又有藥用價值的關係，廣泛於熱帶地區栽培，主要生產國家包括印度、巴西、菲律賓、越南、中國與台灣 (Gupta *et al.,* 2015；Liu *et al.,* 2015)。番荔枝為半落葉果樹，低溫環境會刺激落葉 (Crane *et al.,* 2021)。臺灣番荔枝主產地集中於台東地區，在台南與屏東有零星種植。多年以來，主力品種不斷更替，早期種植‘土釋迦’、‘細鱗種’、‘粗鱗種’、‘軟枝種’和‘台東 1 號 - 都蘭種’，更替至現今主要品種為‘台東 2 號 - 大目’，因果實碩大廣受消費者與農民的喜愛 (盧與江，2011)。

‘鳳梨釋迦’為冷子番荔枝與番荔枝種間雜交種，英名為 atemoya (Nakasone and Paull, 1998)。於熱帶和亞熱帶氣候海拔 1,000 m 以下的區域可良好生長 (Goenaga and David, 2016)，台灣主產地以台東地區為主，種植面積與番荔枝相近，約有 2,655 公頃 (農業統計年報, 2023)。國際常見商業品種為‘African Pride’、‘Pink’s Mammoth’和‘Gefner’，台灣主要種植品種為‘Gefner’，夏期果裂果率極高，需修剪進行產期調節，只生產裂果率低之冬期果 (江與盧，2011)。

新品種選育流程

本品種為 2013 鳳山熱帶園藝試驗分所將父本 *A. cherimola* White 與母本 *A. squamosa* 紅皮番荔枝進行雜交後取得 200 株實生苗。於 2014–2016 年田間初選優良品系後嫁接於軟枝種上進行複選，2017–2018 年進行優良品系比較試驗。2019–2021 年進行品種特性調查。其中品系‘鳳果釋-13-F015’具有果實大、甜酸適中、果肉含水量高、種子少且具有香氣等優點，評估具有經濟栽培潛力，於 2023 年提出‘台農 1 號 - 綠翡翠’品種權申請。

對照品種選定與品種性狀檢定方法

因番荔枝屬不同種雜交親合性高，坊間許多優良品系為不同種雜交選育而成，申請品種權時選定果型類似的臺灣主力品種‘鳳梨釋迦 - Gefner’與臺灣番荔枝主力品種‘台東 2 號大目’與‘台農 1 號 - 綠翡翠’的母本‘紅皮番荔枝 - Red skin’等 3 個品種共同做為對照品種，以便進行品種特性區別。

檢定材料皆嫁接軟枝種為砧木，株齡 2 年，檢定品種與 3 個對照品種皆栽培 10 株，每個植株成長至 100 公分以上，開始進行性狀檢定調查。栽培期間為 2021 年 1 月至 2022 年 12 月，栽培期間平均溫度 24.7℃、最高溫度 36.3℃、最低溫度 7.8℃，栽培期間平均日照時數 8.8 小時、最高日照時數 10.3 小時、最低日照時數 7.45 小時。栽培採露天草生栽培，行株距 6 × 6 公尺，檢定品種與對照品種採相同之栽培管理。病蟲害防治用藥參考植物保護手冊番荔枝藥劑防治。

調查方式依行政院農業委員會 (現農業部) 2014 年公告之番荔枝屬品種試驗檢定方法進行，每個品種調查 5 株，檢定數量各 20 個樣本。

品種特性說明

‘台農 1 號 - 綠翡翠’植株生長勢強，枝條開張，株型與 ‘鳳梨釋迦’ 相近 (圖 1)，葉片互生，莖分支少，‘台東 2 號 - 大目’ 與 ‘紅皮番荔枝’ 莖分支較多。



圖 1. 不同番荔枝屬品種植株外觀。(A) ‘台農 1 號 - 綠翡翠’，(B) ‘鳳梨釋迦’，(C) ‘台東 2 號 - 大目’ 與 (D) ‘紅皮番荔枝’。

Fig.1. Appearance of plant different *Annona* species varieties. (A) *A. atemoya* ‘Tainung No.1-Green jade’, (B) *A. atemoya* ‘Gefner’, (C) *A. squamosa* ‘Damu’ and (D) *A. squamosa* ‘Red skin’.

‘台農 1 號 - 綠翡翠’的葉片較 ‘鳳梨釋迦’ 巨大且有輕微皺折，將不同品種葉片放一起可觀察到葉片較大的特性 (圖 2)。



圖 2. 不同番荔枝屬品種葉片外觀。(A) ‘台農 1 號 - 綠翡翠’，(B) ‘鳳梨釋迦’，(C) ‘台東 2 號 - 大目’ 與 (D) ‘紅皮番荔枝’。

Fig.2. Appearance of leaves in different *A.* species varieties From left to right *A. atemoya* ‘Tainung No.1-Green jade’, *A. atemoya* ‘Gefner’, *A. squamosa* ‘Damu’ and *A. squamosa* ‘Red skin’.

‘台農 1 號 - 綠翡翠’ 的花朵與 ‘鳳梨釋迦’ 與 ‘台東 2 號 - 大目’ 外觀相似，皆有三片花瓣，只有 ‘紅皮番荔枝’ 的花瓣呈現些微淺紅色，‘台農 1 號 - 綠翡翠’ 的花瓣較長，‘鳳梨釋迦’、‘台東 2 號 - 大目’ 與 ‘紅皮番荔枝’ 的花瓣中等 (圖 3)。



圖 3. 不同番荔枝屬品種花朵外觀。(A) ‘台農 1 號 - 綠翡翠’，(B) ‘鳳梨釋迦’，(C) ‘台東 2 號 - 大目’ 與 (D) ‘紅皮番荔枝’。

Fig.3. Appearance of leaves in different *A.* species varieties From left to right *A. atemoya* ‘Tainung No.1-Green jade’, *A. atemoya* ‘Gefner’, *A. squamosa* ‘Damu’ and *A. squamosa* ‘Red skin’.

‘台農 1 號 - 綠翡翠’的果實與‘鳳梨釋迦’外觀相似皆為三角圓錐形，果皮顏色皆為黃綠色，惟‘台農 1 號 - 綠翡翠’果皮顏色更淺綠。可溶性固型物含量約 21.1 °Brix，較‘鳳梨釋迦’的 25 °Brix 低，與‘台東 2 號 - 大目’與‘紅皮番荔枝’的 22.3 與 21.7 °Brix 相近。‘台農 1 號 - 綠翡翠’種子數量較少，平均 39 顆，‘鳳梨釋迦’、‘台東 2 號 - 大目’與‘紅皮番荔枝’平均 59、57、47 顆 (圖 4、圖 5)。

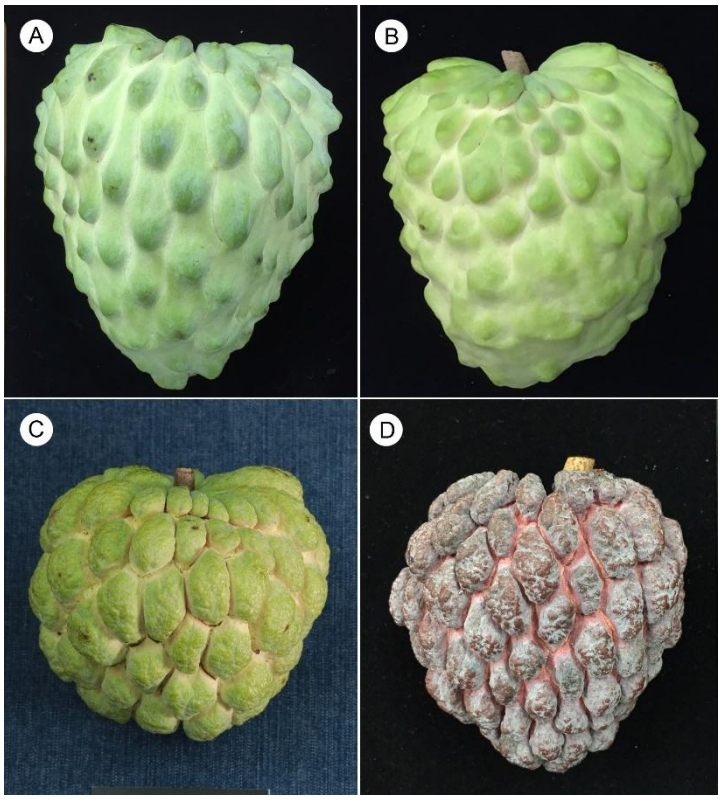


圖 4. 不同番荔枝屬品種果實外觀。(A) ‘台農 1 號 - 綠翡翠’，(B) ‘鳳梨釋迦’，(C) ‘台東 2 號 - 大目’與 (D) ‘紅皮番荔枝’。

Fig.4. Appearance of fruit in different *Annona* species varieties. (A) *A. atemoya* ‘Tainung No.1-Green jade’, (B) *A. atemoya* ‘Gefner’, (C) *A. squamosa* ‘Damu’ and (D) *A. squamosa* ‘Red skin’.

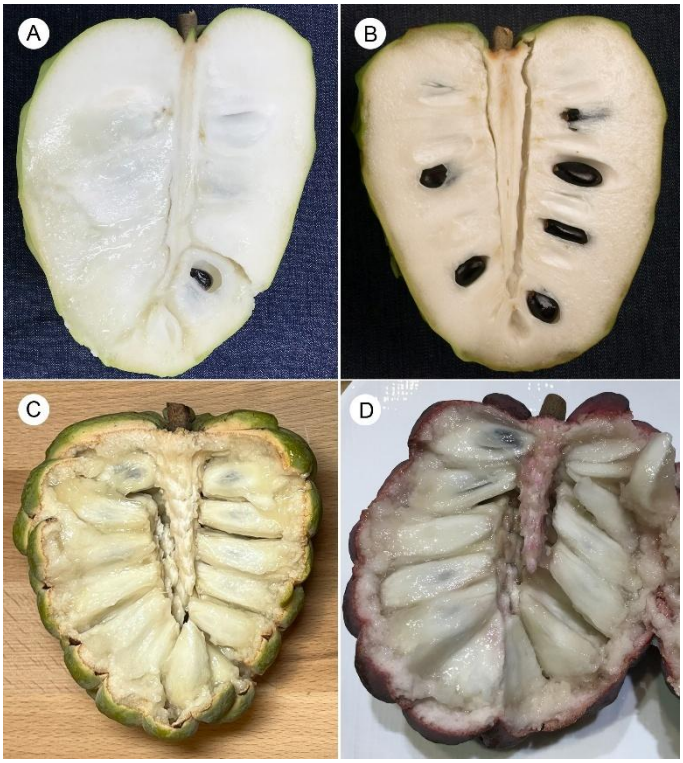


圖 5. 不同番荔枝屬品種果實內部。(A) ‘台農 1 號 - 綠翡翠’，(B) ‘鳳梨釋迦’，(C) ‘台東 2 號 - 大目’ 與 (D) ‘紅皮番荔枝’。

Fig.5. Internal appearance of fruit in different *Annona* species varieties. (A) *A. atemoya* ‘Tainung No.1-Green jade’, (B) *A. atemoya* ‘Gefner’, (C) *A. squamosa* ‘Damu’ and (D) *A. squamosa* ‘Red skin’.

表1. 新品種與對照品種可區別性狀一覽表。

Table 1. Table of distinguishing characteristics between new varieties and control varieties.

植株部位	品種名稱	新品種	對照品種	對照品種	對照品種
	商業名稱	‘台農 1 號 - 綠翡翠’ Green Jade	‘鳳梨釋迦’ Gefner	‘台東 2 號 - 大目’ Damu	‘紅皮番荔枝’ Red skin
葉	葉身長度 (mm)	長 (233.9 ± 18.0)	中 (183.5 ± 11.8)	極短 (107.9 ± 8.0)	短 (116.7 ± 12.6)
	葉身寬度 (mm)	寬 (139.3 ± 16.7)	窄 (91.6 ± 9.5)	窄 (52.9 ± 8.3)	極窄 (44.2 ± 4.9)
	葉身長 / 寬比	中 (1.7)	中 (2.0)	大 (2.1)	大 (2.7)
	葉身形狀	卵形	闊披針形	闊披針形	闊披針形
	葉基形狀	圓形	銳形	圓形	楔形
	葉尖形狀	漸尖形	漸尖形	微突形	漸尖形
花	花蕾顏色	黃綠色	淡綠色	黃綠色	黃綠色
	花瓣長度 (mm)	長 (39.24 ± 4.84)	中 (31.10 ± 4.77)	中 (30.58 ± 4.85)	中 (29.86 ± 4.92)
	花柄長度 (mm)	長 (31.83 ± 6.26)	中 (24.93 ± 2.39)	長 (28.58 ± 3.81)	中 (20.96 ± 3.64)
果實	果形	三角圓錐形	三角圓錐形	橢圓形	扁圓形
	果萼 (頂) 端形狀	尖形	尖形	平形	圓形
	果重 (g)	大 (607.1 ± 83.8)	大 (547.8 ± 135.1)	特大 (888.2 ± 49.4)	小 (253.2 ± 71.1)
	果長 (mm)	長 (124.2 ± 6.1)	長 (109.9 ± 11.1)	長 (100.7 ± 1.1)	中 (79.0 ± 11.4)
	果寬 (mm)	中 (98.2 ± 5.2)	大 (101.0 ± 1.0)	大 (101.1 ± 1.1)	中 (74.5 ± 9.2)
	果形指數	大 (1.3)	大 (1.1)	中 (1.0)	大 (1.1)
	鱗溝展度 (mm)	中 (3.5 ± 0.6)	中 (3.9 ± 0.6)	大 (6.0 ± 0.4)	中 (2.6 ± 0.8)
	鱗溝顏色	黃綠色	黃綠色	鮮黃色	粉紅色
	軟熟天數	4–6 天	7 (含) 天以上	4–6 天	4–6 天
	鱗目形狀或表皮紋路形狀	水滴形	橢圓形	橢圓形	水滴形
	果皮顏色	黃綠色	黃綠色	黃綠色	紫紅色
	果肉可溶性固形物 (°Brix)	特甜 (21.1 ± 1.1)	超甜 (25.0 ± 2.2)	特甜 (22.3 ± 0.8)	特甜 (21.7 ± 1.5)
種子	種子顏色	棕褐色	褐黑色	棕褐色	棕褐色
	種子光澤	亮	暗	亮	亮
	每顆果實平均種子數	少 (38.8 ± 15.1)	中 (59.2 ± 8.3)	中 (56.8 ± 14.3)	少 (47.4 ± 8.7)
	單粒重 (g)	輕 (0.5 ± 0.1)	中 (0.5 ± 0.1)	輕 (0.3 ± 0.1)	極輕 (0.3 ± 0.1)

進行詳細的新品種與對照品種可區別性狀整理比較 (表1)，確認品種具有可區別性、一致性與穩定性，說明如下：

1. 可區別性 (distinctness)：

‘台農1 號 - 綠翡翠’與對照品種‘鳳梨釋迦Gefner’、‘台東2 號 - 大目’及‘紅皮番荔枝’於葉片、花朵、果實與種子等不同部位分別有15、15 與14 種性狀差異。檢定結果顯示‘台農1 號 - 綠翡翠’與其它3 個對照品種

比較具有可區別性。

2. 一致性 (uniformity)：
   ‘台農1 號 - 綠翡翠’與3 個對照品種試驗材料分別使用同一批接穗，以無性繁殖嫁接進行繁殖，檢定試驗期間，植株各性狀整齊一致，並沒有產生異型株 (off-type) 的情形，據此推斷本品種各單株生育表現整齊一致，且有一致性。
3. 穩定性 (stability)：
   ‘台農1 號 - 綠翡翠’係採用無性繁殖嫁接，無變異問題，於檢定試驗期間，並無出現異型植株亦無生育不齊情形，檢定植株萌生側枝無變異性狀，植株間各種性狀表現穩定，符合穩定性。在相同試區相似環境，不同年間，其生育表現與果實品質等性狀均相當穩定，無變異植株，認定具有穩定性。

結果與討論

台灣番荔枝主要品種主要為‘台東2 號大目’與‘鳳梨釋迦’，過去‘鳳梨釋迦’主要外銷中國大陸，近年外銷量減少，有品種更替需求。本分所篩選優良口感品種以滿足消費者對高品質番荔枝的需求。‘台農 1 號 - 綠翡翠’平均果重607 克，較‘鳳梨釋迦’的大果比例高，種子數平均39 粒，相較‘鳳梨釋迦’59 粒與‘台東2 號 - 大目’57 粒，種子數較少。可溶性固型物含量約 21.1 °Brix、可滴定酸 0.28%，糖酸比適中又帶有香氣，口感良好。可直接用手撥開成兩半後使用湯匙食用，含水量高，肉質細緻，軟熟後冷藏食用口感滑順美味。此品種帶有清香、皮薄且種子數較少，可食率亦較‘台東2 號 - 大目’高。栽培時需注意夏期果的裂果率高，宜透過修剪產期調節生產冬期果。此品種品質優良，惟軟熟速度較鳳梨釋迦快，7–8 分熟時採收約 5–7 天後熟，9 分熟採收則約 3 天後熟，因軟熟較快，較適合國內銷售，於宅配市場應有良好的發展空間。

謝辭

感謝農業部支持研究經費，研究過程感謝農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所熱帶果樹系黃伍郎先生、劉秀雲小姐與馬秀燕小姐協助本研究進行，一併致上無限謝忱。

引用文獻

1. 江淑雯、盧柏松. 2011. 鳳梨釋迦在台東地區之果實生長與特性. 臺灣園藝 57(1):9–17。
2. 農業統計年報. 2023. 行政院農業部農糧署. 臺北：行政院農業部。
3. 盧柏松、江淑雯. 2011. 暗期中斷處理對番荔枝冬期果開花及果實品質之影響。台東區農業改良場 100 年試驗研究推廣成果研討會專刊 P.45–50。
4. Crane, J. H., P. C. Chagas, and E. A. Chagas. 2021. 'LeahReese': A new sugar apple (*Annona squamosa* L.) cultivar. *HortScience* 56(10):1293–1294.
5. Goenaga, R., and J. David. 2016. Yield and fruit quality traits of atemoya hybrids grown in Puerto Rico. *HortTechnology* 26:547–551.
6. Guo, X., C. C. Tang, D. C. Thomas, T. L. Couvreur, and R. M. Saunders. 2017. A mega-phylogeny of the Annonaceae: taxonomic placement of five enigmatic genera and support for a new tribe, Phoenicantheae. *Scientific Reports* 7(1): 7323.
7. Gupta, Y., A. K. Pathak, K. Singh, S. S. Mantri, S. P. Singh, and R. Tuli. 2015. De novo assembly and characterization of transcriptomes of early-stage fruit from two genotypes of *Annona squamosa* L. with contrast in seed number. *BMC Genomics* 16:86.
8. Liu, K., H. Li, C. Yuan, Y. Huang, Y. Chen, and J. Liu. 2015. Identification of phenological growth stages of sugar apple (*Annona squamosa* L.) using the extended BBCH-scale. *Scientia Horticulturae* 181:76–80.
9. Marler, T.E., A. P. George, R. J. Missen, and P.C. Andersen. 1994. Miscellaneous tropical fruits, p. 200-205. *In* Schaffer B. & Andersen P.C. (Eds.). *Handbook of environmental physiology of fruit crops: II. Subtropical and tropical crops. CRC Press*, Boca Raton, FL.
10. Nakasone, H. Y. and R. E. Paull. 1998. Tropical Fruits. CAB International, Wellingford, UK.
11. Tran, K., S. Ryan, M. McDonald, A. L. Thomas, J. G. S. Maia, and R. E. Smith. 2021. Annonacin and squamocin contents of pawpaw (*Asimina triloba*) and marolo (*Annona crassiflora*) fruits and atemoya (*A. squamosal* × *A. cherimola*) seEds. *Biological Trace Element Research* 199: 2320–2329.

Breeding of the New Atemoya (*Annona spp.*) Variety 'Tainung No. 1 - Green Jade'

Hsin-Hsiu Fang, Kuo-Tung Chiu and Wen-Li Lee

Department of Tropical Fruit Trees, Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture.

ABSTRACT

Annona spp. is a distinctive fruit of Taiwan, with the main cultivated varieties being ‘Taitung No. 2 - Damu’ and *A. Atemoya* Gefner. To enhance consumer diversity, the hybrid breeding method was used to develop *A.* atemoya ‘Tainung No. 1 - Green Jade’. Its characteristics include a triangular-conical fruit shape, a pointed calyx end, an average fruit weight of approximately 607.1 g, a fruit length of about 124.1 mm, a fruit shape index of approximately 1.3, a scale groove width of about 3.5 mm, yellow-green scale groove color, water-drop shaped scale patterns or skin texture, yellow-green skin color, an average seed count of about 39, a ripening period of 4 - 6 days, and a fruit pulp soluble solids content of approximately 21.1 °Brix. Compared to the main market varieties, its primary advantages include large fruit size, low seed count, strong aroma, high moisture content, and high edible ratio, with excellent taste and strong market competitiveness, offering consumers a diverse choice.

Key words: atemoya, sugar apple, new variety.

國內小番茄品種抗番茄捲葉病情形及試種評估

羅妙禎、王三太

農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所蔬菜系

摘要

近年來，番茄捲葉病 (Tomato leaf curl disease, TLCD) 對番茄產業造成嚴重衝擊，導致作物產量與品質大幅下降，而選育具抗性基因之品種被認為是最有效直接的防治途徑。本研究利用 Ty-2 及 Ty-3 分子標誌，調查國內 104 個優良雜交 F1 小果番茄品種，結果顯示有 84 個品種至少帶有 Ty-2 或 Ty-3 抗病基因，占總量 81%，顯示國內具抗病性的商業品種選擇眾多，惟農民對於各抗病品種的實際表現缺少種植經驗與驗證。後續進一步於溫室及露天田區試作評估，品種‘玉女’未帶任何番茄捲葉病抗病基因，其病毒感染率較高且病徵明顯；而於露天田區，大多數帶有抗病基因之品種展現良好抗病性，整體田區感染番茄捲葉病之情形輕微，顯示抗病品種具有進一步應用與推廣價值。

關鍵詞：番茄、番茄捲葉病、分子標誌、抗病品種

緒言

番茄 (*Solanum lycopersicum* L.) 為全世界栽培面積及產量均居首位之重要蔬菜作物，用途廣泛且營養價值高。近年來，在臺灣地區，小果番茄以餐後水果形式受到消費者喜愛，其市場需求與價格皆有明顯提升。然而，番茄栽培同時面臨多種病蟲害威脅，其中以銀葉粉蝨 (Silverleaf whitefly) 傳播的番茄捲葉病 (Tomato leaf curl disease, TLCD) 為影響最嚴重的病害之一。當番茄感染該病毒後，植株會出現葉片增厚捲曲、葉脈間黃化等徵狀，嚴重時新葉皺縮、頂芽扭曲變形，最終導致生長停滯、產量大幅下降，對農民造成極大經濟損失 (林，2022；戴與趙，2013)。

由於病毒無法以藥劑防治，且銀葉粉蝨傳播迅速，除了加強田間有害生物綜合管理之外 (張，2024；鄭，2023；賴，2023)，目前以種植抗病品種為最有效的防治策略。為提升番茄之抗病性，國內番茄育種已廣泛導入番茄捲葉病抗性性狀，惟農民對於各抗病品種的實際表現仍缺乏種植經驗與實際驗證。為了解目前國內小番茄品種抗番茄捲葉病情形，於 112 至 114 年間，本單位與高雄市美濃區農會及台灣種苗改進協會合作舉辦「優質抗耐病毒小果番茄商業品種觀摩會」，因此彙集國內種苗業者、試驗單位及其他商業品種共 104 個優良雜交 F1 小番茄品

種，初步利用已發表之抗病分子標誌進行篩選，並於田間試驗觀測各品系生長表現及抗病性評估。

利用分子標誌輔助評估番茄抗捲葉病抗性

選育抗病品種為田間病蟲害防治的關鍵重要策略，目前在育種工作上，經常利用分子標誌輔助選拔 (Marker-Assisted Selection, MAS) 技術，提升選拔效率及加速抗性基因導入 (Hanson *et al.*, 2016；Prabhandakavi *et al.*, 2021)。應用分子標誌與抗性基因的連鎖特性，能協助育種者準確判斷番茄品系中目標基因的存在 (Hussain *et al.*, 2025；Yang *et al.*, 2025)。經研究顯示，病毒抗性相關基因主要分布於野生番茄種原之中，其中以 *Solanum peruvianum* 被認為具有豐富的抗性資源 (Hussain *et al.*, 2025)。目前已知與抗番茄捲葉病相關的抗性基因包括 Ty-1 / Ty-3、Ty-2、Ty-4、ty-5 及 Ty-6 (Dhaliwal *et al.*, 2020)，陸續由育種人員從野生種番茄中將抗病基因導入現行市面栽培之番茄商業品種。

目前番茄抗病育種中廣泛篩選 Ty-2 與 Ty-1 / Ty-3，並常堆疊其他抗病基因以強化抗性 (Hanson *et al.*, 2016；Kaushal *et al.*, 2024)。Ty-2 基因來自於野生番茄 *Solanum habrochaites*，該基因編碼一種 NBS (nucleotide binding site) –LRR (leucine-rich repeat) 蛋白質，參與病原辨識與啟動免疫反應有關 (Shen *et al.*, 2020)。Ty-1 和 Ty-3 基因則來自於野生番茄 *Solanum chilense*，早期研究曾推測 Ty-1 和 Ty-3 為不同基因 (Ji *et al.*, 2007)，後續研究指出 Ty-1 與 Ty-3 為相同基因座之等位基因 (allele)，編碼一種 RNA 依賴型 RNA 聚合酶 (RNA-dependent RNA polymerase)，透過 RNA 靜默 (RNA silencing) 機制抑制外侵病毒的表現，提升植株的防禦能力 (Verlaan *et al.*, 2013)。

為了解國內小番茄商業品種帶番茄捲葉病抗性情形，本試驗挑選 11 個常見市售品種，以分子標誌 P1-16 (Hussain *et al.*, 2025 ; Yang *et al.*, 2014) 測試 Ty-2 基因型，及分子標誌 P6-25 (吳等，2018；Ji *et al.*, 2007a；Ji *et al.*, 2007b) 測試 Ty-3 基因型，種子播種後至 10 天齡之幼苗進行萃取葉片 DNA，後續以分子標誌 P1-16 及 P6-25 進行聚合酶連鎖反應 (Polymerase chain reaction, PCR) 及電泳分析。結果顯示，以 P1-16 探測 Ty-2 基因型，同質結合感病 (homozygous susceptible，S) 基因型、同質結合抗病 (homozygous resistant，R) 基因型產物條帶位置分別為 600 bp (ty-2) 及 300 bp (Ty-2)，異質結合 (heterozygous，H) 基因型則同時具有 600 bp 及 300 bp 條帶 (圖 1A)。以 P6-25 探測 Ty-3 基因型，感病等位基因條帶位置為 320 bp (ty-3)，而抗性等位基因則分別有 2 個基因型 Ty-3 及 Ty-3a，條帶位置為 450 bp (Ty-3) 及 650 bp (Ty-3a) (圖 1B)，其結果經與前人研究比對皆一致 (Nevame *et al.*, 2020；Nithyanandam *et al.*, 2025)。以國內 11 個商業品種進行初步判斷，在 Ty-2 及 Ty-3 上皆呈現同質結合感病基因型 (Ty-2 / Ty-3：S / S) 的品種有 ‘玉女’、‘翠紅’，而同時具 Ty-2 及 Ty-3 番茄捲葉病抗性，並呈現異質結合基因型 (Ty-2 / Ty-3：H / H) 的品種有 ‘惠女’、‘小明’、‘夏太后’、‘種苗亞蔬 25

號’，惟前 2 者與後 2 者之 Ty-3 分別為 Ty-3、Ty-3a 基因型；‘愛妃’、‘紅麗旺’、‘粉愛 1 號’ 僅帶 Ty-3a 抗性 (Ty-2 / Ty-3：S / H)；‘粉愛 3 號’ 與 ‘種苗亞蔬 25 號’ 則僅帶 Ty-2 抗性 (Ty-2 / Ty-3：H / S) (圖 1)。

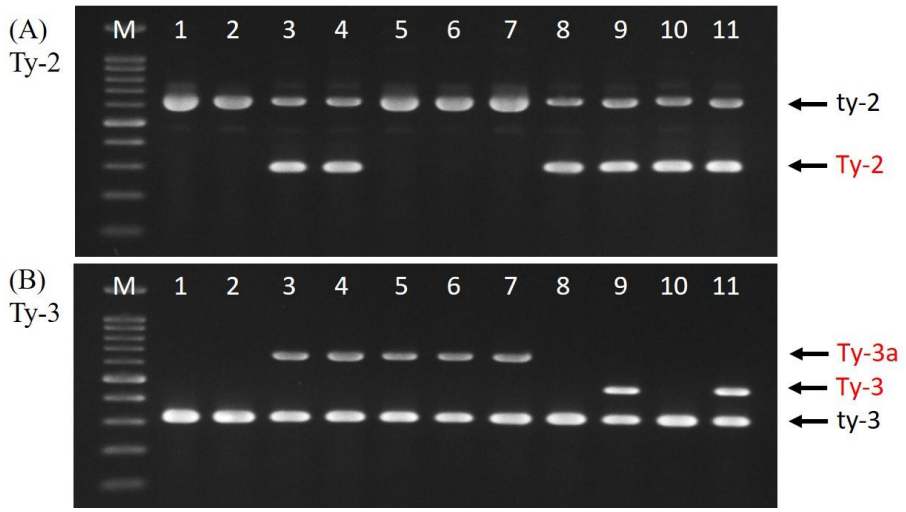


圖 1. 以分子標誌 P1-16 及 P6-25 分別檢測 11 個國內小番茄商業品種帶 (A) Ty-2 及 (B) Ty-3 之基因型。品種代號 1－10 依序為‘玉女’、‘翠紅’、‘惠女’、‘小明’、‘愛妃’、‘紅麗旺’、‘粉愛 1 號’、‘粉愛 3 號’、‘夏太后’、‘種苗亞蔬 22 號’、‘種苗亞蔬 25 號’。

Fig.1. Genotyping of 11 domestic cherry tomato commercial cultivars for (A) Ty-2 and (B) Ty-3 using molecular markers P1-16 and P6-25.

國內小番茄品種抗性情形

確認可應用於篩選番茄捲葉病抗性之分子標誌後，本研究共測試 104 個國內小番茄 F1 雜交優良品種，分別來自好農家種苗 7 個、宇辰種苗 13 個、良種農業 11 個、和生種子 6 個、長生種子 7 個、崧寶種苗 8 個、瑞成種苗 12 個、農友種苗 14 個、稼穡種子 8 個、豐田種苗 8 個及農業試驗所作物組 6 個、花蓮區農業改良場 3 個、臺南區農業改良場 1 個。分類方式上，同質結合抗病 (homozygous resistant，R) 基因型及異質結合 (heterozygous，H) 基因型皆歸類為帶有抗病基因。結果顯示，目前國內小果番茄品種不帶 Ty-2 及 Ty-3 抗病基因之品種共 20 個；僅帶有 Ty-2 抗病基因之品種共 11 個；僅帶有 Ty-3 抗病基因之品種共 50 個，其中為 Ty-3a 基因型之品種 45 個，占比最高；同時帶有 Ty-2 及 Ty-3 抗病基因之品種共 23 個，其中為 Ty-3a 基因型之品種 13 個 (圖 2)；以上至少帶有一個抗病基因之品種總計 84 個，占總量 81%，顯示國內市面上抗病品種選擇數量多，多數種苗業者皆育成抗番茄捲葉病之小番茄品種提供農民運用。

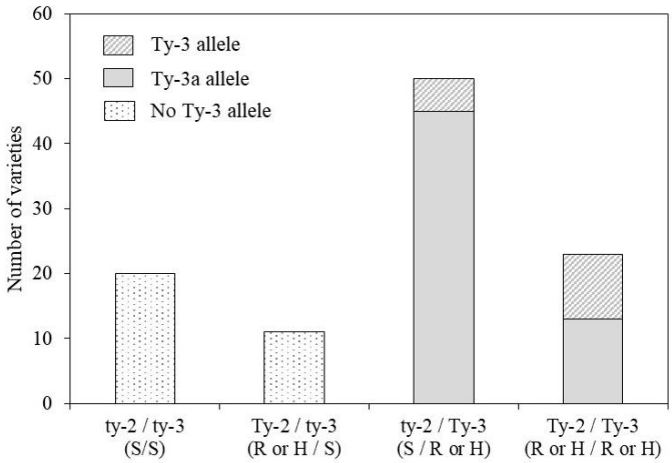


圖 2. 國內 104 個小番茄 F1 雜交優良品種帶有 Ty-2 或 Ty-3 抗病基因不同組合之數量。(同質結合抗病基因型，R；同質結合感病基因型，S；異質結合基因型，H)。

Fig.2. Number of 104 domestic F1 hybrid cherry tomato varieties with different combinations of Ty-2 or Ty-3 resistance genes. (R, Homozygous resistant genotype; S, homozygous susceptible genotype; H, heterozygous genotype).

溫室及美濃露天田區試種評估

為評估帶有抗病基因之番茄品種於實際田間環境中對捲葉病之抗病表現，本研究於 113 年 3 月至 6 月期間，定植 '惠女'、'玉女' 及 '538' 三個品種於高雄市鳳山區之溫室環境中，並在自然粉蝨族群傳播下觀察其發病情形。觀察結果顯示，'玉女' 品種未帶有 Ty-2 與 Ty-3 抗病基因，發病率相對較高，且病徵嚴重之植株比例亦較多；'惠女' 品種則同時帶有 Ty-2 與 Ty-3 之異質型組合，其發病率明顯低於 '玉女'；'538' 品種之發病情形介於兩者之間 (表 1)。結果顯示，具備 Ty 抗病基因之品種在自然感染條件下，整體發病比率較低，但仍可能出現病徵，顯示具抗病基因雖有助於減緩病害發生，不過其抗病效果並非完全免疫；然而，不具抗性之品種可能影響更顯著，植株發病率及後續病徵相對無法控制。

表 1. 不同 Ty-2 及 Ty-3 基因型之番茄品種感染番茄捲葉病之情形。

Table 1. Incidence of tomato leaf curl disease in tomato cultivars with different Ty-2 and Ty-3 genotypes.

品種	Ty-2 基因型	Ty-3 基因型	定植數量	有病徵株數	有病徵且嚴重株數	感染率
惠女	H	H	48	7	3	21%
538	S	H	48	13	0	27%
玉女	S	S	48	9	11	41%

S, homozygous susceptible genotype; H, heterozygous genotype.

另與高雄市美濃區農會及台灣種苗改進協會合作舉辦「優質抗耐病毒小果番茄商業品種觀摩會」，113 年 9 月至 114 年 2 月期間，定植 30 個國內 F1 小番茄品種於美濃露天田區，後期調查其田間 TYLCV 發病率，對照品種‘玉女’發病率不高，介於 10%~15% 間，且整體而言，田區感染病毒病之情形輕微。其中以品種 8、12、15 發病率較高，但此 3 個品種其 Ty-2 與 Ty-3 基因型皆不相同；另品種 14 之 Ty-2 與 Ty-3 皆為感病型，但田間無明顯病毒發生徵狀 (表 2)。

表 2. 不同 Ty-2 與 Ty-3 基因型番茄品種於高雄市美濃地區之番茄捲葉病田間發病情形。

Table 2. Field incidence of tomato leaf curl disease in tomato cultivars with different Ty-2 and Ty-3 genotypes in Meinong, Kaohsiung.

品種編號	Ty-2	Ty-3	番茄捲葉病發生比率	
			第一重複區	第二重複區
1	S	H		
2	S	H		
3	S	H	5%	
4	H	H		
5	S	H	15%	
6	S	H		
7	S	H		
8	S	S	40%	40%
9	S	H		
10	H	H	10%	
11	S	H		
12	S	H	40%	
13	H	S		
14	S	S		
15	H	S	50%	15%
16	H	H		
17	S	H		
18	S	H		
19	H	H		
20	S	H		
21	S	H		
22	H	H		
23	S	H		
24	S	H		
25	H	H		
26	H	H		
27	H	H		
28	H	H		
29	R	S		
玉女	S	S	15%	10%

R, homozygous resistant genotype; S, homozygous susceptible genotype; H, heterozygous genotype.

結果與討論

在臺灣小果番茄的生產中，以口感與風味俱佳的‘玉女’品種為大宗，然而‘玉女’對番茄捲葉病 (TLCD) 相對感病，一旦感染常導致嚴重病徵，進而影響產量而不利收成。經本試驗對多個國內 F1 品種進行分子標誌檢測及田間試種結果顯示，近年國內研究單位與種苗業者已成功育成多個具抗病性的新品種，為番茄栽培提供了更多元且具防禦力的選擇。

然而，進一步依本試驗的分子標誌與田間試種結果比對，尚無法明確推論哪個特定抗病基因 (如 Ty-2 或 Ty-3) 或何種組合與抗病程度之間的直接關聯，此與多篇前人研究評估之結果相符 (林與吳，2018；Elbaz *et al.*, 2016；Yang *et al.*, 2025)，推測抗病表現與植株本身的遺傳背景、環境條件及基因間互作等多重因素相關。不過，透過堆疊 (pyramiding) 多個 Ty 基因，如 Ty-1 / Ty-3 與 Ty-2 的組合，仍被報導有助於提升植株的整體抗性並延長其持久性 (Kaushal *et al.*, 2024；Prabhandakavi *et al*., 2021)。

高雄市美濃區為國內重要番茄產區，但因病毒病難以防治而影響農民收益。本研究於該地進行兩年度的抗病品種比較試驗，結果顯示，抗病品種在田間具良好耐受性，且對照組病徵亦不明顯。Gambley 等 (2020) 指出，廣泛栽培抗病品種可顯著降低地區性病毒發病率及帶毒的銀葉粉蝨族群數量。因此，在番茄栽培產業中，建議優先選用抗病品種，以減輕病蟲害防治壓力與確保生產效益。

綜合本研究結果，以分子標誌篩選抗病基因及推廣抗病品種於產業栽培，皆有助於番茄生產的穩定發展，惟仍需持續評估其他抗病基因 (如 Ty-4、ty-5 及 Ty-6)、生長表現及果實品質等特性，以作為未來育種與品種選擇的重要依據。

謝辭

本研究感謝高雄市美濃區農會、台灣種苗改進協會、又生農場合作辦理「優質抗耐病毒小果番茄商業品種觀摩會」，並向提供試驗番茄品種之種苗業者與研究單位致上誠摯謝意。另感謝王佳暉先生、林衿小姐、張純婉小姐、許雯娟小姐、陳綉萍小姐、蘇麗琴小姐協助試驗研究與調查，一併致上無限謝忱。

引用文獻

1. 吳靜霞、賴佳甫、林煜恒. 2018. 以分子標誌篩選抗黃化捲葉病之番茄種原. 臺中區農業改良場研究彙報 140:41－54.
2. 林怡均. 2022. 史上最嚴重「瘋檬」,番茄瘟疫蔓延中！美濃已上百公頃染疫，農友：不圖救助更需對策. https://www.newsmarket.com.tw/blog/177629/
3. 林煜恒、吳靜霞. 2018. 番茄中不同 Ty 基因組合對於番茄黃化捲葉泰國病毒種之抗病力研究. 臺中區農業改良場研究彙報 139:13－26.
4. 張淳淳. 2024. 番茄病毒病管理與 IPM 操作指引. 臺南區農業專訊. 129:11－14.
5. 鄭櫻慧. 2023. 臺灣番茄病毒病害之發生與管理. 農業世界雜誌 482:19－21.
6. 賴信順. 2023. 番茄園內銀葉粉蝨的農藥輪用策略. 農業試驗所技術服務季刊 135:9－12.
7. 戴振洋、趙佳鴻. 2013. 臺灣番茄病毒病介紹－以黃化捲葉病毒病為例. 臺中區農業改良場特刊 116:73－80.
8. Dhaliwal, M. S., S. K. Jindal, A. Sharma, and H. C. Prasanna. 2020. Tomato Yellow Leaf Curl Virus Disease of Tomato and Its Management through Resistance Breeding: A Review. The Journal of Horticultural Science and Biotechnol. 95:425－444.
9. Elbaz, M., P. Hanson, S. Fgaier, and A. Laarif. 2016. Evaluation of Tomato Entries with Different Combinations of Resistance Genes to Tomato Yellow Leaf Curl Disease in Tunisia. Plant Breeding 135:525－530.
10. Gambley, C., P. Nimmo, J. McDonald, and P. Campbell. 2022. The Establishment and Spread of a Newly Introduced Begomovirus in a Dry Tropical Environment Using Tomato Yellow Leaf Curl Virus as a Case Study. Plants 11:776.
11. Hanson, P., S. F. Lu, J. F. Wang, W. Chen, L. Kenyon, C. W. Tan, K. L. Tee, Y. Y. Wang, Y. C. Hsu, R. Schafleitner, D. Ledesma, and R. Y. Yang. 2016. Conventional and Molecular Marker-Assisted Selection and Pyramiding of Genes for Multiple Disease Resistance in Tomato. Scientia Horticulturae 201:346－354.
12. Hussain, E., C. Y. Cheng, I. M. Huang, C. Y. Lin, S. Gul, I. R. Noorka, A. Eybishitz, C. Kanchana-udomkan, M. V. Zonneveld, and Y. P. Lin. 2025. Molecular Screening of Wild and Cultivated Tomato Germplasm Reveals Potential Materials for Multi-Locus Disease Resistance Breeding. Genet. Resour. Crop Evol.
13. Ji, Y., B. Betteray, J. Smeets, K. S. Jensen, L. Mejia, J. W. Scott, M. J. Havey and D. P. Maxwell. 2007a. Co-dominant SCAR Marker, P6-25, for Detection of Ty-3, Ty-3a, and Ty3b introgressions from three Solanum chilense accessions at 25 cM of chromosome 6 of Begomovirus-resistant tomatoes. <http://www.plantpath.wisc.edu/GeminivirusResistantTomatoes/Markers/MAS-Protocols/P6-25-locus. pdf.>

14. Ji, Y., D. J. Schuster, and J. W. Scott. 2007b. Ty-3, a Begomovirus Resistance Locus near the Tomato Yellow Leaf Curl Virus Resistance Locus Ty-1 on Chromosome 6 of Tomato. Molecular Breeding 20:271－284.
15. Kaushal, A., A. T. Sadashiva, K. V. Ravishankar, S. Sriram and M. K. Reddy. 2024. Marker-Assisted Pyramiding of Ty-2, Ty-3, Ph-2, and Ph-3 Genes for Combined Resistance to Tomato Leaf Curl and Late Blight Diseases in Tomato (Solanum Lycopersicum L.). Eur. J. Plant Pathol. 168:557－570.
16. Nevame, A. Y. M., L. Xia, Z. Wenting, C. G. Nchongboh, L. Wenhu, M. M. Hasan, M. A. Alam, and S. Longting. 2020. Validation of Some Disease-Resistance Molecular Markers Associated with Multiple Diseases in Tomato for Marker-Assisted Selection Program. ScienceAsia 46:19－29.
17. Nithyanandam, A., T. Saraswathi, C. I. Rani, N. K. Jena, S. Harish, S. L. Garnepudi, N. Manivannan, and N. M. Boopathi. 2025. Deciphering Gene Specific Molecular Characterization and Partial Gene Sequence for Combined Resistance to Tomato Leaf Curl Virus (ToLCV) (Ty-1, Ty-2 and Ty-3), Fusarium Wilt (I-2) and Root-Knot Nematode (Mi-1) in Selected Fresh Market Breeding Line of Tomato (Solanum Lycopersicom L.). Molecular Biology Reports 52:59.
18. Prabhandakavi, P., R. Pogiri, R. Kumar, S. Acharya, R. Esakky, and M. Chakraborty, R. Pinnamaneni, and S. R. Palicherla. 2021. Pyramiding Ty-1/Ty-3, Ty-2, ty-5 and ty-6 Genes into Tomato Hybrid to Develop Resistance against Tomato Leaf Curl Viruses and Recurrent Parent Genome Recovery by ddRAD Sequencing Method. J. Plant Biochem. Biotechnol. 30:462－476.
19. Shen, X., Z. Yan, X. Wang, Y. Wang, M. Arens, Y. Du, R. G. F. Visser, R. Kormelink, Y. Bai, and A. M. A. Wolters. 2020. "The NLR Protein Encoded by the Resistance Gene Ty-2 Is Triggered by the Replication-Associated Protein Rep/C1 of Tomato Yellow Leaf Curl Virus. Frontiers in Plant Science 11:545306.
20. Verlaan, M. G., S. F. Hutton, R. M. Ibrahem, R. Kormelink, R. G. Visser, J. W. Scott, J. D. Edwards, and Y. Bai. 2013. The Tomato Yellow Leaf Curl Virus Resistance Genes Ty-1 and Ty-3 Are Allelic and Code for DFDGD-Class RNA-Dependent RNA Polymerases. PLOS Genet. 9:e1003399.
21. Yang, L., J. Ren, H. Yang, T. Zhou, and W. Yang. 2025. Presence of Disease Resistance Genes in Tomato Germplasm Revealed by Gene-Based or Gene-Linked Molecular Markers. Molecular Breeding 45:34.
22. Yang, X., M. Caro, S. F. Hutton, J. W. Scott, Y. Guo, X. Wang, M. H. Rashid, D. Szinay, H. de Jong, R. G. Visser, Y. Bai, and Y. Du. 2014. Fine Mapping of the Tomato Yellow Leaf Curl Virus Resistance Gene Ty-2 on Chromosome 11 of Tomato. Mol Breeding. 34:749－60.

Incidence of Tomato Leaf Curl Disease and Field Evaluation of Domestic Cherry Tomato Cultivars

Miao-Zhen Luo and San-Tai Wang

Department of Vegetable Crops, Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture.

ABSTRACT

In recent years, tomato leaf curl disease has caused severe impacts on the tomato industry, leading to substantial reductions in yield and fruit quality. Breeding tomato cultivars with resistance genes is considered the most effective and direct control strategy. In this study, Ty-2 and Ty-3 molecular markers were used to screen 104 domestic F1 hybrid cherry tomato cultivars. The results showed that 84 cultivars (81%) carried at least one of the resistance genes Ty-2 or Ty-3, indicating that diverse commercial resistant cultivars are available in Taiwan. However, growers generally lack cultivation experience and on-farm verification of the actual performance of these resistant cultivars. Subsequent evaluations were conducted under greenhouse and open-field conditions. The cultivar 'Rosada', which has neither Ty-2 nor Ty-3, exhibited a higher infection rate and more severe symptoms. In contrast, in open-field trials, most cultivars with resistance genes showed high resistance, and the overall incidence of TYLCV was low. These results highlight the potential value of resistant cultivars for further application and promotion in tomato production.

Key words: Tomato, tomato leaf curl disease, molecular marker, resistant cultivars.

臺灣栽培之無花果品種特性初探

陳薪喨

農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所熱帶果樹系

摘要

無花果 (*Ficus carica* L.) 原產於西亞至地中海乾燥地區，全球栽培面積約 29 萬公頃，年產量約 130 萬公噸。國際主產區多以果乾加工為主要利用方式，但臺灣因氣候潮濕，加工成本高，故鮮果市場更具發展潛力。臺灣目前商業栽培面積約 50 公頃，主要分布於彰化以南並以溫網室栽培，其中以‘波姬紅’為主流品種，具大果、產量高與風味鮮甜之優勢。然而，其果皮薄、果目大且易裂，容易受害蟲或病原侵入之風險，導致貯運性與櫥架壽命不足，限制產業發展。

本研究自臺灣各地市場收集 30 品種進行初步篩選，栽植於容器並於果實八成轉色時採收，調查果重、果目大小及可溶性固形物含量。結果顯示，‘波姬紅’平均果重 60–90 克、糖度 14–15 °Brix，屬相對淡甜品種。本所收集之‘金色河濱’、‘金傲芬’、‘迪安納’等品種平均果重與最大果重可與‘波姬紅’相當，糖度亦介於 14–15 °Brix，但其果皮金黃色、果目較小且果皮較厚，不易因果目開裂或蟲害而腐敗，顯示具備作為替代栽培或未來育種材料之潛力。

關鍵詞：無花果、種原、貯運性

緒言

無花果 (*Ficus carica*) 為桑科 (*Moraceae*) 榕屬 (*Ficus*) 多年生喬木果樹，原生於伊朗、土耳其、敘利亞一帶的乾燥地區並拓展至地中海沿岸一帶，全球栽培面積約 29 萬公頃，年產量約 130 萬公噸，主要生產國集中在地中海周圍的土耳其、埃及、摩洛哥、阿爾及利亞、伊朗等國，主要用於加工成果乾出口至歐盟、美國等地，土耳其即佔全球約一半果乾生產。次要產區如美國加州、日本、印度以及中國等則以國內鮮果市場為主。目前台灣無花果商業栽培面積約 50 公頃，主要分布於彰化以南至屏東地區，並以溫網室栽培。

無花果依其結果授粉需求可分為四種交配型：一般型、斯密爾納型、聖佩德羅型與公花型。一般型品種的果實發育行單偽結果，不需要經過受粉即可發育成熟，‘波姬紅’、‘瑪斯義陶芬’及多數品種皆屬於此類。斯密爾納型需仰賴無花果小蜂協助授粉果實才能順利發育，知名品種如‘Sari Lop’。聖佩德羅型品種則類似前兩者中間型，越冬的休眠果芽在初春發育不須經過受粉即可成熟，春季新萌

發的果芽則需要受粉才能成熟。公花型品種無花果的果實一般不拿來食用而是作為功能性雄花及小蜂寄主，專為其他品種無花果提供花粉源促進結果。

國際目前主要栽培品種為 ‘Sari Lop’，廣泛栽培於地中海沿岸及美國加州，在土耳其更佔其國內無花果栽培面積 9 成，該品種果重約 60–70 克，果形扁橢圓，果皮金黃有果稜、果肉鮮紅高可溶性固型物，葉片細長掌狀五裂。果實收穫後主要加工製成果乾，於南北貨市場或超市販售的果乾大多屬於此品種。‘Sari Lop’ 為原產土耳其的地方種，屬於 Smyrna 類型，需要授粉才能穩定結果，當地農民生產時需要在果園間穿插種植公花型品種或是將公花果實吊於 ‘Sari Lop’ 樹上以藉由飛出的小蜂協助授粉著果。

‘波姬紅’ 為目前臺灣主流的商業栽培品種 (圖 1)，屬於一般型品種，不需受粉即可結果，在臺灣產季約自 5 月至 11 月，葉片掌狀五至七裂，果實大果甕形，果重約 60–80 克，果皮紅至紫色，帶絨毛而有明顯果稜、皮孔，果肉粉紅有果腔，口感鮮甜多汁，生長勢強，可溶性固型物約 14–15 ˚Brix。



圖 1. ‘波姬紅’ 果實。
Fig.1. Variety ‘Bo-Ji-Hung’.

無花果在全球及臺灣之栽培面積，相較於其他果樹作物之發展速度明顯緩慢。其主要限制因素在於成熟果實質地柔軟、果皮脆弱，導致其貯運性不佳及櫥架壽命短暫，不易進行長程運輸，因而降低鮮果進入國際市場的競爭力。因此國際主要產區多以加工為果乾形式作為主要利用途徑。然就臺灣產業發展而言，若僅依循國際主流之果乾加工路線，則在生產成本與規模經濟上將面臨劣勢。土耳其、伊朗及地中海沿岸等主要生產國，夏天乾燥炎熱，多以露天栽培，且產季受惠於夏天乾燥且日照充足之氣候，可直接利用天然日曬完成加工程序，不僅降低能耗，亦能大量供應市場。而臺灣位處海島氣候，適逢夏季高溫多雨主要以溫網室設施栽培避免雨害，高濕環境亦不利於果實乾燥處理須仰賴機械烘乾設備輔助，致使加工成本顯著增加。雖果乾可透過發展特色化產品創造利基，但在國際大宗貿易

市場中之競爭力相對有限。

綜合上述條件，臺灣無花果產業之發展定位宜以鮮果市場為主要方向。無花果具獨特果形與風味，並兼具營養及保健價值，若能透過改良栽培技術以提升果實品質、延長採後保鮮期，並結合產銷體系及地方品牌推廣，將可有效提升鮮果於國內外市場之接受度與附加價值。此一策略不僅有助於區隔臺灣無花果產業與國際主流果乾產業之發展模式，亦可強化其市場定位，進而提升整體產業競爭力。故本研究針對臺灣常見無花果品種初步篩選可作為同具經濟價值或可作為後續育種之親本材料。

目前主流品種‘波姬紅’果實之特性為大果，口味清甜。但成熟果實果皮較薄、果目偏大且容易自該處開裂，影響果實完整度，並容易造成螞蟻、小蠹蟲鑽入或感染真菌造成腐敗。

無花果現有品種初步篩選

本研究自臺灣市場收集之無花果品種 30 種 (表 1)，栽植於 100 公升黑色方型桶中，果實於整顆 80% 轉色時採收。品種記錄量測果實重量、果目直徑、可溶性固形物含量°Brix。

研究結果顯示‘波姬紅’平均可溶性固形物含量介於 14–15 °Brix 之間，平均果重約 60–90 克。‘Sari Lop’ 的果重約 65–70 克。本所收集的品種中平均果重最重者為 ‘金色河濱’ (72.34 g)、‘金傲芬’ (69.17 g) (圖 2)、‘迪安納’ (65.00 g) 與‘藍巨人’(54.56 g)，這幾個品種果重與 ‘波姬紅’ 及 ‘Sari Lop’ 相近，最大果重也能達到 100 克以上，應較有作為商業生產的可行性，其餘品種平均果重則多於 50 克以下，屬於中小果型。其中日本主要品種‘瑪斯義陶芬’與‘黑山口’平均果重較輕，但最大果重也有達 100 克等級，亦為可考量之品種。



圖 2.‘金傲芬’果實。

Fig.2. Variety ‘Orphan’.

表 1. 分所收集無花果種原基本性狀表。

Table 1. Characteristic table of fig collections of Fengshan branch.

品種	英文名	果重 (公克)	最大果重 (公克)	果目 (公分)	糖度 (°Brix)
金色河濱	Golden riverside	72.35 ± 30.1	147.05	0.64 ± 0.24	15.55
金傲芬	Orphan	69.17 ± 24.18	125.29	0.69 ± 0.26	14.87
迪安娜	Deanna	65 ± 16.67	98.99	0.69 ± 0.2	14.16
藍巨人	Texas Blue Giant	54.56 ± 18.13	99.36	1.01 ± 0.34	16.56
摩洛哥改良	Morocco Alter 23	51.74 ± 12.71	85.08	1.04 ± 0.27	16.44
以色列紅	Red Israel	48 ± 17.64	92.49	0.85 ± 0.24	15.5
瑪斯義陶芬	Masui Dauphine	46.65 ± 20.66	111.87	0.93 ± 0.32	16.75
黑傑克	Black Jack	45.8 ± 17.41	75.7	0.84 ± 0.29	14.8
翡翠草莓	Emerald Strawberry	42.8 ± 8.7	67.77	0.64 ± 0.12	15.99
MR	Martinenca Rimada	42.03 ± 11.2	65.45	0.83 ± 0.37	14.77
PR	Paratjal Rimada	40.92 ± 10.58	64.35	1.47 ± 0.65	16.17
白色春天	Molla Blanca	39.45 ± 12.21	64.16	0.83 ± 0.32	19.12
阿爾貝克白色春天	Albacor de Molla Blanca	38.13 ± 7.88	63.79	0.64 ± 0.16	21.82
長頸黃	Yellow Long Neck	37.9 ± 17.19	80.54	0.51 ± 0.16	14.27
義大利 258	Italian 258	37.3 ± 8.34	59.06	0.91 ± 0.39	20.16
義大利茄子	Melanzana	36.48 ± 12.67	57.95	0.97 ± 0.43	17.28
黑色死神	Deos Negra	36 ± 10.8	67.88	0.89 ± 0.21	18.22
斑紋	Panache	35.39 ± 7.78	55.33	1.39 ± 0.46	16.66
黑山口	Coll de Dama negra	34.59 ± 14.65	98.62	0.96 ± 0.72	20.89
黑色使命	Black Mission	28.29 ± 9.07	54.46	0.58 ± 0.18	17.51
義大利 376	Italian 376	27.96 ± 9.2	52.04	0.9 ± 0.26	24.43
LUV	LUV	27.25 ± 6.12	47.78	0.68 ± 0.2	19.57
索科羅黑	Socorro Black	27.12 ± 7.82	51.37	0.67 ± 0.17	21.01
貝貝拉布蘭卡	Bebera Branca	26.41 ± 4.3	32.49	0.62 ± 0.09	10.83
奧斯本多產	Osborn Prolific	24.4 ± 9.4	41.94	0.73 ± 0.31	16.63
聖克魯斯黑暗	Santa Cruz Dark	22.68 ± 7.82	40.41	0.62 ± 0.21	17.22
黑谷	Valle negra	22.46 ± 6.41	37.54	0.77 ± 0.27	21.52
改良西萊斯特	LSU Improved Celeste	19.77 ± 7.69	34.4	0.74 ± 0.26	15.98
黑貝隆	Noir de Bellone	18.76 ± 5.7	32.24	0.7 ± 0.21	20.23
黑馬賽	Marseilles Black	17.99 ± 4.75	29.69	0.56 ± 0.1	21.05

在果目大小部分，‘長頸黃’具有平均最小的果目直徑約 0.51 公分 (圖 3)，前述‘金色河濱’、‘金傲芬’、‘迪安納’之果目直徑約 0.64–0.69 公分在收集裡亦是屬於果目較小的品種，成熟果實之果目相對緊閉，較少開裂情形。相對果目較大的‘瑪斯義陶芬’仍容易有開裂狀況。



圖 3.‘長頸黃’果實。
Fig.3. Variety ‘Yellow long neck’.

在可溶性固形物部分，‘義大利 376’具有最高值 (24.43 °Brix)，最低者為‘貝貝拉布蘭卡’(10.83 °Brix)。‘金色河濱’、‘金傲芬’、‘迪安納’三者甜度與‘波姬紅’相當，口味仍相對淡甜。

結果與討論

Ferguson 等人 (1990) 在培育‘Sari Lop’後繼品種曾指出，育種工作著重於培育具有封閉果孔以限制昆蟲進入的‘Calimyrna’優質一般型無花果。

相關改進亦曾於日本進行，日本早期品種為古代自中國傳入的‘蓬萊柿’，果皮棕紫色，但果目大且容易有明顯的果目裂果，之後於 20 世紀初期自美國引入‘瑪斯義陶芬’以取代‘蓬萊柿’，並成為目前日本主要栽培品種，該品種與‘波姬紅’相似同樣為紫皮大果，成熟果之果目仍稍偏大且仍有果目裂果問題。近年福岡農業綜合試驗場以瑪斯義陶芬與蓬萊柿為親本改良出新品種‘豐蜜姬 (とよみつひめ)’，相較於前兩者果目較小，裂果情形亦有改善。

‘波姬紅’雖然其可溶性固形物含量約 14–15 °Brix 左右，屬於相對淡甜的品種，但因其高產、大果，故仍為臺灣目前主流栽培品種。本所收集的無花果品種裡，‘金色河濱’、‘金傲芬’、‘迪安納’的平均果重與最大果重可以與之相當，雖然這三者糖度亦介於 14–15 °Brix，風味同樣相對淡甜，但這三者的果皮顏色為

金黃色，與‘波姬紅’的紅紫色果皮相比可作為另一種市場選擇。此外，這三品種具有較小的果目，即使在成熟時也不易自果目開裂以及其具有較厚實的果皮，故這三品種應可作為另一種栽培選擇與未來育成品種之親本來源。

謝辭

感謝行政院農業部支持研究經費，並感謝農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所熱帶果樹系謝泉義先生、葉建華先生、葉盈慈小姐與盧炳成先生協助本研究進行，一併致上無限謝忱。

引用文獻

1. Ferguson, L., T.J. Michailides and H.H. Shorey. 1990. The California fig industry, Horticultural Reviews. p. 409–490.
2. Sarkhosh, A., A. Yavari, and L. Ferguson (Eds.). 2022. The Fig: Botany, Production and Uses.

Preliminary Evaluation of Fig Cultivar Characteristics in Taiwan

Hsin-Liang Chen

Department of Tropical Fruit Trees, Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture.

ABSTRACT

Fig (*Ficus carica*) originates from the arid regions of West Asia to the Mediterranean basin, with a global cultivation area of approximately 290,000 hectares and an annual production of about 1.3 million metric tons. In major producing countries, figs are predominantly processed into dried products; however, in Taiwan, the humid climate increases processing costs, making the fresh fruit market a more promising development pathway. Currently, Taiwan has about 50 hectares under commercial fig cultivation, primarily in southern regions such as Changhua to Pingtung, with most production occurring in protected net-house systems. The cultivar 'Bourjassotte Grise' (locally known as 'Po-chi Hung') is the dominant type, favored for its large fruit size, high yield, and sweet flavor. Nevertheless, its thin skin, large ostiole, and susceptibility to cracking increase the risk of insect and pathogen invasion, thereby limiting postharvest storage life and transportability, which constrains further industry expansion.

In this study, 30 fig cultivars collected from the local market were evaluated through preliminary screening. Plants were cultivated in 100-L containers, and fruits were harvested at 80% skin color change. Measurements included fruit weight, ostiole diameter, and soluble solids content (SSC). Results showed that 'Po-chi Hung' had an average fruit weight of 60–90 g and SSC of 14–15 °Brix, classifying it as a moderately sweet cultivar. Among the collected germplasm, 'Golden Riverside', 'Orphan', and 'Deanna' exhibited comparable average and maximum fruit weights to 'Po-chi Hung', with SSC also ranging between 14–15 °Brix. Importantly, these cultivars possess golden-yellow skin, smaller ostioles, and thicker pericarps, reducing the likelihood of ostiole cracking, insect infestation, and decay. These characteristics suggest their potential as alternative cultivars for commercial cultivation in Taiwan and as valuable breeding materials for future genetic improvement.

Key words: fig, germplasm, storagebility.

夏季花椰菜育苗的高溫改善與評估

林楨祐、陳宣蘋、羅惠齡

農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所蔬菜系

摘要

夏季設施內高溫影響花椰菜穴盤苗的生長，植株常表現較小及根團發育不佳。本研究評估穴盤表面覆蓋與穴盤底部控溫對花椰菜苗生長的影響。利用泰維克布覆蓋穴盤表面以減少介質的裸露，當穴格表面覆蓋 90.8% 的面積時，幼苗品質指數與 Dickson 品質指數最佳，優於覆蓋面積 86.7% 與 82.0%，無覆蓋的穴盤的苗品質最差。在無覆蓋泰維克布的條件下，底部控溫 15℃、20℃ 與 25℃ 處理的幼苗品質指數與 Dickson 品質指數明顯著優於傳統穴盤育苗，但 3 個溫度處理間的品質指數並無顯著差異。覆蓋泰維克布結合底部控溫 25℃ 的幼苗品質指數與 Dickson 品質指數明顯著優於傳統穴盤育苗。於底部進行控溫處理時，有覆蓋泰維克布的幼苗品質指數與 Dickson 品質指數皆明顯較無覆蓋處理佳。覆蓋泰維克布結合底部控溫除了可有效降低根域介質的最高溫與平均溫度，同時可縮減根域溫差與溫度的波動，有助於提高花椰菜穴盤育苗的品質。

關鍵詞：花椰菜、幼苗品質指數、Dickson 品質指數、覆蓋、底部控溫

緒言

花椰菜主要產期集中在涼爽的冬季和春季，12 月至翌年 3 月期間的供應量約佔全年供應量的 55.1%，夏季前後 (6－10 月) 的供應量佔全年供應量的 19.0%，一般來說花椰菜多喜歡冷涼氣候，高溫下常發生實生苗發育不良與品質差的情形，由於穴盤的穴格容積有限，在太陽直射下容易使熱能蓄積於介質，造成根部生長的根域產生高溫，且介質的溫度波動幅度大 (圖 1)，導致花椰菜幼苗根系拓展緩慢，呈現植株偏小與生長遲緩現象。Yamori *et al.* (2022) 指出氣溫與根溫影響植物的生長甚鉅，兩者間的相互平衡，植物才能有最佳的生長。苗的健康或品質可藉由幼苗品質指數與 Dickson 品質指數等 (Neto *et al.*, 2018; Zhou *et al.*, 2019; Nkurunziza *et al.*, 2022; Yan *et al.*, 2023) 生長指標作為評估方式，其公式如下:

$$\text{幼苗品質指數} = \left(\frac{\text{莖徑}}{\text{株高}}\right) \times \text{實生苗總乾物重}$$

$$\text{Dickson 品質指數} = \text{實生苗總乾重} \div \left(\frac{\text{株高}}{\text{莖徑}} + \frac{\text{地上部乾物重}}{\text{根乾物重}}\right)$$

幼苗品質指數與光合有效輻射和熱效率有關，可用於預測作物活力 （Zhou *et al.*, 2019），Dickson 品質指數與葉綠素螢光及作物的葉面積具高度的相關性。本研究在夏季進行穴盤育苗，評估穴盤表面覆蓋或底部控溫等方式對花椰菜生長的影響，並利用植物生長指標評估苗的品質，以改善夏季穴盤苗生長不佳的問題。

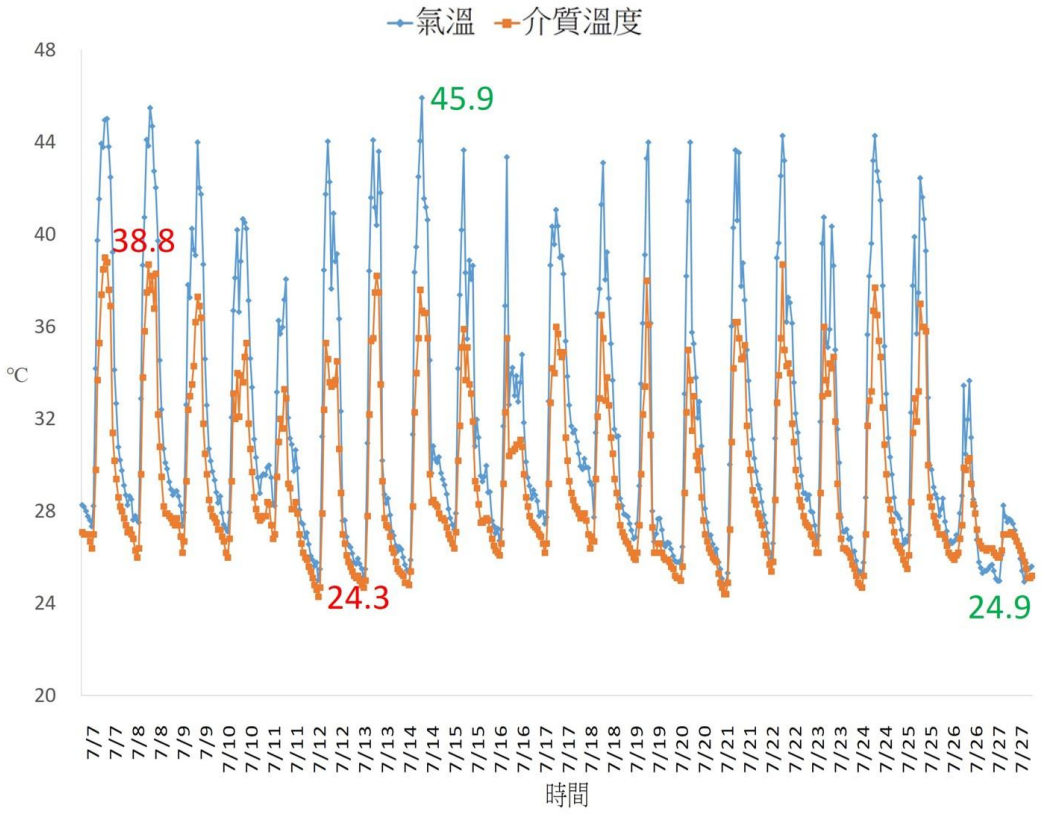


圖 1. 夏季塑膠布網室內氣溫與穴盤的根域溫度變化。

Fig.1. Ambient temperature and root zone temperature of the plug in the plastic greenhouse.

穴盤表面覆蓋提升苗的品質

以夏季花椰菜 ‘35’ 品種為試驗材料，在穴盤上方覆蓋泰維克布，使穴格上層介質的原本裸露表面積從10.89 cm^2 分別縮減至1.00 cm^2 (覆蓋面積90.8%)、1.44 cm^2 (覆蓋面積86.7%)、1.69 cm^2 (覆蓋面積82.0%) 以及對照組無覆蓋處理，共4 種處理，穴盤底部控溫20℃。調查苗的株高、莖徑、葉數等生長及乾物重，將性狀調查資料轉換為幼苗的生長指數 (幼苗品質指數與Dickson 品質指數) 來評估苗的品質。結果顯示，無覆蓋者的根域溫度高達34.3℃，覆蓋面積90.8%、86.7% 與82.0% 則分別可降低至31.0℃、30.1℃、29.7℃ (圖2)。3 種覆蓋處理的莖乾重皆重於無覆蓋處理，覆蓋面積90.8% 有最多的根乾重，其次為覆蓋面積86.7% 與82.0%，無覆蓋處理的根乾重最輕。覆蓋面積90.8% 的幼苗

品質指數表現最佳為4.7，其次為覆蓋面積86.7% 與82.0%，指數值分別為3.9與4.0，覆蓋處理皆優於無覆蓋處理的3.2。在Dickson 品質指數表現上，覆蓋面積90.8% 的指數表現最佳為3.9，其次為覆蓋面積86.7% 與82.0%，指數值分別為3.3 與3.4，皆優於無覆蓋處理的2.7 (圖3)。從2 個品質指數得知覆蓋面積90.8% 可生產最佳的苗，藉由覆蓋泰維克布並縮小穴格表面裸露面積，有助於根部的生長並於夏季生產出健壯的花椰菜苗。

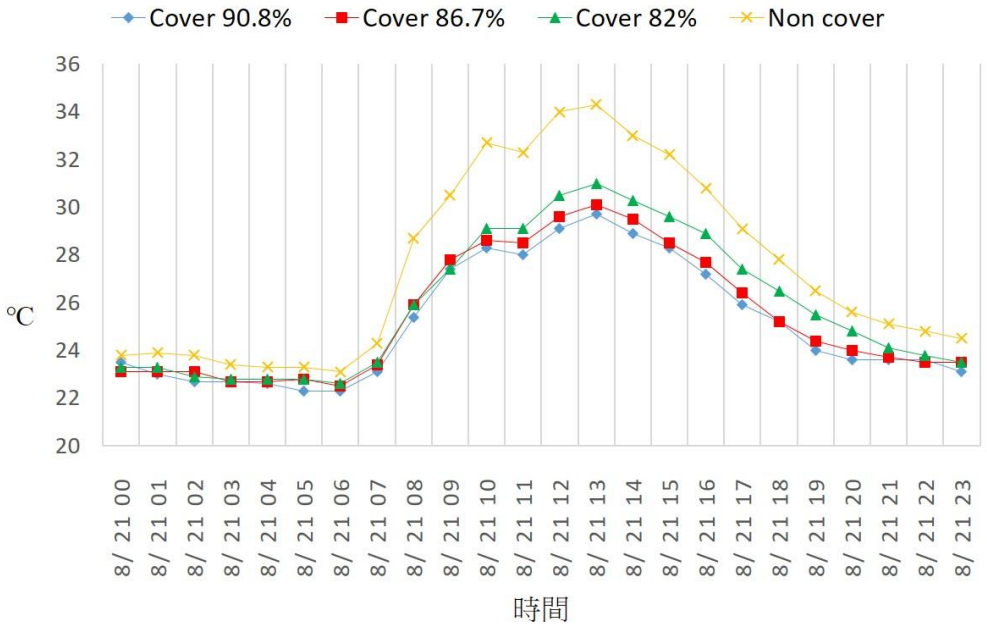


圖 2. 穴盤表面覆蓋的根域溫度變化。

Fig.2. Variation of root zone temperature in plug tray surface covering treatments.

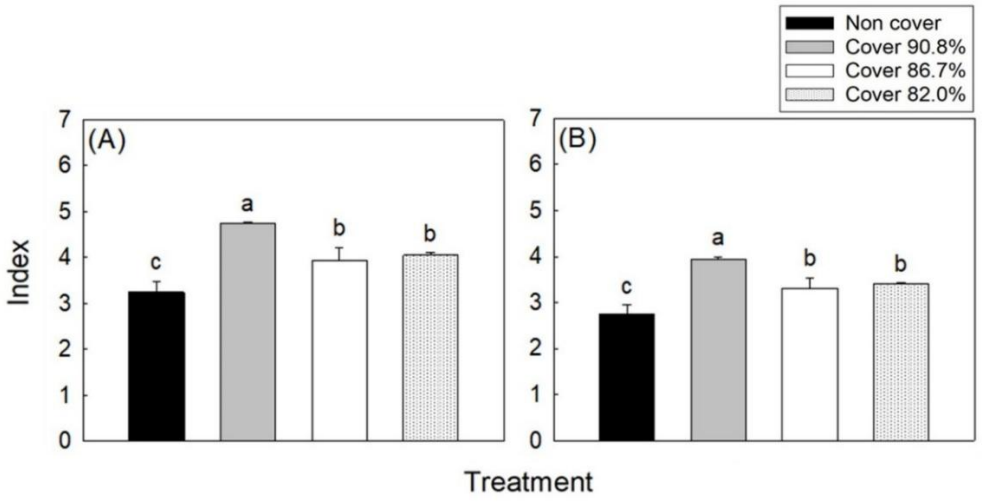


圖 3. 穴盤表面覆蓋的生長指標(A)幼苗品質指數與(B) Dickson 品質指數。

Fig.3. Growth indicators of plug surface covering treatments. (A) seedling quality index; and (B) Dickson quality index. Error bar is the standard deviation of man (n = 3). Means with the same letter are not significantly different at 5% leavel by LSD test.

穴盤底部降溫減緩根域溫度波動

以夏季花椰菜 '35' 品種為試驗材料，在育苗穴盤底部下方以保麗龍隔熱，底部分別控溫處理 15℃、20℃ 和 25℃ 以及無溫度處理，並以傳統穴盤育苗做對照組。調查苗的株高、莖徑、葉數等生長及乾物重，將性狀調查資料轉換為幼苗的生長指數 (幼苗品質指數與 Dickson 品質指數)。結果顯示，傳統穴盤育苗的根域高溫可達 38.8℃，根域溫差高達 14.5℃，當底部分別處理 15℃、20℃ 和 25℃ 時，根域的最高溫分別降低至 30.7℃、32.6℃ 與 32.9℃，根域溫差分別縮減至 10.2℃、10.3℃ 與 9.0℃。底部處理 15℃、20℃ 和 25℃ 的根乾重明顯較傳統穴盤育苗處理重，且有較佳的幼苗品質指數，分別為 4.1、4.2 與 4.2，並皆較傳統穴盤育苗的幼苗品質指數 1.9 高。在 Dickson 品質指數也呈現相似的結果，3 個溫度處理的 Dickson 品質指數約在 3.5，較傳統穴盤育苗的 Dickson 品質指數 1.6 高。以保麗龍底部隔熱的無溫度處理組其根域平均溫度 29.5℃ 與傳統穴盤平均溫度相近，但根域溫差縮減到 10℃，低於傳統穴盤的根域溫差，保麗龍底部隔熱具有減緩根域溫度變動的效果，且其 2 個品質指數略優於傳統穴盤育苗，顯示控制根域溫差有一定的成效。底部 15℃、20℃ 和 25℃ 控溫處理可以降低根域最高溫與縮減根域溫差，並具有較高的幼苗品質指數與 Dickson 品質指數。

穴盤表面覆蓋結合底部降溫大幅提升苗的品質

所有處理組皆覆蓋泰維克布的情形下，評估底部降溫的功效，以夏季花椰菜 '35' 品種為試驗材料，在育苗穴盤底部下方以保麗龍隔熱，底部分別控溫處理 15℃、20℃ 和 25℃ 以及無溫度處理，並以覆蓋泰維克布的穴盤育苗做對照組。調查苗的株高、莖徑、葉數等生長及乾物重，將性狀調查資料轉換為幼苗的生長指數 (幼苗品質指數與 Dickson 品質指數)。結果顯示，對照組無底部控溫時，根域最高溫為 37.6℃，根域溫差為 12.9℃，為所有處理組溫度最高者。當覆蓋泰維克布結合底部 15℃ 時，根域溫度明顯降低，在 20.0℃－30.4℃ 之間，根域溫差為 10.4℃，根域最高溫較對照組降低了 7.2℃ (37.6℃ 降至 30.4℃)，15℃ 處理雖有助於地上部的生長，但苗的品質並不佳，底部控溫 15℃ 的幼苗品質指數為 5.5 與 Dickson 品質指數為 4.7 僅優於對照組的 3.9 與 3.1，顯示底部控溫 15℃ 有利於地上部的生長，但非最有利於根系的發育。覆蓋泰維克布結合底部控溫 25℃ 時，表現最高的幼苗品質指數 7.4 與 Dickson 品質指數 6.1，雖然此處理的根域溫度範圍非最低，但整體上降低至 23.9－31.9℃ 之間，根域溫差縮小至 8.0℃，為所有處理的根域溫差變化波動最小的處理，顯示除了降低根域高溫外，縮小根域溫差變化的重要性，並有助於提升苗的品質。底部同一溫度個別比較時，不論在底部控溫 15℃、或在 20℃、或是

25℃ 皆是以覆蓋較無覆蓋的指數高，在 15℃ 控溫處理下 (幼苗品質指數 5.5 / 4.1，Dickson 品質指數 4.7 / 3.5，覆蓋 / 無覆蓋)；在 20℃ 控溫處理呈現 (幼苗品質指數 6.7 / 4.2，Dickson 品質指數 5.7 / 3.5，覆蓋 / 無覆蓋)；25℃ 處理則呈現 (幼苗品質指數 7.4 / 4.2，Dickson 品質指數 6.1 / 3.5，覆蓋 / 無覆蓋)；顯示有覆蓋泰維克布的處理可提升苗的品質。當覆蓋泰維克布時，比較不同溫度的影響，底部處理 15℃、20℃ 與 25℃ 的幼苗品質指數分別為 5.5、6.7、7.4，Dickson 品質指數分別為 4.1、5.7、6.1，顯示當覆蓋泰維克布，在底部控溫 25℃ 的條件下就可獲得較佳的品質，不需給予更低的溫度。

結果與討論

綜上結果顯示穴盤育苗受陽光直射的影響效應較大，覆蓋泰維克布可有效地隔離陽光照射，改善高溫的衝擊，當穴格表面覆蓋 90.8% 的面積時，幼苗品質指數與 Dickson 品質指數最佳，穴盤覆蓋後可改善植株生長變慢，植株變小及根團發育不佳的現象。總括來說，夏季穴盤育苗除了需降低根域高溫外，減少根域溫差的波動亦有利於苗的根部生長，利用泰維克布覆蓋結合底部控溫 25℃ 處理，在兩個苗品質指數的指標上表現最佳，顯示降低根域高溫與根域溫差的重要性，藉由穴盤上方的覆蓋與穴盤底部控溫的措施，可大幅提高夏季高溫下花椰菜穴盤育苗的品質。

引用文獻

1. Nkurunziza, E., S. Nyalala, and K. N. J. Umuhoza. 2022. Effect of seedling quality on growth, yield and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Int. J. Hortic. Sci. 28:64–72.
2. Neto, J. L. L. M., W. F. Araújo, L. B. O. Vilarinho, T. K. de O. Nunes, E. S. da Silva, S. da S. Maia, J. de A. A. de Albuquerque, E. A. Chagas, R. H. da S. Siqueira, and C. Abanto-Rodriguez. 2018. Seedlings production of two tomato (Solanum licopersicum L.) cultivars under different environments and substrates. Acta Agron. 67(2):270–276.
3. Yamori, N., C. P. Levine, N. S. Mattson, and W. Yamori. 2022. Optimum root zone temperature of photosynthesis and plant growth depends on air temperature in lettuce plants. Plant Mol. Biol. 110:385–395.
4. Yan, Z., J. Cheng, Z. Wan, B. Wang, D. Lin, and Y. Yang. 2023. Prediction model of pumpkin rootstock seedlings based on temperature and light responses. Agronomy 13(2):516.
5. Zhou, T., Z. Wu, Y. Wang, X. Su, C. Qin, H. Huo, and F. Jiang. 2019. Modelling seedling development using thermal effectiveness and photosynthetically active radiation. J. Integr. Agric. 18(11): 2521–2533.

Evaluation of High Temperature Improvement for Culiflower Seedlings in Summer

Chen-Yu Lin, Hsuan-Ping Chen and Hui-Ling Lo

Department of Vegetable Crops, Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture.

ABSTRACT

High temperatures affect the growth of cauliflower seedlings of plug trays in summer. Plants often showed small size and poor root ball. This study carried out the effects of surface covering and bottom temperature control in plug tray for cauliflower seedlings production. The surface covering with Tyvek mulch reduce the exposure of the medium. The seedling quality index and Dickson quality index of the 90.8% coverage area treatment was significantly higher as compared to the 86.7% and 82.0% coverage areas treatments. The quality of seedling without covering showed lowest values. When treatments not combined with Tyvek mulch, the seedling quality index and Dickson quality index of the bottom 15℃, 20℃ and 25℃treatments were significantly better than traditional plug tray seedlings. There was no significant difference in the quality index among three temperature treatments. Plug surface coverage treatments combined with the bottom 25℃showed better performance than traditional plug tray seedlings in seedling quality index and Dickson quality index. Comparison of seedlings differences between coverage and without coverage at a single bottom temperature. The results showed that growth indicators of coverage treatment were higher than without coverage. Covering with Tyvek mulch combined with bottom temperature control reduce the maximum and average temperatures of the medium, but also reduce the temperature difference in the root zone. Plug surface coverage combined with the bottom temperature control improve the quality of cauliflower seedlings.

Key words: bottom temperature control, cauliflower, Dickson quality index, plug surface covering, seedling quality index.

番石榴生育需水量調查

高碧霜[1]、許健輝[2]、邱國棟[1]、謝鴻業[1]

[1]農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所熱帶果樹系
[2]農業部農業試驗所農業化學組

摘要

區域水資源管理是永續農業的關鍵之一，因此了解水資源的使用對其有效管理至關重要。本研究聚焦於調查番石榴的蒸發散量，量化其水分需求，為臺灣南部區域水資源管理提供基礎數據。試驗於2022 年8 月至2025 年5 月在高雄進行，調查番石榴蒸發散、土壤質地和滲漏等，使用水氣通量儀 (LICOR-7500DS) 觀測全年蒸發散量，旨在建立臺灣南部之番石榴全年度各生育期之需水樣態與用水量資料。本試區土壤性質為：0–150 cm 土層為砂質壤土或壤土、0–40 cm 土壤的入滲速率為2–26 mm·hr^{-1} 之間、有效水分含量為234 mm·m^{-1}，具排水快和高透氣性好的性質。番石榴之作物蒸發散量 (crop evapotranspiration, ET_C) 為1.51–3.84 mm·day^{-1}，潛勢能蒸發散量 (reference evapotranspiration, ET_0) 為3.04–6.49 mm·day^{-1}，作物係數 (crop coefficient, K_C)為0.42–0.60。結果表明，番石榴的蒸發散量隨季節變化，顯示其灌溉量需進行季節性調節，作物係數在乾旱或濕潤的不同年份間保持穩定，顯示番石榴的用水量基本保持穩定，本資料可用在政府調度區域水資源上。本研究後續將數據持續整合至智慧灌溉系統，優化灌溉策略，以提升用水效率。

關鍵詞：番石榴、潛勢能蒸發散量、作物蒸發散量、作物係數

前言及前人研究

臺灣雨水平均每年約2,500 公釐，與聯合國公布的176 個國家相比，排名13。然而因為調蓄設施容量有限，加上山高坡陡、河流短急、人口稠密等因素，平均每人可分配到的水資源僅約世界平均值的三分之一。且近年來在全球暖化趨勢下，極端氣候頻仍，由國家災害防救科技中心資料可知臺灣的豐枯水期降雨愈趨不均，推估未來降雨量方面，頻度下降，強度上升；而水分為植物生長重要的限制因子，各種植物對水分逆境的耐受及調適能力差異極大，營養生長及生殖生長皆受水分因子限制，且果樹為多年生作物，旱澇不均除影響當年度果樹生產情形外，亦影響來年果樹生長、產量及品質等。為應對氣候變遷對降雨模式和水資源可得性的影響，發展適應性農業管理策略至關重要 (Howden *et al.*, 2007)。

每個作物有其耗水特性，且會隨著不同地區、植株生育時期與季節而改變，為適當 灌溉該作物，了解作物特性是很重要的準備工作。番石榴 (*Psidium guajava*) 為桃金孃科番石榴屬常綠果樹，113 年的農情調查資料顯示在臺灣生產面積約8,029 公頃，為前十大的重要果樹之一。番石榴為全年皆可生產之果樹，其水分管理十分重要，如何精準分配水資源與提高水資源生產效率更是整體產業發展的瓶頸之一。

在農業操作中，灌溉是向土壤施加水分以改善作物生長、維護景觀和恢復乾旱地區退化土壤的方法 (Gavali *et al.*, 2016)，而灌溉量取決於種植作物的需求以及當地可用水資源量 (Riediger *et al.*, 2016)。缺水會影響植物正常發育，而灌溉過量則會降低根部呼吸、影響根部生長，並導致土壤退化問題，如地表徑流、土壤侵蝕和養分淋溶等 (Grashey-Jansen, 2014)。

蒸發散 (Evapotranspiration, ET) 指的是蒸發作用 (土壤表面水分蒸發到空氣中)加上蒸散作用 (植物透過葉片將水分釋放到空氣中) 的總和。而潛勢能蒸發散量 (ET_0) 是指在最佳生長條件下，一片廣闊、均勻、綠色、高度約0.12 公尺、完全覆蓋土壤且水分充足的草本植物所產生的蒸發散量，可以依據Penman-Monteith 之蒸發散量公式及氣象資料求取潛勢能蒸發散量 (Allen *et al.*, 2006)。不同於由氣象資料所估算之ET_0 值，作物蒸發散量 (ET_C) 則是以實際田間之蒸發散量，包含土壤之蒸發量及作物葉片之蒸散量所組成，受作物不同生育階段之葉面積及土壤水分狀態之影響；可利用通量計實測番石榴果園之實際作物蒸發散量變化。作物係數 (K_C) 為作物蒸發散量 (ET_C) 除以潛勢能蒸發散量 (ET_0) 所得之值，不同作物及不同生長期會有不一樣的值。番石榴的有關蒸發散量的資料不多，B.K.Singh 等人 (2007) 在印度以種植在砂質壤土的KG / Kaji 品種試驗，使用Penman Monteith 方法估計潛勢能蒸發散量 (ET_0)，不同月份之ET_0 落在2.78–6.77 $mm \cdot day^{-1}$ 之間。A.E.Elnamas (2020) 在埃及以種植在黏土的四年生植株試驗，調查兩個生長期 (2017 / 2018、2018 / 2019)，數據顯示潛勢能蒸發散量受季節影響，夏增冬減，數值落在1.48–5.73 $mm \cdot day^{-1}$ 之間，作物蒸發散量 (ET_C) 趨勢亦同；兩者最高值皆落在6–7 月，最小值為12 月；綜上兩篇文章，番石榴的作物係數 (K_C) 落在0.55–0.86 間。

國內有關番石榴水分需求之研究顯示，土壤性質對蒸發散量具有顯著調控作用。柯立祥 (1997) 指出，泰國拔豐產之適當土壤水分張力應維持在 20–40 kPa (20–40 centibar (cb)) 之間，此區間可視為維持植株最大蒸散速率之水分操作門檻。另一方面，林子文 (2016) 以二年生盆植珍珠拔為材料，發現當土壤張力達-55 kPa 時，葉片水勢降至-2.0 MPa 且相對含水量 (RWC) 為 89%，植株進入暫時萎凋點。此數據在蒸發散估算模型中具有重要意義，可為定義土壤水分修正係數 (Soil Water Stress Coefficient, K_S) 之臨界參數。具體而言，當土壤張力超過55 kPa 時，根部吸水阻力與氣孔阻抗增加，導致實際蒸發散量開始顯著低於作物蒸發散量 (ET_C)。這些生理與物理參數的整合，有助於在氣候變遷情境下，更精準地推

估番石榴在乾旱脅迫下的水分消耗特徵與灌溉需求。

然而，儘管上述研究建立了初步的參數，但隨著氣候變遷、新品種演替及地區土壤差異，現有之數據在田間實際應用上仍存在落差。特別是在不同土層結構與微氣候條件下，已難以精準對接當前的農業生產環境，導致農民多仍依賴傳統經驗修正灌溉量，缺乏標準化與數據化的智慧灌溉基準。

總而言之，為因應未來乾旱連續天數增加，以及降雨季節移動等環境變化，除積極進行節水技術研發外，結合智慧科技之精準配水技術研發亦為重要課題，同時相關政策調整更須基於研究所得數據與相關水情資訊進行綜合研判與決策。

調查方法

本試驗是以水氣通量儀紀錄作物蒸發散量 (ET_C) 以氣象資料使用FAO CROPWAT 8.0 程式計算潛勢能蒸發散量 (ET_0)，本程式計算使用之參數為最低溫 (min temp)、最高溫 (max temp)、濕度 (humidity)、風速 (wind) 及日照 (sun) 來估算ET_0，並統整出番石榴不同生育期之作物係數，於高雄市岡山區李明勝班長田間進行 (約略經緯度：22.80, 120.26)，該田區之番石榴株高約2.2–2.5 公尺，樹幅大小接近，為生產中之果園。水氣通量儀於2022 年7 月12 日架設完成 (圖1) 並開始進行數據調查。



圖 1. 水氣通量儀 (左圖) 及調查果園 (右圖)。

Fig.1. LICOR-7500DS (left) and experimental orchard (right).

結果及討論

表 1 試區自 2022 年 7 月 12 日起至 2025 年 5 月止，每月潛勢能蒸發散量 (ET0)、作物蒸發散量 (ETC) 與作物係數 (KC) 之值，結果顯示，潛勢能蒸發散量介於 3.04–6.49 mm·day-1 之間、作物蒸發散量介於 1.51–3.84 mm·day-1 之間、作物係數介於 0.35–0.6 之間，與其他作物相比，因常綠果樹的葉片數全年差異相對較小，全年的蒸發散量變動不大，主要的差異與氣候變化曲線類似，溫度高的季節，蒸發散量大，溫度低的季節，蒸發散量小，ET0 與 ETC 的趨勢相同。而相較之下，本研究計算之作物係數與埃及 (A.E.Elnamas, 2020)、印度 (Singh et al.,2007) 的數值 (兩者數值介於 0.55–0.86) 較接近，但季節的趨勢有點差異；而明顯低於美國夏威夷 (Fares, 2008) 的數值 (0.8–1.0)，顯示番石榴的作物係數可能因物種、微氣候、栽培方式等因素具有地區特性。

本試驗執行至今，每個月份皆有 2 重複以上，數據顯示番石榴的作物係數隨季節變化而變化，穩定程度高，全年的變化小。在實務灌溉應用上，建議使用者依其灌溉硬體設備與操作成本進行彈性調整：若追求精準管理，使用自動化控制或需極大化用水效率時，建議參照表 1 提供之月別動態作物係數以反映微氣候波動；若受限於硬體設備或人工操作頻率，則可採用全年平均值作為基準，以簡化灌溉排程並維持基礎管理品質。

表 1. ‘珍珠拔’ 番石榴於高雄岡山試區潛勢能蒸發散量 (ET_0)、作物蒸發散 (ET_C) 與作物係數 (K_C)。

Table 1. The reference evapotranspiration (ET_0), crop evapotranspiration (ET_C) and crop coefficient (K_C) of ‘Jen-Ju Bar’ guava in Kaohsiung.

Year	2022		2023		2024		2025	
Month	ET_0	ET_C	ET_0	ET_C	ET_0	ET_C	ET_0	ET_C
	$mm \cdot day^{-1}$	$mm \cdot day^{-1}$	$mm \cdot day^{-1}$	$mm \cdot day^{-1}$	$mm \cdot day^{-1}$	$mm \cdot day^{-1}$	$mm \cdot day^{-1}$	mm·day
Jan			3.21	1.61	3.21	1.51	3.15	1.56
Feb			3.95	1.79	3.87	2.11	3.24	1.52
Mar			4.89	2.19	4.88	2.05	4.68	2.04
Apr			5.73	2.43	5.80	2.20	5.54	1.98
May			6.13	2.61	6.23	2.55	6.31	2.85
Jun			6.37	3.16	6.49	3.84		
Jul	6.29	3.36	6.46	3.61	6.44	3.60		
Aug	6.06	3.64	6.02	3.22	5.96	3.10		
Sep	5.46	3.08	5.42	3.20	5.54	3.36		
Oct	4.67	2.29	4.69	2.61	4.50	2.61		
Nov	3.81	1.65	3.81	2.01	3.70	2.07		
Dec	3.1	1.55	3.04	1.53	3.12	1.49		

土壤調查部分的試驗由農試所農化組協助，本試驗田區0–150 cm 土層為壤土或砂質壤土，pH為6.1–6.84、陽離子交換容量 (CEC) 5.78–11.22 cmol / kg、有機質1.31–5.25%，犁底層不明顯。0–40 cm 土壤的入滲速率為2–26 mm / hr 之間，有效水分含量為234 mm / meter。

關於土壤性質對蒸發散之影響,本試驗區土壤質地以壤土及砂質壤土為主，兼具良好之通氣性與持水能力。根據 Libohova 等人 (2018) 之研究，土壤有機質對有效持水量有顯著正向影響，本區較高之有機質含量配合AWC 達234 mm / meter，顯示該土層具優異之水分緩衝能力，有助於穩定供應番石榴根系所需水分，使其能維持穩定的作物蒸發散量，減少水分脅迫對蒸散之影響。

此外，良好的土壤通透性與無犁底層之環境，有利於多年生果樹建立深廣根系以吸收土體水分;而適宜的土壤pH 值與CEC 值則有利於養分吸收與利用 (Kalcsits *et al.*, 2020)，進而促進植株發育並維持充足且穩定的葉面積。綜合上述土壤物理與化學特性，此為本研究觀測到K_C 值在不同季節間表現相對穩定、受環境限制程度較低之關鍵因子。

結果表明，番石榴的蒸發散量隨季節變化，顯示其灌溉量可進行季節性調節，作物係數在乾旱或濕潤的不同年份間保持穩定，顯示本資料可在政府調度區域水資源時，精確評估番石榴的用水量。本研究後續將數據持續整合至智慧灌溉系統，優化灌溉策略，以提升用水效率，並為熱帶地區水資源管理提供參考。

謝辭

感謝農業部支持研究經費，研究過程承蒙高雄市岡山區李明勝先生與李敬善先生提供番石榴試驗場域，一併致上無限謝忱。

引用文獻

1. 2020. 番石榴栽培手冊.行政院農業委員會農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所編印.
2. 林子文. 2016. 乾旱、遮陰、葉果比及結果部位對‘珍珠拔’番石榴植株生長、生理與果實品質之影響. 國立中興大學園藝學系碩士論文.
3. 柯立祥. 1997. 土壤水分對番石榴果實產量植品質之影響.提升果樹產業競爭力研討會專集 I.p231–237.
4. 農業部農糧署農情資源調查網 (https://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp)
5. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration—guidelines for computing crop water requirements—FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO 300, D05109.
6. Elnamas,A.E. 2020. Effect of irrigation systems and water regime on growth, yield components, water use efficiency and water productivity of guava (*Psidium guavaja* L.) grown in clay soil. Alexandria Science Exchange Journal, vol.41,259–273.
7. Fares, A.. 2008. Water Management Software to Estimate Crop Irrigation Requirements or Consumptive Use Permitting In Hawaii. Honolulu, HI: Department of Land and Natural Resources.
8. Gavali, M., B. Dhus and A. Vitekar. 2016. A smart irrigation system for agriculture based on wireless sensors. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 6893–6899.
9. Grashey-Jansen, S.. 2014. Optimizing irrigation efficiency through the consideration of soil hydrological properties–examples and simulation approaches. Erdkunde Arch. Of Sci. Geogr., 33–48.
10. Kalcsits, L., E. Lotze, M. Tagliavini, K. D. Hannam, T. Mimmo, D. Neilsen, G.

Neilsen, D. Atkinson, E. Casagrande Biasuz, L. Borruso, S. Cesco, E. Fallahi, Y. Pii and N. A. Valverdi. 2020. Recent Achievements and New Research Opportunities for Optimizing Macronutrient Availability, Acquisition, and Distribution for Perennial Fruit Crops. Agronomy, 10(11), 1738.

11. Libohova, Z., C. Seybold, D. Wysocki, S. Wills, P. Schoeneberger, C. Williams and P. R. Owens. 2018. Reevaluating the effects of soil organic matter and other properties on available water-holding capacity using the National Cooperative Soil Survey Characterization Database. Journal of Soil and Water Conservation, 73(4), 411–421.
12. Riediger, J., B. Breckling, N. Svoboda and W. Schröder. 2016. Modelling regional variability of irrigation requirements due to climate change in Northern Germany. Science of The Total Environment. Vol. 541 Pages 329–340
13. Singh, B.K., K.N. Tiwari, S.K. Chourasia and S. Mandal. 2007. Crop Water Requirement of Guava (Psidium guajava L.) cv. KG／KAJI under Drip Irrigation and Plastic Mulch. Acta Hortic. vol. 735, 399–405.

Measurement of Guava Evapotranspiration

Gao Bi-Shuang[1], Chien-Hui Syu[2], Kuo-Dung Chiou[1], Hung-Yeh Hsieh[1]

[1] Department of Tropical Fruit Trees, Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture.

[2] Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture.

ABSTRACT

Regional water resource management is a critical component of sustainable agriculture, and understanding water use is fundamental to effective management. This study, focusing on evapotranspiration, quantifies water requirements of guava to provide baseline data for regional water resource management in southern Taiwan. From August 2022 to May 2025, data were collected in Kaohsiung to examine guava evapotranspiration, soil texture, and infiltration rate, using a LICOR-7500DS system to monitor annual evapotranspiration, with the aim of establishing water demand characteristics for guava cultivation in southern Taiwan. Soil properties in the study area in the 0-150 cm layer include sandy loam or loam. The infiltration rate in the 0-40 cm soil layer ranges from 2-26 $mm \cdot hr^{-1}$, with an available water capacity of 234 $mm \cdot m^{-1}$, indicating rapid drainage and high aeration. Guava crop evapotranspiration (ET_C) ranges from 1.51-3.84 $mm \cdot day^{-1}$, potential evapotranspiration (ET_0) from 3.04-6.49 $mm \cdot day^{-1}$, and crop coefficient (K_C)from 0.42 to 0.6. Results indicate that guava evapotranspiration varies seasonally, suggesting that seasonal irrigation adjustments for guava are feasible. Furthermore, K_C remains stable across years under dry or wet conditions, indicating that these data can be used by the government to precisely estimate guava water requirements for regional water resource management. This study continues to integrate these data into smart irrigation systems to optimize irrigation strategies, thereby enhancing water use efficiency.

Key words: guava, Evapotranspiration (ETc), Crop Coefficient (Kc).

棗有機與慣行栽培大量元素差異初步探討-以燕巢試區為例

郭展宏[1]、郝秀花[2]、陳素漪[3*]

[1] 農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所熱帶果樹系

[2] 農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所植物保護及園產品加工系

[3*] 農業部臺南區農業改良場作物環境科

摘要

本試驗為瞭解高雄市燕巢區主要棗產區其土壤與植體碳、氮、磷及鉀之大量元素上的差異，自 2022 年起設置有機栽培 3 區及慣行栽培 3 區，分析比較連續 2 個年度之土壤肥力、葉片營養元素及果實品質。土壤有機質含量以有機栽培較慣行栽培高，有機栽培為慣行的 1.44 倍，且以有機栽培的上層土壤 (0－15 公分) 為最高，是下層土壤 (土壤深度 30－45 cm) 的 2 倍及中層土壤 (土壤深度 15－30 cm) 的 1.38 倍。慣行栽培的葉片植體氮、磷含量皆高於有機栽培。在果實產量方面慣行果重平均較有機高 1.4 倍，果實鮮重以慣行栽培高於有機栽培，果實品質則有機栽培與慣行在總可溶性固形物兩者相當；綜整以上試驗調查結果顯示，棗有機栽培建議於果實發育期前優先補充土壤中磷含量以提升植體磷含量，以期增加有機栽培之棗果產量。

關鍵詞：印度棗 (*Ziziphus mauritiana* Lam.)、有機栽培、土壤肥力、植體分析

緒言

近代的農業，為了提高產量與防止病蟲草害的發生，施用多量的化學肥料及化學農藥，以大型農機擴大經營面積、單一作物連續耕作方式，雖然達到增產的目的，卻也造成了生態的破壞，土壤的物理、化學及生物性質劣變。農藥的殘毒也對人體造成傷害，並導致病原微生物與害蟲抗藥性增強，更影響農業的永續經營，此種農業被稱為慣行農業、化學農業或傳統農業 (王，2021)。有機農業以遵守自然資源循環永續利用原則，不使用合成化學物質，強調水土資源保育與生態平衡之管理系統，生產自然安全之農產品。有機農業為具有生產、生活及生態三生特性之產業，除了提供消費者健康與安全的農產品外，且可維護環境與生態 (陳，2003)。

截至 2024 年底已通過有機驗證面積 2 萬 304 公頃，登錄友善環境耕作面積 6708 公頃，合計 2 萬 7012 公頃，相較 2018 年有機農業促進法實施前的 1 萬 1568 公頃，大幅成長 2.3 倍，且占全國耕地面積 3.47% (農業部，2024)；以

栽培面積來看水稻為 18.07%、蔬菜 47.72%、雜糧 10.59%、其他 (含特作) 11.15%、果樹 9.8%、茶 2.67%；以栽培戶數來看水稻為 10%、蔬菜 49.49%、雜糧 2.8%、其他 (含特作) 15.11%、果樹 16.9%、茶 5.7%。顯示出果樹占有機栽培的栽培面積比例不高，未來果樹在有機栽培上有很大的進步空間，亦顯示果樹在有機栽培上有一定的困難需要解決。

棗 (*Ziziphus mauritiana* Lam.) 果皮翠綠色有光澤，果肉甜、脆、多汁，抗氧化能力強且營養豐富，又稱蜜棗、印度棗、棗子或青棗，起源於南亞和中亞，經阿富汗傳播到北非和印度、華南、馬來西亞、澳大利亞等地；耐旱且環境適應力強，分布區域廣泛且具有非常多樣的基因型，是乾旱及半乾旱地區重要的經濟栽培果樹之一 (Akath and Meghwal，2020)。棗果實除了鮮食外，果實尚可製作成果乾或蜜餞，還有許多加工利用如製成酒類、果汁、醋、或加入糕餅等產品；棗樹運用範圍更廣泛，葉可做動物飼料或提煉萃取物有助於提升免疫力，棗花可用來飼養蜜蜂並供應一部分蜜源及花粉來源，樹皮可做染料，樹幹可做燃料、家具、生物炭，根部萃取物亦有醫藥價值，可以說是全株都有運用的價值，值得開發多元運用。棗何時傳入臺灣已不可考，經多年實生後裔的品種選育及栽培技術改進，棗果品質逐漸被消費者肯定，成為冬季特色水果之一，是具有出口潛力水果之一(邱，2017)；根據 2022 年農業部農糧署農業統計年報，全臺灣棗種植面積約為 1,769 公頃，總產量為 29,110 公噸。主要種植面積為高雄市 (占 45.2%)，其次為屏東縣 (31.5%)、臺南市 (15.6%)。

台灣位居亞熱帶，高溫多濕，農作物易受病蟲害侵襲，土壤肥力不易維持，且農民耕地面積狹小，易遭受鄰近農田污染，與溫帶地區如日本、美國、加拿大及歐洲國家等比較，發展有機農業的困難度較高。因此，如何突破自然環境限制及栽培技術之瓶頸，輔導農民投入有機農業生產行列，極具挑戰性。本試驗與有機棗及慣行棗農共同合作，觀察輔導調查之棗於有機與慣行方法對於土壤肥力及植體、品質特性上的差異，提供有機農友如何因應、消費者等各界有興趣的朋友作為入門的初步認識，以期未來持續精進共同提升有機棗產業。

材料方法

一、試驗地點及試區規劃

試驗地點位於高雄市燕巢區之試區 (詳如表 1)，棗品種以「蜜棗」為試驗品種，栽培管理說明如下：

(一) 慣行栽培：試驗地點位於高雄市燕巢區觀水段等地號，地號區塊是鄰近的，面積 0.2 公頃以上，棗品種以蜜棗為試驗品種，慣行栽培至少持續種植了 10 年以上，採用草生栽培，本試驗之作物殘體皆回歸農田再利用，調查植株樹齡皆以 10 年以上，選取外觀健康、具活力，且未遭受主要病蟲感染，植株未經任何藥劑或化學物品處理，栽植環境以 16 目尼龍網網室栽培，區採行距 6 m，株距 6 m。試驗前選 5 株樹勢及生育狀況相近之植株供做調查，每

株選留 4 強壯枝梢 (東、西、南、北方向) 為主枝，並進行試驗的調查與採樣，慣行栽培每年每株施用氮素 550 g，磷酐 400 g，氧化鉀 1000 g，為了防治病蟲害適時使用了 10% 克凡派水懸劑 2,000 倍進行葉蟎的防治 (1,000 公升 / 頃)，40% 克熱淨粉劑 1,000 倍於結果期進行白粉病防治 (2,000 公升 / 頃)，23% 亞托敏水懸劑 3,000 倍於結果期進行炭疽病防治 (2,000 公升 / 頃)；果實達商業成熟度後立即收穫並以常溫方式進行保存後進行後續相關分析。

(二) 有機栽培:試驗地點位於高雄市燕巢區觀水段及安東段等地號，地號區塊是鄰近的，面積 0.2 公頃以上，棗品種以蜜棗為試驗品種，有機栽培至少持續種植了 20 年以上，取得藍鵲驗證服務 (Magpie Cret) 之有機驗證 (1-017-224006)，採用草生栽培，本試驗之作物殘體皆回歸農田再利用，調查植株樹齡皆以 10 年以上，選取外觀健康、具活力，且未遭受主要病蟲感染，植株未經任何藥劑或化學物品處理，栽植環境以 16 目尼龍網室栽培，區採行距 6 m，株距 6 m。試驗前選 5 株樹勢及生育狀況相近之植株供做調查，每株標記及選留 4 強壯枝梢 (東、西、南、北方向) 為主枝，並進行試驗的調查與採樣；本試驗之有機栽培採用無施用化學肥料處理，以無農藥、無施用有機質肥之秀明自然農法 （Shumei Natural Agriculture） 進行栽培；果實達商業成熟度後立即收穫並以常溫方式進行保存後進行後續相關分析。

(三) 試驗場域氣候特徵:本試驗自 2023 年 7 月至 2025 年 2 月進行，有機及慣行區皆位於中華民國台灣之高雄市燕巢區，氣候上屬熱帶季風氣候，年雨量約 1800 mL，每年降雨集中在 5－10 月，平均大約佔全年降雨的 9 成以上，年均溫約 23－25℃ (如圖 1)。

表 1. 高雄市燕巢區有機及慣行試驗區土地相關資料。

Table 1. Data of organic and conventional experimental areas in Yanchao District, Kaohsiung City.

編號	項次	種植地號 (經緯度)
1	有機 4	燕巢區觀水段 293、293-1、293-2 地號 (22.780247,120.328120)
2	有機 6	橋頭區瓊林段分管 A19 (22.7956576 , 120.3274234)
3	有機 7	燕巢區安東段 0705-0000 地號 (22.78904,120.35214)
4	慣行 4	燕巢區觀水段 300、300-1、300-2 號 (22.780712,120.325730)
5	慣行 5	燕巢區觀水段 0298-0000 號 (22.77946,120.32695)
6	慣行 6	燕巢區觀水段 0283 號 (22.78081,120.32758)

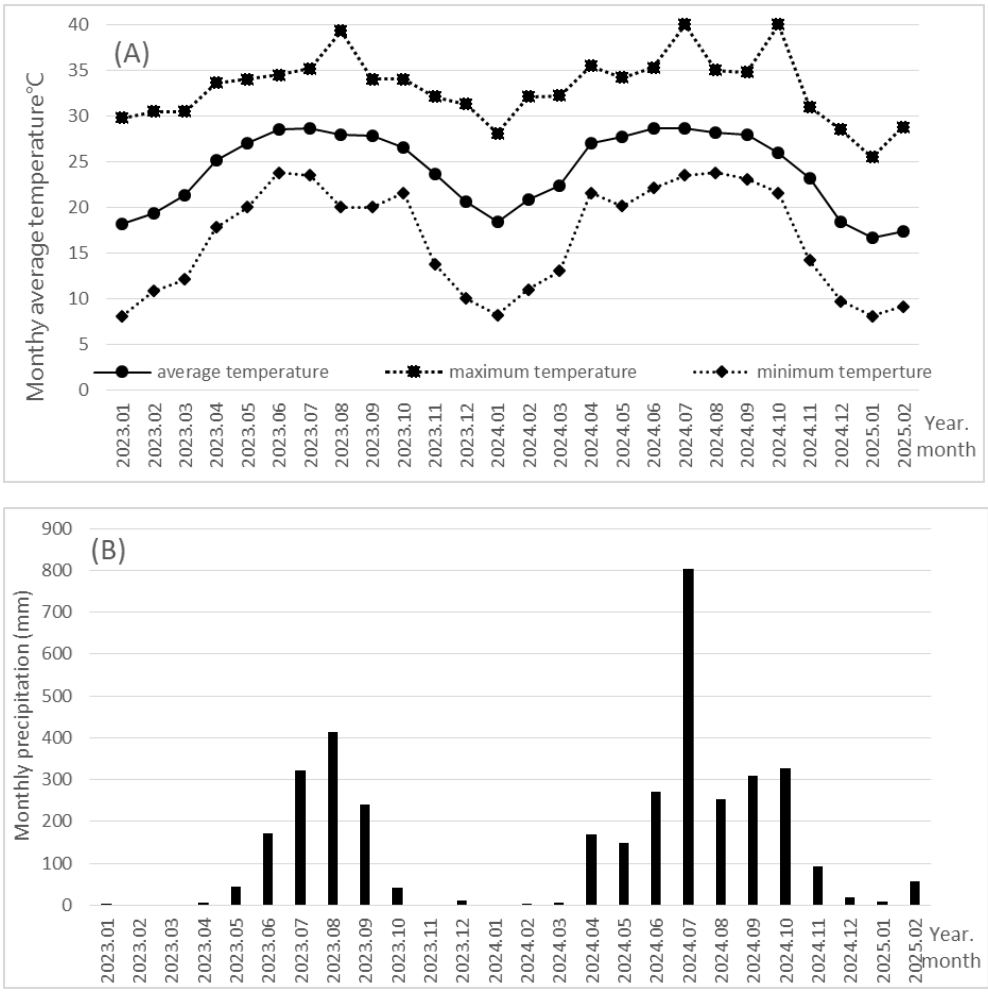


圖 1. 2023－2025 年燕巢試驗區 (阿公店氣象站:C0V400) 氣象資料。(A) 每月平均溫度，(B) 每月累積降雨量。

Fig.1. Meteorological data of Yanchao experimental area (Weather station: C0V400) from 2023 to 2025. (A) Monthly average temperature, (B) Monthly accumulated precipitation.

二、土壤採樣、樣品前處理及分析方法：

土壤肥力分析：棗於開花前 (7 月)、開花期 (8 月)、結果期 (9 月)、小果期 (10 月)、硬核期 (11 月)、果實收穫前 (12 月)及果實收穫期 (1 月) 時進行採樣，每一區逢機採 5 處之上層土壤 (0－15 公分)、中層土壤 (15－30 公分)及下層土壤(30－45 公分)，並充分混合後，帶回實驗室陰乾 5－7 天。土壤陰乾後，將土塊粉碎並以 1 mm 篩網過篩。過篩後的土壤進行 pH 值、有機質含量、交換性磷、鉀含量分析，分析方法如下：

1. pH 值：秤取過 1 mm 篩的土壤樣品 35 克，再加 RO 水 35 毫升，調製成土:水 (w/v) ＝ 1:1 作成懸浮夜。在一小時內以玻棒間歇攪拌懸浮夜數次，以玻璃電極 pH 計測定樣品 pH 值。
2. 氮:分析量測值為全氮，全氮分析方法:儀器:soli TOC Cube 儀器 (Elementar,

Langenselbold, Germany) 器材：電子天平 (精度 0.00001 克) 步驟：秤取過 1 mm 篩的土壤樣品 0.3 克以 Soli TOC cube 中全氮分析模組進行土壤全氮量分析，得 TOC 分析數據後再乘以 1.724 即土壤有機質。

3. 交換性磷、鉀：土壤秤取 2.0 克放置於 50 毫升錐形瓶，加入 20 毫升 Mehlich No.3 萃取液，以 200 rpm 震盪 5 分鐘後過濾。濾液以感應耦合電漿原子發射光譜儀 (ThermoiCAP 7000) 進行分析。

三、植體養分分析：

棗於開花前 (7 月)、開花期 (8 月)、結果期 (9 月)、小果期 (10 月)、硬核期 (11 月)、果實收穫前 (12 月) 及果實收穫期 (1 月) 時進行葉片採樣之葉片植體養分分析，葉片採樣部位為枝梢無結果枝且為停止梢第三或第四葉。每一試驗園區採集 50－80 片。葉片樣品以 70℃ 烘乾 5 天後磨碎，並以 1 mm 篩網過篩。過篩後的樣品：1、氮之定量：採元素分析儀測定。2、磷、鉀之定量：秤 0.5 克過篩植體加入 5 毫升 65% 硝酸進行微波消化，消化後樣品以 Whatman No.5 濾紙過濾，並定量至 50 毫升，以感應耦合電漿原子發射光譜儀 (Thermo iCAP 7000) 進行測定磷、鉀。

四、果園產量及資材使用調查：

比較兩種栽培模式下之單果果重量測、果實總可溶性固形物含量及可滴定酸，採樣是以每試區標定株其東、西、南、北向枝條各採一個採收適期果實進行果實總可溶性固形物含量及可滴定酸測定：果肉總可溶性固形物含量之測定方式為，取整果無去除果皮去除果核，榨汁過濾之果肉汁液 1 毫升，以電子屈折糖度計 (ATAGO PAL^{-1}, Japan) 分析，取至小數點下第 1 位，單位以°，單位以表示，每處理 10 重複，每重複 1 果實。果實可滴定酸 (titratableacidity; TA)：果肉可滴定酸含量測定分析為取前果肉汁液 3 毫升加入 100 毫升之一次蒸餾水，以 0.1 N 氫氧化鈉滴定，並利用 (SXHOTT TitroLine easy, Germany) 滴定儀滴定至 pH 值 8.1。以蘋果酸 (malic acid) 與氫氧化鈉之化學當量，求得可滴定酸，10 重複，以百分率 (%) 表示。

五、資料整理及統計分析：

資料以 Microsoft Office Word 與 Excel 進行資料輸入及圖表繪製，試驗數據以 Strategic Application System (SAS) 統計分析軟體 (版本 SAS Enterprise Guide 7.1) 進行變方分析 (Analysis of variance, ANOVA)，以學生氏 t 檢定法 (Students t-test at P≦ 0.05 level) 比較差異性。

棗有機與慣行栽培之土壤肥力差異

一、土壤整體肥力差異(如表 2、圖 2)：

分析比較 2023－2024 年棗在不同耕作模式下土壤整體肥力差異，由兩年試驗結果發現，有機栽培的土壤有機質含量是以整年平均值 3.17% 高

於慣行的 2.2%，有機栽培下的土壤有機質整體為慣行的 1.44 倍；在有機質含量隨開花期到果實收穫前 (7－12 月) 變化趨勢方面，有機栽培其土壤有機質含量整年皆高於慣行，土壤有機質含量以開花前到結果期 7－9 月含量較高，小果期 10 月以後土壤有機質含量下降；土壤氮含量以有機栽培平均值 2479.55 mg / kg 高於慣行的 1331.91 mg / kg ，有機栽培氮含量為慣行的 1.86 倍，以整年變化趨勢來看有機栽培的氮含量整年皆高於慣行，開花前到開花期 7－8 月土壤氮含量較高，結果期到果實採收期 9－2 月氮含量是下降趨勢；土壤中磷含量慣行栽培平均值 579.91 mg / kg 高於有機栽培的 483.15 mg / kg，比較特別的是有機栽培土壤磷含量在 2023 年 9 月後明顯下降，而慣行栽培的土壤磷含量則在 2023 年之果實採收前 12 月後才下降，在 2024 年整年不管有機栽培或慣行土壤磷含量的變動幅度不大；鉀含量是以慣行平均值 351.4 mg / kg 高於有機栽培 245.3 mg / kg；顯示有施肥處理的慣行土壤磷、鉀含量高於有機栽培；土壤中的氮推測係慣行的流失高於有機栽培處理，推測原因是有機栽培管理下其土壤有機質含量較慣行高，使有機栽培土壤之氮流失較慣行栽培慢。

表 2. 棗有機與慣行栽培之土壤特性及大量元素差異比較。

Table 2. Comparison of soil characteristics and macroelements between organic and conventional cultivation of jujube.

Soil characteristics Cultivation types	pH	Organic matter (%)	Nitrogen (mg / kg)	Phosphorus (mg / kg)	Potassium (mg / kg)
Organic	7.55± 0.11a	3.17± 0.5a	2479.55± 196.28a	483.15± 97.22a	245.3± 33.98b
Conventional	7.63± 0.08a	2.20± 0.28b	1331.91± 60.73b	579.81± 120.28a	351.4± 56.01a

Mean ± standard error (n = 45). Different letters following the value represent significant difference according to t-test at $P \leq 0.05$.

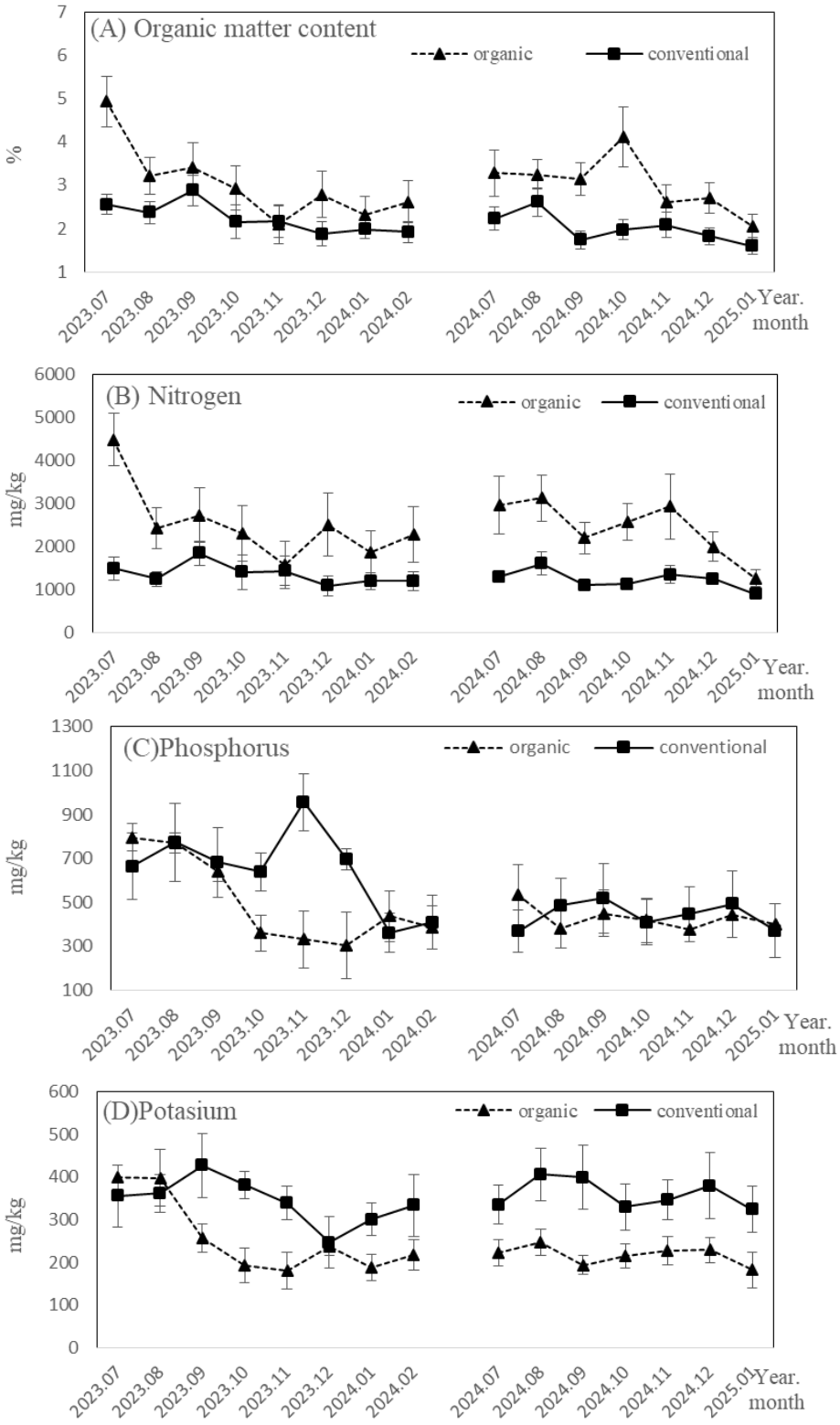


圖 2. 棗有機及慣行栽培之土壤大量元素差異 (A) 有機質含量 (B) 氮 (C) 磷 (D) 鉀。n = 3

Fig.2. Differences in soil macroelements between organic and conventional cultivation of jujube (A) Organic matter content (B) Nitrogen (C) Phosphorus (D) Potassium. n = 3.

二、土壤分層肥力差異 (如表 3)：

在土壤 pH 值觀測結果顯示，有機與慣行栽培之土壤的 pH 值趨勢變化相同，是以下層與中層相當且高於上層，以有機栽培為例，下層土壤 pH 值為 7.68 高於中層 7.57 及上層 7.46。土壤的有機質含量差異上是以有機栽培的上層 4.08% 為最高，大約為下層 2 倍及中層的 1.38 倍，慣行栽培的有機質亦以上層 2.79% 為最高，為下層 1.7 倍及中層的 1.4 倍。土壤氮含量以有機栽培之上層 3703.44 mg / kg 為最高，其次為有機中層 2294.67 mg / kg，推測原因有機質高的土壤環境，保水保肥能力較好使氮肥比較不容易流失；另外磷含量 670.8 mg / kg 及鉀含量 377.53 mg / kg 是以慣行上層為最高，推測為慣行施用化學肥料之結果。

表 3. 棗有機與慣行不同土層土壤特性及大量元素差異比較。

Table 3. Differences in soil characteristics and macroelements between different soil layers of organic and conventional cultivation of jujube.

Soil characteristics Cultivation types & layer	pH	Organic matter (%)	Nitrogen (mg / kg)	Phosphorus (mg / kg)	Potassium (mg / kg)
upper layer(0-15cm)	7.46±0.06a	4.08±0.28c	3703.44±291.75c	491.11±39.93a	265.08±23.81a
Organic middle layer(15-30cm)	7.57±0.06a	2.95±0.19b	2294.67±188.92b	531.85±41.41a	236.71±16.81a
lower layer(30-45cm)	7.68±0.05b	2.05±0.14a	1440.55±162.33a	458.92±41.71a	214.4±14.45a
upper layer(0-15cm)	7.49±0.07a	2.79±0.11c	1897.56±121.93c	670.8±45.03c	377.53±11.94c
Conventional middle layer(15-30cm)	7.68±0.06b	1.96±0.09b	1073.56±55.23b	529.15±49.43b	342.64±12.24b
lower layer(30-45cm)	7.77±0.05b	1.64±0.11a	919.56±64.68a	374.72±56.59a	333.19±14.94a

Mean ± standard error (n = 15). Different letters following the value represent significant difference according to t-test at $P \leq 0.05$.

棗有機與慣行栽培之植體與果實特性差異

一、葉片植體營養元素分析 (如表 4、圖 3)：

在2023－2024 年葉片植體營養元素分析差異方面，慣行栽培的葉片氮、磷、鉀含量皆高於有機栽培，各月份皆有類似的情形；鉀元素比較特別的是在果實硬核期到採收期11－2 月有機植體含量高於慣行，結果期到小果期9－10 月則是慣行高於有機。以單獨棗植體元素碳來看，有機栽培碳含量46.86% 高於慣行46.67%，植體含碳量在有機及慣行是每年開花期到結果期8－9 月含量較高有近似的趨勢；

在植體含氮量方面，有機栽培氮含量 2.63% 低於慣行的 2.93%；有機栽培植體磷含量 0.22 mg / kg 低於慣行的 0.28 mg / kg，有機栽培鉀含量 1.87 mg / kg 高於慣行的 1.84 mg / kg 。

表 4. 棗有機與慣行栽培對於葉片大量營養元素差異比較。

Table 4. Comparison of the differences in macronutrients in leaves of jujube between organic and conventional cultivation.

Macronutrients Cultivation types	Carbon (%)	Nitrogen (%)	C / N	Phosphorus (mg / kg)	Potassium (mg / kg)
Organic	46.87±0.24a	2.63±0.14b	18.26±0.93a	0.22±0.02b	1.87±0.22a
Conventional	46.84±0.39a	2.93±0.23a	16.7±1.38b	0.28±0.04a	1.84±0.14a

Mean ± standard error (n = 3). Different letters following the value represent significant difference according to t-test at $P \leq 0.05$.

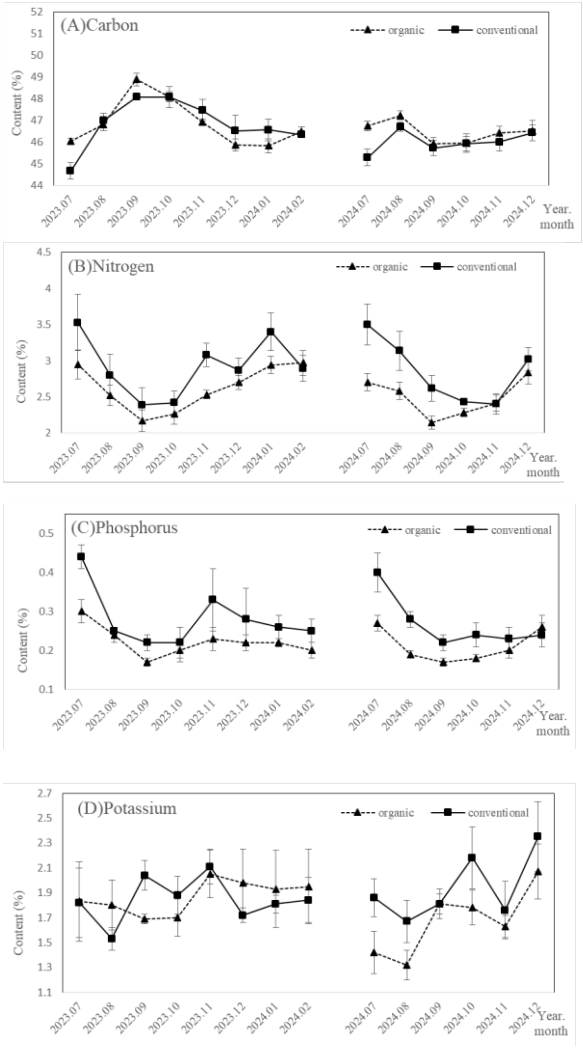


圖 3. 棗有機及慣行栽培之葉片植體大量元素含量差異 (A) 碳 (B) 氮 (C) 磷 (D) 鉀。n = 3

Fig.3. Differences in macronutrients contents in leaves of jujube macroelements between organic and conventional cultivation of jujube (A) Carbon (B) Nitrogen (C) Phosphorus (D) Potassium. n=3.

二、果實產量及品質分析 (如表 5)：

在果實品質差異方面，總可溶性固形物 (糖度) 是以有機栽培平均13.72 °Brix 高於慣行13.15 °Brix，差異不顯著，酸度是以有機栽培平均0.81% 較慣行0.74% 高；比較不同年度之差異上，慣行栽培在果重上比較具有優勢，有機栽培其果實品質在糖度表現略佳；綜上，在果實產量及品質是以慣行較有機為佳，顯示有機栽培尚有較大的進步空間。

表 5. 棗有機及慣行栽培對於果實品質之影響。

Table 5. Effects of organic and conventional cultivation of jujube on fruit quality.

Year	Cultivation types	Fresh fruit weight (g)	Total soluble solids (°Brix)	Acidity (%)
2024	Conventional	134.73±3.09a	13.15±0.25a	0.74±0.01b
	Organic	94.99±3.09b	13.72±0.35a	0.81±0.02a
2025	Conventional	113.57±0.65a	11.89±0.02a	0.74±0.01a
	Organic	97.14±0.13b	12.33±0.05b	0.74±0.01a

Mean ± standard error (n = 16). Different letters following the value represent significant difference according to t-test at $P \leq 0.05$.

結果與討論

綜合比較本試驗之有機栽培與慣行栽培土壤、葉片植體大量營養元素含量差異，有機栽培土壤氮含量高但植體內氮含量低，趨勢相反 (如圖2、3)；磷元素是以慣行土壤含量高且植體內同時含量也高，趨勢相同；鉀元素在土壤在慣行栽培高於有機栽培的，植體內的鉀元素則有機與慣行栽培，無顯著差異；上述氮、磷、鉀三個元素無論在燕巢有機或慣行栽培在土壤中的含量 (如表2) 都高於果樹土壤肥力標準 (臨界值) (氮為1000－2000 mg / kg、磷為 50－200 mg / kg、鉀為100－200 mg / kg)，因此理論上本燕巢試區之土壤養分應足夠供應棗果樹之生長發育，又燕巢試區土壤的pH 值略大於7.5 左右 (如表3) ，本燕巢試區土壤pH 值屬於偏鹼 (pH 值 6.5－7.5 為中性)，偏鹼性土壤磷肥比較容易流動有利植體吸收，應該較不容易發生缺磷的情況；惟本試驗在比較氮、磷、鉀元素在棗果樹生育期之趨勢與比較當年度棗果果重差異可以發現，在土壤、葉片植體檢測到磷元素含量比較高，當年度的平均果重也較重，試驗第1 年葉片在硬核期 (11 月) 含磷高時果實重量也較高，試驗第2 年葉片在硬核期 (11 月) 含磷較低果實重量也較低 (如圖3 (C)、表5)，推測磷元素低的原因為試驗第2 年因為颱風雨水之因素 (如圖1 (B)) 導致施用肥料流失；為求慎重將持續地進行試驗調查。因此，由本試驗結果建議未來在棗果樹有機與慣行栽培上，肥料提供上應有不同的推薦，尤其在本試驗觀察到棗果樹的土壤與植體磷元素含量似乎和棗果果重有正相關，因此如本試驗有機栽培為秀明農法無任何肥料投入下，倘適時投入磷肥應可提升有機

栽培之棗果產量；另外需要探討的是有機栽培管理的蟲害對於產量的影響，例如東方果實蠅等其他蟲害較慣行栽培多 (未發表)，並且有機栽培在病蟲防治上比較困難，造成在採收時害果率高，是影響棗果最後產量較低的主要原因之一；未來亦積極與蟲害專家共同研究，尋求解決之模式。本試驗期望能進一步累積數據與資料，持續探討土壤與植體營養元素含量對於棗果實產量與品質的影響或其關聯性，以期拉近有機與慣行栽培棗果實產量與品質的差異性，以利增加農友進行有機栽培的意願。

謝辭

本研究承農業部農業試驗所提供之農業生態系長期生態監測-燕巢印度棗計畫 (112-114農科-4.4.1-農-C4(15)) 經費補助及臺南區農業改良場協助本計畫植體及土壤樣品分析；研究過程承蒙高雄市燕巢區農友黃順揚、楊安和及馬清宮先生提供棗試驗場域，並感謝熱帶果樹系陳敬捷及黃凱揚先生協助採樣調查俾利試驗順利完成，特此致謝。

引用文獻

1. 農業統計年報. 113 年 1 月 (https://www.moa.gov.tw/ws.php?id=195).
2. 王鐘和. 2021. 台灣有機農業的內涵與發展願景. https://www.oapc.org.tw/台灣有機農業的內涵與發展願景.
3. 邱祝櫻. 2021. 棗外銷栽培管理與採後處理注意事項. 農業世界雜誌 406:22－28.
4. 陳世雄. 2003. 我國有機農業發展之瓶頸與解決之道. 鄉間小路 第 29 卷第 1 期:20－23.
5. Akath, S. and P. R. Meghwal. 2020. Socio-economic and horticultural potential of Ziziphus species in arid regions of Rajasthan India.Genet Resour Crop Evol. 67:1301–1313.

A Preliminary Study on the Differences of Macroelements Between Organic and Conventional Cultivation of Jujube(*Ziziphus mauritiana* L.) - Taking Yanchao test area as an example

Jhan-Hong, Guo[1]、Hsiu-Hwa, Hao[2]、Su-Yi Chen[3*]

[1]Department of Tropical Fruit Trees, Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture.

[2] Department of plant protection and utilization, Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture.

[3]* Division of Crop Environment, Tainan District Agricultural Research and Extension Station.

ABSTRACT

This study aimed to understand the differences in carbon, nitrogen, phosphorus, and potassium between soil and plant species in the main Indian jujube producing areas of Yanchao District, Kaohsiung City. Since 2022, three organic cultivation areas and three conventional cultivation areas have been set up to continuously compare soil and leaf nutrient analysis and fruit quality for two years. The organic matter content in organic cultivation is 1.44 times higher than that in conventional cultivation. The highest concentration of nutrient in organic cultivation upper layer soil (0-15 cm) is twice that in the lower layer soil (30-45 cm) and 1.38 times that in the middle layer soil (15-30 cm). The nitrogen and phosphorus content of leaf plants in conventional cultivation were higher than those in organic cultivation. In terms of fruit quality analysis and comparison, the fruit yield of conventional date is 1.4 times higher than that of organic date on average. In terms of fruit quality, the fresh weight of fruits grown under conventional cultivation is higher than that grown under organic cultivation, while the total soluble solids between organic and conventional cultivation are comparable. The results of this experiment investigating soil, leaf plant and fruit weight showed that organic jujube cultivation recommends supplementing the phosphorus content in the soil before the fruit development period to increase the phosphorus content in the plant, in the hope of increasing the yield of organically cultivated jujube fruits.

Key words: Indian jujube (*Ziziphus mauritiana* Lam.), organic cultivation, soil fertility, plant analysis.

加工用蘿蔔品種篩選評估

林照能、羅惠齡、王三太

農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所蔬菜系

摘要

加工用蘿蔔產業曾發生主要加工蘿蔔品種無種子由日本進口使用之情形，增加蘿蔔加工用產業不確定風險，所以篩選出多種能與現行主要加工品種 ”超雲大根” 相當的加工用蘿蔔品種為產業所急需。本試驗針對產業狀況，收集 19 個國內、外的蘿蔔品種進行栽培試驗，分別篩選出適合加工用、煮湯與關東煮等不同用途的多個蘿蔔品種。加工用途評估，選獲 ‘源光大根’、‘關白大根’、‘梅花杙長蘿蔔’ 及 ‘大躍進長蘿蔔’ 等四個蘿蔔品種，其蘿蔔乾製成率優於現有加工用蘿蔔品種 ‘超雲大根’。鮮食評估方面，選獲適合鮮食用的蘿蔔品種包括: ‘源光大根’、‘夏みづり 8 號蘿蔔’、‘MRX-5011’、‘大躍進長蘿蔔’ 等 4 個蘿蔔品種。關東煮評估則選獲:‘源光大根’、‘關白大根’、‘耐病總太り大根’、‘夏みづり 2 號蘿蔔’ 及‘大躍進長蘿蔔’ 等 5 個蘿蔔品種。由試驗結果顯示，在 19 個蘿蔔品種中，以‘源光大根’ 和‘大躍進長蘿蔔’ 在加工、鮮食與關東煮三種用途皆適合，而且產量表現也很好，可提供加工業者與農民作為蘿蔔栽培時的品種選擇依據。

關鍵詞: 蘿蔔、產量、加工

緒言

蘿蔔原產地中國，是世界上栽培久遠的蔬菜，主要分布於熱帶及溫帶地區 (Baloch et al., 2014)，為台灣地區秋、冬季重要根菜類作物 (黃與李，2024)。加工用蘿蔔的產區主要分布於雲林地區，目前種植的品種主要以 ‘超雲大根’、‘新東山’、‘夏旺大根’ 及 ‘白玉春’ 等品為主。‘超雲大根’ 是最主要的栽培品種，其蘿蔔乾的製成率高，但栽培過程中會有黑心的問題、纖維質較粗及黑心的現象。其種子由國外進口，常因採種問題導致蘿蔔種子的供應量不穩定。‘新東山’ 蘿蔔品種抗病性佳、肉質好，但栽培期超過 90 天會影響第一期作水稻的播種時間且產量較 ‘超雲大根’ 為低。‘白玉春’ 蘿蔔產量較低，葉子較平鋪所以較容易有病、蟲害的問題發生。‘夏旺大根’ 蘿蔔的耐熱性佳，栽培過程中需水量較多且蘿蔔乾的製成率較低。目前加工用蘿蔔品種有不同的缺點亟待克服。本試驗的目的在於選拔出適合本土加工用的蘿蔔品種，兼具豐產、病蟲

害防治容易、品質佳且蘿蔔乾的製成率較高的品種，增加適合加工用商業蘿蔔品種的選擇，可以減少因採重量不足造成單一品種種子來源不穩定的問題，以解決農民栽培上的困擾並提供蘿蔔加工業者有穩定的加工材料與提升蘿蔔乾的製成率。

本試驗的目的在於選拔出適合本土加工用的蘿蔔品種，兼具豐產、病蟲害防治容易、品質佳且蘿蔔乾的製成率較高、種子的供應量穩定的加工用蘿蔔品種，以解決農民栽培上的困擾並提供蘿蔔加工業者有穩定的加工材料與提升蘿蔔乾的製成率,解決因氣候變遷導致蘿蔔生產不穩定,進而造成蘿蔔加工材料無法穩定供應家工廠的生產及運作的問題。

材料與方法

(一) 選定嘉義縣布袋鎮地區專業蘿蔔農戶及鳳山熱帶園藝試驗分所試區，進 10 個蘿蔔品種的區域試驗，試驗設計採 RCBD，3 重複,每重複種植 40 株，採收時調查根長、根寬、根重、單位面積產量、含水率、有無歧根根、黑心、抽苔 等園藝性狀，並計算單位面積產量，選拔出產量高、抗病性強且蘿蔔製成率高的品種，作為加工用蘿蔔的推薦品種。

(二) 請嘉義布袋地區製作蘿蔔乾的專業工廠，進行 10 個供試品種的蘿蔔乾製作 ，調查蘿蔔製作前後的水分含量，製成率及口感品評。

結果與討論

由表 1 的試驗結果顯示,供試的 11 個蘿蔔品種中選獲 ‘源光大根’、‘關白大根’、‘梅花栽長蘿蔔’ 及 ‘大躍進長蘿蔔’ 等四個蘿蔔品種，其蘿蔔乾的產量分別為 3,059.9 kg / ha、2,620.5 kg / ha、3,775.5 kg / ha 及 3,438.8 kg / ha。明顯高於現有主要使用的蘿蔔品種 ‘超雲大根’ (1,536.9 kg / ha) 蘿蔔乾的製成率。根據研究報告顯示蘿蔔乾成品率為 27.29% (何與吳，2012)，而本試驗的蘿蔔乾製成率為 4.41~7.7%，由試驗結果顯示，本試驗蘿蔔乾的製程率低乃乾燥處理時水分含量極低，造成蘿蔔乾的製程率低，其水活性為 0.6，可有效的延長蘿蔔乾的保存期限。

表 1. 蘿蔔乾的製成率。

Table 1. Productuin rate of dried radish.

編號	品種名稱	來源	乾物重 (公克)	製成率(%)	蘿蔔產量 t / ha	蘿蔔乾產量 Kg / ha
23-3101	源光大根	丸種株式會社	1248.5	6.94	44.09	3,059.9
23-3102	超雲大根	小林種苗公司	893.9	4.96	30.99	1,536.9
23-3103	關白大根	富農種子公司	1238.5	6.88	38.09	2,620.5
23-3104	耐病總太り大根	丸種株式會社	914.9	5.08	43.11	2,190.2
23-3106	EVEREST	TAKII 種子公司	715.0	3.97	34.87	1,384.3
23-3108	梅花杙長蘿蔔	富農種子公司	1398.7	7.70	49.03	3,775.5
23-3109	夏みづり 2 號蘿蔔	中原採種場株式會社	1061.2	5.90	42.65	2,516.5
23-3110	夏みづり 5 號蘿蔔	中原採種場株式會社	1117.5	6.20	37.26	2,309.8
23-3111	夏みづり 8 號蘿蔔	中原採種場株式會社	793.7	4.41	37.28	1,644.2
23-3112	MRX-5011	MARU TANE.CO.	1114.5	6.19	38.94	2,410.1
23-3113	大躍進長蘿蔔	台灣農產公司	1303.6	7.24	47.50	3,438.8

註: 1. 以 30 台斤蘿蔔新鮮食材去頭去尾 ＋ 600 公克食鹽進行醃製及壓實脫水，用日照曬乾 3 天後，秤其重量變換算其蘿蔔乾製成率。

2. 一般蘿蔔加工場對蘿蔔乾水分的要求不能太乾，超雲大根 100 台斤約 25~26 台斤蘿蔔乾的製成率。

由表 2 的結果得知，以 19 個蘿蔔品種進行鮮食蘿蔔的品評試驗，根據蘿蔔的風味、纖維質含量、甜度、口感及整體接受度作為選拔依據，最終篩選出‘源光大根’、‘夏みづり 8 號蘿蔔’、‘MRX-5011’、‘大躍進長蘿蔔’、‘MRX-5011’、‘秋風蘿蔔’ 等 6 個蘿蔔品種，適合蘿蔔料理中的鮮食烹飪。

表 2. 鮮食蘿蔔感官品評試驗。

Table 2. Fresh Radish Sensory Evaluation test.

編號	品種名稱	來源	風味	纖維	甜度	口感	整體接受度
3101	源光大根	丸種株式會社	3.9	4.2	3.9	4.0	4.0
3102	超雲大根	小林種苗公司	3.0	2.9	3.0	3.2	3.2
3103	關白大根	富農種子公司	3.8	3.9	2.9	3.4	3.4
3104	耐病總太り大根	丸種株式會社	2.9	2.9	2.6	2.9	2.8
3105	永祥蘿蔔	農友種苗公司	3.2	3.3	3.8	3.5	3.2
3106	EVEREST	TAKII 種子公司	3.1	3.4	2.9	3.5	3.6
3107	大白村蘿蔔	鳳山分所	3.2	3.5	3.1	3.7	3.6
3108	梅花村長蘿蔔	富農種子公司	3.3	3.2	3.1	3.3	3.3
3109	夏みづり 2 號蘿蔔	中原採種場株式會社	3.5	2.9	3.1	3.5	3.2
3110	夏みづり 5 號蘿蔔	中原採種場株式會社	3.1	3.4	2.6	3.0	3.2
3111	夏みづり 8 號蘿蔔	中原採種場株式會社	3.8	3.0	3.3	3.7	3.7
3112	MRX-5011	MARU TANE.CO.	4.1	3.9	4.1	4.5	4.2
3113	大躍進長蘿蔔	台灣農產公司	3.9	3.2	3.5	3.9	4.1
3114	白娘蘿蔔	農友種苗公司	3.9	3.2	3.9	3.3	3.6
3115	エベレスト大根	TAKII 種苗公司	3.5	3.1	3.1	3.4	3.4
3116	秋風蘿蔔	台灣農產公司	3.4	3.9	3.3	3.7	3.9
3117	DAS016	SAKATA 種子公司	2.9	3.3	3.1	2.9	3.0
3118	DAS024	SAKATA 種子公司	3.4	3.9	3.9	3.6	3.9
3119	55 天長葉白玉蘿蔔	富農種子公司	3.9	3.7	3.9	4.0	3.9

1； 非常不喜歡

2； 不喜歡

3； 不喜歡也不討厭

4； 喜歡

5； 非常喜歡

「填不甜?香不香?會不會太軟或太硬?好不好吃?」等感官特性通常是消費者購買水果的主要理由 (劉，2020)。蘿蔔的官能品評亦著重於軟式及適口性。關東煮料理中蘿蔔是個優良的食材，它必須兼備久煮不爛、色澤鮮嫩、口感鬆軟及風味佳等優點。由 10 個蘿蔔品種中依據蘿蔔的風味、纖維質含量、甜度、口感及整題接受度作為關東煮的品評依據。選獲‘源光大根’、‘關白大根’、‘耐病總太り大根’、‘夏みづり 2 號蘿蔔’、‘夏みづり 5 號蘿蔔’、‘夏みづり 8 號蘿蔔’、‘EVERAST’及‘大躍進長蘿蔔’ 等 8 個蘿蔔品種適合作為關東煮的食材使用 (表 3)。

表 3. 適合關東煮蘿蔔品種品評試驗。

Table 3. Evaluation test of radish varieties suitable for oden cooking.

編號	品種名稱	來源	風味	纖維	甜度	口感	整體接受度
3101	源光大根	丸種株式會社	3.8	4.3	3.9	4.0	4.1
3102	超雲大根	小林種苗公司	3.1	3.5	3.4	3.4	3.4
3103	關白大根	富農種子公司	3.7	4.1	4.0	3.9	4.0
3104	耐病總太り大根	丸種株式會社	3.6	3.6	3.4	3.6	3.6
3106	EVEREST	TAKII 種子公司	3.2	4.1	3.6	3.7	3.6
3108	梅花栽長蘿蔔	富農種子公司	2.8	3.7	3.3	3.0	3.1
3109	夏みづり 2 號蘿蔔	中原採種場株式會社	3.9	3.9	3.9	3.9	4.0
3110	夏みづり 5 號蘿蔔	中原採種場株式會社	3.4	4.0	3.4	3.8	3.6
3111	夏みづり 8 號蘿蔔	中原採種場株式會社	3.7	4.3	3.8	3.8	3.9
3113	大躍進長蘿蔔	台灣農產公司	3.1	4.2	3.4	3.5	3.6

1； 非常不喜歡

2； 不喜歡

3； 不喜歡也不討厭

4； 喜歡

5； 非常喜歡

蘿蔔栽培過程中黃葉病是主要的病害之一，當蘿蔔植株遭遇黃葉病的危害，會影響蘿蔔葉子的光合作用，進而造成蘿蔔植株生育減緩，導致主要收穫部位根系重量減輕，嚴重影響蘿蔔收穫的產量。因此，不論是鮮食或加工用蘿蔔在栽培品種的選拔，都須考量蘿蔔品種對黃葉病的抗病性。由表 4 的試驗結果顯示，由 19 個栽培品種中選獲‘超雲大根’、‘夏みづり 5 號蘿蔔’、‘大躍進長蘿蔔’、‘秋風’ 及‘DAS024 蘿蔔’ 在蘿蔔栽培的中後期階段對黃葉病的耐病性佳，可提供給蘿蔔栽培的農民作為參考。

加工用蘿蔔品種的選擇，除了蘿蔔乾製成率的高低會影響業者的加工成本，在蘿蔔乾成品完成之後的蘿蔔乾風味更是影響消費者購買意願的重要決定因素。由 11 個蘿蔔乾的成品種進行品評試驗，選出 ‘梅花異常蘿蔔’、‘MRX-5011’ 及 ‘大躍進長蘿蔔’ 等 3 個蘿蔔乾成品，其風味深受品評者的喜好，可推薦給蘿蔔加工業者作為製作蘿蔔乾時的參考品種。

表 4. 2024 年蘿蔔品種田間黃葉病發病率調查。

Table 4. Radish yellow leaf disease evaluation test in the field in 2024.

品種編號	品種名稱	來源	調查第一重複黃葉病發病率		調查第二、三重複平均黃葉病發病率		中期與後期皆表現抗黃葉病
			發病率	發病率 ≦20%	平均發病率	發病率 ≦25%	
23-3101	源光大根	丸種株式會社	29.0%		15.0%	V	
23-3102	超雲大根	小林種苗公司	9.0%	V	5.0%	V	V
23-3103	關白大根	富農種子公司	10.0%	V	23.0%		
23-3104	耐病總太り大根	丸種株式會社	13.0%	V	20.5%		
23-3105	永祥蘿蔔	農友種苗公司	100.0%				
23-3106	EVEREST	TAKII 種子公司	100.0%				
23-3107	大白杙蘿蔔	鳳山分所	100.0%		18.0%	V	
23-3108	梅花杙長蘿蔔	富農種子公司	36.0%		31.0%		
23-3109	夏みづり 2 號蘿蔔	中原採種場株式會社	38.0%		15.0%	V	
23-3110	夏みづり 5 號蘿蔔	中原採種場株式會社	6.0%	V	17.0%	V	V
23-3111	夏みづり 8 號蘿蔔	中原採種場株式會社	39.0%		19.0%	V	
23-3112	MRX-5011	MARU TANE.CO.	14.0%	V	21.0%		
23-3113	大躍進長蘿蔔	台灣農產公司	9.0%	V	18.0%	V	V
23-3114	白娘蘿蔔	農友種苗公司	10.0%	V	27.0%		
23-3115	エベレスト大根	TAKII 種苗公司	20.0%	V	48.0%		
23-3116	秋風蘿蔔	台灣農產公司	16.0%	V	14.0%	V	V
23-3117	DAS016	SAKATA 種子公司	0.0%	V	50.0%		
23-3118	DAS024	SAKATA 種子公司	1.0%	V	13.0%	V	V
23-3119	55 天長葉白玉蘿蔔	富農種子公司	23.0%		27.0%		

結論:中期與後期黃葉病綜合考慮，以 3102 超雲大根、3110 夏みづり 5 號蘿蔔、3113 大躍進長蘿蔔、3116 秋風蘿蔔、3118DAS024 等 5 個表現優良。

結論

由19 個蘿蔔品種中選獲 ‘源光大根’、‘關白大根’、‘梅花杙長蘿蔔’ 及 ‘大躍進長蘿蔔’ 等四個蘿蔔品種的蘿蔔乾製成率優於現有加工用蘿蔔品種 ‘超雲大根’，可提供加工用蘿蔔栽培農民參考。品評試驗選獲 ‘MRX-5011’、‘梅花杙長蘿蔔’ 及 ‘大躍進長蘿蔔’ 等三個蘿蔔品種的蘿蔔乾口感優。

品評試驗方面，選獲適合鮮食用的蘿蔔品種‘源光大根’、‘夏みづり8 號蘿蔔’、‘MRX-5011’、‘大躍進長蘿蔔’ 等4 個蘿蔔品種適合鮮食用。選獲‘源光大根’、‘關白大根’、‘耐病總太り大根’、‘夏みづり2 號蘿蔔’ 及‘大躍進長蘿蔔’ 等5 個蘿蔔品種適合作為關東煮食用。在19 個蘿蔔品種中以‘源光大根’、‘大躍進長蘿蔔’ 在加工、鮮食與關東煮三種用途皆適合，而且產量表現也很好。

引用文獻

1. 何昇鴻、吳柏青. 2012. 蘿蔔乾製成改進研究. 農業機械學刊 21(3):543–72.
2. 黃秀雯、李兆彬. 2024. 蘿蔔蟲害管理策略之探討. 台南區改良常研究彙報第84 號:37–49.
3. 侯秉賦. 2018. 白玉蘿蔔友善栽培綜合防治管理. 高雄區農業專訊 105:20–22.
4. 范淑貞、林維和. 1999. 蘿蔔栽植密度試驗. 桃園區農業改良場研究會報第 38 號:1–9.
5. 黃秀貞、鄔家琪、張允瓊、江仲鈞、康志偉、王品元. 2015. 有機蘿蔔與有機瓜脯醃漬加工之研製—3. 農業知識入口網.
6. 黃琇雯、黃靖、陳昇寬、李兆彬、林宇盛. 2021. 蘿蔔害物整合性管理 (IPM) 台南區農業專訊 118:22–26.
7. 劉威廷. 2020. 科學化感官品評應用於水果之探討. 農業試驗所技術服務季刊 123:24–29.
8. Baloch, P. A., R. Uddin, F. K. Nizamani. 2014. Effect of Nitrogen, Phosphorus and Potassium Fertilizers on Growth and Yield Characteristicss of Radish (Raphinus sativus L.). American-EURASIAN j.Agric.& Environ.Sci.,14(6):565–569.

Assessment of Radish Cultivars for Processing

Jaw-Neng Lin, Hui-Ling Lo and San-Tai Wang

Department of Vegetable,Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch,Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture.

ABSTRACT

Lacking seeds of proper radish cultivar for processing which major imported from Japan was happened in Taiwan. Risk of uncertain amount of imported radish seeds for processing is increasing for radish processing industries. Then, selection of suitable radish cultivars for processing is the aim of program comparing with dominant cultivar 'Chou-Un Daikon'. Assessment of 19 cultivars which imported from foreign or bought in local seed companies was held for purposes of processing, soup or oden. For processing purpose, four cultivar of 'Yuan Guang Daikon', ' Guanbai Daikon', 'Meihua Yi Long Radish' and 'Da Yuejin Long Radish' were better than dominant cultivar 'Chou-Un Daikon' not only for higher ratio of cut-dried radish from fresh radish, but also yield (ton/ha). For soup purpose, four cultivar of 'Yuan Guang Daikon', ' Natsu Mizuri No. 8 Radish', 'MRX-5011' and 'Da Yuejin Long Radish' were better. For oden purpose, five cultivars of 'Yuan Guang Daikon', ' Guanbai Daikon', 'Taibyo Satoshi Futori Daikon' ,' Natsu Mizuri No. 2 Radish', and 'Da Yuejin Long Radish' were better. Cultivars of 'Yuan Guang Daikon' and 'Da Yuejin Long Radish' from 19 radish cultivar were selected not only for purposes of processing, soup or oden, but also for higher yield. which could be useful information for processing industries or farmers.

Key words: radish, yield, processing.

建立番木瓜果園土壤碳匯增進之栽培模式

徐智政[1]、陳薪嘵[1]、李文立[2]

[1]農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所熱帶果樹系

[2]農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所

摘要

本試驗針對台灣熱帶果樹栽培管理技術以增進土壤碳匯效益進行分析，重點在於提升土壤有機質和改善土壤結構。主要措施包括施用有機質肥料、覆蓋植株殘體、實施草生栽培以及減少耕犁。這些方法能夠促進碳固定並增強土壤保水保肥能力。在國內番木瓜主要產區之不同耕作管理方式進行評估顯示，利用草生栽培管理在提升土壤有機質和有機碳含量方面優於傳統銀黑塑膠布覆蓋，除了可降低土壤表面溫度和維持較高的土壤濕度外，更能提供更高的碳儲量。建立草生免耕試驗中，土壤溫度和濕度可維持較為穩定。此管理策略能有效增強果園碳匯，並提高植株對環境逆境的韌性，是應對氣候變遷和促進可持續農業的可行方案。

關鍵詞：番木瓜、土壤碳匯、草生栽培、免耕處理

緒言

自工業革命以來，全球碳排放量急速上升，導致全球乾旱、熱浪、洪水、颱風等極端氣候災情頻傳，對於農業生產活動影響甚鉅及許多國家及自然生態受到嚴重威脅。為減緩全球暖化加劇氣候變遷的趨勢，減少碳排放量勢在必行，因此，如何利用負碳技術減少大氣中溫室氣體含量為當前重要課題之一。所謂「自然碳匯」為將二氧化碳以不同形式儲存於大自然中，包含儲存於土壤的黃碳、森林的綠碳及海洋與濕地的藍碳。土壤儲存二氧化碳方式並非直接吸收固定，而是透過植物行光合作用吸收二氧化碳，死亡後微生物分解，大部分變回二氧化碳回到大氣，少部分形成有機質封存於土壤中。有機質形成過程受到雨量、土壤質地、農事操作、土壤微生物等因子影響，尤其台灣屬熱帶潮濕氣候，年均降雨量約為2,500 mm，平地年均溫約為24℃，高溫多雨之環境會增加土壤微生物活性，導致植物體死亡後只有極少部分可形成有機質儲存於土壤中。土壤碳匯以延緩土壤有機質分解或增加有機質累積為常見方法，本計畫將盤點並評估國內果樹可運行的增匯措施，包括可透過推廣具負碳功能之作物品種，藉由免耕或低耕犁栽培模式、草生 栽培、施用土壤微生物及有機質肥料、種植綠肥作物、殘株回田或生物炭等以增加土壤有機質 (Bai *et al.*, 2022)。此外，進一步針對國內番木瓜果園不同覆蓋方法之耕作管理模式評估基線碳匯量，未來將跨域合作建立土壤碳匯量測方

法，建置土壤碳儲潛力分區圖，強化果園低碳栽培之土壤管理模式，綜合評估農業生產的碳匯效益，方能凸顯土壤增匯方式對農民的誘因，進而促進農業土壤碳交易的實際運作並建立友善減碳及碳匯之農業環境。

材料與方法

一、盤點彙整熱帶果樹碳匯栽培管理措施，評估其施作方法與慣行農法之搭配並進行其土壤碳匯量變化估算，建立可行之碳匯增進管理模式。

二、分析番木瓜果園候選場址之土壤基礎物化性質、有機碳含量及環境數據，確立場址土壤類型及土壤基礎碳庫存 (baseline carbon stock)：

(一) 試驗地點：國內重要番木瓜產區 (南投縣埔里鎮 3 處、屏東縣高樹鄉及新埤鄉各 1 處)。

(二) 試驗處理：調查候選試區農民栽培管理方式 (耕犁頻度、矮化方式)，防治雜草方式 (草生栽培、遮陰網、銀黑塑膠布)、有機資材施用習慣 (種類、使用量、施用方法) 對土壤碳儲量效益之評估。

三、建立草生免耕處理對番木瓜果園土壤碳儲量之評估：

(一) 試驗地點：鳳山熱帶園藝試驗分所番木瓜果園。

(二) 試驗處理：於鳳山試區設置免耕與草生栽培之試驗組及目前農戶之慣行方式採雙行植並舖設覆蓋資材 (銀黑塑膠布及抑草蓆) 為對照組。定期採樣並記錄 2 種不同栽培模式對果園微氣象田間監測數據、土壤相關分析、植株生長與病蟲害危害等評估，每年分別調查各處理區 0－30 cm 土壤碳儲量、土壤總體平均密度及各元素含量變化，進一步綜整現有農民常用之耕作管理方式調查資料及草生免耕資料，評估草生栽培對番木園碳匯之影響。

四、土壤碳儲基線量測

(一) 採樣方法

現有耕作管理模式番木瓜果園土壤採樣以評估基線碳儲量：於番木瓜主要產區屏東新埤 (全園塑膠布)、南投埔里 (草生 / 遮陰網)、屏東高樹 (草生 / 塑膠布)、鳳山分所(草生免耕 / 一般慣行)等進行採樣，以建立番木瓜果園土壤碳儲分布。於各處理區塊隨機採樣5 點混合為一樣本，土芯深度表土0－30 公分。分析土壤總體密度、總有機碳含量 (乾燒法)。

(二) 檢測項目

主要檢測各樣本之土壤總體密度、總有機碳含量與各營養元素之含量等並換算有機碳比例，分析不同栽培管理模式下土壤累積之碳含量變化及果樹作物碳匯效益。

結果與討論

一、熱帶果樹增進碳匯之栽培管理措施

台灣常見果樹的農業管理技術中，有一些措施可以有效增加土壤碳儲存，這些措施的核心目標是提升土壤的有機質含量，增強土壤結構，從而促進碳的固定。以下是一些具體的技術方法以及主要果樹作物的運作機制 (表1)：

(一) 施用有機質肥料：在果園中施用有機肥可提高土壤肥力、改善果樹健康，進而提高果樹產量和品質。一般在二期作之間或快速生長期 (如開花期、幼果期) 以基肥或追肥之方式補充營養，除了促進果樹的生長和果實發育外，因有機肥中的有機質能有效改善土壤的物理結構，並促進土壤中有益微生物的生長繁殖，進而增強土壤微生物活動增加碳的種類以支持不同微生物共存增加微生物多樣性，並使土壤疏鬆、透氣性好，增強土壤的保水、保肥能力、促進團粒形成與土壤中碳的物理性保護，使碳儲不容易流失，提升碳儲的穩定性與韌性。

(二) 覆蓋植株殘體：植物在生長過程中通過光合作用將大氣中的碳固定，將修剪後的枝條和果樹落葉粉碎後還田，這些材料會在微生物的作用下分解為有機質，從而增加土壤碳儲量。如芒果、棗子、柑橘園、番石榴、蓮霧、百香果等樹枝繁葉茂，修剪後的枝條和落葉可作為還田材料，直接增加土壤的有機碳或定期以追肥之方式添加有機肥，果園經由敷蓋殘體透過降低土壤溫度，以減緩土壤微生物呼吸，進而穩定有機碳的比例，使土壤碳儲存趨於平衡，長期而言，不僅增加土壤有機機質含量，也改善團粒結構與保水性。

(三) 種植覆蓋作物 (草生栽培)：草生栽培是一種在果樹園中不清除地表草坪或進行野草覆蓋的耕作方式，草生層可覆蓋土壤表面，減少太陽輻射吸收，除可使日間土壤溫度下降、在夜間具有保溫作用。，此環境可抑制微生物呼吸高峰，減少CO_2 排放, 以延長碳滯留時間，草生栽培除了增加土壤有機質，可減少土壤表層蒸發與雨滴沖蝕，保持土壤表層濕度，還可增加土壤的孔隙度有助於穩定氧氣交替之微環境氣候；草生栽培草種根系與土壤表層可防止表土流失，將有機碳固定於土壤，避免水土流失而減少侵餓與碳流朱以提供穩定的碳源，並可穩定土壤微氣候與水份，進而增加土壤微生物與土壤動物多樣性，並促進土壤團粒與礦物結合而穩定有機質在土壤中的累積，進而提升土壤碳儲存能力。

(四) 降低耕犁：耕犁會破壞土壤孔隙結構，增加氧氣滲入與有機碳氧化速率以會加速土壤中的有機質分解並釋放出二氧化碳，減少耕作後，土壤孔隙較封閉，氧氣通量下降以減少微生物有氧呼吸強度，使碳氧化轉為CO_2 的速率下降。有助於提高土壤中的碳儲含量。另外耕犁會破壞團粒結構，釋放原本被包覆於團粒結構中的有機質，降低耕犁使土壤團粒結構較完整保存，保護土壤中原有的碳儲存；土壤頻繁的耕犁會均質化土壤環境，導致土壤多樣性下降，降低耕犁可保留原本有益微生物多樣性並可保持土壤的結構完整，提供更加穩定的生物棲息環境。

表 1. 台灣常見果樹農業管理技術對增加土壤碳儲存的方法及主要作物機制。

Table 1. Agricultural Management Techniques for Common Fruit Trees in Taiwan to Increase Soil Carbon Storage and the Mechanisms of Major Crops.

農業管理技術	果樹種類	對土壤碳儲存之主要作用機制			
		降低溫度	降低氧氣	增加土壤生物多樣性	增加土壤穩定有機物
施用有機物	果樹於產期結束施禮肥或特定生長時期施用追肥之方式：如芒果、香蕉、棗子、柑橘園、番石榴、蓮霧、百香果…等			●	●
敷蓋殘體	番石榴、番荔枝、酪梨、蓮霧、棗子	●		●	●
種植覆蓋作物/草生栽培	芒果、香蕉、棗子、柑橘園、番石榴、荔枝、木瓜、紅龍果	●		●	●
免耕/最少耕犁	一般長期果樹平均約 5-7 年耕犁更新		●	●	●

二、分析現有耕作管理方式對番木瓜碳匯效益之可行性評估

番木瓜 (Carica papaya L.) 為半草本之熱帶果樹，為台灣重要經濟果樹，栽培面積約2,730 公頃，目前經濟栽培品種為台農2 號，約占總栽植面積之90%。國內番木瓜主要種植於網室以防止輪點毒素病危害。番木瓜根系為草質淺根性作物，根系如淹水1－2 天便會樹勢衰弱或導致根系腐爛，進而嚴重影響產量，因此除栽培果園宜選擇排水良好及地下水位低外，在整地作業時會先將田地整出洩水坡度及四周洩水道，再以大型機械整成雙行畦或單行畦，務求水路通暢為原則，另外，一般番木瓜農戶會以銀黑塑膠布或抑草蓆為覆蓋資材以防止夏季豪雨直接沖刷根部與防治雜草避免水分及養分的競爭及維持冬季土溫，但夏季高溫易造成土壤溫度上升，豪雨過後土壤水份不易散失等問題，嚴重則影響木瓜生育，甚至導致植株死亡。本試驗調查目前南部高屏地區番木瓜田區無論是單行畦或雙行畦以銀黑塑膠布或抑草蓆為覆蓋資材，嘉義及台南地區則有農戶以覆蓋資材及草生併行，但有少數農戶則以全園草生栽培模式。雖然利用覆蓋資材短時間上有許多優點，但長期以環保及碳匯觀點來看，生態管理方式也許是木瓜果園增加碳匯及提高植株對氣候變遷韌性的另一個選項。網室木瓜因日照通風不良且溫度高於網外溫度，導致植株易徒長、莖細、結果部位高；易遭風害，且採收管理不便，一般木瓜果農於栽培初期進行倒株作業以延長採收期，但如此耕作模式平均約2－3 年需重新將植株砍除及將田區翻耕以更新果園，除容易導致土壤有機質含量分解加速進而減少土壤碳含量，另外也會讓僅存的雜草更加頑強，而耐耕犁、無性繁殖體雜草種類也會增加，徒增果農清除防治成本，果園生物多樣性降低。本試驗目前已於屏東縣新埤鄉、高樹鄉、南投縣埔里鎮建立4 處番木瓜試驗場域，已完成土壤深度30 公分採樣共4 處，進行土壤質地及相關肥力分析以建立含碳儲量基線並測定不同管理方式對番木瓜果園土壤表面溫度之測定。

在屏東高樹番木瓜果園其有機碳含量平均為0.63－0.82%，其中利用草生栽培區域處理之碳儲量為31.34 ± 1.18 ton C ha^{-1}，較銀黑塑膠布覆蓋處理25.05 ± 1.53 ton C ha^{-1}為高；在南投埔里有機栽培番木瓜果園其草生栽培區域之碳儲量為50.28 ± 1.15 ton C ha^{-1}，較覆蓋抑草蓆 (49.40 ± 1.28 ton C ha^{-1}) 及裸土區域 (43.54 ± 1.38 ton C ha^{-1}) 高；而在屏東新埤番木瓜果園採全園覆蓋銀黑塑膠布，有機碳含量0.83 ± 0.19%及碳儲量為38.31 ± 1.28%。綜合不同番木瓜產區覆蓋方式的土壤碳儲量均有差異，目前初步結果顯示，以有機栽培有機碳含量較一般慣行高，慣行栽培模式中草生栽培管理覆蓋方式較銀黑塑膠布之有機碳含量高 (表2)。進一步測定不同管理方式之番木瓜果園土壤表面溫度變化顯示，如果園利用草生栽培覆蓋，其土壤表面溫度與番木瓜植株葉片表面溫度較為相近，但利用抑草蓆或塑膠布覆蓋其土壤表面溫度與草生栽培溫度差近20℃ 以上，因此不同耕作管理模式中，利用草生栽培可明顯降低土壤表面溫度，另留草高度也明顯影響土壤表面溫度 (圖1)。

表2. 現有耕作方式對番木瓜果園土壤有機質之影響。

Table 2. The Effects of Current Cultivation Practices on Soil Organic Matter in Papaya Orchards.

管理方式	覆蓋方式	總體密度 (g cm^{-3})	有機碳含量 (%)	碳儲量 (ton C ha^{-1})
慣行栽培 (屏東高樹)	草生	1.47 ± 0.08	0.82 ± 0.14	31.34 ±1 .18
	銀黑塑膠布	1.44 ± 0.03	0.63 ± 0.08	25.05 ± 1.53
有機栽培 (南投埔里)	草生	1.13 ± 0.13	1.25 ± 0.11	50.28 ± 1.15
	抑草蓆	1.64 ± 0.05	1.15 ± 0.13	49.40 ± 1.28
	裸土	1.62 ± 0.06	1.04 ± 0.12	43.54 ± 1.38
慣行栽培 (屏東新埤)	銀黑塑膠布	1.44 ± 0.15	0.83 ± 0.19	38.31 ± 1.28

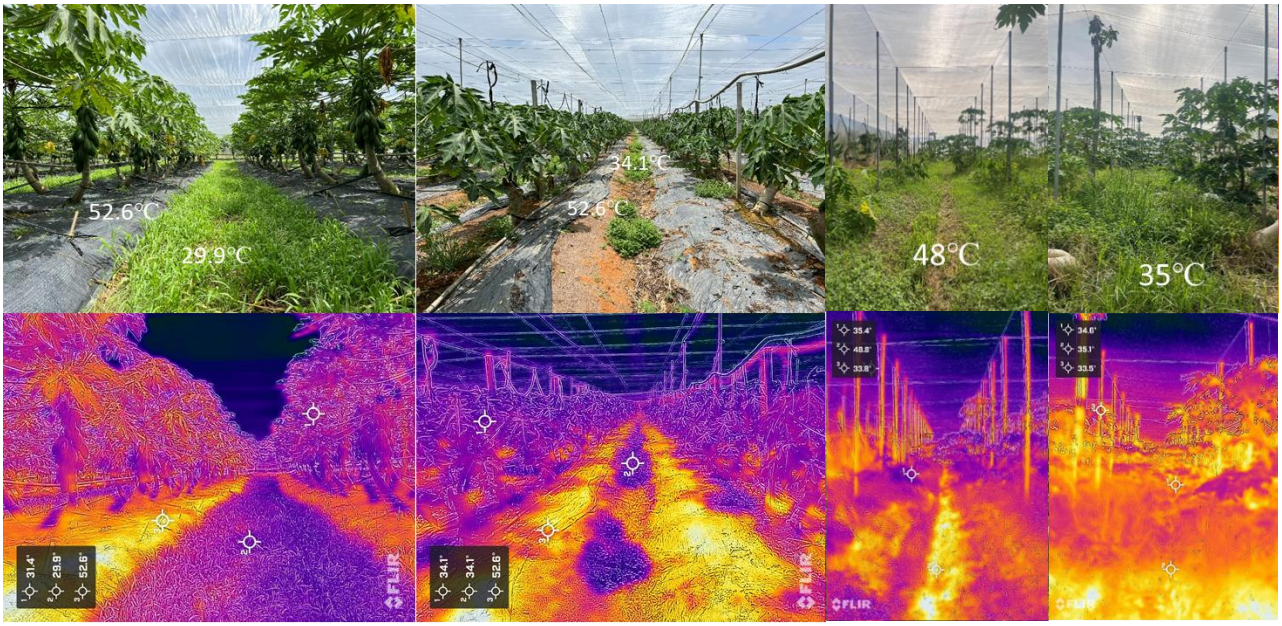


圖 1. 不同管理方式之番木瓜果園土壤表面溫度。

Fig.1. Soil Surface Temperature of Papaya Orchards Under Different Management Practices.

三、建立草生免耕處理對番木瓜果園對土壤微氣候及碳儲量之影響評估

台灣地區高溫、暴雨、乾旱、缺水等頻率將日益增加，唯有設法提高果樹的韌性才能克服該等逆境，除選育抗逆境品種外，應鼓勵果園土壤保育，阻止土壤流失。將番木瓜現行之耕種栽培模式施行草生栽培，果園生質回土，增施有機肥，可提高土壤碳儲量，改善土壤物理性、化學性和生物性。不僅減緩氣候變遷，還因增加土壤有機質，土壤孔隙度隨之提高，進而增加換氣率、滲水率，提高保水、保肥力。因此，本試驗選擇適合番木瓜果園之草生栽培草種及不施行翻耕作業之留側芽更新或二次倒株等方式矮化以延長植株採收期與原地更新種苗，並搭配植株殘體覆蓋以降低耕犁次數並以滴灌取代噴灌等不同管理模式下增加土壤碳累積，將土地利用轉向多年生作物系統，以增強碳的保存。鳳山試區設置免耕與草生栽培之試驗組，並以目前農戶之慣行方式採雙行植並舖設覆蓋資材 (銀黑塑膠布及抑草蓆) 為對照組，定期採樣並記錄二種不同栽培模式對果園微氣象田間監測數據、土壤性質、植株生長與病蟲害危害等評估，結果顯示：利用紅外線光譜儀測定不同覆蓋處理對土壤表面溫度之影響中，利用草生栽培可明顯降低土壤表面溫度，其中以塑膠布表面溫度最高 (54.3℃) 其次為抑草席 (42.2℃)，最低為草生栽培 (35－37℃) ，另割草高度也明顯影響土壤表面溫度 (圖2)。番木瓜果園不同覆蓋方式對不同深度 (10－30 cm) 土壤溫度具有差異性；以覆蓋塑膠布處理平均土壤溫度高，其次為草生栽培，最低為抑草蓆處理；不同覆蓋處理皆以土層30 公分之土壤溫度變動性較小；整體而言，隨著大氣溫度變化以免耕草生栽培之土壤各土層平均溫度變動較小 (圖3)；在濕度方面；以草生免耕栽培處理各土層平均土壤濕度 (46.27%) 較佳，其次為覆蓋抑草蓆 (45.87%)，二者處理差

異不大，塑膠布處理平均土壤濕度較低 (26.07%)；整體而言，免耕草生栽培與覆蓋雜草抑制蓆對土壤保濕程度效果相似 (圖4)。

草生免耕區域土壤總體密度為1.13 ± 0.11 g cm^{-3}、有機碳含量2.05 ± 0.14%、碳儲量為70.43 ± 1.17 ton C ha^{-1}；一般慣行區域土壤總體密度1.65 ± 0.03 g cm^{-3}、有機碳含量1.17 ± 0.12%、碳儲量為54.25 ± 1.40 ton C ha^{-1} (表3)，此土壤採樣時間為試區初建置時處理前之土壤相關數據，待經不同時間處理後之土壤採樣觀察其土壤相關數據變化。

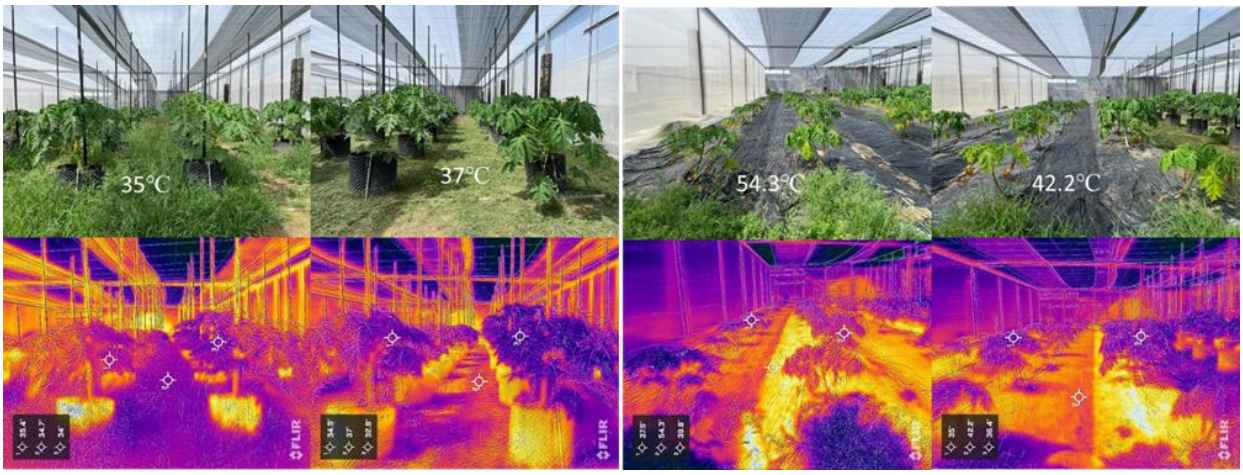


圖 2.不同覆蓋及管理方式對番木瓜果園土壤表面溫度之測定。

Fig.2. Measurement of Surface Soil Temperature in Papaya Orchards Under Different Mulching and Management Practices.

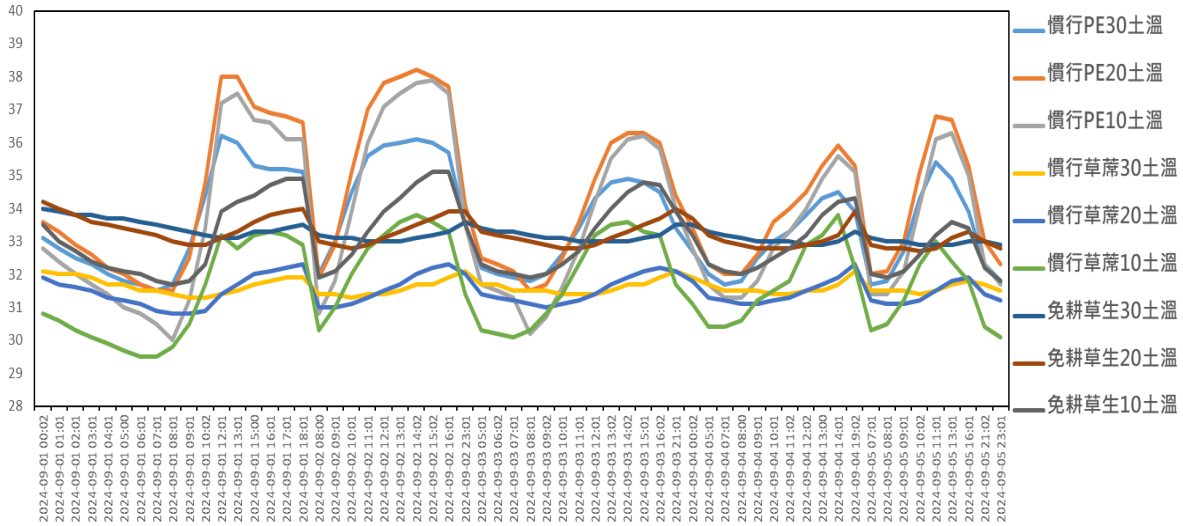


圖3. 番木瓜果園不同覆蓋方式對不同深度土壤溫度變化。

Fig.3. Soil Temperature Variation at Different Depths Under Different Mulching Practices in Papaya Orchards.

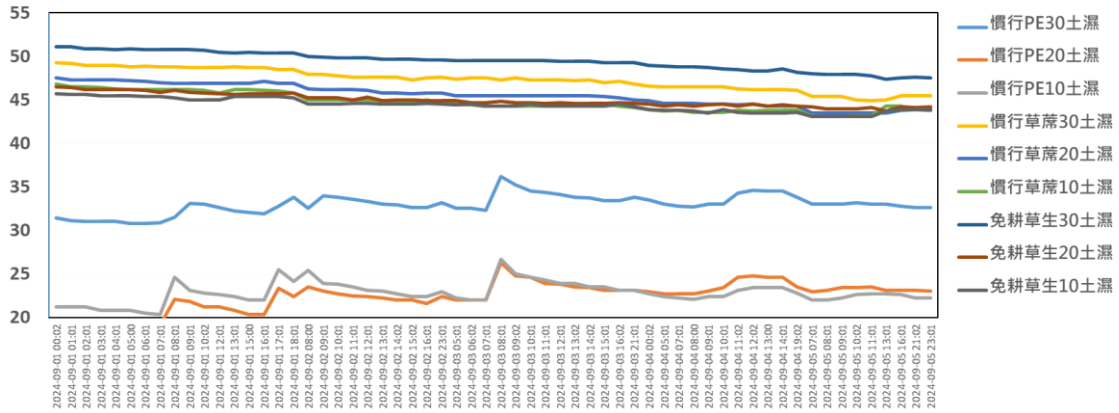


圖4. 番木瓜果園不同覆蓋方式對不同深度土壤濕度變化。

Fig.4. Soil Moisture Variation at Different Depths Under Different Mulching Practices in Papaya Orchards.

表3. 不同耕作管理方式對番木瓜果園土壤有機質之影響。

Table 3. Effects of Different Cultivation Management Practices on Soil Organic Matter in Papaya Orchards.

管理方式	覆蓋方式	總體密度 (g cm^{-3})	有機質 (%)	有機碳含量 (%)	碳儲量 (ton C ha^{-1})
草生免耕	草生栽培	1.13 ± 0.11	3.48 ± 0.14	2.05 ± 0.14	70.43 ± 1.17
一般慣行	塑膠布/抑草蓆	1.65 ± 0.03	2.05 ± 0.13	1.17 ± 0.12	54.25 ± 1.40

引用文獻

1. Bai, Y., and M. F. Cotrufo. 2022. Grassland soil carbon sequestration: Current understanding, challenges, and solutions. Science 377(6606):603－608.
2. Brady, N. C., and R. R. Weil, 2010. Elements of the nature and properties of soils. Pearson Prentice Hall.
3. Chen, C. L. , C. Y. Chou, M. C. Lin, and J. H. Hu. 2019. Application of Agricultural Practices to Increase Soil Carbon Sequestration in Taiwan. Climate Smart Agriculture for the Small-Scale Farmers in the Asian and Pacific Region. pp. 89 – 105. National Agriculture and Food Research Organization (NARO) & Food and Fertilizer Technology Center (FFTC) for the Asian and Pacific Region. ISBN:978 – 4 – 908914 – 02 – 7.
4. Executive Yuan (EPA). 2020. 2020 REPUBLIC of CHINA National Greenhouse Gas Inventory Report. Environmental Protection Administration,Executive Yuan (EPA). (in Chinese)
5. Guo, L. B. and R. M. Gifford. 2002. “Soil carbon stocks and land use change: a

meta analysis.” Global Change Biology 8(4): 345 – 360.

6. IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland..
7. IPCC. 2018. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.

Establishment of Cultivation Models for Enhancing Soil Carbon Sequestration in Papaya Orchards

Chih-Cheng Hsu[1], Hsin-Liang Chen[1], and Wen-Li Lee[2]

[1]Department of Tropical Fruit Trees, Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture.
[2]Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture.

ABSTRACT

This study analyzed tropical fruit cultivation and management practices in Taiwan aimed at enhancing soil carbon sequestration, with a focus on increasing soil organic matter and improving soil structure. Key measures include the application of organic fertilizers, mulching with plant residues, implementation of sod culture (cover cropping), and reduction of tillage. These practices promote carbon fixation while enhancing the soil's water retention and fertility. Evaluations of different cultivation management methods in major papaya production areas in Taiwan indicated that sod culture outperformed traditional silver-black plastic mulch in terms of increasing soil organic matter and organic carbon content. In addition to lowering soil surface temperature and maintaining higher soil moisture, sod culture also provided greater carbon storage. Trials on sod culture with no-tillage demonstrated more stable soil temperature and moisture. This management strategy effectively enhances orchard carbon sequestration capacity and improves plant resilience to environmental stress, making it a feasible approach for addressing climate change and promoting sustainable agriculture.

Key words: papaya, soil carbon sequestration, sod culture, no-tillage.

榴槤葉斑病調查與病原性測試

蔡莽隍

農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所植物保護暨園產品加工系

摘要

榴槤為東南亞地區之重要熱帶果樹，其對環境條件敏感，在栽培生長的過程也會遭遇許多病蟲害，國外報導最常見的病害包括葉斑病、炭疽病、白粉病、疫病與枯枝病。本研究首次調查臺灣榴槤葉斑病發生情形並進行病原性測試，調查結果顯示，所調查的葉斑病葉片以 *Phomopsis* 屬的真菌分離率最高，所有調查的榴槤品種均會發生此病害。於 2025 年 4−11 月份的調查顯示，5 月是病害發生相對高峰期，且上層葉與下層葉葉斑病的罹病率沒有顯著差異，顯示該病害沒有因為植株葉片接受陽光的多寡而有不同，接種結果也顯示有 84.2% 的 *Phomopsis* 屬真菌分離株對貓山王榴槤葉片具有病原性，故後續病害防治須將此病原菌納入考量，未來將針對此一類群真菌進行非農藥資材及生物防治試驗，以建立對環境友善的葉斑病病害綜合管理策略。

關鍵詞：榴槤、葉斑病、*Phomopsis* 屬

緒言

榴槤 (*Durio zibethinus* L.) 是一種熱帶水果，原產於東南亞，主要分布於馬來西亞、泰國、印尼和菲律賓等國家 (Muhtadi *et al.*, 2023; Khaksar *et al.*, 2024)。榴槤樹的生長特性十分顯著，其高度可達 50 公尺，樹冠直徑約為 8 至 10 公尺 (Pembengo and Adnyana, 2024)，由於樹體高大，在管理與採收上會帶來挑戰，特別是在病蟲害管理方面，這些問題若未妥善處理，將會嚴重影響產量與果實品質 (Jittamai *et al.*, 2024)。榴槤樹對環境條件非常敏感，特別是在土壤與水分供應方面，它們不耐淹水，積水會導致根部腐爛及其他問題，因此良好的排水系統對於榴槤的成功栽培至關重要 (Asmarahman *et al.*, 2023)。此外，榴槤適合生長在排水良好、富含養分的土壤中，並需要充足的陽光才能達到最佳生長狀態 (Asmarahman *et al.*, 2023)。

榴槤病害對榴槤植株生長與產量造成重大影響，尤其在熱帶地區 (例如泰國、菲律賓、馬來西亞等地) 導致經濟損失，回顧國外文獻，最常見的病害包括葉斑病 (leaf spots)、炭疽病 (anthracnose)、白粉病 (powdery mildew)、疫病 (*Phtophthora* root rot) 與枯枝病 (die－back)，這些病害由不同的真菌與類真菌引起，嚴重影響葉片健康與果實產量。

葉斑病是由 *Phomopsis durionis* 引起的病害，在泰國有報導指出，此病原會在葉片上產生帶有暈圈的黃色斑點，導致提早落葉，進而影響樹勢與果實產量 (Tongsri *et al.*, 2016)，有效的防治管理，包括良好栽培管理與病害綜合管理策略，是維持健康作物的關鍵 (Sabarre *et al.*, 2021)。

炭疽病主要由 *Colletotrichum* 屬的真菌引起，尤以 *Colletotrichum gleosporoides* 為主流菌株，泰國報導指出，此病害表現為葉面出現黑色壞死病斑與邊緣不規則病斑，若未有效控制，可能導致大量落葉及作物損失 (Sutthisa *et al.*, 2023)，研究指出，*C. gleosporoides* 的發病與降雨和溫暖氣候有關，此種環境有助於真菌孢子的擴散，利於病害傳播 (Sutthisa *et al.*, 2023)。

榴槤白粉病主要由真菌 *Oidium nephelin* Hadi 引起，是熱帶地區榴槤作物面臨的一大威脅，根據菲律賓的調查研究，其病徵為在榴槤樹的葉片、莖部上，甚至果實表面出現白色粉狀物，這種粉狀覆蓋物主要由分生孢子梗與分生孢子組成，是白粉病感染後產生的無性繁殖構造。受感染的葉片可能會出現葉綠素退化、黃化、萎凋，最終導致落葉，進而影響果實品質與產量，在感染嚴重的植株中，該病害可能導致枝條生長受抑或枯死，嚴重影響作物的生產力 (Leonida *et al.*, 2023)。

由疫病菌 (*Phytophthora palmivora*) 引起的根腐 (root rot) 或基腐 (collar rot) 病，這些病害一直是導致作物損失的主要原因，泰國的調查報告指出，受影響地區的作物損害估計可達 20% 至 30% (Pongpisutta *et al.*, 1993)。感染根腐病的典型症狀包括萎凋、葉片泛黃，最終整株枯死，無論是幼苗或成株皆可能受害，該病原特別偏好潮濕、排水不良的土壤，這在濕度高的熱帶氣候條件下尤其嚴重。在部分地區，病害的爆發往往與降雨量增加的時期有關，因為這樣的濕潤環境有利於病原菌的擴散與繁殖。

枯枝病則是另一項嚴重威脅，在 2018 至 2019 年間，泰國榴槤種植者面臨枯枝病疫情爆發的問題，主要懷疑的病原菌為 *P. palmivora*，儘管農民嘗試使用針對 *P. palmivora* 的殺菌劑來控制病害，但這些方法對榴槤枯枝病的防治成效不佳。枯枝病的病徵包括葉片變黃並最終從枝條上脫落，而枝條末端的樹皮則出現凹陷溝紋，Pongpisutta *et al.* (2023) 團隊在調查枝枯病初期，發現榴槤植株上的小蠹蟲 (ambrosia beetles)，學名為 *Euwallacea similis*，是原產於亞洲 (包括泰國) 的一種蠹蟲，通常可在枯死的樹木中發現，當這些蠹蟲向榴槤植株之組織挖掘隧道時，會將病原真菌引入樹木的維管束系統，導致木質部導管阻塞，使樹木出現萎凋現象，而這些真菌是小蠹蟲各個階段的主要食物，且由雌成蟲攜帶將其傳播到新的棲地 (Hulcr and Stelinski, 2017)，因此 Pongpisutta *et al.* (2023) 研究指出，枝枯病可透過小蠹蟲作為傳播媒介，而枝枯病主因與 *Fusarium* 屬相關，其中 *Fusarium solani* 常見於受感染的樹體上，該病會導致枝條枯萎甚至整株死亡，若未加以處理，後果嚴重；此外，*Fusarium incarnatum* 也被確認為榴槤枯枝病的重要病原之一，顯示此病害的複雜性，透過在榴槤園中研究 *E. similis* 與鐮孢菌之間的互動關係，可以深入了解小蠹蟲在病害傳播中的角色，並擬定有效策略，以減少由鐮孢菌相關病害造成的潛在損

失 (Pongpisutta *et al.*, 2023)。

總體而言，榴槤病害的管理對於維持其生產的經濟可行性至關重要，隨著病原菌的演化與環境條件的變化，持續進行監測並調整病害管理策略，將是對抗這些威脅、守護榴槤產業的關鍵所在。由於臺灣的榴槤產業發展尚在起步階段，且對於榴槤病害的研究量能相對缺乏，在調查初期準確識別病原菌對於後續的病害管理與防治至關重要，故本研究首先針對臺灣榴槤葉斑病進行初步的調查、分離病原菌並做接種測試，以利於未來擬定相關之防治策略。

榴槤葉斑病的前人研究

由病原菌 *Phomopsis durionis* 引起的榴槤葉斑病，對榴槤栽培構成重大挑戰，特別是在東南亞地區，榴槤具有重大的經濟價值。此病害的特徵為葉片上出現帶有黃色暈圈的病斑，直徑大小約為 1 至 10 mm 不等 (Tongsri *et al.*, 2016)，該病原菌會感染幼葉與成熟葉，導致葉片光合作用效率變低，進而影響榴槤樹的整體健康與產量 (Sabarre *et al.*, 2021)。

Phomopsis. durionis 的感染過程始於其孢子受風與雨等環境因素傳播，進而進入葉片表面。一旦感染發生，該真菌會迅速擴散，引起嚴重的葉部損傷與枯萎現象，最終可能導致果實品質與產量下降 (Leonida *et al.*, 2023)。值得注意的是，針對 *P. durionis* 感染的管理策略包括妥善的栽培管理措施，例如維持良好通風與減少植物周圍的濕氣，有助於抑制病原擴散 (Sabarre *et al.*, 2021)；此外，氣候條件，特別是濕度與溫度，對 *P. durionis* 感染的發生率與嚴重程度有關鍵影響，較高的濕度有利於葉斑病徵的發展 (Tongsri *et al.*, 2016)。瞭解這些環境因素之間的互動，有助於建立有效的監測與防治策略，這一點也在其他文獻中獲得支持 (Leonida *et al.*, 2023)。

總結而言，*P. durionis* 是一種對榴槤葉片造成危害的重要真菌病原，雖然不會直接危害果實，但會影響植株光合作用效率且易造成落葉，間接導致果實品質與產量下降而產生經濟損失。掌握其病害特性並制定有效的管理措施，對於受影響地區的榴槤栽培至關重要。

調查榴槤葉斑病在臺灣的發生情形與病原性測試

榴槤葉斑病供試菌株分離、鑑定與菌相調查：為了解目前榴槤葉斑病之主要病原菌種類，至屏東縣崁頂鄉之榴槤果園進行葉斑病病害取樣，取樣榴槤品系包括貓山王、紅龍、金枕頭、黑刺及臺灣自育品系，病徵的判斷參考 Tongsri *et al.* (2016) 所描述典型榴槤葉斑病之病徵，選取典型葉斑病病徵葉片進行病原菌分離 (圖 1)，分離培養 7 天後觀察所長出之菌落型態，以菌落型態及孢子種類鑑定至屬，必要時以 ITS (internal transcribed spacers) 序列鑑定至屬 (White *et al.*, 1990)，再依照以下公式計算分離率：

分離率 (Frequency, %) = 分離到該菌之樣本數 / 總取樣樣本數 × 100%。

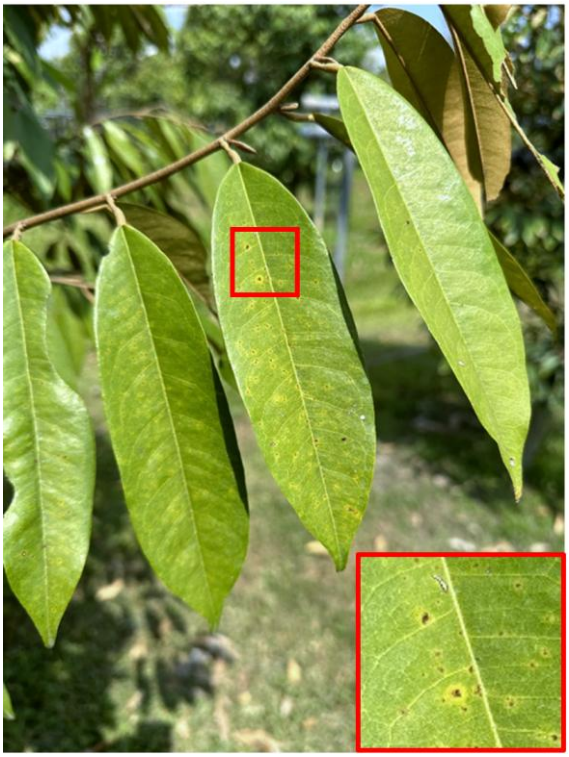


圖 1. 崁頂鄉貓山王榴槤葉斑病典型病徵(紅框顯示放大後的病斑)。

Fig.1. Typical symptoms of leaf spot disease on Musang King durian in Kanding Township (Red box showed the magnified lesion).

初步分離結果如表 1 所示，分離率最高者為 *Phomopsis* 屬，其中在黑刺品種上可達 100.0%，所有調查的榴槤品種均以這個屬的真菌分離率最高，顯示為葉斑病主要真菌族群，其次為炭疽病菌屬 (*Colletotrichum* spp.) 及鐮孢菌屬 (*Fusarium* spp.)，*Alternaria* 屬及 *Lasiodiplodia* 屬則零星分離。

表 1. 貓山王、紅龍、金枕頭、黑刺及臺灣自育品系榴槤之葉斑病病原菌分離率 (%)。

Table 1. Frequency (%) of leaf spot disease pathogens from Musang King, Hong Long, Monthong, Black Thorn, and Taiwan－bred durian cultivars.

Cultivar	*Phomopsis* spp.	*Fusarium* spp.	*Colletotrichum* spp.	*Alternaria* sp.	*Lasiodiplodia* sp.
Musang King	66.7	26.7	0.0	0.0	0.0
Hong Long	69.2	7.7	7.7	15.4	0.0
Monthong	62.5	0.0	37.5	0.0	0.0
Black Thorn	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Taiwan－bred	50.0	10.0	20.0	0.0	5.0

貓山王榴槤葉斑病罹病率初步調查：進一步調查葉斑病在榴槤上的發生情形，由於在崁頂及高樹園區以貓山王榴槤為代表品種，故調查品種選定為貓山

王。榴槤葉斑病之病徵係根據 Tongsri *et al.* (2016) 所描述之特徵進行判定，於 2025 年 4 月至 11 月至屏東縣崁頂鄉 (WGS84: 22.512979, 120.526023) 及高樹鄉 (WGS84: 22.860418, 120.629398) 榴槤園各選定 5 株貓山王榴槤進行葉斑病調查，每月調查病害罹病率，每株逢機調查上位層及下位層枝條各 5 枝，每枝條記錄從新芽起始第 3 片展開葉之後 10 片葉之罹病率，罹病率 = 具典型斑點病徵之葉片數量 / 調查葉片總數量 × 100%。上位層及下位層葉片之罹病率 (%)，以 t 檢定 (Student's t–test) 比較，在 5% 顯著水準下比較上位層及下位層葉片罹病率之差異。

於崁頂鄉及高樹鄉調查結果如圖 2 所示，在崁頂及高樹兩果園葉斑病罹病率高峰均是落在 5 月，5 月在崁頂的下位葉罹病率達 84.0 ± 4.5%；而在高樹上位葉可達 96.0 ± 2.7%。5 月之後，兩地區果園的葉斑病罹病率均逐漸下滑，尤其高樹果園在 7 月時下滑更為明顯，7 月至 11 月的罹病率落在 20－30% 附近；崁頂果園罹病率則是落在 20－60% 之間。另外，上層葉與下層葉葉斑病的罹病率在統計分析上沒有顯著差異，顯示該病害沒有因為植株葉片接受陽光的多寡而有不同。

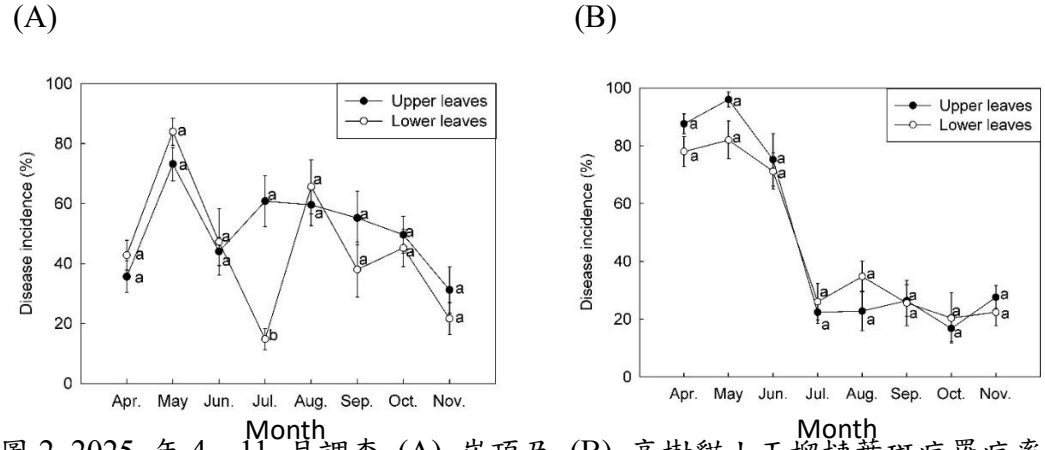


圖 2. 2025 年 4－11 月調查 (A) 崁頂及 (B) 高樹貓山王榴槤葉斑病罹病率。

Fig.2. Incidence of leaf spot disease on Musang King durian in (A) Kanding Township, and (B) from April to November 2025.

病原性測試：將不同菌落型態之 *Phomopsis* 分離株收集且進一步做病原性測試，接種植株品種為貓山王，將新鮮現採之貓山王葉片 (新葉第 3 及第 4 片葉) 以清水洗淨去除表面灰塵，並以滅菌後針束製作傷口接種，以菌絲塊接種，對照組接種無菌 PDA，將接種後葉片放置於密閉保鮮盒，於 25°C，12 h 光照 / 12 h 黑暗，兩週後觀察有無褐色壞疽病徵出現，若具有病原性，量測其病斑直徑 (mm)，本實驗獨立重複一次，並保存菌株。

所獲得 19 株 *Phomopsis* 分離株，接種結果如圖 3 所示，有 16 株分離株具有病原性，其中分離株 PH14 及 PH18 具有相對較強的致病力，重新分離接種後病斑則獲得相同之菌落，進一步將確定具有病原性之分離株進行保存並做後續測試。

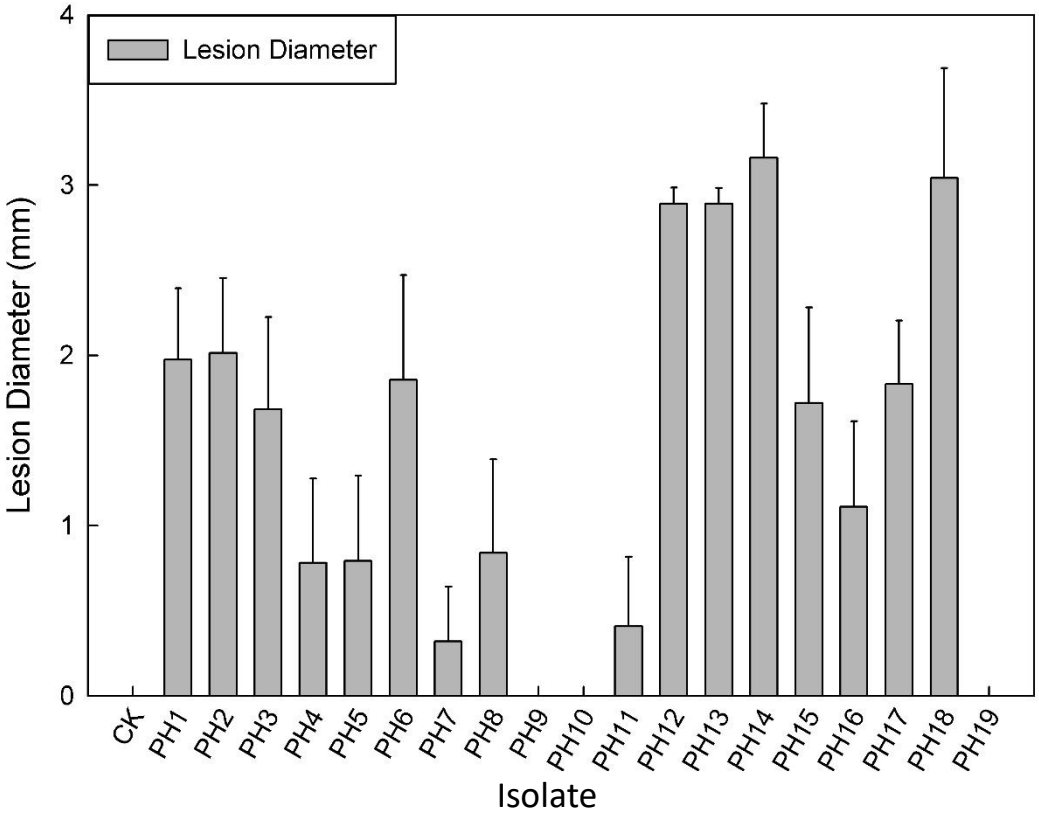


圖 3. 榴槤葉斑病 *Phomopsis* 屬菌株於貓山王葉片接種試驗。

Fig.3. Pathogenicity test of *Phomopsis* isolates on Musang King durian leaves showing leaf spot symptoms following inoculation.

結果與討論

筆者在崁頂園區調查榴槤葉斑病時，觀察到有些帶有斑點的葉片同時尾端有焦枯的現象，雖然在焦枯的部位確實可以分離到 *Phomopsis* 屬的真菌，但在病斑與健康綠色葉片交界帶的位置多數葉片未見有明顯黃暈圈，推測可能是非生物性因子所造成的葉尖焦枯，主要因素包括：鹽分逆境、營養缺乏、高溫極端氣候以及乾旱，這些環境壓力會嚴重損害植物的生理功能，使葉片組織出現焦枯等可見損傷；另外筆者也觀察到靠近園區側面受風區也容易有葉尖焦枯的現象，推測應是風力過強，導致環境濕度偏低，加劇蒸散作用同時降低土壤水分，造成植物水分壓力失衡而導致葉尖焦枯現象。

由於以上因素可能會使調查結果有偏誤，因此本研究調查的葉斑病病徵主要根據 Tongsri *et al.* (2016) 所描述之特徵進行判定。本研究調查結果顯示，所調查的葉斑病葉片以 *Phomopsis* 屬的真菌分離率最高，所有調查的榴槤品種均會發生此病害，且上層葉與下層葉葉斑病的罹病率沒有顯著差異，顯示該病害沒有因為植株葉片接受陽光的多寡而有不同。接種結果也顯示有 84.2% 的

Phomopsis 屬真菌分離株對貓山王榴槤葉片具有病原性，由於目前臺灣針對榴槤葉斑病仍未有核准之化學殺菌劑，未來研究規畫擬針對這一屬的病原真菌進行非農藥資材及生物防治試驗，期待提供農民有效管理此病害並且可兼顧對環境友善的防治方法。

謝辭

本研究感謝農業部支持研究經費，且在研究過程承蒙屏東縣崁頂鄉魏德昌先生及高樹鄉簡武勇先生提供試驗調查場域，並感謝邱瓊瑜小姐協助本研究進行，一併致上由衷謝忱。

引用文獻

1. Asmarahman, C., Surnayanti, Indriyanto, M. K. Tsani, and T. Santoso. 2023. Productivity and constraint in multipurpose tree species cultivation: a case study from Cilimus Village, Wan Abdul Rachman Forest Park, Indonesia. International Journal of Design & Nature and Ecodynamics 18:1453－1458.
2. Hulcr, J. and L. L. Stelinski. 2017. The ambrosia symbiosis: from evolutionary ecology to practical management. Annual Rev. Entomol. 62:285－303.
3. Jittamai, P., S. Toek, P. Sathaporn, K. Kongkanjana, and N. Chanlawong. 2024. Risk mitigation in durian cultivation in Thailand using the House of Risk (HOR) method: a case study of Pak Chong GI Durian. Sustainability 17:222.
4. Khaksar, G., S. Kasemcholathan, and S. Sirikantaramas. 2024. Durian (*Durio Zibethinus* L.): nutritional composition, pharmacological implications, value－added products, and omics－based Investigations. Horticulturae 10:342.
5. Leonida, B. G., N. G. Laspiñas, and G. G. Gabinete. 2023. Survey of diseases affecting tropical fruit trees in central Panay Island, Philippines. Iop Conference Series Earth and Environmental Science 1208:012024.
6. Muhtadi, M., H. Haryoto, M. Rabbaniyyah, and A. Suhendi. 2023. Pharmacological properties and toxicological investigation on *Durio Zibethinus* Murr. peel extracts. Kne Social Sciences 10.18502/kss.v8i4.12977.
7. Pembengo, W. and I. M. B. Adnyana. 2024. Impact of scion length and cover type on the success of durian grafting. Journal of Global Innovations in Agricultural Sciences 12:27－34.
8. Pongpisutta, R. and S. Sangchote.1993. *Phytophthora* fruit rot of durian (*Durio zibethinus*). In: Proceedings of the International Conference. ACIAR Proceedings no. 500. Champ, B.R., Highley, E., Johnson, G.I., Eds., Arawang Communications Group: Canberra, Australia, p. 460–461.

9. Pongpisutta, R., P. Keawmanee, S. Sanguansub, P. Dokchan, S. Bincader, V. Phuntumart, and C. Rattanakreetakul. 2023. Comprehensive investigation of die－back disease caused by *Fusarium* in durian. Plants 12:3045.
10. Sabarre, A. L., A. S. Navidad, D. S. Torbela, and J. J. Adtoon. 2021. Development of durian leaf disease detection on Android device. International Journal of Electrical and Computer Engineering (Ijece) 11:4962–4971.
11. Sutthisa, W., A. Popranom, A. Taddeetrakool, and S. Khankhum. 2023. Development of Trichoderma formulation and application to control durian anthracnose disease. Trends in Sciences 21:7276.
12. Tongsri, V., P. Songkumarn, and S. Sangchote. 2016. Leaf spot characteristics of *Phomopsis durionis* on durian (*Durio Zibethinus* Murray) and latent infection of the pathogen. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis 64:185－193.
13. White, T. J., T. Bruns, S. Lee, and J. Taylor. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. p315－322. *in*: PCR protocols: a guide to methods applications. (Innis, M.A., D.H. Gelfand, J.J. Sninsky, and T.J. White, eds.). Academic Press, New York. p. 482.

Survey and Pathogenicity Tests of Durian Leaf Spot Disease

Shuen-Huang Tsai

Department of Plant Protection and Utilization, Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture.

ABSTRACT

Durian (*Durio zibethinus* L.) is an important tropical fruit tree in Southeast Asia and is known for its sensitivity to environmental conditions. During its cultivation and growth, durian is susceptible to a variety of pests and diseases. According to reports from abroad, the most common diseases include leaf spot, anthracnose, powdery mildew, *Phytophthora* blight, and dieback. This study represents the first investigation of durian leaf spot disease occurrence in Taiwan, along with pathogenicity tests of the associated pathogens. Survey results indicated that *Phomopsis* species had the highest isolation frequency from symptomatic leaves. All durian cultivars surveyed were found to be affected by this disease. Surveys conducted from April to November 2025 indicated that disease incidence reached a relative peak in May. Furthermore, no significant difference in disease incidence was observed between upper and lower canopy leaves, suggesting that the severity of leaf spot is not influenced by sunlight exposure. Pathogenicity tests showed that 84.2% of the *Phomopsis* isolates were pathogenic to Musang King durian leaves. Therefore, this fungal group should be taken into serious consideration in future disease management strategies. Moving forward, non－chemical control methods and biological control trials targeting *Phomopsis* spp. will be conducted, with the aim of developing an environmentally friendly integrated disease management strategy for durian leaf spot disease.

Key words: durian, leaf spot disease, *Phomopsis* spp.

農用有益微生物防治番茄細菌性斑點病之初步探討

曹麗玉、蔡宜容、洪素秋、鄭櫻慧

農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所植物保護與園產品加工系

摘要

番茄 (*Solanum lycopersicum* Mill.) 是台灣重要的蔬果，番茄的病害種類繁多，其中由細菌引起的青枯病與細菌性斑點病溫暖多濕時常大量發生嚴重影響產量與收益。青枯病為土壤病害，農藥防治效果不彰，使用抗病根砧為目前防治青枯病的主要方法，細菌性斑點病於農藥資訊服務網所列核准使用的化學農藥包括嘉賜銅、氫氧化銅與維利黴素等。生物農藥登記時需要依試驗效果列出防治對象，植物保護資訊系統雖然尚未推薦防治番茄細菌性斑點病的微生物農藥，但是已有貝萊斯芽孢桿菌 BF 與 BACY 這 2 種商品列出蔬菜與番茄細菌性斑點病為防治對象。以對峙培養測試國內已商品化農業用微生物篩選對蕃茄細菌性斑點病原細菌 *Xanthomonas perforans* 有抑制效果的微生物，選擇抑制效果較好的微生物噴灑於番茄葉片，再進行挑戰接種 *X. perforans*，評估微生物對細菌性斑點病的防治效果。連續採收的番茄在採收期常遇到下雨濕度高的氣候，尤其南部溫度濕度非常適合細菌性斑點病大發生，施用農業用微生物可以取代化學農藥，防治番茄細菌性斑點病這個棘手病害。

關鍵詞：番茄、青枯病、細菌性斑點病、農用微生物、濕度

緒言

番茄 (*Solanum lycopersicum* Mill.) 是台灣重要的蔬果，根據農業統計年報民國 113 年資料，加工及食用番茄在國內之栽培面積 3,637 公頃，產量達 83,407 公噸，產值 4,634,581 千元。與近年相比，番茄栽培面積與產量逐年微幅下降，但產值略有提升。番茄的病害種類繁多，其中由細菌引起的青枯病與細菌性斑點病溫暖多濕時常大量發生嚴重影響產量與收益。

青枯病病原細菌在土壤中可以殘存數年，由根部傷口入侵，在植物的維管束內迅速繁殖。被害植株再由根部釋放多量的病菌到土壤，感染鄰近健康植株根部，或經由灌溉水帶到其他田園感染。青枯病目前沒有經濟有效的防治法，沒有抗病品種供作使用的情況下，使用抗病根砧為目前普遍使用的防治方法，抗青枯茄砧如亞蔬中心篩選出來的 EG203 與近年廣受農友接受的鳳山 3 號，有效防治青枯病，亦使嫁接苗逐漸成為市場上的主流 (王等，2014)。

番茄細菌性斑點病危害葉、莖、果實及花序。葉片受感染後首先出現水浸狀

小斑點，逐漸擴大為直徑 23 mm 不規則圓形病斑，顏色由黃綠或淡綠轉為深褐色，最後變為壞疽，中央呈灰褐色，嚴重時番茄葉片會乾枯，嚴重影響植株生育。果實最初出現水浸狀斑點，病斑擴大後顏色轉為中央凹陷而邊緣隆起黑褐色瘡痂症狀，失去商品價值。近年田間可見嚴重黃化病徵 (圖 1)，採樣以 PCR 檢測，仍為細菌性斑點病菌 *Xanthomonas perforans* 感染危害。細菌性斑點病在溫暖多濕時最容易發生，病原細菌藉風雨迅速傳播 (黃，2008)，南部露天栽培的小果番茄在颱風或大雨過後是發病最嚴重的時期，常造成農民廢園重新種植。



圖 1. 番茄細菌性斑點病 (*Xanthomonas perforans*) 的嚴重黃化病徵。

Fig.1. Severe chlorosis symptoms caused by bacterial spot disease (*Xanthomonas perforans*) in tomato.

番茄細菌性斑點病原組成複雜，已鑑定出至少 4 種 *Xanthomonas* 屬病原菌會造成細菌性斑點病，分別為 *X. euvesicatoria*、*X. vesicatoria*、*X. perforans* 及 *X. gardneri* (Jones *et al.*, 2004a)。*Xanthomonas* spp. 屬於革蘭氏陰性菌，會產生黃單胞菌素 (xanthomonadins) 以及大量的胞外多醣體危害植物，不同種的病原細菌造成的病徵相似，但仍有些許差異，例如 *X. perforans* 會於一些品種的葉片上造成穿孔病徵 (Stall *et al.*, 2009)。細菌性斑點病寄主除了番茄外，也危害番椒 (*Capsicum spp.*) 等茄科作物。4 種病原細菌中，*X. euvesicatoria*、*X. vesicatoria* 及 *X. perforans* 臺灣都有發現之紀錄，但尚未偵測到 *X. gardneri* (呂等，2010)。亞蔬-世界蔬菜中心針對台灣 *Xanthomonas* 種群的組成，自 1989 年至 2016 年收集全台的菌株，藉由種類鑑定及生理小種調查，分析結果顯示早期 (1989~1999) 番茄細菌性斑點病病原菌中以 *X. euvesicatoria* (T1) 為主，但 2010 年以後幾乎 99% 都是 *X. perforans* (Burlakoti *et al.*, 2018)。其他國家也有類似情況，早年以 *X. euvesicatoria* 以及 *X. vesicatoria* 為主，但近年來 *X. perforans* 出現頻率提升，在衣索比亞 (Kebede *et al*., 2014)、美國 (Klein-Gordon *et al*., 2021；Ma, 2015)、加拿大 (Abbasi *et al.*, 2015)、巴西 (Araújo *et al.*, 2017) 等國都造成嚴重經濟損失。*X. perforans* 在全球漸漸發展成目前主流

的細菌性斑點病菌株，可能是因為 *X. perforans* 可分泌細菌素 (bacteriocin) 來抑制其他種類的細菌性斑點病菌，而且其氣候適應能力更強 (呂等，2010；甯，2012)。

農用有益微生物商品化概況

目前已登記為友善資材作為殺菌劑已商品化的農業用有益微生物有液化澱粉芽孢桿菌 (*Bacillus amyloliquefaciens*) CL3 菌株與 Ba-BPD1 菌株 (可防治草莓、葡萄、花木、蔬菜灰黴病)、PMB01 菌株 (可防治多種作物黑腐病、青枯病及萎凋病)、QST713 菌株 (可防治多種作物露菌病)、Tcba05 菌株 (可防治果菜花木萎凋病及草皮黃葉病)、YCMA1 菌株 (可防治多種作物黑斑病、葉斑病、葉枯病、早疫病、蔥科小葉菜類紫斑病及桃穿孔病)；蕈狀芽孢桿菌 (*B. mycoides*) AGB01 菌株 (可防治水稻紋枯病及蘭花黃葉病)、枯草桿菌 (*B. subtilis*) KHY8 菌株 (可防治稻熱病、果樹果炭疽病、柑桔潰瘍病、桃李穿孔病、葡萄晚腐病及芒果細菌性黑斑病)、Y1336 菌株 (可防治甘藍根瘤病、水稻紋枯病、豆類白粉病、瓜類露菌病、果樹果腐蒂腐等)；貝萊斯芽孢桿菌 (*B. velezensis*) BF 菌株 (可防治多種作物灰黴病、細菌性葉斑病、炭疽病、黑腐病、柑桔潰瘍病、李穿孔病、草莓細菌性角斑病、葡萄晚腐病、及水稻白葉枯病、細菌性條斑病)、BACY 菌株 (可防治蔬菜及番茄細菌性斑點病)、WG6-14 菌株 (可防治水稻秧苗徒長病) (Kuo *et al.*, 2023)；純白鏈黴菌 (*Streptomyces candidus*) Y21007-2 菌株 (防治對象為多種果樹疫病)、蓋棘木黴菌 (*Trichoderma gamsii*) ICC 080 / 012 菌株 (可防治中草藥及蔬菜疫病) 及綠木黴菌 (*T. virens*) R42 菌株 (可防治蔬菜苗立枯病) (植物保護資訊系統，**https://otserv2.tactri.gov.tw/ppm**) 等，雖然植物保護資訊系統尚未推薦防治番茄細菌性斑點病的微生物製劑，但是貝萊斯芽孢桿菌 BF 與 BACY 這 2 種商品均列出蔬菜與番茄細菌性斑點病為防治對象。

對峙培養篩選有抑菌效果的農用微生物

針對番茄細菌性斑點病菌 (*Xanthomonas perforans*) 以友善防治資材 16 種農用有益微生物進行病原菌抑制評估。農用有益微生物包括貝萊斯芽孢桿菌 4 株、液化澱粉芽孢桿菌 5 株、蕈狀芽孢桿菌 1 株、枯草桿菌 2 株、木黴菌 2 株、鏈黴菌 2 株為測試對象，並以農藥資訊服務網所列核准化學農藥嘉賜銅可濕性粉劑、氫氧化銅水懸劑、維利黴素溶液作為對照。每一種資材各測試 3 種濃度並以水為對照，以 28℃ 培養 3 天後量測抑制圈大小 (圖 2)。

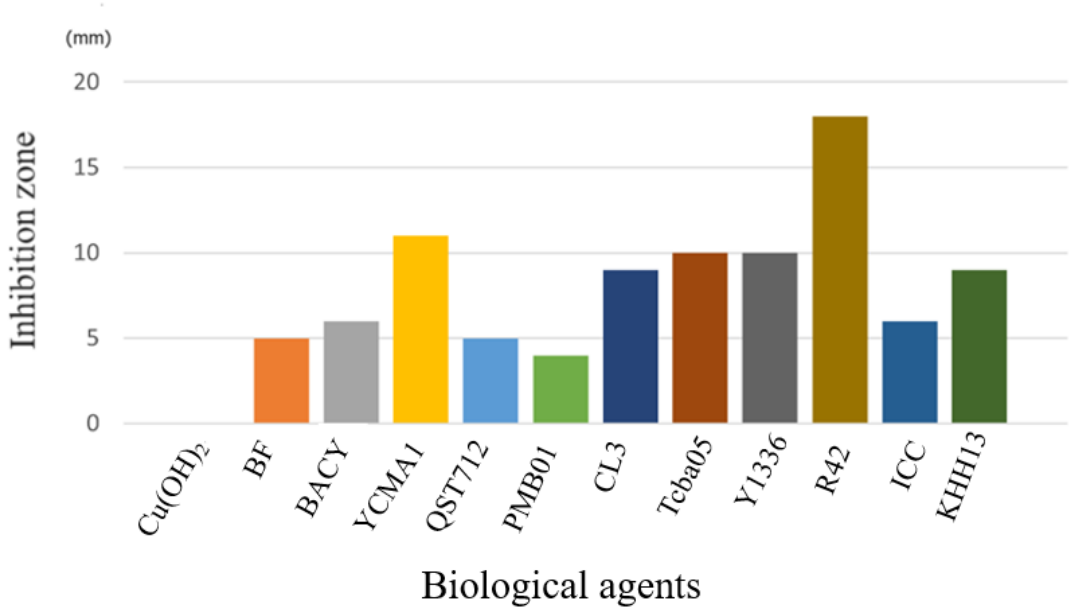


圖 2. 與番茄細菌性斑點病菌 (*Xanthomonas perforans*) 對峙培養產生抑制圈的 11 種農用微生物與其抑制圈寬度，其寬度以毫米標示。由左至右依序為氫氧化銅 ($Cu(OH)_2$)；BF: *Bacillus velezensis* BF；BACY: *B. velezensis* BACY；YCMA1: *B. amyloliquefaciens* YCMA1；QST712: *B. amyloliquefaciens* QST712；PMB01: *B. amyloliquefaciens* PMB01；CL3: *B. amyloliquefaciens* CL3；Y1336: *B. subtilis* Y1336；R42: *Trichoderma virens* R42；ICC: *T. gamsii* ICC 080 + *T. asperellum* ICC 012；KHH13: *B. velezensis* KHH13.

Fig.2. The eleven agricultural microorganisms were co-cultured with *Xanthomonas perforans,* the bacterial spot pathogen of tomato to evaluate their antagonistic effects based on inhibition zone formation. The width of the inhibition zones was measured in millimeters (mm). From left to right: copper hydroxide ($Cu(OH)_2$)；BF: *Bacillus velezensis* BF；BACY: *B. velezensis* BACY；YCMA1: *B. amyloliquefaciens* YCMA1；QST712: *B. amyloliquefaciens* QST712；PMB01: *B. amyloliquefaciens* PMB01；CL3: *B. amyloliquefaciens* CL3；Y1336: *B. subtilis* Y1336；R42: *Trichoderma virens* R42；ICC: *T. gamsii* ICC 080 + *T. asperellum* ICC 012；KHH13: *B. velezensis* KHH13.

測試結果以貝萊斯芽孢桿菌 BACY、液化澱粉芽孢桿菌 YCMA1、蕈狀芽孢桿菌 AGB1、木黴菌 R42 等對於番茄細菌性斑點病菌抑制效果佳，而對照所用之核准銅劑類化學農藥效果差 (圖 3)，此對峙培養也顯示 113 年於阿蓮番茄園分離的菌株與氫氧化銅共同培養，完全無抑制圈，應該為銅劑抗性菌株。

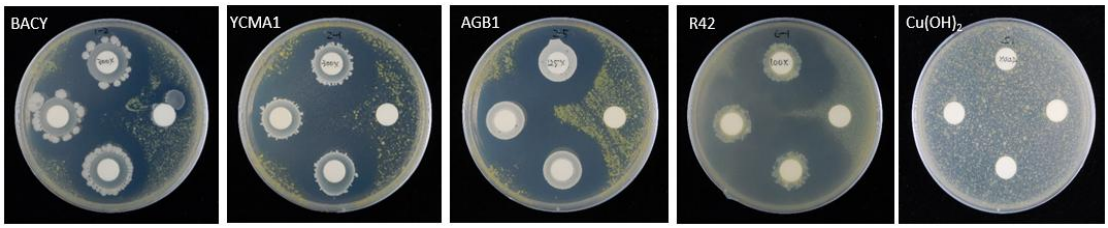


圖 3. 細菌斑點病菌 *Xanthomonas perforans* 分別與萊斯芽孢桿菌 BACY、液化澱粉芽孢桿菌 YCMA1、蕈狀芽孢桿菌 AGB1、木黴菌 R42 與氫氧化銅 ($Cu(OH)_2$) 進行對峙培養，觀察 4 種農用微生物對 *X. perforans* 抑制圈大小。

Fig.3. The bacterial spot pathogen *Xanthomonas perforans* was co-cultured with *Bacillus velezensis* BACY, *Bacillus amyloliquefaciens* YCMA1, *Bacillus mycoides* AGB1, *Trichoderma virens* R42, and copper hydroxide ($Cu(OH)_2$) to observe the sizes of inhibition zone of the four agricultural microbial agents against *X. perforans*.

細菌培養基為弱酸性至中性， 細菌喜歡酸性環境，因此測試病原細菌 *X. perforans* 與貝萊斯芽孢桿菌 BACY、液化澱粉芽孢桿菌 YCMA1、蕈狀芽孢桿菌 AGB1、木黴菌 R42 在 pH10 培養基上的生長情形 (Chien and Huang, 2022)，在鹼性培養基培養的病原細菌生長速度明顯受到抑制，但測試的農用微生物的生長僅受些微影響或不受影響。

農用微生物在番茄上的抑病測試

在番茄上進行微生物防治細菌性斑點病初步測試時，以發芽後 1 週的幼苗開始處理對峙培養效果好的農用微生物貝萊斯芽孢桿菌 BACY、液化澱粉芽孢桿菌 YCMA1、蕈狀芽孢桿菌 AGB1、綠木黴菌 R42、萬丹菌肥 KHH13，農用微生物的濃度以建議施用濃度配置，每週 1 次的頻率進行處理，處理 3 次後接種病原細菌 *X. perforans*。接種菌液濃度為 1 x 108 cfu / ml，以噴霧接種將菌液均勻噴霧於植株上，接種後植株置於 28°C 生長箱內，套袋 48 小時保持濕度幫助感染，48 小時候移除套袋，繼續至於生長箱內觀察記錄發病情形。發病嚴重度評估級數 (disease rating score, DRS) 依據 Horsfall and Barratt (1945) 分級法進行發病等級評估。該分級法分成 0~11 級: 1 = 發病面積 0%、2 = 發病面積 0~3%、3 = 發病面積 3~6%、4 = 發病面積 6~12%、5 = 發病面積 12~25%、6 = 發病面積 25~50%、7 = 發病面積 50~75%、8 = 發病面積 75~88%、9 = 發病面積 88~94%、10 = 發病面積 94~97%、11 = 發病面積 97~100%、12 = 發病面積 100%。

病原菌接種後第 2 週出現病徵，紀錄接種後第 2–4 週發病嚴重度如圖 4，開始發病時以病斑面積推估的發病等級都高，介於 5–8 之間，但 5 種微生物處

理較水處理對照組都有顯著差異，由最佳往下分別為 R42 > YCMA1 = BACY > AGB1 > KHH13，第 3 週之後因心葉長出，發病等級均有下降，5 種微生物處理較仍較對照組低，以 R42 保護效果最佳。第 4 週 5 種微生物處理較仍較對照組低，但以 YCMA1 保護效果優於其他處理。以 YCMA1 處理種子，發芽後之番茄繼續處理與接種，得到的保護效果優於未經種子處理，YCMA1 可能成為內生細菌，提供更好的保護效果。

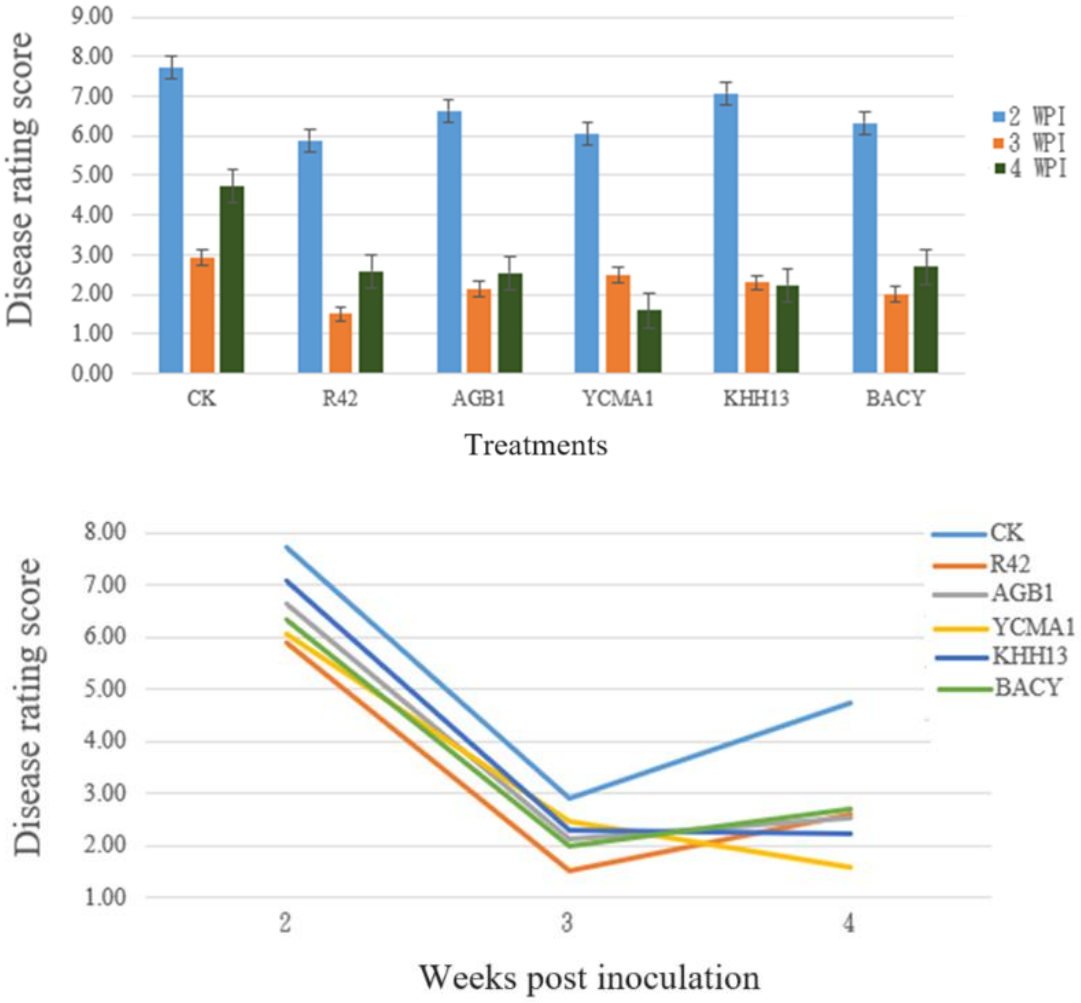


圖 4. 農用微生物貝萊斯芽孢桿菌 BACY、液化澱粉芽孢桿菌 YCMA1、蕈狀芽孢桿菌 AGB1、綠木黴菌 R42、萬丹菌肥 (KHH13) 處理番茄，接種番茄細菌性斑點病原菌 *Xanthomonas perforans*，接種後第 2 至 4 週發病等級與其病徵等級變化趨勢。

Fig.4. Application of agricultural microorganisms including *Bacillus velezensis* BACY, *B. amyloliquefaciens* YCMA1, *B. mycoides* AGB1, *Trichoderma virens* R42, and microbial fertilizer *B. velezensis* KHH13 on tomato, followed by inoculation with the bacterial spot pathogen *Xanthomonas perforans*. Disease severity and symptom rating trends were monitored from the 2nd to the 4th week after inoculation.

先前已測試鹼性培養基中農用微生物生長無或稍微影響，但明顯抑制番茄細菌性斑點病原菌 *X. perforans* 的生長，因此選擇商品登記載明可以防治番茄細菌性斑點病的貝萊斯芽孢桿菌 BACY、前述實驗防治效果最佳的木黴菌 R42 與農藥維利黴素測試中性與鹼性條件下的防治效果，測試結果如圖 5。

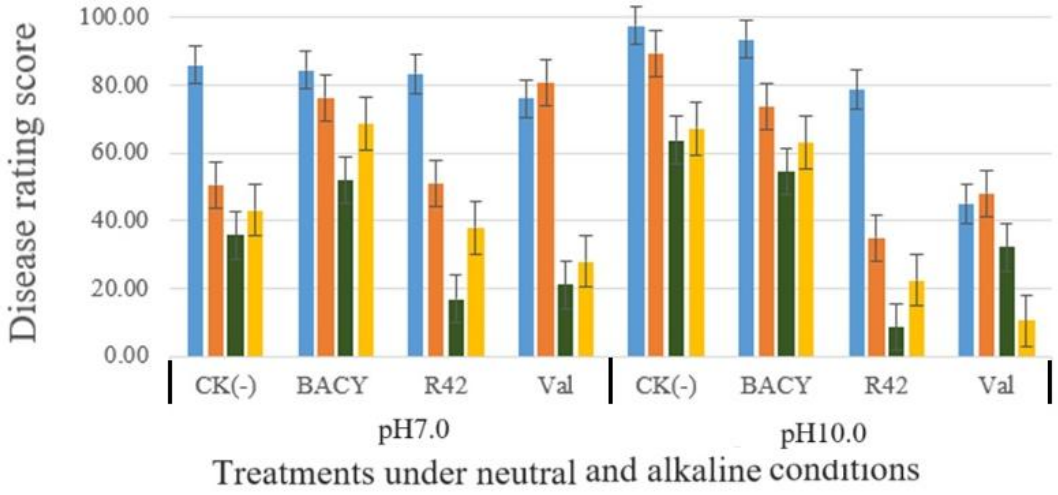


圖 5. 測試貝萊斯芽孢桿菌 BACY、木黴菌 R42 與農藥維利黴素 (Val) 測試中性 (pH7.0) 與鹼性 (pH10.0) 條件下的防治效果，發病嚴重程度以發病評估級數表示。

Fig.5. The control effects of *Bacillus velezensis* BACY, *Trichoderma virens* R42 and the pesticide velidamycin (Val) were tested under neutral (pH7.0) and alkaline (pH10.0) conditions. The severity of the disease was expressed as the disease rating score.

雖然以鹼性培養基培養貝萊斯芽孢桿菌 BACY 不影響其生長，但施用在番茄上使發病等級上升，保護能力下降。中性與鹼性條件下，木黴菌 R42 的防治效果與農藥維利黴素差距不大。

結果與討論

生物農藥由於無農藥殘留的顧慮，現代注重環境永續與食品安全的要求下，更需要生物農藥提供植物保護與病蟲草害防治 (Swapna, 2013)。與傳統農藥相比，生物農藥對人類和環境的風險較小，因此作為一種新型雜草、病害和蟲害防治工具 (Saxena and Pandey, 2001)，正在全球範圍內受到關注。大多數生物農藥有助於非目標生物的安全性，並且具有更高的選擇性 (Cheng *et al.*, 2010)。“生物農藥” 可以分為生化農藥、植物農藥和微生物農藥 3 大類。在全球範圍內，90% 的生物農藥都屬於微生物農藥 (Valicente *et al.*, 2010)。國際上，74% 的微生物農藥由細菌生物農藥提供，10% 由真菌生物農藥提供，10%

由病毒生物農藥提供，8% 由捕食性生物農藥提供，3% 來自其他來源 (Thakore, 2006; Seenivasagan and Babalola, 2021)，此狀況與國內相似，目前商品化的生物農藥以細菌最多，真菌次之，病毒再次之。

試驗中篩選的對抗細菌性斑點病的農用微生物以木黴菌與芽孢桿菌最有效。木黴菌之作用機制包含拮抗作用、誘導抗性、促進植物生長等多種方式，以達到抑制病原菌、保護作物的目的 (陳等，2014)。芽孢桿菌的主要作用機制如產生抗菌化合物 (抗生素、胞外酵素、鐵載體及揮發性化合物)、對營養物質和空間的競爭以及誘導系統性抗性等 (Karaˇci´c *et al.*, 2024)。噴灑番茄的試驗結果，施用微生物對細菌性斑點病的保護效果與對峙培養一致，符合學者提出機制中微生物產生抗性物質與空間的競爭 2 點。

微生物防治是一種廣泛易得、環境安全且經濟高效的植物病害防治方法。農用微生物不但提供抗病能力，也有促進植物生長與增加抗逆境的效果。在核准使用化學農藥中的銅劑因病原細菌普遍產生抗藥性的挑戰下 (吳等，2008)，利用農用微生物進行防治，降低氣候異常導致病害爆發之壓力並提高作物對抗逆境的韌性，在氣候變遷的壓力下，農用微生物可說是最佳緩解處方。

謝辭

感謝行政院農業部支持研究經費，研究過程感謝農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所植保系李存生先生協助本研究進行與蔬菜系王三太主任、羅妙禎助理研究員與許馨云小姐慷慨出借植物生長箱與提供試驗建議，一併致上無限謝忱。

引用文獻

1. 王三太、許馨云、林照能、林楨祐、邱金春、許秀惠. 2014. 茄子抗青枯病篩選. 植物種苗 6:1–19.
2. 呂昀陞、鄧文玲、吳雅芳、鄭安秀、徐世典、曾國欽. 2010. 臺灣 Xanthomonas 屬茄科植物細菌性斑點病菌之特性分析. 植物病理學會刊 19:181–190.
3. 吳雅芳、陳紹崇、彭瑞菊、黃淑惠、鄭安秀. 2008. 茄科細菌性斑點病病原細菌抗銅性之探討. 臺南區農業專訊 64:22–25.
4. 陳俊位、鄧雅靜、曾德賜. 2009. 功能性微生物製劑在有機作物栽培病害管理上之應用 p. 447–181. 陳榮五、白桂芳、蔡宜峰主編 有機農業產業發展研討會專輯行政院農業委員會臺中區農業改良場編印.
5. 黃樞昌. 2008. 臺灣作物細菌性病害防治要領. 作物診斷與農藥安全使用技術手冊. p142–161. 國立中興大學農業暨自然資源學院農業推廣中心編印.

6. 甯方俞. 2012. 鑑定及檢測茄科植物細菌性斑點病菌 *Xanthomonas perforans* 之聚合酵素連鎖反應技術及台灣 *X. perforans* 菌株之多型性分析. 碩士論文. 台中：國立中興大學植物病理學研究所.
7. Abbasi, P.A., S.E. Khabbaz, B. Weselowski, and L. Zhang. 2015. Occurrence of copperresistant strains and shift in *Xanthomonas spp*. causing tomato bacterial spot in Ontario. Can. J. Microbial. 61:753–761.
8. Araújo, E.R., J.R. Costa, M.A.S.V. Ferreira, and A.M. Quezado-Duval. 2017. Widespread distribution of *Xanthomonas perforans* and limited presence of *X. gardneri* in Brazil. Plant Pathol. 66:159–168.
9. Burlakoti, R. R., C. Hsu, J. Chen, and J. Wang. 2018. Population dynamics of *Xanthomonads* associated with bacterial spot of tomato and pepper during 27 Years across Taiwan. Plant Dis. 102:1348–1356.
10. Cheng, X.L., C.J. Liu, and J.W. Yao. 2010. The current status, development trend, and strategy of the bio-pesticide industry in China. Hubei Agric. Sci. 49:2287–2290.
11. Chien, Y.C., and C.H. Huang. 2022. Effects of pH values and application methods of potassium silicate on nutrient uptake and bacterial spot of tomato. Eur J Plant Pathol 162:119–130.
12. Horsfall J.G., and R.W. Barratt. 1945. An improved grading system for measuring plant disease. Phytopathology 35:655.
13. Jones, J.B., G.H. Lacy, H. Bouzar, G.V. Minsavage, R.E. Stall, and N.W. Schaad. 2004. Bacterial spot-worldwide distribution, importance and review. Acta. Hort. 695:27–33.
14. Karaˇci´c, V., D. Miljakovi´c, J. Marinkovi´c, M. Ignjatov, D. Miloševi´c, G. Tamindži´c, and M. Ivanovi´c. 2024. Bacillus species: excellent biocontrol agents against tomato diseases. Microorganisms 12:457.
15. Klein-Gordon, J.M., Y. Xing, K.A. Garrett, P. Abrahamian, M.L. Paret, G.V. Minsavage, A.L. Strayer-Scherer, J.C. Fulton, S. Timilsina, J.B. Jones, E.M. Goss, and G.E. Vallad. 2021. Assessing Changes and Associations in the *Xanthomonas perforans* Population Across Florida Commercial Tomato Fields Via a Statewide Survey. Phytopathology 111:1029–1041.
16. Kuo, C.C., Y.C. Huang, and W.L. Deng. 2023. Evaluating the efficacy of the fermentation formula of Bacillus velezensis strain Tcb43 in controlling cucumber powdery Mildew. Agriculture 13:1558.
17. Ma, X. 2015. Characterization and management of bacterial leaf spot of processing tomato in Ohio. Ph. D. thesis, Department of Plant Pathology., The Ohio State University.

18. Saxena, S., and A.K. Pandey. 2001. Microbial metabolites as eco-friendly agrochemicals for the next millennium. Appl. Microbiol. Biotechnol. 55:395–403.
19. Seenivasagan, R., and O.O. Babalola. 2021. Utilization of microbial consortia as biofertilizers and biopesticides for the production of feasible agricultural product. Biology 10:1111.
20. Stall, R.E., J.B. Jones, and G.V. Minsavage. 2009. Durability of the resistance in tomato and pepper to *Xanthomonads* causing bacterial spot. Amu. Rev. Phytopathol. 47:265–284.
21. Swapna, A.L. Development of biofertilizers and its future perspective. 2013. J. Pharm. 2:327–332.
22. Thakore, Y. 2006. The biopesticide market for global agricultural use. Ind. Biotechnol. 2:194–208.
23. Valicente, F.H., E.S. Tuelher, M.I.S. Leite, F.L. Freire, and C.M. Vieira. 2010. Production of Bacillus thuringiensis biopesticide using commercial Lab medium and agricultural by-products as nutrient sources. Braz. J. Maize Sorghum 9:1–11.

Preliminary study on the use of beneficial microorganisms for the control of bacterial spot disease in tomato

Li-Yu Tsao, Yi-Jung Tsai, Su-Chiu Hung and Ying-Huey Cheng
Department of Plant Protection and Utilization, Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture.

ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.) is an important vegetable and fruit crop in Taiwan. Among the various diseases that affect tomato, bacterial wilt and bacterial spot, both caused by bacteria, frequently occur under warm and humid conditions, severely impacting yield and profitability. Bacterial diseases are generally difficult to control. The use of resistant rootstocks is currently the main strategy for managing bacterial wilt. For bacterial spot, the approved chemical pesticides listed on the Pesticide Information Service Platform include kasugamycin + copper oxychloride, copper hydroxide, and validamycin. When registering biopesticides, the target pathogens must be specified based on efficacy trials. Although the Plant Protection Information System has not yet recommended any microbial agents for the control of bacterial spot in tomato, two commercial products, *Bacillus velezensis* strains BF and BACY, have been registered for use against bacterial spot in vegetables and tomato. In this study, a dual culture assay was employed to screen domestically commercialized agricultural microbial products for their inhibitory effects on *Xanthomonas perforans*, the causal agent of bacterial spot in tomato. The microbial strains exhibiting stronger antagonistic effects were selected and sprayed onto tomato leaves, followed by challenge inoculation with *X. perforans*, in order to evaluate their efficacy in controlling bacterial spot. During the continuous harvesting period, tomato plants are often exposed to rainy and highly humid conditions, especially in southern Taiwan where the climate during this time is highly conducive to the outbreak of bacterial spot. The application of agricultural beneficial microorganisms has the potential to replace chemical pesticides and serve as an effective strategy for managing this problematic disease.

Key words: tomato, bacterial wilt, bacterial spot, agricultural microorganisms, humidity.

農用微生物應用於苦瓜萎凋病之防治效果評估

陳星妤、洪素秋、鄭櫻慧、曹麗玉

農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所植物保護暨園產品加工系

摘要

萎凋病主要由 *Fusarium oxysporum* 引起，為多種經濟作物常見病害，會導致作物萎凋死亡，造成全球農業嚴重經濟損失，目前台灣多數作物尚無針對萎凋病的推薦化學藥劑，且長期使用化學藥劑可能產生抗藥性病原菌和食安問題，故本研究旨在評估市售農用微生物製劑和 *Streptomyces lavenduligriseus* L2 搭配 SH 土壤添加物對苦瓜萎凋病之防治效果，期望開發環境友善且具應用潛力的萎凋病綜合防治策略。拮抗試驗結果顯示，市售微生物製劑－神真水 3 號和 *S. lavenduligriseus* L2 分別可抑制 40% 和 42% *F. oxysporum* 菌絲生長，植株試驗則發現 400 倍和 800 倍稀釋之神真水 3 號分別搭配 SH 土壤添加物處理組與病原菌對照組相比，其苦瓜萎凋病罹病度分別減少 75% 和 68%，10 倍和 25 倍稀釋之 *S. lavenduligriseus* L2 分別搭配 SH 土壤添加物處理組與病原菌對照組相比，其苦瓜萎凋病罹病度皆減少 85%，前述 4 種處理組防治效果皆優於 SH 土壤添加物單獨處理組。進一步探討施用時機，將神真水 3 號於苦瓜育苗期施用 1 週後，將植株移盆至含 SH 添加物的土壤中，結果顯示苦瓜萎凋病罹病度比病原菌對照組下降 59%，其防治效果僅次於移盆後每週澆灌 800 倍稀釋的神真水 3 號。綜合上述結果，神真水 3 號和 *S. lavenduligriseus* L2 搭配 SH 土壤添加物可有效防治苦瓜萎凋病，未來將持續探討其最佳施用時機與條件，以建立兼具環境友善與應用性的萎凋病綜合防治策略。

關鍵詞：萎凋病、生物防治、神真水 3 號、SH 土壤添加物、*Fusarium oxysporum*、*Streptomyces lavenduligriseus*

緒言

植物萎凋病可分為細菌性及真菌性兩大類，細菌性萎凋病菌包括造成康乃馨萎凋病之 *Burkholderia caryophylli* (Kawanishi *et al*., 2009) 及引起玉米萎凋病之 *Pantoea stewartia* (Stewart, 1897) 等，真菌性萎凋病菌則包含造成棉花萎凋病之 *Verticillium dahliae* (Pullman and DeVay, 1982) 及導致多種作物萎凋病之 *Fusarium oxysporum* (Di Pietro *et al*., 2003) 等。

F. oxysporum 為一種常見的土壤傳播性病原菌，隸屬於真菌界子囊菌門鐮胞菌屬 (*Fusarium*)，菌落於馬鈴薯葡萄糖瓊脂培養基 (Potato dextrose agar;

PDA) 培養初期菌絲為白色，隨時間推移通常轉為紫色，可產生 3 種孢子，分別為橢圓形的小分生孢子 (Microconidia)、鐮刀狀的大分生孢子 (Macroconidia)，和球形的厚膜孢子 (Chlamydospores) (Jeon *et al.*, 2013)。該病原菌孢子可存在於土壤中，受植物根系分泌物誘導而發芽，透過根尖或根部傷口侵入寄主植物，定殖於維管束中，並產生孢子促進感染擴散，同時分泌胞外酵素分解細胞壁及中膠層，使寄主細胞結構鬆散利於病原菌入侵。該菌亦會釋放毒素干擾植物酵素合成和細胞膜穩定性，抑制寄主抗性並促使細胞凋亡，此外該菌產生之多醣會增加植物維管束中液體黏性造成阻塞，導致寄主水分輸送受阻。*F. oxysporum* 亦可生合成植物生長調節劑，如吲哚乙酸 (Indole-3-acetic acid; IAA)，並與寄主防禦反應產生的 IAA 相互作用，造成 IAA 異常累積，誘發維管束周圍細胞異常增生，加劇維管束阻塞 (Dimond, 1970；Gordon, 2017)。以苦瓜為例，植株感染萎凋病初期會於下位葉葉脈出現黃化 (圖 1 A)、葉片呈現失水萎凋狀 (圖 1 B)，病徵逐漸向上蔓延，導致整個植株葉片黃化和萎凋 (圖 1 C)，莖部剖面可見維管束褐化病徵 (圖 1 D)，最終死亡。*F. oxysporum* 通常具高度寄主專一性，並有多種分化型，如苦瓜萎凋病菌 *F. oxysporum* f. sp. *momordicae* (Sun and Huang, 1983)、洋桔梗萎凋病菌 *F. oxysporum* f. sp. *eustomae* (Wu *et al.*, 2023)，及香蕉萎凋病菌 *F. oxysporum* f. sp. *cubense* (Ploetz, 2015) 等，故其寄主範圍廣泛，可引起多種經濟作物病害，造成農業嚴重損失，且於 2012 年被 Molecular Plant Pathology 相關科學家評選為十大具科學及經濟重要性的真菌病原菌之一 (Dean *et al.*, 2012)。

F. oxysporum 引起的真菌性萎凋病為土傳性病害，且寄主專一性高，依此特性可藉由輪作或種植前使用土壤燻蒸劑，並避免作物栽種於土壤排水不良的低窪地區，維持土壤酸鹼值於 6 至 7，降低病原菌於土壤中的族群密度，亦可選擇抗病品種進行種植或作為嫁接的根砧 (何，2003；湯等，2019)。作物種植後，則可採用化學殺菌劑防治萎凋病，Amini 等人 2010 年的研究指出撲克拉和溴克座可防治由 *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* 引起之番茄萎凋病 (Amini and Sidovich, 2010)，然而目前台灣多種作物萎凋病尚未有核准使用的化學藥劑，且長期使用同類作用機制之化學殺菌劑可能產生對藥劑具有抗性的 *F. oxysporum*，並因藥劑於果實殘留導致食安疑慮。因此，開發對環境友善的替代方法防治作物萎凋病具有重要性，生物防治是現今農業在綜合管理策略中積極推廣的方法之一，土壤添加物的應用亦有利於土傳性病害的防治，故本研究旨在探討農用微生物搭配 SH 土壤添加劑對於作物萎凋病的防治效果。

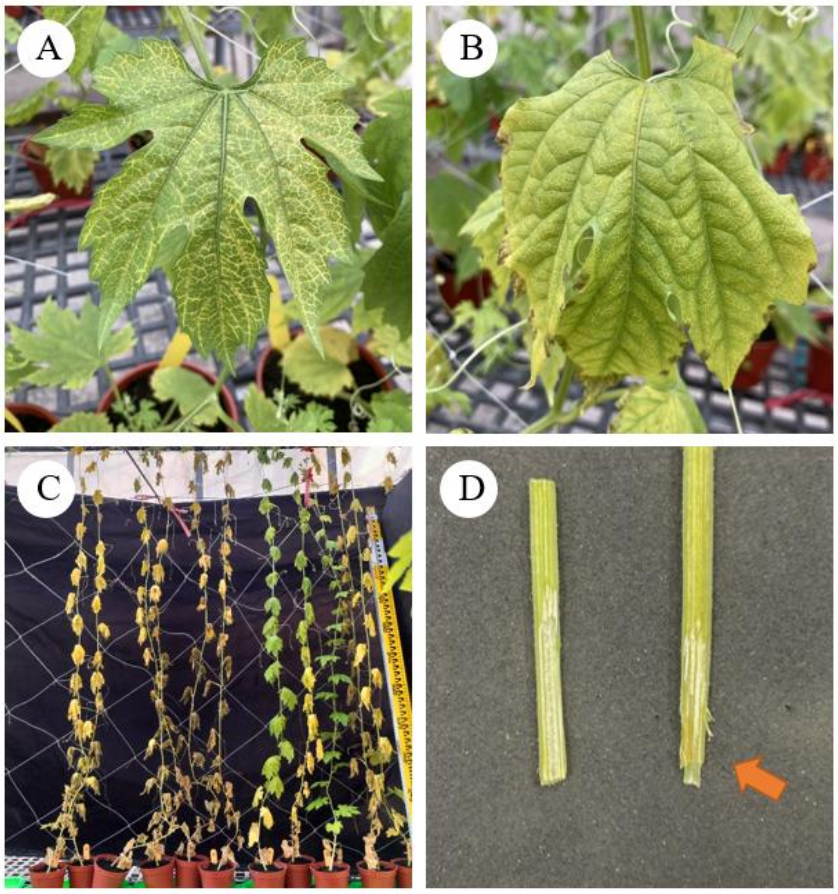


圖 1. 苦瓜萎凋病病徵。(A) 下位葉葉脈黃化，(B) 葉片失水萎凋，(C) 整個植株黃化和萎凋，(D) 左側為健康株維管束，右側為病株維管束褐化。

Fig.1. Symptoms of *Fusarium* wilt in bitter gourd. (A) Yellowing of veins in the lower leaves, (B) Leaf wilting due to loss of turgor, (C) Systemic yellowing and wilting of the plant, (D) The left shows the vascular bundle of the healthy plant, while the right shows the vascular bundle browning of the diseased plant.

微生物和土壤添加物防治萎凋病的前人研究

生物防治植物病害可透過多種機制達到減少植物病害發生的效果，主要包括有益微生物與病原菌間的營養競爭和抗菌物質的產生來抑制病原菌生長，以及誘導植物的防禦機制降低病害發病率 (Köhl *et al.*, 2019)。

Bacillus species 為目前商業上廣泛開發與應用的生物防治菌種，廣泛分布於土壤、水和植物等環境中，此類菌株可產生耐受環境逆境的內生孢子，有助於其在惡劣環境中存活，*Bacillus* 還具有生合成脂肽類抗菌物質、分解酵素和內毒素的能力，亦可誘發植物防禦反應 (Villarreal-Delgado *et al.*, 2018)。Al-Mutar 等人 2023 年研究發現西瓜根際分離出的 *B. amyloliquefaciens* DHA55 可產生伊枯草菌素 (Iturin)、豐原素 (Fengycin) 和表面素 (Surfactin)，這些脂肽具有抑制 *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* 菌絲生長的效果，進而防治西瓜蔓割

病 (Al-Mutar *et al.*, 2023)。

Streptomyces species 亦被視為極具潛力的農業生物防治資材，為兼具菌絲與斷生孢子的細菌，兩者結構有助於其定殖和生長於不同基質，並具有良好的環境耐受性，該菌可產生多種具抗菌活性的二次代謝物和分解酵素，尤其以抗生素產能著稱，在誘導植物對病原菌抗性方面 *Streptomyces* 亦具有一定效果 (Pacios-Michelena *et al.*, 2021)。Kawicha 等人 2023 年研究顯示 *Streptomyces* sp. STRM104 和 STRM304 的培養濾液可有效抑制 *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* 和 *F. oxysporum* f. sp. *cubense* 的菌絲生長，藉此降低番茄萎凋病與香蕉黃葉病的罹病度 (Kawicha *et al.*, 2023)。

土壤添加物在傳統農業中多被用來提升土壤肥力供應作物養分，1970 年後逐漸關注其植物病害防治方面的潛力，主要可透過 3 種機制抑制植物病原菌，進而降低病害的發生率，包含增加養分來源提升植株健康狀態、直接降低土壤中病原菌族群密度，以及誘導根圈有益微生物生長，增強土壤微生物多樣性與穩定性。在台灣，針對 *Fusarium* 引起之植物病害，1983 年孫守恭與黃振文開發之 SH 土壤添加物已被證實具有防治效果，研究指出 SH 土壤添加物可有效防治 *F. oxysporum* 引起的西瓜蔓割病和豌豆萎凋病，以及 *F. solani* 引起的碗豆根腐病 (李，2005；孫，1989)。

農用微生物搭配土壤添加物有助於防治萎凋病

一. 農用微生物對萎凋病菌 *Fusarium oxysporum* 之拮抗性測試

為初步篩選出具防治潛力之微生物菌株，本試驗選用多種市售微生物製劑，以及農業試驗所湯佳蓉助理研究員所分離之 *Streptomyces lavenduligriseus* L2，進行與萎凋病菌 *F. oxysporum* 的對峙試驗，以評估有益微生物對 *F. oxysporum* 的拮抗活性。實驗方法首先將 *F. oxysporum* 菌絲塊接種於 PDA 培養基中央，並於其四周等距放置 4 個紙錠 (paper disc)，其中 1 個紙錠加入 50 µl 無菌水作為對照組，其餘 3 個紙錠各加入 50 µl 不同濃度之微生物製劑，濃度分別為市售微生物製劑 1 / 2 倍建議用量、建議用量和 2 倍建議用量；L2 菌株則分別為 500 倍、1000 倍和 2000 倍稀釋濃度，於室溫靜置培養 7 天，測量對照組與處理組菌絲長度，並依下列公式計算抑制率，每處理重複 3 次，試驗進行 1 次。

抑制率 (Inhibition rate) (%)

$$= \frac{\text{對照組菌絲生長半徑 (cm)} - \text{處理組菌絲生長半徑 (cm)}}{\text{對照組菌絲生長半徑 (cm)}} \times 100$$

本拮抗試驗以市售微生物製劑建議稀釋濃度之抑制率數據呈現，L2 菌株以 1000 倍稀釋之結果表示，結果顯示 600 倍稀釋的貝萊斯寶 (*Bacillus velezensis* BACY; BACY) 對 *F. oxysporum* 菌絲生長抑制率達 50%，表現出最佳拮抗活性，其餘各處理的拮抗能力由高到低依序為 250 倍稀釋的菌力寶 2 號

(*B. amyloliquefaciens* Tcba05; Taba05)、800 倍稀釋的興農寶 (*B. subtilis* Y1336; Y1336)、1000 倍稀釋的 *S. lavenduligriseus* L2 (L2)、400 倍稀釋的神真水 3 號 (*B. amyloliquefaciens* CL3; CL3)、600 倍稀釋的火山寶 (*B. amyloliquefaciens* YCMA1; YCMA1) 和 200 倍稀釋的救你一命 (*B. amyloliquefaciens* PMB01; PMB01)，抑制率分別為 49%、47%、42%、40%、39% 和 23%，而 500 倍稀釋的我是救星 (*B. subtilis* KHY8; KHY8) 和 800 倍稀釋的安心寶 (*S. candidus* Y21007; Y21007) 則對 *F. oxysporum* 不具有拮抗能力 (圖 2)。

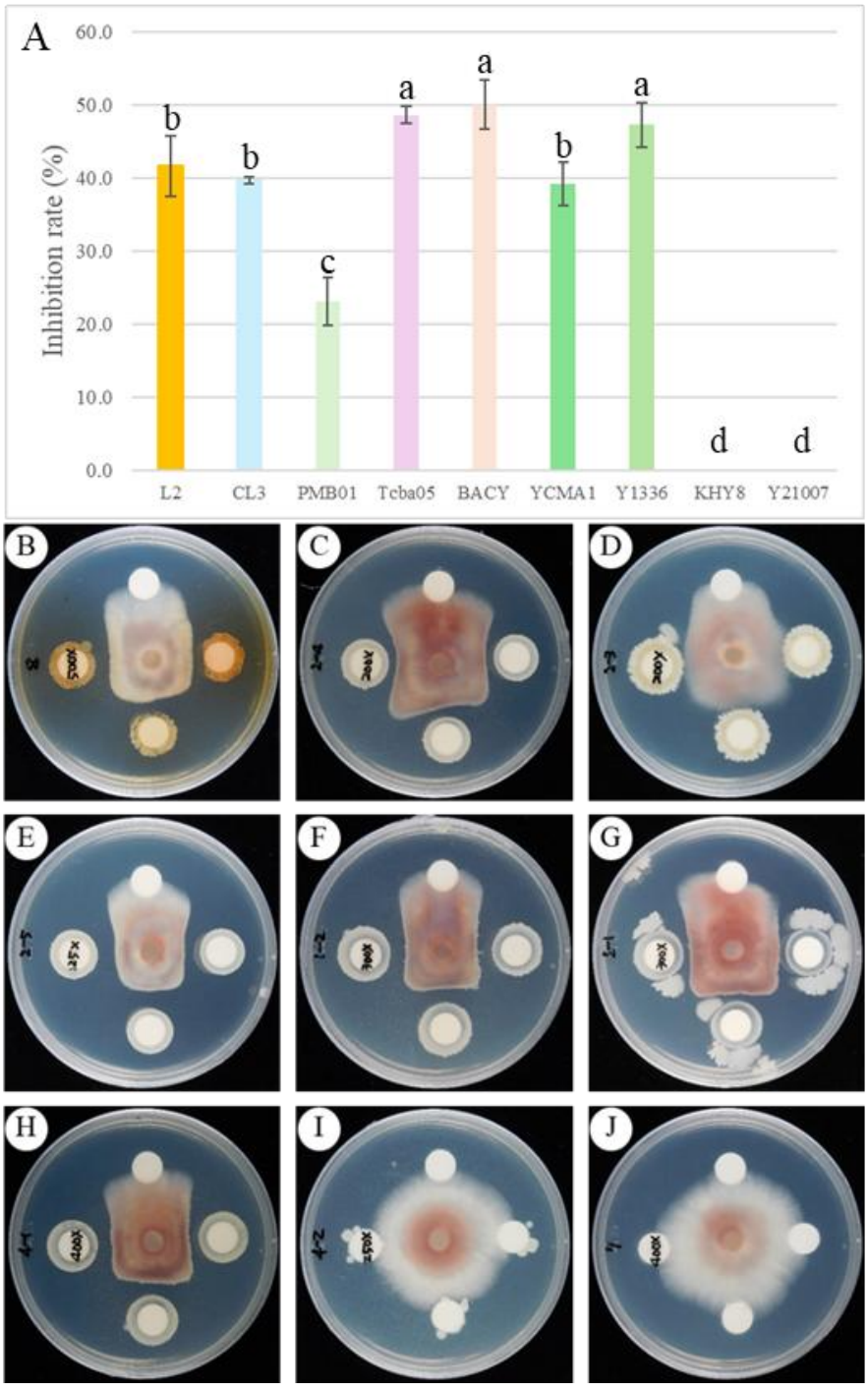


圖 2. 市售微生物製劑及 *Streptomyces lavenduligriseus* L2 對於萎凋病菌 *Fusarium oxysporum* 之拮抗能力。(A) 有益微生物對 *F. oxysporum* 的菌絲

生長抑制率，(B) 500X、1000X 和 2000X *S. lavenduligriseus* L2，(C) 200X、400X 和 800X 神真水 3 號，(D) 100X、200X 和 400X 救你一命，(E) 125X、250X 和 500X 菌力寶 2 號，(F) 300X、600X 和 1200X 貝萊斯寶，(G) 300X、600X 和 1200X 火山寶，(H) 400X、800X 和 1600X 興農寶，(I) 250X、500X 和 1000X 我是救星，(J) 400X、800X 和 1600X 安心寶對 *F. oxysporum* 菌絲生長抑制能力。(B－J) 每圖最上方之紙錠為水對照組，由左至右之紙錠依序為 1 / 2 倍建議用量、建議用量、2 倍建議用量。

Fig.2. The antagonistic activity of commercially microbial biological control agents and *Streptomyces lavenduligriseus* L2 against *Fusarium oxysporum*. (A) The mycelial growth inhibition (%) of *F. oxysporum* by effective microorganisms. The inhibition of *F. oxysporum* mycelial growth by (B) *S. lavenduligriseus* L2 at 500X, 1000X, and 2000X dilutions, (C) *Bacillus amyloliquefaciens* CL3 at 200X, 400X, and 800X, (D) *B. amyloliquefaciens* PMB01 at 100X, 200X, and 400X, (E) *B. amyloliquefaciens* Tcba05 at 125X, 250X, and 500X, (F) *B. velezensis* BACY at 300X, 600X, and 1200X, (G) *B. amyloliquefaciens* YCMA1 at 300X, 600X, and 1200X, (H) *B. subtilis* Y1336 at 400X, 800X, and 1600X, (I) *B. subtilis* KHY8 at 250X, 500X, and 1000X, (J) *S. candidus* Y21007 at 400X, 800X, and 1600X. For all panels (B–J), the topmost paper disk represents the water control. The three paper disks below, from left to right, represent 1 / 2X ,1X, and 2X the recommended concentration.

二. 農用微生物對 *Fusarium oxysporum* 引起之萎凋病的防治潛力測試

根據對峙試驗初步篩選出對 *F. oxysporum* 具有拮抗活性之微生物製劑後，進一步進行植株試驗，以探討市售微生物製劑及 *S. lavenduligriseus* L2 對於作物萎凋病之防治效果。此試驗以苦瓜月華品種作為試驗植物，並以 *F. oxysporum* f. sp. *momordicae* KS0702 作為苦瓜萎凋病病原菌，實驗方法首先將苦瓜種子剝去種殼，以 0.1% 次氯酸鈉進行消毒，並以清水沖洗 2 次，置於室溫避光條件下催芽，種子發芽後播種至含培養土之 50 孔穴盤中栽培 2 週，再將苦瓜苗移盆至 4 吋盆內，於定殖當天開始每株澆灌 50 ml 處理液，每週澆灌 1 次，每處理重複 5 次，試驗進行 1 次。處理液組成包括 200 倍稀釋的即溶台肥 43 號和 0.01% Tween 80，並分別依照處理組分配混入 10 倍稀釋的 *S. lavenduligriseus* L2 (L2)、400 倍稀釋的神真水 3 號 (CL3)、200 倍稀釋的救你一命 (PMB01)、250 倍稀釋的菌力寶 2 號 (Taba05)、600 倍稀釋的貝萊斯寶 (BACY)、600 倍稀釋的火山寶 (YCMA1) 和 800 倍稀釋的興農寶 (Y1336)，另病原菌對照組 (CK) 僅澆灌含 200 倍稀釋的即溶台肥 43 號與 0.01% Tween 80 的自來水。澆灌 2 次後每株接種 100 g 含 *F. oxysporum* f. sp. *momordicae* KS0702 (10^3 spores / g) 之病土，並持續每週澆灌處理液，當第 1 株苦瓜植株出現萎凋病病徵時，開

始每日觀察和紀錄各處理組的萎凋病罹病情形，罹病程度分為 5 級：0 級為無病癥；1 級為植株中 1% 至 25% 葉片呈現葉脈與葉片黃化或枝條萎凋；2 級為植株中 26% 至 50% 葉片呈現葉脈與葉片黃化或枝條萎凋；3 級為植株中 51% 至 75% 葉片呈現葉脈與葉片黃化或枝條萎凋；4 級為 76% 以上葉片呈現葉脈與葉片黃化或枝條萎凋至植株死亡，並依下列公式計算植株罹病度，其中 n0 至 n4 為各罹病級別的植株數；N 為總植株數。

$$\text{罹病度 (Disease severity) (\%)} = \frac{n0 \times 0 + n1 \times 1 + n2 \times 2 + n3 \times 3 + n4 \times 4}{N \times 4} \times 100$$

植株試驗以 CK 罹病度達 80% 以上當天數據呈現，結果顯示苦瓜經過 400 倍稀釋的 CL3 菌株每週澆灌後，其罹病度較 CK 降低 55%，具有最佳抑制 *F. oxysporum* f. sp. momordicae KS0702 引起之苦瓜萎凋病能力，其次為 200 倍稀釋的 PMB01 菌株，施用後相較 CK 罹病度減少 30%，250 倍稀釋的 Tcba05 菌株罹病度則比 CK 減少 15%，因此在後續微生物製劑與 SH 土壤添加物搭配防治苦瓜萎凋病的試驗中，將選用此 3 種微生物製劑進行實驗。另外，10 倍稀釋的 L2 菌株在湯佳蓉助理研究員先前研究中已證實對苦瓜萎凋病具有良好防治效果，故保留此菌株並優化澆灌方法一同進行後續試驗。600 倍稀釋的 BACY 菌株雖然對 *F. oxysporum* 具有最佳拮抗活性，但在該植株試驗中卻相較 CK 反而增加苦瓜萎凋病之罹病度，因此，後續試驗仍將納入此微生物製劑，以探討其造成此現象的可能原因 (圖 3)。

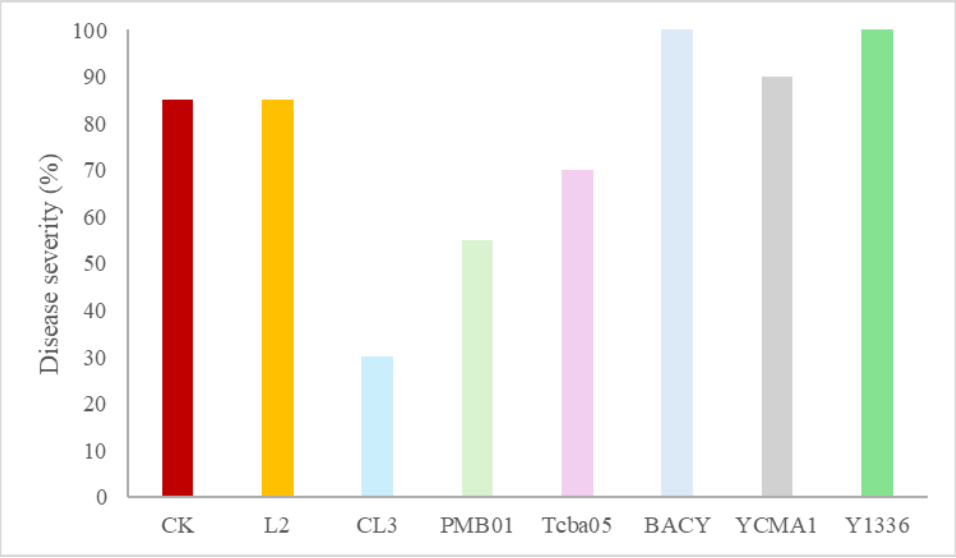


圖 3. 市售微生物製劑及 *Streptomyces lavenduligriseus* L2 對苦瓜萎凋病罹病度的影響。

Fig.3. Effect of commercial microbial biological control agents and *Streptomyces lavenduligriseus* L2 on the disease severity of *Fusarium* wilt in bitter gourd.

三. 農用微生物搭配 SH 土壤添加物對 *Fusarium oxysporum* 引起之萎凋病的防治潛力測試

根據「農用微生物對 *F. oxysporum* 引起之萎凋病的防治潛力測試」結果初步篩選出對苦瓜萎凋病具有防治效果之微生物製劑後，本試驗進一步探討市售微生物製劑及 *S. lavenduligriseus* L2 搭配 SH 土壤添加物對萎凋病之綜合防治效果。試驗材料和育苗流程與前述植株試驗方法相同，後續除病原菌對照組 (CK) 外，其他處理組均移盆至含有 0.007% SH 土壤添加物之培養土的 4 吋盆中，於定殖當天開始每株澆灌 50 ml 處理液，每週澆灌 1 次，每處理重複 7 次，試驗進行 1 次。處理液組成包括 200 倍稀釋的即溶台肥 43 號和 0.01% Tween 80，並分別依照處理組分配混入 10 倍稀釋的 *S. lavenduligriseus* L2 (10X L2 + SH)、25 倍稀釋的 *S. lavenduligriseus* L2 (25X L2 + SH)、400 倍稀釋的神真水 3 號 (CL3 + SH)、200 倍稀釋的救你一命 (PMB01 + SH)、250 倍稀釋的菌力寶 2 號 (Tcba05 + SH)、600 倍稀釋的貝萊斯寶 (BACY + SH)，其中 *S. lavenduligriseus* L2 會先泡水 1 小時活化菌株，同時靜置沉澱後，取上清液進行澆灌，另 CK 及病原菌加 SH 土壤添加物處理組 (SH) 僅澆灌含 200 倍稀釋的即溶台肥 43 號與 0.01% Tween 80 的自來水。澆灌 2 次後每株接種 100 g 含 *F. oxysporum* f. sp. *momordicae* KS0702 (10^3 spores / g) 之病土，並持續每週澆灌處理液，當第 1 株苦瓜植株出現萎凋病病徵時，開始每日觀察和紀錄各處理組的萎凋病罹病情形，並依據前述試驗 5 級評分標準搭配下列公式計算植株罹病度，其中 n0 至 n4 為各罹病級別的植株數；N 為總植株數。

$$\text{罹病度 (Disease severity) (\%)} = \frac{n0 \times 0 + n1 \times 1 + n2 \times 2 + n3 \times 3 + n4 \times 4}{N \times 4} \times 100$$

植株試驗以 CK 罹病度達 80% 以上當天數據呈現，結果顯示 SH 處理組苦瓜萎凋病罹病度較 CK 降低 46%，而 10X L2 + SH 和 25X L2 + SH 處理組皆較 CK 罹病度降低 85%，具有最佳抑制 *F. oxysporum* f. sp. *momordicae* KS0702 引起之苦瓜萎凋病能力，其次為 CL3 + SH 處理組，其罹病度相較 CK 降低 75%。另外，PMB01 + SH、Tcba05 + SH 和 BACY + SH 處理組，三者之罹病度相較 CK 分別降低 28%、32% 和 18% (圖 4)。綜合上述結果可知，L2 菌株和 CL3 菌株分別搭配 SH 土壤添加物對防治苦瓜萎凋病具有加乘效果，其中，10 倍與 25 倍稀釋的 L2 菌株分別搭配 SH 土壤添加物對防治苦瓜萎凋病效果相同，因此未來實驗將以 25 倍稀釋的 L2 菌株作為進一步研究的處理條件。

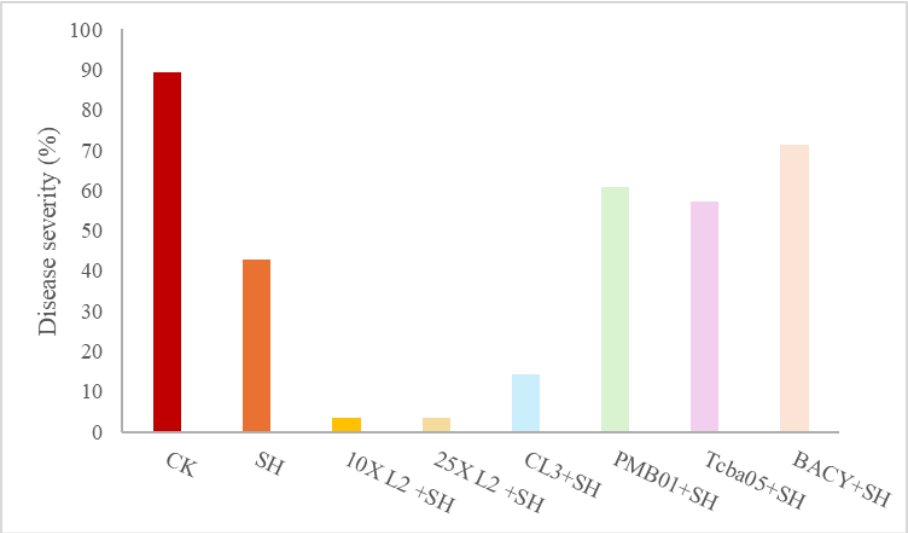


圖 4. 市售微生物製劑及 *Streptomyces lavenduligriseus* L2 搭配 SH 土壤添加物對苦瓜萎凋病罹病度的影響。

Fig.4. Effect of commercial microbial biological control agents and *Streptomyces lavenduligriseus* L2 combined with SH amendment on the disease severity of *Fusarium* wilt in bitter gourd.

四. 農用微生物搭配 SH 土壤添加物適用於防治 *Fusarium oxysporum* 引起之萎凋病的濃度測試

本研究於對峙試驗發現貝萊斯寶對於 *F. oxysporum* 具有最佳拮抗活性 (圖 2)，然而在植株試驗中卻未能有效防治苦瓜萎凋病，而是 *S. lavenduligriseus* L2 與神真水 3 號分別搭配 SH 土壤添加物對防治 *F. oxysporum* f. sp. momordicae KS0702 引起之苦瓜萎凋病具有顯著效果 (圖 5)。根據孫守恭與黃振文於 1985 年研究顯示 SH 土壤添加物可以增加土壤中拮抗菌及腐生菌族群量，間接抑制病原菌 (孫等，1985)，然而，過高濃度的單一微生物可能導致土壤微生物菌相失衡，不利於植物病害的防治，甚至因抗生物質產生過量直接對植物本身產生負面影響 (O'Callaghan *et al.*, 2022)，因此，本試驗進一步探討不同濃度之神真水 3 號搭配 SH 土壤添加物，以及不同濃度貝萊斯寶對於萎凋病之防治效果，並評估其於不同植株生長時期施用的合適性。

本試驗材料與實驗方式與「農用微生物搭配 SH 土壤添加物對 *Fusarium oxysporum* 引起之萎凋病的防治潛力測試」方法相同，本試驗處理組分為病原菌對照組 (CK)、SH 土壤添加物 (SH) 單獨處理、800 倍稀釋的神真水 3 號搭配 SH 土壤添加物 (800X CL3 + SH)、2000 倍稀釋的神真水 3 號搭配 SH 土壤添加物 (2000X CL3 + SH)、4000 倍稀釋的神真水 3 號搭配 SH 土壤添加物 (4000X CL3 + SH)、3000 倍稀釋的貝萊斯寶 (3000X BACY)、6000 倍稀釋的貝萊斯寶 (6000X BACY)、6000 倍稀釋的貝萊斯寶搭配 SH 土壤添加物 (6000X BACY + SH)。另外，有 2 組處理會於發芽種子播種於穴盤中，育苗

1 週後分別澆灌 15 ml 400 倍稀釋的神真水 3 號 (SI-400X CL3 + SH) 和 6000 倍稀釋的貝萊斯寶 (SI-6000X BACY + SH)，澆灌後 1 週將苦瓜苗移盆至含有 0.007% SH 土壤添加物之培養土的 4 吋盆中，移盆後僅澆灌含 200 倍稀釋的即溶台肥 43 號與 0.01% Tween 80 的自來水，每處理重複 11 次，試驗進行 1 次。當第 1 株苦瓜植株出現萎凋病病徵時，開始每日觀察和紀錄各處理組的萎凋病罹病情形，並依據上一試驗 5 級評分標準搭配下列公式計算植株罹病度，其中 n0 至 n4 為各罹病級別的植株數；N 為總植株數。

$$\text{罹病度 (Disease severity) (\%)} = \frac{n0 \times 0 + n1 \times 1 + n2 \times 2 + n3 \times 3 + n4 \times 4}{N \times 4} \times 100$$

植株試驗以 CK 罹病度達 80% 以上當天數據呈現，結果顯示 SH 處理組苦瓜萎凋病罹病度較 CK 降低 59%，而 800X CL3 + SH 處理組較 CK 罹病度降低 68%，具有最佳抑制 *F. oxysporum* f. sp. *momordicae* KS0702 引起之苦瓜萎凋病能力，其次為 SI-400X CL3 + SH 處理組，其罹病度相較 CK 降低 59%，與 SH 處理組防治效果相當。另外，2000X CL3 + SH、4000X CL3 + SH 和 6000X BACY + SH 相較 CK 罹病度可分別減少 48%、20% 和 48% (圖 5)。綜合上述結果可知，800 倍稀釋的 CL3 菌株搭配 SH 土壤添加物對防治苦瓜萎凋病具有加乘效果，又發現苦瓜於育苗期澆灌 400 倍稀釋的 CL3 菌株亦具有良好防治苦瓜萎凋病效果，因此後續實驗將進一步探討 CL3 菌株於不同苦瓜種植時期之施用時機與適宜濃度。

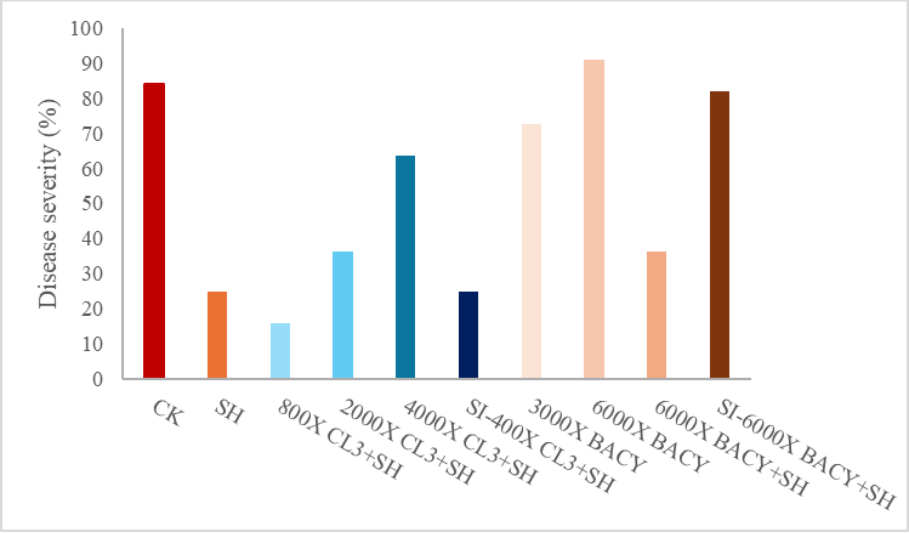


圖 5. 不同濃度市售微生物製劑與 SH 土壤添加物對苦瓜萎凋病罹病度的影響。

Fig.5. Effect of varying concentrations of commercial microbial biological control agents and SH amendment on the disease severity of *Fusarium* wilt in bitter gourd.

結果與討論

Fusarium oxysporum 為一種土傳性病原真菌，廣泛存在於土壤、空氣與水等環境中。儘管其對寄主具高度專一性，但因具有多種分化型，可引起許多經濟作物之萎凋病害，典型病徵為植株葉片黃化萎凋與維管束褐化，感染嚴重時會導致植株死亡，對全球農業造成重大經濟損失 (蘇，2011)。由於 *F. oxysporum* 引起之作物萎凋病一旦發生於栽培期間即難以控制，目前多以輪作、土壤燻蒸與太陽能加熱等方式降低病原菌族群量，或透過種植抗病品種加以預防。然而，在台灣大部分作物尚無針對 *F. oxysporum* 引起之萎凋病的推薦化學防治藥劑，過度依賴藥劑亦可能導致抗藥性病原菌產生與食用部位殘留藥劑的疑慮。因此，開發對環境友善的生物防治資材和施用具有防治病原菌能力的土壤添加物綜合管理萎凋病有其必要性。本研究即評估市售微生物製劑和 *Streptomyces lavenduligriseus* L2 搭配 SH 土壤添加物對萎凋病之防治潛力。

Bacillus species 是一常見的生物防治微生物，其為革蘭氏陽性菌，具備形成內生孢子的能力有助於耐受環境逆境，並能生合成許多有利於植物生長、誘導植物抗病性，及抑制病原菌生長的物質，如 Ryu 等人 2003 年研究指出 *B. subtilis* 產生的 3-羥基-2-丁酮和 2, 3-丁二醇有助於植物調控細胞分裂素 (Cytokinin) 和乙烯 (Ethylene) 以促進生長 (Ryu *et al.*, 2003)；Kumar 等人 2012 年研究發現 *B. subtilis* 可通過氣孔進入葉片，引發阿拉伯芥的誘導性系統抗性 (Induced systemic resistance, ISR) (Kumar *et al.*, 2012)；Fan 等人 2017 年研究顯示 *B. subtilis* 9407 產生的表面素 (Surfactin) 具拮抗 *Acidovorax citrulli* 活性，且對於接種過 *A. citrulli* 的甜瓜幼苗具有防治病害能力 (Fan *et al.*, 2017)。Singh 等人 2021 年研究發現 *B. amyloliquefaciens* S185 可生合成促進植物生長的吲哚乙酸 (Indole-3-acetic acid; IAA)，並定殖於香蕉葉片及根部，且會產生伊枯草菌素 A5 (Iturin A5) 抑制 *F. oxysporum* f. sp. *cubense* 孢子發芽及菌絲生長，綜合上述結果顯示 *B. amyloliquefaciens* S185 可作為防治香蕉萎凋病的參考菌株 (Singh *et al.*, 2021)。

本研究所使用之神真水 3 號為 *B. amyloliquefaciens* CL3 發酵物，已登記可防治花木、草莓、葡萄和蔬菜之灰黴病，謝奉家 2012 年的研究發現 *B. amyloliquefaciens* CL3 每週施用於 *F. oxysprum* f. sp. *cattleyae* 引起的蝴蝶蘭黃葉病植株，持續 3 個月可降低 46% 罹病度 (謝，2012)。本研究結果則顯示每週施用神真水 3 號搭配 SH 土壤添加物可有效抑制苦瓜萎凋病發生，其中，以 400 倍和 800 倍稀釋菌液搭配 SH 土壤添加物處理時，其罹病度與病原菌對照組相比分別降低 75% 和 68%，防治效果優於 SH 土壤添加物單獨處理組 (圖 4 和圖 5)，對峙試驗亦顯示其對 *F. oxysporum* 具有 40% 的菌絲生長抑制率 (圖 2)，上述結果可推測神真水 3 號可能藉由直接抑制病原菌生長防治苦瓜萎凋病。此外，研究結果亦發現於苦瓜育苗期施用 400 倍稀釋的神真水 3 號後，移盆至含有 SH 土壤添加物的培養土中持續以含肥料之自來水澆灌，仍可降低 59% 苦瓜萎凋病罹病度 (圖 5)，顯示施用時機可能為防治關鍵，未來將針對此

一發現繼續探討和確認神真水 3 號搭配 SH 土壤添加物於苦瓜不同生長期最佳施用時機。另一方面，貝萊斯寶使用菌種為 *B. velezensis* BACY，其在本研究中對 *F. oxysporum* 菌絲生長抑制率達 50%，具有最佳拮抗活性 (圖 2)，但於搭配 SH 土壤添加物的植株試驗中對苦瓜萎凋病罹病度僅較病原菌對照組降低 18%，效果不及單純使用 SH 土壤添加物處理組 (圖 4)，以不同稀釋倍數施用後，防治效果亦低於 SH 土壤添加物單獨處理 (圖 5)，因此可排除微生物製劑搭配 SH 土壤添加物導致菌量過高，進而對植株產生負面影響的可能性。綜合不同濃度之神真水 3 號搭配 SH 土壤添加物實驗結果推測，神真水 3 號除了能直接抑制病原菌生長外，亦可能透過誘導植物抗病機制發揮防治效果，較貝萊斯寶更能有效降低苦瓜萎凋病的發生。

Streptomyces species 在現今防治植物病害之微生物製劑研發中被受重視，為革蘭氏陽性菌，可形成菌絲有助於生長及定殖，且會產生斷生孢子有利於耐受極端環境及傳播 (Flärdh and Buttner, 2009)，*Streptomyces* 亦會生合成多種促進植物生長和具抗病性物質，如 Gopalakrishnan 等人 2013 年研究指出 *Streptomyces* sp. CAI-24 和 KAI-32 菌株可以產生 IAA、幾丁質酶 (Chitinase) 和脂肪酶 (Lipase)，對水稻和高粱具有促進生長能力 (Gopalakrishnan *et al.*, 2013)；Hata 等人 2021 年研究顯示 *S. shenzhenesis* TKSC3 和 *Streptomyces* sp. SS8 可藉由誘導植物防禦相關酵素產生，進而防治 *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzicola* 引起的水稻細菌性條斑病 (Hata *et al.*, 2021)；Wang 等人 2022 年研究發現 *Streptomyces* sp. CX32 的培養濾液會導致藍莓潰瘍病菌 *Bo. dothidea* 之細胞膜通透性提升，以及使脂質過氧化的產物－丙二醛 (Malondialdehyde) 含量增加，且可降低藍莓潰瘍病之病斑擴展，此結果表明 CX32 菌株可造成病原菌細胞膜受損達到防治藍莓潰瘍病的效果 (Wang *et al.*, 2022)。Wang 等人 2024 年研究發現 *S. luteoverticillatus* B4 會生合成鐵載體 (Siderophore) 和 IAA 促進甘藍種子發芽和幼苗生長，亦會產生揮發性有機物 (Volatile Organic Compound, VOCs) 抑制 *F. oxysporum* f. sp. *conglutinans* 菌絲生長及破壞菌絲結構達到防治甘藍萎凋病效果 (Li *et al.*, 2024)。本研究結果則顯示施用農試所湯佳蓉助理研究員所分離出 *S. lavenduligriseus* L2 搭配 SH 土壤添加物可有效防治苦瓜萎凋病，且與 SH 土壤添加物搭配的適用濃度為 25 倍稀釋之 L2 菌株，其罹病度與病原菌對照組相比減少 85%，且防治效果優於 SH 土壤添加物單獨處理組 (圖 5)，對峙試驗亦顯示 *S. lavenduligriseus* L2 對 *F. oxysporum* 具有 42% 的菌絲生長抑制率 (圖 2)，上述結果可推測 *S. lavenduligriseus* L2 可能藉由直接抑制病原菌生長防治苦瓜萎凋病。

SH 土壤添加物由肥料、農業廢棄物和工業副產品所組成，成分為 4.4% 甘蔗渣、8.4% 稻穀、4.25% 蚵殼粉、8.25% 尿素、1.04% 硝酸鉀、13.16% 過磷酸鈣和 60.5% 礦灰，其中礦灰可提升土壤酸鹼值，直接抑制病原菌孢子發芽，且促使尿素在鹼性環境中進行脫氨作用，釋放氨氣殺死土壤中發芽的病原菌孢子；有機質可以改良土壤結構助於有益微生物代謝效率提高，促使有機質分解以提供養分利於植物生長 (黃，2023)。SH 土壤添加物經研究發現於接種過西

瓜蔓割病菌 *F. oxysporum* f. sp. *niveum* 的屏東農友公司農場場域施用，可使 46.7% 發病率減少至 20.1%；在埔里和新社地區 *F. oxysporum* f. sp. *raphanin* 引起之蘿蔔黃葉病嚴重田地施用 SH 土壤添加物可將發病率由 58.3% 降至 20%，若搭配甘藍下位葉和種子消毒綜合防治蘿蔔黃葉病，可將發病率降至 0%，且 SH 土壤添加物中的礦灰和蚵殼成分分別能抑制 34% 和 37% 厚膜孢子發芽，以及促進 28% 和 20% 發芽管分解；SH 土壤添加物混入土壤中 30 天後亦發現土壤中的拮抗菌和腐生菌菌相增加，有助於間接抑制病原菌 (孫，1989)。本研究亦發現單獨施用 SH 土壤添加物能夠有效抑制苦瓜萎凋病罹病度，且與神真水 3 號和 *S. lavenduligriseus* L2 共同施用具有加乘效果 (圖 4 和圖 5)。

綜合本研究結果顯示，神真水 3 號與 *S. lavenduligriseus* L2 均具有抑制 *F. oxysporum* 菌絲生長能力，藉此降低 *Fusarium oxysporum* f. sp. *momordicae* KS0702 引起之苦瓜萎凋病罹病度；SH 土壤添加物亦能有效抑制 *F. oxysporum* f. sp. momordicae KS0702 引起之苦瓜萎凋病，且與適當濃度的神真水 3 號和 L2 菌株於苦瓜不同種植時期搭配使用，展現加乘防治效果。未來將針對有益微生物和 SH 土壤添加物於植株施用時機進一步探討，以建立萎凋病之最佳綜合防治策略。

謝辭

感謝行政院農業部支持研究經費，並感謝農業試驗所湯佳蓉助理研究員及許育仁先生提供 L2 菌株和相關資料，對本研究順利進行貢獻良多，謹致上最深謝意。

引用文獻

1. 孫守恭. 1989. 土壤添加物在病害防治上之應用. 台中區農業改良場有機農業研討會專集 6:141–155.
2. 湯佳蓉、張碧芳、張道禾、林盈宏、黃振文. 2019. 蕈狀芽孢桿菌防治番茄萎凋病之機制分析平台. 植物醫學 61(1):29–38.
3. 何婉清. 2003. 萎凋病. 行政院農業委員會動植物防疫檢疫局植物保護圖鑑系列 13 – 洋桔梗保護 (第二刷):55–60.
4. 李豐在. 2005. 土壤傳播性病害之非農藥防治法. 花蓮區農業專訊 54:2–5.
5. 孫守恭、黃振文. 1985. 土壤添加物防治鐮胞菌萎凋病之機制. 植保會刊 27:159–169.
6. 蘇士閔. 2011. 尖鐮胞菌 (*Fusarium oxysporum*) 引起之種傳萎凋型病害. 植物種苗 13(4):27–34.
7. 謝家奉. 2012. 液化澱粉芽孢桿菌防治外銷蝴蝶蘭黃葉病之研發. 農政與農情 237=474:91–94.

8. 黃振文. 2023. 循環利用農業剩餘物研製植物保護產品的加值效應. 臺中區農業改良場特刊 150:57–69.
9. Al-Mutar, D. M. K., N. S. A. Alzawar, M. Noman, D. Li. Azizullah, and F. Song. 2023. Suppression of fusarium wilt in watermelon by *Bacillus amyloliquefaciens* DHA55 through extracellular production of antifungal Lipopeptides. Journal of Fungi 9(3):336.
10. Amini, J. and D. Sidovich. 2010. The effects of fungicides on *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* associated with *Fusarium* wilt of tomato. Journal of plant protection research.
11. Dean, R., J. A. Van Kan, Z. A. Pretorius, K. E. Hammond-Kosack, A. Di Pietro, P. D. Spanu, J. J. Rudd, M. Dickman, R. Kahmann and J. Ellis. 2012. The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. Molecular plant pathology, 13(4):414–430.
12. Di Pietro, A., M. P. Madrid, Z. Caracuel, J. Delgado-Jarana. and M. I. G. Roncero. 2003. *Fusarium oxysporum*: exploring the molecular arsenal of a vascular wilt fungus. Molecular plant pathology, 4(5).
13. Dimond, A. 1970. Biophysics and biochemistry of the vascular wilt syndrome. Annual review of phytopathology, 8(1):301–322.
14. Fan, H., Z. Zhang, Y. Li, X. Zhang, Y. Duan and Q. Wang. 2017. Biocontrol of bacterial fruit blotch by *Bacillus subtilis* 9407 via surfactin-mediated antibacterial activity and colonization. Frontiers in microbiology, 8, 1973.
15. Flärdh, K. and M. J. Buttner. 2009. *Streptomyces morphogenetics*: dissecting differentiation in a filamentous bacterium. Nature Reviews Microbiology, 7(1):36–49.
16. Gopalakrishnan, S., V. Srinivas, M. Sree Vidya and A. Rathore. 2013. Plant growth-promoting activities of *Streptomyces* spp. in sorghum and rice. SpringerPlus, 2:1–8.
17. Gordon, T. R. 2017. *Fusarium oxysporum* and the *Fusarium* wilt syndrome. Annual review of phytopathology, 55(1):23–39.
18. Hata, E. M., M. T. Yusof and D. Zulperi. 2021. Induction of systemic resistance against bacterial leaf streak disease and growth promotion in rice plant by *Streptomyces shenzhenesis* TKSC3 and *Streptomyces* sp. SS8. The plant pathology journal, 37(2):173.
19. Jeon, C. S., G. H. Kim, K. I. Son, J.-S. Hur, K.-S. Jeon, J.-H. Yoon and Y. J. Koh. 2013. Root rot of balloon flower (*Platycodon grandiflorum*) caused by *Fusarium solani* and *Fusarium oxysporum*. The plant pathology journal, 29(4):440.
20. Köhl, J., R. Kolnaar and W. J. Ravensberg. 2019. Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: relevance beyond efficacy.

Frontiers in plant science, 10:845.
21. Kawanishi, T., S. Uematsu, K. Nishimura, T. Otani, C. Tanaka-Miwa, H. Hamamoto and S. Namba. 2009. A new selective medium for *Burkholderia caryophylli*, the causal agent of carnation bacterial wilt. Plant pathology, 58(2):237–242.
22. Kawicha, P., J. Nitayaros, P. Saman, S. Thaporn, T. Thanyasiriwat, K. Somtrakoon, K. Sangdee and A. Sangdee. 2023. Evaluation of soil *Streptomyces* spp. for the biological control of *Fusarium* wilt disease and growth promotion in tomato and banana. The plant pathology journal, 39(1):108.
23. Kumar, A. S., V. Lakshmanan, J. L. Caplan, D. Powell, K. J. Czymmek, D. F. Levia and H. P. Bais. 2012. Rhizobacteria *Bacillus subtilis* restricts foliar pathogen entry through stomata. The Plant Journal, 72(4):694–706.
24. Li, Y., G. Wang, T. Rao, Y. Chen, X. Tan and E. Li. 2024. A potential biocontrol and growth-promoting agent *Streptomyces luteoverticillatus* B4 for managing cabbage *Fusarium* wilt and cucumber *Alternaria* leaf blight. Physiological and Molecular Plant Pathology, 134, 102440.
25. O'Callaghan, M., R. A. Ballard and D. Wright. 2022. Soil microbial inoculants for sustainable agriculture: Limitations and opportunities. Soil Use and Management, 38(3):1340–1369.
26. Pacios-Michelena, S., C. N. Aguilar González, O. B. Alvarez-Perez, R. Rodriguez-Herrera, M. Chávez-González, R. Arredondo Valdés, J. A. Ascacio Valdés, M. Govea Salas and A. Ilyina. 2021. Application of *Streptomyces* antimicrobial compounds for the control of phytopathogens. Frontiers in Sustainable Food Systems, 5, 696518.
27. Ploetz, R. C. 2015. Fusarium wilt of banana. Phytopathology, 105(12):1512–1521.
28. Pullman, G. and J. DeVay. 1982. Epidemiology of *Verticillium* wilt of cotton: a relationship between inoculum density and disease progression. Phytopathology, 72(5):549–554.
29. Ryu, C.-M., M. A. Farag, C.-H. Hu, M. S. Reddy, H.-X. Wei, P. W. Paré and J. W. Kloepper. 2003. Bacterial volatiles promote growth in *Arabidopsis*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 100(8):4927–4932.
30. Singh, P., J. Xie, Y. Qi, Q. Qin, C. Jin, B. Wang and W. Fang. 2021. A thermotolerant marine *Bacillus amyloliquefaciens* S185 producing iturin A5 for antifungal activity against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. Marine Drugs, 19(9):516.
31. Stewart, F. C. 1897. A bacterial disease of sweet corn. New York Agricultural Experiment Station.
32. Sun, S. K. and J. Huang. 1983. A new *Fusarium* wilt of bitter gourd in Taiwan.

Plant Disease, 67(2):226–227.
33. Villarreal-Delgado, M. F., E. D. Villa-Rodríguez, L. A. Cira-Chávez, M. I. Estrada-Alvarado, F. I. Parra-Cota and S. d. l. Santos-Villalobos. 2018. The genus *Bacillus* as a biological control agent and its implications in the agricultural biosecurity. Revista mexicana de fitopatología, 36(1):95–130.
34. Wang, H., L. Fu, J. Meng, R. Ding, Y. Wang, X. Wang, C. Han, L. C. Li and Zhu. 2022. Antagonistic activity and biocontrol effects of *Streptomyces* sp. CX3 cell-free supernatant against blueberry canker caused by *Botryosphaeria dothidea*. Crop Protection, 162, 106072.
35. Wu, C.-C., Y.-M. Shen, Y.-C. Teng and W.-H. Chung. 2023. First report of lisianthus wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. eustomae in Taiwan. Crop Protection, 171, 106298.

Evaluation of the Efficacy of Agricultural Microorganisms in the Control of *Fusarium* Wilt of Bitter Gourd

Sing-Yu Chen, Su-Chiu Hung, Ying-Huey Cheng, and Li-Yu Tsao

Department of Plant Protection and Utilization, Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture.

ABSTRACT

Fusarium wilt, caused by *Fusarium oxysporum*, is a major threat to many crops, leading to severe yield losses worldwide. In Taiwan, no specific chemical fungicides are currently recommended for its management, and long-term use of chemicals may lead to pathogen resistance and food safety concerns. This study evaluated the efficacy of a commercial microbial agent *Bacillus amyloliquefaciens* CL3 and *Streptomyces lavenduligriseus* L2, in combination with SH soil amendments, for the management of *Fusarium* wilt in bitter gourd. Antagonism assays showed that *B. amyloliquefaciens* CL3 and *S. lavenduligriseus* L2 inhibited *F. oxysporum* mycelial growth by 40% and 42%, respectively. Greenhouse experiments revealed that SH combined with 400-fold and 800-fold dilutions of B. amyloliquefaciens CL3 reduced disease severity by 75% and 68%, while SH combined with 10-fold and 25-fold dilutions of S. lavenduligriseus L2 both achieved 85% reduction. All of these treatments outperformed SH alone. Application of *B. amyloliquefaciens* CL3 one week before transplanting reduced disease severity by 59%, ranking second only to weekly drenching with an 800-fold dilution applied after transplanting. These findings suggest that combining microbial agents with SH soil amendments provides effective and environmentally friendly control of *Fusarium* wilt in bitter gourd. Further studies will focus on optimizing application timing to establish a practical and sustainable management strategy.

Key words: *Fusarium* wilt, biological control, *Bacillus amyloliquefaciens* CL3, SH soil amendment, *Fusarium oxysporum*, *Streptomyces lavenduligriseus.*

北高雄露天小果番茄園的粉蝨綜合管理

賴信順、鄭櫻慧

農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所植物保護及園產品加工系

摘要

小果番茄 (*Solanum lycopersicum* Mill.) 是北高雄常見的冬季露天栽培作物，銀葉粉蝨 (*Bemisia argentifolii* Bellow & Perring) 是主要害蟲之一。銀葉粉蝨不但會直接刺吸汁液導致番茄植株衰弱，其所媒介的番茄捲葉病 (Tomato lesf curl disease) 相關病毒，造成番茄新葉皺縮且生長停滯，導致農民嚴重的經濟損失。本研究將有害生物綜合管理 (Integrated pest management, IPM) 的技術導入露天小果番茄園內銀葉粉蝨的防治工作。從預防、監測與治療，將物理防治、耕作防治和化學防治等相關技術整合運用在番茄不同生長期，以提昇對銀葉粉蝨的防治效果。進而延緩番茄捲葉病蔓延的速度，以提昇小果番茄的產量，增加農民的經濟收入。試驗結果顯示，在路竹區 2023 年 8 月至 2023 年 12 月的試驗，第一次小果番茄採收前黃色黏蟲紙監測粉蝨成蟲數量皆低於 50 隻 / 張 / 週，第一次採收時園區內被感染病毒的株數低於 10%。在阿蓮區 2024 年 8 月至 2024 年 12 月的試驗，試驗期間的黃色黏蟲紙監測粉蝨成蟲數量皆低於 50 隻 / 張 / 週，第一次採收時園區被感染病毒的植株數低於 1%。在美濃區 2024 年 9 月至 2024 年 12 月的試驗，從定植前黃色黏蟲紙監測粉蝨成蟲平均數量 248 隻 / 張 / 週，在 30 天後降至平均 55 隻 / 張 / 週，第一次採收時園區內被感染病毒的植株低於 1%，採收期延續至 2025 年 4 月底，整體收益增加 50%。綜合而言，銀葉粉蝨綜合管理技術能有效控制露天小果番茄園內的銀葉粉蝨族群，延緩番茄捲葉病的蔓延。

關鍵詞：小果番茄、銀葉粉蝨、有害生物綜合管理

緒言

2022 年 10 月底臺灣小果番茄 (*Solanum lycopersicum* Mill.) 主要產區，包括以露天栽培為主的高雄市美濃區、路竹區與阿蓮區，以及以設施栽培為主的嘉義縣六腳鄉和太保市，紛紛傳出番茄捲葉病 (Tomato lesf curl disease) 嚴重危害的災情。因此農業部農業試驗所與其他試驗改良場所合作成立番茄健康管理輔導團隊，從種子檢查、育苗場栽培管理到田間病蟲害管理，精進每個環節的管理技術，以降低番茄黃化捲葉病毒所造成的經濟損失 (賴等，2023)。

番茄捲葉病是由銀葉粉蝨 (*Bemisia argentifolii* Bellow & Perring) 所媒介傳

播，因此延緩病毒蔓延，目前所採取的技術主要為降低銀葉粉蝨成蟲數量與將罹病植株移出園區 (賴等，2023)。但是 2022 年 10 月底的危害情況不同於以往，農友發現番茄在定植後 1 個月內，幾乎全園番茄植株皆出現捲葉病徵。因此技術服務團決定分別從育苗場管理和田間防治強化兩方面進行輔導工作，並且強化育苗場與田間的番茄有害生物整合管理 (Integrated pest management, IPM) 技術，減緩番茄捲葉病在田間擴散的速度，以降低番茄捲葉病對番茄生產的影響。

筆者從 2023–2025 年分別在高雄市路竹區、阿蓮區與美濃區的小果番茄園，針對銀葉粉蝨的防治導入且強化有害生物整合管理的相關技術。成功減緩番茄捲葉病的蔓延，並且召開觀摩會向農民說明相關技術的操作時機與方法。本文將完整說明這三場示範試驗的流程與結果，以提供農民參考。

銀葉粉蝨生態習性與危害

銀葉粉蝨屬於半翅目 (Hemiptera) 昆蟲。在 1994 年從菸草粉蝨 B 生理小種 (*Bemisia tabaci* B biotypes) 提昇為新物種 (Bellows *et. al.*, 1994)，不過菸草粉蝨有許多生理小種，因此在 2001 年被定義為一個種群 (species complex) (Perring, 2001)。之後依據分子系統發生學的研究，在 2010 年將銀葉粉蝨被重新命名為菸草粉蝨 MEAM1 (*Bemisia tabaci* MEAM1 (Middle East-Asia Minor 1)) (Dinsdale *et. al*., 2010)，不過國內仍習慣使用銀葉粉蝨這個名稱。

銀葉粉蝨推測可能在 1989 年隨聖誕紅 (*Euphorbia pulcherrima* Willd) 種苗傳入臺灣，並於 1995 年開始在臺灣各蔬菜栽培區陸續傳出被危害的情形。銀葉粉蝨為廣食性昆蟲，廣泛分布於世界各地，其寄主植物已陸續增加至達 1000 種以上 (Abubakar *et. al.*, 2022; Kavallieratos *et. al.*, 2024)。銀葉粉蝨成蟲具兩對白色翅膀，體長約 0.8–1.3 mm。其生活史分別為卵期、一至四齡幼蟲期、蛹期與成蟲期，各時期發育所需時間大約分別為 4–16 天、8–17 天、2–4 天與 15–35 天。隨著寄主植物種類與環境溫度的不同，發育所需時間也會有差異 (林等，2015；賴與陳，2002)。

銀葉粉蝨雌成蟲將卵產於葉背。卵孵化後，一齡幼蟲會在葉背移動尋找適合取食的位置，之後二齡至四齡幼蟲會固定於葉背生長，以吸食葉片汁液為食。蛹期羽化後，成蟲多數棲息於葉背，以刺吸式口器取食葉片汁液 (Abubakar *et. al.*, 2022)。銀葉粉蝨的移動受到光線、溫度、濕度、風向、寄主植物與驚擾所影響。粉蝨成蟲飛行偏好在無風或低風速，在 26–32℃ 時較為活躍，在空氣濕度較低的環境中比較容易飛行。粉蝨成蟲對黃色的偏好明顯高於其他顏色，而 550 nm 左右的綠色光相較於其他波長對粉蝨成蟲更具有強烈的誘引作用 (周等，2007)。

銀葉粉蝨對植物的危害分為直接危害與間接危害。在直接危害的部份，銀葉粉幼蟲與成蟲刺吸葉片汁液，導致葉片黃化甚至落葉。在間接危害的部份，則是粉蝨取食後所分泌的蜜露會誘發煤煙病發生，影響葉片的光合作用。另外，銀葉粉蝨會媒介植物病毒，主要為雙生病毒屬 (*Begomovirus*) 的病毒。在番茄上會媒

介番茄捲葉病毒，導致番茄新葉皺縮變小，植株生長停滯，嚴重影響番茄產量 (Wu *et. al.*, 2023；Kavallieratos *et. al.*, 2024；陳，2025)。

銀葉粉蝨防治技術

目前防治銀葉粉蝨常見的技術有物理防治的防蟲網阻隔成蟲侵入，以及懸掛黃色黏蟲紙誘殺粉蝨成蟲。耕作防治則是強健幼苗生長以增加對粉蝨危害的耐受性，清除老葉以降低粉蝨族群數量，以及多餘側梢以減少粉蝨成蟲躲藏的空間，並且增加植株間的通風以便讓植物保護資材能接觸到蟲體。化學防治則是針對粉蝨不同齡期噴施不同作用機制的化學農藥，以及在採收期噴施高安全性的免登記植物保護資材，降低農藥殘留違規的風險。生物防治則是利用天敵與蟲生真菌等，以降低化學農藥的使用，達到化學農藥減量的目標 (黃等，2023；Abubakar *et. al.*, 2022；Gantyada and Sarkar, 2021；Rehman *et. al.*, 2022)。

在物理防治中，為了阻隔害蟲大量入侵栽培園區，架設防蟲網是常用的阻絕技術。最常使用的是 32 目網，但若要阻隔像銀葉粉蝨等小型害蟲的入侵，則需使用 50 目網或是 32 目雙層網方能達到較佳的阻隔效果。不過過密的防蟲網可能會導致園區內的通風不良，提高園區內的溫度，使得作物發生熱障礙，影響作物的生長 (張，2024)。黃色黏蟲紙是利用銀葉粉蝨成蟲偏好黃色習性，藉以設計做為誘殺的資材。但是黃色黏蟲紙只能被動誘引銀葉粉蝨成蟲，因此以往僅被當作監測族群變動的工具 (Adam *et. al.*, 2025)。

耕作防治的重點在於去除側芽以增加通風與移除老葉葉背的卵、幼蟲與蛹。過度茂密的葉片與側芽容易使得銀葉粉蝨躲藏於其中，造成植物保護資材不易與銀葉粉蝨蟲體接觸，進而影響藥劑的防治效果。同時多餘的葉片與側芽也會造成藥劑的使用量增加，因此適時去除側芽與老葉，以增加植株間通風，有助於減少藥劑的使用量，並且提昇藥劑的防治效果。在作物定植 14 天之後，老葉的葉背通常可以看到聚集的粉蝨幼蟲與卵粒，在定植 21 天之後甚至可能會看見具有紅色圓點的蛹。因此當作物生長至 10 片葉以上時，應考慮適時去除老葉，並將其移離園區，以降低之後園區內銀葉粉蝨的成蟲數量。

化學防治可分為化學農藥與免登記植物保護資材。化學農藥主要是造成銀葉粉蝨生理異常而死亡，常見的作用於神經肌肉的生理毒性，以及抑制銀葉粉蝨卵的孵化和造成幼蟲蛻皮異常的昆蟲生長調節劑 (Kavallieratos *et.al.*, 2024)。依據 2025 年 8 月農業資訊服務網 (https://pesticide.aphia.gov.tw/information/) 的資料，相關的作用機制共有 9 種。依作物種類不同，核准使用的化學農藥大約有 17 種左右。對人體安全性較高的免登記植物保護資材中，主要是油劑 (oil) 與脂肪酸鹽類 (Fatty acid salts) 對粉蝨具有防治效果。多數是利用資材包覆蟲體，導致窒息而造成粉蝨死亡 (黃等，2023；Smith and De Marchi, 2024)。不同於部份化學農藥具有移行性，免登記植物保護資材需直接與蟲體接觸，才能讓粉蝨死亡。因此植株間若通風不良，將會影響防治的效果。

銀葉粉蝨常見的天敵可分為捕食性天敵與寄生性天敵，捕食性天敵包括菸盲椿象 (*Nesidiocoris tenuis*)、瓢蟲 (*Delphastus pusillus*)、安平草蛉 (*Mallada desjardinsi* Navás) 和卵形捕植蟎 (*Amblyseius cucumeris*) 等，寄生性天敵則有東方蚜小蜂 (*Eretmocerus orientalis*) 和淺黃恩蚜小蜂 (*Encarsia formosa*)。以蟲生真菌防治銀葉粉蝨的相關技術持續開發中，已知真菌有爪哇擬青黴菌 (*Isaria javanica*) 和座殼菌 (*Aschersonia aleyrodis*) 等 (潘等，2019；陳與曾，2020；鄭等，2023；Kavallieratos *et.al.*, 2024；董與許，2024)。

露天小果番茄園銀葉粉蝨整合管理

有害生物整合管理是指整合多種防治技術將害蟲密度抑制於經濟危害水平 (Economic Injury Level，EIL) 之下。經濟危害水平是指害蟲族群密度足以對作物造成為害，並且導致經濟損失的最低密度。為避免害蟲族群密度達到經濟危害水平，因此分析以往的監測數據，訂出啟動防治工作的害蟲族群密度，則為經濟限界 (Economic Threshold, ET) (Ellsworth and Martinez-Carrillo, 2001)。

有害生物整合防治在田間的操作可分為預防、監測和治療。因此本次試驗將不同的銀葉粉蝨防治技術安排在番茄不同階段的生長期運用，以達到有效控制番茄園內銀葉粉蝨的族群密度，進而延緩番茄捲葉病的蔓延。

預計定植的前 14 天，建議可於露天種植園區設置相關物理防治資材。首先在園區周圍簡易架設高度 180－210 公分的 32 目防蟲網，以減緩之後銀葉粉蝨成蟲入侵的速度 (張，2024)。並且在田間每隔 10－15 公尺懸掛黃色黏蟲紙，除了能監測銀葉粉蝨是否存在於園區內，亦防治可能已經存在於全區周圍的粉蝨成蟲。

番茄苗通常在定植 3－5 天會由育苗場送至農民田居暫時放置，使得番茄苗能適應露天栽種的環境。以往農友習慣將番茄苗隨意放置，使得田區周圍的銀葉粉蝨成蟲容易入侵。此次試驗則是請農民先在放置番茄苗處懸掛黃色黏蟲紙，以誘殺周圍能存在的粉蝨成蟲 (張，2024)。然後在放置穴盤苗期間，藉由小型吹葉機或是以手撥動番茄苗的方式，將銀葉粉蝨的成蟲趕離穴盤苗。此時粉蝨成蟲會因偏好黃色而被黏在黏蟲紙，以降低番茄苗上銀葉粉蝨成蟲被帶入田區的風險。定植前 1 天將番茄苗浸泡在與根圈微生物有關的資材稀釋液中，除了能直接讓微生物與番茄苗根部完全接觸，亦能將尚存於粉蝨成蟲淹死，降低番茄苗上粉蝨成蟲的數量。

定植後田間持續懸掛黃色黏蟲紙監測害蟲數量作為施藥的依據 (陳，2025)，並且配合番茄不同生長期輪用特定作用機制的農藥，以達到最佳的防治效果。定植後的 14 天或 21 天之間，此時番茄葉片上粉蝨的卵與幼蟲數量很少，此時應以防治由園區周圍入侵的粉蝨成蟲為主，以降低粉蝨成蟲媒介番茄捲葉病毒的風險。若每週監測用的黃色黏蟲紙上粉蝨成蟲數量增加時，應先增加黃色黏蟲紙的懸掛數量至每公尺 1 張。除了增加銀葉粉蝨成蟲被誘殺的機會外，更是要強化

捕捉因農民整理側梢與噴施化學農藥時而四處亂竄的粉蝨成蟲。之後安排輪流使用核准於番茄上的殺蟲劑，選擇以作用於神經與肌肉的化學農藥為主。依據 2025 年 8 月農業資訊服務網 (https://pesticide.aphia.gov.tw/information/) 的資料，包括 IRAC 1A 的納乃得 (Methomyl)、IRAC 3A 的畢芬寧 (Bifenthrin) 和第滅寧 (Deltamethrin)、IRAC 4A 的益達胺 (Imidacloprid)、亞滅培 (Acetamiprid)、可尼丁 (Clothianidin)、賽速安 (Thiamethoxam)、賽果培 (Thiacloprid) 與達特南 (Dinotefuran)、IRAC 4C 的速殺氟 (Sulfoxaflor)、IRAC 6 的阿巴汀 (Abamectin) 與 IRAC 28 的賽安勃 (Cyantraniliprole)。另一方面，這些農藥對蜜蜂有較強毒性，因此建議安排在番茄開花前使用，以避免對蜜蜂造成影響。

在番茄進入開花期後，隨著植株的生長，建議持續在番茄新梢上方 15–20 cm 處新增黃色黏蟲紙的懸掛數量。並且適時去除部份下層老葉，清除生活於葉背上粉蝨的卵、幼蟲與蛹，延緩粉蝨成蟲數量的增加速度。另一方面，為降低粉蝨躲藏於交疊的葉片中，適時去除側梢以增加植株間的通風，可以使得藥劑容易接觸到蟲體而提昇防治的效果。同時受到驚擾而起飛的粉蝨成蟲，更容易被黃色黏蟲紙所誘殺。在化學農藥方面，這個時期改用對蜜蜂的影響相對較小的選擇性殺蟲劑，使其與開花期前所施用農藥的作用機制不相同，以減少抗藥性增加的情況發生 (Smith and De Marchi, 2024)。依據 2025 年 8 月農業資訊服務網 (https://pesticide.aphia.gov.tw/information/) 的資料，包括 IRAC 7C 的百利普芬 (Pyriproxyfen) 抑制卵的孵化 (林與吳，2021)，IRAC 23 的賜派滅 (Spirotetramat) 抑制脂質合成而影響粉蝨幼蟲的生長，IRAC 29 的氟尼胺 (Flonicamid) 和 IRAC 9D 的阿扶平 (Afidopyropen) 則是影響粉蝨成蟲與幼蟲的正常取食，導致粉蝨飢餓而死亡。

在小果番茄進入連續採收期，為兼顧食品安全，建議利用免登記植物保護資材和黃色黏蟲紙共同抑制粉蝨的族群數量的增加。並且持續清除老葉，減緩粉蝨族群的增加速度，同時增加免登記植物保護資材接觸到蟲體的機會，以提昇防治效果。若葉片出現因過多蜜露而產生的煤煙病，表示粉蝨幼蟲數量已多到免登記植物保護資材無法控制的情形。此時可擇一選用 20% 亞滅培稀釋 4000 倍、20% 達特南稀釋 3000 倍或 10.26% 賽安勃稀釋 800 倍等安全採收期 3 天的殺蟲劑使用方法，噴施一次以增加採收期防治粉蝨的效果。相較於其他化學農藥，擇一使用 3 種農藥的殘留超量風險較低。

結果與討論

第一場示範試驗從 2023 年 8 月至 12 月在高雄市路竹區下坑里的田區 (22.8663°N, 120.2821°E) 進行，小果番茄採取冂字架雙側栽培。8 月 21 日定植，9 月 13 日開始來花，11 月 2 日開始採收。從 8 月底至 10 月底黃色黏蟲紙監測粉蝨成蟲數量皆低於 50 隻 / 張 / 週 (圖 1)，第一次採果前園區內被感染番茄捲葉病毒的株數低於 10% 以下。根據農民轉述，相較於 2022 年的全園小果

番茄植株皆感染番茄捲葉病毒病毒，導致完全沒有收成。此次有害生物綜合管理技術的導入，讓露天小果番茄的產量恢復往年的水準，並且減少 20% 的化學農藥成本的支出，使其恢復之後可以在露天繼續種植小果番茄的信心。

在第一次採果前雖然將粉蝨成蟲數量控制在低於 50 隻 / 張 / 週，但是後來蟲數仍平均超過 50 隻 / 張 / 週 (圖 1)。推測原因可能是農民種植的是半停心小果番茄品種，該類品種的栽培操作是不積極去除側芽，以增加小果番茄的產量。不過植株間葉片高度互相重疊，使得銀葉粉蝨容易躲藏其中於其中。同時農民希望小果番茄沒有任何農藥殘留，所以在採果前 14 天即停止所有化學農藥的使用，僅以登記植物保護資材進行防治工作。過密的枝葉使得免登記植物保護資材無法與蟲體接觸產生防治效果，並且沒有空間可供新增懸掛誘殺用的黃色黏蟲紙，影響 12 月中旬之後的採收後期果實。不過後續 2024 年 1 月至 2 月的低溫，延緩銀葉粉蝨的增長速度，因此該試驗田農友持續採收至 2024 年 3 月底。

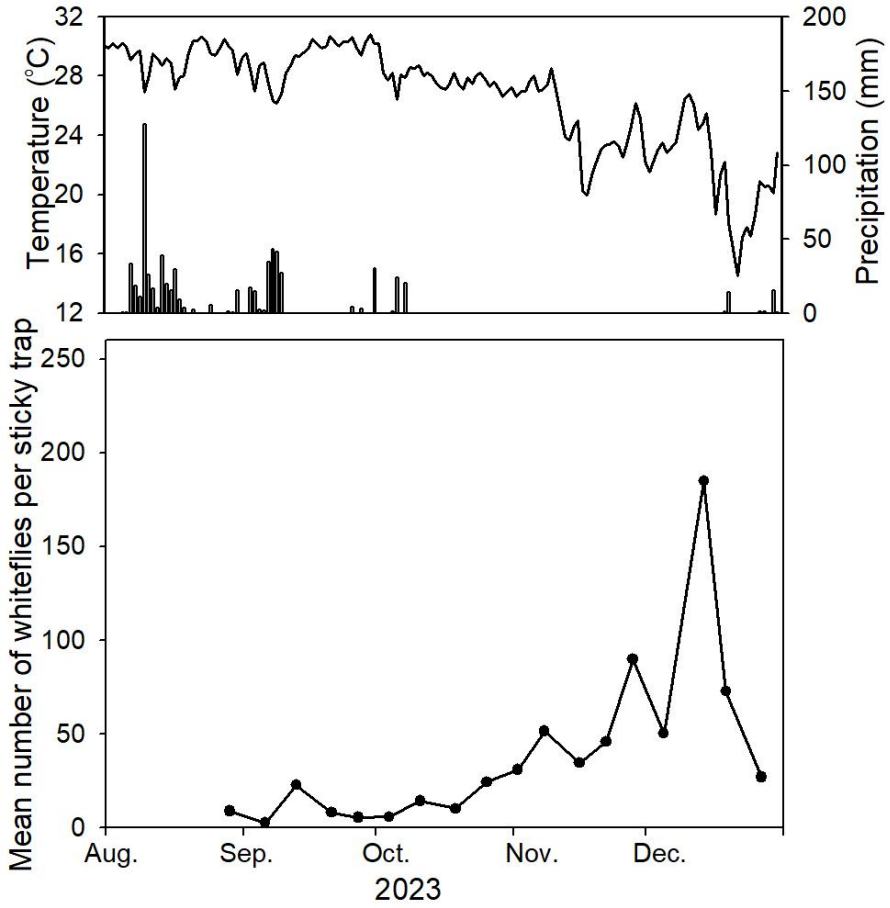


圖 1. 上圖為 2023 年 8 月至 12 月高雄市路竹區的每日平均溫度與每日總雨量。下圖為試驗區內每週每張黃色黏蟲紙誘引的平均粉蝨成蟲數量。

Fig.1. Daily mean temperature (°C) and total daily rainfall (mm) in Luzhu Dist., Kaohsiung City, from August to December 2023 (upper panel), and the weekly mean number of adult whiteflies captured per yellow sticky trap (insects/trap) in the experimental area (lower panel).

第二場示範試驗從 2024 年 8 月至 12 月在高雄市阿蓮區中路里的田區 (22.8851°N, 120.2929°E) 進行，採取單側栽培方式。8 月 1 日定植，9 月 4 日開始來花，9 月 21–22 日西南氣流帶來大雨，使得植株受損，9 月 29 日至 10 月 4 日經歷山陀兒 (Krathon) 颱風，10 月 24 日開始採收。從 8 月至 11 月底黃色黏蟲紙監測粉蝨成蟲數量皆低於 50 隻 / 張 / 週 (圖 2)，第一次採果前被感染病毒的株數 1% 以下。根據農民轉述，相較於 2023 年同期，這次有害生物綜合管理的導入，減少 50% 的殺蟲劑成本支出。之後農民持續採收至 2025 年 2 月，總體收益增加了 40% 以上。

第二場試驗在定植後陸續的大雨，導致土壤含水量過高，造成露天小果番茄的生長遲緩。9 月番茄來花後，遇到西南氣流所帶來的大雨 (圖 2)，造成路竹區與阿蓮區大多數的露天小果番茄田區有 70% 以上的植株出現短暫生理性萎凋。接續山陀兒颱風來襲，再一次重創試驗區的番茄植株，使得第一批花幾乎沒有果實可供採收。同時連續大雨導致試驗田區發生番茄細菌性斑點病 (Tomato bacterial spot)，造成部份葉片發生褐色壞疽斑點的情形。推測連續風雨和細菌性斑點病的發生，影響了植株的健康與葉片的完整度，間接延緩田區內銀葉粉蝨族群的增長。不過相較於其他倖存的露天小果番茄田區，試驗田區小果番茄的產量相對較高，且產期較長。

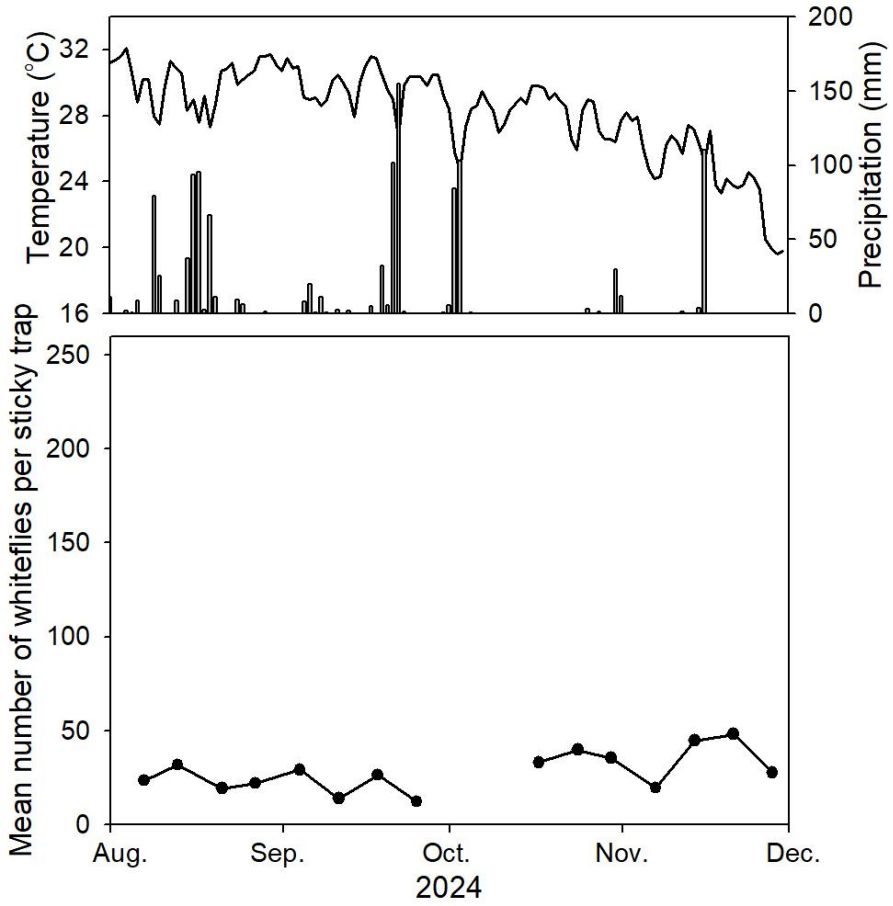


圖 2. 上圖為 2024 年 8 月至 11 月高雄市阿蓮區的每日平均溫度與每日總雨量。下圖為試驗區內每週每張黃色黏蟲紙誘引的平均粉蝨成蟲數量。

Fig.2. Daily mean temperature (°C) and total daily rainfall (mm) in Alian Dist., Kaohsiung City, from August to November 2024 (upper panel), and the weekly mean number of adult whiteflies captured per yellow sticky trap (insects/trap) in the experimental area (lower panel).

從 2022 年至 2024 年年初都有高雄市美濃區番茄捲葉病嚴重危害的新聞，主要以廣林里為主。為釐清不同地點的美濃區露天番茄園內粉蝨數量是否有差異，於 2024 年 9 月至 12 月分別調查 2 處廣林里田區 (22.9277°N, 120.5826°E; 22.9245°N, 120.5840°E)、1 處中圳里田區 (22.9153°N, 120.5465°E) 與 1 處福安里田區 (22.8877°N, 120.5126°E)。結果如圖 3，A 區在番茄定植前黃色黏蟲紙所誘得的粉蝨成蟲平均數量最多，達 855 隻 / 張 / 週，其次是 B 區平均 248 隻 / 張 / 週，C 區平均 20 隻 / 張 / 週，最少的是 D 區平均 13 隻 / 張 / 週。

同在廣林里的 A 區和 B 區，其直線距離僅相隔 413 公尺，兩位農友皆在定植後密集噴灑大量慣行使用的各類化學農藥。推測監測蟲數有明顯差異的原因在於 B 區為有害生物整合管理技術導入示範區，已於種植前在田區周圍架設 32 目防蟲網，並於田區內每隔 1 公尺懸掛黃色黏蟲紙誘殺粉蝨成蟲，因此後續監測用的黃色黏蟲紙所誘得粉蝨成蟲數量明顯少於採取慣行栽培的 A 區。A 區在 10 月中旬已經全園植株皆感染番茄捲葉病，並於 10 月底全園廢耕。另外，推測 C

區和 D 區粉蝨成蟲數量遠低於 A 區和 B 區的原因，可能是 A 區和 B 區前期種植作物以茄子或胡瓜為主，兩者皆為粉蝨的寄主植物，而 C 區和 D 區前期作物則是主要種植水稻，並非粉蝨的寄主植物，因此在蟲數上有明顯的差異。

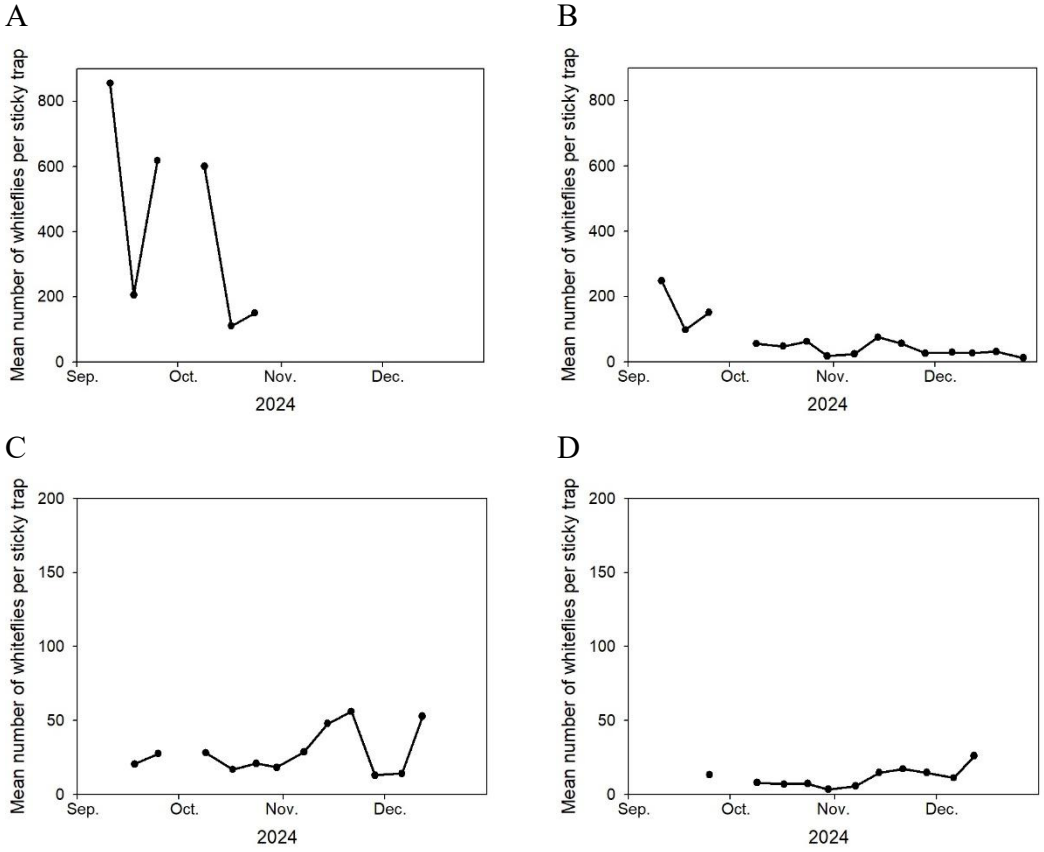


圖 3. 四處露天小果番茄試驗調查區內每週每張黃色黏蟲紙誘引的平均粉蝨成蟲數量。(A：廣林里－1、B：廣林里－2、C：中圳里、D：福安里)

Fig.3. Mean number of adult whiteflies captured per yellow sticky trap per week in open-field cherry tomato experimental plots. (A: Guanglin Village 1(22.9277°N, 120.5826°E), B: Guanglin Village 2 (22.9245°N, 120.5840°E), C: Zhongzun Village (22.9153°N, 120.5465°E), D: Fu'an Village (22.8877°N, 120.5126°E)).

第三場示範試驗從 2024 年 9 月至 12 月在高雄市美濃區廣林里的田區 (22.9245°N, 120.5840°E) 進行，小果番茄採取冂字架雙側栽培。9 月 11 日定植，10 月 9 日開始來花，12 月 20 日開始採收。從定植前黃色黏蟲紙監測粉蝨成蟲平均數量為 248 隻 / 張 / 週，在 30 天後降至 55 隻 / 張 / 週 (圖 4)。試驗田區被感染病毒的株數控制在 1% 以下，採收期延續至 2025 年 4 月底，整體收益增加 50%。

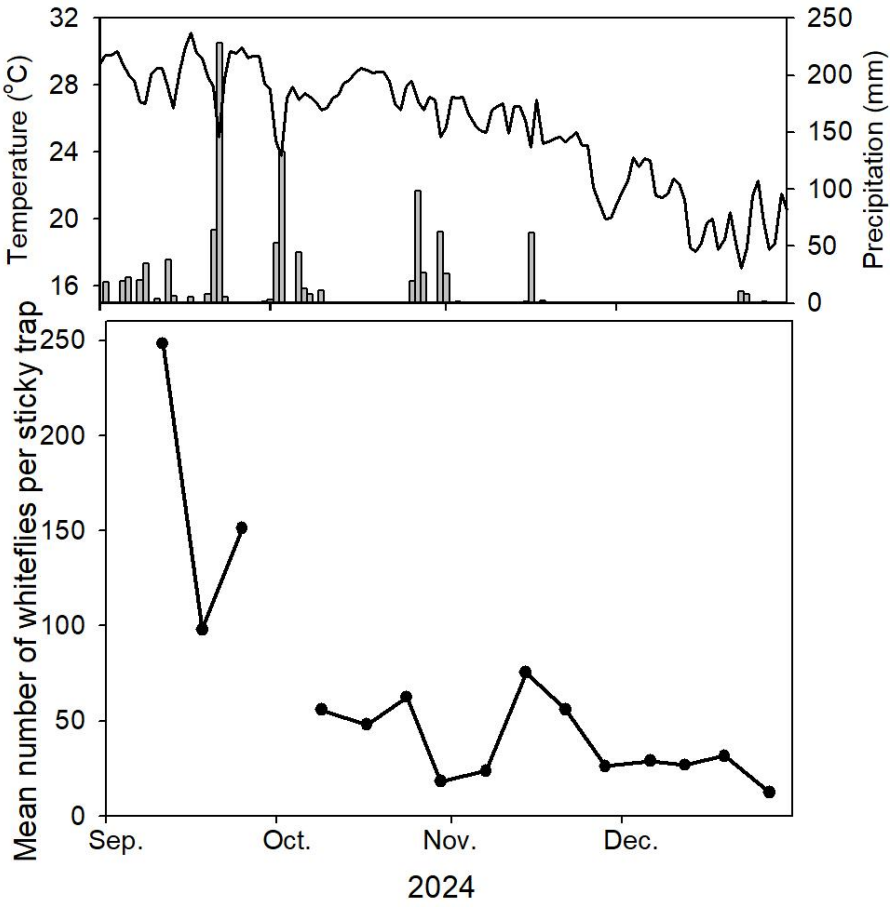


圖 4. 上圖為 2024 年 9 月至 12 月高雄市美濃區的每日平均溫度與每日總雨量。下圖為試驗區內每週每張黃色黏蟲紙誘引的平均粉蝨成蟲數量。

Fig.4. Daily mean temperature (°C) and total daily rainfall (mm) in Meinong Dist., Kaohsiung City, from September to December 2024 (upper panel), and the weekly mean number of adult whiteflies captured per yellow sticky trap (insects/trap) in the experimental area (lower panel).

第三場試驗與第二場試驗番茄定植時間相差 1 個月，不過由於第三場試驗當時植株較小，且位於山區，因此受山陀兒颱風的影響較為輕微。不同於其他試驗田區粉蝨成蟲數量是由少而多，廣林里則是定植後即有大量的粉蝨成蟲侵入，導致農民防治作業措手不及。為解決這樣的情形，定植前一週懸掛黃色黏蟲紙調查粉蝨成蟲數量有其必要性。為強化該試驗區誘殺黃色黏蟲紙的效果，於 9 月 25 日之後農民在整理番茄枝條時，將黃色黏蟲紙設置於人員衣物或是其他工具上，藉以誘殺將受驚擾而四處亂竄的粉蝨成蟲，強化減少田區內的粉蝨成蟲數量。

這兩年在北高雄的 3 場露天小果番茄示範試驗中，藉由有害生物整合管理技術的強化，將粉蝨成蟲數量控制在 50 隻 / 張 / 週以下，使得園區內番茄感染捲葉病的植株數量控制在 1% 以下。由於黃色黏蟲紙的使用以及策略性的輪用不同機制的化學農藥，減少農民 10－25% 化學農藥的使用次數。並且露天小果番茄產期比以往延長 1－2 個月，因此農民的總收益增加 20－50%。未來將持續推廣相關技術，並將技術從露天栽培延伸至設施栽培，以減少化學農藥的使用，

增加農民的經濟收益。

謝辭

感謝農業部支持研究經費，研究過程承蒙高雄市路竹區涂福昌先生、阿蓮區高明芳先生和美濃區梁翠平小姐提供露天小果番茄試驗場域，並感謝農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所植物保護及園產品加工系孫筱茜小姐和蔡宜容小姐協助本研究進行，一併致上無限謝忱。

引用文獻

1. 周福才、王勇、任順祥、祝樹德、周澤華. 2007. 煙粉蝨的飛行行為與害蟲綜合治理策略. 應用生態學報 18(2):451–455.
2. 林映秀、吳佩玲. 2021. 百利普芬、布芬淨與賜派滅 3 種昆蟲生長調節劑對菸草粉蝨卵期之毒效探討. 臺灣農藥科學 10:77–89.
3. 林鳳琪、賴信順、陳秋男. 2015. 溫度對洋香瓜上銀葉粉蝨發育速率之影響. 台灣昆蟲 35:11–21.
4. 張淳淳. 2024. 番茄病毒病管理與 IPM 操作指引. 台南區農業專訊 129:11–14.
5. 陳正恩. 2025. 露地番茄之粉蝨防治基準初探. 高雄區農業專訊 132:5–8.
6. 陳明吟、曾敏南. 2020. 座殼菌於銀葉粉蝨之防治應用. 高雄區農業專訊 112:16–17.
7. 黃秀雯、張淳淳、林宇盛、李兆彬. 2023. 溫室小果番茄病蟲害整合性管理之經濟效益評估. 臺南區農業改良場研究彙報 81:45–62.
8. 潘蕙如、林立、呂柏寬. 2019. 爪哇擬青黴菌 (*Isaria javanica* WH-EP-1) 防治銀葉粉蝨 (*Bemisia argentifolii* biotype B) 應用評估之研究. 花蓮區農業改良場研究彙報 38:89–103.
9. 董耀仁、許北辰. 2024. 室內測試 12 種環境友善資材對基徵草蛉 (*Mallada basalis* Walker) 及安平草蛉 (*Mallada desjardinsi* Navás) 之影響. 台灣農業研究 73:53–62.
10. 賴信順、陳秋男. 2002. 銀葉粉蝨 (*Bemisia argentifolii* Bellow & Perring) 在六種雜草上之產卵選擇及生活史. 臺灣昆蟲 22:359–370.
11. 賴信順、鄭櫻慧、吳雅芳、陳正恩、邱燕欣、楊瑞春. 2023. 番茄捲葉病的防治策略與番茄輔導團隊之運作與目標. 植物保護科技在韌性農業之應用研討會專刊, 陳金枝、蔡佳欣、林玫株、林靜宜、蔡志濃編輯, 57–69. 中華植物保護學會.
12. 鄭志文、李世仰、鍾權承、吳怡慧. 2023. 茄科與瓜果類常用藥劑對菸盲椿 (半翅目:盲蝽科) 感受性之影響. 苗栗區農業改良場研究彙報 12:13–27.

13. Abubakar, M., B. Koul, K. Chandrashekar, A. Raut, and D. Yadav. 2022. Whitefly (*Bemisia tabaci*) management (WFM) strategies for sustainable agriculture: A review. Agriculture 12(9):1317.
14. Adam, N.A., N.M. Kwaifa, A.S. Mokhtar, M. Rita, D. Omar, and Y.S. Ringim. 2025. Seasonal whitefly (*Bemisia tabaci*) abundance infesting tomato (*Solanum lycopersicum*) monitored on yellow sticky traps. Modern Phytomorphology 19(1):351–356.
15. Bellows, T.S., T.M. Perring, R.J. Gill, and D.H. Headrick. 1994. Description of *Bemisia argentifolii* n. sp. (Homoptera: Aleyrodidae). Annals of the Entomological Society of America 87(2):195–206.
16. Dinsdale, A., L. Cook, C. Riginos, Y.M. Buckley, and P.D. Barro. 2010. Refined global analysis of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aleyrodoidea: Aleyrodidae) mitochondrial cytochrome oxidase 1 to identify species level genetic boundaries. Annals of the Entomological Society of America 103(2):196–208.
17. Ellsworth, P.C., J.L. Martinez-Carrillo. 2001. IPM for *Bemisia tabaci*: a case study from North America. Crop Protection 20:853–869.
18. Gantyada, K., and S. Sarkar. 2021. Management of whiteflies (*Bemisia tabaci*) in tomato by using different control methods. International Journal of Entomology Research 6(6):120–125.
19. Kavallieratos, N.G., W. Wakil, N. Eleftheriadou, M.U. Ghazanfar, H. El-Shafie,, A.M. Simmons, M. Dimase, H.S. Smith, and D. Chandler. 2024. Integrated management system of the whitefly *Bemisia tabaci*: a review. Entomologia Generalis 44(5):1117–1133.
20. Perring, T. M. 2001. The *Bemisia tabaci* species complex. Crop Protection 20(9):725–737.
21. Rehman, H., A. Bukaro, A.G. Lanjar, and L. Bashir. 2022. IPM Model for Management of *Bemisia tabaci* (Aleyrodidea: Hemiptera) on Tomato Crop. Pak. J. Sci. Ind. Res. Ser. B: Biological Sciences 65(2):110–117.
22. Smith, H.A. and B.R. De Marchi. 2024. Managing *Bemisia tabaci* MEAM1 (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) and Tomato yellow leaf curl virus in Florida Tomato: ENY2111/IN1430, 8/2024.
23. Wu, H.Y., W.H. Li, S.H. Weng, W.S. Tsai, and C.W. Tsai. 2023. Differential Effects of Two Tomato Begomoviruses on the Life History and Feeding Preference of *Bemisia tabaci*. Insects 14:870.

Integrated Management of Whiteflies (*Bemisia argentifolii*) in Open-Field Cherry Tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.) Cultivation in Northern Kaohsiung

Hsin-Shun Lai and Ying-Huey Cheng

Department of Plant Protection and Utilization, Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture.

ABSTRACT

Open-field cherry tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.) is a common winter crop in northern Kaohsiung, where the silverleaf whitefly (*Bemisia argentifolii*) is one of the major pests. Whiteflies not only weaken tomato plants by directly feeding on phloem sap but also transmit tomato leaf curl disease-associated viruses, which cause leaf curling and growth inhibition, resulting in severe economic losses for farmers. This study implemented integrated pest management (IPM) strategies for controlling *B. argentifolii* in open-field cherry tomato cultivation. Preventive, monitoring, and curative measures, including physical, cultural, and chemical controls, were applied at different growth stages to improve management efficacy. These strategies effectively suppressed whitefly populations, delayed the spread of tomato leaf curl disease, enhanced tomato yield, and increased farmers' income. Field trials conducted in Luzhu District from August to December 2023 showed that whitefly adults captured by yellow sticky traps remained below 50 per trap per week before the first harvest, with less than 10% of plants infected by viruses at harvest. In Alian District from August to December 2024, whitefly counts remained below 50 per trap per week, and virus-infected plants were fewer than 1% at the first harvest. In Meinong District from September to December 2024, the initial mean number of whiteflies was 248 per trap per week before transplanting, which decreased to 55 per trap per week after 30 days; virus infection rates remained below 1% at the first harvest. The harvesting period extended until the end of April 2025, resulting in a 50% increase in overall revenue. Collectively, the results demonstrate that IPM strategies can effectively suppress whitefly populations in open-field cherry tomato cultivation and slow the spread of tomato leaf curl disease.

Key words: *Solanum lycopersicum* Mill., *Bemisia argentifolii*, Integrated pest management.

農業試驗所特刊第 254 號
編　　號：農試所出版品 2026 年－02 號
書　　名：農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所 114 年度建構熱帶作物永續管理研究成果研討會專刊

Proceedings of the Symposium on the 2025 Research Achievements of Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute

發 行 人：王仕賢

作　　者：方信秀、林楨祐、林照能、徐智政、高碧霜、郭展宏、曹麗玉、陳星妤、陳薪喨、蔡蕤隍、賴信順、羅妙禎 (作者依姓氏筆畫排列)
編　　輯：鍾伊庭、鄭櫻慧、李文立

出 版 者：農業部農業試驗所

地　　址：413008 臺中市霧峰區萬豐里中正路 189 號
No. 189, Zhongzheng Rd., Wufeng Dist., Taichung City 413008, Taiwan (R.O.C.).

電　　話：04-23302301　　傳　　真：04-23338162

網　　址：https://www.tari.gov.tw/

出版年月：民國 115 年 4 月

版　　次：初版

ISBN：978-626-446-037-8 (PDF)

GPN：4711500030

電子書播放資訊

作業系統：Windows, Mac

檔案格式：Adobe PDF

檔案內容：2D

播放軟體：PDF Reader

使用載具：PC、智慧型手機、平板