



臺南市政府與臺南區農業改良場合作，以無人機施用非化學農藥防治荔枝椿象。
圖片來源：臺南市政府農業局。

無人機在防治荔枝椿象之應用

陳盈丞¹ 林慧婷¹ 蔡小涵¹ 鍾瑞永¹ 羅正宗¹ 楊宏瑛²
黃悅民³ 陳靜茹⁴ 賴維祥⁵

一、前言

荔枝椿象 (*Tessaratoma papillosa* Drury) 入侵臺灣後，主要危害荔枝、龍眼、無患子及臺灣欒樹等無患子科植物，為目前龍眼及荔枝產業上最重要之害蟲，然而龍眼及荔枝大部分種植於山坡丘陵地上，坡地果樹之經營管理因地形限制，諸多管理措施都需仰賴大量勞動力來執行，如病蟲害防治作業，目前仍以人工背負式噴霧機或高壓動力噴霧機配合管路噴藥設施來進行防治措施。其中龍眼植株進行矮

註1：農業部臺南區農業改良場。

註2：農業部臺中區農業改良場。

註3：國立成功大學工程科學系。

註4：國立雲林科技大學電機工程學系。

註5：國立成功大學航空太空工程學系。

化之比例偏低，自然樹勢可達 13 公尺以上，農民噴藥實屬困難，加上因勞動力不足，導致噴藥效果不彰或是疏於用藥，最終造成荔枝椿象危害嚴重，進而出現果園廢耕之現象。

為解決農業缺工之問題，近年來政府積極推動智慧農業技術，透過自動化、省力化器械補足勞動力缺口，改善不友善之工作環境，提升農耕操作效率。無人植保機導入農業應用為臺灣農業開啟新篇章，高機動性及智能化特性可有效解決人力短缺之問題，大幅縮短務農時間以及減少近距離暴露於農藥之風險。目前無人植保機大多應用於平面式作物，其中應用較廣泛且相對較成熟的領域為水稻農噴作業，以一塊 5 分地之水稻田為例，傳統拉管動力噴施需要 3 個人共同作業，且耗時 40 分鐘才能完成，而以植保無人機執行農噴任務僅需 2 個人，且 10 分鐘即可完成，作業效率提升 6 倍。無人植保機雖為智慧農業發展之重點項目，先前無人植保機應用

於植物保護領域缺乏完整的施藥技術規範以及無人植保機作物推薦藥劑及施用劑量，然至 112 年 9 月動植物防疫檢疫署已公告無人植保機施藥劑量以公告之每公頃每次用量（即單位面積施藥量）調配藥劑並均勻噴施於作物即可，將使得無人植保機於農業發展上可更加容易推廣。

近年來 AI 在各行各業中迅速發展，更帶動了深度學習的應用，而影像辨識領域的技術開始跨域的應用在農業領域。像是農田繪圖、作物影像分類、檢測牧場內的目標動物，這些實際應用的技術，主要都源於類神經網路的模型訓練，才能讓對目標物件進行辨識，常見的作法就是使用卷積神經網路 (Convolutional Neural Networks, CNN) 提取影像中的目標區域，分割目標對象並計算葉片上害蟲的數量和類型。其中以 YOLO 演算法最廣為使用，在農業領域的研究中已經可以達到即時辨識的成果，不僅準確度高，辨識速度也快。



聚集於龍眼嫩梢危害之荔枝椿象若蟲（左）及成蟲（右）。



東山場域之多光譜影像圖。

臺南區農業改良場（簡稱臺南場）與國立成功大學航空太空工程學系（簡稱成大航太系）、國立成功大學工程科學系及國立雲林科技大學電機工程學系合作「智慧農業防治系統應用於坡地果樹之核心技術」整合研究計畫，本研究計畫運用『智慧無人植保機』解決目前人力老化及施藥困難之防治困境。整合無人載具與人工智慧、多光譜影像辨識等前瞻技術，進行即時影像蒐集，透過演算法評估，運用智慧無人載具執行荔枝椿象防治作業。尤以施作區域鎖定作業困難之山坡地形，大幅提高防治效率與減少農藥用量，以達成智慧化農業管理系統。

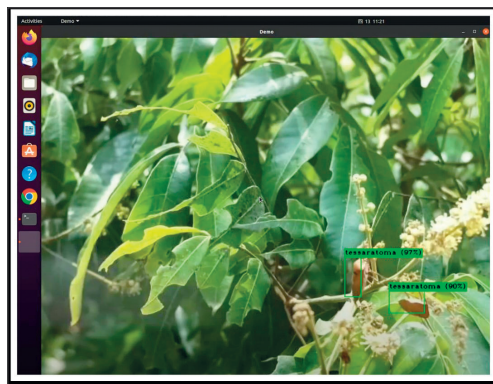
二、多光譜影像分析

試驗場域進行多光譜影像拍攝，同時採多時期多光譜影像辨識模型VGG-16來塗色，將不同作物辨識類別結果塗以不同顏色，藉以達到區分各類別作物的效果，模型準確率為70.1%。由以上辨識結果即可找出場域中目標龍眼樹，以無人植保機之噴幅面積20.8平方公尺為標準，若樹冠範圍超過20.8平方公尺則設為兩個點位。設定完點位後進行提取經緯度，並從三維建模檔案中獲得樹梢的絕對高度，後續進行最佳路徑的規劃。路徑規劃方面，除使用蟻群演算法（蟻蟻演算法）及基因遺傳演算法外，另外再使用模擬退火演算法和粒子群演算法進行路徑規劃並比較。經

比較後，計算時間最少者為蟻群演算法，距離最短則為模擬退火演算法，因無人機噴灑農藥時目前考量的因素仍為最短距離為優先，以節省無人機的電池消耗量，因此推測模擬退火演算法是最佳之路徑規劃演算法。

三、荔枝椿象辨識系統

2018～2022年計畫期間，荔枝椿象辨識系統主要使用YOLOv4訓練模型，透過搭載在無人機上的raspberry pi 4嵌入式開發板，進行影像擷取與位置發報，剩餘的AI辨識任務傳送至雲端伺服器進行。高空影像辨識如離地高約2.5公尺，距離樹約0.5～1公尺，其平均辨識準確度約70.8%。如未設定高空影像高度及距離，任意挑選5張未放入訓練的高空影像進行計算，平均辨識率為55.02%，最佳辨識率可達79.6%。未來若能持續優化害蟲高空辨識系統之技術，荔枝椿象之無人偵測機將得



荔枝椿象高空辨識結果。

以執行荔枝椿象高空辨識任務，減輕坡地果樹之害蟲監測作業，甚至應用到廢耕園監測管理。

四、無人植保機噴頭選擇

噴頭是無人植保機施藥的關鍵因子之一，良好的噴頭性能及合適的噴頭類型能夠提升噴灑藥液霧滴沉積的均勻性，不僅能增加藥液的沉積量同時也可提升病蟲害的防治效果。而不同的害蟲危害特性跟位置，都可能影響到噴頭噴灑藥液的效益。透過Spraytec STP2000 (Malvern Instruments Ltd, Worcestershire, England) 進行噴頭霧滴粒徑分析，可以得知抗飄散類型噴頭 (IDTA12002、IDKT120025) 粒徑大於其他類型噴頭，IDTA12002 噴頭 Dv50 及 Dv90 分別為 461.33 μ m 及 766.77 μ m，IDKT120025 噴頭 Dv50 及 Dv90 分別為 433.35 μ m 及 746.74 μ m。非抗飄散類型噴頭

中，TR8003 之 Dv50 及 Dv90 為 162.93 μ m 及 343.66 μ m，大於其餘非抗飄散類型噴頭，粒徑最小噴頭為 ST11001，Dv50 及 Dv90 分別為 125.48 μ m 及 280.58 μ m。荔枝椿象因蟲體體型較大，且主要取食位置在荔枝龍眼的新梢，因此會建議使用噴頭粒徑較大的噴頭進行防治，如 TR8003 及 IDKT120025。

五、無人植保機噴霧附著情形及防治效果

試驗地點為臺南場荔枝及龍眼園，以無人植保機進行試驗，測試噴頭型號為陶瓷噴頭圓錐 TR8003 及抗飄散雙扇形 IDKT120025，共兩種噴頭型號，評估不同噴頭型號之噴霧附著情形及防治荔枝椿象效果。供試藥劑為 2.8% 第滅寧乳劑，稀釋倍數參考局部滴定法試驗之 LD90 分析結果，噴灑藥劑量為每棵樹 1 公升，與無施藥對照組。植保機飛行速度為 2m/s，飛行高度為樹冠頂 1m 處，飛行路徑為每棵樹樹冠左、中、右共三條，每條路徑來回噴灑一次。噴灑量為每棵樹 1 公升。噴灑前於每棵樹四個方位懸掛水試紙，每個方位 2 重複，每重複葉背及葉面各 1 張，均懸掛於樹冠層下方，以軟體 Image J (National Institutes of Health) 分析藥劑噴灑至水試紙上之面積 (% area) 及霧滴數量。藥劑試驗採逢機完全區

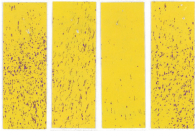
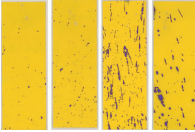


空心圓錐噴頭 TR8003。



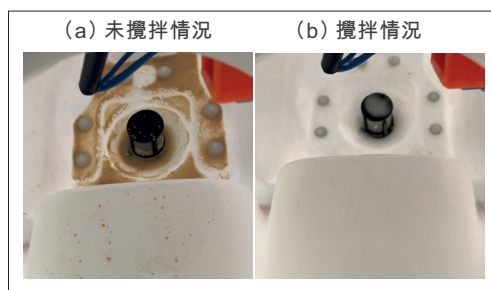
雙扇形抗飄散噴頭 IDKT120025。

表 1. 不同噴頭於葉背之噴霧沉積覆蓋率

噴霧沉積覆蓋率 %Area-葉背	
TR8003	IDKT120025
	
2.47±2.06	1.45±1.7

集設計 (RCBD)，每小區 1 株，每處理 2 重複，共 6 株。於每次施藥前及施藥後 7 天調查 1 次。

調查方式為每棵樹調查 10 個枝梢的成蟲及若蟲數量，並計算防治率。陶瓷圓錐噴頭 TR8003 於葉背的噴霧沉積覆蓋率為 2.47，而抗飄散系列的 IDKT120025 為 1.45 (表 1)。陶瓷噴頭圓錐 TR8003 及抗飄散雙扇形 IDKT120025，兩種型號噴頭防治率分別為 70 % 及 75 %。由於受限於無人植保機飛行與龍眼植株的高度，噴霧粒徑較小的噴頭容易使得藥液於噴灑過程中，因細霧滴的特性，容易飄散。雖然抗飄散雙扇形 IDKT120025 試驗的防治效果較佳，但陶瓷圓錐噴頭應用在無人植保機果樹噴施作業的葉背噴霧沉積覆蓋率效果較佳，可提高藥液附著到葉背的機率。因此陶瓷圓錐噴頭 (空心圓錐) 及抗飄散雙扇形均適合應用在果樹的無人植保機防治試驗。



攪拌裝置 (a) 未攪拌情況下，藥箱底部會有藥劑沉澱的現象 (b) 攪拌情況下，藥劑維持均質狀，藥箱底部沒有藥劑沉澱。

六、無人植保機之製造開發

成大航太系研發之無人植保機透過更換 Hobbywing X6 動力系統及搭載 G23*8.8 折疊槳，減輕機體重量及提升飛行效能，空載飛行時間提升為 17 分鐘，滿載飛行時間提升為 7.5 分鐘。另外，裝載對地雷達及鏡頭，提供無人植保機離地距離及即時影像之資訊，提升視距外之飛行安全。同時在藥箱裡加裝攪拌器裝置，在無人植保機進行農藥噴灑前，能夠先在藥箱裡進行攪拌，使得農藥可以完全溶解或良好懸浮，避免產生沉澱物，進而達到較佳的噴灑效果，同時也因透過噴藥過程中持續的攪拌動作，造成藥箱底部不會有沉澱，也不容易造成管路阻塞問題。

七、非化學防治方法研究

永續農業意識抬頭，過度依賴農藥不僅對環境生態造成不可逆之破

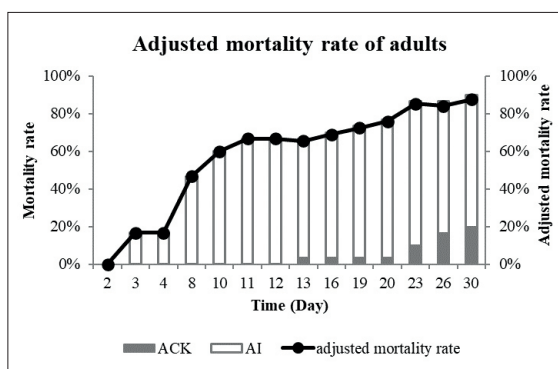
壞，亦對國民健康造成威脅，因此農藥減量為翻轉農業產銷體系之關鍵因子。臺南場就蟲生真菌以及非化學農藥資材之角度切入，自臺南市南化區之荔枝椿象蟲體分離純化一蟲生真菌，經鑑定確認為淡紫菌 *Purpureocillium takamizusanense*，並命名為淡紫菌 TNZZS6 菌株，致病力試驗證實淡紫菌 TNZZS6 菌株對荔枝椿象成蟲及若蟲皆具有感染能力，

展現其發展為微生物製劑之潛力。淡紫菌 TNZZS6 菌株量產可採取固態發酵或液態發酵兩種方式，臺南場透過篩選適當的發酵配方以及調整發酵條件，建立淡紫菌 TNZZS6 菌株量產發酵作業流程。

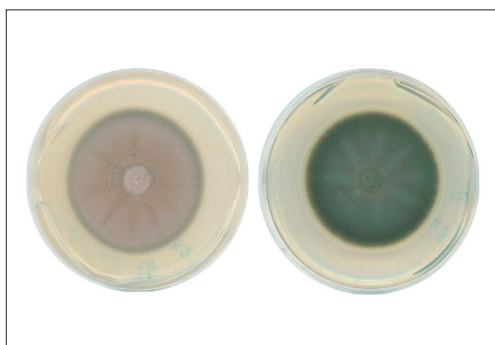
為瞭解淡紫菌 TNZZS6 菌株之發酵產物施用於田間之防治成效以及對其他非目標昆蟲之影響，藉由無人植保機噴施淡紫菌 TNZZS6 菌株之固態



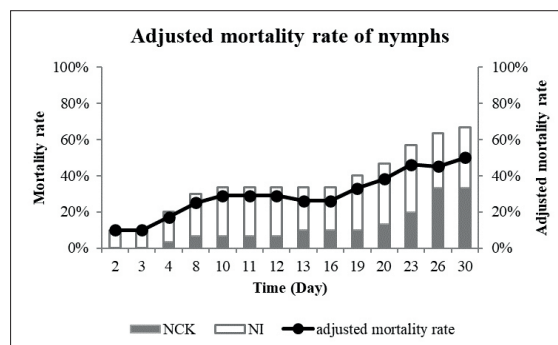
蟲生真菌感染之荔枝椿象。



淡紫菌 TNZZS6 菌株感染荔枝椿象成蟲之校正死亡率 (ACK：荔枝椿象成蟲對照組；AI：荔枝椿象成蟲接種處理組)。



蟲生真菌—淡紫菌之菌落型態。



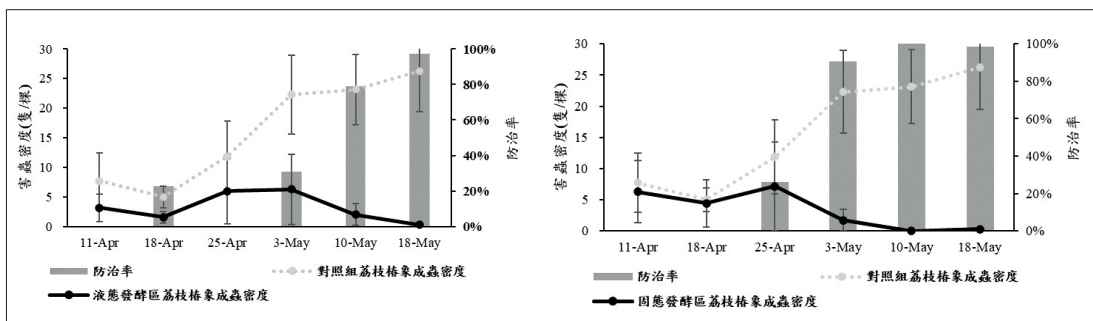
淡紫菌 TNZZS6 菌株感染荔枝椿象若蟲之校正死亡率 (NCK：荔枝椿象若蟲對照組；NI：荔枝椿象若蟲接種處理組)。



淡紫菌室內接種試驗之荔枝椿象成蟲及若蟲感染個體。



淡紫菌 TNZZS6 液態發酵 (左) 及固態發酵 (右)。



植保機噴施淡紫菌液態發酵產物之防治成效。

及液態發酵產物於坡地果園，觀察田間荔枝椿象族群數量變化，以評估淡紫菌 TNZZS6 菌株防治成效。淡紫菌液態發酵處理區以植保機連續噴施淡紫菌液態發酵產物後其荔枝椿象成蟲密度從 3.14 隻/棵，降低至 0.29 隻/棵，防治率為 97.3%。淡紫菌固態發酵處理區之荔枝椿象成蟲密度從 6.29 隻/棵，降低至 0.29 隻/棵，防治率為 98.6%。另外，透過致病性試驗測定淡紫菌 TNZZS6 菌株之寄主範圍，供作環境安全之基礎資料 (表 2)。淡紫

菌 TNZZS6 菌株可感染半翅目荔枝椿象、柑橘木蝨、二點小綠葉蟬及縷翅目小黃薊馬及豆花薊馬，其寄主範圍包含 2 目、4 科、5 種，主要仍集中於半翅目害蟲，該菌株對於小型昆蟲之致病過程短，具有應用潛力。

八、結論

本計畫團隊建立一套完整的無人機荔枝椿象 (*Tessaratoma papillosa* Drury) 防治技術，透過搭載嵌入式開

發板之無人偵測機進行高空影像擷取，連同座標位置回傳至伺服器進行深度學習影像辨識處理，並將結果呈現於農務管理網站之荔枝椿象族群熱點圖。

無人植保機噴藥路徑透過生物啟發式演算法進行規劃，同時考量荔枝椿象發生熱點位置以及樹冠大小來進行噴藥路徑之優化，確保無人植保機噴施過程防治資材能準確噴施於荔枝椿象熱點以及防治資材能完整的涵蓋害蟲發生範圍，以提升防治成效。此外，測試蟲生真菌淡紫菌 *Purpureocillium takamizusanense* TNZZS6 菌株之寄主範圍，作為環境

安全（非目標生物）之基礎資訊，並建立淡紫菌 TNZZS6 菌株之量產配方，供作無人機田間防治試驗之微生物製劑來源。本團隊研發之無人植保機亦搭載攪拌器裝置，避免防治資材沉澱於藥桶以及防止防治資材阻塞噴灑系統之現象，有效提升防治資材之防治成效。

本計畫整合上述多種領域技術來改善無人植保機噴施非化學農藥防治資材所遇到之問題，實現農藥減量替代策略之坡地果樹智慧農業技術，供作荔枝椿象綜合防治策略之新選項，朝友善環境之智慧農業邁進。

表 2. 淡紫菌 TNZZS6 菌株之寄主範圍

供試昆蟲	致病性
斜紋夜蛾 <i>Spodoptera litura</i>	-
秋行軍蟲 <i>S. frugiperda</i>	-
黃條葉蚤 <i>Phyllotreta striolata</i>	-
柑橘木虱 <i>Diaphorina citri</i>	+
二點小綠葉蟬 <i>Amrasca biguttula</i>	+
睡蓮蚜 <i>Rhopalosiphum nymphaeae</i>	-
荔枝椿象 <i>Tessaratoma papillosa</i>	+
小黃薊馬 <i>Scirtothrips dorsalis</i>	+
豆花薊馬 <i>Megalurothrips usitatus</i>	+
平腹小蜂 <i>Anastatus schichengensis</i>	-
義大利蜂 <i>Apis mellifera</i>	-