

應用農噴無人機導入蘇力菌防治龍骨瓣苔菜之褐帶紋水螟

楊尚唯^{1*}、曾偉樾¹、李念家¹、陳品鎔¹、林士勛¹、黃莉欣¹

摘要

楊尚唯、曾偉樾、李念家、陳品鎔、林士勛、黃莉欣。2024。應用農噴無人機導入蘇力菌防治龍骨瓣苔菜之褐帶紋水螟。臺灣農藥科學 17 : 19-41。

龍骨瓣苔菜 (*Nymphoides hydrophylla*) 俗稱水蓮或野蓮，為生長於水塘中之水生作物，統計資料顯示在高雄美濃地區栽種面積已超過 180 公頃。然近年發現褐帶紋水螟 (*Parapoynx crisonalis*) 會取食其葉片並造巢形成危害。為防治此害蟲，本研究先於室內篩選可防治此蟲之蘇力菌 (*Bacillus thuringiensis*) 產品，結果顯示庫斯蘇力菌產品於測試 120 h 後，褐帶紋水螟幼蟲死亡率最佳者可達 100%。結合無人機 (UAV) 進行蘇力菌的田間藥效試驗，無人機施藥參數測試結果顯示每公頃 40 L 的水量，其有效噴幅可達 2.73 ± 0.92 m；於龍骨瓣苔菜栽種後期，以飛行速度 2.6 m/s 與有效噴幅 2.7 m 等基本施藥參數下，以無人機噴施蘇力菌確認褐帶紋水螟之田間防治成效，結果顯示蘇力菌處理組可有效降低褐帶紋水螟之造巢率，並減少龍骨瓣苔菜葉片受危害之情形，本篇研究是第一篇應用無人機於龍骨瓣苔菜蟲害防治之研究，未來應有助於作為龍骨瓣苔菜蟲害防治工作之基礎。

關鍵詞：農噴無人機、蘇力菌、龍骨瓣苔菜、水蓮、野蓮、褐帶紋水螟

接受日期：2024 年 12 月 16 日

* 通訊作者。E-mail: sweiy@acri.gov.tw

¹ 臺中市 農業部農業藥物試驗所

前言

龍骨瓣苔菜 (*Nymphoides hydrophylla*), 俗名稱水蓮或野蓮 (英名: *Anemone* (世界蔬菜中心使用之名稱)⁽²⁷⁾、water skin lotus、crested floating-heart), 為臺灣原生種多年浮葉型水生植物, 於分類學上歸屬睡菜科 (Menyanthaceae), 苔菜屬 (*Nymphoides*) 植物。其原本為生長於高雄市美濃區中圳埤之水生野草, 當地多以「野蓮」之客語名稱呼此作物^(10, 26, 27)。在 1980 年代, 美濃鍾姓農民嘗試利用魚塢, 將野生龍骨瓣苔菜作為蔬菜進行栽種, 並以其細長的假莖作為食用部位, 發現口感爽脆, 具有獨特風味。因此從初期小面積栽培, 至後期逐漸擴大栽種規模⁽⁷⁾, 據美濃區農會統計, 2023 年全臺灣龍骨瓣苔菜總種植面積達 200 公頃, 其中超過 180 公頃皆種植於高雄美濃地區, 其產值已逾 1 億元新臺幣⁽¹⁶⁾, 儼然成為當地特色作物。時至今日龍骨瓣苔菜不僅為國內餐廳常見珍饈, 更外銷至日本、新加坡、香港及加拿大等國。而其營養價值上, 也有抗氧化相關研究報導, 如龍骨瓣苔菜之乙醇萃取物於抗脂質過氧化能力、還原能力、金屬離子螯合能力及去除 ABTS [2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)] 自由基之能力, 較其水萃取物佳; 而在清除超氧化物與 DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) 自由基之能力, 則為水萃

取物具較好活性^(5, 24)。此外, 在總酮酚比 [槲皮素(querletin)/ 山柰酚(kaempferol)] 的測試中發現, 龍骨瓣苔菜之乙醇萃取物比水萃取物具更高的酮酚比, 顯示其乙醇萃取物含較高之酮類及酚類化合物, 因而有最佳的抗氧化能力, 故龍骨瓣苔菜目前也被推薦作為抗氧化之食材來源^(5, 24)。

龍骨瓣苔菜 1 期作約 3 至 4 個月, 1 年共 3 至 4 期作, 在夏季溫度高時生長較快, 由於其栽培於水面下, 不易受梅雨或颱風等氣候因子影響產量, 四季皆可栽種, 因此成為當地農民種植作物之首選^(11, 13)。龍骨瓣苔菜栽種時, 其莖部長度可隨水位升高而增長, 因此魚塢或池塘成為其適合之栽培場域。為確保龍骨瓣苔菜的品質與產量, 近年農友不斷加深其種植池之深度, 目前以 150 cm 深最為常見^(7, 13, 15)。此外龍骨瓣苔菜生長雖主要為水生環境, 但其栽培過程仍與旱田作物一樣會受病蟲害影響。近年於龍骨瓣苔菜上發現一種可造巢之昆蟲, 且於傍晚巡田時, 經常可見蛾類出沒於田區周圍。依前人文獻調查發現, 目前在臺灣具有 8 科鱗翅目昆蟲的幼蟲生活於濕地環境, 包含天蛾科 (Sphingidae)、木蠹蛾科 (Cossidae)、夜蛾科 (Noctuidae)、紋翅蛾科 (Cosmopterigidae)、捲蛾科 (Tortricidae)、微蛾科 (Nepticulidae)、燈蛾科 (Arctiidae) 與草螟科 (Crambidae) 等, 其中只有部分燈蛾科、紋翅蛾科及草螟科為具有部份生活史階段在水中之水生昆蟲種類, 又以草螟科中之水螟亞科

(Acentropinae) 最多^(6, 17)。全世界現已發現 700 多種水螟亞科的昆蟲，除南極洲外，幾乎全球皆有水螟的蹤影⁽⁶⁾。在 1997 年顏氏之論文研究中，已將臺灣的水螟亞科重新調查並分類，其中水螟種類約有 9 屬 34 種⁽¹⁷⁾。又依 2010 年施等人報告指出臺灣水棲蛾類，屬於水螟亞科帶紋水螟屬 (*Parapoynx* spp.) 者，目前在臺灣已紀錄者計有 6 種，其多生活於靜水域，而二齡後幼蟲體上佈滿分枝氣管鰓，以利其呼吸，且幼蟲具有造巢習性，可造移動式蟲巢，其中又以褐帶紋水螟 (*Parapoynx crisonalis*) 為常見物種⁽⁶⁾。陳氏等人於 2023 年進行龍骨瓣苔菜病蟲害調查，並將田間採集之鱗翅目害蟲，進一步以形態學與分子生物學方式進行物種鑑定，結果顯示褐帶紋水螟為龍骨瓣苔菜栽培過程中之主要鱗翅目害蟲^(10, 11)。此昆蟲具廣食性，能取食多種水生植物，目前調查除龍骨瓣苔菜外，尚包含臺灣菱 (*Tapa bicornis* var. *taiwanensis*)、藍睡蓮 (*Nymphaea stellata*)、印度苔菜 (*Nymphoides indica*)、小苔菜 (*N. coreana*)、臺灣水龍 (*Ludwigia × taiwanensis*)、水王孫 (*Hydrilla verticillata*) 及水鱉 (*Hydrocharis dubia*) 等水生植物⁽¹⁰⁾。由此可知諸多水生觀賞植物皆為其寄主作物，故褐帶紋水螟被視為水生園藝作物之重要害蟲。依前人文獻指出簡述此害蟲生活史之卵期為 5-7 天、幼蟲期約 20 天、蛹期約 7 天、成蟲期約 5-7 天⁽¹⁰⁾，而 Chen 等人與 Li 等人研究中

指出褐帶紋水螟在 21°C 環境下具有較長的幼蟲期，平均為 24.6 天，顯見低溫下之幼蟲具有較長的取食時間；而於 24°C 時雌成蟲壽命較長，平均為 7.2 天，顯示於此溫度時雌成蟲則具有較長的產卵時期以擴大族群^(22, 25)。而此害蟲之幼蟲為咀嚼式口器，可取食龍骨瓣苔菜葉片，並造成孔洞，因此使葉面積減少進而影響光合作用效率，受害蟲嚴重危害時，甚至將葉片被完全取食，僅剩下假莖，造成假莖由傷口腐爛，最終影響龍骨瓣苔菜的產量與品質，而因褐帶紋水螟之造巢習性，在採收後未清除乾淨之蟲巢，亦有機會夾帶在假莖上，一並被包裝出貨，在外銷時造成檢疫上的問題。

目前龍骨瓣苔菜褐帶紋水螟之 2 大防治瓶頸，(1) 過往多以納乃得、硫敵克及克凡派等化學藥劑進行防治，雖具有顯著之防治成效，但其毒性對水域中其他生物造成影響，尤其如水雉等保育動物；(2) 早期噴藥工作多以人工背負式藥桶沿池邊施作，除人力成本高外，隨栽培水池面積擴大與噴藥器材長度限制，導致成為防治死角，不僅藥液較難以施用至水池中央之植株，採收時發現害蟲棲息於無噴灑之葉片上，不僅費工也成為褐帶紋水螟繁殖的溫床^(10, 11)。為解決施藥之困難，近年已陸續有業者投入利用農噴無人機 (Unmanned aerial vehicle, UAV, 下稱無人機) 進行藥劑噴灑，且為增加藥劑與標的害物之暴露接觸，藉由添加增效劑改變藥劑之物理特性，達到提升藥劑展佈效果，

測定藥液與植物的接觸角作為評估方式⁽²⁾。因此，為突破上述 2 大困境，本研究擬使用微生物農藥蘇力菌 (*Bacillus thuringiensis*) 作為防治藥劑，建立農噴無人機噴施蘇力菌之基本施藥參數，評估其對褐帶紋水螟之防治效果，並減少化學農藥使用造成對非目標生物的影響，提供農友選用環境友善資材之依據。

材料與方法

一、供試植物栽培與蟲源飼養

龍骨瓣苔菜植株採集自高雄市美濃區之龍骨瓣苔菜田區，並將其栽種於臺中市霧峰區農業藥物試驗所內之溫室中。試驗前將其種苗栽種於 3 吋盆中，再將盆栽轉置於黑色 90 L 普力桶 (外徑：700 × 785 mm，內徑：635 × 410 mm，高度：380 mm) 中，每兩週定期施加花寶 1 號 (取 1 g 肥料粉末加水定量至 1 L 後，取 100 mL 倒入普力桶中)，待栽培至葉片長滿普力桶水面，且葉片直徑約 5 cm 長時，進行試驗。

褐帶紋水螟之蟲源採集自高雄市美濃區龍骨瓣苔菜田區之蟲巢，並以龍骨瓣苔菜葉片作為其食物來源，於實驗室之水盆中繁殖，再利用外掛式過濾器，使盆中之水保持流動，於走入式生長箱中以溫度 25±1°C，濕度 65±10% RH 飼養。待第一代成蟲羽化後，將成蟲轉置於乾淨養蟲籠 (47.5 × 47.5 × 93 cm) 中，並於蟲籠中放置

裝水之水盆，再將健康龍骨瓣苔菜葉片放於水盆中供褐帶紋水螟成蟲產卵。卵孵化後取新鮮葉片放入水盆中供幼蟲取食，每 3 天換一次水，以保持水質乾淨，再取孵化後 7 天之二齡幼蟲進行試驗。

二、供試藥劑

褐帶紋水螟生物檢定及增效劑接觸角測定之供試藥劑：

生物檢定之供試蘇力菌產品，有庫斯蘇力菌 (*B. thuringiensis* subsp. *kurstaki*, Btk) 及鮎澤蘇力菌 (*B. thuringiensis* subsp. *aizawai*, Bta) 共 7 種產品，含水分散性粒劑 (WG) 及可溼性粉劑 (WP) 2 種劑型；而增效劑接觸角測定之供試增效劑，本研究選擇推薦於農噴無人機使用之增效劑，及一般農藥施作使用之增效劑共 5 種增效劑產品 (詳如表一)。

三、褐帶紋水螟生物檢定

(一)藥劑配製

選用表一所列之蘇力菌產品，並搭配界面活性劑 Tween 20 (島久藥品株式會社) 進行生物檢定。先取少量無菌去離子水加入 60 μL Tween 20 後，再以無菌去離子水定量至 600 mL，均勻混和後配製成 0.01% Tween 20 水溶液；分別稱取 0.4 g 之蘇力菌產品，以少量 0.01% Tween 20 水溶液溶解後，再以 0.01% Tween 20 水溶液定量至

200 mL，配製成稀釋 500 倍之蘇力菌藥液，其中配製過程搭配攪拌子與電磁攪拌機使蘇力菌產品均勻溶解於溶液中。

(二)生物檢定

室內生物檢定依許⁽⁹⁾ 等人研究中之浸葉法稍作調整如下，取乾淨龍骨瓣苔菜之葉片，以無菌水潤洗後浸泡至少 5 min，以乾淨擦手紙去除葉表之多餘水份，作為供試葉片。因龍骨瓣苔菜之葉表具有蠟質較不親水，為讓藥液能附著於葉片上，浸泡藥液時間調整為 20 s，浸泡後之葉片以

表面朝上，自然風乾 2-3 min 至葉表不見明顯水珠，即完成藥液處理。每處理 3 重複，每重複 3 片葉，盡可能挑選大小均一之葉片。以無菌鑷子夾取三片龍骨瓣苔菜葉片至含有濾紙 (Whatman[®]，直徑 6 cm) 的 9 cm 培養皿中，再以無菌軟鑷將褐帶紋水螟二齡幼蟲移至培養皿中；最後在培養皿內放置與培養皿大小相當之擦手紙以保持濕度，再覆上培養皿上蓋，飼養於溫度 25±1°C，濕度 65±10% RH 的走入式生長箱中，觀察 48、72 及 120 h 之幼蟲死亡率。本試驗由於受褐帶紋水螟室內大量飼養技術之限制，因此採多次試驗進行，

表一、本研究使用之蘇力菌產品及增效劑

Table 1. *Bacillus thuringiensis* (BT) products and adjuvants used in this study

BT product names	Formulation	Potency	Abbreviation in this study
<i>B. thuringiensis</i> subsp. <i>kurstaki</i> ABTS-351	54% WG ¹⁾	32,000 IU ^{3)/mg}	Btk ABTS-351
<i>B. thuringiensis</i> subsp. <i>kurstaki</i> E-911	60% WP ²⁾	30,000 DBMU ^{4)/mg}	Btk E-911
<i>B. thuringiensis</i> subsp. <i>kurstaki</i> SA-11	85% WG	32,000 IU/mg	Btk SA-11
<i>B. thuringiensis</i> subsp. <i>kurstaki</i> SA-12	70% WP	16,000 IU/mg	Btk SA-12
<i>B. thuringiensis</i> subsp. <i>aizawai</i> Ab12	60% WP	30,000 DBMU/mg	Bta Ab12
<i>B. thuringiensis</i> subsp. <i>aizawai</i> ABTS-1857	48.1% WG	35,000 DBMU/mg	Bta ABTS-1857
<i>B. thuringiensis</i> subsp. <i>aizawai</i> NB-200	54% WG	15,000 IU/mg	Bta NB-200
Adjuvant product names	Formulation	Potency	Abbreviation in this study
Kao Adjuvant A-200	Solution	Not Available	K-A-200
Feng Zhan	Solution	Not Available	FY-FZ
Nian Di	Solution	Not Available	SN-ND
Mai Fei	Solution	Not Available	GAC-MF
Narrow range oil	99% EC	Not Available	AG168-NRO

¹⁾ WG: Water dispersible granules (WG); a solid, non-dusty, granular formulation that consists of granules which disperse or dissolve quickly to form a fine particle suspension in water.

²⁾ WP: Wettable powder (WP); a powder formulation that forms a suspension after being dispersed in water.

³⁾ IU: International unit (IU); a unit of measurement that describes the effects or biological activities of a substance.

⁴⁾ DBMU: Diamondback moth unit (DBMU); a unit of measurement that describes the effects or biological activities of a substance.

而試驗過程中，每天皆觀察蟲體狀態並注意培養皿濕度及褐帶紋水螟之食物是否充足；如濕度不足至葉片乾癟時，褐帶紋水螟將不取食葉片，因此會於培養皿中適量添加 1 mL 之無菌水以保持濕度；如有食物不足之情況，如對照組褐帶紋水螟已將葉片取食完但仍未達觀察結束時間，放入未處理藥液之健康葉片至培養皿，供幼蟲作為食物來源，以避免因食物不足造成供試昆蟲死亡而評估錯誤。

四、無人機施藥參數測試

(一)無人機噴灑均勻度測試

本研究利用 7A Drones Co., Ltd 無人機(基本參數詳如表二) 噴灑不同水量，並

比較不同水量下，水敏試紙之霧滴數及覆蓋率之差異，以確認噴灑之均勻度。此測定方法修改自農業部農業試驗所之農機具性能測定報告⁽¹⁾，並調整每次飛行試驗測試 1 排水試紙，並增加測試飛行次數以達成試驗重複性。首先選定無人機主要飛行方向，在無人機直線行徑的路線下，於距起飛點 15 m 處，設置一寬 600 cm (如附圖一)，距地面 1 m 高的橫桿並垂直於無人機行徑路線，在橫桿上每 20 cm 設置 1 張水敏試紙，共設置 30 張水敏試紙。而無人機飛行高度，固定位於水敏試紙上方 2 m 處，測試環境風速為蒲福氏風級 2 級(風速 3.3 m/s) 以下，噴灑水量分別為 40 L/ha、60 L/ha 及 80 L/ha，其中不同水量需以不同飛速來達成，因此依序為 2.6、1.73 及 1.3 m/s。本研究測試不同用水量

表二、本研究無人機使用之基本參數

Table 2. Basic parameters of unmanned aerial vehicles (UAVs) used in this study

Classification	Parameters
UAV model / 無人機機型	7A Drones Co., Ltd, UAV model A610J
Dimensions / 機身規格(cm)	120(including propeller 175) × 156 × 80
Weight / 機身重量(kg)	14.73(Unloaded weight)
Maximum Take off Weight / 最大起飛重量(kg)	24.48
Number of Propellers / 槳葉數(blade)	16
Number of Rotors / 旋翼數	8
Rotor Diameter / 旋翼直徑(cm)	29.3 × 5.15
Nozzle Distance / 噴頭距離(cm)	37.5
Number of Nozzle / 噴頭數量	5
Nozzle type / 噴頭型號	TeeJet XR11001-VS
Water Pump Opening / 水泵開度(%)	50
Spraying height / 噴灑飛行高度(m)	2(above the water surface (crop))

下，於無人機噴灑後每平方公分之覆蓋率及其霧滴數，並以試紙廠商與前人文獻定義，施用殺蟲劑之每平方公分霧滴數應達 30 顆作為評估標準⁽⁸⁾，藉此判斷有效之施藥方法，並稱達標之噴灑範圍為有效噴幅。無人機噴灑作業後，待水敏試紙完全乾燥，將各採樣位置的水敏試紙黏貼至紀錄紙上，並以夾鏈袋封好放入防潮箱中保存，後續以掃描器將紀錄紙掃描存檔。掃描後的影像建立在影像處理軟體 Image J 中的 DepositScan (來自美國農業部 United States Department of Agriculture, USDA 之免費軟體) 進行霧滴數及覆蓋率紀錄與分析⁽²⁸⁾。

(二) 增效劑接觸角之測定

藥劑配製方法參考前人做法⁽²⁾，因推薦農噴無人機使用之增效劑，其建議稀釋倍數為 50-100 倍，而一般農藥施作使用之增效劑，其建議稀釋倍數為 1,000-3,000 倍，為避免因不同稀釋倍數造成比較之差異，因此本研究使不同產品測試條件一致，以稀釋 1,000 倍之增效劑溶液進行接觸角測試，做法為以 1.875% (w/v) Btk ABTS-351 溶液 (選擇本藥劑登記之每公頃 0.75kg 藥劑量，用水量為每公頃 40 L 作為藥劑比例)，分別加入 5 種不同增效劑，調配成 100 mL (w/v) 含蘇力菌之添加稀釋 1,000 倍各種增效劑藥液、未添加增效劑藥液，及無菌去離子水分別作為加增效劑之蘇力菌處理組、無添加增效劑之蘇

力菌處理組和對照組。

參考前人文獻方法^(2, 19)，取 5 mL 供試溶液置於接觸角測量儀 (Drop Shape Analyzer, KRÜSS DSA25, Hamburg, Germany) 之針筒內，將龍骨瓣苔菜葉片平鋪固定於玻璃載玻片，並置於載物檯上後，滴 2.5 μ L 含增效劑之 Btk ABTS-351 溶液於葉面上進行接觸角測定，並觀察及分別量測 0 到 20 s 內，每秒接觸角之變化，以比較添加不同增效劑對蘇力菌溶液接觸角之影響。

五、盆栽試驗

在臺中市霧峰區之農業藥物試驗所場域 (座標：24°00'57.5"N 120°41'49.8"E)，將龍骨瓣苔菜種植在 90 L 黑色普力桶 (外徑：700 × 785 mm，內徑：635 × 410 mm，高度：380 mm) 中，並栽培於溫室中，直到葉片長滿桶面方可進行試驗，另取二齡褐帶紋水螟幼蟲作為供試昆蟲。使用無菌軟鑷挑取 20 隻幼蟲到 9 盆健康龍骨瓣苔菜植株上，先靜置 16 h 確認幼蟲可於其上順利存活，且可利用葉片吐絲造巢。於施藥前先調查蟲巢數，並以無人機分別噴灑水 (對照組)、Btk ABTS-351 與 Btk ABTS-351 添加增效劑 (K-A-200，選用增效劑接觸角之測定結果較佳之產品) 共 3 實驗組。使用電動攪拌器配製蘇力菌藥液，其中以 1.875% (w/v) Bta ABTS-351 溶液為終濃度 (配製方法為秤取 93.75 g 之 Btk ABTS-351 以無菌去離子水定量成 5 L

之蘇力菌溶液，並添加稀釋 200 倍之增效劑 (K-A-200)，為避免阻塞噴頭，以濾網過濾掉較大藥劑顆粒，最終再以無人機進行藥劑噴灑，每處理三重複。試驗調查期間，龍骨瓣苔菜盆栽不換水，分別於施藥前及施藥後 48、72 和 168 h 調查活蟲數及蟲巢數，共調查 4 次。

六、應用無人機噴灑蘇力菌防治褐帶紋水螟之田間藥效評估

(一)樣區設計

以無人機於高雄市美濃區一處 0.3 ha 龍骨瓣苔菜田 (座標：22°53'50.6"N 120°32'23.2"E) 進行蘇力菌對褐帶紋水螟之藥效評估試驗，採逢機完全區集設計 (Random Complete Block Design, RCBD) 規劃試區⁽⁴⁾。由於本研究之試驗田為一池塘 (如附圖二)，其上游入水口及下游出水口，造成水流流向可帶動褐帶紋水螟蟲巢移動，為確認蟲害結果是否會受到水流流向影響，因此，試驗前依水流流向將田區先規畫成三個區集，各別為位於上游入水口附近水域之區集一、中段水域之區集二、及下游出水口附近水域之區集三，並於施藥前進行造巢率之調查。結果發現三個區集內之平均造巢率略為不均，依序為 4.11、6.70 及 5.67%，並具有統計上之顯著差異。故為避免水流影響蟲害調查結果，且考量害蟲除可剪葉造巢，亦可在葉片重疊處造巢之習性，無法調查到先前蟲

巢，本研究於第一次蟲巢調查完畢後，即以人工方式去除取樣框內之蟲巢，再進行後續施藥試驗。而在第一次施藥前，3 區集之造巢率依序為 1.92、1.69 及 1.91%，不具有統計上之顯著差異，顯示人工去除方式可使起始造巢率較為一致，並可減少水流對藥效評估之影響，而後續各試驗組配置則以逢機方式安排於整個試驗田區。

樣區之設計為沿岸邊每 3 m 設置一樣區，每樣區水池大小為 60 m² (3 m × 20 m)，樣區設置後，再沿著岸邊每 5 m 設置為緩衝區，其中緩衝區為 100 m² (5 m × 20 m) 大小的水池。在樣區距離岸邊 1.5 m 處，以樣方 (quadrat) 取樣法進行試驗設計⁽¹⁴⁾，設置 0.25 m² (0.5 m × 0.5 m) 的取樣框 3 個，全部試驗區共有 27 個取樣框，每個取樣框間之距離 25 cm，並以竹竿標示取樣框四角作為記號。

(二)處理藥劑與施用方法

本試驗於 2023 年 8 月執行田間試驗，2 藥劑處理組分別為 Btk ABTS-351 與含 K-A-200 增效劑之 Btk ABTS-351，並以去離子水作為對照組。其中以 1.875% (w/v) ABTS-351 溶液為終濃度 (秤取 93.75 g 之 Btk ABTS-351 以無菌去離子水定量至 5 L)，增效劑 (K-A-200) 則為稀釋 200 倍，並依樣區大小換算用藥量。配置完成之蘇力菌溶液以無人機進行施藥，每隔 7 天施藥一次，連續施藥 3 次。

七、調查與分析方法

由於褐帶紋水螟具有造巢習性，幼蟲自 2 齡開始吐絲造巢，目前觀察多為一巢一蟲^(10, 11)，故經由調查取樣框中之造巢率（巢數/葉片數），可初步作為田間幼蟲密度判定參考；而褐帶紋水螟幼蟲為咀嚼式口器，主要取食危害葉片，可在葉片上咬出缺刻，並將葉片包覆自身做巢，亦會取食葉片形成孔洞，造成葉片受損^(10, 11)，因此本研究藉由建立危害級數，計算危害度作為褐帶紋水螟幼蟲危害程度判定之依據。

(一)褐帶紋水螟造巢率調查

採樣調查始於褐帶紋水螟發生初期，採樣方法為樣方取樣法，每個取樣框為 0.25 m²⁽¹⁴⁾，隨機巡視試驗區龍骨瓣苔菜池之取樣框，調查取樣框內所有葉片，發現至少 2 個取樣框具 2 隻或 2 個以上幼蟲與蟲巢時，開始施藥。每處理每小區採 3 個取樣框，計數取樣框內蟲巢數後，再計算取樣框內總葉片數及取樣框內總巢數，以下列公式換算造巢率，造巢率 (%) = (取樣框內總巢數/取樣框內總葉片數) × 100。

(二)龍骨瓣苔菜葉片危害度調查與分析

於龍骨瓣苔菜田中以拍照取樣方式調查每個取樣框中的葉片危害情形，於每次

調查時，每個取樣框隨機挑選 12 片葉進行拍照紀錄，而每個樣區需調查 36 片葉片，整個試驗區域每次共調查 324 片葉片，後續依龍骨瓣苔菜葉片之危害級數進行危害度分析⁽²⁰⁾。危害級數主要依葉片危害程度進行分級，各級數定義如下：0 級：葉片未受害，1 級：葉片受害面積為 0-6%，2 級：葉片受害面積為 7-12%，3 級：葉片受害面積為 13-39%，4 級：葉片受害面積大於 40%以上（圖一）。葉片危害度之計算公式修正自前人調查害蟲危害度公式⁽¹²⁾，調整成下列公式：危害度 (%) = $(\sum (\text{級數} \times \text{該級被害葉片數}) / (5 \times \text{調查葉片數})) \times 100$ 。

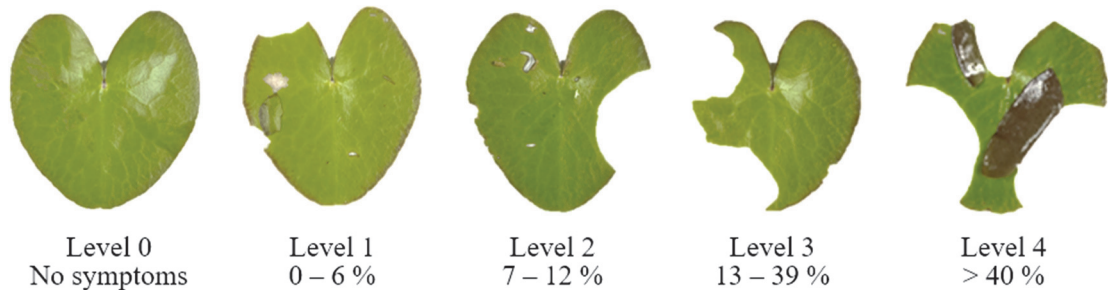
八、統計分析

數據皆以 SAS Enterprise Guide 7.1 版本執行單因子試驗之變方分析。若達顯著水準，則以 Fisher's 最小顯著差異性檢定 (LSD test, $\alpha = 0.05$) 進行事後檢定，測定 5%之顯著差異⁽⁴⁾。

結果

一、褐帶紋水螟生物檢定結果

在室內生物檢定中，觀察藥劑處理後 48、72 及 120 h 之褐帶紋水螟幼蟲死亡數，計算死亡率（表三），結果顯示處理後 48 h，Bta NB-200 處理組之死亡率最高，為 40±16.3%；在 72 h 時，以 Bta ABTS-



圖一、龍骨瓣苔菜葉片之危害度分級圖示。龍骨瓣苔菜葉片危害級，數依葉片危害度進行分級，各級數定義如下：0 級：葉片未受害；1 級：葉片受害面積為 0-6%，2 級：葉片受害面積為 7-12%，3 級：葉片受害面積為 13-39%，4 級：葉片受害面積大於 40% 以上。

Fig. 1. Damage severity rating scale of anemone leaves.

Level 0: leaves without symptoms, Level 1: damaged area of leaves was 0-6%, Level 2: damage area of leaves was 7-12%, Level 3: damaged area of leaves was 13-39%, and Level 4: damaged area of leaves was greater than 40%.

表三、不同蘇力菌產品對龍骨瓣苔菜上褐帶紋水螟幼蟲之生物檢定

Table 3. Bioassay of *Parapoynx crisonalis* larvae which were fed anemone leaves sprayed with *Bacillus thuringiensis* products

Sample	No. of larvae tested (n)	Cumulative Mortality (%) ¹⁾		
		48 hours	72 hours	120 hours
Btk ²⁾ ABTS-351	15	33.3 ± 18.9 a	53.3 ± 24.9 ab	100.0 ± 0.0 a
Btk E- 911	30	10.0 ± 8.20 b	20.0 ± 8.20 c	33.3 ± 4.7 c
Btk SA- 11	30	33.3 ± 17.0 a	43.3 ± 4.70 b	86.7 ± 9.4 a
Btk SA- 12	30	6.7 ± 4.70 b	20.0 ± 8.20 c	36.7 ± 4.7 c
Bta ³⁾ Ab12	30	10.0 ± 0.00 b	16.7 ± 9.40 bc	53.3 ± 4.7 b
Bta ABTS-1857	30	33.3 ± 17.0 a	73.3 ± 4.70 a	90.0 ± 8.2 a
Bta NB-200	15	40.0 ± 16.3 a	66.7 ± 24.9 a	86.7 ± 18.9 a
0.1% Tween 20	45	2.2 ± 3.70 b	8.9 ± 10.0 c	13.3 ± 9.4 d
Water control	105	3.8 ± 7.60 b	3.8 ± 7.60 c	3.8 ± 7.6 d

¹⁾ Cumulative Mortality (%) (Mean ± SE) , Means in the same time column that are followed by the same small letter were not significantly different (LSD, $\alpha = 0.05$).

²⁾ Btk: *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki*.

³⁾ Bta: *B. thuringiensis* subsp. *aizawai*.

1857、Bta NB-200 及 Btk ABTS-351 之處理組死亡率較高，分別造成褐帶紋水螟幼蟲死亡率為 73.3 ± 4.70 、 66.7 ± 24.9 及 $53.3 \pm 24.9\%$ ；於 120 h 時，則以 Btk ABTS-351、Bta ABTS-1857、Btk SA-11 及 Bta NB-200 造成褐帶紋水螟幼蟲死亡率分別為 $100 \pm 0.0\%$ 、 90.0 ± 8.2 、 $86.7 \pm 9.4\%$ 及 $86.7 \pm 18.9\%$ ；試驗過程中，以僅含 0.1% Tween 20 及純水作為對照組，至處理後 120 h 時的死亡率分別為 13.3% 及 3.8%，供試褐帶紋水螟蟲體及試驗過程完善，所得數據可靠。另外，處理後 120 h，發現蘇力菌處理組的褐帶紋水螟幼蟲之外觀體型明顯較 0.1% Tween 20 及對照組小，且龍骨瓣苔菜葉片被取食面積也較少。基於上述試驗結果，本研究後續選用 Btk ABTS-351 作為接觸角、盆栽試驗與田間試驗之蘇力菌產品。

二、龍骨瓣苔菜無人機施藥參數之測試

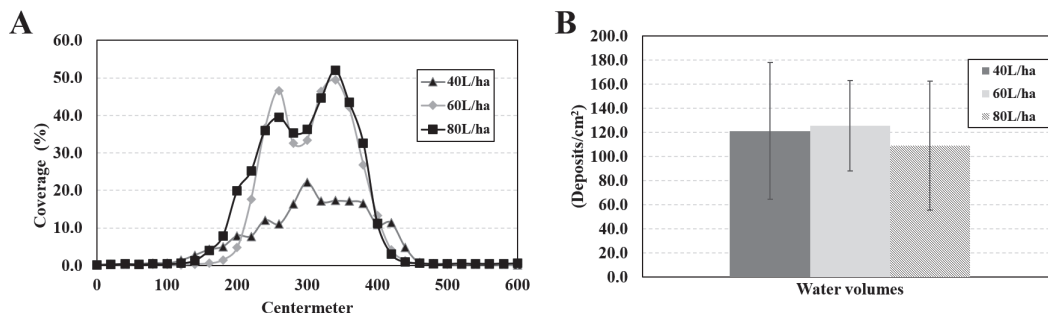
(一) 無人機噴灑均勻度測試

結果顯示噴幅大小依 40、60 及 80 L/ha 用水量順序各為 2.73 ± 0.92 、 2.53 ± 0.12 及 2.27 ± 0.12 m。而圖二 A 顯示於不同用水量之噴幅下的平均覆蓋率分別為 10.92、29.49 及 27.93%；圖二 B 顯示噴幅內的平均霧滴數依序約為 121.3 ± 56.7 、 125.8 ± 37.9 及 109.1 ± 53.6 顆/cm²；由上述結果可知以用水量 40 L/ha 時，噴幅略

大於 60 及 80 L/ha，而覆蓋率則是用水量 60 及 80 L/ha 兩者相當，噴幅內的平均霧滴數則為用水量 40 及 60 L/ha 兩者較接近，但其中於 80 L/ha 用水量下，因所噴灑出之大霧滴較多，連帶出現霧滴合併現象，因此較難量化出真正霧滴數，因此選擇噴幅較大，且平均霧滴數略高之 40 L/ha 作為本研究之無人機基本參數，也作為各試驗之用水量依據。

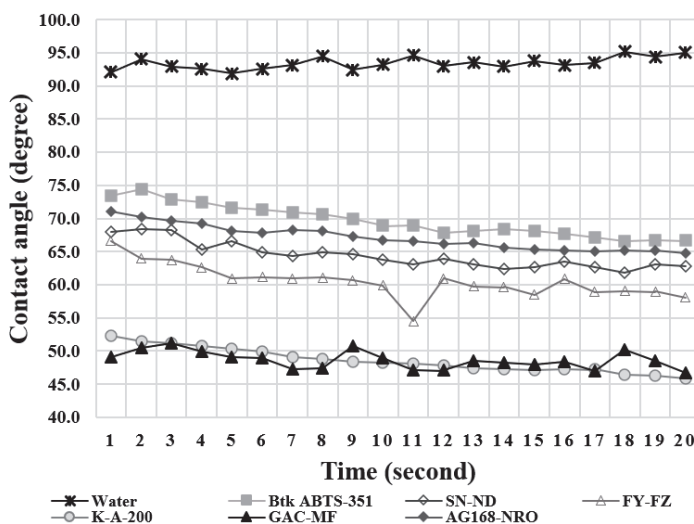
(二) 增效劑接觸角之量測

因龍骨瓣苔菜葉表具有蠟質，且栽培於水域環境，為增加蘇力菌附著在葉表之效果，施藥時擬添加增效劑，故測試接觸角以作為增效劑的評估依據。將 5 種增效劑加入蘇力菌溶液，進行接觸角測定，結果如圖三比較不同增效劑在龍骨瓣苔菜葉片上之展佈效果。從折線圖可發現，對照組之接觸角從起始到觀察結束 20 s 時，均維持在 91-95°，而單純 Btk ABTS-351 處理組，其起始接觸角約為 73° 並隨時間逐漸降至 66°，顯示此處理組與水對照組相比，已具有較佳之展佈能力；另於 Btk ABTS-351 溶液添加不同增效劑之處理組，其展佈效果皆較 Btk ABTS-351 之處理組與對照組為佳，其中在含有 SN-ND、FY-FZ 及 AG168-NRO 之溶液的接觸角，從 66-71° 逐漸降至 58-64°，而添加增效劑 K-A-200 與 GAC-MF 之處理組，其起始接觸角約為 50-52°，為所有處理組中起始接觸角最小者，並隨時間逐漸降至 45-46°，



圖二、無人機噴灑不同用水量於水敏試紙上之霧滴 (A) 覆蓋率與 (B) 數量。用水量分別為 40、60 和 80 L/ha，而水敏試紙在 600 公分距離內設置 30 張，每張水敏試紙面積為 988 mm²。

Fig. 2. The (A) coverage and (B) number of droplets deposited on water-sensitive paper with different water volumes sprayed by unmanned aerial vehicle (UAV). Thirty pieces of water sensitive paper were placed within a 600 cm distance. The size of water sensitive paper was 988 mm². Water volumes were 40, 60, and 80 L/ha, respectively.



圖三、混有各別五種增效劑 (稀釋 1,000 倍) 之庫斯蘇力菌 ABTS-351 產品於龍骨瓣苔菜葉表上之接觸角變化情形。

Fig. 3. Variation of contact angles on anemone leaf surfaces treated with *Bacillus thuringiensis* ABTS-351 products containing five different adjuvants (diluted 1,000 times).

經 20 s 後本處理仍具有最小之接觸角，且 K-A-200 的接觸角有依時間降低之趨勢，在觀察期間中皆穩定減少，雖然 GAC-MF 接觸角偶爾會有再升高之情形，但其整體趨勢與 K-A-200 處理組相同。因此顯示當 Btk ABTS-351 溶液添加供試之增效劑產品後，皆可降低 Btk ABTS-351 溶液於龍骨瓣苔菜葉片上之接觸角，而在固定時間內 K-A-200 與 GAC-MF 具降低接觸角之能力，為供試之 5 種增效劑中，效果較佳的 2 種，又以 K-A-200 之接觸角的降低趨勢最為穩定，因此後續試驗選擇 K-A-200，作為本次研究盆栽試驗與田間試驗之蘇力菌增效劑。

三、以盆栽試驗評估應用無人機噴灑蘇力菌防治褐帶紋水螟之防治效果

以施藥前後之造巢數與褐帶紋水螟二齡幼蟲數之變化情形評估其防治效果，試驗結果如圖四所示。施藥後 48 h，各處理組和對照組之蟲巢數為 11-19 個 (圖四 A)，3 者間於統計上不具顯著差異；72 h 後使用蘇力菌及其添加增效劑者之蟲巢數，分別為 12-17 及 15-17 個，均顯著低於對照組 (18-22 個)；至 168 h 後，蘇力菌與其添加增效劑者的蟲巢數，分別為 9-11 個與 11-12 個，與對照組 (為 18-23 個) 具顯著差異，由此可知施用蘇力菌後，造巢數會依時間增加而持續減少。另二齡幼蟲數調查結果顯示，施用蘇力菌之 2 處理

組皆略低於對照組，且於施藥後 48 h，處理組與對照組間之蟲數，具統計上之顯著差異 (圖四 B)；施藥後 72 h 處理組與對照組間之蟲數，不具統計上之顯著差異 (圖四 B)；經 168 h 後，僅剩單獨施用蘇力菌者與對照組於統計上仍具顯著差異，而添加增效劑者之蟲數雖較對照組低，然並無統計上差異。但經 168 h 後觀察蟲體大小可發現，施用蘇力菌之兩處理組明顯小於對照組 (圖四 C-E)，且對照組已有部分幼蟲進入蛹期，而處理組皆未見。此結果顯示含蘇力菌之處理組，皆可明顯降低褐帶紋水螟的造巢數，雖在 72 h 處理組與對照組間之蟲數並未比對照組少，但蟲巢數是減少的，可能與幼蟲因無法順利取食，且蟲體較對照組小，表示取食能力也較小，所以雖然蟲數沒變少，但處理組之蟲體應以受蘇力菌影響，而減少取食量與造巢能力，因此表示應用無人機施用蘇力菌，具有降低褐帶紋水螟危害之潛力，並可達一定程度之防治效果。

四、應用無人機噴灑蘇力菌防治褐帶紋水螟之田間藥效評估

褐帶紋水螟危害調查則於第 1 次施藥前調查 1 次 (2023 年 8 月 9 日)，每次施藥後 7 天各調查 1 次，共調查 4 次 (於 8 月 10 日進行第一次施藥，第二次調查於 8 月 16 日進行，8 月 17 日進行第二次施藥，第三次調查於 8 月 23 日進行，8 月 24 日進行第三次施藥，於 8 月 30 日進行第四次調查。其應用

無人機於龍骨瓣苔菜試驗田區施用蘇力菌防治褐帶紋水螟之結果如圖五所示。

(一) 褐帶紋水螟造巢率之調查

施藥前之造巢率調查結果顯示，兩處

理組與對照組之樣區具顯著差異，蘇力菌及其添加增效劑樣區之平均造巢率，分別為 5.96 ± 0.01 及 $5.52 \pm 0.01\%$ ，而對照組則為 $4.00 \pm 0.01\%$ ，因此須經人工去除造巢。經以人工去除造巢並施用第 1 次藥劑 7 天 (7DAA1) 後蘇力菌之處理組的平均造

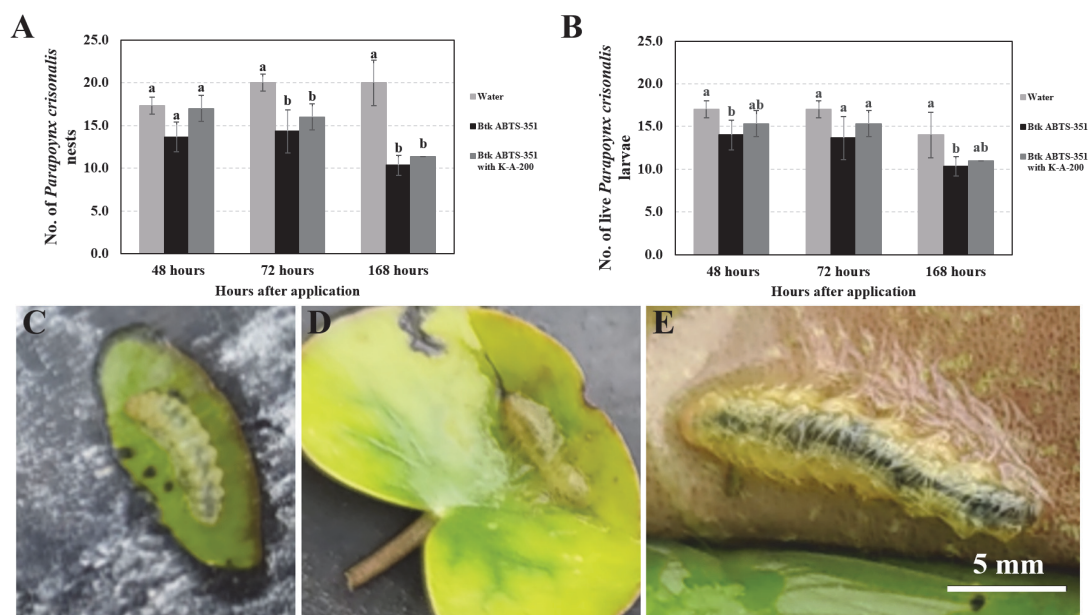
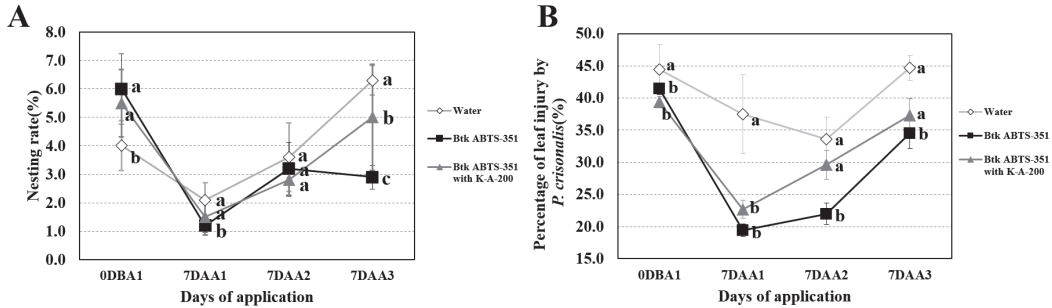


圖 4、應用無人機噴灑蘇力菌與其添加增效劑之藥劑於盆栽試驗之褐帶紋水螟防治成效，相關評估指標包含 (A) 造巢數、(B) 活蟲數及施藥後 168 h 之蟲體生長情形：(C) 蘇力菌、(D) 蘇力菌添加增效劑與 (E) 對照組之蟲體大小間具明顯差異 (比例尺為 5 mm)。

Fig. 4. The efficacy of using UAV to spray *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* (Btk) ABTS-351 with and without K-A-200 adjuvant to control *Parapopynx crisonalis* in potting test. Assessment indicators included (A) numbers of *P. crisonalis* nests, (B) number of live larvae, and (C-E) insect growth 168 hours after pesticide application. There were significant difference in insect size among samples treated with (C) Btk ABTS-351 (D) Btk ABTS-351 with K-A-200 adjuvant, and (E) Water (control). Scale bar = 5 mm. Data values are means \pm standard error, whereby different letters represent significantly different results according to LSD at $p < 0.05$.



圖五、田間試驗中應用無人機噴灑蘇力菌 Btk ABTS-351 與添加增效劑 K-A-200 的蘇力菌溶液防治褐帶紋水螟成效，評估指標包含 (A) 造巢率，(B) 危害度。水為對照組。0DBA1、7DAA1、7DAA2 和 7DAA3 分別代表在施藥前、第一次施藥後 7 天、第二次施藥後 7 天和第三次施藥後 7 天。

Fig. 5. The efficacy of using UAV to spray Btk ABTS-351 with and without K-A-200 adjuvants to control *Parapoinx crisonalis* in field trials.

Assessment indicators included: (A) The nesting rate of *P. crisonalis* and (B) the severity of anemone leaf damage caused by *P. crisonalis*. Water was used as a control. The abbreviations 0DBA1, 7DAA1, 7DAA2 and 7DAA3 mean 0 day before 1st application, 7 day after 1st application, 7 day after 2nd application and 7 day after 3rd application, respectively. Values that are associated with the same time point on the same line graph and are followed by the same letter were not significantly different (LSD, $\alpha = 0.05$).

巢率最低 ($1.16 \pm 0.00\%$)，與其添加增效劑者 ($1.55 \pm 0.01\%$) 及對照組 ($2.11 \pm 0.01\%$)，皆具顯著差異；第 2 次施藥後 7 天 (7DAA2)，對照組、蘇力菌及其添加增效劑者之平均造巢率，分別為 3.59 ± 0.01 、 3.21 ± 0.01 及 $2.83 \pm 0.01\%$ ，兩藥劑處理組之造巢率雖較低，但皆與對照組於統計上無顯著差異；而在第 3 次施藥 7 天後 (7DAA3)，蘇力菌及其添加增效劑者之平均造巢率，分別為 2.92 ± 0.00 及 $4.97 \pm 0.02\%$ ，各別較對照組 ($6.33 \pm 0.01\%$)

減少 3.41 及 1.36%，且兩處理組與對照組之造巢數具統計上之差異，其中又以僅蘇力菌組具最低的造巢率 (如圖五 A)。

(二) 龍骨瓣苔菜葉片危害度調查

本試驗除造巢數外，亦利用龍骨瓣苔菜之葉片危害度，作為防治藥效之評估標準。經 4 次調查結果顯示 (如圖五 B)，於施藥前 (0DBA1)，單獨蘇力菌及其添加增效劑處理組，平均危害度分別為 $41.4 \pm$

0.88 及 $39.4 \pm 0.94\%$ ，低於對照組之 $44.4 \pm 3.87\%$ ，且兩處理組與對照組間具顯著性差異；第 1 次施藥後第 7 天 (7DAA1)，蘇力菌及其添加增效劑處理組之危害度，分別為 19.4 ± 1.01 及 $22.7 \pm 1.41\%$ ，皆顯著低於對照組之 $37.5 \pm 6.14\%$ ；在第 2 次 (7DAA2) 與第 3 次 (7DAA3) 施藥後第 7 天調查，蘇力菌及其添加增效劑處理組之危害度，分別為 21.9 ± 1.71 與 $29.6 \pm 2.25\%$ ，及 34.4 ± 2.32 與 $37.2 \pm 2.67\%$ ，其中僅蘇力菌處理組與對照組 (33.5 ± 3.41 及 $44.7 \pm 1.94\%$) 相比，具統計上之差異。此外於 3 次施藥後，單純蘇力菌處理組之葉片危害度較添加增效劑組低，且在第 2 次及第 3 次之調查結果，皆與對照組及其添加增效劑組具統計上差異，顯示單獨使用蘇力菌即有較佳的防治效果。而在調查葉片危害程度時亦發現，在施用蘇力菌的 2 個處理組，褐帶紋水螟之蟲巢大小與幼蟲體型皆較對照組小。

討論

蘇力菌為現今著名之生物農藥，其產生的毒蛋白結晶對多種害蟲，具有高度專一性的毒殺作用，包含鱗翅目、雙翅目和鞘翅目等，因其對哺乳類動物和非目標生物無害，故被認為具取代化學農藥之潛力。2016 年 Baniszewski 等人研究應用蘇力菌防治水螟，結果顯示施用庫斯蘇力菌 SA-12 可顯著影響小帶紋水螟 (*Parapoynx diminutalis*) 蟲體的成長⁽²¹⁾；我國現已核

准使用庫斯蘇力菌 ABTS-351 及鮎澤蘇力菌 NB-200，防治龍骨瓣苔菜之鱗翅目害蟲。而本研究之室內生物檢定結果指出，褐帶紋水螟被餵食含有 Btk ABTS-351 之葉片後於 120 h 具最高死亡率 (100%)；而餵食 Bta NB-200 後 120 h 之死亡率可達 $86.7 \pm 18.9\%$ ，顯示目前臺灣所核准之蘇力菌均具一定程度的防治效果。本研究使用之其他蘇力菌產品，經生物檢定顯示 Btk SA-11、Bta NB-200 及 Bta ABTS-1857 也具有一定之防治效果。本研究發現蟲體之死亡率，會隨蘇力菌菌株不同而出現程度上差異，且部分幼蟲雖尚能存活，但其重量與體型大小均明顯小於對照組，推測褐帶紋水螟可能因取食蘇力菌中毒，而影響幼蟲的正常發育，並延緩蟲重增加，進而仍可降低害蟲危害，此外依據試驗結果發現於蘇力菌處理組中，其供試昆蟲之體型均較對照組小，與林等人的研究⁽³⁾中，餵食斜紋夜蛾幼蟲含有 *Cry1C* 毒蛋白之蘇力菌培養液，有相似的現象。因此顯見蘇力菌具有防治田間褐帶紋水螟的潛力，惟相關機制仍待未來探討。

由無人機施藥參數測試結果可知，在流量固定的情況下，飛速將與每公頃用水量成反比。本研究進一步以水泵開度 50%、噴頭壓力為 2.55 kgf/cm^2 與單一噴頭平均每秒流量約為 30.7 mL 等條件進行覆蓋率測試，發現覆蓋率將隨水量增加而提高，然水敏試紙蒐集的霧滴達飽和後，覆蓋率變化較為不明顯。而從無人機噴灑均勻度測試結果中顯示，不同水量下有效噴

幅內的平均霧滴數均高於殺蟲劑之霧滴數標準以上，而在平均霧滴數計數時，高水量也會因水分佈密度較高，造成霧滴重疊，使單一霧滴的大小變大，進而使測量時之霧滴數變少，但霧滴重疊數過高時，單位面積下的藥液數量也會因此提高。因此本研究綜觀有效噴幅及霧滴數結果，選用噴幅相對較大且霧滴大小較穩定之 40 L/ha 用水量，作為後續噴栽及田間試驗之無人機用水量。

目前農藥之增效劑可分為製劑用與農藥噴灑等兩種增效劑，前者主要是商品組成中的添加物，後者則是提高農藥在不同噴灑狀況時之展佈效果的增效劑⁽¹⁸⁾。先前 dos Santos 氏等人研究⁽²³⁾為探討蘇力菌與增效劑間之相容性，將相同蘇力菌搭配 6 種不同類型之增效劑噴灑於葉片上並餵食秋行軍蟲，結果顯示可溼性粉劑之劑型與大豆油衍生的非離子滲透界面活性劑 LI 700 可有效增加藥效或具協力效果。而本研究亦結合增效劑以確認是否可提升田間防治效果，然而在盆栽試驗或田間試驗，單獨蘇力菌處理組之防治藥效卻較添加 K-A-200 增效劑之處理組佳，顯示本試驗所使用之增效劑 K-A-200 無提升田間防治褐帶紋水螟之效果；推測防治效果與蘇力菌產品本身關聯性較高，與展佈能力較無關聯；亦可能與增效劑使用量相關，本研究中田間藥效驗證試驗所使用之增效劑稀釋倍數為 200 倍，其劑量較原推薦倍數稀釋 50 倍高，惟於測試不同稀釋倍數之先期試驗中，發現稀釋 50 倍之增效劑在

龍骨瓣苔菜上略有藥害發生(著者，未發表)，爰此本試驗未使用原推薦倍數使用。

結論

本研究藉由在美濃地區的龍骨瓣苔菜作物田進行無人機施用蘇力菌之防治試驗結果顯示，若以新樂飛無人機股份有限公司 A610J 機型的無人機 (25 kg 以下，5 顆噴頭) 搭配蒲福風級 2 級 (風速為 3.3 m/s) 以下，以每公頃 40 L 的水量、飛行速度 2.6 m/s，有藥效噴幅為 2.7 m 等基本參數進行蘇力菌施藥 (依推薦使用量每公頃施用 0.75 kg) 時，可達良好的蟲害防治效果。在整個試驗期程中雖遭遇兩次颱風，但由造巢率與危害度調查結果可知藥劑處理組皆具較佳的防治效果，且於第 1 次及第 3 次施藥後 7 天之造巢率，及第 1、2 及 3 次施藥後 7 天之葉片危害度，蘇力菌處理組與對照組皆有顯著差異，顯見蘇力菌可減緩褐帶紋水螟對龍骨瓣苔菜葉片之危害。後續期望藉由本試驗之參數作為應用無人機噴灑蘇力菌於龍骨瓣苔菜上之基本施藥參數，以協助改善龍骨瓣苔菜褐帶紋水螟防治人力缺乏之問題，並解決過去水池中央不易噴灑藥劑的困境。

龍骨瓣苔菜在國際上屬新興作物，對於許多國家而言，為新型蔬菜來源，隨著國內市場與外銷國家之需求日益漸增，用藥安全與外銷品質也逐漸受到重視。但近年陸續因外銷產品上發現在莖上作巢之褐

帶紋水螟，而衍生出檢疫問題，因此盼能藉由導入無人機施用農藥方式，減少龍骨瓣苔菜栽培水池中防治不佳的地方，及在採收後期使用安全之微生物農藥資材-蘇力菌，使褐帶紋水螟可增加防治解方，也降低農藥殘留之風險。此外無人機施用農藥在現代農業中日益普及，其能實現精準施藥、高效率、節省勞動力等效益，而本篇研究是第一篇應用無人機於龍骨瓣苔菜之蟲害防治研究，期盼相關研究參數與成果能於未來作為建立良好智慧農業施作模式時之參考基礎。

謝辭

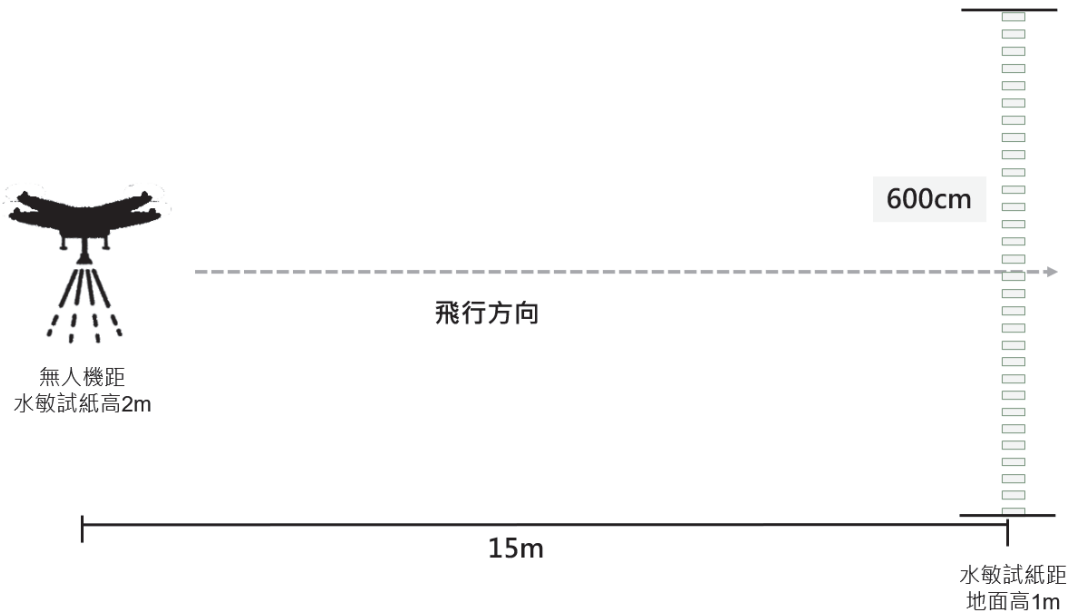
本研究承蒙農業部智慧農業計畫 112 農科-13.3.1-藥-P1 及科技計畫 112 農科-5.4.2-藥-P2(6)計畫經費支持，感謝本所徐慈鴻所長於試驗初期帶領規劃討論，並給予田間試驗設計建議、高雄區農業改良場陳明吟助理研究員提供龍骨瓣苔菜田間栽培管理經驗、陳建儒先生提供害蟲飼養寶貴經驗，僅此一併致謝。

引用文獻

1. 行政院農業委員會農業試驗所。2020。農機具性能測定報告-樂飛牌 A610 型植保無人噴藥機。第 511 號。
2. 何明勳、吳智遠、陳妙娟、馮海東。2005。以動態表面張力及接觸角變化評估展著劑之功效。植物保護學會會刊 47：59-68。
3. 林志輝、吳淑盆、高穗生、曾經洲。2002。利用基因型鑑定策略發現有效殺蟲活性之台灣本土新型蘇力菌 *cry1C* 基因。植物保護學會會刊 44：233-244。
4. 林筑蘋、蔡志濃、謝廷芳、安寶貞。2020。紅龍果花期與幼果濕腐病 (病原 *Gilbertella persicaria*) 之藥劑篩選與田間防治。台灣農業研究 69：207-217。
5. 林鉅泰。2017。龍骨瓣苔菜(野蓮)生物活性成分最適化萃取條件與抗氧化能力之探討。國立屏東科技大學碩士論文。屏東。86 頁。
6. 施禮正、顏聖紘、陳宏洲。2010。蛾兒水中游-臺灣的水螟。自然保育季刊 70：36-42。
7. 張正揚。2007。季節優勢的美濃地產一野蓮。鄉間小路月刊 33：74-77。
8. 許如君、馮海東。2017。農藥施用的迷思-農藥噴灑是門技術。農業世界 406：41-46。
9. 許如君、龔庭毅、劉佩芳、李建佑、馮海東。2012。小菜蛾對 21 種登記殺蟲劑的田間感受性調查及敏感品系感受性基準資料的建立。台灣昆蟲 32：25-40。
10. 陳建儒、陳明吟。2023。野蓮水螟蛾知多少。高雄區農業專訊 123：20-22。
11. 陳建儒、陳明吟。2023。褐帶紋水螟 (*Parapoynx crisonalis*)於野蓮田間生態調查與藥劑感受性評估。中華植物保護學會 112 年度年會暨論文宣讀摘要集。嘉

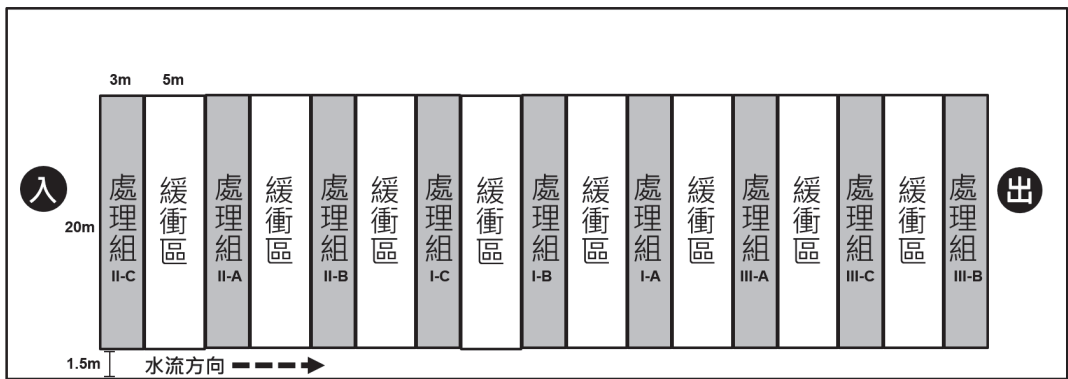
- 義市。
12. 溫宏治、劉政道。2008。台灣高屏地區玉荷包荔枝害蟲種類、危害調查與果實套袋試驗。台灣農業研究 57：133-142。
 13. 劉敏莉。2006。美濃鄉土蔬菜~野蓮。高雄區農情月刊 111：8-9。
 14. 蕭光輝。1989。水稻田新殺草劑藥效田間試驗。高雄區農業改良場研究彙報 2：55-58。
 15. 謝振宗、程培榮、謝沛展、陳國明、黃嘉隆、林志秋。2005。龍骨瓣苔菜。南瀛植物探索 2-南瀛水生植物篇，第 52-54 頁。臺南縣政府。臺南。
 16. 鍾清輝、范雅鈞。2024。美濃野菜三寶：野蓮、福菜、尖瓣花。美濃農民曆：12-17。
 17. 顏聖紘。1997。水螟亞科與凹翅螟亞科(鱗翅目：螟蛾科) 主要支系之系統發育分析以及臺灣產種類之分類檢討。國立中山大學碩士論文。高雄。486 頁。
 18. 羅致逵。1989。農藥增效劑之應用。藥毒所專題報導 15：1-7。
 19. Abdullah, A. O., Muhammed, F. K., Yu, H., Pollington, S., Xudong, S., and Liu, Y. 2019. The impact of laser scanning on zirconia coating and shear bond strength using veneer ceramic material. Dent. Mater. J. 38: 452-463.
 20. Alheeti, A. A., Farhan, M. A., Al-Saad, L. A., and Theer, R. M. 2021. Evaluation of the performance of ImageJ, leaf doctor applications, and visual assessments in measuring severity of two leaf spot diseases. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 761: 012030.
 21. Baniszewski, J., Weeks, E. N. I., and Cuda, J. P. 2016. *Bacillus thuringiensis* subspecies *kurstaki* reduces competition by *Parapoynx diminutalis* (Lepidoptera: Crambidae) in colonies of the hydrilla biological control agent *Cricotopus lebetis* (Diptera: Chironomidae). Fla. Entomol. 99: 644-647.
 22. Chen, Q., Li, N., Wang, X., Ma, L., Huang, J. B., and Huang, G. H. 2017. Age-stage, two-sex life table of *Parapoynx crisonalis* (Lepidoptera: Pyralidae) at different temperatures. PLoS One 12: e0173380.-
 23. dos Santos, C. A. M., do Nascimento, J., Gonçalves, K. C., Smaniotto, G., de Freitas Zechin, L., da Costa Ferreira, M., and Polanczyk, R. A. 2021. Compatibility of *Bt* biopesticides and adjuvants for *Spodoptera frugiperda* control. Sci Rep. 11: 5271.
 24. Ko, H. J., Huang, S. H., and Ng, L. T. 2014. Chemical compositions and antioxidant activities of a specialty aquatic vegetable *Nymphoides hydrophylla* in Taiwan. J. Aquat. Food Prod. Technol. 23: 591-600.
 25. Li, N., Chen, Q., Zhu, J., Wang, X., Huang, J. B., and Huang, G. H. 2017. Seasonal dynamics and spatial distribution pattern of *Parapoynx crisonalis* (Lepidoptera:

- Crambidae) on water chestnuts. PLoS One 12: e0184149.
26. Li, S. P., Hsieh, T. H., and Lin, C. C. 2002. The genus *Nymphoides Séguier* (Menyanthaceae) in Taiwan. *Taiwania* 47: 246-258.
27. Lin, L. J., Hsiao, Y. Y., and Kuo, C. G. 2009. Anemone. Discovering indigenous treasures: Promising indigenous vegetables from around the world. pp.188-191. *In*: AVRDC-The World Vegetable Center Publication No. 09-720. AVRDC-The World Vegetable Center. Tainan, Taiwan. 317pp.
28. Zhu, H., Salyani, M., and Fox, R. D. 2011. A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution. *Comput. Electron. Agric.* 76: 38-43.



附圖一、無人機噴灑均勻度測試飛行路徑圖。

Appendix Fig. 1. UAV flight path map of spraying test.



附圖二、本研究田間試驗設計示意圖。

Appendix Fig. 2. Schematic diagram of field trials performed in this study.

UAV Application of *Bacillus thuringiensis* to control *Parapoynx crisonalis* in Anemone Crops

Shang-Wei Yang^{1*}, Wei-Ti Tseng¹, Nien-Chia Li¹, Pin-Chun Chen¹, Shi-Xun Lin¹, Li-Hsin Huang¹

Abstract

Yang, S. W., Tseng, W. T., Li, N. C., Chen, P. C., Lin, S. X., and Huang, L. H. 2024. UAV application of *Bacillus thuringiensis* to control *Parapoynx crisonalis* in anemone crops. Taiwan Pestic. Sci. 17: 19-41.

Nymphoides hydrophylla, commonly known as anemone, water skin lotus, or crested floating-heart, is an aquatic crop of Taiwan that is grown in ponds. Statistical data indicates that the total area of cultivated *anemone* in the Meinong region of Kaohsiung currently exceeds 180 hectares. In recent years, an insect pest was identified as *Parapoynx crisonalis* on anemone leaves. *P. crisonalis* is capable of damaging crops by feeding and nesting. The current study screened *Bacillus thuringiensis* (Bt) products to determine their efficacy against *P. crisonalis*. Our laboratory results showed that Bt products based on *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* (Btk) achieved 100% larval mortality within 120 hours of feeding. –And then, we conducted field efficacy trials, using unmanned aerial vehicles (UAVs) to apply Bt products. UAV application parameter tests revealed that the effective spray width was 2.73 ± 0.92 meters, and water volume was 40 L per hectare. During later anemone growth stages, field efficacy trials with UAV were carried out at a flight speed of 2.6 m/s and a spray width of 2.7 meters. Results confirmed the field efficacy of UAV-sprayed Bt against *P. crisonalis*, with Bt treatments significantly reducing the nesting rate of *P. crisonalis* and the leaf damage to anemones. This study is the first study on the

Accepted: December 16, 2024.

* Corresponding author, E-mail: sweiy@acri.gov.tw

¹ Agricultural Chemicals Research Institute, Ministry of Agriculture, Taichung

application of UAVs in the insect pest control of anemone crops. Findings from this study should benefit pest control efforts in anemone crops in the future.

Key words: UAV, *Bacillus thuringiensis*, *Nymphoides hydrophylla*, Anemone, Water skin lotus, Crested floating-heart, *Parapoynx crisonalis*