無人機施藥的科技研發成果與展望

江致民[1]・謝奉家[1]・何明勳[1]

一、前言

農業勞動力不足及人口老化已成為全球各國普遍遭遇的問題，為解決人力短缺的問題，政府積極鼓勵青年農民投入農耕工作，並推動智能化設備以提高農業生產的工作效率及農產品的安全品質。近年來，農業用無人機（Unmanned Aerial Vehicle, UAV，又稱無人飛行載具）的「硬體設備」已日趨健全，許多國家已相繼投入研發無人機施藥的各種應用技術，無人機儼然已成為改善農藥施用工作之重要工具，因此，加速研發無人機施藥的各項技術，已成為刻不容緩之科技研發重點。

註 1：行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所。

二、無人機施藥技術與管理

（一）無人機施藥特性

無人機可於作物上方快速移動而具有高機動性，搭配精準的 GPS 定位系統，完成自動化飛行，降低遠距離人為操控不良的誤差，並減少施藥者暴露農藥的危害風險。 近年來，已有許多青年農民躍躍欲試，將無人機應用於噴灑農藥或肥料，無人機施藥具有優勢之適用範圍包含：大面積栽培作物、不易行走之田區、作物植株較高及緊急防治病蟲害之作業等。儘管無人機具備多項優點，但仍有其他缺點須注意，包括：電池續航力差、設備操控難度高（例如：田間障礙物多、環境干擾遙控器訊號、地形變化及田間區塊不規則）、噴灑時易受風及高溫影響，以及無人機代噴人員的植保背景能力不足等（圖 1）。為解決農藥代噴人員對無人機施藥技術的迫切需求，行政院農業委員會農業藥物試驗所（簡稱藥毒所）特別規劃無人機施藥的專業課程，並推廣安全施藥方法，以健全國內無人機施藥技術。

（二）無人機施藥之藥劑需求

由於無人機施藥的限制因子為酬載重量較低，一般慣用的農噴無人機約可載重 10 公斤～ 16 公斤的藥液或者固體資材。日本無人機施藥的單位面積總用水量

圖 1. 植保無人機之優、缺點評估。

約為每公頃 8 公升～ 16 公升，而目前臺灣無人機慣用的總用水量約為每公頃 20 公升～ 40 公升，相較於水稻傳統地面施藥之每公頃用水總量為 800 公升～ 1,200 公升（視作物大小而定），無人機施藥的體積相差甚大，單位面積施用藥液的體積差異約 20 ～ 150 倍。

以噴藥防治病蟲害的觀點而言，無人機的關鍵需求為噴灑「均勻性」，包含噴頭類型、噴頭數量、配置方式及下旋氣流的穩定性皆會影響其均勻性，良好的霧滴噴灑分布情況有利於病蟲害的防治效果。噴霧粒徑大小受噴頭種類及噴灑壓力等因子之影響，然而，通常無人機採用較為細小的噴頭以達到較大的噴灑範圍，若以無人機慣用噴頭－ XR11001 為例，在低壓力下（約 2.5 每平方公分公斤（kg^2 / cm^2））測試，霧滴的平均粒徑約為 114 微米（μm），在此較細微的霧滴條件下必須注意其霧滴蒸發及飄移的問題。藉由添加「飛防助劑」可改善藥劑的蒸發情況及藥劑展布性，故藥毒所積極研發適用於無人機的飛防助劑，以解決在田間高溫環境下噴灑藥劑時易產生藥液揮失的問題，同時加強藥液在植物葉片的附著力以確保藥效發揮效果，故適當時機使用飛防助劑之技術，亦可提高農藥效果並達到精準施藥之目的。

無人機施藥時，若以傳統地面施用農藥之「單位面積用藥量相同」的原則施用藥劑，無人機施藥與傳統地面施藥之最大差異性為稀釋倍數，登記在無人機使用的農藥必須經過理化性質檢驗，如：在低稀釋倍數施用條件下的固體顆粒粒徑、溶液黏度以及是否產生沉澱或結晶等不溶性固體，避免無人機施藥時噴頭堵塞及藥劑不均的問題，透過藥劑理化性質的檢測可初步篩選去除不適當的藥劑。再者，藥毒所近期對無人機的適用藥劑的特性進行探究，研究低蒸發速率增加藥劑反應時間、降低分層與不均勻性，並依蒸氣壓及表面張力等特性評估，以利建立無人機田間藥劑施用條件之安全性評估。

由於傳統地面施用農藥的藥效評估是以「藥液達到適當防治效果的最低濃度」作為推薦稀釋倍數並建立完整的評估方式，而無人機施藥受限於載重量較低，經常會使用較低稀釋倍數；然而，高濃度的藥液（低稀釋倍數）是否可達到防治效果？是否會造成藥害及殘留情況？此類問題皆會受作物種類、藥劑類型（防治機制不同）而影響其評估結果，由於無人機施藥評估模式與傳統用藥差異甚大，必須加速農藥的田間試驗安全評估才能確保施藥品質。

經由藥毒所與日本農研機構的無人機研究專家進行研究交流，討論日本針對無人機適用藥劑的評估流程，小原裕三研究員表示：「日本對於無人機農藥的評

估也是很嚴謹的，但是卻有業者反應評估的流程太耗時，由於傳統已登記農藥具備完整的田間試驗報告，建議規劃較簡便的審核流程。但日方並無明確的數據確認可以減少評估的項目」。由此可知，日本針對無人機藥劑也在研究以較精簡的評估方式加速其應用推廣。

（三）淺談日本無人機施用農藥發展與規定

日本首次空中防治試驗執行於 1951 年，在北海道以載人飛機進行舞毒蛾的防治作業，並於 1962 年成立「農林水產航空協會」，針對空中防治作業進行制度化管理。直到 1988 年使用「載人飛機」進行空中施藥已達到 1,741 千公頃的面積。2016 年開始引進多旋翼無人機進行水稻等作物的病蟲害防治作業，在近十年間，無人機施藥幾乎已完全取代了傳統載人飛機的空中施藥作業。

日本早期無人機應用以水稻、小麥、大豆為主要防治作物，利用航線規劃可擴展到小型農地，例如蔬菜等作物。載人直升機、無人直升機及多軸無人機，依據各自不同的特性條件有助於農業和林業之穩定生產，且能夠提高生產率。

表 1 分別以臺灣常見的病蟲害為例，比較日本無人機藥劑與臺灣使用藥劑之差異性。水稻紋枯病為臺灣經常發生的細菌性病害，日本針對紋枯病可推薦使用之無人機用藥為維利黴素，針對不同的施用方法訂出藥劑的使用量，日本的農藥依據不同的施藥方式分別訂出農藥之用水量及劑量。

表 1. 比較日本與臺灣水稻藥劑差異性（以水稻常見病蟲害為例）

防治對象	藥劑名稱 濃度 / 劑型	國家	施用方法	稀釋倍數	總用水量 （L / ha）	施藥量 （L / ha）	安全採收期
紋枯病 （病害）	維利黴素 5% / 溶液	日本	無人機	8	8	1	14 天
			載人直升機	25	30	1.2	
			地面施藥	300	250	0.83	
	維利黴素 3% / 溶液	臺灣	地面施藥	1,000	1,000 ～ 1,200	1 ～ 1.2	—
稻熱病 （病害）	亞賜圃 40% / 乳劑	日本	無人機	8	8	1	14 天
			載人直升機	30	30	1	
			地面施藥	1,000	600 ～ 1,500	0.6 ～ 1.5	
		臺灣	地面施藥	1,000	1,000 ～ 1,200	1 ～ 1.2	
褐飛蝨 （蟲害）	依芬寧 10% / 乳劑	日本	無人機	8	8	1	14 天
			載人直升機	30	30	1	
			地面施藥	—	—	—	—
		臺灣	地面施藥	750	1,200	1.6	15 天
稻飛蝨 （蟲害）	布芬淨 40% / 水懸劑	日本	無人機	16	8	0.5	7 天
			載人直升機	60	30	0.5	
			地面施藥	—	—	—	—
		臺灣	地面施藥	2,500	1,200	0.48	15 天

日本內閣府（相當於行政院）於 2018 年 3 月 23 日召開第 14 回的農林工作組會議，討論有關於促進無人機空中施藥之登記（包括延伸使用）（圖 2），農林水產省的消費 • 安全局植物防疫課建議為了促進無人機施藥的應用，有必要擴大已經登記於地面噴灑之相關作物的農藥（目前適用無人機的已登記藥劑共 271 個），藥劑的登記必須提出藥效、藥害及作物殘留等的試驗評估報告，而若已是地面噴灑所登記使用的藥劑，農藥殘留標準應不必重新訂立，且因為已有早期試驗數據供作評估依據，才可以提前登記。再經過一系列安全評估之後，該藥劑才能被推薦應用於無人機。

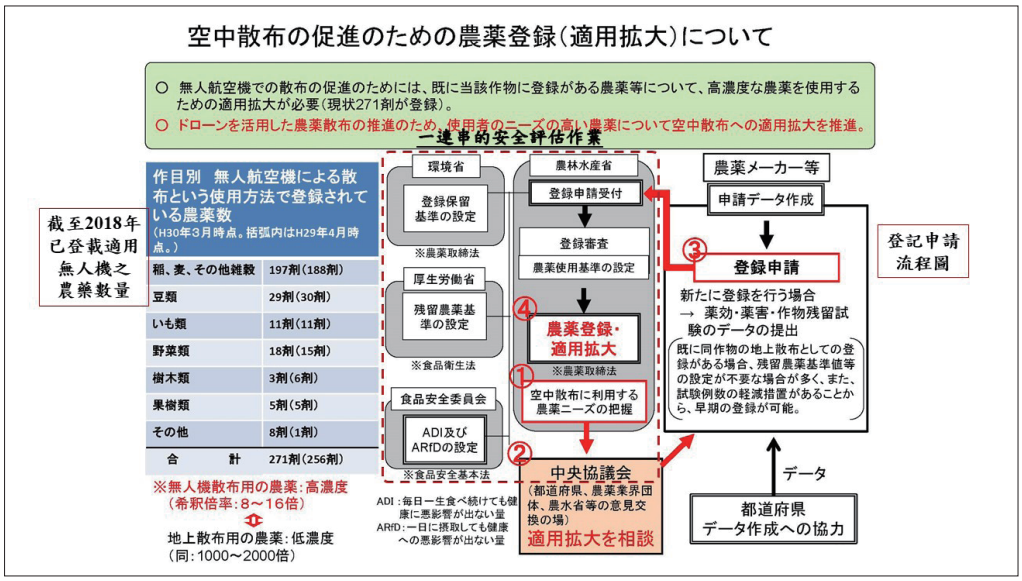

圖 2. 日本無人機適用農藥之登記流程。（圖片來源 / 日本內閣府網站，第 14 回農林工作組會議 http://www8.cao.go.jp/kisei-kaikaku/suishin/meeting/wg/nourin/20180323/agenda.html）

三、總結及展望

無人機高效率施藥有助於解決農業缺工問題，建立正確的施藥技術為後續農噴無人機發展的關鍵技術，無人機施用的農藥必須經適當的安全評估才能被推薦使用，未來應針對不同種類的農作物設計施藥指引，藉此有效規範農戶遵循規定用藥，減少農民施藥暴露風險，兼顧環境及農產品安全與環保。

為達到無人機施藥的安全作業，應多方面提升關鍵技術，如研發適合無人機之農藥製劑、強化設備操控技巧及建立無人機施藥之安全評估方法等（圖 3）。有鑑於此，農

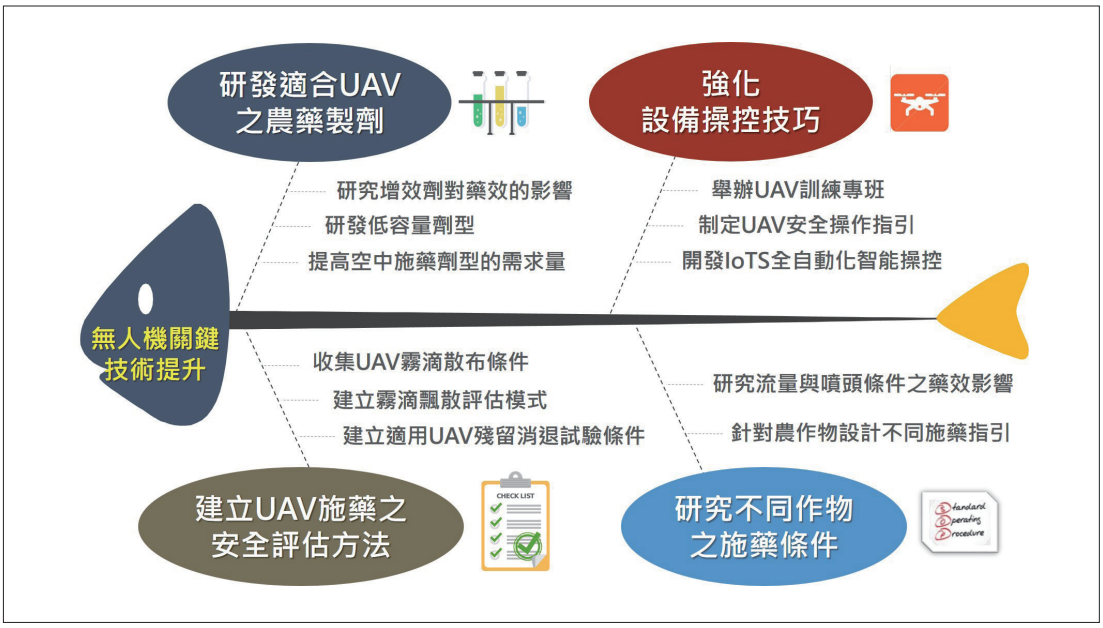

圖 3. 農噴無人機關鍵技術提升之各項研發重點。

委會於 107 年爭取經費成立水稻無人機農噴計畫，由藥毒所、農業試驗所及動植物防疫檢疫局共同組成無人機農噴研究團隊，全盤考量臺灣目前農噴無人機的迫切需求，分別規劃解決技術面、設備面及管理面之問題，預計進行大規模的水稻無人機施藥試驗研究，經由科學試驗數據加速評估各種水稻用藥之安全性，期能建立完善的農噴無人機管理方式，提升國內無人機農藥代噴人員的作業安全品質，全面達到農民用藥安全、環境保護及政府管理確實之無人機施藥策略。