

無人飛行載具適用農藥製劑之理化規格— 細度及起泡性探討

曾偉樾¹、江致民¹、謝奉家¹、粘志遠^{1*}

摘要

曾偉樾、江致民、謝奉家、粘志遠。2023。無人飛行載具適用農藥製劑之理化規格—細度及起泡性探討。臺灣農藥科學 14 : 1-22。

無人飛行載具 (Unmanned Aerial Vehicles, UAVs, 以下簡稱無人機) 近年已逐漸成為大範圍耕作使用的新穎施藥器具。參照日本無人機施藥方式, 其推薦用藥量主要依循地面施藥之單位面積推薦用量進行藥劑調配, 相較於傳統施藥, 無人機施藥使用的稀釋倍數通常較低。若成品農藥有效成分或其他成分之水溶解度較差者, 可能於田間配藥時產生堵塞噴頭或影響其施藥效果等問題, 故應針對無人機適用農藥之理化規格進行研究, 並訂定專屬於無人機農藥之規格檢驗項目。本研究挑選無人機試驗時, 曾發生不良反應之 11 種成品農藥 (4 種指標成分) 進行理化規格研究, 試驗的規格項目主要為溼篩試驗及起泡性, 並將無法通過溼篩試驗之樣品殘留物, 以高效能液相層析 (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) 進行分析, 測定殘留物中有效成分含量。由溼篩試驗結果顯示, 傳統通用法由於沖提用水量, 使得原有堵塞噴頭疑慮之 11 種成品農藥, 皆判定為通過細度的標準規格, 若改採用省水法並以較少量的沖提用水量, 可區分出堵塞噴頭之成品農藥, 而由 HPLC 分析篩網上之殘留物可確認殘留物主要為有效成分; 就農藥規格項目之起泡性而言, 11 種試驗農藥以無人機之低稀釋倍數進行調配後, 其中有 5 種起泡性未通過, 顯示無人機施藥調配藥劑時易產生泡沫而使施藥人員不易進行農藥調配。綜上所述, 本研究建議無人機適用農藥應以省水法進行其細度規格檢驗, 以確保其施藥時不易產生堵塞噴頭問題, 而無人機調配農藥時建議添加消泡劑以利其定量使用。

關鍵詞：無人機、理化規格、溼篩試驗、起泡性

接受日期：2023 年 3 月 21 日

* 通訊作者。E-mail: cynien@tactri.gov.tw

¹ 臺中市 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所

前言

臺灣因耕作環境高溫多溼，導致病蟲危害相當嚴重，對於農作物生長影響甚鉅，為防除害物及增加收益，病蟲害防治之施藥已成為大範圍耕作的重要工作，加上臺灣面臨高齡化及農業人力短缺之問題。傳統地面施藥不僅耗時費力且可能有重複噴灑或噴灑不均勻等問題，更甚者，若施藥者未正確配戴防護器具，可能造成農藥暴露而影響身體健康。

為因應農業人力短缺問題，政府推動智慧農業，尋找機器代替人力的可能性，藉此打造科技務農創新模式⁽¹⁾，植保用無人機的智能農噴應用為農業注入新的氣象，其可達到節省人力、施藥快速、精準施藥、降低人體暴露農藥風險等優勢⁽⁴⁾相較於傳統施藥方式，無人機施藥省時省力的優點更為明顯。

為驗證無人機於田間應用的功效，相關的田間試驗陸續展開，在 2018 年至 2019 年間，行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所（以下簡稱藥毒所）針對臺灣重要糧食作物—水稻進行 20 種地面已許可農藥之傳統施藥與無人機施藥的各項評估⁽⁸⁾，結果顯示兩者防治效果相近（無顯著差異），並在未來隨著各種作物田間試驗結果的產出，適用於無人機噴灑使用與施用的農藥及作物也將越趨多元。

目前政府已公告 5 種稻熱病及 4 種水田除草劑用藥可適用於無人機施藥⁽⁶⁾，隨

著植保無人機代噴需求日益增長，所需施藥的作物種類也隨之增加，但因不同害物或作物種類所需施用的農藥種類及劑型不盡相同，進而也衍生一些施藥相關的問題，如混合農藥使用藥劑添加順序不正確所產生的不相容、堵塞噴頭或與肥料混合性不佳等問題⁽⁴⁾，其他情況亦可能發生環境因素所造成的藥效問題，如施藥時因較大陣風導致噴灑不均勻或噴灑至鄰田、溫度太高導致藥液沉積至作物後蒸散太快或雨天施藥導致藥液被沖淡等問題^(3,9)。

由於無人機施藥所用稀釋倍數通常低於傳統地面施藥，其用以稀釋農藥之水量較少，對於部分農藥水溶性較差者，若於稀釋調配時，其有效成分未能完全溶解或均勻分散於藥液，甚至有些農藥所添加的副料水溶性也不佳等情形，都可能造成噴頭堵塞，其防治效果則易受影響。

就應用於無人機施用的農藥劑型來說，以加水稀釋的劑型為大宗，但部分劑型於稀釋調配時，其有效成分為非溶解於水中，而是以固體顆粒形式懸浮於溶液，如水懸劑（SC）、可溼性粉劑（WP）及水分散性粒劑（WG）等劑型，須確保其加水混合後，有效成分可均勻分散於溶液中，才能實現均勻且精準的噴灑，否則可能因有效成分濃度差異，而導致施藥後前段及後段噴灑的藥效不相同的結果。綜合上述內容，以無人機施藥者，應避免使用與水稀釋混合後，易於短時間內產生沉澱之劑型，如可溼性粉劑及水分散性粒劑等，故各種劑型於無人機使用的理化規格

檢驗項目值得研究。因此本研究針對目前市售並規劃應用無人機施用的農藥，考量增訂理化規格檢驗項目或修正現行理化檢驗標準規格之檢驗方法，藉以篩選適用於無人機之農藥⁽⁴⁾。

國際農藥分析協作會 (Collaborative International Pesticides Analytical Council, CIPAC)，主要致力於建立農藥成品規格及有效成分之標準檢驗方法等任務，從 1970 年出版第 1 冊 CIPAC Handbook，至 2021 年底為止，共計出版 15 冊 Handbook⁽²¹⁾，其所發行的農藥規格檢驗方法受到各國的引用及參考，並也獲得國際組織如聯合國糧食及農業組織 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)、世界衛生組織 (World Health Organization, WHO) 等的肯定。現行臺灣所採用的農藥標準規格之檢驗方法，多數也是參考 CIPAC 的指引方法訂定，而綜觀全部農藥標準規格之檢驗方法，除細度中的溼篩試驗以約 16 倍稀釋，及起泡性試驗以最低稀釋倍數進行試驗外，其所採用的農藥試驗濃度多為 1%^(11, 17) (即稀釋 100 倍) 及 5%^(12, 15) (即稀釋 20 倍)，然而以無人機用水量推算其稀釋倍數，可能為稀釋 20 倍或更低稀釋倍數，因此若以現行的農藥標準規格之檢驗方法，無法完全鑑別低稀釋倍數農藥實際以無人機於田間噴灑的應用限制。

為探討農藥應用於無人機噴灑的關鍵影響因子，本研究選用於無人機田間試驗時曾發生不良反應之 11 種成品農藥 (4 種指標成分) 進行試驗，考量無人機施藥及

傳統施藥的主要差異在於稀釋倍數，就無人機施藥而言，首重於低稀釋倍數施用條件下，因溶液性質改變可能產生的沉澱或結晶等不溶性固體，導致堵塞噴頭或藥劑不均勻問題，再來則是在低稀釋倍數施用條件下，因溶液中界面活型劑濃度較高，可能導致的起泡問題，因此本研究以細度^(7, 14, 16, 18, 19) (溼篩試驗) 及起泡性^(5, 13) 進行探討 (圖一)。在本研究中，溼篩試驗用以確認在低稀釋倍數下，農藥是否可通過指定之篩網，若無法通過試驗則表示該農藥有堵塞噴頭之可能性，此外，由鐳射粒徑分析⁽²⁰⁾ 以確認農藥在換算成無人機稀釋倍數下，於實際調配農藥藥液時，所產生的不溶物或懸浮微粒之整體粒徑分布，並透過兩個試驗結果，判定農藥是否有堵塞噴頭的疑慮，同時並將未通過溼篩試驗的殘留物，以 HPLC 進行有效成分分析，確認殘留物中有效成分的多寡；起泡性試驗則為確保農藥於調配過程中，不會產生過量泡沫，導致使用不便或藥液噴灑量不均勻等問題，其中參考各國針對農藥標準規格有關檢驗起泡性規定發現，像是日本⁽¹⁰⁾ 及美國⁽²⁴⁾ 無須檢驗起泡性，而臺灣⁽²⁾ 及歐盟⁽²²⁾ 則參考 CIPAC MT 47 進行檢驗。就臺灣規定而言，起泡性是目前農藥標準規格檢驗項目中，唯一以最低稀釋倍數進行檢驗的規格項目，且對於起泡性而言，需要加水稀釋的劑型均須檢驗起泡性。但大部分傳統施藥的稀釋倍數，多數均為數百倍甚至千倍以上，而以無人機施藥的稀釋倍數，通常僅有幾十倍或更

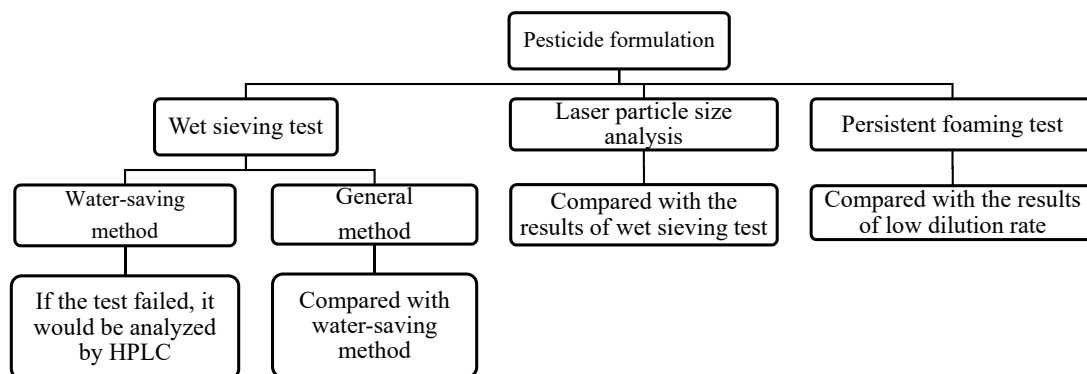
少，兩者濃度相差甚大，因此對於起泡性而言，無人機用之農藥是否須以無人機藥劑建議最低稀釋倍數進行試驗，有其探討的必要性。

研究方法

一、供試藥劑

本研究選用供試藥劑為藥毒所無人機

田間試驗期間曾發生堵塞噴頭之農藥，並從其相同劑型含量但不同廠牌中進行篩選(本研究供試藥劑廠牌以代號表示)，計篩選出 4 種指標成分，包含益達胺(imidacloprid) 溶液 (SL)、嘉賜銅(kasugamycin + copper oxychloride) 可溼性粉劑 (WP)、三元硫酸銅(tribasic copper sulfate) 水懸劑 (SC)、納乃得(methomyl) 水溶性粉劑 (SP) 等，共計 11 種成品農藥如表一。



圖一、適用無人機農藥之特殊理化性規格實驗研究架構。

Fig. 1. Research framework and testing protocols used to investigate additional physico-chemical specifications of pesticides used in UAV spraying.

表一、供試藥劑名單

Table 1. List of tested pesticides

Active ingredient	Formulation type	Content (%)	Brand code ¹⁾
Imidacloprid	SL	9.6	A, B, C
Kasugamycin + copper oxychloride	WP	81.3	A, B, C
Tribasic copper sulfate	SC	27.12	A, B
Methomyl	SP	40	A, B, C

¹⁾ The same brand code shown for multiple active ingredients does not necessarily indicate that these pesticides were produced by the same manufacturer.

二、溼篩試驗 (Wet sieving test)

為確保農藥在噴施過程中，藥液中的固體顆粒不致阻塞噴頭，溼篩試驗為用來檢驗細度的測試方法⁽²⁵⁾，依行政院農業委員會動植物防疫檢疫局公告之溼篩試驗方法⁽⁷⁾，分為通用法（參考 CIPAC MT185⁽¹⁹⁾）及省水法（參考 CIPAC MT182⁽¹⁸⁾），相關試驗程序如下：

(一) 通用法 (General method)：

1. 依「無人機藥劑建議最低稀釋倍數」（若換算無人機稀釋倍數大於 16 倍，則以 16 倍稀釋進行試驗）計算並秤取適量檢體至 250 mL 燒杯中，緩緩加入約 150 mL 自來水，靜置 1 分鐘後，用每秒迴轉次數不超過 3-4 轉的攪拌速率，以玻璃棒攪拌檢液 30 秒，倒入直徑 10cm，孔徑 0.075 mm 之篩網中，並以自來水將燒杯殘餘藥劑洗入篩網。
2. 用內徑 10 mm 橡皮管套接水龍頭，出水速度調節為每分鐘 4-5 公升，以擺動之水流沖洗樣品，並由試驗篩之周圍向中央沖洗，過程中並維持出水管口至篩面 2-5 cm 之距離，持續沖洗 10 分鐘。
3. 將留滯於篩面之殘餘物，運用洗瓶以蒸餾水沖洗至預秤空重之玻璃皿中，以 60-70°C 之溫度烘乾處理（如樣品會因該溫度處理而分解或揮發，則改用其他較低溫度乾燥處理）。
4. 將乾燥後之玻璃皿置於乾燥皿中降溫，

回至室溫後取出秤重，扣除玻璃皿空重即得殘餘樣品重量，重複乾燥並秤至恆重。結果以殘餘於篩面之檢體重占秤取檢體重之比率表示之。

(二) 省水法 (Water-saving method)：

1. 調整蠕動幫浦流速至 1,000±50 mL/min，於 2,000 mL 燒杯中裝入約 1,000 mL 自來水，將蠕動幫浦之壓送膠管進水端上緣固定於燒杯，並將其進水口置於液面下 3-4 cm 處。
2. 同通用法（步驟 1）處理檢體後，將檢液倒入孔徑 0.075 mm 篩網後，開啟蠕動幫浦，手執壓送膠管之出水端於 2,000 mL 燒杯上方，由試驗篩之周圍向中央沖洗，過程中並維持出水口至篩面 1-3 cm 之距離，持續沖洗 2 分鐘，並使過篩水流回燒杯中循環利用。
3. 其餘步驟同通用法的步驟 3-4。

本項標準規格為依前述方法所得結果（殘餘於篩面之檢體重占秤取檢體重之比率）未達 2%，才判定為通過本規格項目，即在一定時間所調配稀釋之農藥，經一定量水沖洗後，98%以上的農藥檢體可通過 0.075 mm 孔徑試驗篩者。其中通用法與省水法的差異性在於沖洗的水量及時間，通用法總用水量約 40-50 L（流速 4-5 L/min 之非循環水，沖洗 10 分鐘），省水法總用水量為 2 L（流速 1 L/min 之循環水，沖洗 2 分鐘）；本試驗另針對不同靜置時間進行測試，分別為 1 分鐘（公告方

法) 及 30 分鐘 (自訂時間, 考量於無人機施藥前調配藥劑及無人機施藥時所需時間訂定), 以探討調配過程易有顆粒沉降之劑型藥劑中, 是否會因靜置時間增加導致粒徑增加, 而使其細度無法通過。

三、起泡性試驗 (Persistent foaming test)

為確保農藥於調配過程中不因過量泡沫, 導致噴灑不均或飄散現象, 起泡試驗為用來檢驗起泡性的測試方法⁽²⁵⁾, 依行政院農業委員會公告之起泡試驗方法⁽⁵⁾, 其試驗程序為先於 250 mL 共栓量筒中倒入適量 342 ppm 標準硬水, 依「無人機藥劑建議最低稀釋倍數」計算, 秤取可配製 200 mL 藥液之適量農藥檢體, 移入 250 mL 共栓量筒中, 再用 342 ppm 標準硬水稀釋至 200 mL 標線後, 在 1 分鐘內上下倒置 30 次, 並放置 1 分鐘觀察其液面之泡沫體積。本項標準規格為靜置 1 分鐘, 不得有 60 mL 以上之泡沫, 才判定為通過本規格項目。

四、粒徑分析試驗 (參考 CIPAC MT187)

本試驗用以確認在「無人機藥劑建議最低稀釋倍數」下, 其稀釋調配的農藥藥液之粒徑分布, 並與不同靜置時間下的溼篩試驗結果進行比較, 探討其對於粒徑大小的影響性。由於應用無人機的農藥多數

為加水稀釋使用, 本試驗使用鐳射粒徑分析法 (溼式法) 進行, 使用儀器為 Malvern Mastersizer 2000 粒徑分析儀之溼式粒徑分析套組, 並針對每個樣品進行 3 重複粒徑分析, 其試驗程序如下:

1. 依溼篩試驗上述「(一) 通用法」之步驟 1 進行至加入 150 mL 自來水後, 分別靜置 1 分鐘及 30 分鐘, 攪拌 30 秒待進行鐳射粒徑分析。
2. 取適量二次水至 500 mL 燒杯中並以鐳射粒徑分析儀進行背景值量測, 添加適量步驟 1 樣品至該燒杯後, 進行檢液的粒徑分析 (儀器設定每次分析 3 重複), 並確認其試驗結果。

本研究所用「無人機藥劑建議最低稀釋倍數」之計算, 是設定配製總藥液量為每公頃 20 公升, 並取試驗藥劑在核准登記之使用範圍下, 每公頃最大使用量作換算 (即「無人機藥劑建議最低稀釋倍數」為每公頃總藥液量 20 公升除以每公頃最大使用量), 以益達胺溶液 (SL) 9.6% 為例, 其核准使用範圍下, 最大使用量為每公頃 3 公升, 因此, 若要配製成每公頃總藥液量 20 公升, 其「無人機藥劑建議最低稀釋倍數」則為 6.67 倍; 另本試驗結果依體積百分比分布計算, 以 d_{90} (μm) 表示累積顆粒分布為 90% 的粒徑大小, 可輔助檢測樣品堵塞噴頭的可能性。同理, d_{50} (μm) 表示累積顆粒分布為 50% 的粒徑大小, 亦稱為中位粒徑或中值粒徑, 舉例來說, 若某樣品的 d_{90} 為 5 μm , 則表示在此粒徑 (5 μm) 以下的顆粒

體積占全部顆粒體積的 90%。本項標準與溼篩試驗相似，為依體積計算，98%以上粒徑小於 0.075 mm。

五、殘留物有效成分分析

殘留物有效成分分析主要以 HPLC 進行定量，因益達胺溶液 (SL) 9.6% 在溼篩試驗中，稀釋過程會產生結晶析出，但按其劑型定義不應出現該現象，雖益達胺的水中溶解度僅約 610 mg/L (20°C)⁽²³⁾，非屬水溶性高的有效成分，然而在未加水稀釋前仍屬澄清透明溶液，因此進一步針對該成分進行溼篩試驗後之殘留物進行分析，確認其殘留物是否為該有效成分或其他成分析出。本項參考行政院農業委員會公告之益達胺 (Imidacloprid) 農藥有效成分檢驗方法進行試驗，其分析儀器為 Shimadzu HPLC (LC-20A) 配有紫外光偵測器、自動除氣及自動進樣裝置、層析管柱為 Shim-pack XR-ODS II (C18) (內徑 3.00 mm、長度 150 mm)、移動相為乙腈 (Acetonitrile, ACN)：水=40：60 (v/v)、移動相流速為 0.5 mL/min、分析波長為 270 nm、分析時間為 10 min，並全程等梯度沖提 (Isocratic elution)，其試驗程序如下：

1. 貯存標準液配製：取約 25.38 mg 之益達胺標準品 (98.5%) 以乙腈溶解並定容至 25 mL 定量瓶中 (約 1,000 µg/mL 貯存標準液)，再取 2.5 mL 之 1,000 µg/mL 貯存標準液並定容至 25 mL 定量瓶，為約 100 µg/mL 當作第二貯存標準液。
2. 檢量線配製：分別取適量 1,000 µg/mL 貯存標準液，將其稀釋後使之成為 100、200、300、400 及 500 µg/mL 之益達胺標準液 (本檢量線適用以無人機施藥稀釋倍數所配製之益達胺樣品)，再分別取適量第二貯存標準液，將其稀釋配製成濃度範圍為 20、40、60、80、100 µg/mL 之益達胺標準液。(本檢量線適用以地面施藥的稀釋倍數所配製之益達胺樣品)
3. 檢液配製：模擬地面施藥的稀釋倍數 (1,500 倍) 及無人機施藥的稀釋倍數 (6.67 倍)，分別取約 16.67 mg 及 3,750 mg 的益達胺樣品至 25 mL 的定量瓶中，以水溶解並進行定容，每種樣品皆配製三重複，並將樣品稀釋至適當濃度後以 HPLC 分析。
4. 殘留物檢液配製：因無人機稀釋倍數較低，益達胺樣品於稀釋過程中會有結晶產生，為確認結晶中是否含有益達胺，因此將以無人機稀釋倍數配製之益達胺檢液 (如步驟 3)，以陶瓷漏斗搭配 Advantec 1 號定性濾紙，透過抽氣過濾並收集濾液及濾餅。濾液部分將其稀釋至適當濃度後，以 HPLC 進行分析；濾餅部分則以乙腈將濾餅上之殘留物洗至 25 mL 定量瓶並完成定容後，以 HPLC 進行分析，透過檢量線計算濾液及濾餅中益達胺的含量，以檢視濾餅中是否有益達胺的存在，若有，則可確認溼篩試驗殘留於篩網上的殘留物中，含有有效成分益達胺。

結果

一、溼篩試驗與鐳射粒徑分析測試結果

以「無人機藥劑建議最低稀釋倍數」進行試驗，本項以溼篩試驗公告方法中的通用法及省水法進行探討，除稀釋倍數與公告方法之 16 倍稀釋不同外 (11 種供試農藥換算成無人機稀釋倍數皆低於 16 倍)，兩者主要差異在於沖洗水量 (通用法為 40-50 L 之非循環水，省水法為 2 L

之循環水) 及沖洗時間 (通用法為 10 分鐘，省水法為 2 分鐘) 的不同。

表二為 11 種供試農藥進行溼篩試驗之結果，由試驗結果顯示，若使用通用法進行試驗，11 種農藥全數可通過溼篩試驗，但若以省水法進行試驗，則 11 種農藥中有 2 種 (益達胺 SL) 無法通過試驗 (圖二)，另就納乃得 B 相較其 A 及 C 而言，以省水法測試有偏高的現象，推測為納乃得 B 使用相對水溶性較差副料所致。就整體結果來說，通用法由於使用水量大且沖洗時間長，會逐漸將部分較大顆粒

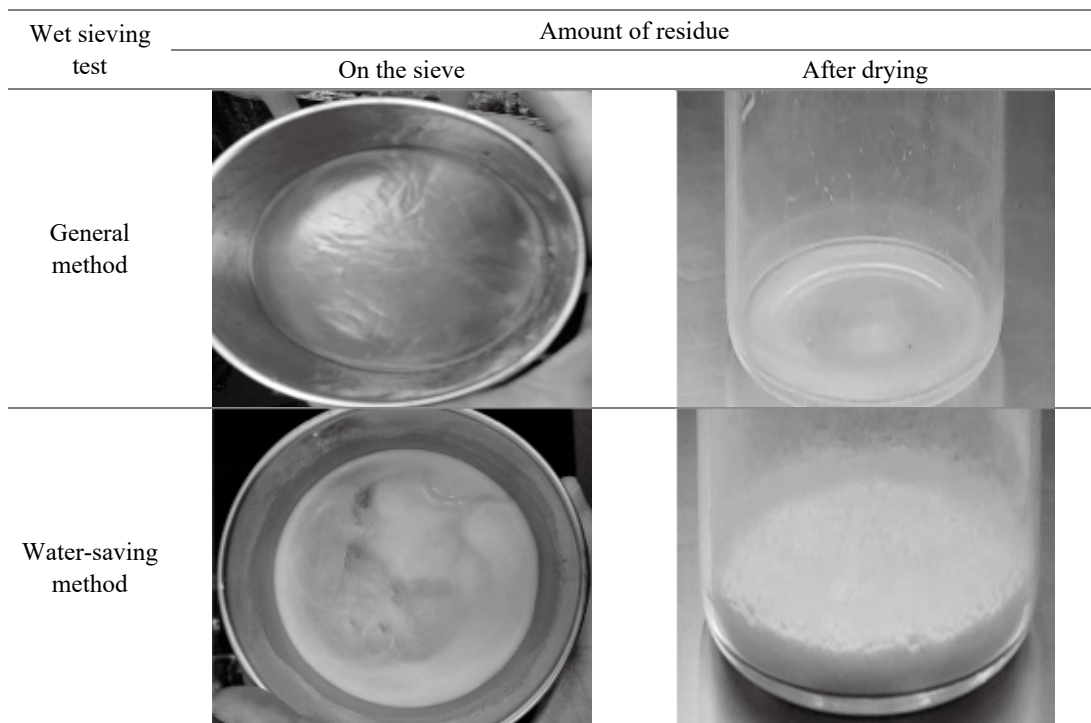
表二、11 種成品農藥以溼篩試驗省水法及通用法之試驗結果

Table 2. Results of wet sieving tests involving both the water-saving method and the general method for 11 pesticide formulations

Pesticide formulation	Formulation type	Dilution rate in UAV spraying	Result ¹⁾	
			General method	Water-saving method
Imidacloprid-A	SL	6.67	C	N
Imidacloprid-B	SL	6.67	C	C
Imidacloprid-C	SL	6.67	C	N
(Kasugamycin + copper oxychloride)-A	WP	8	C	C
(Kasugamycin + copper oxychloride)-B	WP	8	C	C
(Kasugamycin + copper oxychloride)-C	WP	8	C	C
Tribasic copper sulfate-A	SC	4	C	C
Tribasic copper sulfate-B	SC	4	C	C
Methomyl-A	SP	12.66	C	C
Methomyl-B	SP	12.66	C	C ²⁾
Methomyl-C	SP	12.66	C	C

¹⁾ C indicates that the pesticide formulation complied with the specification requirement; N indicates that the formulation did not comply with the specification requirement.

²⁾ The amount of residue on the sieve was close to the limitation of specification.



圖二、益達胺 A 之溼篩試驗結果比較。上圖為溼篩通用法的結果，可觀察到經乾燥後僅少許殘留物附著於燒杯壁；下圖為省水法的結果，燒杯中可觀察到經乾燥後之大量殘留物。

Fig. 2. Comparison of wet sieving test results for imidacloprid A. The upper picture shows results from the general method, in which only a little residue remained in the beaker after drying. The lower picture shows results from the water-saving method, in which a large amount of residue remained in the beaker after drying.

沖洗溶（或崩）解通過篩網，造成原有堵塞噴頭疑慮的數個農藥判定為通過（表三）；由 2 種益達胺未通過省水法試驗之結果顯示，其與鐳射粒徑分析結果相對一致（表四）；另由表四顯示在靜置 30 分鐘後，益達胺 A 及 C 的沉澱高於 B，且粒徑分析結果也顯示，其沉澱物的粒徑大小為益達胺 A 及 C 大於 B，而納乃得 A 的

沉澱由外觀來看，相較 B 來的蓬鬆，也符合其粒徑分析納乃得 B 大於 A 的結果，依史托克定律（Stokes' law）較大的粒徑沉澱速率較快；由前述結果可知，益達胺 A、C 及納乃得 B，確實於粒徑分析時檢測出有較大顆粒（ >0.075 mm）存在，其中益達胺系列進行鐳射粒徑分析時，因溼式法須將測試樣品加入一定量的二次水

中，過程會因稀釋程序導致部分結晶會溶於水中，因此須添加超過溶液飽和濃度後才能檢測出粒徑，此時可檢測出明顯大於 0.075 mm 的顆粒，證實益達胺 A 及 C 確實可能堵塞噴頭，因此針對無人機用藥之細度檢驗，以省水法檢驗較可避免大量沖提水造成的誤判。

由溼篩試驗（省水法）不同靜置時間的鐳射粒徑分析結果（圖三）顯示，在不同靜置時間下，雖在 (B) 組靜置 30 分鐘下，相較靜置 1 分鐘出現位於粒徑較小一側的一峰，但整體而言，並無粒徑增加趨勢，因此 (A)、(B) 及 (C) 等組別的結果無明顯差異，其表示益達胺 A、嘉賜銅 A 及納乃得 A 等三種產品隨著靜置時間增加，底部沉澱不溶物未因聚集導致粒徑增

加，因此靜置時間建議維持原公告方法的 1 分鐘。

細度規格檢驗除應以省水法進行溼篩試驗外，由於部分依現行規定無須進行溼篩試驗的劑型，如本研究中所試驗的益達胺 SL 劑型，因其換算無人機稀釋倍數 (6.67 倍) 後，相對地面施藥稀釋倍數 (1,500 倍) 低非常多，在溼篩試驗加水稀釋過程中產生結晶析出，導致無法通過試驗，另，固態水溶性劑型，如 SP、SG 及 ST 等，其劑型定義亦容許非水溶性副料存在，因此建議適用無人機之農藥，均須進行細度試驗，其規格項目之適用範圍須調整修正，且當換算無人機稀釋倍數小於 16 倍時，須以溼篩試驗的省水法進行檢驗，以鑑別差異及確保不堵塞噴頭。



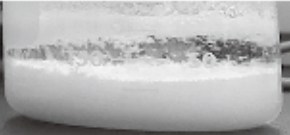



表三、益達胺 A 及納乃得 B 樣品之溼篩試驗結果

Table 3. Results of wet sieving tests on imidacloprid A and methomyl B formulations

Wet sieving method	Pesticide formulation	Sample weight (g)	Residual weight (g)	Residue percentage (%)
General-1	Imidacloprid-A	26.47	0	0
General-2	Imidacloprid-A	26.46	0	0
General-3	Imidacloprid-A	26.44	0	0
Water-saving-1	Imidacloprid-A	26.47	1.12	4.23
Water-saving-2	Imidacloprid-A	26.47	1.25	4.72
Water-saving-3	Imidacloprid-A	26.47	1.19	4.50
General-1	Methomyl-B	12.86	0.08	0.62
General-2	Methomyl-B	12.87	0.08	0.62
General-3	Methomyl-B	12.86	0.12	0.93
Water-saving-1	Methomyl-B	12.86	0.26	2.02
Water-saving-2	Methomyl-B	12.86	0.21	1.63
Water-saving-3	Methomyl -B	12.87	0.23	1.79

表四、鐳射粒徑分析結果

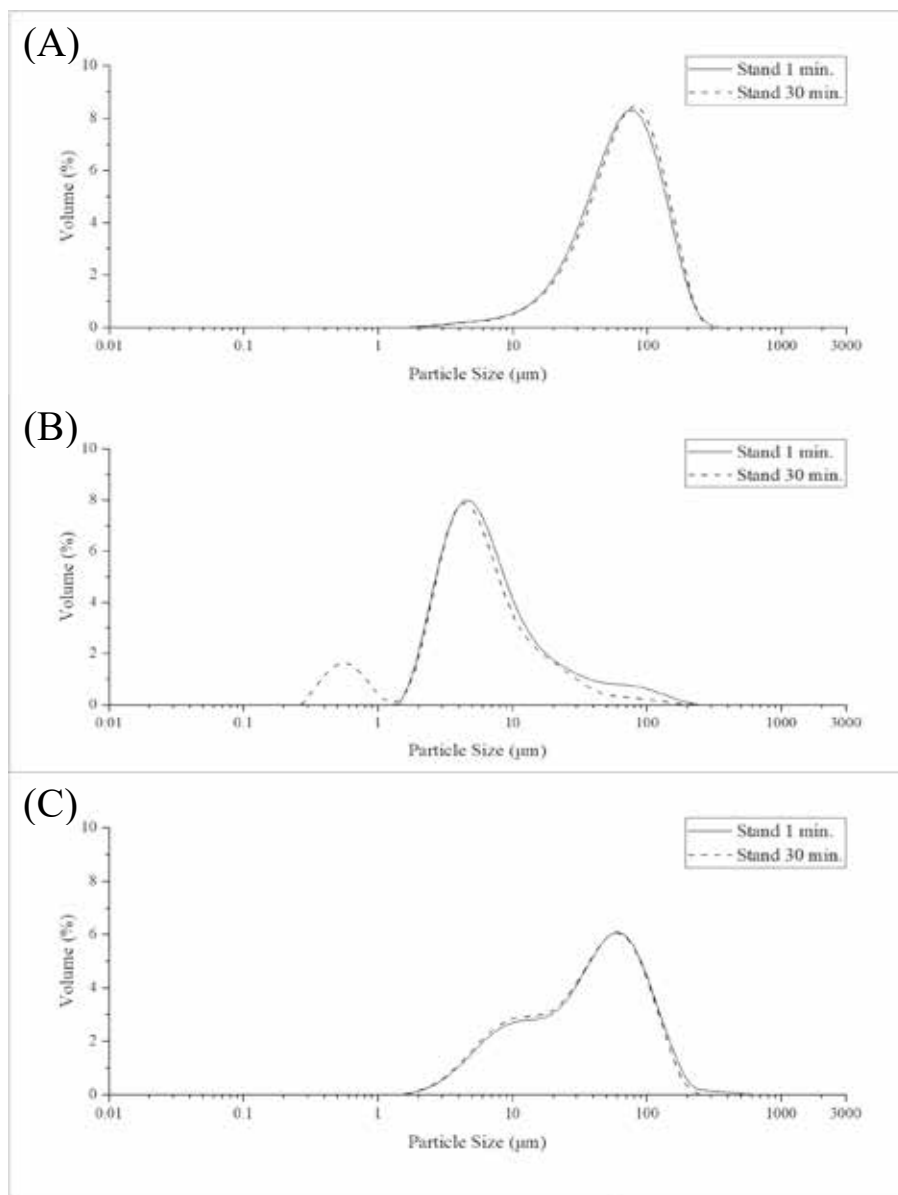
Table 4. Results of laser diffraction particle size analysis

Pesticide formulation	Particle size distribution		Result of wet sieving test ¹⁾	
	d50 (μm)	d90 (μm)	Water-saving method	General method
Imidacloprid-A ²⁾ 	75.2	152.0	N	C
Imidacloprid-B ²⁾ 	- ³⁾	- ³⁾	C	C
Imidacloprid-C ²⁾ 	97.8	219.0	N	C
(Kasugamycin + copper oxychloride)-A	5.4	25.7	C	C
Tribasic copper sulfate-B	0.173	0.238	C	C
Methomyl-A ²⁾ 	37.4	101.9	C	C
Methomyl-B ²⁾ 	84.5	235.1	C	C
Methomyl-C ²⁾ 	15.3	72.9	C	C

¹⁾ C indicates that the pesticide formulation complied with the specification requirement; N indicates that the formulation did not comply with the specification requirement.

²⁾ The picture shows the state of tested imidacloprid and methomyl products after standing for 30 minutes.

³⁾ The signal was too weak to be detected.



圖三、三種供試農藥稀釋液於不同靜置時間之鐳射粒徑分布圖。分別為 (A) 益達胺 A、(B) 嘉賜銅 A 及 (C) 納乃得 A，在不同靜置時間的粒徑分布圖。

Fig. 3. Particle size distributions in dilute solutions of 3 tested pesticides at standing times of 1 and 30 minutes, respectively. (A) Imidacloprid-A, (B) (Kasugamycin + copper oxychloride)-A, (C) Methomyl-A.

二、起泡性試驗測試結果

由換算無人機藥劑建議最低稀釋倍數進行起泡性試驗結果 (表五) 顯示，在 11 種測試農藥中，計有 5 種農藥未通過起泡性試驗，包含益達胺 B (SL)、嘉賜銅 A、B、C (WP) 及納乃得 C (SP)。由嘉賜銅 A (WP) 試驗結果 (圖四) 亦可觀察到，傳統地面慣行施用的藥劑若要以無人機施用時，因稀釋倍數降低，其藥劑攪拌後的泡沫會相對增加 (圖四，上中)，亦符合界面活性劑濃度增加可能導致泡沫增加趨勢。

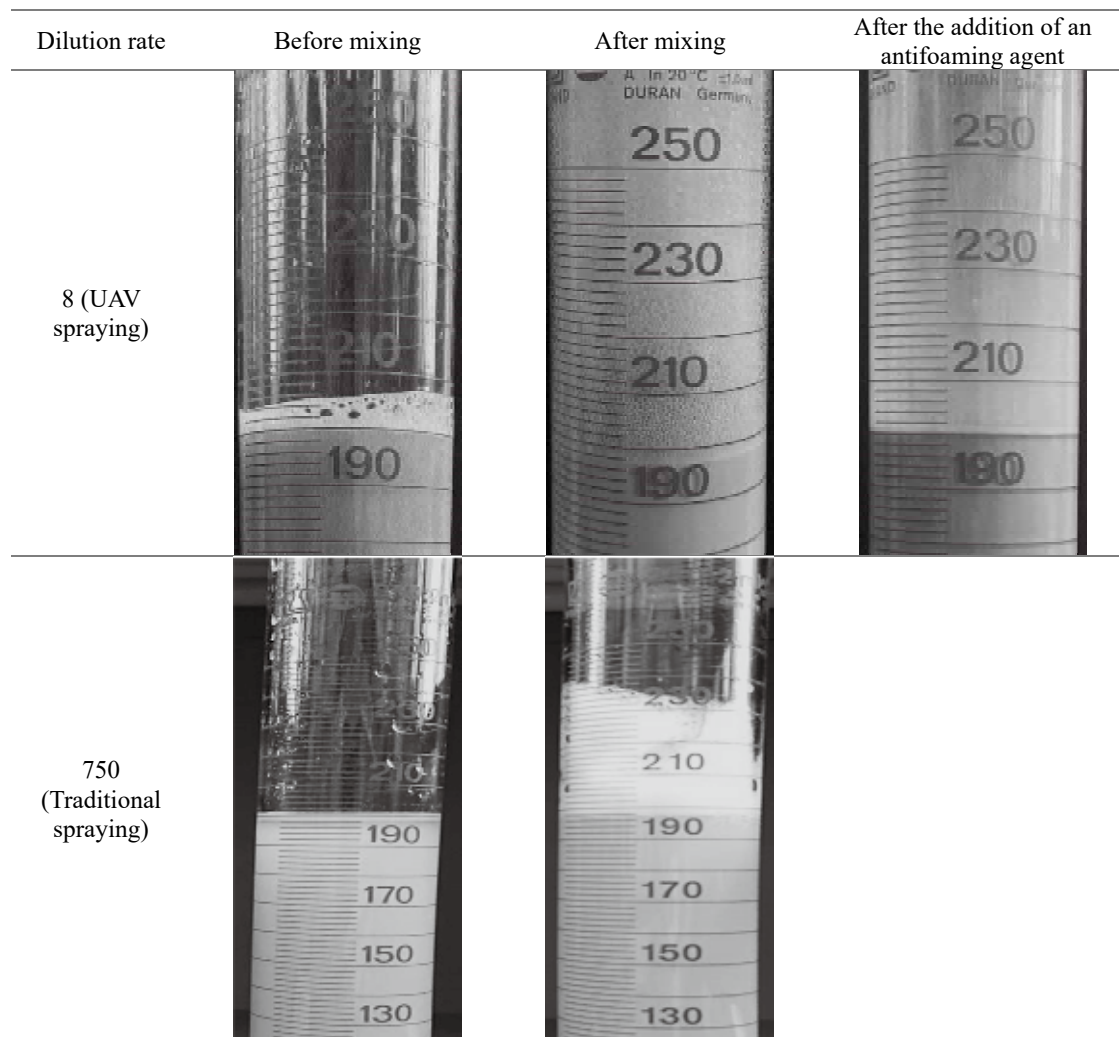
若在配藥時產生過多泡沫，則需留意可能因噴灑不均勻，產生藥效不均問題，而一般實務上，多半可透過添加消泡劑來改善泡沫過多情形 (如圖四，上右)，其作用機制主要是藉由消泡劑的低表面張力，可迅速於溶液表面展佈至泡沫表面，進而帶走泡沫鄰近表面的溶液，使其液膜局部變薄，直至達臨界厚度後，液膜無法支撐導致泡沫破裂，以達到消泡效果。因此若添加消泡劑，可有效降低泡沫發生，且在一定時間內藥液未有產生相關不良反應，則也不失為一解決良策。

表五、11 種成品農藥分別依地面噴施及無人機施藥稀釋倍數之起泡性試驗結果

Table 5. Results of persistent foaming tests showing dilution rates in ground spraying and UAV spraying applications, respectively.

Pesticide formulation	Dilution rate in ground spraying	Result ¹⁾	Dilution rate in UAV spraying	Result ¹⁾
Imidacloprid-A	1,500	C	6.67	C
Imidacloprid-B	1,500	C	6.67	N
Imidacloprid-C	1,500	C	6.67	C
(Kasugamycin + copper oxychloride)-A	750	C	8	N
(Kasugamycin + copper oxychloride)-B	750	C	8	N
(Kasugamycin + copper oxychloride)-C	750	C	8	N
Tribasic copper sulfate-A	500	C	4	C
Tribasic copper sulfate-B	500	C	4	C
Methomyl-A	800	C	12.66	C
Methomyl-B	800	C	12.66	C
Methomyl -C	800	C	12.66	N

¹⁾ C indicates that the pesticide formulation complied with the specification requirement; N indicates that the formulation did not comply with the specification requirement.



圖四、嘉賜銅 A (WP) 起泡性試驗結果比較。無人機施藥倍數下之起泡性 (上左)；上下倒置後有大量起泡 (上中)；加入消泡劑後 (上右)；傳統施藥的稀釋倍數，混合前 (下左) 混合後 (下右)。

Fig. 4. Results of a persistent foaming test performed on (kasugamycin + copper oxychloride)-A(WP). Upper photos show the pesticide solution at a dilution rate of 8 (i.e., the dilution rate used in UAV spraying) before mixing (left), after mixing (middle) and after the addition of an antifoaming agent (right). Lower photos show the pesticide solution at a dilution rate of 750 (i.e., the dilution rate used in traditional applications).

對於無人機施藥來說，遇到泡沫過多通常也會採取前述方式來改善問題，但須確保添加消泡劑後，藥液不再產生泡沫且均勻才可施藥，並於完成施藥後確認藥效是否正常，若無不良反應發生，則表示泡沫過多的問題是可改善（相較於阻塞噴頭問題），且目前有部分國家如日本⁽¹⁰⁾及美國⁽²⁴⁾等並無檢驗起泡性要求，因此起泡性試驗是否須以換算無人機建議最低稀釋倍數進行試驗，或作為無人機用藥之規格檢驗項目尚有討論空間。

三、益達胺結晶殘留物分析

由溼篩試驗結果顯示，模擬地面施藥部分（通用法）由於高稀釋倍數，在配製過程中未有結晶析出（表三），但益達胺 A 及 C（SL）依無人機使用稀釋倍數測試則未通過該試驗，將其樣品、濾液及殘留物以 HPLC 進行分析，由分析結果顯示，其成品有效成分三重複分析結果，益達胺 A 平均濃度為 9.13%、RSD 為 0.20%，益達胺 C 平均濃度為 14.54%、RSD 為 3.29%，濾液的重複分析結果，益達胺 A 平均濃度為 1.37%、RSD 為 1.25%，益達胺 C 平均濃度為 1.70%、RSD 為 0.96%；濾餅的重複分析結果，益達胺 A 平均濃度為 8.18%、RSD 為 1.65%，益達胺 C 平均濃度為 10.72%、RSD 為 1.92%，將濾液及濾餅兩者平均濃度加總後，益達胺 A 濃度為 9.55%，益達胺 C 為 12.43%，與模擬地面施藥部分的分析

結果差異不大。由實驗結果可知，在低稀釋倍數下所產生的結晶，確實包含有效成分益達胺，且其濃度比濾液濃度還高，表示有大部分益達胺存在結晶中，因此在溼篩試驗之殘留物中，會含有一定量的益達胺，如直接以單位面積之推薦用量與預計用水量，換算無人機稀釋倍數調配，除可能會造成噴頭堵塞外，甚至可能因施藥濃度不正確，造成防治效果不如預期。

四、規格試驗總結果

本研究針對 11 種應用於無人機農藥，分別進行溼篩試驗及起泡性試驗等 2 項農藥標準規格檢驗（結果彙整如表六），共計 7 種農藥無法通過檢驗，其中溼篩試驗有 2 種農藥未通過試驗，分別為益達胺 A 及 C，並藉由殘留物的 HPLC 分析，證實篩網殘留物確實有益達胺的存在，且其濃度相對濾液高；起泡性試驗部分共計 5 種農藥未通過試驗，分別為益達胺 B、嘉賜銅 A、B、C 及納乃得 C。

討論

為確認用於無人機施藥的農藥，可能導致的阻塞噴頭問題，經由實驗結果可知，應用於無人機之農藥，其稀釋倍數若低於 16 倍，宜增加溼篩檢驗，而比較現行溼篩試驗的通用法及省水法實驗結果，則建議選用省水法，藉此篩除具阻塞噴頭疑慮及影響施藥效果者。有鑑於此，為

表六、11 種應用於無人機農藥之規格檢驗結果*

Table 6. Results of specification inspections for 11 pesticides that can be applied via UAV spraying

Pesticide formulation	Wet sieving test (water-saving method)	Persistent foaming	Total result
Imidacloprid-A	N	C	N
Imidacloprid-B	C	N	N
Imidacloprid-C	N	C	N
(Kasugamycin + copper oxychloride)-A	C	N	N
(Kasugamycin + copper oxychloride)-B	C	N	N
(Kasugamycin + copper oxychloride)-C	C	N	N
Tribasic copper sulfate-A	C	C	C
Tribasic copper sulfate-B	C	C	C
Methomyl-A	C	C	C
Methomyl-B	C	C	C
Methomyl-C	C	N	N

* C indicates that the pesticide formulation complied with the specification requirement; N indicates that the formulation did not comply with the specification requirement.

避免降低稀釋倍數後，因用水量減少所致噴頭堵塞問題，建議若未來農藥應用於無人機方面，除乳劑類之外，凡是加水稀釋使用的劑型，其稀釋倍數小於 16 倍者，均應以省水法加驗細度。

相對而言，若使用未通過溼篩試驗的農藥會直接影響有效成分的濃度，造成施藥時無法均勻噴灑藥劑的問題，且較難以農用助劑改善；就起泡性試驗而言，若未通過起泡性試驗者，可透過添加消泡劑來改善起泡量過多問題，且有部分國家無檢驗起泡性要求，因此，起泡性試驗是否須進行或以無人機施藥時的最低稀釋倍數進行，尚有相關討論及調整空間。

表七為具無人機應用潛力之農藥劑型，其起泡性及細度（溼篩）規格要求，及未來應用於無人機時建議加驗之檢驗項目，以目前已核准 5 種防治稻熱病無人機用藥為例，由於各農藥換算無人機建議稀釋倍數皆小於原本傳統地面施藥之稀釋倍數，因此均須檢驗起泡性（在起泡性被列為無人機標準規格項目之前提）；而細度規格部分，除 3 種乳劑免驗細度外，可溼性粉劑因換算後稀釋倍數為 50 倍，高於建議用於無人機農藥細度規格檢驗之稀釋倍數（16 倍），因此無需加驗細度，而溶液劑型原地面施藥時無進行細度規格檢驗，因此須加驗細度。

表七、具無人機應用潛力農藥劑型之起泡性與溼篩規格檢驗需求比較¹⁾**Table 7.** Comparison of inspection item requirements for pesticide formulations that have UAV application potential in persistent foaming and wet sieving tests between ground and UAV pesticide applications¹⁾

Formulation code	Formulation type	Requirement of specification standard		Recommended requirement when UAV application	
		Persistent foaming ²⁾	Wet sieving ³⁾	Persistent foaming ²⁾	Wet sieving ⁴⁾
EC	Emulsifiable concentrate	R	N	R	N
EW	Emulsion, oil in water	R	N	R	N
ME	Micro-emulsion	R	N	R	N
DC	Dispersible concentrate	R	R	R	R
SC	Suspension concentrate	R	R	R	R
SE	Suspo-emulsion	R	R	R	R
SL	Soluble concentrate	R	N	R	R
SG	Water soluble granule	R	R	R	R
SP	Water soluble powder	R	R	R	R
ST	Water soluble tablet	R	R	R	R
WG	Water dispersible granules	R	R	R	R
WP	Wettable powder	R	R	R	R
WT	Water dispersible tablet	R	R	R	R
OD	Oil dispersion	R	R	R	R

¹⁾ R: required; N: not required.

²⁾ Performed using the lowest dilution rate of a given application method.

³⁾ General method.

⁴⁾ Water-saving method.

無人機施藥由於用水量較少，對於施藥的精準性及有效性的要求較高，在藥劑調配過程中更須特別注意是否出現相關不良問題。無人機的應用廣泛，針對目前市售或未來要以無人機施用的農藥實施理化性特殊規格檢驗有其必要性，而溼篩試驗的省水法相較通用法，可有效篩析辨識有堵塞噴頭疑慮的農藥，進而就相同劑型含量但不同廠牌，篩選符合適用無人機的藥

劑，使施藥時可達到精準施藥及藥液噴灑量確實等優點。

謝辭

本研究由行政院農業委員會經費補助(計畫編號：110 農科-5.4.2-藥-P1)，試驗期間承蒙本所殘留管制組初建副研究員及廖保成技佐提供檢驗方法之建議，透過本

試驗測試農藥特性並研究適當的分析方法，以協助篩選汰除不良無人機藥劑，謹致謝忱。

引用文獻

1. 黃文意、王仕賢、楊舒涵。2020。當老農遇上新科技—以無人機解決農業缺工問題。國土及公共治理季刊 8：98-103。
2. 行政院農業委員會。2018。農藥標準規格準則。農防字第 1071488923 號令修正發布。
3. 江致民、粘志遠、陳品諱、謝奉家。2021。我國無人機施藥應用之發展與日本無人機適用農藥登記現況。農政與農情 354：48-53。
4. 江致民、謝奉家、何明勳。2018。無人機施藥的科技研發成果與展望。農政與農情 317：115-120。
5. 行政院農業委員會。2000。起泡性試驗。89 農糧字第 890020475 號公告。
6. 行政院農業委員會。2020。水稻葉稻熱病及穗稻熱病防治藥劑無人飛行載具之使用方法及其範圍。檢自 <https://join.gov.tw/policies/detail/dd90755-5-3631-47ee-9579-eded7b9f2667> (Mar. 22, 2022)
7. 行政院農業委員會動植物防疫檢疫局。2007。溼篩試驗方法。防檢三字第 0961484600 號公告。
8. 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所。2019。農委會發表新農業政策研發成果無人機精準農業與農噴應用元年，正式起飛。檢自 <https://www.tactri.gov.tw/Item/Detail/%E8%BE%B2%E5%A7%94%E6%9C%83%E7%99%BC%E8%A1%A8%E6%96%B0%E8%BE%B2%E6%A5%AD%E6%94%BF%E7%AD%96%E7%A0%94%E7%99%BC%E6%88%90%E6%9E%9C-%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F%E7%B2%BE%E6%BA%96> (Mar. 22, 2022)
9. 蔣永正。2018。農用藥劑之安全使用。UAV 在草坪管理應用與農藥安全使用研習會專刊，第 3-22 頁。國立臺灣大學農藝學系編印。臺中。
10. 奧園 高太郎。2019。農藥製劑の物理化学的性状試験。CERI News 88: 3-4。
11. Collaborative International Pesticides Analytical Council (CIPAC). 1995. MT 15 Suspensibility of wettable powders in water, pp.45-52. In: W. Dobrat & A. Martijn [eds], CIPAC handbook volume F, Physio-chemical methods for technical and formulated pesticides. Collaborative International Pesticides Analytical Council Limited, Harpenden, England. 472pp.
12. Collaborative International Pesticides Analytical Council (CIPAC). 1995. MT 36 Emulsion characteristics of emulsifiable concentrates. pp.108-114. In: W. Dobrat & A. Martijn [eds], CIPAC handbook volume F, Physio-chemical methods for technical and formulated pesticides. Collaborative

- International Pesticides Analytical Council Limited, Harpenden, England. 472pp
13. Collaborative International Pesticides Analytical Council (CIPAC). 1995. MT 47 Persistent foaming. pp.152-153. *In*: W. Dobrat & A. Martijn [eds], CIPAC handbook volume F, Physio-chemical methods for technical and formulated pesticides. Collaborative International Pesticides Analytical Council Limited, Harpenden, England. 472pp
 14. Collaborative International Pesticides Analytical Council (CIPAC). 1995. MT 59 Sieve analysis. pp.177-182. *In*: W. Dobrat & A. Martijn [eds], CIPAC handbook volume F, Physio-chemical methods for technical and formulated pesticides. Collaborative International Pesticides Analytical Council Limited, Harpenden, England. 472pp
 15. Collaborative International Pesticides Analytical Council (CIPAC). 1995. MT 160 Spontaneity of dispersion of suspension concentrates. pp.391-394. *In*: W. Dobrat & A. Martijn [eds], CIPAC handbook volume F, Physio-chemical methods for technical and formulated pesticides. Collaborative International Pesticides Analytical Council Limited, Harpenden, England. 472pp
 16. Collaborative International Pesticides Analytical Council (CIPAC). 1995. MT 167 Wet sieving after dispersion of water dispersible granules. pp.416-417. *In*: W. Dobrat & A. Martijn [eds], CIPAC handbook volume F, Physio-chemical methods for technical and formulated pesticides. Collaborative International Pesticides Analytical Council Limited, Harpenden, England. 472pp.
 17. Collaborative International Pesticides Analytical Council (CIPAC). 1998. MT 180 Dispersion stability of suspo-emulsions. pp.310-313. *In*: W. Dobrat & A. Martijn [eds], CIPAC handbook volume H, Physio-chemical methods for technical and formulated pesticides. Collaborative International Pesticides Analytical Council Limited, Harpenden, England. 359pp.
 18. Collaborative International Pesticides Analytical Council (CIPAC). 2000. MT 182 Wet sieving using recycled water. pp.135-137. *In*: W. Dobrat & A. Martijn [eds], CIPAC handbook volume J, Physio-chemical methods for technical and formulated pesticides. Collaborative International Pesticides Analytical Council Limited, Harpenden, England. 193pp.
 19. Collaborative International Pesticides Analytical Council (CIPAC). 2003. MT 185 Wet sieving test. pp.149-150. *In*: W. Dobrat & A. Martijn [eds], CIPAC handbook volume K, Analysis of technical and formulated pesticides. Collaborative

- International Pesticides Analytical Council Limited, Harpenden, England. 211pp.
20. Collaborative International Pesticides Analytical Council (CIPAC). 2003. MT 187 Particle size analysis by laser diffraction. pp.153-156. *In*: W. Dobrat & A. Martijn [eds], CIPAC handbook volume K, Analysis of technical and formulated pesticides. Collaborative International Pesticides Analytical Council Limited, Harpenden, England. 211pp.
21. Collaborative International Pesticides Analytical Council (CIPAC). 2021. Handbooks. Retrieved from <https://www.cipac.org/index.php/m-p/handbooks> (May 09, 2023)
22. European Parliament and the Council of the European Union. Regulation (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 concerning the placing of plant protection products on the market and repealing Council Directives 79/117/EEC and 91/414/EEC. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32009R1107> (Mar. 29, 2022)
23. University Of Hertfordshire. 2022. PPDB: Pesticide Properties DataBase- Imidacloprid (Ref: BAY NTN 33893). Retrieved from <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/397.htm> (Sep. 20, 2022)
24. United States Environmental Protection Agency. Series 830- Product Properties Test Guidelines. Retrieved from <https://www.epa.gov/test-guidelines-pesticides-and-toxic-substances/series-830-product-properties-test-guidelines> (Mar. 22, 2022)
25. World Health Organization and Food and Agriculture Organization. 2016. Manual on development and use of FAO and WHO specifications for pesticides. Retrieved from <https://www.fao.org/publications/card/en/c/86804bb9-a04a-488a-bb86-4fdb31a199d5/> (Mar. 29, 2022)

Physico-Chemical Specification Requirements for Pesticide Formulations Applied by Unmanned Aerial Vehicles - Discussion on Fineness and Persistent Foaming

Wei-Ti Tseng¹, Chih-Min Chiang¹, Feng-Chia Hsieh¹, Chih-Yuan Nien^{1*}

Abstract

Tseng, W. T., Chiang, C. M., Hsieh, F. C. and Nien, C. Y. 2023. Physico-chemical specification requirements for pesticide formulations applied by unmanned aerial vehicles – discussion on fineness and persistent foaming. *Taiwan Pestic. Sci.* 14: 1-22.

Unmanned aerial vehicles (UAVs) have become a powerful pesticide application tools for large-scale farming in recent years. In Japan, spraying solutions for UAVs are prepared according to the recommended dosage per unit area. The dilution rate used in UAV spraying is lower than that used in conventional ground spraying methods. In practice, if the active ingredients or other ingredients have poor water solubility, problems that affect application efficacy may arise, such as a blocked nozzle or poor spray uniformity. It is therefore necessary to consider additional requirements when conducting physico-chemical specification tests on pesticides used in UAV spraying. In this study, additional specification tests were conducted on 11 pesticide formulations that had performed poorly in previous UAV tests. We mainly conducted wet sieving tests (using both a water-saving method and a general method) and persistent foaming tests. In wet sieving tests, samples retained on sieves were collected and analyzed by high performance liquid chromatography (HPLC) in order to confirm active ingredient contents contained in residues. HPLC results revealed that 11 pesticide formulations suspected of blocking spray

Accepted: March 21, 2023.

* Corresponding author, E-mail: cynien@tactri.gov.tw

¹ Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute, Council of Agriculture, Taichung

nozzles following the general method in wet sieving test did not actually cause nozzle blockage. Indeed, the water-saving method can distinguish among pesticides that do and do not cause nozzle blockage. Results of HPLC analysis also revealed that residues retained on sieves primarily contained active ingredients. In persistent foaming tests, 5 of the 11 pesticides failed at the lowest dilution rate used in UAV spraying. Those formulations easily foamed when diluted with water, which can be very inconvenient for spray applications. In conclusion, we recommend that, in determining which pesticides can be applied via UAV spraying, fineness specification should be inspected by water-saving method. This will ensure that nozzles remain unblocked in UAV applications. We also recommend that antifoaming agents are added to pesticide solutions to facilitate convenient use in spray applications.

Key words: UAV, physico-chemical specification, wet sieving test, persistent foaming