

使用無人飛行載具防治包心白菜害蟲之藥劑霧滴分佈、飄散距離及藥效評估

周明儀^{1*}、葉仲基²

摘要 無人飛行載具應用於農藥施用因其高工作效率及省工兩項優勢在近年來逐漸引起農民的重視，然而在管理蔬菜害蟲的田間應用尚未有科學化數據探討其有效性及相關的霧滴特性及可能的飄散距離。本試驗目的為使用無人飛行載具(大疆 MG-1P)進行小菜蛾與黃條葉蚤防治藥效測試，並記錄藥液在處理區之霧滴分佈及飄散距離紀錄。試驗藥劑包括賜諾特(台灣道禮，菜園寶 SC 水懸劑 11.7%；0.5 L/ha)及達特南(惠光，鐵金剛 SG 水溶性粒劑 20%；0.2 kg/ha) 使用 40 L/ha 水量進行測試。處理期間小菜蛾及黃條葉蚤密度於兩次處理後與處理前密度比較無顯著增加，顯示此使用方法能夠達到防止田區害蟲增加之作用。與人工慣行施藥每公頃 1000 公升水量比較，使用無人飛行載具減少賜諾特與達特南之使用量分別達到 17%及 60%；與人工操作所需工時相比亦至少縮短 50%以上，且不被雨季所造成田間泥濘影響操作，提供高效率操作模式。處理區中的水試紙記錄霧滴密度上葉面為 69~108 粒/cm²，下葉面為 51~96 粒/cm²，透過水試紙公司(Syngenta)所提供數據換算所得本次試驗 VMD 數值約為 300 微米，霧滴粒徑符合目前在農藥飄散管理推薦操作方式所建議使用殺蟲劑 200 微米以上噴霧粒徑。處理區內藥液在水試紙之覆蓋率為上葉面 6-13%，下葉面 5-9%；處理區外藥液在水試紙之覆蓋率以上風 1 公尺及下風 3 公尺內與處理區內相近；若以前人研究所設覆蓋率 ≥ 0.05%判定為霧滴飄散污染高風險區，上風處 5m、下風處 10m 在四次試驗的數據顯示為飄散高風險區。

關鍵詞：無人飛行載具、飄散、賜諾特、達特南

Droplet Deposition and Control of Pests in Chinese Cabbage with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Pesticide Application

Ming-Yi Chou^{1*} and Chung-Kee Yeh²

ABSTRACT The use of UAV (Unmanned Aerial Vehicle) in agriculture as a pesticide application tool becomes a new technology in recent years. UAV provides the benefit of high operational efficiency, suitable for complex terrain and crop types. The droplet distribution and drift potential are two key factors that determine the efficacy of using UAV for crop protection. The current study aimed to elucidate the characteristics of droplet and drift distribution, control efficiency on striped flea beetle and diamondback moth in Chinese cabbage field. Two tested insecticides were spinetoram (Dow AgroSciences Taiwan, SC 11.7%; 0.5 L / ha) and dinotefuran (Huikwang Corporation, SG 20%; 0.2 kg / ha) at the rate of 40 L water / ha. Field trial conducted in spring 2019 show that significant reduction of striped flea beetle adult density was recorded after two treatments. Meanwhile, the density of diamondback moth larvae was not significantly different to the zero larvae per plant recorded before treatment. The result indicated that the treatment suppressed the field population growth. The use of spinetoram and dinotefuran were 17% and 60% less comparing to the maximum recommend field rate, respectively. In addition, UAV has the potential to reduce more than 50% of labor time for pesticide

¹ 國立中興大學農業推廣中心，402 台中市南區興大路 145 號。

² 國立臺灣大學生物產業機電工程學系。

* 通訊作者。Corresponding author, Email: mingyichou@nchu.edu.tw

application, improving the efficiency for crop management. In the treatment area, the droplet density were 69~108 droplets /cm² and 51~96 droplets /cm² on the upper and lower leaf surface, respectively. Image-J analysis show the droplet VMD was equivalent to about 300 microns which was sufficient to meet the 200 microns VMD drift reduction requirement.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle (UAV), spinetoram, dinotefuran, drift

一、前言

十字花科蔬菜在亞熱帶地區為終年生產的蔬菜，慣行操作方式在作物生長階段因各種害蟲危害所造成作物生產的風險，使得每週至少一次的化學藥劑施用成為農民慣行的害蟲管理操作模式。在眾多危害十字花科蔬菜的害蟲中又以黃條葉蚤 (*Phyllotreta spp.*) 和小菜蛾 (*Plutella xylostella*) 為全球性害蟲。在臺灣這兩種害蟲對包心白菜 (*Brassica rapa subsp. pekinensis* [Lour.] Rupr.) 在定植後的根部及葉表所造成的危害是目前綜合防治朝減少化學藥劑使用最難克服的瓶頸。

一般農民對慣行農藥使用的認知是越小的液滴對害物會有越好的覆蓋率，但目前研究顯示霧滴粒徑小於 150 微米因重量不足，降落速度較慢，亦容易造成霧滴飄散 (Wilson, 2020)。因此，如何有效的施用農藥及降低環境污染一直是噴霧器具研發不斷改善的目標。80 年代起國際間開始對農藥飄散所造成的問題制定相關管理策略，在 1984 年制定了農藥噴頭及壓力表、螺絲零件等噴霧機相關材料的國際標準 (ISO-4102)，並在 2005 年制定田間農藥飄散測試標準 (ISO-22866)。目前美國各推廣教育單位針對低飄散風險操作所推薦的殺蟲劑霧滴粒徑依照觸殺性及系統性殺蟲劑分別為 146-325 微米及 226-400 微米 (Hipkins et al. 2009)。目前臺灣農民慣行高壓噴藥方式使用扇形噴頭所產生的霧滴粒徑經測試結果顯示，大部分測試噴頭樣式所產生霧滴小於低飄散風險操作所推薦的粒徑大小(黃等, 2016; 黃、徐, 2017)。由於無人飛行載具所搭配的壓力馬達及噴頭皆符合滴飄散風險操作低壓、大霧滴的要求，具有開發其在植物保護應用上的潛力。

目前農業用無人飛行載具於世界各國之應用上因地而異，以美國為例，由於美國農地廣闊，其農業型態偏於粗放農業，當地農民多使用載人飛行器(輕型飛機)來進行植保作業。然而在中國，由於其農業的發展偏於精緻農業，又因為其農地附近可能就有一般住家，因此小型之農業用無人飛行載具在中國被視為未來農業發展的一大趨

勢。無人飛行載具在農業植物保護的應用包括施灑肥料、殺草、殺菌及殺蟲劑到應用於天敵的釋放(吳、陳, 2018; Teske et al. 2019)。近年來更由於增加了障礙物迴避技術及地形跟蹤技術的應用，因而提升了無人飛行載具操作時的精準度及安全性。目前農藥施灑所用的各項因子設定多來自於在糧食作物上的研究數據；由於無人飛行載具能夠低空飛行、使用低水量並能達到高防治效果，目前最為廣泛使用於糧食作物的病蟲害管理 (Xue et al. 2016; Lan et al. 2017)。例如在水稻的研究數據顯示當飛行高度控制在 1.5-3 m，飛行時速控制在 3-6 m/s 的範圍時，能夠在水稻基部得到最大量的藥劑 (Qin et al. 2016; Li et al. 2019)。使用無人飛行載具防治甘蔗螟蛾類害蟲防治的研究數據顯示，與一般慣行方法比較阿巴汀及祿芬隆的使用量減少了 90%以上，並且沒有影響兩種藥劑的防治功效 (Zhang et al. 2019)。然而目前在蔬菜方面的防治及飄散數據尚十分缺乏。

無人飛行載具雖然利用低壓、大霧滴的低飄散風險操作方式進行農藥噴灑，其噴藥操作高度及飛行速度仍為可能造成農藥飄散高風險因子。農藥飄散管理是針對在農藥噴施期間或噴施後，藥液粒子經由氣流之帶動，移至噴施區以外的風險管理。農藥飄散風險依所使用的藥劑物化特性、農藥產品所含之展著劑、黏著劑，到所使用的機械設定及環境因子等皆會影響藥劑霧滴沉降速度、霧滴分佈及飄散風險。目前研究數據顯示使用無人飛行載具在葡萄園施用益達胺時，其霧滴飄散可記錄到的最遠距離為 48 公尺(Brown and Giles, 2018)；達特南在鳳梨園的飄散數據紀錄則顯示 90%飄散霧滴落在處理區外 46.5 公尺以內範圍(Wang et al. 2018)。適合使用於糧食作物農藥施用的無人飛行載具最小霧滴粒徑在 Chen et al. (2020)的研究顯示至少需 160 微米以上，並需在處理田區周遭設有至少 10 公尺的緩衝帶。無人飛行載具在使用上雖能夠大量減少操作者暴露於農藥環境中的時間，亦可藉由無線操作減少農藥對操作者的影響；然而目前各研究所呈現資訊顯示在高密度栽培的小田區使用無人飛行載具進行農藥噴灑仍需考量可能的農藥飄散風險。

本研究的目的為記錄使用無人飛行載具作為害蟲防治工具的藥效測試，並記錄含藥霧滴之霧滴分佈及飄散距離，以供未來相關規範設定參考。

二、材料方法

(一)供試設備及材料

本試驗所用施藥機械為無人飛行載具 (大疆 MG-1P，詳細機型技術參數資料如表 1)。農藥霧滴分佈紀錄則使用水試紙 (Syngenta，型號 CH-4002，76 mm × 26mm)。供試白菜品種為漳浦白菜及栽植距離為 60 公分。試驗藥劑包括賜諾特(台灣道禮，菜園寶 SC 水懸劑 11.7%；0.5 L / ha)及達特南(惠光，鐵金剛 SG 水溶性粒劑 20%；0.2 kg / ha) 使用 40 L / ha 水量進行測試。

表 1、MG-1P 無人飛行載具技術參數

Table 1 Specification and technical parameters of MG-1P UAV

AIRCRAFT FRAME	
Diagonal Wheelbase :	1500 mm
Frame Arm Length:	619 mm
Dimensions :	1460×1460×578 mm (arms unfolded, without propellers) 780×780×578 mm (arms folded)
Propeller diameter :	533 mm
FLIGHT PARAMETERS	
Total Weight (without battery):	9.7 kg
Standard Takeoff Weight:	23.8 kg
Flying Speed	2 m/s
Flight Height	2 m
SPRAY SYSTEM	
Liquid Tank Volume:	10 L
Standard Operating Payload:	10 kg
Nozzle Quantity:	4
Nozzle Recommend Model:	TX-VK8 (0.5 L /min)
Spray pressure:	3 kg / cm ²
Droplet Size (XR11001VS):	130-250 μm (subject to working environment and s praying speed)

(二)試驗設計

於 2019 年 5 月~6 月分別在彰化縣竹塘之兩個結球白菜田(圖 1)進行兩次為期 3 週的測試；第一處理區內第一週以賜諾特進行噴灑，第二週則以賜諾特及達特南進行處理，第二處理區內則兩週皆以賜諾特及達特南進行處理。每次處理於下午兩點後風速小於 3 m/s 時開始進行無人載具施藥，無人飛行載具航線為植冠上方水平十五公尺乘以二十公尺範圍內，以弓型路徑等距離執行噴

藥前進、返回、前進再返回共四趟。水試紙放置方法依試驗目的分為兩種方式：(1)處理區：航線下方植冠上方水平十五公尺乘以二十公尺範圍內三十點乘以四列共 120 張之水試紙紀錄藥滴沉降於上、下葉面情形。紀錄使用之水試紙在第一次試驗為固定於植株葉片上，第二次試驗起則為固定於塑膠葉片，固定於與植株相同高度，以減少植物蒸散水氣對水試紙的影響。(2)飄散區：於距上風邊境一、三、五、七、十與十五公尺處，距下風邊境一、三、

五、七、十、十五、二十、三十及五十公尺處，每處佈放 4 張水試紙，共 60 張水試紙。飄散區水試紙水平固定於鐵架所做的平台，離地距離為 50-60 公分。

(三)調查項目

1.使用無人飛行載具施用賜諾特及達特南藥效測試：

定植一週後進行處理前害蟲密度調查，於處理區每畦隨機調查 10 棵植株上每株植株的小菜蛾幼蟲及黃條葉蚤成蟲數量，共調查 15 畦。施藥後 7 天再次進行密度調查，以比較每次處理間害蟲密度差異。所得小菜蛾及黃條葉蚤密度數據以單向雙方分析(one-way ANOVA) (SAS Version 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 比較處理前後小菜蛾及黃條葉蚤在植株上密度差異，再以 Tukey' s HSD 做事後檢定($p = 0.05$)。

2.無人飛行載具施藥噴灑均勻性及飄散試驗：

處理區及飄散區所設水試紙所收集的霧滴密度(粒/cm²)、覆蓋率(%)及直徑(微米，microns)經由電腦影像處理軟體(Image J, National Institute of Health, U.S.A.)分析記錄霧滴分布狀況，並以水試紙廠商(Syngenta)所提供標準數據推判無人載具在包心葉菜上施用殺蟲劑能否提供藥劑有效覆蓋植株保護作用。處理區內四列水試紙上之霧滴分佈以 ANOVA GLM (SAS Version 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)進行檢定，以了解飛行 4 列飛行路徑下霧滴分佈差異。本試驗飄散污染判定則依黃及徐(2017)所述飄散區內水試紙達 0.05% 以上覆蓋率(有肉眼可見細霧滴顆粒約 4 顆沉降在水試紙上，以影像分析軟體內建公式換算水量約為 0.02 μL /cm²) 則判斷為飄散污染。



圖 1、彰化地區試驗田區相對位置圖 (上: 第一田區；下: 第二田區)

Fig. 1 Experiment fields located in Changhua, Taiwan (above: field 1; below: field 2)

三、結果

(一)使用無人飛行載具施用賜諾特及達特南藥效測試

第一田區小菜蛾密度在試驗期間密度極低，處理前密度為每植株平均 0.02 隻幼蟲，在兩次處理後密度則降到每株平均 0.01 隻幼蟲，與處理前並無顯著差異。以無人飛行載具施用達特南對包心白菜上黃跳葉蚤的密度在使用後與施藥前比較則有明顯下降(表 2)。第二田區以則因試驗期間適逢雨季，在第一次處理後因連續降雨，造成第一次施藥後黃條葉蚤密度顯著上升；在第二次施藥後

則下降至與施藥前密度無明顯差異(表 3)。兩田區之小菜蛾及黃條葉蚤族群密度在兩次施藥期間與處理前族群密度比較無明顯增加，結果顯示以無人載具施藥具有作為蔬菜害蟲管理工具的潛力。

(二)使用無人飛行載具施藥噴灑均勻性測試：

四次試驗數據所收集之霧滴數據以 ANOVA GLM 分析顯示四列水試紙間霧滴密度($F = 0.61$; $df = 3, 3$; $p = 0.6$)及覆蓋率($F = 0.27$; $df = 3, 3$; $p = 0.8$) 並無明顯差異；霧滴直徑($F = 0.06$; $df = 2, 3$; $p = 0.9$) 在去除第一次試驗因植株水氣影響因素後，亦無顯著差

異。此結果顯示以無人飛行載具噴灑藥劑在處理區內分布均勻 (圖 2)。試紙記錄霧滴密度約為上葉面 69-108 粒/cm²，下葉面 51-96 粒/cm²。水試紙記錄霧滴覆蓋率為上葉面 6-13 %，下葉面 5-9 %。使用植保無人飛行載具在處理區中的水試紙上記錄霧滴直徑為上葉面 325-544 microns，下葉面 348-493 microns。水試紙記錄霧粒密度在處理區內四列皆大於水試紙公司所推薦的殺蟲劑建議霧滴密度 20-30 粒/cm²，上下葉面的霧滴密度皆達到 50 粒/cm² 以上，表示植保無人飛行載具噴灑賜諾特和達特南藥劑時能達到上、下葉面有效覆蓋。

(三)使用無人飛行載具施藥飄散調查測試

經過四次測試所收集到的霧滴飄散距離數據顯示，上風 1m、下風 3 m 內的水試紙覆蓋率達到與處理區內相近的覆蓋率 (> 6%)；若以覆蓋率 $\geq 0.05\%$ 判定為霧滴飄散污染高風險區，上風處 5 公尺、下風處 10 公尺在四次試驗的數據顯示為飄散高風險區。本研究所收集的數據紀錄顯示以無人飛行載具在風速 3 m/s 以下的操作模式所形成之霧滴飄散最遠可達下風 30 公尺的距離 (表 4)。

表 2、第一田區以 UAV 施藥處理前及處理後之害蟲密度

Table 2 Pest density before and after UAV application in field 1

	Mean \pm SE (number /plant)*	
	Stripped flea beetle	Diamondback moth
Before treatment	0.91 \pm 0.09A*	0.02 \pm 0.01a
First treatment (spinetoram)	1.01 \pm 0.15A	0.007 \pm 0.007a
Second treatment (spinetoram + dinotefuran)	0.25 \pm 0.06B	0.01 \pm 0.01a

*Means followed by the same letter in the column are not significantly different at $p < 0.05$ according to Tukey' s HSD.

表 3、第二田區以 UAV 施藥處理前及處理後之害蟲密度

Table 3 Pest density before and after UAV application in field 2

	Mean \pm SE (number /plant)*	
	Stripped flea beetle	Stripped flea beetle
Before treatment	0.73 \pm 0.12A	0a
First treatment (spinetoram + dinotefuran)	3.94 \pm 0.87B	0.007 \pm 0.007a
Second treatment (spinetoram + dinotefuran)	2.11 \pm 0.28AB	0.02 \pm 0.01a

*Means followed by the same letter in the column are not significantly different at $p < 0.05$ according to Tukey' s HSD.

表 4、各次施藥所收集藥液霧滴飄散距離(公尺)及霧滴覆蓋率(%)。灰色背景顯示霧滴覆蓋率 $\geq 0.05\%$

Table 4 Spray drift distance (m) and droplet coverage (%) from four replicated trials. Numbers with gray background represented droplet coverage is $\geq 0.05\%$

Trail	wind speed (m/s)	Droplet Coverage Mean \pm SE(%)														
		Drift distance recorded upwind from the UAV spray area. (m)							Drift distance recorded downwind from the UAV spray area. (m)							
		15	10	7	5	3	1	1	3	5	7	10	15	20	30	50
Test (1)	NA	0 \pm 0	0.02 \pm 0.01	0.01 \pm 0.01	0.13 \pm 0.08	0.9 \pm 0.24	12.42 \pm 3.84	8.98 \pm 2.32	1.02 \pm 0.12	0.49 \pm 0.16	0.26 \pm 0.06	0.09 \pm 0.03	0.02 \pm 0.01	0.04 \pm 0.03	0.01 \pm 0.01	0 \pm 0
Test (2)	1.4	0.02 \pm 0.02	0.01 \pm 0	0.02 \pm 0.01	0.12 \pm 0.07	0.94 \pm 0.35	27.07 \pm 8.26	23.89 \pm 7.05	8.42 \pm 2.78	3.77 \pm 0.9	3.8 \pm 1.02	0.64 \pm 0.29	0.55 \pm 0.14	0.21 \pm 0.06	0.15 \pm 0.11	0.02 \pm 0.01
Test (3)	0.3	0.14 \pm 0.11	0.02 \pm 0	0.01 \pm 0.01	0.49 \pm 0.38	0.8 \pm 0.42	21.81 \pm 11.76	17.2 \pm 4.29	6.44 \pm 1.27	1.64 \pm 0.62	1.11 \pm 0.64	0.3 \pm 0.16	0.03 \pm 0.01	0.02 \pm 0.01	0.01 \pm 0	0.01 \pm 0.01
Test (4)	3.2	0.05 \pm 0.02	0.3 \pm 0.23	1.07 \pm 0.56	4.33 \pm 2.1	14.41 \pm 5.55	28.08 \pm 3.27	20.34 \pm 7.44	15.57 \pm 5.88	1.34 \pm 0.12	0.48 \pm 0.22	0.18 \pm 0.08	0.02 \pm 0.01	0.05 \pm 0.02	0.13 \pm 0.06	0.02 \pm 0.01

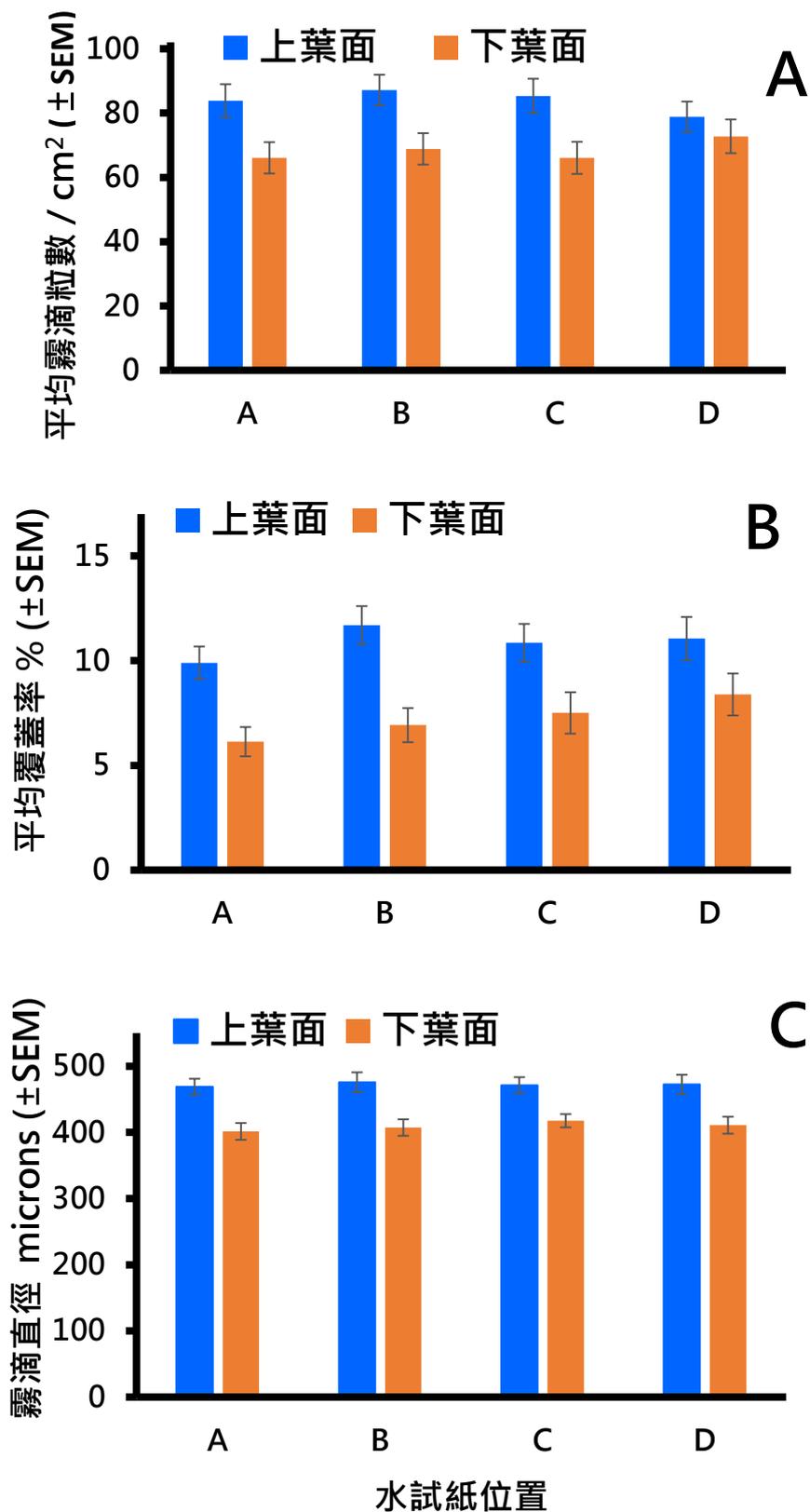


圖 2、UAV 施藥處理區水試紙紀錄之(A)霧滴密度、(B)覆蓋率、(C)霧滴直徑

Fig. 2 Droplet density(A), coverage (B), and droplet diameter (C) of water-sensitive paper in the UAV treatment area

四、討論

本研究以無人飛行載具作為害蟲管理工具所收集的藥效數據顯示，小菜蛾及黃條葉蚤在處理區的密度經過兩次藥劑處理後皆維持在與處理前無顯著差異的低密度，處理區霧滴粒徑及密度皆能達到有效施藥及低飄散風險的標準 (Hipkins et al. 2009)。與人工慣行平面施藥相比，無人飛行載具減少蔬菜殺蟲劑農藥使用量達 60%；與人工操作所需工時相比亦至少縮短 50%以上，且不被雨季影響操作，具有高效率管理操作模式的潛力。小菜蛾在中部地區族群高峰為每年 11 月至隔年 5 月(柯等, 1993)，本研究進行期間為中部地區平地包葉菜類蔬菜春季生產尾聲；當環境內寄生蔬菜陸續收成的同時，田間族群應有大量增加的風險。本研究進行時，同區域合作包心白菜農民慣行防治方式需每 3-5 天施灑一次藥劑，方能維持低害蟲密度。本研究以每 7 天處理一次的藥劑處理方式抑制小菜蛾及黃條葉蚤兩種害蟲的族群增加，顯示使用無人飛行載具施藥能夠有效發揮本研究使用兩藥劑賜諾特及達特南之藥效。

慣行使用方式為達到藥液的均勻分佈的目的，多使用高壓、高水量的藥劑使用法，造成藥液霧滴細小，因此增加藥液飄散 (drifting) 發生的風險。使用農藥要達到有效覆蓋植株的目的不但需要考量霧滴粒徑及用水量，亦須考量覆蓋率、密度。Wang et al. (2019)比較一般背負式噴霧機高水量的管理方式與 UAV 低水量細霧滴對小麥白粉病及蚜蟲的管理顯示，高水量(450 L / ha)的使用方式所形成的藥液霧滴植株上的分佈明顯小於 UAV (<28 L / ha)低水量的使用方式，在 UAV 處理區亦顯示明顯較低的害蟲及病株密度。使用 UAV 施灑達特南及賜諾特作為包心葉菜害蟲管理方法在兩次田間試驗的結果皆顯示，害蟲密度沒有比處理前的低密度明顯增加；此結果顯示經由 UAV 施灑的藥劑能夠提供足夠的防治效用。

本研究所使用的細霧粒 TX-VK8 噴頭在處理區水試紙上所收集到 6-13%的覆蓋率與 Nansen et al. (2015)以平面施藥方式配合細霧粒噴頭(XR110)及相同水量時所得的覆蓋率相近，顯示以 UAV 於本研究所設定的 2m 飛行高度在植株上的藥液覆蓋率能夠與平面施藥相比。然而，本研究所得之覆蓋率小於 Hunter et al. (2020)收集地面細霧粒(XR11002VS)噴頭所產生霧粒所得的 30-40%覆蓋率範圍；顯示在記錄覆蓋率時，將水試紙固定於不動平面與固定於會被 UAV 下沉氣流擾動的葉面兩種紀錄方式會對所要記錄的覆蓋率有顯著的影響，未來

在訂定相關規範時須訂立明確測試方法。

透過水試紙廠商(Syngenta，型號 CH-4002)所提供水試紙霧滴粒徑數據換算公式推算本試驗處理區霧滴粒徑範圍在 171-259 微米間，已達到 Chen et al. (2020)及 Hipkins et al. (2009)所做研究內建議使用的低飄散風險霧滴粒徑。以試驗結果所推算之霧滴粒徑與 TX-VK8 產品標示之噴頭霧滴粒徑 130-250 微米相近，顯示以無人機載具施藥對霧滴實際型態影響不大。以 Syngenta 所提供 Optomax V 電腦影像處理軟體套用水試紙紀錄霧滴密度及用水量所推算出 VMD (50%的霧滴粒子實際體積直徑)數值約為 300 微米，比使用換算公式所推算出之粒徑稍大；顯示在使用不同電腦影像處理軟體及換算公式時需注意可能產生之誤差。

緩衝帶的設置不但與使用機械有關，亦與所使用的藥劑、環境內敏感因子息息相關。在本試驗所收集之飄散數據顯示以 UAV 作為施藥機械在包心白菜施用殺蟲劑的霧滴飄散距離在上風處 5 公尺及下風處 10 公尺皆達到黃及徐(2017)所述的 0.05% (= 0.02 $\mu\text{l} / \text{cm}^2$ 液體)以上的汙染高風險覆蓋率，然而其所代表的汙染及風險皆尚須進一步的探討。本研究四次測試在上風處五公尺尚能收集到 0.12-4.33% 的液體覆蓋率，顯示 UAV 風扇於行進時所產生的擾動氣流與田間氣流可能影響藥液分佈及向上風處漂移的機會。使用 UAV 從空中施用藥劑時的下沉氣流雖可達到將藥液帶到植株底部的作用(Qin et al. 2016; Li et al. 2019)，然而對蔬菜本身組織的傷害及是否會造成病害入侵或品質的下降則需更多的研究確認。

五、參考文獻

- 吳怡慧、陳泓如 (2018)。釋放天敵新技術!無人機釋放平腹小蜂示範觀摩會。苗栗區農情月刊 221:1-1。
- 柯忠德、陳慶忠、劉興隆 (1993)。中部地區簡易設施蔬菜害蟲發生調查。臺中區農業改良場研究彙報。40: 45-54。
- 黃郁容、徐榮志、何明勳 (2016)。臺灣農藥噴頭霧滴粒徑調查研究與飄散評估方法建立。臺灣農藥科學。1:107-126。
- 黃郁容、徐榮志 (2017)。臺灣農藥常用扇形噴頭之流量、霧滴粒徑及飄散距離之研究。臺灣農藥科學。3:1-24。
- Brown, C. and Giles, D. (2018). "Measurement of Pesticide Drift from Unmanned Aerial Vehicle

- Application to a Vineyard." *Trans. ASABE*. 61: 1539-1546. 10.13031/trans.12672.
- Chen, S., Lan, Y., Zhou, Z., Ouyang, F., Wang, G., Huang, X., Deng, X. and Cheng, S., 2020. "Effect of Droplet Size Parameters on Droplet Deposition and Drift of Aerial Spraying by Using Plant Protection UAV." *Agronomy*, 10 (2): 195. doi:10.3390/agronomy10020195.
- Hipkins, P., Grisso, R. and Wolf, B. (2009). *Droplet Chart/Selection Guide*. Virginia Cooperative Extension. PUBLICATION 442-031. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Hunter, J.E. III, Gannon, T.W., Richardson R.J., Yelverton, F.H., and Leon, R.G. (2020). "Coverage and drift potential associated with nozzle and speed selection for herbicide applications using an unmanned aerial sprayer." *Weed Technol.* 34: 235–240. doi: 10.1017/wet.2019.101
- Lan, Y., Shengde, C. and Fritz, B.K. (2017). "Current status and future trends of precision agricultural aviation technologies." *Int. J. Agric. and Biol. Eng.* 10 (3): 1-7.
- Li, X., Andaloro, J.T., Lang, E.B. and Pan, Y. (2019). "Best Management Practices for Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) Application of Insecticide Products on Rice." In *2019 ASABE Annual International Meeting*. American Society of Agricultural and Biological Engineers. DOI: <https://doi.org/10.13031/aim.201901493>.
- Nansen, C., Ferguson, J.C., Moore, J., Groves, L., Emery, R., Garel, N. and Hewitt, A. (2015). "Optimizing pesticide spray coverage using a novel web and smartphone tool, SnapCard." *Agron. for Sus. Devel.* 35 (3):1075-1085.
- Qin, W.C., Qiu, B.J., Xue, X.Y., Chen C., Xu, Z.F. and Zhou, Q.Q. (2016). "Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanned aerial vehicle against plant hoppers." *Crop. Prot.* 85:79-88.
- Wang, J., Lan, Y.B., Zhang, H., Zhang, Y.L., Wen, S., Yao, W. and Deng, J. (2018). "Drift and deposition of pesticide applied by UAV on pineapple plants under different meteorological conditions." *Int. J. Agr. Biol. Eng.* 11: 5-12. 10.25165/j.ijabe.20181106.4038
- Wang, G., Lan, Y., Qi, H., Chen, P., Hewitt, A. and Han, Y. (2019). "Field evaluation of an unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: effect of spray volume on deposition and the control of pests and disease in wheat." *Pest Manag. Sci.* 75(6):1546-1555.
- Wilson, J. (2020). *Understanding Droplet Size. Pesticide Environmental Stewardship*. Center for Integrated Pest Management. South Dakota Cooperative Extension Service. <https://pesticidestewardship.org/pesticide-drift/understanding-droplet-size/>.
- Teske, A.L., Chen, G., Nansen, C. and Kong, Z. (2019). "Optimised dispensing of predatory mites by multirotor UAVs in wind: a distribution pattern modelling approach for precision pest management." *Biosyst. Eng.* 187: 226-238.
- Xue, X., Lan, Y., Sun, C., Chang, C. and Hoffmann, W.C. (2016). "Develop an unmanned aerial vehicle based automatic aerial spraying system." *Comput. Electron. Agric.* 128: 58-66.
- Zhang, X.Q., Liang, Y.J., Qin, Z.Q., Li, D.W., Wei, C.Y., Wei, J.J., Li, Y.R. and Song, X.P. (2019). Application of multi-rotor unmanned aerial vehicle application in management of stem borer (Lepidoptera) in sugarcane. *Sugar Tech.* 21(5): 847-852.

2020年03月11日 收稿
2020年07月25日 修正
2020年09月21日 接受