

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

黃郁容^{1*} 徐榮志¹

摘要

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。

臺灣農藥使用的扇形噴頭樣式及號碼種類繁多，並未有一致的規格，因此農民在選用時，僅能依照舊有習慣、經驗或農機行的建議選擇使用。本研究初步測試目前市面上有供應及使用的扇形噴頭，共 7 支小扇（直徑 1.4 cm 的噴片俗稱）、10 支日扇（直徑 1.4 cm 且其上有黑色卡榫固定噴片方向者俗稱）及 8 支大扇（直徑 1.8 cm 又稱臺扇的噴片俗稱），在 7、15、20 及 25 kgf/cm² 等不同農民常用壓力下的霧滴粒徑，藉以瞭解其可能產生的飄散程度。結果顯示除了幾支號碼偏大的 8 號及大扇 PL 1.0 及偏小的 HS H-4 外，霧滴粒徑皆很相似，7 kgf/cm² 時 Dv(50)（霧滴粒徑分布在 50% 相對應的霧滴粒徑大小）為 77.19 ~ 101.5 μm，20 kgf/cm² 時約 64.03 ~ 80.08 μm，若是相同扇型噴片之間（如：小扇噴片），則差異更小。然而，在噴片上不同數字與孔徑的噴頭，確實有明顯流量的差異，將此 25 支噴頭以 20 kgf/cm² 壓力下，依據適當流量區分為 16 個區間，結果顯示，小、日扇噴頭多位於流量 0.85 ~ 1.75 L/min 間，大扇流量較大，多位於 1.50 ~ 4.00 L/min，其中有幾支小、日扇流量與大扇相似，例如小扇的 HS H-5、日扇的 PL D-5 及大扇的 PL D-3 皆是屬於流量 1.00 L/min 區間，顯示目前市售的扇形噴頭是可以利用適當流量的區間分組，將不同廠牌間噴頭進行歸納以利噴頭選用，可作為噴頭規範的參考，然此一噴頭流量及霧滴數據，僅為市售噴片取樣測試，希望能先框出臺灣市售有在販賣及使用之扇型噴頭種類，作為背景資料收集，僅能代表此一測試結果，無法代表噴頭規格。再者，以日扇 PL D-5 進行 3、7、25 kgf/cm² 模擬田間向下噴施時的飄散試驗，在下風處最尾端設置一與噴施點垂直高度等高並垂

接受日期：2017 年 11 月 24 日

* 通訊作者。Email: huangyr@tactri.gov.tw

¹ 臺中市 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所

直擺放水試紙，量測越過 8 m 以後的霧滴飄散情況，結果顯示在風速達到 4 m/s 時，各種壓力下，飄散距離都會超過 8 m 以上。由相似溫、溼度條件下量測的 3 及 25 kgf/cm² 數據顯示，不論在何種風速下，3 kgf/cm² 的霧滴飄散距離皆比 25 kgf/cm² 的來得遠，如在風速 2 m/s 時，3 kgf/cm² 噴施最遠飄散距離為 4 m，而 25 kgf/cm² 則為 3 m，而量測時溫度較高 5 ~ 10°C 左右的 7 kgf/cm² 噴施時，飄散情況遠比其他兩個壓力測試下來得嚴重，風速在 2 m/s 以上其飄散距離就達 7 m 以上 (7 kgf/cm² 時量測溫度約 34 ~ 39°C，3 及 25 kgf/cm² 時約 26 ~ 27°C)。綜合以上，從霧滴粒徑觀察噴頭在特定壓力下的飄散情況，需配合當時溫、溼度條件等環境因子作為評估，且未必同噴頭在高壓下，噴出的霧滴造成的飄散距離就會更遠，不同霧滴粒徑分布及霧滴比例在不同的環境條件下，也可能產生其他飄散的結果，後續須累積更多不同情況的噴施測試，或是借助電腦飄散評估軟體輔助，才能對霧滴造成的實際飄散沉降量與距離，有更完整且仔細的瞭解。

關鍵詞：噴頭、流量、飄散、霧滴粒徑

緒言

臺灣農藥噴施使用的噴頭，可以依照材質大致區分為白鐵、黃銅以及極少數為陶瓷，白鐵可耐較高的壓力，如 20 kgf/cm² 以上，而黃銅則是屬於低壓噴施的時候使用，相較於國際上利用流量將噴頭分級，直接由噴頭上的顏色、數字就可以辨識該噴頭的流量及噴幅等資訊，像是依照國際標準化組織 (International Organization for Standardization, ISO) 一套農用水霧噴頭規範 ISO 10625，以 300 kPa (約 3 kgf/cm²) 壓力下的流量 (L/min)，將噴頭區分為不同規格分級：流量 0.2、0.25、0.3、0.4 ~ 3.2、4.0、6.0

L/min，分別為代號 0050、0067、0075、01 ~ 08、10、15，並標示不同顏色⁽¹⁰⁾，因此從顏色就可知道噴頭的流量，統一適當的規格以增加農民選用的方便性。再者於噴頭的型錄上，也有提供不同使用壓力下霧滴大小的判別——依照美國農業生物工程師學會 (American Society of Agricultural and Biological Engineers, ASABE) 霧滴粒徑 S572.1 噴頭的分類標準，將霧滴區分為極細 (XF, Extremely Fine, 紫色, < 60 μm)、非常細 (VF, Very Fine, 紅色, 約 60 ~ 145 μm)、細 (F, Fine, 橘色, 約 146 ~ 225 μm)、中等 (M, Medium, 黃色, 約 226 ~ 325 μm)、粗 (C, Coarse, 藍色, 約 326 ~ 400 μm)、

非常粗 (VC, Very Coarse, 綠色, 約 401 ~ 500 μm)、極粗 (XC, Extremely Coarse, 白色, 約 501 ~ 650 μm) 及特粗 (UC, Ultra Coarse, 黑色, > 650 μm)^(4, 11), 因此就可以從這些資訊上挑選適合的噴頭, 也可經由選購降低飄散的噴頭種類或粒徑大小, 來降低農藥飄散的風險, 避免造成非目標作物或人畜的危害。然而, 嘗試將 8 支臺灣常用的農藥噴頭依照 ISO 10625 進行分級, 結果顯示以低壓的分級方式針對目前臺灣使用的這些噴頭並不合適, 且大多無法符合其標準, 並且依照 ASABE S572.1 將這些噴頭進行不同壓力下的霧滴分級, 結果顯示幾乎都是屬於非常細 (VF) 霧滴⁽³⁾。相較於美、歐等國家的噴頭是依照 ISO 10625 及 ASABE S572.1 標準進行, 日本的噴頭則以廠商自行於型錄資料上提供噴頭的流量、噴幅、最遠射程及平均霧滴大小等資料的方式, 供農民選用參考, 尚未看到有統一噴頭規格的規範標準。像是 Yamaha 噴頭會標示 1.0 或 1.5 MPa 壓力下的平均粒徑、噴出量及噴霧角度, 甚至在較新的噴頭上也採取將流量直接標示在噴頭上, 例如在 1.5 MPa 流量為 2.32 L/min, 就標示「23」, 在針對降低飄散上, 也有開發降低飄散的空氣混入型噴嘴, 霧滴中混入氣體提高顆粒大小降低飄散以及除草噴頭加配有扇狀遮罩避免飄散⁽¹⁴⁾。像是另家公司 Asaba 也有「畝間除草器」(「 Γ 」字型兩邊設有擋板, 阻隔兩側的農藥飄散, 有 25 ~ 115 cm 依據畦的寬度選擇使用), 更大型的如門型的噴霧裝

備, 以同樣的原理阻隔兩側的農藥飄散⁽⁵⁾。而比較來看, 臺灣的噴頭使用習慣與種類, 也與日本較為相似。

然而, 霧滴大小是決定該霧滴飄散距離的重要因素, 當噴出之霧滴粒徑越小, 因質量較輕導致沉降速度變慢, 如 100 μm 霧滴在無風狀態需歷時 11 秒方能沉降 3 m⁽⁶⁾, 顯示小霧滴容易在空中停留較長的時間, 若遇到風速較大時, 則可能使小霧滴飄移到更遠的下風處, 根據北達科塔州立大學 (North Dakota State University, NDSU) 的「噴藥設備及校準」文件表示, 當風速達 3 mph (約 1.3 m/s) 時 100、150 及 200 μm 的霧滴, 飄散距離分別為 14.6、7.62、4.6 m, 可知霧滴粒徑增大後, 飄散距離亦會隨之降低, 此外文中亦指出當風速為 1 ~ 7 mph 時 (約 0.4 ~ 3.1 m/s), 霧滴粒徑要達到 150 ~ 200 μm 才可降低飄散危害⁽¹³⁾。而且小粒徑的霧滴蒸發速率較大粒子為快, 然而小粒徑的霧滴也可能有足夠時間沉降, 如粒徑 50 μm 的霧滴在 80% 相對溼度下, 下落 50 cm 所需的時間為 7 秒, 其完全蒸發的時間約為 23 秒。因此也說明隨著噴頭施用高度提高, 霧滴受風影響的時效增長, 被蒸發的時間延長, 飄散現象也會較為明顯, 並利用噴霧角 (噴幅)、噴頭噴施高度、風速及霧滴平均粒徑或 $Dv154$ (粒徑小於 154 μm 之小粒徑所占的體積比例), 推導出霧滴分布中心飄移距離及噴霧沉積體積累積率的預測模式, 然隨不同噴霧狀態需使用不同的常數, 在應用上較為不便⁽¹⁾。由此可知, 霧滴

的飄散影響因子複雜，牽涉霧滴粒徑大小、噴施高度及溫、溼度、風速等環境因子，需要縝密的數學公式，配合多次試驗測試計算，或是利用電腦評估軟體才可達到不同條件下霧滴飄散濃度與距離的評估。

由於目前臺灣使用的噴頭並無統一的標準或資訊，農民在採購時也是依照舊有習慣或附近農機行的推薦，因此在變換作物或植株生長型態時，則沒有參考依據可以選擇不同使用壓力或更適合的噴頭，本文希望先鎖定臺灣扇形噴頭，藉由收集目前市面上有供應的不同種類、式樣，初步先瞭解扇形噴頭在農民田間會使用到的幾種壓力情況下的霧滴大小、流量等資訊，再嘗試區分為不同的組別區間，希望能以分組的方式，指出不同流量及霧滴大小的噴頭可能造成的飄散情況，或是藉以觀察是否有可能以固定流量作為區間分組的標準，可作為後續噴頭建立規範標準的參考。進一步，選擇農民田間常使用的噴頭，進行不同壓力下的飄散試驗，藉此評估與討論在此一測試條件及環境下，噴頭可能造成的飄散沉積量與最遠距離的評估。

材料與方法

一、噴頭外觀基本辨識與噴頭孔徑及噴片量測

本次為了充分瞭解臺灣市面上常用白鐵扇形噴頭（因噴頭中重要組件噴片為白

鐵，亦稱白鐵噴頭）的霧滴粒徑範圍及使用時的飄散情況，透過雲林虎尾晟豐農業機械有限公司，協助向其上游噴片供應商收集目前有販售生產之扇形噴片種類，總計收集到有扇形噴片（俗稱，暫譯為 large type）18 個，小扇（俗稱，暫譯為 small type）12 個及日扇（俗稱，暫譯為 Japanese type）11 個。依其外觀標示及孔徑大小區分出不同者，再合併購自雲林北港及虎尾農機行之常用噴頭，共 10 支日扇、7 支小扇及 8 支大扇進行粒徑及流量比較。噴孔大小及噴片直徑以游標卡尺 Mitutoyo 530-104（三豐株式會社，神奈川，日本）量測。

二、噴頭流量測試

測試噴頭固定於噴桿上，低壓（3 kgf/cm²）以二氧化碳鋼瓶或高壓（7、15、20、25 kgf/cm²）以動力噴霧機調整測試位於噴桿末端壓力計讀值後，以碼表計時測試 10 ~ 30 s 內 1,000 mL 量筒內之水量，進行三重複測試。

三、霧滴粒徑分析及噴施壓力調控

噴霧粒徑使用 Spraytec STP2000 (Malvern Instruments Ltd., Worcestershire, UK) 進行分析，He-Ne 雷射 632.8 nm，雷射繞射法，霧滴量測範圍：0.1 ~ 900 μm，儀器主機及偵測器置於黑色暗廊內，固定於長 1.5 m，寬 1.1m 平臺上。利用不鏽鋼訂製架檯將噴頭固定於距雷射光束上方 0.3 m 高之處，距

偵測器 0.25 m，向下噴施。控制不同的噴施壓力，噴桿於末端噴頭處接有壓力表，調整噴出壓力是為管末實際壓力，低壓 (3 kgf/cm²) 使用二氧化碳鋼瓶 (鼎祥氣體有限公司，彰化，臺灣) 及高壓 (7、15、20、25 kgf/cm²) 使用三進牌 DSMF-200 動力噴霧機 (鑫三進農業機械有限公司，臺中，臺灣)，進行壓力調整⁽³⁾。使用經校正壓力計於管末進行壓力調整，噴施穩定後收集 5 ~ 10 秒粒徑數據平均值並進行三重複測試。分別以 Dv(10)、Dv(50) 及 Dv(90) 代表霧滴粒徑體積分布圖中，累積量在 10、50 及 90% 相對應的霧滴粒徑大小，用以瞭解噴頭霧滴平均粒徑以及大、小霧滴粒徑的實際情況。

四、霧滴飄散距離量測

(一) 飄散模擬控制環境的建構

於長 11.8 m、寬 9.7 m 溫室架設飄散模擬控制環境空間，以直徑約 60 cm × 60 cm 工業風扇加裝導流板調整風向水平吹出及變頻裝置以控制風速 (聯發企業行訂製，臺中，臺灣)，在風扇的正對面左右兩側開口，利用風扇變頻裝置控制噴施點風速為 1、2、3 及 4 m/s，每次噴施前，利用已校正之風速計 LM-81AM (路昌電子企業有限公司，臺北，臺灣)，確認噴施點的風速為目標測試風速後，開始執行測試。噴頭利用一不銹鋼訂製噴頭架 (聯發企業行訂製，臺中，臺灣) 架設在固定位置，連接風扇以固定與風扇間水平位置，噴頭架可上下調整到最

適噴施高度後，固定位置進行噴施。壓力控制同霧滴粒徑分析量測使用，是為實際管末壓力值。

(二) 噴頭霧滴飄散距離及覆蓋率分析

控制環境溫室內，初步以模擬向下噴施地上部作物的模式，以距地高 55 cm 的腳架架設實驗載點 (模擬地上部植物高度)，將噴桿以固定架固定，噴施點離地高度 80 cm，距噴施點水平距離下風處 0.5、1、2、3、4、5、6、7、8 m 等水平放置水試紙 (Spraying Systems Co., Wheaton, USA) 收集霧滴覆蓋率，並於 8 m 放置一高度 80 cm 垂直水試紙，以確認是否有霧滴飄散超過 8 m 的距離以後，再模擬不同噴施壓力 (約 3、7、25 kgf/cm²) 噴施 10 秒後回收水試紙⁽¹²⁾，利用 HOBO UX100-003 溫溼度計 (Onset, Bourne, USA) 記錄試驗時之溫、溼度。將上述水試紙以 600 dpi (dots per inch)，灰階掃描成圖檔，再利用 DepositScan (USDA-ARS Application Technology Research Unit, Ohio, USA) 影像分析軟體⁽¹⁵⁾，分析霧滴在水試紙上之覆蓋率 (%) 及水量 (μL/cm²) 等資訊。

結果

一、白鐵扇形噴頭外觀與噴頭孔徑量測

為瞭解目前臺灣農藥噴施中經常使用的白鐵扇型噴頭，其種類與霧滴大小範

圍，從五家噴片供應來源公司（代稱為 JS、KS、PL、CE 及 HS）收集到 12 支日扇、11 支小扇及 18 支大扇白鐵扇形噴頭，合併之前從農機行購入的農民常用噴片，然而發現有數支外觀上標記有相同的標示且孔徑大小也很相近，如 CE 及 HS 兩家皆有日扇及小扇的 PL D-35 及 PL D-6，JS、PL 及 HS 大扇的 PL D-3 相似，結果從中選出不同編號、孔徑大小的 10 支日扇、7 支小扇及 8 支大扇噴頭共 25 支進行不同壓力下的霧滴粒徑分析。日扇及小扇噴片直徑皆為 1.4 cm，從外觀上依凸出的槽分成有平狀及桃型兩種，平狀的有 PL D-5、PL D-6、HS H4 及 H 0.8，剩下的為桃型。而日、小扇等 23 支噴頭中，PL D-35、HS H-4、JA J-5 及 JA J-8 同時有日扇及小扇兩種形式，且從外觀來看兩者噴片並無差異，僅日扇為小扇噴片上再加上黑色卡榫固定噴片方向，大扇噴片直徑為 1.8 cm，噴片只有一種形狀。以游標尺量測結果顯示，噴頭上數字大小確實與噴孔大小成正相關，以 HS H-4 最小，無論小扇或日扇皆為 0.35 mm，JA J-8 最大也是無論小扇或日扇皆為 1.0 mm 以及大扇 PL 1.0 也是 1.1 mm，但不同公司間即使數字相同，其噴孔直徑未必相同，不同公司間也無法以數字一同比較，例如 PL D-35 其數字雖然比 HS H-4 小，但噴孔直徑卻比 HS H-4 更大。10 支日扇依據噴孔直徑大小依序為：JA J-8 (1.0 mm)、PL D-8 (0.9 mm)、H 0.8 (0.8 mm)、KS K-7 (0.8 mm)、KS K-6 (0.7 mm)、PL D-6 (0.7 mm)、JA J-5 (0.65 mm)、PL D-5 (0.5 mm)、PL D-35 (0.45 mm) 及 HS H-4 (0.35

mm) (表一)；7 支小扇噴頭依序為 JA J-8 (1.0 mm)、HS D-8 (0.85 mm)、PL D-6 (0.7 mm)、JA J-5 (0.65 mm)、HS H-5 (0.6 mm)、PL D-35 (0.45 mm) 及 HS H-4 (0.35 mm) (表二)。大扇噴片依序為 PL 1.0 (1.1 mm)、PL 0.8 (0.9 mm)、PL D-6 (0.75 mm)、PL D-5 (0.7 mm)、HS H-5 (0.7 mm)、KS C-5 (0.6 mm)、PL D-4 (0.55 mm)、PL D-3 (0.5 mm) (表三)。

二、噴頭在不同壓力下噴頭霧滴粒徑分布

臺灣白鐵扇形噴頭使用廣泛，因此依據不同作物及其生長時期使用的噴施壓力也不同，由背負式噴霧機到動力噴霧機壓力範圍都有涵蓋，因此為了瞭解噴頭實際噴施的情況，分別以 3、7、15、20 與 25 kgf/cm² 管末壓力模擬不同使用條件下霧滴粒徑的變化，其中農民常用背負式噴藥之壓力有 5 ~ 30 kgf/cm²，測試介於中間常用的 7 或 15 kgf/cm²，而田間常用動力噴霧機壓力常開到 15 ~ 30 kgf/cm²，甚至更高，測試管末壓力 20 及 25 kgf/cm²，再以低壓 3 kgf/cm² 以瞭解這些噴頭在低壓時候的霧滴大小分布情況，利用雷射霧滴粒徑量測儀依 ASABE S572.1 噴頭噴出點距量測雷射光束 20 ~ 50 cm 之範圍進行霧滴粒徑量測⁽⁴⁾，統計霧滴粒徑的大小分布，測試不同壓力條件下，這些噴頭於田間實際壓力下噴施之霧滴粒徑大小以及不同白鐵噴頭依其外觀標示及孔徑大小而產生霧滴大小的差異。先以 PL D-5 日扇噴頭在 7 kgf/cm² 於同一天進行五次分






表一、10種收集之日扇白鐵扇形噴頭於不同壓力下霧滴粒徑分布， $Dv(10)$ 、 $Dv(50)$ 及 $Dv(90)$ 表示10%、50%及90%之霧滴粒徑體積分布不大於該測值的粒徑大小

Table 1. Droplet size measurements for ten types of Japanese stainless steel fan nozzles under different spray pressures. $Dv(10)$, $Dv(50)$ and $Dv(90)$ values respectively indicate that droplet size distribution at 10%, 50% and 90% volume ratio is not more than measured diameter value

Code	A	B	C	D	E
Nozzle appearance					
Appearance label	PL D-35	PL D-5	PL D-6	PL D-8	HS H4
Hole diameter (mm)	0.45	0.5	0.7	0.9	0.35
Nozzle source	HS	-	HS	CE	HS
Droplet size (μm , 3 kgf/cm ²)	$Dv(10)$ 53.44 \pm 0.70 $Dv(50)$ 102.93 \pm 1.46 $Dv(90)$ 182.97 \pm 2.63	$Dv(10)$ 49.65 \pm 0.23 $Dv(50)$ 97.77 \pm 0.61 $Dv(90)$ 177.60 \pm 1.14	$Dv(10)$ 65.70 \pm 0.96 $Dv(50)$ 110.20 \pm 1.56 $Dv(90)$ 180.2 \pm 2.44	$Dv(10)$ 60.60 \pm 1.72 $Dv(50)$ 109.10 \pm 1.30 $Dv(90)$ 189.97 \pm 1.76	$Dv(10)$ 49.13 \pm 1.36 $Dv(50)$ 95.43 \pm 1.04 $Dv(90)$ 168.73 \pm 0.93
Droplet size (μm , 7 kgf/cm ²)	$Dv(10)$ 39.04 \pm 1.31 $Dv(50)$ 78.72 \pm 0.88 $Dv(90)$ 142.23 \pm 1.02	$Dv(10)$ 45.17 \pm 1.08 $Dv(50)$ 85.68 \pm 1.37 $Dv(90)$ 149.34 \pm 2.32	$Dv(10)$ 51.64 \pm 0.35 $Dv(50)$ 92.08 \pm 0.60 $Dv(90)$ 156.37 \pm 1.04	$Dv(10)$ 50.05 \pm 0.64 $Dv(50)$ 95.10 \pm 1.22 $Dv(90)$ 168.97 \pm 4.39	$Dv(10)$ 42.31 \pm 0.49 $Dv(50)$ 84.28 \pm 0.40 $Dv(90)$ 152.03 \pm 0.76
Droplet size (μm , 15 kgf/cm ²)	$Dv(10)$ 40.24 \pm 0.51 $Dv(50)$ 75.94 \pm 0.55 $Dv(90)$ 131.67 \pm 0.99	$Dv(10)$ 32.37 \pm 0.25 $Dv(50)$ 67.62 \pm 0.34 $Dv(90)$ 123.73 \pm 0.55	$Dv(10)$ 39.42 \pm 0.21 $Dv(50)$ 79.63 \pm 0.75 $Dv(90)$ 134.23 \pm 0.25	$Dv(10)$ 34.77 \pm 0.35 $Dv(50)$ 75.24 \pm 0.56 $Dv(90)$ 140.57 \pm 0.81	$Dv(10)$ 34.51 \pm 0.59 $Dv(50)$ 66.94 \pm 0.70 $Dv(90)$ 119.60 \pm 0.79
Droplet size (μm , 20 kgf/cm ²)	$Dv(10)$ 36.48 \pm 0.19 $Dv(50)$ 70.76 \pm 0.43 $Dv(90)$ 124.40 \pm 0.66	$Dv(10)$ 29.11 \pm 0.87 $Dv(50)$ 63.24 \pm 1.62 $Dv(90)$ 117.53 \pm 3.07	$Dv(10)$ 32.26 \pm 0.43 $Dv(50)$ 69.94 \pm 0.68 $Dv(90)$ 129.27 \pm 1.37	$Dv(10)$ 32.09 \pm 0.21 $Dv(50)$ 69.48 \pm 0.12 $Dv(90)$ 130.63 \pm 0.06	$Dv(10)$ 30.39 \pm 0.33 $Dv(50)$ 60.11 \pm 0.58 $Dv(90)$ 108.20 \pm 0.79
Droplet size (μm , 25 kgf/cm ²)	$Dv(10)$ 32.19 \pm 0.23 $Dv(50)$ 65.39 \pm 0.19 $Dv(90)$ 117.63 \pm 0.21	$Dv(10)$ 26.61 \pm 0.39 $Dv(50)$ 60.09 \pm 0.55 $Dv(90)$ 113.13 \pm 0.91	$Dv(10)$ 29.50 \pm 0.45 $Dv(50)$ 64.49 \pm 0.92 $Dv(90)$ 121.30 \pm 1.91	$Dv(10)$ 29.98 \pm 0.16 $Dv(50)$ 66.67 \pm 0.33 $Dv(90)$ 126.7 \pm 0.72	$Dv(10)$ 28.46 \pm 0.75 $Dv(50)$ 57.25 \pm 0.72 $Dv(90)$ 103.70 \pm 0.80








表一 (續)、10種收集之日扇白鐵扇形噴頭於不同壓力下霧滴粒徑分布，Dv(10)、Dv(50)及Dv(90)表示10%、50%及90%之霧滴粒徑體積分佈不大於該測值的粒徑大小

Table 1 (continued). Droplet size measurements for ten types of Japanese stainless steel fan nozzles under different spray pressures. Dv(10), Dv(50) and Dv(90) values respectively indicate that droplet size distribution at 10%, 50% and 90% volume ratio is not more than measured diameter value

Code	F	G	H	I	J
Nozzle appearance					
Appearance label	H 0.8	KS K-6	KS K-7	JA J-5	JA J-8
Hole diameter (mm)	0.8	0.7	0.8	0.65	1.0
Nozzle source	HS	KS	KS	JS	JS
Droplet size (μm , 3 kgf/cm ²)	Dv(10) 54.08 ± 0.49 Dv(50) 110.27 ± 0.50 Dv(90) 205.50 ± 0.52	Dv(10) 62.60 ± 0.93 Dv(50) 108.77 ± 0.76 Dv(90) 182.50 ± 3.90	Dv(10) 57.55 ± 0.51 Dv(50) 104.83 ± 0.40 Dv(90) 182.97 ± 0.67	Dv(10) 52.38 ± 0.70 Dv(50) 101.3 ± 0.46 Dv(90) 180.2 ± 0.32	Dv(10) 67.14 ± 0.33 Dv(50) 110.8 ± 0.40 Dv(90) 178.0 ± 0.38
Droplet size (μm , 7 kgf/cm ²)	Dv(10) 43.97 ± 0.32 Dv(50) 92.84 ± 0.60 Dv(90) 175.57 ± 0.93	Dv(10) 51.12 ± 0.74 Dv(50) 91.16 ± 0.94 Dv(90) 154.87 ± 1.19	Dv(10) 48.22 ± 1.34 Dv(50) 87.77 ± 1.18 Dv(90) 151.13 ± 0.58	Dv(10) 38.42 ± 0.45 Dv(50) 77.19 ± 0.83 Dv(90) 138.5 ± 1.42	Dv(10) 52.72 ± 0.19 Dv(50) 95.80 ± 1.40 Dv(90) 164.0 ± 3.62
Droplet size (μm , 15 kgf/cm ²)	Dv(10) 33.98 ± 0.57 Dv(50) 82.26 ± 1.54 Dv(90) 164.63 ± 2.53	Dv(10) 41.95 ± 0.60 Dv(50) 79.63 ± 0.75 Dv(90) 138.5 ± 1.18	Dv(10) 39.01 ± 0.52 Dv(50) 74.53 ± 0.26 Dv(90) 130.33 ± 0.12	Dv(10) 36.30 ± 0.68 Dv(50) 72.58 ± 1.06 Dv(90) 129.7 ± 3.50	Dv(10) 40.99 ± 0.05 Dv(50) 78.59 ± 0.20 Dv(90) 138.1 ± 0.59
Droplet size (μm , 20 kgf/cm ²)	Dv(10) 32.01 ± 0.23 Dv(50) 78.36 ± 0.32 Dv(90) 157.33 ± 0.57	Dv(10) 35.03 ± 0.33 Dv(50) 72.01 ± 0.73 Dv(90) 130.4 ± 2.05	Dv(10) 36.68 ± 0.49 Dv(50) 71.33 ± 0.60 Dv(90) 125.57 ± 0.93	Dv(10) 31.87 ± 0.94 Dv(50) 66.98 ± 0.28 Dv(90) 122.5 ± 0.93	Dv(10) 36.96 ± 0.61 Dv(50) 75.94 ± 1.00 Dv(90) 137.6 ± 1.75
Droplet size (μm , 25 kgf/cm ²)	Dv(10) 28.91 ± 0.18 Dv(50) 71.53 ± 0.57 Dv(90) 147.23 ± 0.99	Dv(10) 32.97 ± 0.57 Dv(50) 69.81 ± 0.88 Dv(90) 128.7 ± 1.46	Dv(10) 31.17 ± 0.18 Dv(50) 65.28 ± 0.52 Dv(90) 119.20 ± 1.21	Dv(10) 30.21 ± 0.47 Dv(50) 64.42 ± 0.90 Dv(90) 118.7 ± 1.72	Dv(10) 32.31 ± 0.91 Dv(50) 69.18 ± 1.16 Dv(90) 128.1 ± 1.40









表二、7種測試之小扇白鐵扇形噴頭於不同壓力下霧滴粒徑分布，Dv(10)、Dv(50)及Dv(90)表示10%、50%及90%之霧滴粒徑體積分布不大於該測值的粒徑大小

Table 2. Droplet size measurements for seven types of small stainless steel fan nozzles under different spray pressures. Dv(10), Dv(50), and Dv(90) values respectively indicate that the droplet size distribution 10%, 50% and 90% volume ratio is not more than measured diameter value

Code	K	L	M	N	O	P	Q
Nozzle appearance							
Appearance label	PL D-35	PL D-6	HS H4	HS H5	HS D-8	JA J-5	JA J-8
Hole diameter (mm)	0.45 HS	0.7 HS	0.35 HS	0.6 HS	0.85 HS	0.65 JS	1.0 JS
Nozzle source							
Droplet size (μm , 3 kgf/cm ²)	Dv(10) 47.96 ± 0.55 Dv(50) 97.36 ± 0.44 Dv(90) 180.8 ± 0.53	54.19 ± 0.40 104.97 ± 0.35 190.47 ± 0.87	42.50 ± 0.51 86.15 ± 1.29 157.93 ± 1.91	53.93 ± 1.50 97.86 ± 0.92 169.67 ± 0.06	57.63 ± 0.27 114.9 ± 0.70 219.1 ± 1.19	53.49 ± 0.31 103.5 ± 0.23 184.4 ± 0.72	55.99 ± 0.47 113.7 ± 0.15 215.2 ± 0.50
Droplet size (μm , 7 kgf/cm ²)	Dv(10) 41.69 ± 0.41 Dv(50) 83.70 ± 0.74 Dv(90) 153.1 ± 0.91	43.31 ± 0.55 87.81 ± 0.88 160.50 ± 1.48	35.88 ± 0.23 67.91 ± 0.15 120.30 ± 0.10	44.58 ± 0.18 83.59 ± 0.14 146.07 ± 0.21	44.44 ± 0.52 95.16 ± 0.87 185.4 ± 1.49	45.68 ± 0.55 87.27 ± 1.43 154.1 ± 4.57	42.39 ± 0.66 92.40 ± 1.07 181.5 ± 1.87
Droplet size (μm , 15 kgf/cm ²)	Dv(10) 33.65 ± 0.11 Dv(50) 69.92 ± 0.30 Dv(90) 128.8 ± 0.52	32.31 ± 0.20 70.63 ± 0.13 132.43 ± 0.32	28.90 ± 0.13 56.33 ± 0.22 100.97 ± 0.40	35.12 ± 0.81 70.70 ± 0.54 126.97 ± 0.99	32.77 ± 0.44 78.92 ± 0.19 163.9 ± 1.06	33.66 ± 0.09 71.11 ± 0.48 130.9 ± 0.72	31.85 ± 0.10 76.29 ± 0.09 155.3 ± 0.40
Droplet size (μm , 20 kgf/cm ²)	Dv(10) 31.11 ± 0.24 Dv(50) 65.15 ± 0.41 Dv(90) 119.8 ± 1.32	30.52 ± 0.43 66.80 ± 0.54 126.07 ± 0.81	26.37 ± 0.23 54.13 ± 1.01 99.62 ± 3.44	30.54 ± 0.53 64.95 ± 0.36 119.80 ± 0.26	30.08 ± 0.32 74.32 ± 0.42 154.3 ± 0.62	31.22 ± 0.42 66.83 ± 1.54 123.9 ± 3.44	28.84 ± 0.31 71.31 ± 0.81 147.4 ± 2.14
Droplet size (μm , 25 kgf/cm ²)	Dv(10) 28.38 ± 0.31 Dv(50) 61.26 ± 0.20 Dv(90) 114.4 ± 0.38	27.12 ± 0.51 61.75 ± 1.06 119.00 ± 2.57	23.30 ± 0.95 50.64 ± 1.07 97.17 ± 4.23	28.86 ± 0.07 62.44 ± 1.06 116.60 ± 2.31	27.50 ± 0.86 70.70 ± 0.69 147.6 ± 1.00	28.15 ± 0.05 62.46 ± 0.39 118.6 ± 0.79	26.92 ± 0.27 67.53 ± 0.89 140.6 ± 2.76

表三、8種收集之大扇白鐵扇形噴頭於不同壓力下霧滴粒徑分布，Dv(10)、Dv(50)及Dv(90)表示10%、50%及90%之霧滴粒徑體積分布不大於該測值的粒徑大小

Table 3. Droplet size measurements for eight types of large stainless steel fan nozzles under different spray pressures. Dv(10), Dv(50), and Dv(90) values respectively indicate that the droplet size distribution 10%, 50% and 90% volume ratio is not more than measured diameter value

Code	R	S	T	U	V	W	X	Y
Nozzle appearance								
Appearance label	PL D-3	PL D-4	PL D-5	KS C-5	HS H-5	PL D-6	PL 0.8	PL 1.0
Hole diameter (mm)	0.5	0.55	0.7	0.6	0.7	0.75	0.9	1.1
Nozzle source	PL	CE	PL	KS	HS	CE	HS	HS
3 kgf/cm ² , Dv(10)	61.30 ± 0.26	61.69 ± 1.16	64.50 ± 2.28	67.97 ± 0.19	70.37 ± 0.85	67.74 ± 0.35	72.83 ± 0.05	74.97 ± 0.44
Droplet Dv(50)	107.0 ± 1.29	108.0 ± 0.15	113.4 ± 1.25	120.37 ± 0.15	118.0 ± 0.67	118.2 ± 1.63	120.3 ± 0.17	132.8 ± 0.90
size (µm) Dv(90)	180.7 ± 3.72	183.5 ± 3.54	193.9 ± 3.10	206.73 ± 0.86	192.1 ± 1.68	199.3 ± 5.18	198.3 ± 0.47	231.1 ± 1.64
Flow rate (L/min)	0.42	0.60	0.88	0.97	0.97	1.00	1.24	1.60
7 kgf/cm ² , Dv(10)	41.69 ± 0.68	45.54 ± 0.93	52.03 ± 0.68	58.22 ± 1.20	53.98 ± 1.45	56.20 ± 0.59	58.01 ± 0.62	55.19 ± 0.22
Droplet Dv(50)	84.66 ± 0.78	89.00 ± 1.08	97.45 ± 1.09	101.00 ± 0.17	97.23 ± 0.53	101.7 ± 0.26	101.5 ± 0.51	108.5 ± 0.59
size (µm) Dv(90)	155.7 ± 1.30	158.7 ± 1.31	169.50 ± 3.44	168.97 ± 3.96	165.6 ± 0.61	174.2 ± 1.65	171.7 ± 3.58	202.4 ± 1.24
Flow rate (L/min)	0.66	0.90	1.30	1.32	1.32	1.48	1.80	2.34
20 kgf/cm ² , Dv(10)	30.29 ± 0.33	29.12 ± 0.99	35.38 ± 0.51	35.94 ± 0.34	37.81 ± 0.56	35.60 ± 0.55	32.83 ± 0.19	31.93 ± 0.57
Droplet Dv(50)	64.03 ± 0.27	65.76 ± 1.51	75.52 ± 0.87	74.81 ± 0.56	80.08 ± 1.07	78.33 ± 1.31	75.34 ± 0.23	80.36 ± 0.71
size (µm) Dv(90)	117.3 ± 1.07	125.1 ± 2.11	139.40 ± 1.65	136.10 ± 1.25	147.7 ± 1.76	149.50 ± 3.05	144.1 ± 0.36	166.4 ± 1.89
Flow rate (L/min)	1.00	1.44	2.17	1.92	2.19	2.49	3.00	3.82

析，其結果顯示霧滴粒徑 $Dv(50)$ 為 $84.96 \pm 0.39 \mu\text{m}$ ($CV\% = 0.91\%$)，再以不同的另外兩天進行相同條件的霧滴粒徑分析，結果分別為 84.81 ± 0.77 、 $87.26 \pm 0.33 \mu\text{m}$ ，三天測試平均為 $85.68 \pm 1.37 \mu\text{m}$ ($CV\% = 1.60\%$)，顯示此一霧滴粒徑分析量測方法，利用固定噴頭噴施點及與雷射接受器之水平垂直等 X、Y、Z 軸方向後，進行的粒徑分析方法可在此一測試條件下 $Dv(50)$ 得良好的重複性，符合利用雷射光繞射法進行霧滴量測的 ISO 13320 標準下，重複性在 CV 值 3% 內的要求⁽⁹⁾。但增大壓力下是否還可以維持此一重複性，後續可以再加以量測討論。

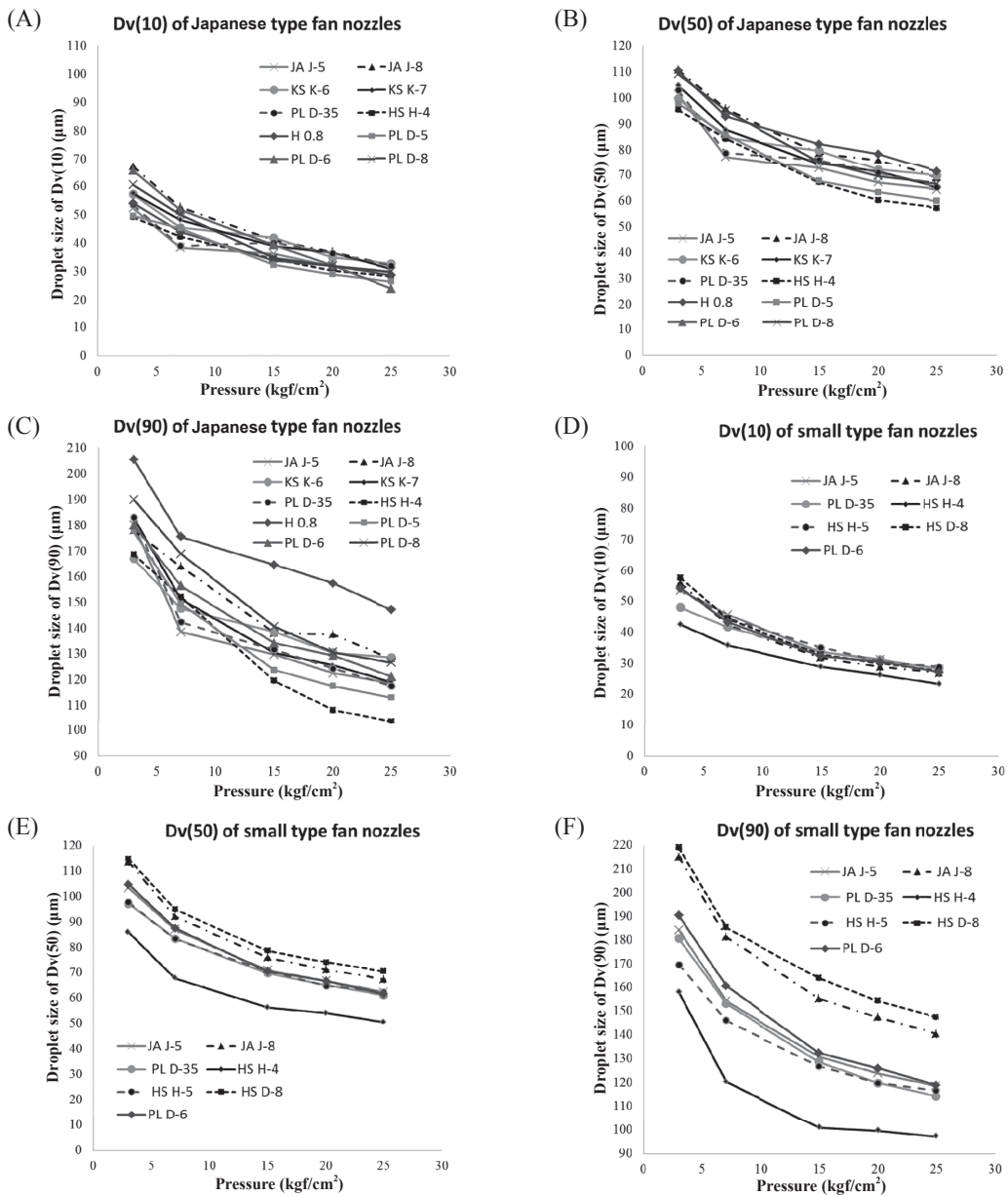
(一) 扇形噴頭 (日扇) 不同壓力下霧滴粒徑之變化

由不同壓力下，霧滴粒徑變化顯示，本次測試的 10 支噴頭，其 $Dv(10)$ 與 $Dv(50)$ 皆很集中且彼此粒徑變化幅度相似，但 $Dv(90)$ 卻有些分歧，其中以 H 0.8 較其他支霧滴粒徑大，自成一個族群 (圖一 A ~ C)，3 kgf/cm^2 時除了 H 0.8 的 $205.5 \mu\text{m}$ 其他支噴頭霧滴都在 $168.73 \sim 189.97 \mu\text{m}$ ，壓力達 25 kgf/cm^2 時 90% 的霧滴大小粒徑為 $147.23 \mu\text{m}$ ，其他支噴頭霧滴都在 $103.7 \sim 128.7 \mu\text{m}$ ，差距近 $40 \mu\text{m}$ 。以 10 支日扇噴頭來看， $Dv(50)$ 粒徑於 3 kgf/cm^2 為 $95.43 \sim 110.8 \mu\text{m}$ ；7 kgf/cm^2 霧滴粒徑為 $77.19 \sim 95.10 \mu\text{m}$ ；15 kgf/cm^2 霧滴粒徑為 $66.94 \sim 82.26 \mu\text{m}$ ；20 kgf/cm^2 霧滴粒徑為 $60.11 \sim 78.36 \mu\text{m}$ ；25 kgf/cm^2 霧滴粒徑為 $57.25 \sim 71.53 \mu\text{m}$ ，顯示霧滴粒徑變化趨勢在 3 kgf/cm^2 提升到 7 kgf/cm^2 時有下降，

且由 10 支噴頭 $Dv(50)$ 各自前後兩個壓力間粒徑的斜率來看，3 kgf/cm^2 提升到 7 kgf/cm^2 時斜率約 $-2.79 \sim -6.03$ ，其中又以 JA J-5 及 PL D-35 下降最快分別為 -6.03 及 -6.05 ，但從 7 kgf/cm^2 到 15 kgf/cm^2 以後壓力再提高，其霧滴粒徑下降的趨勢就呈現緩和，其斜率只剩 $-0.35 \sim -2.26$ ，而從 15 kgf/cm^2 到 20 kgf/cm^2 及 20 kgf/cm^2 到 25 kgf/cm^2 分別只剩下 $-0.53 \sim -1.52$ 及 $-0.44 \sim -1.37$ 的下降幅度，綜合以上，顯示雖然噴頭外觀的標籤廠牌及數字不同，但此次收集到的 10 支日扇噴頭其霧滴粒徑大小相似，除 HS H-4 粒徑偏小及 H 0.8 在 $Dv(90)$ 較大外，其他噴頭在不同壓力下僅約 $20 \mu\text{m}$ 的差異，且壓力對霧滴粒徑的影響在超過 7 及 15 kgf/cm^2 後，降低霧滴粒徑的能力已經趨緩。

(二) 扇形噴頭 (小扇) 不同壓力下霧滴粒徑之變化

本次測試的 7 支小扇扇形噴頭，其 $Dv(10)$ 及 $Dv(50)$ 在不同壓力下的霧滴粒徑很集中，且彼此粒徑變化幅度相似，但以 HS H-4 偏小一些，如 3 kgf/cm^2 時 $Dv(50)$ 為 $86.15 \mu\text{m}$ ，而其他 6 支為 $97.36 \sim 114.9 \mu\text{m}$ ，小約 $10 \sim 30 \mu\text{m}$ ，壓力達 25 kgf/cm^2 時 $Dv(50)$ 為 $50.64 \mu\text{m}$ ，其他 6 支為 $61.26 \sim 70.70 \mu\text{m}$ ，小約 $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 。小扇的這 7 支噴頭 $Dv(90)$ 則是分為三群，其中以 HS D-8 及 JA J-8 較其他支霧滴粒徑較大，自成一個族群 (圖一 D ~ F)，HS H-4 偏小，自成一組，剩餘的四支相似，而在壓力對粒徑變化趨勢上，與日扇相同，其壓力從 3 kgf/cm^2 提



圖一、臺灣 10 種日扇及 7 種小扇扇形噴頭不同噴施壓力下，霧滴粒徑 Dv(10)、Dv(50) 及 Dv(90) 分布變化及比較。扇形噴頭（日扇）為 (A ~ C)；小扇噴頭為 (D ~ F)。

Fig. 1. Comparison of droplet size distributions. (A to C) Dv(10), Dv(50), and Dv(90) values for ten types of Japanese nozzles and (D to F) seven types of small nozzles used in Taiwan at different spraying pressure conditions.

升到 7 kgf/cm^2 時，壓力對霧滴粒徑影響最大，斜率為 $-3.42 \sim -5.32$ ，但後續壓力對粒徑大小變化的影響就持續趨緩，從 7 kgf/cm^2 到 15 kgf/cm^2 斜率僅剩 $-1.45 \sim -2.03$ ，從 15 kgf/cm^2 到 20 kgf/cm^2 及 20 kgf/cm^2 到 25 kgf/cm^2 分別只剩下 $-0.44 \sim -1.15$ 及 $-0.5 \sim -0.87$ 的下降幅度。在小扇噴頭的粒徑測試中，除了 HS H-4 霧滴偏小外，在 Dv(10) 及 Dv(50) 噴頭間粒徑很相近，僅 Dv(90) 區分成三組，確實號碼較大的 HS D-8 及 JA J-8 其大粒徑的霧滴確實比其他號碼小的噴頭來得大許多，因此在田間使用時，選用數字較大的小扇噴頭如號碼為 8 者，稍微可以得到較大一些的霧滴粒徑。

(三) 扇形噴頭 (大扇) 不同壓力下霧滴粒徑之變化

相對於小扇及日扇噴頭，8 支大扇噴頭霧滴粒徑更為相近，在 3 kgf/cm^2 時除了 PL 1.0 噴頭 Dv(50) 為 $132.8 \mu\text{m}$ 外，其餘噴頭介於 $107 \sim 120.3 \mu\text{m}$ ，幾乎相差在 $10 \mu\text{m}$ 左右。壓力提升到 7 及 20 kgf/cm^2 時也是這個現象，細分的話可分為三組：PL D-3 及 PL D-4 粒徑相似為一組， 20 kgf/cm^2 為 64.03 及 $65.76 \mu\text{m}$ ，PL D-5、KS C-5、HS H-5、PL D-6 及 PL 0.8 為一組，粒徑分別為 75.52 、 74.81 、 80.08 、 78.33 、 $75.34 \mu\text{m}$ ，以及 PL 1.0 自成一組粒徑為 $80.36 \mu\text{m}$ ，分組後的霧滴大小差異皆在 $5 \mu\text{m}$ 左右，極為相似。因此在不同壓力下的霧滴粒徑變化中，Dv(10) 及 Dv(50) 皆很集中，僅 Dv(90) 中 PL 1.0 粒徑較大，自成一族群。

三、臺灣白鐵扇形噴頭依據流量大小分組之結果

參考國際流量噴頭分級標準 ISO 10625 分組方式，以白鐵扇形噴頭常用的高壓壓力 20 kgf/cm^2 將本次測試的 25 支噴頭進行合理的組別區分，然此一噴頭流量數據，僅為市售噴片取樣測試，希望能先框出臺灣市售之扇型噴頭資訊作為背景資料收集，僅能代表此一測試結果，不能代表噴頭規格。依照噴頭上數字大小及實際流量，列出了 16 組流量大小作為區別，分別為 $< 0.75 \text{ L/min}$ 以及小流量 $0.75 \sim 3.00 \text{ L/min}$ 皆是以 0.25 L/min 作為一個區間，以及插有一 0.85 L/min 為 PL D-35 的流量範圍，流量增大後如 3.00 L/min 及 3.50 L/min 以 0.5 L/min 作為區間，大流量的 $4.00 \sim 6.00 \text{ L/min}$ 皆以 1 L/min 為區間，以及 $> 6 \text{ L/min}$ 者，共 16 個組區間。分別以該組流量的 5% L/min 容許差及 $\pm 0.1 \text{ L/min}$ 作為分組標準，結果顯示 1.25 L/min 為最多支噴頭的流量區間，有不同廠牌來源號碼為 5、6、7 者皆列在這個流量，如小扇的 JA J-5 及 PL D-6，以及日扇的 JA J-5、KS K-6、KS K-7、PL D-6，小、日扇噴頭多位於流量 $0.85 \sim 1.75 \text{ L/min}$ 之間，僅一支較小的 HS H-4 流量為 $< 0.75 \text{ L/min}$ 及較大的 H 0.8 流量為 2.25 L/min 。而大扇噴頭範圍較大，從 PL D-3 的 1 L/min 到 PL D-4 的 1.5 L/min ，以及較多位於 $1.50 \sim 4.00 \text{ L/min}$ 間，相對於小扇及日扇，流量較大。而其中，日扇的 PL D-5 及小扇 HS H-5 與大扇的 PL D-3 具有相似的流量大小；而

小扇 HS D-8 及日扇 PL D-8 也與大扇的 PL D-4 有相似的流量大小；日扇的 H 0.8 也與大扇的 PL D-5 及 HS H-5 具有相似的流量大小。然而，兩種流量標準中，「 $\pm 5\%$ L/min」在小流量時較為嚴格，如 0.75 L/min 時，噴頭流量誤差範圍僅能在 0.0375 L/min 的差距，而以「 ± 0.1 L/min」標準，則 0.75 及 0.85 兩組將合併才不會造成前後組別的區間重疊，但日、小扇的 PL D-35 就會落於區間標準之外，其餘的組別在兩種標準下，皆可以適用，僅「 $\pm 5\%$ L/min」的標準在小流量較為嚴苛，但到大流量時就會比「 ± 0.1 L/min」標準來得寬鬆許多(表四)。

四、不同壓力下日扇 PL D-5 霧滴粒徑分群比例及飄散試驗結果

飄散污染常與霧滴粒徑相關，尤其是小霧滴所占之比例⁽⁸⁾，為瞭解噴頭噴出的霧滴中，各種不同霧滴粒徑大小的比例，我們選用田間常用的日扇 PLD-5，將原始粒徑分析結果進行進一步計算，依據對飄散有影響的霧滴大小，區分為 < 100 、 $100 \sim 150$ 、 $150 \sim 200$ 及 $> 200 \mu\text{m}$ ，結果顯示， $> 200 \mu\text{m}$ 霧滴在低壓 3 kgf/cm^2 只有 6%，壓力提高到 7 kgf/cm^2 則減至 2%，再提高壓力到 25 kgf/cm^2 則不到 0.1% 的霧滴，而在各壓力下，霧滴占最大比例的為 $< 100 \mu\text{m}$ 的霧滴，在 3 kgf/cm^2 提升到 7 及 25 kgf/cm^2 時，比例分別為 53%、64% 及 85%，幾乎占總霧滴量的一半以上。而 $100 \sim 150 \mu\text{m}$ 的霧滴在 3 kgf/cm^2 及提升到 7 kgf/cm^2 時，維持在

28% 及 26% 左右，但壓力提到到田間常用的 25 kgf/cm^2 後，則銳減到 13%，隨之 $150 \sim 200 \mu\text{m}$ 的粒徑也從 3 kgf/cm^2 的 13% 降低到 7 kgf/cm^2 的 8%，再提高壓力為 25 kgf/cm^2 時則只剩下 2%，由此結果可知，當壓力從 3 kgf/cm^2 提升到 7 及 25 kgf/cm^2 時， $< 100 \mu\text{m}$ 小粒徑的霧滴會隨之增加比例最高達 85%，而其他 $100 \sim 150$ 、 $150 \sim 200$ 及 $> 200 \mu\text{m}$ 霧滴都會隨之降低比例(圖二)。

再者，同樣用此日扇 PL D-5 以向下噴施方式，模擬實際噴藥時使用不同壓力造成的飄散距離影響，於噴施點下風處 $0.5 \sim 8 \text{ m}$ 水平擺放水試紙量測飄散距離及沉降量，結果顯示在風速為 4 m/s 時，不論 3、7 或 25 kgf/cm^2 噴施，在下風處 8 m 與噴頭等高的一垂直擺放水試紙，皆可收到 6.48%、3.6% 及 1.45% 的覆蓋率，顯示當風速高達 4 m/s 時仍有部分霧滴會繼續飛越下風處超過 8 m 以上，而在風速 3 m/s 時， 3 kgf/cm^2 的噴施也會造成微量的霧滴飛越超過 8 m 。若以覆蓋率 0.05% (約水量 $0.02 \mu\text{L/cm}^2$) 視為有飄散，則顯示在溫溼度為 $25.87 \sim 38.91^\circ\text{C}$ / 濕度 42.5 ~ 63.75 % RH 情況下，風速在 1 m/s 時最遠飄散距離為 1.5 m ，風速在 2 m/s 以上，皆有可能飄散距離最遠到達 7 m ，而風速大到 4 m/s 時，則有可能超過 8 m 的飄散。然而，當壓力為 25 kgf/cm^2 時(也就是 $< 100 \mu\text{m}$ 比例最多時)未必會造成飄散距離最遠，但可能造成濃度較高，如以風速在 3 m/s 情況下 3 及 25 kgf/cm^2 兩者飄散最遠距離分別為 7 及 5 m ，但在最遠距離的覆蓋率分別為 0.07% 及 0.72%，而

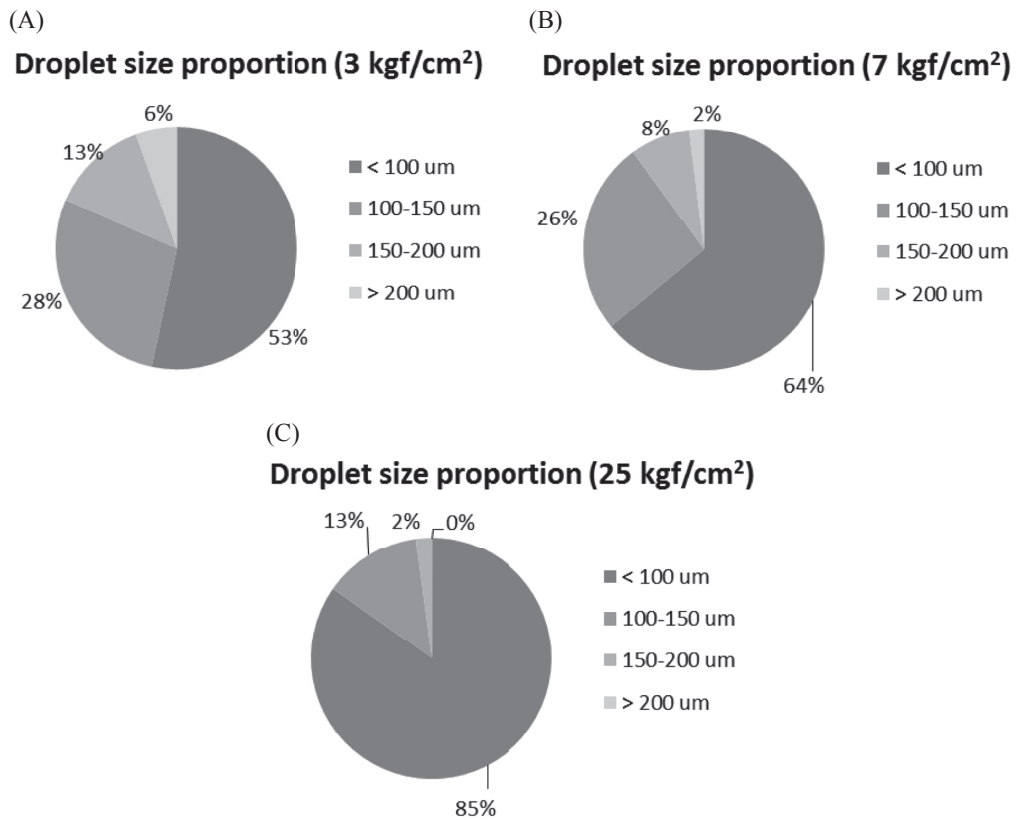
表四、25 支扇形噴頭於 20 kgf/cm² 噴施壓力下之流量分級¹⁾**Table 4.** Flow rate classification of 25 stainless steel fan nozzles at 20 kgf/cm² of spray pressure¹⁾

Classi- fication	Flow rate at 20 kgf/cm ² (L/min)	Flow rate (with relative tolerance of ± 5%) (L/min)	Flow rate (with toler- ance of ± 0.1 L/min) (L/min)	Small fan nozzle type	Japanese fan nozzle type	Large fan nozzle type
1	< 0.75			HS H-4 (0.54)	HS H-4 (0.54)	
2	0.75	0.71 ~ 0.79	0.65 ~ 0.85			
3	0.85	0.81 ~ 0.89		PL D-35 (0.86)	PL D-35 (0.88)	
4	1.00	0.95 ~ 1.05	0.90 ~ 1.10	HS H-5 (0.95)	PL D-5 (0.96)	PL D-3 (1.00)
5	1.25	1.19 ~ 1.31	1.15 ~ 1.35	JA J-5 (1.22) PL D-6 (1.26)	JA J-5 (1.20) KS K-6 (1.29) KS K-7 (1.28) PL D-6 (1.26)	
6	1.50	1.43 ~ 1.58	1.40 ~ 1.60	HS D-8 (1.54)	PL D-8 (1.44)	PL D-4 (1.44)
7	1.75	1.66 ~ 1.84	1.65 ~ 1.85	JA J-8 (1.72)	JA J-8 (1.74)	
8	2.00	1.90 ~ 2.10	1.90 ~ 2.10			KS C-5 (1.92)
9	2.25	2.14 ~ 2.36	2.15 ~ 2.35		H 0.8 (2.22)	PL D-5 (2.17) HS H-5 (2.19)
10	2.50	2.38 ~ 2.63	2.40 ~ 2.60			PL D-6 (2.49)
11	3.00	2.85 ~ 3.15	2.90 ~ 3.10			PL 0.8 (3.00)
12	3.50	3.33 ~ 3.68	3.40 ~ 3.60			
13	4.00	3.80 ~ 4.20	3.90 ~ 4.10			PL 1.0 (3.82)
14	5.00	4.75 ~ 5.25	4.90 ~ 5.10			
15	6.00	5.70 ~ 6.30	5.90 ~ 6.10			
16	> 6.00					

¹⁾ Flow rate data only represents the nozzles investigated in the current study.

在 1 m/s 及 2 m/s 風速下也是一樣的情況，2 m/s 時 3 kgf/cm² 最遠飄散距離為 4 m、覆蓋率 0.09%，但 25 kgf/cm² 距離為 3 m 覆蓋率為 0.16% (圖三)，推測有可能是 25 kgf/cm² 噴施時，小霧滴所占比例很高，而蒸發作

用對這些小霧滴影響很大，達到沉降與蒸發作用拉鋸的臨界值，則蒸發完無法沉降，造成最遠飄散距離該點後一個下風處的載點即無法收到飄散數據，此一現象在高壓時略為明顯；再者，也可能是 25 kgf/cm² 噴



圖二、日扇 PL D-5 扇形噴頭於 (A) 3 kgf/cm²、(B) 7 kgf/cm² 及 (C) 25 kgf/cm² 壓力下霧滴粒徑分群比例。

Fig. 2. Droplet size proportions for the PL D-5 Japanese type fan nozzle under (A) 3, (B) 7 and (C) 25 kgf/cm² of spray pressure.

施時所造成的霧滴「大小」及其「比例」，與 3 kgf/cm² 下的霧滴相比，其霧滴大小在該環境條件下，不會造成較遠距離的飄散（霧滴太小，提早蒸發完或霧滴適中本田內正常沉降），剛好更不易造成飄散。因此從三種壓力的飄散距離來看，壓力增大霧滴粒徑雖然變小，並不與飄散最遠成正相關的關係。而在 7 kgf/cm² 噴施時，溫度較 3

及 25 kgf/cm² 來得高 5 ~ 10°C，從飄散距離來看，無論在任何風速下 7 kgf/cm² 噴施時，下風處的飄散距離皆相等甚至大於其他壓力下的噴施，如 7 m/s 以上飄散即達 7 m 以上，有可能與溫度較高蒸發作用較嚴重，霧滴瞬間變成較小顆粒的緣故，而剛好這種霧滴大小在當時的溫溼度條件下，造成了較嚴重的飄散情況。

Wind speed (m/s)	Pressure (kgf/cm ²)	Tem. (°C) / Humidity (%)	Drift distance from nozzle (m)												8.0 vertical
			0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0		
1	3	26.6 / 47.6	5.27	0.05	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	
	7	37.26 / 49.3	14.28	0.66	0.12	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	25	27.56 / 42.5	0.55	0.03	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	
2	3	27.41 / 47.0	89.99	9.55	4.75	1.52	0.80	0.34	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	
	7	33.28 / 63.75	Full	41.33	8.94	4.64	3.32	1.59	0.99	0.33	0.09	0.08	0.01	0.01	
	25	26.89 / 44.5	80.35	6.97	0.45	0.29	0.13	0.16	0.03	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	
3	3	25.87 / 58.2	80.58	48.85	7.88	2.15	1.41	1.34	0.76	0.38	0.16	0.07	0.03	0.06	
	7	38.91 / 43.57	94.81	68.82	13.87	8.23	8.00	2.54	1.57	0.48	0.28	0.09	0.02	0.01	
	25	25.99 / 55.1	Full	43.29	29.15	10.66	6.17	3.02	1.75	0.72	0.04	0.02	0.00	0.00	
4	3	26.45 / 56.1	Full	72.49	9.29	3.41	2.51	2.87	5.22	2.28	1.56	1.27	0.37	6.48	
	7	33.71 / 61.53	93.67	81.10	18.94	5.81	5.53	5.75	5.75	4.14	2.45	1.28	0.59	3.60	
	25	26.65 / 54.50	Full	59.47	17.77	10.52	9.73	5.14	2.70	1.32	0.77	0.46	0.14	1.45	

圖三、日扇 PL D-5 扇形噴頭於不同壓力 (3、7、25 kgf/cm²) 及風速 (1, 2, 3, 4 m/s) 下霧滴飄散距離 (m) 與覆蓋率 (%) 示意圖。灰色背景表示水試紙上霧滴覆蓋率達 0.05% 以上 (換算成水量約為 0.02 μL/cm²) 視為有飄散。

Fig. 3. Spray drift distance (m) and droplet coverage (%) of the PL D-5 Japanese type fan nozzle under 3, 7, and 25 kgf/cm² of spray pressure and different wind speeds. The water sensitive paper revealed that critical droplet coverage was higher than 0.05% (equivalent to 0.02 uL/cm² with deposition water amount by software caculation), representing spray drift and colored in grey.

討論

本次收集到的 25 支白鐵扇形噴頭，其噴頭流量及霧滴數據，僅為市售噴片取樣測試作為背景資料收集，用以掌握不同噴頭特性以利進行飄散評估，僅能代表此一測試結果，不能代表噴頭規格。依其外觀可分為大、小及日扇三種，噴片上印有數字 3、35 到 0.8 及 1.0，依孔徑及粒徑量測結果顯示，確實隨著孔徑增大霧滴粒徑也會隨之增加，但是不同廠牌所出不同形狀的噴片，即使相似的孔徑，有些霧滴很相近，如：同為 6 號日扇的 KS K-6 與 PL D-6 在 20 kgf/cm^2 時 $Dv(90)$ 分別為 130.4 及 $130.63 \mu\text{m}$ ，但同為 8 號的日扇 H 0.8 及 JA J-8 在 20 kgf/cm^2 時 $Dv(90)$ 分別為 $157.33 \mu\text{m}$ 及 $137.6 \mu\text{m}$ ，明顯 H 0.8 在高壓時的 $Dv(90)$ 較同為 8 號的其他支噴頭粒徑為大，顯示同一家廠牌的數字間可能有噴孔大小及霧滴大小的相對關係，但與其他廠牌間的噴片，相同數字未必有一樣的粒徑大小，此可能與噴片上凸出的形狀以及噴孔切割的角度造成不同的霧滴分布情形有關。除了小、日扇噴片具有平狀及桃狀分別，大扇凸出的形狀較為一致，尤其大扇 PL 系列的噴頭，當噴孔變大霧滴大小也隨之增加，因此當形狀及噴頭設計方式一致時，可經由孔徑進行霧滴大小及流量的區別，但此一區分方法，在臺灣的小、日扇形狀及切孔方式多，則未必適用。

然此，雖無法區別粒徑大小，若能用一套區分方法可以辨別不同廠牌間的噴頭流量，則農民在選用時，便可依照植物型

態大小及推薦用藥量，選擇適當流量的噴頭，之前在期刊中嘗試將白鐵扇形噴頭依據 ISO 10625 流量分級，以 300 kPa (約 3 kgf/cm^2) 壓力下的流量分列在 01、015、02 ~ 05 等不同編號區間，其流量分別為 0.4 、 0.6 、 $0.8 \sim 2.0 \text{ L/min}$ ，結果顯示很多噴頭無法符合規格⁽³⁾，且臺灣扇形噴頭使用習慣壓力與國外常用低壓 (60 psi 以下，約 4.2 kgf/cm^2 以下) 噴施不同，常以高壓進行噴施，因此宜以田間常用的壓力作為分組的考量。試以 20 kgf/cm^2 壓力下的流量進行分組，結果顯示，小、日扇形噴頭屬於較小的流量，集中在 $0.85 \sim 1.75 \text{ L/min}$ 間，大扇多屬於 $1.5 \sim 4.00 \text{ L/min}$ 間 (表四)，可知綜觀而言，大部分的大扇噴頭其流量是較小、日扇噴頭為大。但仍有部分大扇噴頭具有與小、日扇噴頭相似的流量大小，如大扇的 PL D-3 與小扇的 HS H-5 及日扇的 PL D-5，其流量在 20 kgf/cm^2 皆為 1.00 L/min 左右，而霧滴粒徑在 20 kgf/cm^2 時 $Dv(10)$ 、 $Dv(50)$ 及 $Dv(90)$ 分別為 30.29 、 64.03 、 $117.3 \mu\text{m}$ (大扇 PL D-3)； 30.54 、 64.95 、 $119.8 \mu\text{m}$ (小扇 HS H-5) 以及日扇 PL D-5 的 29.11 、 63.24 、 $117.53 \mu\text{m}$ ，三者粒徑分布相似。而大扇的 PL D-4 與小扇的 HS D-8 及日扇的 PL D-8，其流量在 20 kgf/cm^2 皆為 1.50 L/min 左右，霧滴粒徑在 20 kgf/cm^2 時 $Dv(10)$ 、 $Dv(50)$ 及 $Dv(90)$ 分別為大扇 29.12 、 65.76 、 $125.1 \mu\text{m}$ ；小扇 30.08 、 74.32 、 $154.3 \mu\text{m}$ 以及日扇的 32.09 、 69.48 、 $130.63 \mu\text{m}$ ，三者粒徑分布也很相似，唯小扇 HS D-8 $Dv(90)$ 略大一些 (表一 ~ 三)，由上述的例子推測，流量相

近的白鐵扇型噴頭，也可能會呈現相近的霧滴粒徑分布，而且白鐵扇形噴頭雖有孔徑大小控制粒徑大小，但實際量測除非孔徑偏大或偏小，否則孔徑影響粒徑大小的程度不大，但是影響流量大小的情況很明顯，小孔徑的流量必小，孔徑大的流量必定增大，推測可能與扇形噴頭本身設計的噴出型式有關，也就是噴頭座的空間及射出水流形成扇型的方式，因此控制了霧滴粒徑分布在有限的變化之內。此外，流量測定時目前以簡易利用量筒、碼表及動力噴霧機的供壓方式進行時，在大流量測定時容易出現測定上的誤差，因每秒出水量極大，些許人為變化即會造成較大的誤差，且壓力也會跳動在 $\pm 0.2 \text{ kgf/cm}^2$ 左右，因此需要反覆重複測試才能得到穩定的結果，後續也會針對方法進行改進，希望能更順利的進行流量穩定的測定。

從不同壓力下的霧滴粒徑變化來看，不論是、日或大扇都有一個現象，就是壓力從 3 kgf/cm^2 提升到 7 kgf/cm^2 時，霧滴粒徑明顯下降，但是再提高壓力到 15 kgf/cm^2 以後霧滴下降的趨勢就趨緩，尤其到 20 、 25 kgf/cm^2 後，下降的幅度更小，此一現象與之前量測到的現象相符，此種白鐵扇型噴頭在壓力 7 或 10 kgf/cm^2 以後，再提高壓力，霧滴下降的趨勢就開始趨緩⁽³⁾。而其中比較特別的是，大部分白鐵扇型噴頭在 $Dv(10)$ 及 $Dv(50)$ 時，除了孔徑較小的噴片外，其他噴頭霧滴粒徑變化的趨勢皆很集中，但 $Dv(90)$ 時，較大或較小孔徑的噴頭就會出現較大及較小的霧滴粒徑，因此可

區分成不同群組（圖一），顯示孔徑的偏大或偏小，雖也會影響前 10% （小粒徑）及平均粒徑的數值，但對霧滴粒徑分布中較大粒徑 $Dv(90)$ 的數值產生較明顯變化。然而，針對本次收集的 25 支噴頭，以 ASABE 訂定霧滴分級標準 S572.1 加以區分，在壓力 3 kgf/cm^2 時全都在非常細（VF，Very Fine， $60 \sim 145 \mu\text{m}$ ）的粒徑範圍，若壓力提高到 25 kgf/cm^2 時，日、小扇的 HS H-4 就會落入極細（XF，Extreme Fine， $< 60 \mu\text{m}$ ）的霧滴範圍，較小的霧滴粒徑對於農藥飄散風險的危害就有增加的可能。此外，有文獻指出，為了對照不同霧滴粒徑分析儀造成的量測差異，使用 ASABE S572.1 制定霧滴限值的參考噴頭作為比較參考⁽⁷⁾，我們選用 Teejet XR8008，相同壓力下量測 $Dv(10)$ 、 $Dv(50)$ 及 $Dv(90)$ 結果為 110.88 、 343.61 及 $685.68 \mu\text{m}$ ，而文獻中為 130.1 、 354.1 及 $671.4 \mu\text{m}$ ， $Dv(50)$ 相近，惟 $Dv(10)$ 及 $Dv(90)$ 有 $14 \sim 20 \mu\text{m}$ 差異，藉此可作為不同粒徑分析儀量測數據結果之比較參考。

霧滴大小是決定該霧滴飄散距離的重要因素，然而從粒徑分析的 $Dv(10)$ 、 $Dv(50)$ 及 $Dv(90)$ 結果中，僅能瞭解整體霧滴分布的概況，因此若要實際探討該噴頭噴出的霧滴，每一不同粒徑大小霧滴對飄散距離的影響，可進一步計算不同霧滴粒徑大小在整體霧滴分布中所占的比例。一般而言，小粒徑霧滴在空氣中停留時間較大粒徑為久，因其顆粒較小，但仍需考慮環境、噴施方向、壓力等等因素，才能完整考慮一顆霧滴可能的飄散距離，所有霧滴總加在

一起，才是一個噴頭噴出的霧滴造成整體飄散的情況。這次的飄散試驗，加長到下風處 8 m 的載點量測，希望能測到白鐵扇形噴頭在田間常用的「高壓」噴施時的實際霧滴飄散情況與距離，並利用一與噴施點垂直高度等高的垂直擺放水試紙，量測越過 8 m 以後的霧滴飄散情況，結果顯示在風速達到 4 m/s 時，日扇 PL D-5 不論 3、7 或 25 kgf/cm² 施用時，飄散距離都會超過 8 m 以上，此外，也發現雖然 25 kgf/cm² 造成的小粒徑（如 < 100 μm 霧滴）是三種壓力中最多，但未必有造成最遠或濃度最高的飄散問題，推測一來可能是高壓向下噴施的方式，用高壓把霧滴都往地面方向垂直推送，減少了水平方向霧滴移動的比例，再者每種不同粒徑大小的霧滴，在配合當時的溫、濕度等環境因子影響下，依照流體力學皆有其固定的飛行距離，而 < 100 μm 的霧滴，可能在這次測試的溫溼度條件下，因蒸發作用而霧滴揮發，可能其他粒徑大小的霧滴如 100 ~ 150 μm 或 150 ~ 200 μm 的霧滴，才是造成此環境條件下飄散的主要霧滴。而由相似溫、溼度條件下量測的 3 及 25 kgf/cm² 數據顯示，不論在何種風速下，3 kgf/cm² 的霧滴飄散距離皆比 25 kgf/cm² 的來得遠，如在風速 2 m/s 時，3 kgf/cm² 噴施最遠飄散距離為 4 m，而 25 kgf/cm² 則為 3 m，而 4 m/s 風速時，雖然看不到最遠飄散距離，但是在 8 m 垂直水試紙接收到霧滴比例 3 kgf/cm² 噴施的 6.48% 也比 25 kgf/cm² 的 1.45% 來得多，雖然此條件測試下，霧滴飄散距離沒有更遠，但是

由結果顯示，其在下風處沉降的霧滴量（以覆蓋率來看）或許會比較多。而在 7 kgf/cm² 噴施時，其溫度較另外兩個壓力噴施測試時高 5 ~ 10°C 左右，原本推估其飄散情況應該是介於兩個壓力之間，結果顯示，7 kgf/cm² 的飄散情況遠比其他兩個壓力測試下來得嚴重（圖三），推測較高的溫度造成原有應沉降的霧滴變得更小，因此飄得稍微更遠一些，如風速 1 m/s 已達 1.5 m，2 m/s 以上都在 7 m 以上。

綜合以上，從霧滴粒徑觀察噴頭在特定壓力下的飄散情況，需完整配合當時的溫、溼度條件等環境因子作為評估，且未必相同噴頭在高壓下，噴出的霧滴造成的飄散距離就會更遠，因此極為複雜。有鑑於霧滴飄散評估需使用縝密的數學公式或電腦模擬軟體進行，需有特定技術與專業才能使用，美國農業應用技術研究所 (Architectural Technology Research Unit, ATRU) 及美國俄亥俄州立大學等多位研究人員，共同開發了一套操作簡易之評估軟體——DRIFTSIM，藉由輸入風速、霧滴粒徑、霧滴速度、噴施高度、溫度及相對溼度等六個參數，便可簡易估算可能產生的霧滴飄散程度，此軟體是先以實際飄散數據再加上電腦流體力學模擬程式，模擬不同噴施條件下，累積 2,816,000 筆模擬數據而成，使霧滴飄散評估更具方便性，然其測試溫度配合美國環境僅在 10 ~ 30°C 之間⁽²⁾，於高溫環境不適用。此次僅為一種日扇噴頭在三種壓力下的飄散測試，在其他溫、溼度環境因子配合下，也可能產生不同的結

果，後續須累積更多不同情況的噴施測試，才能對霧滴造成的實際飄散沉降量與距離，有更完整且仔細的瞭解。此外，若是利用統一的流量將臺灣扇形噴頭進行分組，將有助於農民在選用噴頭或農機行在推薦適當噴頭時，可明確的從噴頭上的組別數字，辨識出適當的流量大小，以利更精準的農藥施用。然而，白鐵扇形噴頭屬於臺灣常用噴頭中很大的一類，其霧滴粒徑較小，而田間更習慣於使用高壓的噴施方式，希望藉由更多的實際數據累積，或是配合電腦飄散評估軟體，來探討在不同的溫度等環境因子影響下，適當的壓力選用及噴施方法來降低農藥飄散對非目標作物甚至人畜的危害。

謝辭

本研究由行政院農業委員會經費補助(計畫編號：105農科-10.8.3-藥-P1(2))，試驗期間承蒙晟豐農業機械有限公司林恪群先生熱心協助收集與討論噴頭資訊，以及分享農民實際使用噴頭的經驗，使本文得以順利完成，謹此一併誌謝。

引用文獻

1. 盛中德、黃明仕。1995。農藥施用飄積現象之研究 II——飄積現象的影響因子與飄積預測模式。農業機械學刊 4(3)：15-26。
2. 黃郁容、何明勳。2014。農藥飄散之預防管理與評估技術。農政與農情 264：87-91。
3. 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。
4. ASABE standard S572.1. 2009. Spray nozzle classification by droplet spectra. American Society of Agricultural and Biological Engineers. USA.
5. ASABA. 2017. Nozzle catalog. Available at <http://www.asaba-mfg.com/en/catalog>
6. Deveau, J., and Beaton, D. 2011. Pesticide drift from ground applications, Factsheet order No. 11-001. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Ontario, Canada.
7. Fritz, B. K., Hoffmann, W. C., Czaczuk, Z., Bagley, W., Kruger, G., and Henry, R. 2012. Measurement and classification methods using the ASABE S572.1 reference nozzle. J. Plant Prot. Res. 52: 447-457.
8. Hilz, E., and Vermeer, A. V. P. 2013. Spray drift review: the extent to which a formulation can contribute to spray drift reduction. Crop Prot. 44: 75-83.
9. ISO Standard 13320-1: 1999. Particle size analysis -- laser diffraction methods. International Organization for Standardization. Switzerland.
10. ISO Standard 10625: 2005. Equipment for crop protection -- sprayer nozzles -- colour coding for identification. International Organization for Standardization.

- Switzerland.
11. Slocombe, J. W., and Peterson, D. 2015. Guide to spray nozzle tip selection by droplet size. K-State Research and Extension, Kansas State University. Available at <https://www.bookstore.ksre.ksu.edu/pubs/MF3240.pdf>
 12. USEPA-ETV, RTI International, and Alion Science & Technology. 2009. Test/QA plan for the validation of the verification protocol for low speed pesticide spray drift reduction technologies for row and field crops. 600ETV11007.
 13. Vern, H., and Elton, S. 2014. Spray equipment and calibration. NDSU Extension Service, North Dakota State University, Fargo, ND, USA. 44 pp.
 14. Yamaho. 2017. Nozzle guide. Available at <http://www.yamaho-k.co.jp/01b/>
 15. Zhu, H., Salyani, M., and Fox, R. D. 2011. A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution. *Comput. Electron. Agr.* 76: 38-43.

Study on Nozzle Flow Rate, Droplets Size Distribution and Its Drifting Ability of Various Fan Type Nozzles Used in Taiwan

Yu-Rong Huang^{1*}, Rong-Jhih Syu¹

Abstract

Huang, Y. R., and Syu, R. J. 2017. Study on nozzle flow rate, droplets size distribution and its drifting ability of various fan type nozzles used in Taiwan. *Taiwan Pestic. Sci.* 3: 1-24.

In this study, we tested 25 stainless steel fan nozzles that are used in Taiwan (including 7 types of small nozzles, 10 types of Japanese nozzles, and 8 types of large nozzles) in order to improve understanding of droplet size distribution under 3, 7, 15, 20, and 25 kgf/cm² of spray pressure. Most nozzles (exception of some smaller and larger size nozzles which named number 4 or 8 and 1.0) spray droplets have a similar size distribution; such as 77.17 ~ 101.5 μm and 64.03 ~ 80.08 μm under 7 kgf/cm² and 20 kgf/cm² of spray pressure, respectively. We tested and categorized nozzles into 16 groups according to their flow rate under 20 kgf/cm² of spray pressure. Most small nozzles and Japanese nozzles were classified in the 0.85 ~ 1.75 L/min group. Furthermore, large nozzles had a larger flow rate and belonged to the 1.50 ~ 4.00 L/min group. However, some different types of nozzles (i.e., HS H-5, small type; PL D-5; Japanese type, and PL D-3; large type) were found to have the same flow rate of 1.00 L/min. In order to evaluate the spray drift distance of the stainless steel fan nozzle used in Taiwan under typical field application conditions, we chose one commonly used nozzle PL D-5 for experiment. Specifically, these conditions included a downward spray pattern (the spray pattern that is most commonly used for ground crops) and spray pressures of 3, 7, and 25 kgf/cm², respectively. Our results revealed that (1) under all pressure conditions, sprays were able to drift more than 8 m when the wind speed

Accepted: November 24, 2017.

* Corresponding author, Email: huangyr@tactri.gov.tw

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

was 4 m/s; and (2) 3 kgf/cm² of pressure was associated with longer spray drift distances than was 25 kgf/cm² of pressure at all 1~ 4 m/s wind speeds. For example, when the wind speed was 2 m/s, the spray drift at 3 kgf/cm² of pressure was more than 4 m, but when the pressure was 25 kgf/cm², the spray drift was only 3 m. We also found that, when test under higher temperatures and faster wind speeds (more than 2 m/s), the drift distance can reach over 7 meters when the spray pressure is 7 kgf/cm². Above all, evaluation of spray drift is a complicated issue; we should combine not only droplet size distribution but temperature, humidity, wind speed all parameters into consideration. In order to further improve understanding of spray drift, we recommend that future research focus on collecting more spray drift data for additional spray nozzles used in Taiwan and assist with the computer software used to predict spray drift distances for more completely evaluation of droplet spray drift.

Key words: spray nozzle, flow rate, spray drift, droplet size.