

臺灣農藥噴頭霧滴粒徑調查研究與飄散評估方法建立

黃郁容^{1*} 徐榮志¹ 何明勳¹

摘要

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。

臺灣目前使用的農藥噴頭種類繁多，由於尚未有統一的規格，本研究初步收集農民常用的9種噴頭，包括4種白鐵扇形及5種黃銅(含單孔及多孔)圓錐噴頭，測試2、7、10及20 kg/cm²等農民常用之壓力範圍下之霧滴粒徑及流量，以瞭解目前臺灣常用噴頭的一些基本資料，並建立一套評估霧滴飄散的方法，以瞭解現今農藥噴灑可能造成的飄散情況。由本次9種噴頭霧滴粒徑分析結果顯示，4種白鐵扇形噴頭霧滴粒徑皆較黃銅圓錐噴頭細，且外觀標示為「5」的三種噴頭粒徑相似，2 kg/cm²時約106.2~114.5 μm，而9種噴頭在壓力從2 kg/cm²提高到7、10 kg/cm²後霧滴細化就逐漸趨緩，因此在提高壓力到20 kg/cm²，對霧滴粒徑變化的幅度就開始減小，而黃銅噴頭因為有單孔及多孔的噴頭，霧滴粒徑變化較複雜，多孔噴頭流量大，亦有壓力到7或10 kg/cm²後霧滴細化就逐漸趨緩現象，惟本次收集的五孔內牙噴頭其霧滴粒徑Dv(50)在不同壓力下幾乎相似(介於118.0~128.5 μm)，只有Dv(90)在壓力2 kg/cm²提高到20 kg/cm²時，粒徑從221.7 μm降為169.2 μm左右，顯示不同壓力下對此一噴頭霧滴大小平均粒徑變化影響不大。此外，為了瞭解臺灣常用噴頭在田間使用時的飄散距離，建構了飄散模擬的控制環境進行測試，初步以農民田間常用的其中一種白鐵扇形噴頭KS K-5，模擬低壓(3 kg/cm²)向下噴施地面栽培作物(屬非常細霧滴)之飄散情況，顯示於風速1 m/s時飄散距離達到3 m，再將風速提高至2 m/s以上後，飄散距離已達5 m以上，若提高到田間慣用的10~20 kg/cm²則飄散情況可能會更趨嚴重。再者，將單孔的白鐵扇形噴頭依ISO 10625以流速進行分級，結果4支噴頭流速接近01或015，但流速規格未符合5% L/min誤差範圍，皆介於01~015之間，其餘噴頭因為屬多噴孔或可調整流量，僅作為流量比較參考；再依據ASABE S572.1將這9種

接受日期：2016年9月9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

噴頭於不同壓力下霧滴粒徑進行分類，結果顯示僅 2 種黃銅圓錐噴頭在 2 kg/cm^2 使用時為細 (F) 霧滴，其他皆為非常細 (VF) 霧滴，再提高到農民慣用的 7、10 甚至 20 kg/cm^2 ，全變成非常細 (VF) 的霧滴，因此可能對於霧滴飄散具有很大的影響。綜合以上，本次測試的 9 支農民常用噴頭，霧滴粒徑在低壓 2 kg/cm^2 就多呈現為非常細霧滴，因此以目前田間慣用的 $10 \sim 20 \text{ kg/cm}^2$ 甚至更高壓，更是可能造成飄散的危險，後續會再累積不同常用噴頭的基本資料及飄散結果，以利作為飄散評估背景資料的參考佐證。

關鍵詞：噴頭、飄散、流量、粒徑分布。

緒言

噴頭為影響農藥噴施效率的重要因子之一，選擇適當的霧滴大小、流量及噴幅才能達到以最低的有效劑量發揮最大病蟲害防治效果的目的，同時避免造成非目標飄散的危險。國際標準化組織 (International Organization for Standardization, ISO) 訂定一套農用水霧噴頭規範 ISO 10625⁽⁷⁾，以 300 kPa (約 3 kg/cm^2) 壓力下的流量，將噴頭加以區分為不同規格分級，再以顏色作為區別，統一適當的規格以增加農民選用的方便性。而國際上噴頭廠商也依此規範，設計符合 ISO 10625 噴頭流量之噴頭並以顏色區別，使農民在選用時更加容易判別，如 Teejet XR 系列在壓力 3 bar (約 3 kg/cm^2) 時噴頭流量 0.39、0.59、0.79、0.99、1.18、1.58、1.97、2.37、3.16 L/min⁽⁹⁾ 以及 Agrotop 噴頭在壓力 3 bar (約 3 kg/cm^2) 時噴頭流量 0.40、0.60、0.80、1.00、1.20、1.60、2.00、2.40、3.20

L/min⁽¹⁾，依照 ISO10625 分級成型號 01、015、02、025、03、04、05、06、08 並標示不同顏色⁽⁷⁾，因此從顏色及型號就可知道噴頭的流量及霧徑大小。

由於噴頭噴出的霧滴大小直接影響霧滴掉落到非目標區域的飄散危險，當噴出之霧滴粒徑越小，因質量較輕導致沉降速度變慢，如 $100 \mu\text{m}$ 霧滴在無風狀態需歷時 11 秒方能沉降 3 m ⁽³⁾，表示小霧滴易飄浮於空中，若遇到風則有可能使小霧滴飄移到更遠處，研究指出，當風速 3 mph 時 (約 1.5 m/s) 小霧滴會飄散至 14 m 處⁽⁸⁾，根據北達科塔州立大學 (NDSU) 的「噴藥設備及校準」文件表示，當風速達 1.3 m/s 時 100 、 150 及 $200 \mu\text{m}$ 的霧滴，飄散距離分別可達 14.6 、 7.62 、 4.6 m ，由此可知霧滴粒徑增大後，飄散程度亦會隨之降低，此外文中亦指出當風速為 $0.4 \sim 3.1 \text{ m/s}$ 時，霧滴粒徑增加至 $150 \sim 200 \mu\text{m}$ 才可降低飄散⁽¹²⁾。此外，亦有研究利用霧滴沉降量及目標噴霧總量

來計算飄散潛在值 (DPV) 用以評估不同噴頭之飄散能力，數值越小表示飄散的風險越小，在平均風速為 0.45 m/s 的環境下，測試不同平均粒徑之噴頭 XR11002 (平均粒徑 = 125 μm)、XR11003 (平均粒徑 = 175 μm)、XR11004 (平均粒徑 = 200 μm)、AIXR11004 (平均粒徑 = 577 μm) 等飄散情形，將測試值帶入 DPV 公式後，得知飄散潛在值由大到小分別為 XR11002 (68.6) > XR11003 (40.5) > XR11004 (26.9) > AIXR11004 (8)⁽⁴⁾，得以評估噴頭之飄散潛力。

因此針對霧滴顆粒大小，美國農業生物工程師學會 (ASABE) 亦由霧滴粒徑訂定 S572.1 噴頭的分類標準，將霧滴區分為極細 (XF, Extremely Fine, 紫色)、非常細 (VF, Very Fine, 紅色)、細 (F, Fine, 橘色)、中等 (M, Medium, 黃色)、粗 (C, Coarse, 藍色)、非常粗 (VC, Very Coarse, 綠色)、極粗 (XC, Extremely Coarse, 白色) 及特粗 (UC, Ultra coarse, 黑色)⁽²⁾。此外，美國環保署亦教育農藥廠商在農藥標籤上，標示農藥噴施時的適當霧滴大小、施藥的高度、適當的環境風速以及可能需要的緩衝區域⁽¹⁰⁾。因此，配合噴頭廠商提供以顏色區分霧滴大小的資料，農民在農藥噴施時便可選用適當的噴頭及壓力，達到最適合的防治效果並降低飄散的風險。

臺灣以農立國，農田耕作技術傳承先人智慧，一路沿用至今，然而農藥噴施使用噴頭種類繁多，農民在噴頭選擇的習慣上，多為傳承家中長輩、鄰近區域使用習慣或是附近農機行的推薦，然而噴頭規格

由廠商依各自的品管標準進行品質管制，因此農民每次使用之噴頭會因不同來源而有不同的噴霧效果，且大多無法從噴頭外觀上取得規格的資訊來選用適當的噴頭，可依據材質大致分為黃銅及白鐵噴頭，黃銅多為圓錐噴頭甚至有單孔、3 孔 ~ 7 孔的選擇，外觀無任何標示，白鐵有扇形也有圓錐噴頭，部分外觀會有廠商的一些數字或製造廠標示，但未有統一規範無法識別。本文初步收集臺灣農民常用的 9 種噴頭，多為用於向下噴施或側噴的地上部作物使用，藉由量測其不同壓力下流量、霧滴粒徑分布及噴孔大小 (直徑) 等基本資訊，針對不同的噴施壓力包含農民慣用的高壓下，量測噴出之霧滴流量及粒徑分布，依照國際標準 ISO 10625 及美國霧滴分級制度 ASABE S572.1 加以分級，一面瞭解目前農業噴頭使用之背景資訊，以及藉由霧滴粒徑瞭解目前常用的噴施方法，可能造成之飄散影響，同時開發霧滴飄散之量測方法，藉由控制環境下的霧滴飄散距離量測，利用水感應試紙及影像分析軟體，建立不同風速、高度等條件下，可能之霧滴飄散距離，作為評估的佐證資料。本文中僅以收集的 9 支噴頭進行討論及比較，然目前尚有不同廠商製造之其他噴頭無法綜合比較。

材料與方法

一、農民常用噴頭外觀基本性能與噴頭孔徑及噴片量測

自臺中、雲林及彰化三地，收集農民

常用及構造不同的噴頭 9 種，主要以使用於向下或側向噴施蔬菜、水稻等最常用噴頭，名稱以其外觀跟材質作為稱呼，黃銅圓錐系列的單孔尖嘴噴頭 (A，購自雲林北港農機行)、五孔菜嘴 (B，購自臺中霧峰農機行)、單孔外牙螺旋噴頭 (C，購自臺中霧峰農機行)、五孔及四孔內牙螺旋噴頭 (D 及 E，購自臺中霧峰農機行)；及白鐵扇形噴頭系列 WP D-5 (F，購自彰化員林農機行)、PL D-4 (G，購自彰化員林農機行)、PL D-5 (H，購自雲林北港農機行) 及 KS K-5 (I，購自雲林虎尾農機行) 分別如表一及表二所列。噴孔及噴片直徑以游標卡尺 Mitutoyo 503-104 (三豐株式會社，神奈川，日本) 量測。

二、噴頭性能測試方法建立與量測

(一) 噴頭噴霧粒徑分析及噴施壓力

噴霧粒徑使用 Spraytec STP2000 (Malvern Instruments Ltd, Worcestershire, England) 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 1.1 m 平臺上。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，低壓使用二氧化碳鋼瓶 (鼎祥氣體有限公司，彰化，臺灣) 及高壓使用三進牌 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。噴施穩定後收集 5 ~ 10 秒粒徑數據平均值並進行 3 重複測試。

(二) 噴頭流量測試

測試噴頭固定於噴桿上，低壓 (2、3 kg/cm^2) 以二氧化碳鋼瓶或高壓 (7、10、20 kg/cm^2) 以動力噴霧機調整測試壓力後，以碼表計時測試 10 ~ 30 s 內 1,000 mL 量筒內之水量，進行 3 重複測試。

三、霧滴飄散測試方法建立與量測

(一) 飄散模擬控制環境的建構

利用鐵架架設長 6 m，寬 2.2 m，高 1.75 m 的長廊，並以透明塑膠布密封，阻絕環境中氣流干擾，開口端以 18 吋工業風扇 (雙燕牌，臺南，臺灣) 導入定速氣流模擬不同風速，在風扇的正對面開一單口，使風能從此一單口散出，利用風扇控制噴施點風速，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。

(二) 噴頭霧滴飄散距離及覆蓋率分析

控制環境長廊內，初步以模擬向下噴施地上部作物的模式，以防水布架設一距地高 0.5 m 的條帶做為實驗載點 (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 0.75 m，距噴施點水平距離

表一、5 種農民常用之黃銅圓錐農藥噴頭於不同壓力下之霧滴粒徑分布及流量，Dv(10)、Dv(50) 及 Dv(90) 表示 10%、50% 及 90% 之霧滴其粒徑小於此的粒徑大小

Table 1. Droplet size and flow rate of five brass cone spray nozzles. Dv(10), Dv(50) and Dv(90) values indicate the size that 10%, 50%, and 90% of droplets were below, respectively

Code	A	B	C
Nozzle type	1 Hole-point nozzle	5 Hole vegetable nozzle	1 Hole-outer thread nozzle
Nozzle appearance			
Appearance label or hole diameter	1.35 mm	1.20 mm	1.95 mm
Droplet size (μm , 2 kg/cm^2)			
Dv(10)	85.95 \pm 1.74	82.23 \pm 0.81	55.84 \pm 0.55
Dv(50)	148.5 \pm 2.71	136.5 \pm 0.68	108.3 \pm 0.61
Dv(90)	266.1 \pm 3.93	228.8 \pm 0.10	201.6 \pm 1.37
Flow rate (L/min) 2 kg/cm^2	0.97 \pm 0.01	1.74 \pm 0.00	0.80 \pm 0.00
Droplet size (μm , 7 kg/cm^2)			
Dv(10)	73.71 \pm 0.88	68.43 \pm 0.52	46.51 \pm 0.28
Dv(50)	121.9 \pm 1.41	108.03 \pm 0.29	88.01 \pm 0.69
Dv(90)	206.7 \pm 1.77	170.30 \pm 0.53	157.8 \pm 2.08
Flow rate (L/min) 7 kg/cm^2	1.89 \pm 0.00	2.62 \pm 0.07	1.29 \pm 0.02
Droplet size (μm , 10 kg/cm^2)			
Dv(10)	56.48 \pm 3.56	81.91 \pm 1.71	45.14 \pm 0.91
Dv(50)	101.1 \pm 3.29	113.4 \pm 0.64	87.46 \pm 1.00
Dv(90)	181.8 \pm 3.20	155.4 \pm 1.16	160.5 \pm 2.65
Flow rate (L/min) 10 kg/cm^2	2.20 \pm 0.01	3.20 \pm 0.03	1.59 \pm 0.01
Droplet size (μm , 20 kg/cm^2)			
Dv(10)	55.99 \pm 4.07	82.99 \pm 2.12 ¹⁾	43.74 \pm 1.33
Dv(50)	92.16 \pm 3.94	119.3 \pm 2.49 ¹⁾	88.87 \pm 1.71
Dv(90)	152.0 \pm 2.72	168.5 \pm 2.16 ¹⁾	169.8 \pm 4.14
Flow rate (L/min) 20 kg/cm^2	3.06 \pm 0.00	4.84 \pm 0.07	2.90 \pm 0.04

表一、5 種農民常用之黃銅圓錐農藥噴頭於不同壓力下之霧滴粒徑分布及流量，Dv(10)、Dv(50) 及 Dv(90) 表示 10%、50% 及 90% 之霧滴其粒徑小於此的粒徑大小 (續)

Table 1. Droplet size and flow rate of five brass cone spray nozzles. Dv(10), Dv(50) and Dv(90) values indicate the size that 10%, 50%, and 90% of droplets were below, respectively (continued)

Code	D	E
Nozzle type	5 Hole-inner thread nozzle	4 Hole-inner thread nozzle
Nozzle appearance		
Appearance label or hole diameter	1.15 mm	1.15 mm
Droplet size (μm , 2 kg/cm ²)		
Dv(10)	73.48 \pm 1.12	97.03 \pm 3.60
Dv(50)	128.5 \pm 0.85	156.1 \pm 4.85
Dv(90)	221.7 \pm 0.75	253.2 \pm 6.63
Flow rate (L/min) 2 kg/cm ²	1.86 \pm 0.00	1.64 \pm 0.03
Droplet size (μm , 7 kg/cm ²)		
Dv(10)	77.14 \pm 5.38	71.64 \pm 0.47
Dv(50)	118.0 \pm 5.56	116.3 \pm 0.35
Dv(90)	179.1 \pm 5.25	188.4 \pm 0.95
Flow rate (L/min) 7 kg/cm ²	2.86 \pm 0.03	2.70 \pm 0.00
Droplet size (μm , 10 kg/cm ²)		
Dv(10)	83.97 \pm 3.97	69.87 \pm 3.24
Dv(50)	122.3 \pm 3.82	111.7 \pm 5.01
Dv(90)	175.4 \pm 3.48	179.2 \pm 6.88
Flow rate (L/min) 10 kg/cm ²	3.68 \pm 0.03	3.05 \pm 0.08
Droplet size (μm , 20 kg/cm ²)		
Dv(10)	84.63 \pm 3.73 ²⁾	66.56 \pm 0.36 ¹⁾
Dv(50)	121.7 \pm 6.25 ²⁾	104.3 \pm 2.66 ¹⁾
Dv(90)	169.2 \pm 10.9 ²⁾	157.6 \pm 7.77 ¹⁾
Flow rate (L/min) 20 kg/cm ²	6.12 \pm 0.00	4.23 \pm 0.03

¹⁾ Large amounts of droplets were full of detection area caused by high flow rate and led to droplet size increasing in 5 seconds. Data was therefore collected in 4 seconds.

²⁾ The sample contained too many droplets sample input. We therefore collected data using 4/5 of the original droplet amount.

表二、4種農民常用之白鐵扇形農藥噴頭於不同壓力下霧滴粒徑分布及流量，Dv(10)、Dv(50)及Dv(90)表示10%、50%及90%之霧滴小於此的粒徑大小

Table 2. Droplet size and flow rate of four stainless steel fan spray nozzles. Dv(10), Dv(50) and Dv(90) values indicate the size that 10%, 50% and 90% droplets were below, respectively

Code	F	G	H	I
Nozzle appearance				
Appearance label or hole diameter	WP D-5	PL D-4	PL D-5	KS K-5
Droplet size (μm , 2 kg/cm^2)				
Dv(10)	60.40 \pm 2.36	75.35 \pm 1.15	56.94 \pm 0.59	62.30 \pm 0.57
Dv(50)	112.4 \pm 1.44	140.4 \pm 0.66	106.2 \pm 0.81	114.5 \pm 0.12
Dv(90)	198.9 \pm 3.38	247.8 \pm 1.50	185.9 \pm 0.85	201.1 \pm 0.78
Flow rate (L/min) 2 kg/cm^2	0.38 \pm 0.00	0.46 \pm 0.00	0.40 \pm 0.00	0.52 \pm 0.00
Droplet size (μm , 7 kg/cm^2)				
Dv(10)	38.96 \pm 0.46	46.20 \pm 0.19	41.71 \pm 1.34	40.80 \pm 0.11
Dv(50)	79.54 \pm 0.32	92.76 \pm 0.33	85.11 \pm 0.77	84.23 \pm 0.09
Dv(90)	146.7 \pm 0.35	169.1 \pm 0.92	153.9 \pm 0.21	153.8 \pm 0.29
Flow rate (L/min) 7 kg/cm^2	0.62 \pm 0.00	0.78 \pm 0.00	0.64 \pm 0.00	0.77 \pm 0.01
Droplet size (μm , 10 kg/cm^2)				
Dv(10)	36.33 \pm 1.16	46.74 \pm 2.37	37.04 \pm 0.42	41.10 \pm 0.25
Dv(50)	74.70 \pm 0.71	90.44 \pm 1.74	78.63 \pm 0.62	80.99 \pm 0.39
Dv(90)	136.5 \pm 0.29	160.6 \pm 1.17	144.5 \pm 1.85	143.6 \pm 0.97
Flow rate (L/min) 10 kg/cm^2	0.72 \pm 0.39	0.96 \pm 0.00	0.70 \pm 0.00	0.84 \pm 0.00
Droplet size (μm , 20 kg/cm^2)				
Dv(10)	30.19 \pm 0.73	33.36 \pm 2.21	27.18 \pm 0.13	29.92 \pm 0.49
Dv(50)	65.44 \pm 0.27	68.85 \pm 3.81	63.10 \pm 0.77	65.84 \pm 0.93
Dv(90)	121.0 \pm 0.81	125.9 \pm 6.05	119.7 \pm 1.92	122.9 \pm 1.91
Flow rate (L/min) 20 kg/cm^2	0.96 \pm 0.00	1.34 \pm 0.00	1.00 \pm 0.00	1.12 \pm 0.00

下風處 0.5、1、2、3、4、5 m 等水平放置水感應試紙 (Spraying Systems Co., Wheaton, USA) 收集霧滴覆蓋率，以壓力 40 psi (約 3 kg/cm^2) 噴施 10 s 後回收水感應試紙⁽¹¹⁾，利用 HOBO UX100-003 溫溼度計 (Onset, Bourne, USA) 記錄試驗時之溫溼度。將上述水感應紙以 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⁽¹³⁾，分析霧滴在水試紙上之覆蓋率 (%) 及水量 ($\mu\text{L/cm}^2$) 等資訊。

結果

一、農民常用噴頭外觀與噴頭孔徑量測

黃銅圓錐系列的單孔尖嘴噴頭 (噴孔直徑為 1.35 mm)、五孔菜嘴 (菜嘴為此類型噴蔬菜的噴頭俗稱，孔徑約 1.2 mm)、單孔外牙螺旋噴頭 (螺旋牙口由噴孔的黃銅套從外包覆噴頭座，單孔，孔徑約 1.95 mm)、內牙螺旋噴頭 (螺旋牙口由噴孔的黃銅套從內與噴頭座連接，四孔及五孔，孔徑皆約 1.15 mm)，除了菜嘴以外，其他噴頭都可調整霧滴霧化程度，本次量測皆以農民常用最霧化情況 (霧滴最小時) 進行霧滴粒徑等規格測定 (表一)；以及白鐵扇形系列噴頭 PL D-4 (台扇，白鐵片直接裝入噴頭套及座中，白鐵片直徑為 1.8 cm)、WP D-5 (日扇，噴頭上的白鐵片由一黑色墊片扣住定位再固定在噴頭套及座上，白鐵片直徑為 1.4 cm)、

PL D-5 (日扇，白鐵片直徑為 1.4 cm) 及 KS K-5 噴頭 (台扇，白鐵片直徑為 1.4 cm) (表二)。

二、不同壓力下噴頭霧滴粒徑量測

為了瞭解噴頭實際噴施的情況，分別以 2、7、10 及 20 kg/cm^2 管末壓力模擬不同使用條件下霧滴粒徑與流量的變化，其中農民常用背負式噴藥之壓力有 5 ~ 30 kg/cm^2 ，測試介於中間常用的 7 或 10 kg/cm^2 ，而田間常用動力噴霧機壓力常開到 20 ~ 30 kg/cm^2 ，甚至更高，測試管末壓力 20 kg/cm^2 ，再者目前臺灣藥效測試噴施常使用約 2 ~ 3 kg/cm^2 ，而美國農業生物工程師學會 (ASABE) 霧滴粒徑分類標準 S572.1 霧滴分級對照用噴頭使用壓力為 276 kPa (約 2 ~ 3 kg/cm^2)，利用雷射霧滴粒徑量測儀符合 S572.1 噴頭距量測點 20 ~ 50 cm 之範圍進行霧滴粒徑量測⁽²⁾，統計霧滴粒徑的大小分布，因此測試不同壓力條件，以瞭解實際噴施時之霧滴粒徑大小。

(一) 白鐵單孔扇形噴頭不同壓力下霧滴粒徑之變化

以不同壓力大小量測霧滴粒徑，結果顯示其 $D_v(50)$ (50% of the volume of spray is in droplets smaller than this value，指體積百分率有 50% 之霧滴其粒徑小於此的粒徑大小，後面簡稱「粒徑」)，4 種白鐵扇形噴頭壓力增加，粒徑大小確實會隨即往下降，但

壓力從 2 kg/cm^2 到 7 、 10 kg/cm^2 明顯變細從 $106.2 \sim 140.4 \mu\text{m}$ 降到 $74.7 \sim 90.44 \mu\text{m}$ ，再從 10 kg/cm^2 提升到 20 kg/cm^2 霧滴粒徑為 $63.10 \sim 68.85 \mu\text{m}$ ，霧滴細化效果趨緩（表二、圖一），因此在使用白鐵噴頭時，使用 10 kg/cm^2 及 20 kg/cm^2 ，就其霧滴霧化效果而言並無明顯差異。

（二）黃銅單孔及多孔圓錐噴頭不同壓力下霧滴粒徑之變化

黃銅圓錐系列，由於噴頭內部設計的水道型式不同，且多孔噴頭孔洞間距不固定又多為人工穿孔，再加上有單孔及多孔的差別，所以霧滴粒徑變化較為複雜，以單孔噴頭（尖嘴和單孔外牙）亦是壓力加到 7 或 10 kg/cm^2 後，霧滴變化就趨於平緩，外牙單孔壓力從 2 kg/cm^2 的粒徑 $108.3 \mu\text{m}$ 到 7 kg/cm^2 後（粒徑 $88.01 \mu\text{m}$ ）就趨於平緩，尖嘴單孔也是從 2 kg/cm^2 的粒徑 $148.5 \mu\text{m}$ 到 10 kg/cm^2 後（粒徑 $101.1 \mu\text{m}$ ）粒徑變化就趨緩，因此如同白鐵扇形的單孔一樣，霧滴壓力達到 7 或是 10 kg/cm^2 後，以增加壓力來細化霧滴的效果就不明顯了，至於多孔噴頭，亦有壓力提高到 7 或 10 kg/cm^2 以後就逐漸趨緩的趨勢，內牙四孔 7 kg/cm^2 後下降幅度趨緩，粒徑從低壓的 $156.1 \mu\text{m}$ 降到 $116.3 \mu\text{m}$ ，由於 20 kg/cm^2 時水量大每分鐘超過 4 L 水量，連續量測霧滴出現碰撞合併因此粒徑持續增加的現象，因此僅以前面 4 秒內之穩定數據判讀，而五孔內牙噴頭其霧滴粒徑在不同壓力下幾乎相似（介於 $118.0 \sim$

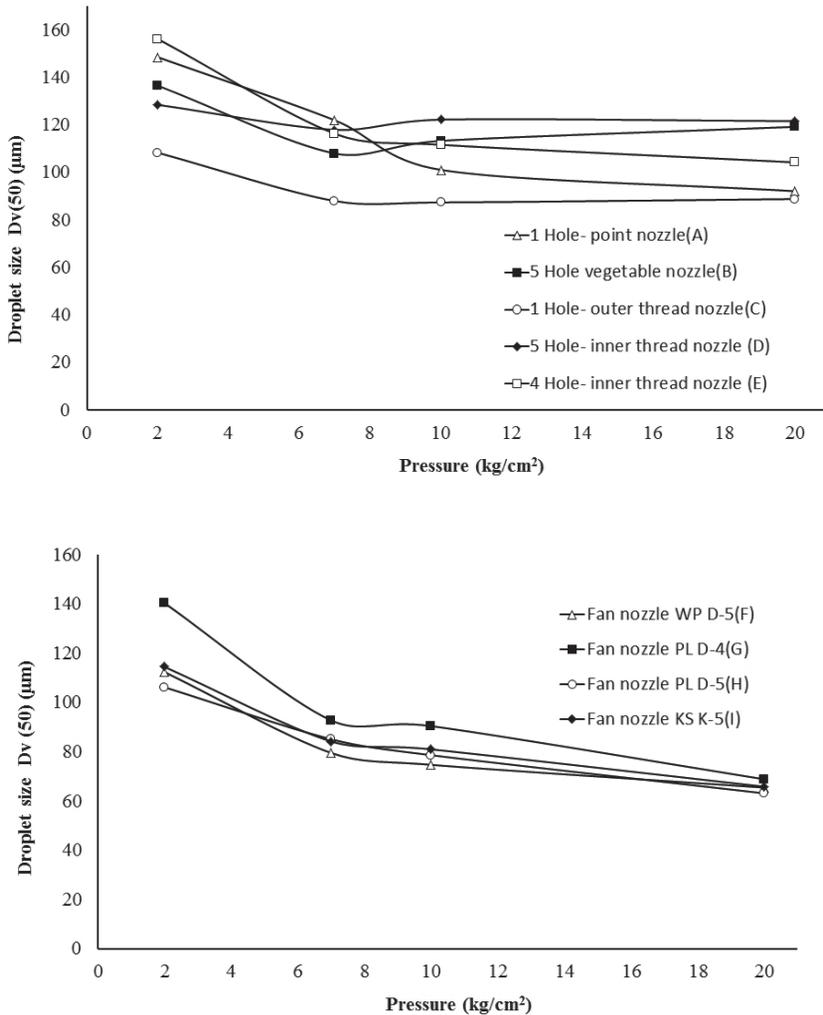
$128.5 \mu\text{m}$ ），惟其 90% 以上之霧滴大小 $Dv(90)$ 有從低壓的 $221.7 \mu\text{m}$ 降為 20 kg/cm^2 $169.2 \mu\text{m}$ 左右，顯示不同壓力下對此一噴頭 $Dv(50)$ 霧滴大小變化影響不大，推測可能因為每孔以圓錐噴出霧滴後，與相鄰的孔洞較近，會直接與相鄰孔洞的水花碰撞變成較大顆粒的水滴，但提高壓力並無法使粒徑 $Dv(50)$ 更細化，僅能加大出水量及施藥時的農藥成本，且在高壓 20 kg/cm^2 每分鐘出水量超過 6 L ，超過粒徑分析儀量測負荷量，因此僅以約 $4/5$ 霧滴量進行霧滴大小量測。黃銅圓錐噴頭系列中五孔菜嘴是唯一無法直接在噴頭上調整霧滴粗細者，但其設計可依需求快速更換成三孔、四孔或五孔等噴片，由結果來看從 2 kg/cm^2 提高壓力到 7 kg/cm^2 確實粒徑會從 $136.5 \mu\text{m}$ 降低到 $108.03 \mu\text{m}$ ，但再加大壓力到 10 、 20 kg/cm^2 後，則又些微回升到 113.4 、 $119.3 \mu\text{m}$ 粒徑幾乎相似，其打孔位置靠近邊緣可能造成孔洞間水花碰撞機會加大，再加上噴頭內部水道凹槽刻痕方式、深淺及內部組裝構造，有些噴頭設計為壓力式噴嘴、有些為渦流式噴嘴不同結構，可能造成其霧滴粒徑僅能降到 $108.03 \mu\text{m}$ ，再加高壓力，對霧滴粒徑並無明顯影響（表一、圖一上）。

（三）綜合比較及探討黃銅噴頭粒徑差異

綜觀黃銅單孔及多孔的噴頭，低壓 2 kg/cm^2 時的粒徑大小順序為：四孔內牙（ $156.1 \mu\text{m}$ ）、尖嘴單孔（ $148.5 \mu\text{m}$ ）、五孔菜嘴（ $136.5 \mu\text{m}$ ）、五孔內牙（ $128.5 \mu\text{m}$ ）及單孔

外牙 (108.3 μm)，但壓力提高至背負式噴霧常用之 7 kg/cm^2 時，粒徑大小變成兩組：僅單孔外牙圓錐較細為 88.01 μm ，其餘 4 種粒徑介於 108.03 ~ 121.9 μm ，壓力提升更

高也是這種趨勢，由此可知多孔的噴頭霧滴粒徑的變化，除了跟孔徑大小有關，噴頭內部構造、組裝方式及噴孔相鄰的位置，都有可能造成粒徑本身以及壓力增加時的



圖一、9 種臺灣農藥噴頭不同噴施壓力下，霧滴粒徑 Dv(50) 分布變化。上：黃銅圓錐噴頭 (A ~ E)；下：白鐵扇形噴頭 (F ~ I)。

Fig. 1. Changes in droplet size under different pressure conditions for 9 spray nozzles used in Taiwan. Top: brass spray nozzles (A ~ E); bottom: stainless steel spray nozzles (F ~ I).

變化，然而不同工廠製造出的噴頭因人工技術及多種原因有所差異，本文研究僅說明收集到的此 5 支噴頭比較，因此後續希望能透過群組化的方式，分別將圓錐及扇形等不同型態噴頭，具有相同粒徑分布特性區間者歸類在相同群組，以利瞭解各種較常用的農民慣用噴頭霧滴粒徑大小分布，可用以作為農藥飄散影響程度之背景資料。

三、臺灣慣用噴頭霧滴大小依照 ASABE S572.1 霧滴分級之結果

以美國農業生物工程師學會霧滴粒徑分類標準 S572.1 將臺灣常用農藥噴頭進行霧

滴分級，使用壓力 276 kPa (約 2 ~ 3 kg/cm²) 噴施時，霧滴粒徑 Dv(50) 白鐵扇形 4 種為 106.2 ~ 140.4 μm，霧滴分類皆屬於非常細 (VF, Very Fine, 約為 60 ~ 145 μm) 的等級，將 9 種常用農藥噴頭分類結果表列 (表三)，較細的霧滴 (如 200 μm 以下) 會在空氣中懸浮得較久，因此可能被帶到非目標的區域沉降，而以農民常用的壓力 7、10、20 kg/cm² 粒徑更降低至 63.10 ~ 92.76 μm，已接近至極細 (XF, Extreme Fine, 約為 < 60 μm) 的霧滴大小，顯示低壓時霧滴已屬於容易飄散的顆粒大小，提升到農民常用壓力下，更提高霧滴飄散的可能性。而黃銅系列噴頭在 2 kg/cm² 噴施時，霧滴粒徑

表三、9 種臺灣常用農藥噴頭於不同壓力下以 ASABE S572.1 進行霧滴粒徑分級結果 (F 表示細霧滴，橘色，粒徑約為 145 ~ 225 μm；VF 表示非常細霧滴，紅色，粒徑約為 60 ~ 145 μm)

Table 3. Droplet size classification for 9 spray nozzles used in Taiwan under different pressure conditions. Classification was based on ASABE standard S572.1. F (shown in orange) indicates that droplet size was fine (approximately 145 ~ 225 μm); VF (shown in red) indicates that droplet size was very fine (approximately 60 ~ 145 μm)

Nozzle	Droplet size classification under different pressure conditions (kg/cm ²)				
	2	3	7	10	20
Fan nozzle PL D-4	VF	VF	VF	VF	VF
Fan nozzle PL D-5	VF	VF	VF	VF	VF
Fan nozzle KS K-5	VF	VF	VF	VF	VF
Fan nozzle WP D-5	VF	VF	VF	VF	VF
1 hole-point nozzle	F	VF	VF	VF	VF
5 hole-vegetable nozzle	VF	VF	VF	VF	VF
1 hole-outer thread Nozzle	VF	VF	VF	VF	VF
5 hole-inner thread Nozzle	VF	VF	VF	VF	VF
4 hole-inner thread Nozzle	F	VF	VF	VF	VF

Dv(50) 為 108.3 ~ 156.1 μm ，其中四孔內牙及單孔尖嘴圓錐粒徑超過 145 μm 屬於細霧滴 (F, Fine, 約為 145 ~ 225 μm)，其他皆為非常細 (VF) 霧滴，但當壓力提高至背負式噴霧的 7 kg/cm^2 時，則全部變成非常細 (VF) 等級，進而 10、20 kg/cm^2 也是屬於非常細的霧滴等級。由此可知，目前臺灣農民慣用噴頭，此次收集的 4 支白鐵扇形噴頭霧滴較細，尤其使用於農民慣用的高壓壓力時，甚至接近極細 (XF) 的霧滴等級，因此飄散的可能性明顯提高。而黃銅圓錐系列 (含單孔及多孔) 的噴頭，也是屬於非常細的霧滴，僅單孔的圓錐在提高壓力時霧滴變更細，但多孔的噴頭在壓力提升到 7 kg/cm^2 後，則維持在介於 104.3 ~ 122.3 μm ，雖然也是屬於非常細 (VF) 的霧滴，但相較於白鐵的扇形高壓的接近極細 (XF) 還是屬於較大一點的霧滴。

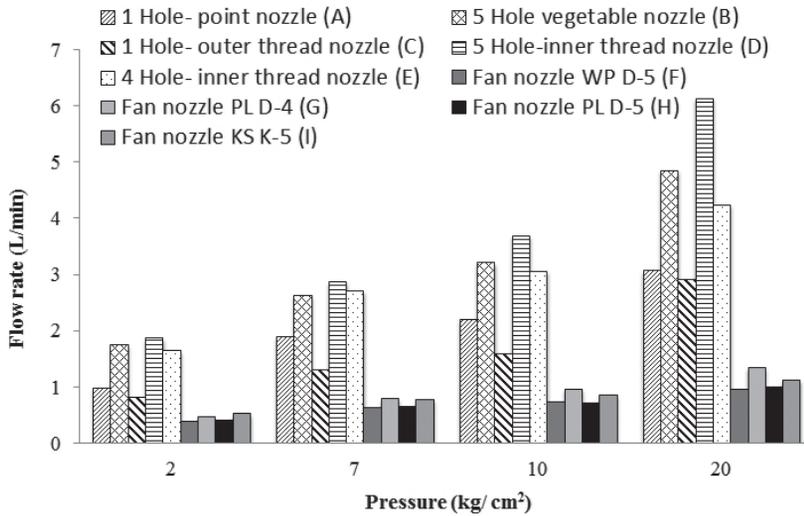
四、不同壓力下與噴頭流量之影響

流量影響施藥的量，相同壓力下，4 種白鐵扇形噴頭的流量皆較黃銅噴頭小些，此一跟其霧滴粒徑較細以及噴頭內部構造有關，4 種白鐵扇形噴頭粒徑隨著壓力上升而變細，因此壓力增大時流量僅從 2 kg/cm^2 的 0.38 ~ 0.52 L/min 提高到 20 kg/cm^2 0.96 ~ 1.34 L/min，每種壓力流量約提高 2.2 ~ 2.9 倍左右，而黃銅單孔噴頭從 2 kg/cm^2 提高到 20 kg/cm^2 ，流量從 0.8 ~ 0.97 L/min 提高到 2.9 ~ 3.1 L/min，流量提高約 3.2 ~ 3.6 倍，但黃銅多孔的噴頭從低壓 2 kg/cm^2 到 20 $\text{kg}/$

cm^2 四孔內牙、五孔菜嘴及五孔內牙流量約只有提高 2.6、2.8 及 3.3 倍 (圖二)，相對單孔的噴頭，壓力增加提高流量的幅度相對較小一些。但是黃銅噴頭在高壓使用下，噴頭內部水流過的孔道只有經過幾次測試已經有磨損退色的痕跡，壓力越大流量大出水量越多，理論上著藥量有可能因此增加，但是壓力增加霧滴粒徑變小，遇到風速稍微提高，則有可能因為飄散而使得大部分的霧滴都落在非目標的區域，更者，以提高壓力變化的流量倍數來看，多孔的噴頭壓力提高時，其倍數變化的幅度未必都會大幅提升，像是黃銅四孔內牙及五孔菜嘴上升的幅度就在 3 倍以下，因此在選擇噴頭及壓力時，應同時考量在適當的範圍內提高壓力來達到提高出水量，但應避免過高的壓力下，強烈磨損造成噴頭的耗損及施藥成本的提高。

五、依據國際標準 ISO 10625 將臺灣常用噴頭分級

國際上通用以國際標準化組織 (ISO) 訂定的農用水霧噴頭規範 ISO 10625，將噴頭分為不同規格及顏色，將目前收集到的噴頭加以分類，該規範主要以流量將噴頭進行分級，並且利用不同顏色將噴頭作為區分，以區分不同的規格及更方便使用，農用噴頭規格編號及其流速於 300 kPa (約 3 kg/cm^2) 為 01 (0.4 L/min)、015 (0.6 L/min)、02 (0.8 L/min)、025 (1.0 L/min)、03 (1.2 L/min)、04 (1.6 L/min)、05 (2.0 L/min)、06 (2.4 L/min)、



圖二、9種臺灣農藥噴施噴頭於不同壓力下各噴頭之流量的變化，A～E為黃銅圓錐噴頭；F～I為白鐵扇形噴頭。

Fig. 2. Flow rate of 9 spray nozzles used in Taiwan under different pressure conditions. A ~ E: brass cone spray nozzles. F ~ I: stainless steel fan spray nozzles.

08 (3.2 L/min)、10 (4.0 L/min) 及15 (6.0 L/min)⁽⁷⁾，每一規格流速限制的誤差範圍在5% L/min。田間噴頭的使用，無法像實驗室或是噴頭廠商一樣進行粒徑分析的量測，因此以單孔的噴頭來說，相同結構的噴頭流量與噴頭霧滴大小有成正相關的關係，相同壓力下，霧滴越大者流量也會增大，但噴頭構造設計不同者，則會有些許的變化，因此以流量進行噴頭的分級亦可以協助噴頭在降低飄散時初步辨識霧滴大小的選用。目前測試的4種白鐵扇形及5種黃銅圓錐共9種噴頭，單孔的白鐵扇形噴頭流速接近01及015，但流速規格未符合5% L/min 誤差範圍，尚無法列在01或015規格中，皆介於01～015，臺灣農用的噴頭於3 kg/cm²下

PL D-5 (流量為0.44 L/min) 及日扇的WP D-5 (0.44 L/min) 接近01的規格，PL D-4 (0.52 L/min) 及KS K-5 (0.52 L/min) 介於01及015兩者之間；黃銅噴頭具有可調整霧滴粗細大小功能，亦會影響流量，僅以霧滴最細時示意該噴頭位於規範的區間，此外，此一規範用於單孔的噴頭，多孔的噴頭由於流量受多孔的影響變化，也僅作為該噴頭位於規範位置區間及流量大小之示意。黃銅的單孔外牙螺旋噴頭 (0.9 L/min) 介於02到025之間，黃銅單孔尖嘴圓錐噴頭 (1.2 L/min) 流量屬於03規格的噴頭，而黃銅四孔內牙噴頭 (1.8 L/min) 介於04及05間，黃銅五孔內牙 (2.04 L/min) 及五孔菜嘴噴頭 (1.98 L/min) 屬於05的規格 (表四)。雖然

表四、9 種臺灣常用農藥噴頭以 ISO10625 噴頭分級結果

Table 4. Classification of 9 Spray nozzles used in Taiwan according to ISO standard 10625

Flow rate at 300 kPa ¹⁾	Nozzle size ¹⁾	Colour ¹⁾	Brass cone spray nozzles (flow rate at 300 kPa)	Stainless steel fan spray nozzles (flow rate at 300 kPa)
0.4	01	Orange	None ²⁾	None
-	-	-	-	Fan nozzle PL D-5 (0.44), Fan nozzle WP D-5 (0.44), Fan nozzle PL D-4 (0.52), Fan nozzle KS K-5 (0.52)
0.6	015	Green	None	None
0.8	02	Yellow	None	None
-	-	-	1 hole-outer thread nozzle (0.9) ³⁾	-
1.0	025	Violent	None	None
1.2	03	Blue	1 hole-point nozzle (1.2) ³⁾	None
1.6	04	Flame red	None	None
-	-	-	4 hole-inner thread nozzle (1.80) ³⁾	-
2.0	05	Nut Brown	5 hole-inner thread nozzle(2.04) ³⁾ , 5 hole-vegetable nozzle (1.98) ³⁾	None

¹⁾ Based on ISO standard 10625 "Equipment for crop protection -- sprayer nozzles -- colour coding for identification" (with a relative tolerance of $\pm 5\%$ L/min).

²⁾ "None:" None of the 9 nozzles investigated in this study can be classified at this size code.

³⁾ Data only represents flow rate comparison, not size code classification. Note that ISO standard 10625 is not applicable to nozzles where more than one component influences flow rate.

多孔的噴頭用此分級無法直接應用在瞭解噴頭的霧滴大小，但是其流量可作為施藥時評估精準施藥應計算的行走速率參考，用已知的流量作為計算行走速率及施藥的基準，亦是將噴頭進行規格訂定及區分的優點。

六、霧滴飄散試驗建立及測試

利用建立的控制環境測試不同粒徑大小霧滴可能之飄散距離，測試不同風速下，噴頭於固定風速風向條件下之飄散距離。以水試紙 0.05% 以上覆蓋率 (有肉眼

可見細霧滴顆粒約 7 ~ 15 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 $0.02 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ 視為有飄散，初步利用已有粒徑標準分級的噴頭 XR8001 (40 psi, 約為 $3 \text{ kg}/\text{cm}^2$, 粒徑 $Dv(50) = 121.8 \pm 1.61 \mu\text{m}$)、XR8004 (40 psi, 粒徑 $Dv(50) = 206.93 \pm 1.19 \mu\text{m}$) 模擬向下噴施地上栽培作物時情況進行測試，此兩支噴頭為 Teejet 公司出產的單孔扇形噴頭，XR8001 霧滴粒徑小，上述壓力下，屬 ASABE S572.1 霧滴分級的非常細霧滴 (VF)，XR8004 屬細霧滴 (F)，試驗結果顯示小粒徑的 XR8001 風速於 1 m/s 時

飄散已達 1 m，風速 3 m/s 以上時，飄散距離達 4 m 以上；粒徑較大的 XR8004，在風速 2 m/s 以下時，飄散距離為 0.5 m，風速 3 m/s 以上時，飄散距離為 4 m 以上。再初步選用一種國內農民常用於水稻田、蔬菜田之白鐵扇形噴頭 KS K-5 (40 psi, 粒徑 $Dv(50) = 114.7 \pm 2.13 \mu\text{m}$) 進行測試比較，其粒徑 $Dv(50)$ 與 XR8001 差不多略小一些，於風速 1 m/s 時飄散距離已達 3 m，將風速提高至 2 m/s 以上後，飄散距離達 5 m 以上 (圖三)，重新比較兩者粒徑分布，白鐵扇形 K-5 噴頭 $100 \mu\text{m}$ 以下粒徑的霧滴占 $29.49 \pm 2.31\%$ ，

Wind speed (m/s)	Spray Nozzle	Temperature (°C) / Humidity (%)	Drift Distance (cm)					
			50	100	200	300	400	500
1	XR8001	33.24 / 66.70						
	XR8004	32.55 / 57.50						
	KS K-5	31.99 / 64.50						
2	XR8001	33.84 / 63.50						
	XR8004	32.04 / 58.90						
	KS K-5	32.28 / 63.80						
3	XR8001	31.49 / 72.05						
	XR8004	32.73 / 56.70						
	KS K-5	29.58 / 71.90						
4	XR8001	31.01 / 72.60						
	XR8004	32.06 / 67.20						
	KS K-5	31.01 / 67.30						
4.5	XR8001	30.43 / 73.90						
	XR8004	31.61 / 66.85						
	KS K-5	32.68 / 65.15						

圖三、扇形噴頭 XR8001、XR8004 及 KS K-5 於噴施壓力約 $3 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ，不同風速下飄散距離示意圖。收集之水試紙覆蓋率達 0.05% 以上 (換算成水量約為 $0.02 \mu\text{L}/\text{cm}^2$) 視為有飄散，以灰色表示。

Fig. 3. Spray drift distance of 3 fan nozzles (XR8001, XR8004 and KS K-5) under $3 \text{ kg}/\text{cm}^2$ pressure and different wind speed conditions. The water sensitive paper showed coverage higher than 0.05% (also represented $0.02 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ with water amount by software calculation), representing spray drift and show in grey.

比 XR8001 噴頭 $23.83 \pm 2.32\%$ 多，且 $100 \sim 200 \mu\text{m}$ 霧滴所占之比例亦比 XR8001 噴頭少 10%，顯示白鐵扇形 K-5 比 XR8001 具有多粒徑較小之霧滴，因此低風速時有可能造成霧滴飄移的距離較遠，由此可知，初步可以 $Dv(10)$ 、 $Dv(50)$ 及 $Dv(90)$ 觀察霧滴分布對飄散的影響，若有疑慮時可再進一步分析霧滴顆粒之粒徑分布比例（如：較細霧滴比例），甚至噴幅等因子來評估對飄散的影響。本次初步透過建立控制環境並測試幾支噴頭飄散情況建立此一飄散評估方法，後續會再持續修正控制環境不足，並將群組化後的代表性農民慣用噴頭進行飄散測試，實際瞭解可能造成飄散的距離及其影響。

討論

田間農民慣用的農藥噴頭種類繁多，在使用噴頭的習慣上，通常不會有特定廠牌、型號或款式的限定，在臺灣不同地區慣用的噴頭廠牌來源常會因地區而有不同，本文初步從三地區農民常用部分噴頭型式著手瞭解測試，由於各家工廠皆有各自的模具、打孔方式技術及品管規格，就產生了各種不同種類的噴頭，像是同是黃銅五孔內牙圓錐噴頭，在臺中、臺南或是雲林採購到的規格型式（如孔徑大小、孔洞間距等），或許在霧滴粒徑分布上會有所不同，目前試驗數據僅針對本次收集到的 9 種噴頭進行討論分析，然皆可依照此套方法加以分類研究。此外，白鐵扇形噴頭依照採買噴頭之農機行說

明，噴頭外觀標示的數字為噴孔的直徑大小，尚有 3、4、5、6、7 等規格，可作為初步霧滴大小的判定，而黃銅噴頭孔洞也有分成細到粗等等不同孔洞大小（但噴頭上無印製，無法從外觀標示辨識），由於本次收集的種類不多，後續希望擴大取樣更完整地確認臺灣慣用的不同種類噴頭，其噴施霧滴的粒徑分布、流量、孔徑等基本規格，以作為臺灣噴頭規範標準之參考及飄散評估的背景資料。本次將 9 種噴頭，依照國際農用噴頭 ISO 10625 標準，以「流量」將噴頭分類如表四，然本規範適用之噴頭分類範圍為在噴頭上無其他影響流量的套件者，因此多孔的噴頭及具有調整霧滴粗細的噴頭都不適合歸類，然臺灣使用習慣上多為多孔或可調整流量的噴頭，單孔的噴頭也僅尖嘴圓錐在規定的流量下，其他單孔噴頭都介於兩個分級間，若能推廣依照統一的規範，則可使噴頭分級更為明確，未來即可在噴頭的外觀上由 01、015、02 等數字來區分噴頭的相關流量及霧滴大小，再者，依據臺灣慣用的多孔噴頭習慣，亦可另訂定一套規範，例如：多孔噴頭分成三孔、四孔、五孔等各別的流量規範，而可調整粗細型噴頭以其最有可能造成飄散的「最細霧滴」作為規範標準等，一方面可方便農民噴頭的選用，亦可同時限制農藥噴施時的飄散汙染，都是後續可以考量的範疇。另外，有文獻指出由於霧滴粒徑分析常會因為量測的儀器設備及方法而針對相同噴頭有些微粒徑的差異，因此建議利用 ASABE S572.1 制定霧滴限值的參考噴頭，作為相對粒徑分析的參考⁽⁵⁾，後續試驗可再添

加此些固定流量下的對照噴頭，使霧滴量測數據做更多的比較。

以本次收集的 9 種噴頭為例，霧滴粒徑確實會因為壓力增大而變細，但由圖一來看，壓力提升到農民常用的背負式噴霧 7 或 10 kg/cm² 後，再提高壓力上升的幅度就開始趨緩，後續希望能再多測試幾種常用噴頭，若皆有此一現象，則可建議農民無須無限制地提高壓力來達到較好的霧化效果，否則流量上升農藥使用的成本增加，又可能加速噴頭的磨損使用，卻無法達到預期的效果。因此在農藥噴施的時候應考慮慣用的高壓噴霧方式（如 20 kg/cm² 或更高壓），是否有改善的空間，或許降低壓力一樣可以維持相似的粒徑需求。另外，比較 9 種噴頭，白鐵扇形噴頭的粒徑皆比黃銅圓錐噴頭小，而飄散污染常與霧滴粒徑相關，尤其是小霧滴所占之比例⁽⁶⁾，因此小霧滴之噴頭使用不當有可能較容易造成飄散的危險，再將噴頭霧滴粒徑於不同壓力下依照 ASABE S572.1 規範製成表三，可以清楚比較不同壓力下的霧滴大小，結果顯示這些噴頭霧滴粒徑皆屬於非常細 (VF，約 60 ~ 145 μm) 到細 (F，約 145 ~ 225 μm) 等級，而僅有 2 種黃銅圓錐噴頭在低壓 2 kg/cm² 為細霧滴，但再提高到 3 kg/cm² 後皆變成非常細 (VF) 霧滴，非常細的霧滴粒徑極有可能造成嚴重飄散危險。若是同時在農藥成品標籤上標示適當霧滴大小使用的需求（如：A 成品農藥，適合使用細 (F) 到中等 (M) 霧滴大小），再配合噴頭採購資訊中的不同壓力下的粒徑分級如表三，便

可更容易選用適當的噴頭及適當壓力施藥，達到最適合的防治效果及降低飄散的風險。本次僅以收集到的幾種噴頭做為測試標的及進行討論比較，由此建立的方法後續可再累積更多不同噴頭種類及飄散資訊，希望後續可累積作為建立噴頭規範標準參考及霧滴飄散的背景資料。

謝辭

本研究由行政院農業委員會經費補助（計畫編號：104 農科 -10.8.3- 藥 -P1(2)），試驗期間承蒙本所楊秀珠博士及林怡婷專業助理等實驗室同仁提供農民慣用噴頭種類與田間慣用壓力共同分享討論，與生化農器資材行提供許多農藥噴頭相關背景資訊，使本文得以順利完成，僅此一併誌謝。

引用文獻

1. Agrotop. 2016. Nozzle guide. Available at <http://www.agrotop.com/en/service/nozzle-guide/nozzle-guide>
2. ASABE standard S572.1. 2009. Spray nozzle classification by droplet spectra. American Society of Agricultural and Biological Engineers. USA.
3. 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.
4. Emilio, G., Paolo, B., Montserrat, G., Jordi, L., Paolo, M., Per, G. A., Xavier, F.,

- and Jordi, L. 2014. Determination of drift potential of different flat fan nozzles on a boom sprayer using a test bench. *Crop Prot.* 56: 58-68.
5. Fritz, B. K., Hoffmann, W. C., Czaczyk, 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.
 6. 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.
 7. ISO Standard 10625: 2005. Equipment for crop protection -- sprayer nozzles -- colour coding for identification. International Organization for Standardization. Switzerland.
 8. Ozkan, H. E. 2000. Reducing spray drift. Bulletin 816-00. Ohio State University, Columbus, OH, USA.
 9. Teejet Technologies. 2016. Catalog 51A. Broadcast nozzles XR Teejet. Available at <http://www.teejet.com>
 10. United States Environmental Protection Agency. 2016. Improving labels to reduce pesticide drift. Available at <https://www.epa.gov/reducing-pesticide-drift/improving-labels-reduce-pesticide-drift>
 11. 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.
 12. Vern, H., and Elton, S. 2014. Spray equipment and calibration. North Dakota State University, Fargo, ND, USA. 44 pp.
 13. 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.

Investigation of How Various Pesticide Spray Nozzles Affect Droplet Size and Spray Drift

Yu-Rong Huang^{1*}, Rong-Jhih Syu¹, Ming-Hsun Ho¹

Abstract

Huang, Y. R., Syu, R. J., and Ho, M. H. 2016. Investigation of how various pesticide spray nozzles affect droplet size and spray drift. *Taiwan Pestic. Sci.* 1: 107-126.

In this study, we tested nine different spray nozzles used in Taiwan (including 4 stainless steel fan nozzles and five brass cone nozzles) to (1) improve understanding of droplet size and flow rate under 2, 7, 10, and 20 kg/cm² of pressure and (2) establish a method to evaluate spray drift. From size distribution data of nine nozzles, the droplet size of stainless steel fan nozzles were smaller than that of brass cone nozzles. Three (labeled No. 5) out of the 4 stainless steel fan nozzles that we tested showed similar droplet sizes (approximately 106.2 to 114.5 μm). Furthermore, we found that droplet getting smaller with higher pressure operation, but stop changing size when pressure achieved 10 kg/cm². One of the brass nozzles (5 hole-inner thread) showed a similar size range between 118.0 and 128.5 μm within 2 to 20 kg/cm² of pressure, indicating that operation pressure has little influence on droplet size with this nozzles of multi-hole. In order to estimate spray drift distance by using nozzles available in Taiwan under the practical field condition, we used KS K-5 stainless steel nozzles (classified as very fine droplet size) to imitate the downward spray typically used for ground crop. This provided a spray drift of 3 meters at a wind speed of 1 m/s and a spray drift of 5 meters at a wind speed higher than 2 m/s. It might cause more serious spray drift when using high pressure operation that often used in the field. We also classified the 4 stainless steel fan nozzles by flow rate (based on ISO 10625), they were similar to 01 or 015 specification but not exactly the same (out of 5% L/min relative tolerance). In addition, when the droplet size of all nine nozzles was classified based on the ASABE S572.1 standard, only two brass nozzles were found to have fine (F) droplets at 2 kg/cm²; the other seven nozzles showed very fine (VF) droplets. All nine nozzles showed very fine droplets at pressure of 7, 10 and 20 kg/cm², thus these nine nozzles can produce very fine droplet size which can lead to spray drift. In future

Accepted: September 9, 2016.

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

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

research, we plan to collect data pertaining to droplet size, flow rate and spray drift distance for additional spray nozzles used in Taiwan in order to continue our evaluation of spray drift.

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