

農藥飄散之預防管理 與評估技術

一. 前言

我國地處亞熱帶地區，病蟲害控制不易，而且農藥施用受限於先天上地狹人稠之限制，相鄰的農田可能因為施用過程不當，而造成鄰田飄散污染，甚至污染水源區或住宅區等，以致造成危害。農藥飄散到非目標區域的問題日益增加，包括：有機農業遭到鄰田慣行農法農藥飄散污染，造成農產品被驗出農藥殘留，除了降低栽培農民的信心，更造成極大的經濟損失；甚至因附近除草劑的施用，飄散到學校內，造成學童接觸性中毒事件等，該等事件在在顯示這是必須正視及迫切解決的問題，因此，如何避免農藥在施用時的飄散污染，實為必需重視之議題，並可藉由農民教育及施藥技術改良加以實現。

二. 開發飄散評估軟體及智慧型低飄散施藥設備

美國很早即注意到農藥飄散的問題，並且開始投入相關的研究，目前針對農藥飄散的問題，也於近幾年規定在農藥的標示上有相關的警語與施用時應保持的緩衝區（buffer zone）限制。除了針對農業機械工程的改進，研發降低農藥飄散之施藥設備及器具，更開發多項農藥飄散之評估模式軟體，如：由美國農部林務署（USDA Forest Service）開發之AGricultural DISPersal（AGDISP），以演算法計算空中施藥的飄散情況，應用於空中林業施藥，後續再經由與美國環保署（USEPA）及化學廠商所組成的噴霧飄散工作團隊合併原有空中施藥數據，共同開發出包含有地面及果園施藥飄散評估之AgDrift，擴大可評估飄散之應用範圍。

有鑑於這些評估模式皆須要有特定的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) 的 Dr. Heping Zhu 及美國俄亥俄州立大學的 Dr. Erdal Ozkan 等多位研究人員，乃共同開發了一套操作簡易之評估軟體—DRIFTSIM，藉由輸入「風速」、「霧滴大小」、「霧滴速度」、「噴施高度」、「溫度」及「相對溼度」等參數，便可估算此噴施條件下可能產生的霧滴飄散狀況與距離。由於大部分霧滴飄散之預測，都需用精密的數學公式或電腦模擬軟體進行，需經專業之訓練，相對地，此套軟體即可快速上手使用。此軟體之飄散距離公式，是經由電腦流體力學模擬程式「Fluent」，模擬不同組數噴施條件下，累積 2,816,000 筆模擬數據而成，使農藥飄散評估更具實用性。除此之外，針對開發降低農藥飄散之噴藥裝置與設備之研究，尚包括：以電腦模擬程式「Fluent」分析不同角度範圍遮罩對飄散降低的研究，發現於噴頭上裝設不同角度之遮罩，皆可有效減少飄散的產生，其中又以雙弧薄板屏蔽效果最佳；另，利用風洞裝置 (wind tunnel) 進行氣輔式噴霧設備 (air-assisted sprays)、靜電噴頭 (electrostatic nozzle) 等，降低非目標區飄散之效果評估，顯示靜電噴灑方式確實在溫室等有控制的環境下，可達到良好的效果，但於田間環境下仍有改良的空間。又，利用不同種類或混合之添加劑，提高液體黏度以達到降低飄散的研究中，發現添加不同種類聚合物，如：聚合環氧乙烯、聚丙烯醯胺、多醣類 (polysaccharide) 等，均可提高產品黏度進而增加霧滴粒徑，減少飄散。更重要的，有鑑於果園機械噴藥時，大部分的飄散皆來自果樹株間無植物卻持續噴藥的情況，農藥於無植生阻擋的情形下，直接飄散到下風處，乃開發感應型噴霧裝置，可辨識株間空隙處，感應到有作物阻擋才會噴藥，對於行株間的空隙處不會噴藥，此設備大幅降低農藥飄散的汙染，又可降低農藥不必要的浪費，未來可望降低設備之成本及應用在更多種類作物栽培區域，擴展設備的應用價值到更多的作物類型。

此外，美國環保署亦將農藥飄散應設置之緩衝區納入標示中，依據不同施藥條件下，如：地面噴桿式施藥、空中施藥及鼓風式噴施 (airblast application)，於不同噴嘴高度須設置有不同範圍之緩衝區，並依據美國農業與生物工程師學會 (The American Society of Agricultural and Biological Engineers, ASABE，早期為 ASAE) 對噴嘴產生之霧滴大小分類標準 ASAE S-572 (圖 1) 區分，藉此有效控制農藥施用時之飄散問題。例如：當使用地面噴桿式噴藥時，依風速範圍、噴嘴高度及使用之噴嘴型式 (霧滴大小)，經軟體模擬計算適當之緩衝區，表列於農藥之標示上 (表 1)，即於施用農藥時，應設置該大小 (英尺) 之緩衝區，以避免農藥飄散之影響。

顏色代碼	分類	關值 (臨界值)		
		Dv0.1	Dv0.5	Dv0.9
VF	非常細 (VF)	41.5	99.9	170.8
F	細 (F)	65.7	163.6	350.1
M	中等 (M)	55	249.4	495.2
C	粗 (C)	95.6	365.1	683.5
VC	非常粗 (VC)	109.2	408.3	842.6
XC	極粗 (XC)	>109.2	>408.3	>842.6

圖1 節錄自美國農業與生物工程師學會噴嘴顏色與噴霧大小 (μm) 分類表 (Dv0.1, Dv0.5 及 Dv0.9 分別代表霧滴粒徑分布: 10%、50% 及 90% 小於表列粒徑大小)

表1 地面噴桿式噴霧標示

風速	噴嘴高度	霧滴大小 (ASAE 572)	緩衝區
低於 X mph *	高於 A 英尺	中等或較粗者	D 英尺
	A 至 B 英尺	粗或較粗者	E 英尺
	B 至 C 英尺	非常粗或較粗者	F 英尺
X 到 Y mph	高於 A 英尺	粗或較粗者	G 英尺
	A 至 B 英尺	非常粗或較粗者	H 英尺
	B 至 C 英尺	極粗或較粗者	I 英尺

資料來源: 美國環保署。

* mph: 風速單位, 每英里小時。

三. 優先評估棘手飄散問題農藥, 提供多種飄散沉降資料庫供查閱

澳洲政府農藥管理單位—澳洲農藥及動物用藥管理局 (Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority, APVMA), 對於農藥飄散問題, 著重於確保這些非目標飄散不會對人類健康、環境或澳洲國際貿易上影響, 並列出優先農藥飄散標示審查清單, 將對人類健康有顧慮者、對環境有顧慮者及殘留量與貿易上顧慮者先行審視其全面飄散的風險及標示指引, 包括嘉磷塞、氟氯比、快克草等除草劑, 陶斯松、芬殺松、硫敵克等殺蟲劑, 並公布「農藥飄散風險操作原則」說明飄散風險評估及管理之方法, 包含以電腦評估模式軟體 AGDISP 及 AgDRIFT 進行飄散評估與資料收集, 亦會針對特定應用的產品, 以田間實驗測試進行, 或是使用 APVMA 提供之標準噴霧飄散風險評估方案資料庫進行評估, 包含有三種主要應用的模式: 地面應用、空中農業及空中林業, 每個標準方案皆列有於不同施用情況下, 噴霧飄散沉降的距離等資料, 可供農藥施用者注意與使用, 以降低施用農藥時的飄散問題。此外, 為使農

表2 針對保護水生環境之勿噴施區設置

空中施藥應用		
風速	下風處強制勿噴施區設置	
	固定翼飛機	直升機
3~8 公里/小時	XXX 公尺	MMM 公尺
8~14 公里/小時	YYY 公尺	PPP 公尺
14~20 公里/小時	ZZZ 公尺	QQQ 公尺
地面施藥應用		
3~8 公里/小時	WWW 公尺	

資料來源：澳洲農藥及動物用藥管理局。

藥使用者更有效管理農藥飄散問題，將降低農藥飄散資訊納入農藥標示中，包括於標示上須備註重點為：

(一)具功效之最大可使用粒徑範圍，以限制最小噴霧大小：需依據 ASAE S-572 霧滴大小分類標準，註明為不得低於非常細、細、中等、粗、非常粗及極粗其中之一粒徑大小。

(二)飄散警示說明及勿噴施區設置範圍說明，包括在保護人體安全、水生環境、陸生環境及國際貿易等不同面向，於不同風速條件下，下風處勿噴施區的設置說明，若無空中施藥，亦可直接以文字說明地面施藥時所需設置之勿噴施區範圍(表2)。

四. 調控噴施壓力限制霧滴大小，以防護網及遮蔽植物降低農藥飄散污染

日本農業型態與我國較為相近，皆為小農體系，因此相近鄰田易有農藥飄散問題。由於噴藥時，提高噴施壓力可使噴霧量增加，粒徑變小變細，有利於施藥附著度及均勻度，但飄散風險亦因此增加，依研究數據指出，田間使用之動力噴霧機的噴灑壓力多為 3 MPa (約 30 kgf/cm²) 以上，通常噴頭尖端壓力最大以 1.5 MPa (約 15 kgf/cm²) 最為適當。另外，由於活動區域侷限，日本亦針對高敏感區，如學校、保育所、醫院、公園、街路樹與住宅接近的森林，人們活動頻繁的土地或設施，在噴施農藥前需以看板告知噴藥細節與警示，如：農藥殺蟲劑的類型和使用目的、噴藥日期和時間，並且噴施人員需通過專業訓練，噴施時應多加利用降低飄散噴頭，以及增加遮蔽物的利用，以降低農藥對附近人、畜及環境之影響。此外，防護網的孔隙以 1 mm 的 PE 布遮蔽效率最高，若以遮蔽植物來阻擋飄散時，需考慮植物生長高度

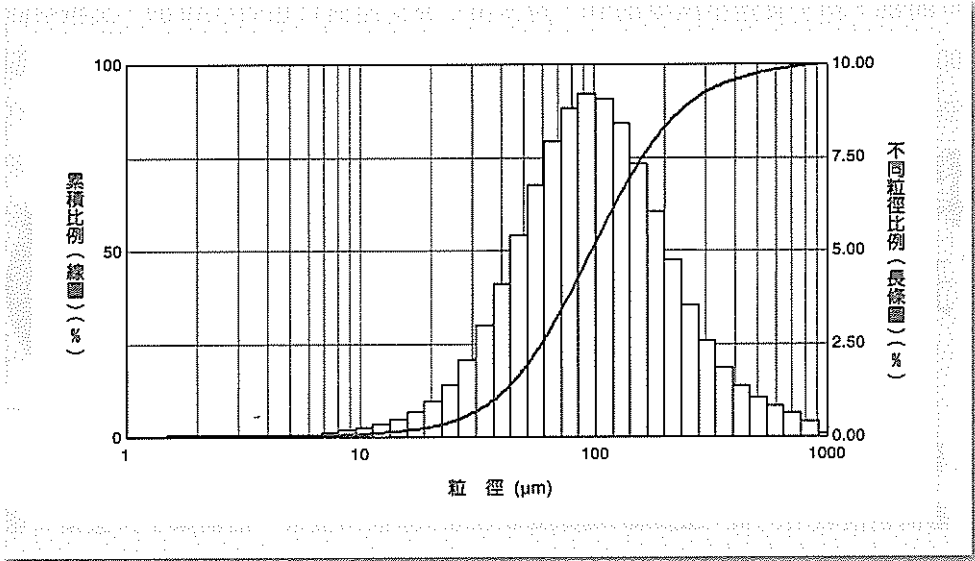


圖2 利用粒徑分析儀量測不同噴頭噴出之霧滴粒徑大小 (μm) 分布，可用以評估可能飄散的距離

必須超過 150 cm 才能達到效果，種植密度必須注意，2 行條間需間隔 30~60 cm，足夠量及密度才能達到良好遮蔽阻擋效果。

五. 未來展望

我國與日本同屬小型農業，因此多種防護措施及裝備，可多加借鏡於日本，目前由於食品安全意識提升，農藥殘留問題持續被重視，因此鄰田造成的飄散，影響有機、無毒等安全農業甚鉅。針對飄散議題，目前農業藥物毒物試驗所已建立田間農藥飄散評估之方法與技術，以水試紙或是螢光染劑與濾紙進行飄散與附著度評估測試，利用人工設置不同距離載點，收集於不同噴施條件下，實際飄散之距離與含量，並引進農藥飄散評估軟體—DRIFTSIM，可推估不同條件參數下，農藥飄散的距離及比例，並與實際田間實驗比較，評估妥適性及適用性，但由於起步較晚，因此亟需快速累積本地農藥飄散的數據及經驗，並希望藉此建立農藥噴頭分級制度，收集田間慣用及國際間標準 (ASAE) 噴嘴，進行霧滴粒徑大小 (圖2) 及農藥噴灑方式與飄散距離的分析，用以推薦不同作物類型適用的標準噴嘴，降低農藥飄散的噴藥器械與方法 (如噴嘴型式、噴施壓力及高度)。另亦可引進小農國家的農藥飄散防護資材及設備，建立臺灣適用的防護資材、設備及敏感區域緩衝區設置，有效降低農藥飄散造成之非目標作物、人畜及環境之污染，維護農產品之品質安全，以及環境之永續利用。☘