霧粒與葉表交互作用（包括介面活化劑之效用）之研究

原作者：R. D. Fox, J. A. Cooper, and R. D. Brazee

譯稿人：興大農機系謝禮丞副教授

摘要(ABSTRACT)

此篇論文回顧農用霧粒在葉表和人工表面器具開發與測量技術之近期發展情形。大部份的情況，由葉表彈落至地面之霧粒對殺蟲毫無幫助。有兩種均勻霧粒產生器利用高速攝影與錄影之技術來觀察霧粒、葉表之交互作用。由葉表霧粒反彈之研究中的之霧粒在同一作物之反彈隨葉片而異。某些葉片反彈之變化隨葉子之年紀或植物生長之環境（溫室或室外）而不同。有些葉表霧粒反彈現象變化隨葉片位置不同而異，也就是說，霧粒可能大部份由葉尖反彈，與葉中央之反彈比較之下。因此隨機葉片取樣技術和重複取樣就十分重要。震動噴頭方法用來測量動態表面張力（dynamic surface tension, DST）應用在嫩葉期被提出討論且部份使用典型介面活化劑 (surfactant) 之測試結果也發表在此篇論文中。本篇論文中使用之系統為已知測試這些流體特性系統中最好的。作者找到動態表面張力與霧粒反彈有關。所以小心量測噴霧混合劑中的動態表面張力將提供觀察霧粒從葉表反彈產生損失的相似性。依據活化劑分子的薄膜擴散到液氣相交界建立動態表面張力模型。測量的不同葉表年齡範圍之動態表面張力值被用來計算數種介面活化劑的模型常數。

前言(INTRODUCTION)

葉的噴洒應用是一複雜的過程，包括噴洒之霧化、輸送到植物、在葉表的碰撞、留存和組成的成分，植物的吸收等。這些過程都會影響噴洒的效率。葉表的霧粒存留只是噴藥過程之其中一階段，但是它是十分關鍵因為只有存留的霧粒對保護植物有效用而反彈的霧粒可能導致經濟效益之損失及環境污染。

霧粒由葉表留存或反彈是噴藥內容(表面張力和黏度)，噴洒式樣(霧粒大小及速度)及表面形態(軟毛程度、葉脈、微細組織)與目標表面之表層功能群之化學性質之函數。

吾們計劃提供了解噴洒添加物、輸送系統及作物表面再噴洒效力所扮演的角色能由改進霧粒／葉片互動之測量來完成。Reichard 等人(1986)與Reichard(1988)用高速動態攝影與一個分析投影機來觀察與分析由噴霧塊發生的同尺寸的系統與兩個不同霧粒發生器合用以觀察霧粒之碰撞。

霧粒自葉表反彈及霧粒之霧化均佔十分短的反應時間。由吾們尚未發表的實驗室數據中顯示水自液壓噴嘴釋出而形成霧粒的時間小於 3 毫秒(ms)。研究中顯示噴洒的霧粒從葉表反彈通常與葉片接觸的時間少於 1ms。噴液影響這些過程的一個主要的物理特性為表面張力(surface tension)。吾們的研究顯示均衡的表面張力不是噴洒霧粒有潛力從葉表反彈的一項好的指標(Reichard 等人，1997)。

某些介面活化劑之濃度高於 critical micelle 濃度(CMC)即會從葉表反彈，然而高濃度的介面活化劑可完全壓抑反彈。因此，吾們開發一種方法來測量在嫩葉期(young surface age)之動態表面張力(DST) (Reichard 等人，1997)。

這些研究完全著重於觀察與量化霧粒碰撞液面及量測影響此一交互作用之因子。此篇論文將強調這些研究之部分結果或其他衍生自這一系列的研究的論文。

這些研究的目的為開發技術來檢驗及量化霧粒由葉表及人造平面之測量可能影響霧粒交互作用的噴藥輔助物的特性。

用來研究此霧粒/葉片交互影響的許多技術利用均一尺寸霧粒發生器來幫忙檢測碰撞過程的特殊原因。藉由一特別的霧粒發生器附有影像擷取與分析獲得許多型式的有用結果。

試驗器材（EXPERIMENTAL EQUIPMENT）

噴灑應用(Spray application)

指示滴落發生器（Drop-on-demand generator）

此一器具（DOD）可生成單滴、一個尺寸的霧粒，直接為 100 到 800 微米（μm）。靠近噴口所有霧粒之速度均可忽略不計，所以為了得到進給速度之範圍，需調整噴口至目標物之垂直距離。此系統之優點為：有能力將產生之單滴精確地放在目標物表面之各個部位，在一般噴藥應用之尺寸範圍內。此系統同時也可以用來依進給與反彈霧粒之軌跡（用以計算速度）求取反彈高度。此系統之缺點則為無法產生高速霧粒。它只能用來描述霧粒飛行之終端速度或更慢，例如，在離噴灑器具一段距離或經過初霧粒之撞擊之後。

柏格拉得—劉發生器(Berglund-Liu generator)

改良—柏格拉得—劉 (BL) 震動單分解霧質(vibrating mono-disperse aerosol)發生器以得到範圍在 50-1500μm 單一尺寸霧粒之噴霧。再噴孔下方約 1 公分的位置裝一銅環，此點即為首次將液柱打散成霧粒。此環以直流電感應霧粒充電之足以分解液柱為止，在碰撞區提供約覆蓋 1cm^{2}之錐狀噴霧。BL 優於 DOD 發生器之一為其產生之霧塊(spray cloud) 與單滴(single droplet)比較之下較為接近模擬液壓噴嘴之使用。由 BL 發生器產生的霧粒速度低於田間使用的速度。

例如，以一個 BL 發生器產生之 250μm 霧粒一般只有 7.0m/s 之速度，而一般典型液壓噴嘴在壓力為 276kPa 時直接在噴口下量得之速度為 20m/s。另一優點為 BL 發生器有能力依反彈高度決定由一給定表面反彈之進給霧粒之比例。

運動分析系統(Motion analysis system)

高速照相(High-speed photography)

一個 16mm，Hycam，高速照相機被用來攝取霧粒之撞擊情形，此相機為一旋轉稜鏡(rotating-prism)型式，可以拍攝 20 到 11000 張/秒。這個相機配備了一個同步器能調整在要求一定數量底片捲過後才開始一個事件。相機中之氖燈泡(neon lamps)係用來標示 1000 記號/秒在底片之上。此相機設計為通用〝C〞鏡頭。當鏡頭蓋至拍攝距離為 20 公分時，在底片上之影像大小約為 0.7 倍之原件大小。以此安排，拍攝範圍自 11mm 高和 15mm 寬，景深為 3mm。底片為柯達伊士曼 Ektachrome 第 7250 號 ASA 為 400，色溫為 3200K。彩色底片較黑白快且提供較佳的拍攝完成底片之視覺分析。

捲片率(framing rate)選用 6000 張/秒因為可以觀測單獨霧粒之路徑，燈光則使用標準幻燈機之鹵素燈泡。

攝錄運動影像分析系統(Video Motion Analysis System)

此系統(V MAS)用一個黑白攝錄機，配備有一個 newvicon，及一高解析度之影像卡由一表單驅動(menu driven)的動作分析軟體來控制。這個系統提供基本之攝錄功能附較廣之影像檢視、處理與測量功能之選擇。

可疑動支尺規能在螢幕上畫出來，用來量取影像特點，如霧粒之直徑，從表面彈跳之高度及相同霧粒成功影像間之距離。

霧粒照明(Droplet Illumination)

為了幫從 BL 發生器噴出之霧粒照明，兩個頻閃觀測器(stroboscopes)放在 0.05m 後，同時各邊目標葉片與相機長軸約成 45° 角。這頻閃觀測器所使用的閃光頻率比相機的內定頻率(field rate)稍高，因此同一霧粒的數個影像均能在每張底片出現。彈跳軌跡則定義為每一霧粒連續影像之軌跡(見圖 1)。

振動噴射方法(Oscillating jet method)

這個振動噴射(OJ)系統用來測量 DST 之細節由 Reichard 等人(1997)發表。以皮下注射針頭形成橢圓孔發出之藥液為一標準的波形，即為當它從孔口浮現時之物理特質。對頻閃觀測器傾斜 45° 角之一面鏡子用來同時觀測 OJ 波形之前與側視圖。此影像系統在交錯模組(interlaced mode)下提供每張 1976×1234 像素(pixels)之解析度，相對於分別在垂直與水平刻度的 2803 和 2393 像素/公

分。

利用兩個方法在一給定之葉表年齡的表面張力，從波形上做出七個量測值(見圖 2)。在此處的例子，表面張力係由圖 2 中左邊波形之四個量測值決定並用修正的波爾公式(Bohr equation)計算求得(Thomas 和 Potter,1975)。

解在增加葉表年齡的表面張力是決定於波形尺寸從孔口增加距離直到因毛細管不安定性使噴液破裂，或是直到振動減少到振幅小到無法測試為止。為了計算測量表面張力處之表面年齡，從孔口到 $Rmin_m$(用來計算表面張力之兩個成功最大值間之最小值)之垂直距離被噴嘴軸向速度除而得。

DST 模型(DST model)

DST 模型是由 Brazee 等人(1994)利用薄膜擴散(thin-film diffusion)理論發展出來。此模型，DST，σ(t)，在表面年齡 t 是

$$\sigma(t) = \sigma_m + m_0 C_0 \left[1 - \frac{2}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n e^{-\pi^2 D (n+\frac{1}{2})^2 \frac{1}{a^2}}}{n+\frac{1}{2}} \right]$$

其中 m_o 為一常數相依於溶液平衡 ST，介面活化劑之濃度 C_o，與水的表面張力 σ_m；D 是介面活化劑之擴散度；a 則是明顯的界面薄膜厚度。模型的開發目前與 DST 研究一起利用最大氣泡壓力和振動噴射方法。

結果與討論(RESULTS AND DISCUSSION)

霧粒碰撞與反彈(Droplet impact and reflection)

霧粒碰撞與反彈是否從葉表反彈最重要的因子即為葉面本身。葉子有良好的蠟層者，如甘藍葉，通常可提供霧粒彈跳之理想表面。作者們曾嘗試製作人造表面來進行霧粒反彈試驗，但都沒成功。21 種植物用來做水滴反彈試驗。約 1/3 無反彈，1/3 有一些反彈及 1/3 幾乎反有碰撞到葉面之水滴均反彈。一些主要農作物，如小麥和稻穀，有高度反彈之現象。

在同一種植物品種，其他次要因素也能影響霧粒之反彈，作者們發現較小的作物(4 個葉齡階段)在溫室中的理想狀態生長，於冬季間無法產生典型的蠟層，因此將無法反彈霧粒；同樣類似的作物生長在戶外或長到較大的時期即有反彈霧粒的現象。

圖 3 顯示相同種的作物在不同葉齡之反彈高度，10 顆單獨水滴(230□m，0.6m/s)碰撞同一作物之二片不同葉齡之葉片或同一葉片之二個不同部位。當比較新、老葉之反彈時，大豆葉之新葉反彈較老葉少，而甘藍葉則呈相反結果。

類似此一狀態，狐尾草之葉中反彈為葉尖之二倍，而小麥葉之葉尖反彈量卻較葉中為多。反彈亦隨試驗品種變化而異。例如甘藍葉之試品間之變異小，相形下大豆之變異則大。這些數據顯示作物取樣之隨機性與足夠的重覆樣本是必需的。

反彈效果可由添加足夠的介面活化劑至藥液中來降低或消除。然而表面張力小的霧粒會在葉面上滾動甚至由葉緣滾落。似乎藥液之其他物理特性也會影響反彈。長鏈聚合物用來減少飄移也同時減少霧粒之反彈。介面活化劑 Kinetic 之濃度和彈跳高度有良好的關係(見圖 4)。在濃度測試中彈跳高度並沒有完全消除但是高濃度可明顯地降低彈跳高度。當霧粒停留在葉片少於 1ms 時，碰撞為一動態過程。霧粒在極短時間內新表面形成時忍受廣泛之變形，於此時除非有介面活化劑分子呈現否則在霧粒形成時可能會擴散，表面張力將不會減少，同時介面活化劑將無法減少彈性。當介面活化劑之濃度增加，更多的介面活化劑分子在碰撞過程中到達新形成的表面。於是，表面張力降低，反彈就減低了。

振動噴射系統之測試是靠量測水和酒精(ethyl alcohol)，二種牛頓(Newtonian)液體之表面張力而成。牛頓液之表面張力在物質互享時應不會改變，如在霧粒於葉面上形成或碰撞時，也就是說平衡和動能表面張力應相等。酒精一水濃度範圍之平衡和動態表面張力之結果整理於圖 5 中。

將 DST 模式應用到 2 個介面活化劑(Igepal CO 720 和 Surfynol 465)之二種濃度之數據，可得的結果繪於圖 6 中，其中葉齡範圍為 0.5 到 8 ms。介面活化劑組成成分明顯地影響表面期(surface age)。介面活化劑在一家族及家族間之差異十分大，以下兩例說明之。大部分的介面活化劑由之 DST 值迅速降低短表面期(< 2 ms)接近水的值到長表面期(>70 ms)之平衡 ST 值。極少的介面活化劑甚至在短表面期有低的 ST 值。在濃度為 0.25%，Surfynol 之 DST 值較 Igepal 低許多；在濃度 0.05%時，Surfynol 的 DST 較 Igepal 的 DST 隨漸增的表面期降得更多。一般而言，增加介面活化劑濃度增進介面活化劑降低 DST 之能力，即使是在短表面期。

噴灑存留(Spray retention)

存留試驗作物對象存生長中的玉米、大豆、Johnson grass，綠狐尾草、和天鵝絨草，二種濃度的二個補助物，以水作控制，噴酒 100 L/ha。Imazehtapyr 除草劑之保存用來做軌道追蹤，利用二種濃度作為圖 7 中 DST 在 20 ms 之函數。數據代表 imazethapyr 之百分比之存留度隨葉表不同而不同，在除了天鵝絨草以外的情況下均成立；存留隨動態表面張力之減少而增加。

討論(Discussion)

吾們累積了數個有用的器具應用在霧粒碰撞/反彈在葉表之研究上。這些

研究提供有關霧粒如何反彈、霧粒反彈的重要因子及何減低霧粒之反彈的資訊。吾們同時也開發了新技術測量在短表面期之動態表面張力，此 DST 用在預測噴液之霧粒之彈跳較靜態表面張力為佳。吾們也以數種作物品種提供 DST 和噴液存留的正向關係。因為介面活化劑的活性在短表面期之霧化過程很重要，所以 DST 可能是形成霧粒大小之重要物理特性。