

電動三輪自走式噴霧機霧粒覆蓋特性之評估¹

陳令錫²

摘 要

本試驗旨在檢定本場自行研發之電動三輪自走式噴霧機之效能。經測試結果顯示本電動三輪自走式噴霧機可進入溫室高效率噴霧，利用其左右2支垂直噴桿各可噴出2維面狀移動噴霧空間；在設施番茄園內之噴霧速度約2 km/hr，每分地噴霧量約206 L，作業能率約0.29 ha/hr，試驗後立即充電，至電瓶充飽約需6~8 hr，充電消耗電力約1.031 kwh。機器視覺影像分析技術判讀水試紙樣品之結果，葉表面之霧粒覆蓋百分比平均89%以上，葉背的霧粒覆蓋百分比平均約30~65%；葉面之標準差小於17%，葉背之標準差29~35%，顯示霧粒覆蓋百分比葉表面高於葉背，且霧粒覆蓋度變動程度葉面小於葉背。比較電動三輪自走式噴霧機與人工牽管2種方式之葉背霧粒覆蓋百分比，電動三輪自走式噴霧機約65%較人工牽管的30%為佳。

關鍵詞：三輪、自走、噴霧機、霧粒覆蓋、機器視覺。

前 言

農耕整地後進行播種或移植，其後之農耕管理作業包括澆水灌溉、施肥、噴藥、修剪、枝條固定、整枝和除側芽與收穫等，在整個作物生長過程中，上述各種作業可能單次或2次以上，頻繁的操作須要研發省工機械來減少人力負荷⁽⁷⁾，以提升工作效率，減輕人力負擔，其中的澆水灌溉與施用肥料已發展出微噴灌或滴灌的肥灌技術(fertigation)，將液體化學肥料溶液混入灌溉水中，灌溉過程將肥料養分運送到作物根部^(14,15)。當前氣候變遷與極端化^(5,6)，集約式設施園藝栽培被廣泛採行，設施栽培具有隔離害蟲的特性，但是生產環境與露地栽培不同，仍有病蟲為害問題，須執行防治作業以確保產量與品質，臺灣地處太平洋西岸的亞熱帶海島型氣候，高濕高溫的氣候環境容易滋生病蟲害，因此，安全用藥與提升噴霧作業效率以生產安全農產品是重要的農耕主題。病蟲害防治大略分成物理防治、生物防治與化學防治等方式，其中以化學防治的噴霧方式較為農民廣泛採用，但是化學藥劑普遍具有毒性，如何減少或避免農藥霧粒碰觸人體的方法與技術的開發是增進農民福祉的重要課題^(8,12,17)。

位等⁽¹⁾與陳等^(8,9,10,11,12,13)研究設施栽培噴霧作業包括設施懸吊自走式噴霧架與電動自走鼓風噴霧，提升設施栽培噴霧作業效率和初具節能減碳成效；林等⁽²⁾研製履帶式噴藥機械；大專院校與研究單位投入農用自動行走導引與GPS自動噴藥機^(4,11,20,22,26)，輪式自走車控制系

¹行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第0800號。

²行政院農業委員會臺中區農業改良場助理研究員。

統及設施內省工安全自動噴霧系統之開發研究^(1,7,8,9,10,11,12)，惟尚未達實用程度。然而，在農業工程人員的努力下開發高效率的施藥機械已有優異的成果，梁等^(18,19)、邱等⁽³⁾與盧⁽²¹⁾研究大型施藥機械，輪距約125~188 cm不等，適合糧食作物大面積生產的噴藥防治作業，但是輪距過寬不能進入設施內使用。

目前國內農用噴霧機具以人力牽管方式為主，人力牽管噴霧方式由藥桶、幫浦、噴霧軟管、噴桿與噴頭等組成，人工手持噴桿與拉動噴管噴霧，為目前成本最低、方便使用，因此於各種農作物噴霧作業上獲廣泛採用，但是具有辛苦、效率低及霧粒容易與人接觸等缺點^(10,12)。中大型噴霧車不能進入溫室內作業，需要研製小型噴霧機^(12,13)，小型噴霧機以背負式為主，其重量、機械運轉之振動及噪音隱藏威脅作業者健康的職業傷害問題，影響勞動效率⁽⁷⁾。農耕工作很辛苦，臺灣已經步入高齡化社會，農村人力老化、短缺的問題需要發展適於本土應用之省工農耕管理機具來解決，電動三輪自走式噴霧機是高效率的噴霧機具⁽¹⁶⁾。

各種噴霧機具將液體霧化噴塗在作物表面，噴霧霧粒覆蓋程度的量化問題長期困擾農業工程人員，其中以水試紙評估霧粒大小及覆蓋品質最簡便^(8,13)，利用水試紙收集霧粒樣品，經影像處理的後處理量化，為國內研究人員及化學藥劑施用人員所採用，水試紙正表面有一塗佈層，霧粒噴到此塗佈層時，塗佈層顏色改變，從黃色變成藍色，是評量噴霧覆蓋程度與好壞的快速方法^(23,24,25)。水試紙樣品的量化以利用影像分析技術讀取水試紙影像檔案，其成像設備可為攝影機、照相機與掃描器等三種^(13,23)，運用機器視覺影像分析技術判讀水試紙霧粒覆蓋程度，量化數據可建立研究者足夠的自信心，收集的霧粒大小水試紙樣品獲得可比較的結果。本研究開發可以在設施內的行間走道靈活自走噴霧及轉彎換行的電動三輪自走式噴霧機，利用電動三輪自走式噴霧機於番茄成熟株之田間實測噴霧，收集的水試紙樣品，經由掃描器擷取影像後，透過電腦機器視覺辨識軟體分析處理，獲得水試紙霧粒分布面積比例的量化霧粒覆蓋效果。

材料與方法

1. 電動三輪自走式底盤：三輪自走式底盤為前單輪後雙輪，前輪轉向，後輪驅動行走，行走動力為直流DC24V馬達，以電瓶供應電力，機體尺寸長寬高為150×75×220 cm。
2. 噴霧系統：藥桶容量150 L，噴霧加壓動力為2.4 HP汽油引擎直接驅動雙柱塞幫浦，吸取藥桶內藥液加壓後經橡膠軟管輸送到噴桿，2支垂直噴桿各有5粒噴頭向外。
3. 電動三輪自走式噴霧機於彰化縣溪湖鎮番茄成熟株田間實測噴霧霧粒分佈，試驗設計上中下3種高度之葉片上下表面各3重覆，比較人工牽管噴霧與電動三輪自走式噴霧機噴霧之差異。田間噴霧試驗的水試紙，於噴霧試驗後黏貼於預先準備的A4紙張，該紙張上分別劃設上層、中層及下層共三重覆，並區分為葉面及葉背等，共有18個水試紙位置，如圖二所示，方便田間試驗時水試紙黏貼於正確位置及後續影像判別作業之應用。
4. 霧粒覆蓋機器視覺辨識系統：使用桌上型core 2 Quad PC，安裝Windows XP、Visual Basic 6.0、Matrox Imaging Library 5.2、Matrox Inspector 2.2等軟體與Epson V330掃描器組成。收

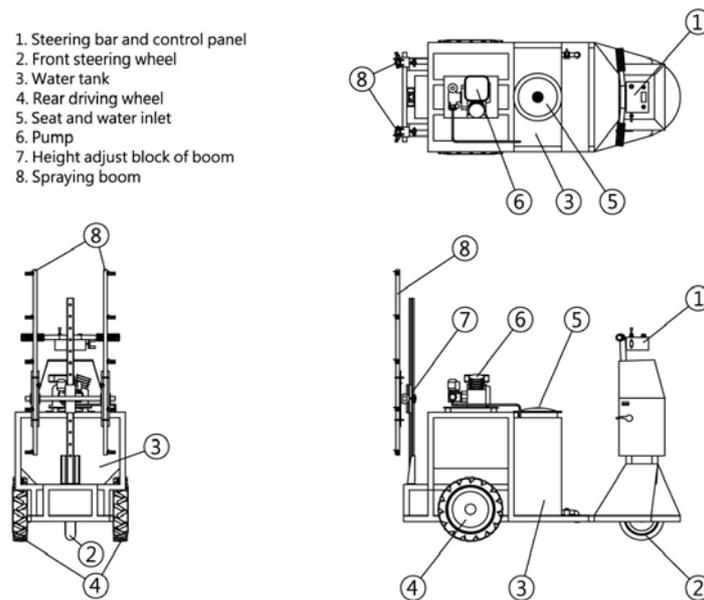
集的水試紙樣品，經Epson V330 掃描器數位化成Tif影像檔，運用Matrox Inspector 2.2讀取水試紙影像檔，採用Line profile功能獲得霧粒變色範圍RGB圖層的灰階變化，據以選擇適當的圖層與灰階值，進一步在機器視覺辨識系統中當作設定值。Visual Basic 6.0結合Matrox Imaging Library 5.2開發水試紙機器視覺辨識系統，詳細流程如陳等⁽¹³⁾所述，擷取水試紙影像，輸出水試紙之霧粒覆蓋區域之變色面積百分比，獲得噴霧覆蓋的量化資料。

結果與討論

電動三輪自走式噴霧機為集合前人在噴霧機械累積的經驗與智慧，研發可以在設施內寬度約 1.3 ± 0.2 m的行間走道自走噴霧及轉彎換行的省工高效率噴霧機，具有機動性高、載重量大、操作維護簡易、噴霧效率高等特性。電動三輪自走式噴霧機之機體結構如圖一所示，由前單轉向輪、後雙驅動輪與鋼架焊接構成底盤，底盤上承載藥桶、幫浦、噴桿、電瓶與操控面板等，可進入溫室走道噴霧，噴霧架各有2支垂直噴桿，噴桿的高度上下可調整、2支垂直噴桿的左右距離亦可調整，噴桿位置依據作物生長階段而適度調整。2支垂直噴桿可雙側同時噴霧，也可單側關閉只噴單邊。

一、電動三輪自走式噴霧機之構造

電動三輪自走式噴霧機之機體結構如圖一所示，由轉向把手、前轉向輪、操作面板、三輪底盤、後驅動輪、藥桶、幫浦、噴架與噴桿、噴架高低調整座等所組成。本機具操作簡單保養容易，電動乘坐人力駕駛的噴霧機具，調泡好的藥液或肥料灌入藥桶中，啟動噴霧機、打開噴霧閥門、推動行走開關前進，就可以深入作物行間噴霧。



圖一、電動三輪自走式噴霧機之機體結構。

Fig. 1. Structure of the tri-wheel electric sprayer.

電動三輪自走式噴霧機之行走動力為馬達驅動，電源由2只DC12V電瓶串接成DC24V，電瓶充飽電力後，藥桶加滿水並啟動噴霧，噴架上左右各5粒扇型噴頭全開，自走車以2 km/hr的速度行走噴霧，試驗至電量顯示剩餘2格停止試驗，此時電瓶電壓為24.2 V，試驗結果可作業180 min，可噴霧12桶每桶150 L累計1,800 L的水。因此，自走車噴霧速度2 km/hr時，行距1.45 m的番茄園，累計噴霧距離6,033 m，累計噴霧面積0.87 ha，每分地噴霧量約206 L，每桶噴完約需10~18 min，加水時間約8 min，作業能率0.29 ha/hr。試驗後以MF 24V/25A型充電機立即充電，電瓶充飽約需6~8 hr，充電消耗電力約1.031 kwh。

二、噴霧系統

藥桶容量150 L桶內焊接隔板穩定水流，噴霧加壓動力為2.4 HP汽油引擎直接驅動雙柱塞幫浦，吸取藥桶內藥液加壓後經橡膠軟管與球閥分流到2支垂直噴桿，垂直噴桿各有5粒噴頭同時向外噴霧形成立體移動霧簾，範圍涵蓋整株作物，經由車體行走噴塗到作物葉片表面，完成噴霧作業。噴桿之上下左右位置，可因應作物發育程度調整。

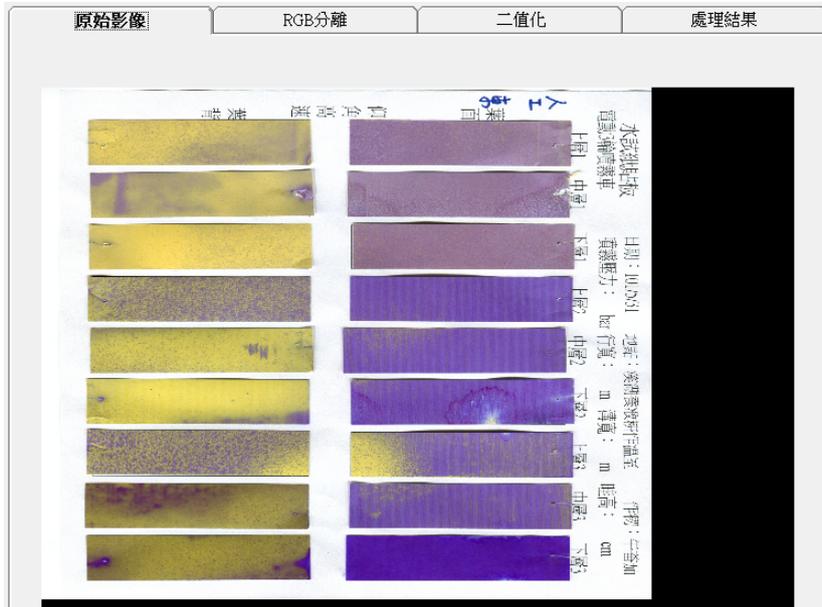
三、霧粒覆蓋機器視覺辨識系統

收集的水試紙樣品，經Epson V330 掃描器數位化成Tif影像檔，檔案為400 dpi，解析度高系統軟硬體計算負荷大，運用Matrox Inspector 2.2讀取水試紙樣品影像檔，解析度調降為200 dpi以利後續處理。採用Inspector 的Line profile功能，選取水試紙上一粒小霧粒，畫出垂直線段越過該霧粒，觀察該線段範圍之RGB灰階變化，獲得霧粒變色範圍RG的灰階下降，B的灰階上升，因此，據以選擇R紅色圖層，作為在霧粒覆蓋機器視覺辨識系統中當作霧粒辨識圖層。

1. 水試紙與背景分離：霧粒覆蓋機器視覺辨識系統運用G圖層，灰階門檻值設定200，每個水試紙樣品影像檔分離出18張水試紙，並取得每張水試紙之中心點座標。
2. 計算霧粒比率：水試紙之原始尺寸為600*200 pixel，取中間401*171 pixel區域計算霧粒比率，運用水試紙之中心點座標，X軸取±200 pixel，Y軸取±85 pixel，作為辨識霧粒數量範圍，門檻值設定為155，像素點之灰階值小於門檻值視為霧粒，反之為白色背景。
3. 霧粒覆蓋機器視覺辨識系統之辨識結果：霧粒覆蓋機器視覺辨識系統讀取水試紙影像檔，其中人工牽管噴東側之水試紙原始影像如圖二，運用RGB圖層分離後，選R圖層二值化之影像如圖三。

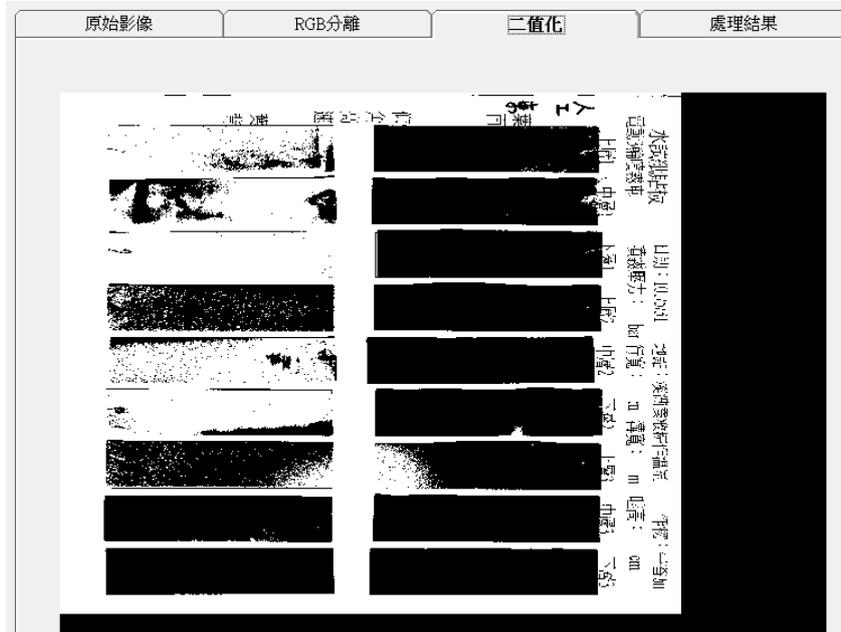
運用霧粒覆蓋機器視覺辨識系統，灰階門檻值設定為155，處理4張試驗的水試紙影像檔，其中第3張電動三輪自走式噴霧機噴東側之水試紙原始影像如圖四，辨識系統處理結果之二值化影像及霧粒覆蓋百分比如圖五。整理4張試驗的水試紙影像檔機器視覺辨識處理結果，8種試驗處理為(1)人工牽管噴東側葉面(M-E-U)、(2)人工牽管噴西側葉面(M-W-U)、(3)電動三輪自走式噴霧機噴東側葉面(3w-E-U)、(4)電動三輪自走式噴霧機噴西側葉面(3w-W-U)、(5)人工牽管噴東側葉背(M-E-Abaxial)、(6)人工牽管噴西側葉背(M-W-Abaxial)、(7)電動三輪自走式噴霧機噴東側葉背(3w-E-Abaxial)、(8)電動三輪自走式噴霧機噴西側葉背(3w-W-Abaxial)，各

種處理之水試紙霧粒覆蓋百分比之平均與標準差之結果如圖六，圖中橫座標之處理編號與本段前述之處理編號相對應。



圖二、人工牽管噴東側之水試紙原始影像。

Fig. 2. The original image of water sensitive paper of east-side by manual spray.

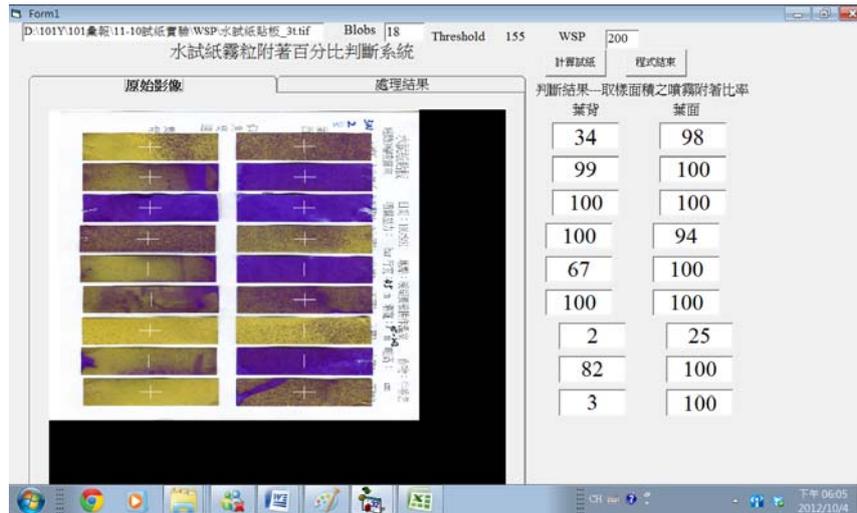


圖三、人工牽管噴東側之水試紙二值化影像。

Fig. 3. The binarization image of water sensitive paper of east-side by manual spray.

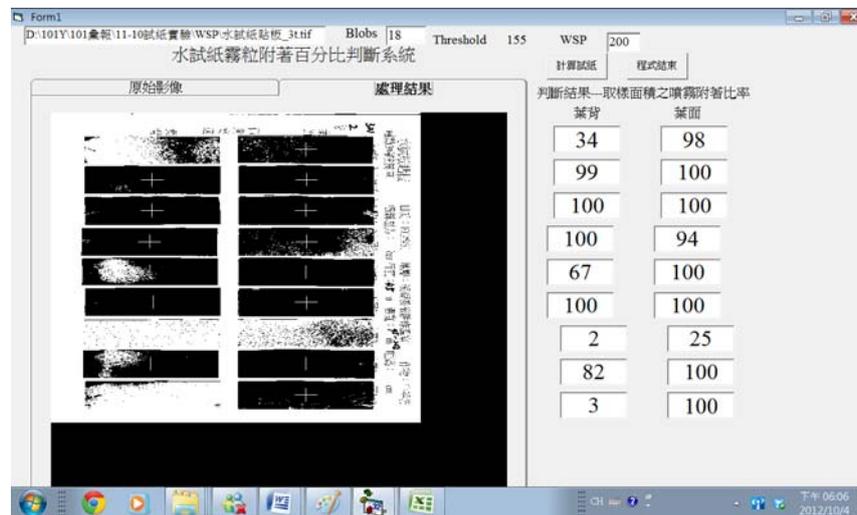
比較葉面與葉背之霧粒覆蓋百分比，葉面之霧粒覆蓋百分比平均89%以上，葉背的霧粒覆蓋百分比平均約30~65%，且葉面之標準差小於17%，葉面各處理間差異小；葉背之標準差29~35%，葉背各處理間差異較大，顯示霧粒覆蓋百分比葉面高於葉背，且霧粒覆蓋度變動程度葉面小於葉背。

比較電動三輪自走式噴霧機與人工牽管2種方式之葉背霧粒覆蓋百分比，編號7與8的電動三輪自走式噴霧機約65%較編號5與6的人工牽管的30%為佳。



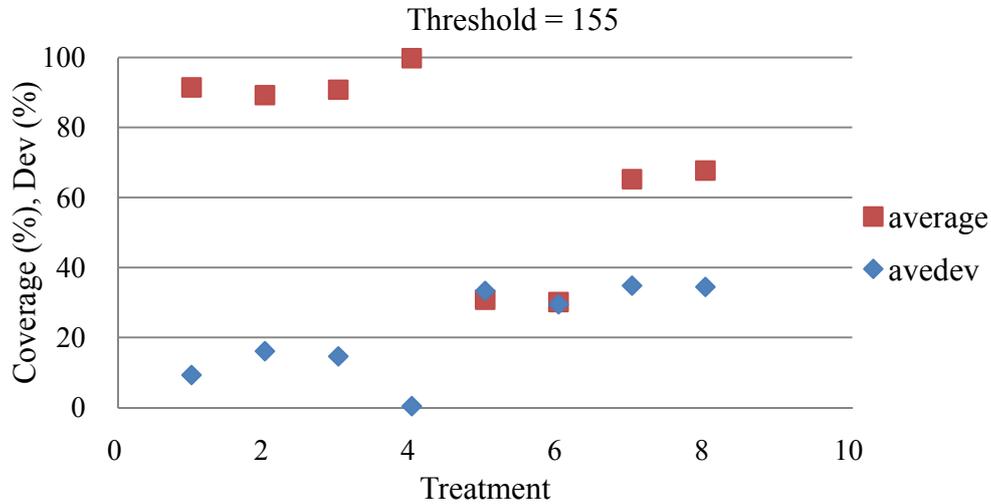
圖四、電動三輪自走式噴霧機噴東側之水試紙原始影像。

Fig. 4. The original image of water sensitive paper of east-side by the tri-wheel electric sprayer.



圖五、電動三輪自走式噴霧機噴東側之水試紙二值化影像與辨識結果。

Fig. 5. The binarization image and processing result of water sensitive paper of east-side by the tri-wheel electric sprayer.



圖六、水試紙霧粒覆蓋百分比之平均值與標準差。

Fig. 6. The average and standard deviation of droplets coverage on water sensitive paper, threshold is 155. (Treatment: 1.M-E-U, 2.M-W-U, 3.3w-E-U, 4.3w-W-U, 5.M-E-Abaxial, 6.M-W-Abaxial, 7.3w-E-Abaxial, 8.3w-W-Abaxial).

電動三輪自走式噴霧機可進入溫室噴霧，為電動乘坐人力駕駛的噴霧機具，具有電動行走與噴霧功能，行走驅動能源為2顆電瓶，提供DC 24V電力，左右2支垂直噴桿各可噴出2維面狀移動噴霧空間，行走速度約0.5~7.2 km/hr，10粒扇形噴頭噴霧量約3.0~6.5 L/min，隨噴霧幫浦之壓力調整旋鈕之設定而異。鑒於國內製造的電動幫浦流量與壓力不符需求，幫浦仍採引擎動力，未來若有適當電動幫浦，可立即更換。

該機具操作簡單，保養容易，調配好的藥液或肥料灌入藥桶，即可深入作物行間執行噴霧作業，利用電動三輪自走式噴霧機執行病蟲害防治與噴葉面肥料，從原先手持噴桿揮灑噴霧需要2個鐘頭的苦差事，變成40分鐘的輕鬆噴霧工作，作業效率較人工快3倍以上，並且藥液用量從200 L降為150 L，田區看不到害蟲，防治效果提升，是國內累積多年開發經驗所研發出適於本土應用之省工農耕管理機具，免除牽管噴霧之辛勞，讓農民成為現代化的田間管理者，現代化農夫懂得利用省工機具改善農耕管理作業是農村進步的象徵。

結 論

農耕人力老化、短缺與辛苦，亟需發展適於本土應用之省工農耕管理機具。電動三輪自走式噴霧機為人力駕駛自走噴霧，免除傳統牽管噴霧之辛苦與勞累，機體輕巧，可行走於設施作物行間執行噴藥、加濕、葉面施肥等管理作業；不必牽管，沒有壓力降低與動力損失問題；藥桶容積適中，減少藥液填充次數；電力行走，經濟實惠，操作簡易，迴轉半徑小；機

動性強，作業效率高。可供設施蔬菜、花卉生產管理機動噴霧之應用。國內製造的電動幫浦流量與壓力不符需求，幫浦仍採引擎動力，未來若有適當電動幫浦，可立即更換。

葉面之霧粒覆蓋百分比平均89%以上，葉背之霧粒覆蓋百分比平均約30~65%；葉面之標準差小於17%，葉背之標準差29~35%，顯示霧粒覆蓋百分比葉面高於葉背，且霧粒覆蓋度變動程度葉面小於葉背。比較電動三輪自走式噴霧機與人工牽管2種方式之葉背霧粒覆蓋百分比，電動三輪自走式噴霧機約65%較人工牽管的30%為佳。

電動三輪自走式噴霧機以2 km/hr的速度行走噴霧，試驗結果電瓶充飽電可作業180 min，可噴霧12桶每桶150 L累計1,800 L的水，行距1.45 m的番茄園，累計噴霧距離6,033 m，累計噴霧面積0.87 ha，每分地噴霧量約206 L，每桶約噴10~18 min，加水時間約8 min，作業能率約0.29 ha/hr。試驗後立即充電，至電瓶充飽約需6~8 hr，充電消耗電力約1.031 kwh。

誌 謝

本試驗承蒙臺中區農業改良場鼎力支持，李安心先生、謝宗諺先生、吳銅鼎先生及賴碧琴小姐等協助組裝、試驗及文稿建檔等，以及彰化縣溪湖鎮楊福來先生提供設施番茄園作噴霧試驗，謹誌謝忱。

參考文獻

1. 位國慶、簡銘宏、黃東瑞、潘清樂、陳文輝 1996 固定式噴藥設施裝設及其噴施效果 臺灣糖業研究所研究彙報 154: 31~48。
2. 林國照、何榮祥 1989 履帶式噴藥機械之研製 臺中區農業改良場研究彙報 22: 3~11。
3. 邱銀珍、葉仲基 1999 油壓桿式噴藥機之研製 施藥技術服務 6:36~43 農業機械化中心 臺北市。
4. 莊士良 1998 農用自動車行走導引之研究 國立中興大學農業機械工程學研究所碩士論文。
5. 許晃雄 2008 氣候變遷的衝擊 科學發展 424: 1~5。
6. 陳雲蘭 2008 百年來臺灣氣候的變化 科學發展 424: 6-11。
7. 陳加忠 1997 設施內部栽培作業之省力與舒適化 臺灣花卉園藝月刊 11:17~21。
8. 陳令錫 1997 擺動噴霧架設計與應用 臺中區農業改良場研究彙報 56: 23~33。
9. 陳令錫 1996 設施噴霧技術：管路定置噴嘴及動力自走噴桿之探討 施藥技術服務 3:4~7 農業機械化中心 臺北市。
10. 陳令錫 1996 單一懸吊唇槽鋼軌道自走式噴霧裝置開發—行走及液體輸送性能試驗 臺中農業改良場研究彙報 53: 25~34。
11. 陳令錫、林聖泉 2002 農用履帶車輛自動導引控制之研究 臺中區農業改良場研究彙報 77: 27~41。

12. 陳令錫 2003 簡易移動式動力噴霧架與傳統噴霧作業於設施玫瑰之比較研究 臺中區農業改良場研究彙報 80: 63~70。
13. 陳令錫、朱峻民、林聖泉 2006 小型電動噴霧機具及霧粒附著影像分析之研究 臺中區農業改良場研究彙報 92: 63~74。
14. 陳令錫、戴振洋、田雲生、何榮祥 2009 自動注入式施肥灌溉系統使用於介質槽耕栽培胡瓜之研究 臺中區農業改良場研究彙報 104: 29~37。
15. 陳令錫、田雲生、何榮祥 2010 直列並排文氏管注入器肥灌系統之養液輸出性能研究 臺中區農業改良場研究彙報 107: 13~23。
16. 陳令錫、張金元、田雲生 2012 電動三輪自走式噴霧機之研發 農機與生機學術研討會論文集電子檔 臺南新化。
17. 盛中德 1992 溫室內施藥機械介紹 興農月刊 279: 14~18。
18. 梁連勝、蔡致榮、周廷弘 1995 高架式施藥機械 農業試驗所特刊第52號 53~57。
19. 梁連勝、陸龍虎、顏秀榮 1998 氣輔桿式噴藥機之研製 中華農業研究 47(2): 164~178。
20. 廖盈達、葉仲基、梁連勝 2002 GPS自動噴藥機之開發－田間定點定量施噴作業 p.194~204 農委會農業試驗所特刊第101號 應用於水稻精準農業體系之知識與技術 臺中縣霧峰鄉。
21. 盧子淵 1995 廣域鼓風式施藥技術的研究 農業試驗所特刊第52號 19~25。
22. Cho S. I., J. Y. Lee and Y. S. Park. 1990. Autonomous speed sprayer using DGPS, gyrosensor and GIS. ASAE Annual International Meeting, Toronto Canada.
23. Derksen R. C., C. W. Coffman, C. Jiang and S. W. Gulyas. 1999. Influence of hooded and air-assist vineyard applications on plant and worker protection. Transactions of the ASABE. Vol. 42(1): 31-36.
24. Farooq M. and M. Salyani. 2002. Spray penetration into the citrus tree canopy from two air-carrier sprayers. Transactions of the ASABE. Vol. 45(5): 1287-1293.
25. Piché M., B. Panneton and R. Thériault. 2000. Field evaluation of air-assisted boom spraying on broccoli and potato. Transactions of the ASABE. Vol. 43(4): 793-799.
26. Rintanen K, H. Makela, K. Koskinen, J. Puputti, M. Sampo and M. Ojala. 1996. Development of an autonomous navigation system for an outdoor vehicle. Control Eng. Practice 4: 499-505.

The Evaluation of Droplet Coverage Performance of the Electric Tri-wheel Self-propelled Sprayer¹

Ling-Hsi Chen²

ABSTRACT

The purpose of this experiment is to evaluate the working efficiency of the self-design sprayer with 2 sets of vertical sprinkler in each side and electric tri-wheel self-propelled sprayer's performance. The result indicated that it could be efficiently operated and could perform a moving 2-dimension droplet space in the greenhouse. The moving speed of this sprayer is 2 km/hr, water consumption rate is 206 liter/0.1ha, and working capacity is 0.29 ha/hr. Via using Machine Vision & Image Process technology for the deposition analysis of water droplet coverage, the better droplet coverage onto the leaf upper surface found 89% than which was only 30~65% on leaf abaxial surface. And the standard deviation of droplet coverage analysis, the leaf upper surface treatment was 17% which was less than that 29~35% on the leaf abaxial surface treatment. Moreover, the tri-wheel self-propelled sprayer more efficient with 65% of droplet coverage on the leaf surface abaxial than that only 30% by manual drawing hose spray.

Key words: tri-wheel, self-propelling, sprayer, droplet coverage, Machine Vision.

¹ Contribution No. 0800 from Taichung DARES, COA.

² Assistant Researcher of Taichung DARES, COA.