

小型電動噴霧機具及霧粒附著影像分析之研究¹

陳令錫²、朱峻民³、林聖泉⁴

摘 要

小型噴藥機具之車身尺寸為1,200*410*900 mm，不含藥液之空車重約85 kg，轉彎半徑約1 m，行走速度介於0.5至6.0 km/hr之間，在電瓶充飽電力下之作業時間約為4.5 hr；引擎式幫浦之油箱容量為720 c.c.，約可作業27 min。裝設可調整跨距之直立噴桿，進行設施甜椒園之田間噴霧測試，二支不銹鋼噴管各3粒D5扇形噴頭，其噴霧流量在1.5 MPa (15 kg/cm²)壓力下為4.8 l/min，在2.0 MPa (20 kg/cm²)壓力下為5.4 l/min。試驗田之畦溝寬1.5 m，植株葉面分佈之高度約30至90 cm，試驗結果，於2.0 MPa時有不錯的葉面附著效果。應用影像分析系統判讀水試紙之霧粒附著度，在調整適當門檻值條件下，具有快速準確判讀的特性，改善目視法非量化及人為誤差的缺點。整體而言，機具在慢速行進下，霧粒附著度百分比比較佳，尤其葉背有明顯的改善，而高低速對霧粒附著度百分比之差異約5與20%。

關鍵字：電力載具、霧粒附著度百分比、影像分析、水試紙。

前 言

國內目前有中型噴霧車的商品機販售⁽⁶⁾，而小型噴霧機以背負式為主，重量、振動及噪音會對作業者之健康造成威脅，間接減低勞動效率⁽⁹⁾。目前成本最低、使用方便且廣泛運用於各種農作物噴霧作業的人力牽管噴霧方式具有作業辛苦、效率低及霧粒容易與人接觸等缺點^(2,16)。因此各大學及研究機構均曾進行輪式自走車控制系統及設施內省工安全自動噴霧系統之開發研究^(1,3,7,8,11,12,15,17,19,25)，控制系統依主機之不同分為PC-based及單晶片控制系統，均具有自走控制的功能。

履帶式車輛具有抓地力強，打滑率低的優點，適於開發田間行走的機具，臺中區農業改良場曾利用小型履帶底盤開發噴藥機具及自走車^(4,13,20)，對履帶式噴藥機具具有良好的田間行走噴霧性能及履帶式行走機構的轉向控制特性有初步瞭解，並分析其作業行進性能、噴藥量及附著率等，提昇施藥安全性，期望減少農藥浪費及對作業者、環境之衝擊。然而目前部份設施蔬果生產業者在地面鋪設止草蓆，減輕雜草管理的工作量，因此履帶式車輛不適合在此

¹ 行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第 0652 號。

² 行政院農業委員會臺中區農業改良場助理研究員。

³ 國立中興大學生物產業機電工程學系碩士。

⁴ 國立中興大學生物產業機電工程學系教授。

等場合應用。目前設施栽培低莖作物或穴盤育苗場採用懸吊桿式自動噴藥或噴水系統之應用較為成功^(11,12)，但是此系統不適用於高莖蔬果作物應用，需要開發小型自走機型，方便於地面機動作業。

在石化燃料引擎技術實用前，約1896至1915年間，具備電瓶動力的交通工具曾經廣為製造使用，最高時速約32 km/hr，移動距離接近30 km⁽¹⁸⁾。因為電瓶的能量密度限制載具移動距離和農場重負載工作的潛能，電瓶為動力的曳引機僅可適用於資材承載處理，如播種、施肥、噴藥等輕負荷農耕作業，而不適合執行重負荷耕犁作業。電動車輛具有低操作成本、安全、立即啟動、減少污染及低噪音等優點。科學家預估石化能源存量僅能使用40到60年，隨著石化燃料的枯竭，替代能源的地位更形重要⁽¹⁸⁾，而農業設施生產之電動載具之研究亦趨重要。

噴霧附著等級的量化問題一直困擾著相關研究人員^(5,10,14,22)，目前相關研究有利用水溶性食用染料、螢光追蹤劑及水試紙^(5,10,22,23,24,26,27,28,29)等方法，研究人員及化學藥劑施用人員常用水試紙評估霧粒大小及附著品質，水試紙表面有一塗佈層，霧粒碰到此塗佈層時會從黃色轉為藍色，此法是評量田間噴霧附著的快速方法^(23,24,27,28)，利用目視法判讀分級^(10,22)，依霧粒附著程度分為0 (無霧粒)到10 (完全變藍色)計11等級，並計算每平方公分附著霧粒數⁽²²⁾。影像分析系統輸入水試紙影像之方式分為攝影機、照相機與掃描器等三種^(5,22,24,27)，研究顯示運用不同影像系統分析水試紙可讓研究人員有足夠信心從收集的霧粒尺寸資料獲得相似結果且是可比較的⁽²⁴⁾。本試驗利用田間實測的水試紙，經由掃描器擷取的影像透過電腦軟體設計，期望獲得水試紙霧粒分布面積的量化結果。

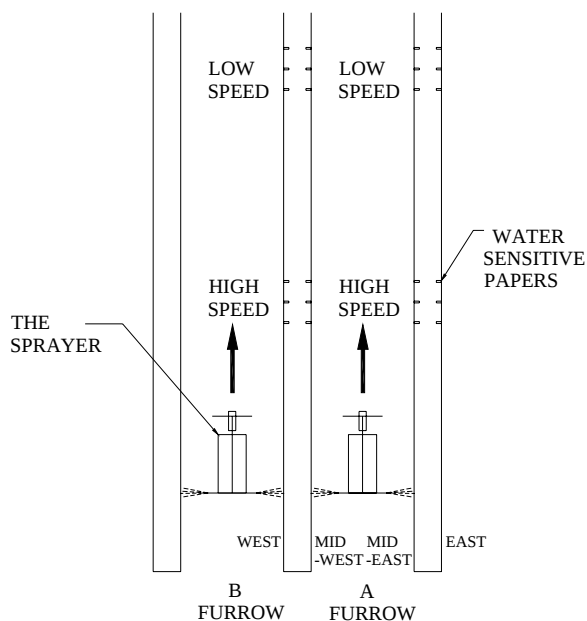
任何自動噴霧技術之開發需要良好的動力自走機臺為基礎，本研究開發之小型電動噴霧機具可修改為自走機臺，期望未來逐步向省工安全自動化機具邁進。因此，本研究目的為：

1. 研製小型電動自走載具，承載噴霧系統，試驗其行走及噴霧性能。
2. 設計簡易的田間噴霧附著度量測方法，簡化田間噴霧附著效果分析作業。
3. 設計分析水試紙的簡易影像處理系統，獲得水試紙附著的量化資料。

材料與方法

1. 三輪式底盤，後二輪為動力輪，行走動力為DC24V直流電動機連接減速差速齒輪箱，電能由一只DC24V 38AH電瓶提供，前方第三輪為轉向輪。車上裝載汽油引擎為動力之雙柱塞式小型噴霧機、40 l藥桶及左右二支直立噴桿。
2. 利用碼表、壓力表、捲尺、量杯及預先畫容積刻度的水桶，試驗該機具之作業性能。
3. 於南投縣埔里鎮設施栽培彩色甜椒田區，試驗小型自走噴藥機具噴出霧粒於葉面之附著度，採用水試紙隨機黏貼於植株三種不同高度各三重複之葉片上下表面，試驗二種車行速度之葉片霧粒附著效果，試驗場地配置如圖一所示。
4. 設計田間噴霧試驗的水試紙黏貼於預先準備的A4紙張，該紙張上分別劃設上層、中層及下層共三重複，並區分為葉面及葉背等，共有18個水試紙位置，如圖三所示，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。

5. 機器視覺辨識系統：桌上型電腦、掃描器、Visual basic 6.0、Matrox Imaging Library 5.1等軟硬體，開發水試紙霧粒附著度之機器視覺辨識系統，擷取水試紙影像，輸出水試紙上霧粒附著區域之變色面積百分比，獲得噴霧附著的基本量化資料。



圖一、小型自走噴藥機具田間試驗俯視簡圖。

Fig. 1. The scheme of small-scale self-propelling sprayer experimental layout in field.

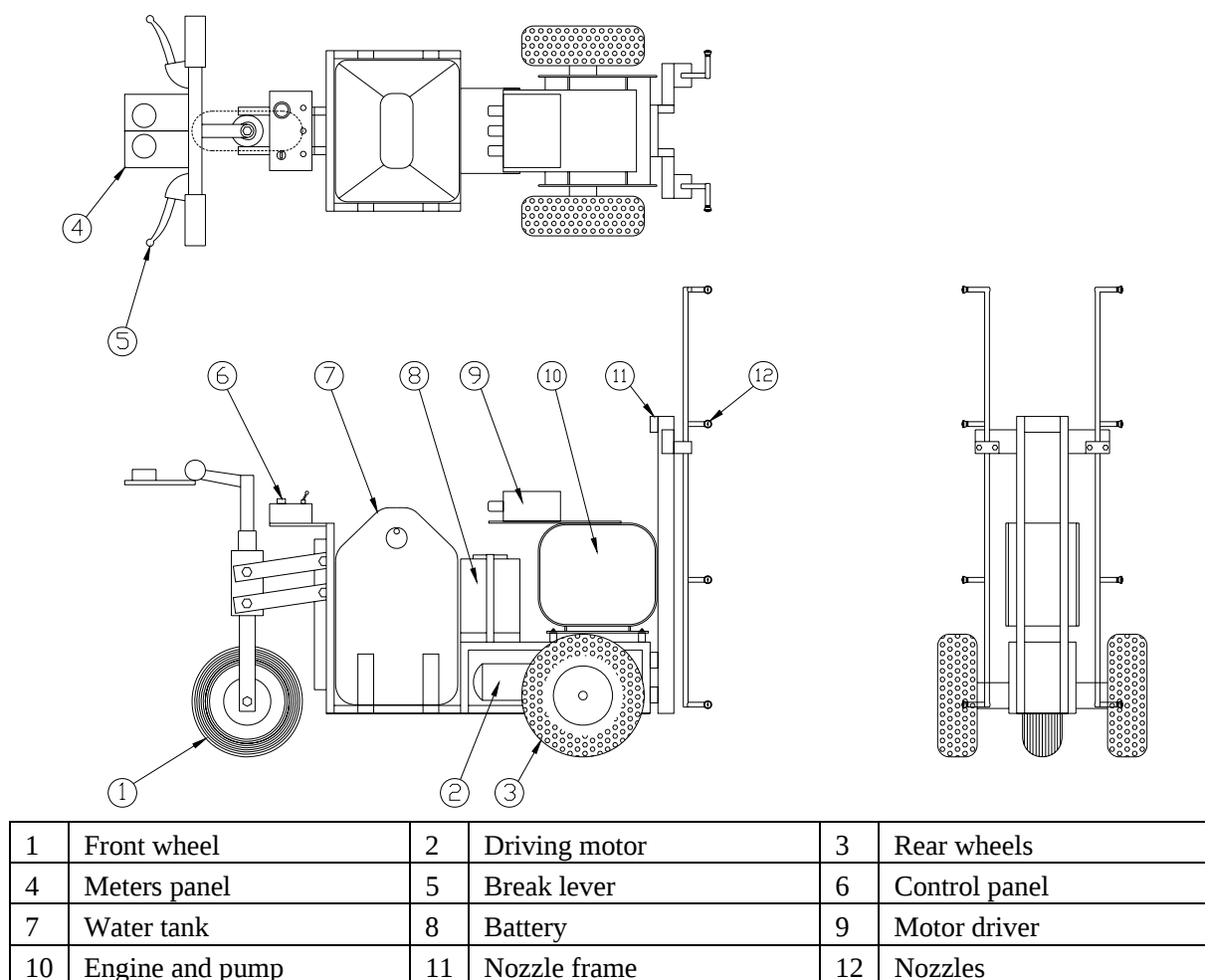
結果與討論

一、小型自走噴藥機具

選用適當的電動減速差速機件，其動力傳輸特性適於設計後輪驅動車架，製作三輪式底盤，後二輪為動力輪，行走動力為DC24V直流電動機連接減速差速齒輪箱，電能由一只DC24V 38AH電瓶提供，前方第三輪為轉向輪，三輪之輪胎規格為4.00-5 4P.R.。車上裝載汽油引擎為動力之雙柱塞式小型幫浦、40 l藥桶及左右二支直立噴桿，車體外形如圖二所示。每支不銹鋼噴桿裝4粒D5扇形噴頭，引擎式幫浦出水流量試驗結果，當壓力1.0 MPa (10 kg/cm²)時流量為5.0 l/min；壓力1.5 MPa (15 kg/cm²)時流量為6.1 l/min；壓力2.0 MPa (20 kg/cm²)時流量為7.2 l/min。

製作連接鋁塊裝設寬跨距噴桿，進行田間噴霧測試，試驗二支不銹鋼噴管各3粒D5扇形噴頭之噴霧流量，在1.5 MPa壓力下為4.8 l/min，在2.0 MPa壓力下為5.4 l/min。電力自走噴藥機具於設施甜椒園試驗，畦溝寬1.5 m，植株葉面分佈之高度約30至90 cm，車上裝二支不銹鋼噴管各3粒D5扇形噴頭即能覆蓋植株高度，噴霧試驗結果，於2.0 MPa時有較好的葉面附著效果。車體負載總重量200 kg下，電瓶充飽電力之作業時間約4.5 hr；引擎幫浦之油箱容量為

720 ml，約可作業27 min；40 l藥液之噴霧時間約7 min，車行速度4 km/hr時，車行距離達0.46 km，藥桶容量太小導致作業時間僅7 min，可改用孔口較細且流量小、較低壓力下可噴出霧化良好的噴頭，配合採用低壓電動幫浦，以延長作業時間。



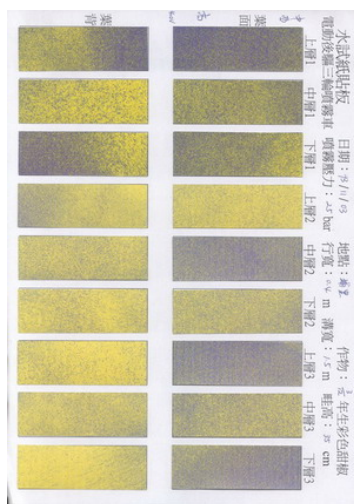
圖二、小型自走噴藥機具簡圖。

Fig. 2. The scheme of small scale self-propelling sprayer.

二、田間噴霧試驗水試紙收集

水試紙隨機黏貼於彩色甜椒試驗田之二行相鄰植畦之二側，此二行植畦分別稱為東(A)側植畦及西(B)側植畦，如圖一所示；黏貼高度分別為約50、70及90 cm三種不同高度之葉片之上下表面；噴霧壓力為2.0 MPa，二支直立噴桿上裝置3粒D5扇型噴頭，最下二層噴頭仰角30度，最上層噴頭水平向外噴，噴桿噴出的霧形呈直立狀的覆蓋範圍，噴向二側植株，形成可以涵蓋植株葉片高度的面狀霧粒區域；機具行進速度分高速及低速二種，分別為3.5 km/hr及4.0 km/hr，機具經過的二側植株覆蓋在立體噴霧區域中。

水試紙分別黏貼於東西二畦作物之二側，機具行經二行植畦中間噴霧，及隔鄰的西側畦溝增加噴霧一次。試驗時噴霧機具前段以高速行駛，後段以低速行駛，比較不同速度、不同高度、噴霧次數等之霧粒附著差異。試驗後之水試紙貼於事先準備之A4紙張上，該紙劃設2排各9個26×76 mm矩形框，足以貼上每次處理三重複及三種不同高度之水試紙，其中一排為葉面，另一排為葉背，如圖三所示。如此可以避免試驗後水試紙散亂之缺點，便於保存及後續機器視覺辨識之分析處理。



圖三、田間噴霧試驗收集的水試紙。

Fig. 3. The collected water sensitive papers for testing the small-scale self-propelling sprayer in the field.

三、霧粒附著度之機器視覺辨識系統

(一)霧粒附著度之機器視覺辨識系統：此系統由國立中興大學生物產業機電工程學系研發，硬體為個人電腦及影像掃描器，影像掃描器解析度設為24 bit 全彩200 dpi；軟體為利用Visual basic 6.0結合Matrox imaging library之函式庫，開發完成水試紙霧粒附著百分比之機器視覺辨識系統。該機器視覺辨識系統可讀取上述A4紙張上之18片水試紙之掃描影像檔，計算出該紙張上各片水試紙之霧粒附著百分比，產出量化結果，改善目視判斷之誤差。

(二)霧粒附著度之機器視覺辨識架構：霧粒附著度之機器視覺辨識系統架構之作業流程如下所示：

1. 首先讀入經由掃描器輸入的水試紙之掃描影像檔，檔案格式為*.tif。利用blue圖層之二值化資料分割水試紙與背景，設定門檻值分離出水試紙與背景，並找出各片水試紙的中心點。
2. 水試紙尺寸為76×26 mm在200 dpi解析度下，影像像數約600×210 點(pixel)，由水試紙的中心點左右各取200點，上下各取85點，即401×171點為影像判別之取樣空間，約為原來水試紙中央51×22 mm的區域，約佔水試紙55%面積，而Wolf⁽²⁸⁾使用的

DropletScan軟體自動掃描每片水試紙的40%，此舉可裁去試驗過程中手持水試紙邊緣可能被污染的區域。

- 3.高於門檻值的像素設為灰階255 (白色)，低於門檻值的像素設為灰階0 (黑色)。
- 4.取樣空間中各位置灰階低於門檻值的像素總和除以取樣空間的總像素，即為噴霧附著之面積比率。
- 5.影像處理後之判讀結果顯示於螢幕。

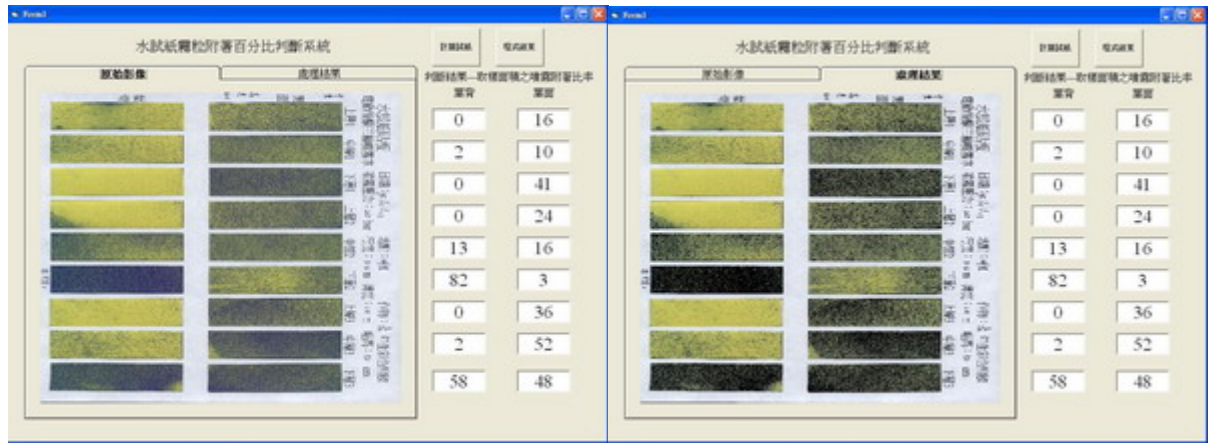
(三)霧粒附著度之機器視覺辨識結果：

Fox⁽²²⁾指出任何測量水試紙上霧粒大小的作業，當霧粒附著度百分比大於20%時便不可靠，因霧粒間有相互碰觸及重疊的情形，而且目視辨識等級大於6時霧粒點數太多，已不易用目視判讀，因此本研究僅分析水試紙之霧粒附著度百分比。

Sanchez-Hermosilla⁽²⁷⁾表示，機器視覺辨識系統之測量精度取決於灰階強度的門檻值選擇，門檻值會受到影像的屬性所影響。圖四為原始影像與三個不同灰階門檻值之處理結果，左上角a為原始影像，右上角b、左下角c及右下角d分別為門檻值設為90、120及150之處理結果。門檻值設為90時，對霧粒分布濃密者有較佳的辨識效果、反之對霧粒分布中度以下者有過度低估的情形；門檻值設為150時，對霧粒分布稀疏者有較佳的辨識效果、對霧粒分布中度以上者有過度提高的情形；門檻值設為120之辨識效果則介於二者之間，因此利用此門檻值進行霧粒分布之分析比較。

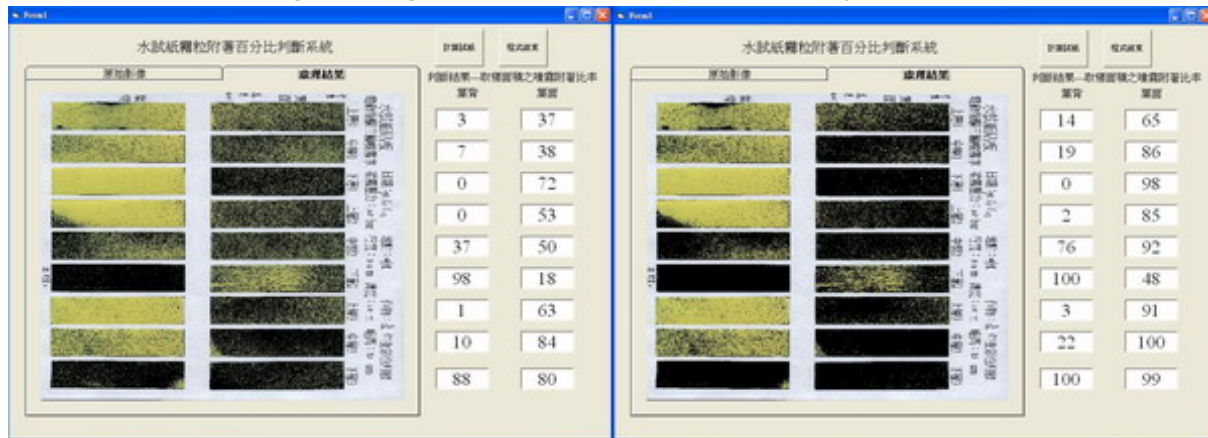
如圖五所示，對葉面而言，機具行進之高低速對霧粒附著度百分比之差異，不論東西側，約5與20%；但是對葉背而言，在西側畦溝(噴2次)有30與40%的差異；東側畦溝(噴1次)之差異約5%且其霧粒附著度最少，噴二次的西側之霧粒附著度百分比明顯較高，因此慢速且每畦溝均噴霧對葉背之霧粒附著度百分比有提升作用。機具行進之高低速對不同高度葉片之霧粒附著度百分比分析結果如圖六所示，對葉面而言，在下層差異較大，上中層較小。對葉背而言，在上層差異較大，下層則較小，其中，高速葉背之霧粒附著度最少，整體而言慢速之霧粒附著度百分比比較佳，尤其葉背有明顯的改善。此結果與Farooq⁽²¹⁾之噴霧附著度隨液體流量增加而提高，但隨樹高及機具的地面速度而降低之結果相似。

對於霧粒分布面積覆蓋率較高的樣本，因為霧粒的分佈形態複雜及存在霧粒重疊情形⁽²⁸⁾，樣本之霧粒數量及顆粒大小這二個參數之可靠度降低，因此，此次研發的影像分析系統已經能夠在調整適當門檻值條件下，獲得水試紙上霧粒分布面積覆蓋率的機器判讀量化結果，具有快速準確判讀的特性，改善目視法非量化及人為誤差的缺點。另外，不同掃描器所輸入的樣本影像是否影響判讀結果，需要進一步探究。



a. Original image

b. Gray threshold 90

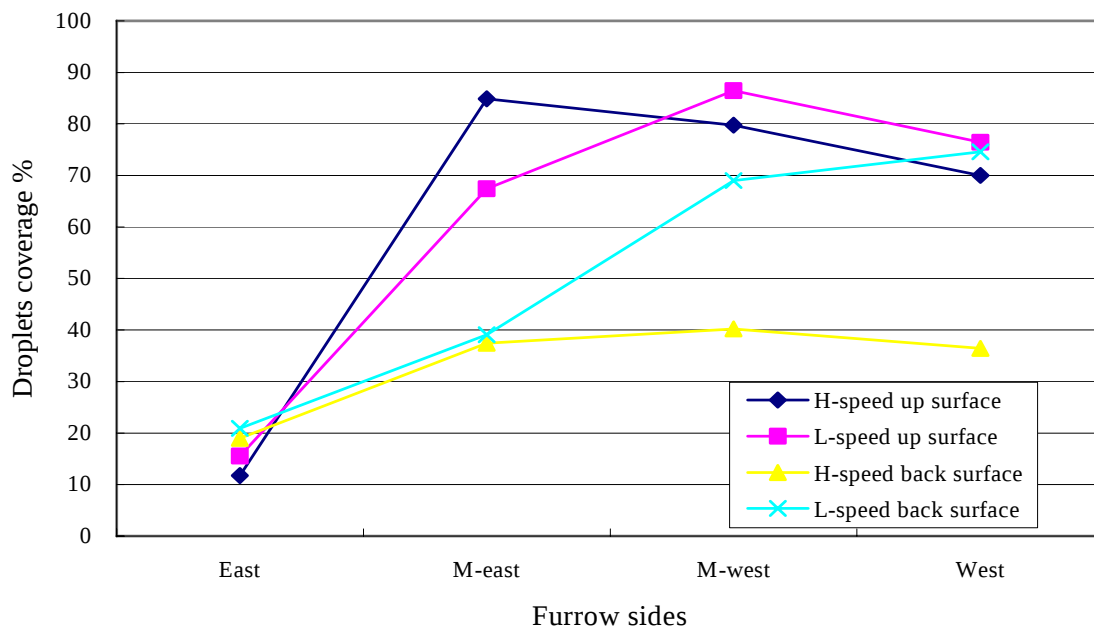


c. Gray threshold 120

d. Gray threshold 150

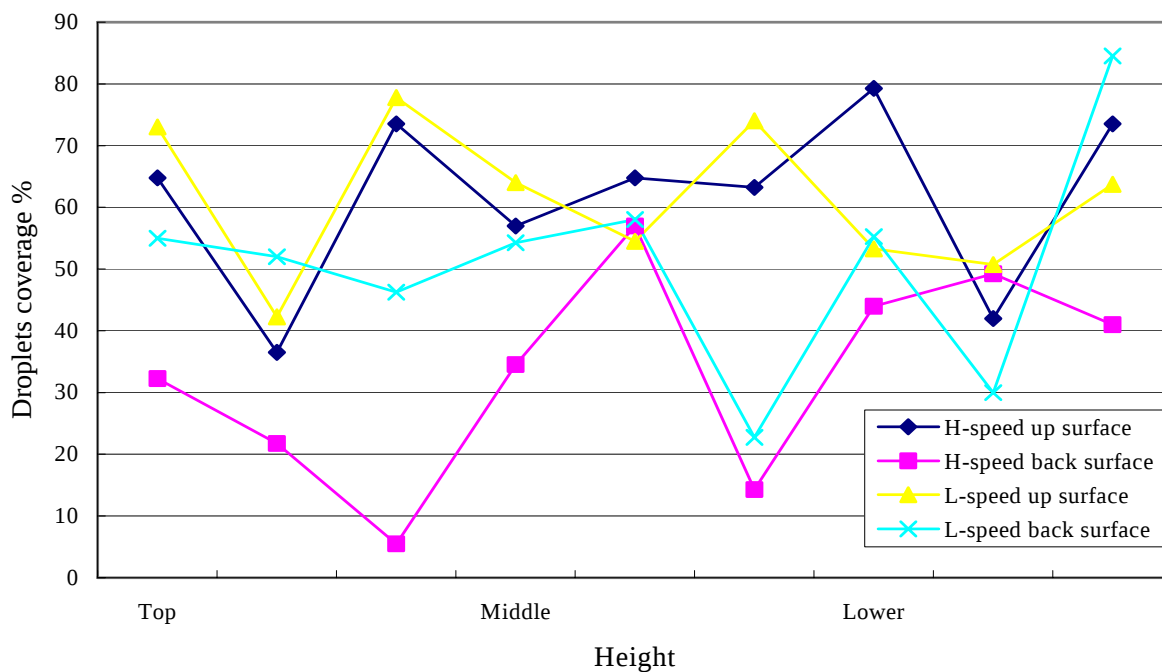
圖四、水試紙原始影像與三個不同門檻值之處理結果。

Fig. 4. The original collected water sensitive papers(a) and 3 treated results(b,c,d) by image processing with 3 different thresholds.



圖五、不同畦溝位置、高低速與葉上下表面之霧粒附著百分比。

Fig. 5. The droplet coverage for furrow position, high/low speed and up/back surface.



圖六、不同葉片高度、高低速與葉上下表面之霧粒附著百分比。

Fig. 6. The droplets coverage for 3 leaves height, high/low speed and up/back surface.

結論與建議

1. 小型噴藥機具之車體小巧，可以載運藥劑深入畦溝噴藥，40 l藥液之噴霧時間約7 min，車行速度4 km/hr時，車行距離達0.46 km。藥桶容量太小導致作業時間僅7 min，可改用孔口較細且流量小、較低壓力下可噴出霧粒細小的噴頭，配合採用低壓電動幫浦，以延長作業時間。
2. 車體負載總重量200 kg下，電瓶充飽電力之作業時間約為4.5 hr；引擎式幫浦之油箱容量為720 ml，約可作業27 min。
3. 試驗田之植株葉面分佈之高度約30至90 cm，裝設二支不銹鋼噴管各3粒D5扇形噴頭，其噴霧流量在2.0 MPa壓力下為5.4 l/min。
4. 此次研發的影像分析系統已經能夠在調整適當門檻值條件下，獲得水試紙上霧粒分布面積覆蓋率的機器判讀量化結果，具有快速準確判讀的特性，改善目視法非量化及人為誤差的缺點。
5. 機具行進之高低速對霧粒附著度百分比之差異，對葉面而言，約5與20%；對葉背而言，約3與40%，其中高速葉背之霧粒附著度百分比最低。不論高低速，噴二次的西側之霧粒附著度百分比有較高的情形。
6. 機具行進之高低速對不同高度葉片之霧粒附著度百分比方面，對葉面而言，在下層差異較大，上中層較小。對葉背而言，在上層差異較大，下層則較小，其中，高速葉背之霧粒附著度最少，整體而言慢速之霧粒附著度百分比佳，尤其葉背有明顯的改善。
7. 對於霧粒分布面積覆蓋率較高的樣本，因為霧粒的分佈形態複雜及存在霧粒重疊情形，樣本的霧粒數量及顆粒大小這二個參數之可靠度降低。
8. 不同掃描器所輸入的樣本影像是否影響判讀結果，需要進一步探究。
9. 小型噴藥機具機動性優良，除裝設噴桿作大範圍噴霧之外，可加裝噴槍作小範圍補噴或設施環境消毒作業。

誌 謝

本試驗承蒙農機研究室鼎力支持，李安心先生及賴碧琴小姐等協助組裝、試驗及文稿建檔等，謹誌謝忱。

參考文獻

1. 朱元南、陳文杰 1994 應用於農業機器人的自走式車輛的研製 農業機械學刊 3(2):1-9。
2. 李宏萍 1997 農民噴藥之安全防護評估 農業世界 164:17-21。
3. 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。
4. 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。

5. 邱相文 1996 影像處理技術應用於噴霧沉積之分析研究 國立中興大學農業機械工程學研究所碩士論文。
6. 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。
7. 曾如參 1999 採果用自動行走車之研製 國立中興大學農業機械工程學研究所碩士論文。
8. 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。
9. 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。
10. 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。
11. 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。
12. 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。
13. 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。
14. 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。
15. 盛中德 1992 溫室內施藥機械介紹 興農月刊 279:14-18。
16. 馮丁樹譯 1987 小農制之農業機械化 徐氏基金會出版。
17. 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 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 194-204 臺中縣霧峰鄉。
18. Alcock, R. 1983. Battery powered vehicles for field work. Transactions of ASAE 26(1):10-13.
19. Cho, Seong In, Jung Youp Lee and Young Sik Park. 1990. Autonomous speed sprayer using DGPS, gyrosensor and GIS. ASAE Annual International Meeting, Toronto Canada.
20. Desrial, Nobutaka Ito. 1999. Theoretical model for the estimation of turning motion resistance for the tracked vehicle. Journal of JSAM. 61(6):169-178.
21. Farooq, M. and M. Salyani. 2004. Modeling of spray penetration and deposition on citrus tree canopies. Transactions of the ASAE 47(3):619-627.
22. Fox, R. D., R. C. Derksen, J. A. Cooper, C. R. Krause and H. E. Ozkan. 2003. Visual and image system measurement of spray deposits using water-sensitive paper. Applied Engineering in Agriculture 19(5):549-552.
23. Franz, E. 1993. Spray coverage analysis using a hand-held scanner. Transactions of the ASAE 36(5):1271-1278.

24. Hoffmann, W. C. and A. J. Hewitt. 2005. Comparison of three imaging systems for water-sensitive papers. *Applied Engineering in Agriculture* 21(6):961-964.
25. 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.
26. Peterson, D. L. and H. W. Hogmire. 1994. Tunnel sprayer for dwarf fruit trees. *Transactions of the ASAE* 37(3):709-715.
27. Sanchez-Hermosilla, J. and R. Medina. 2004. Adaptive threshold for droplet spot analysis using water-sensitive paper. *Applied Engineering in Agriculture*. 20(5):547-551.
28. Wolf, R. E., 2005. Comparing downwind spray droplet deposits for four flat-fan nozzle types measured in a wind tunnel and analyzed using DropletScan software. *Applied Engineering in Agriculture* 21(2):173-177.
29. Zhu, H., C. Derksen, C. R. Krause, R. D. Fox, R. D. Brazee and H. E. Ozkan. 2005. Effect of solution pH conditions on fluorescence of spray deposition tracers. *Applied Engineering in Agriculture* 21(3):325-329.

Research and Development of the Small Scale Spraying Vehicle and Droplets Coverage Analysis¹

Ling-Hsi Chen², Chun-Min Chu³ and Tshen-Chan Lin⁴

ABSTRACT

The dimension of the small-scale spraying vehicle is 1200*410*900 mm. Its weight is 85 kg before loading, and the turning radius is about 1 m. Its speed is between 0.5 and 6.0 km/hr. One DC 24 V 38 AH battery is mounted in the vehicle. It can operate about 4.5 hours after full charged. A gasoline engine has a 720 ml fuel tank for driving sprayer pump, can work about 27 minutes. Two vertical spraying booms fixed on the rear chassis, spray droplets toward the plants on both right and left sides. A 40 liters water tank can sustain 7 minutes when the spraying booms fixed with 6 fan nozzles that have a flux of 5.4 l/min at a pressure of 2.0 MPa. The droplets coverage rate is good when 3 nozzles of each boom at the pressure of 2.0 MPa. The image analysis system can be used to evaluating the coverage rate of the droplets on water sensitive paper when using an appropriate gray threshold. This system can obtain accurate results quickly and prevent from manual visual error. The droplets coverage on the back surfaces of the leaf can be significantly improved when the vehicle is operated in lower speed. However, the difference of the droplets coverage rates with different speeds of the vehicle is 5% and 20%.

Keywords: electric carrier, droplets coverage rate, image analysis, water sensitive paper.

¹ Contribution No. 0652 from Taichung DARES, COA.

² Assistant Engineer of Taichung DARES, COA.

³ Graduate Student of National Chung Hsing University.

⁴ Professor of National Chung Hsing University.