水稻精準農業體系
GPS 自動噴藥機之開發—變率施噴系統基礎研究
219-230, 2003

GPS 自動噴藥機之開發—變率施噴系統基礎研究

葉仲基[1*]、廖盈達[1]、梁連勝[2]
[1]國立臺灣大學生物產業機電工程學系
[2]行政院農業委員會農業試驗所農工組
E-mail:ckyeh@ccms.ntu.edu.tw

摘要 ---------- 220
一、前言 ---------- 220
二、文獻探討 ---------- 220
三、實驗設備與研究方法---------- 223
四、結果與討論 ---------- 225
五、結語 ---------- 228
六、誌謝 ---------- 229
七、引用文獻 ---------- 229
ABSTRACT---------- 230

GPS 自動噴藥機之開發—變率施噴系統基礎研究

葉仲基*[1]、廖盈達[1]、梁連勝[2]
[1]國立臺灣大學生物產業機電工程學系
[2]行政院農業委員會農業試驗所農工組
E-mail:ckyeh@ccms.ntu.edu.tw

摘要

本研究以一農用桿式噴藥車爲研究對象，於該噴藥車上架設全球定位系統接收儀，以便即時獲取噴藥車在田區的空間座標，並於噴藥車的施噴系統加入比例式流量控制閥。比例閥閥口開度所對應的相對流量與接收儀即時定位精度則由實驗結果獲得，從而找出系統施噴工作曲線與接收儀即時定位誤差。首先個別設計變率施噴系統，然後再對系統進行實驗模擬與分析。在施噴系統方面，利用控制系統的回流量來改變施噴量，以動態方式測試此系統，在不同幫浦設定壓力下比例閥閥口開度與回流量關係，最後將實驗數據進行迴歸分析，以了解比例閥開度特性，並找出其工作曲線。實驗結果分析顯示：比例閥閥口對流量可控制開度在 11%～64%間，若將開度以三段 20%、40%、60%設定再配合五種設定壓力，則能產生施噴量從 7 LPM～34 LPM 的 15 段變率施噴效果，可以運用在多變的作業環境上。

關鍵詞：精準農業、桿式噴藥車、變率施噴、全球定位系統、地理資訊系統。

一、前言

本研究主要針對精準農業體系下之農耕作業機械－變率施噴機之變率施噴系統進行設計與測試，使其能具備變率施噴的特性，將來可依照事先判斷之病蟲害類別進行變率噴藥作業。爲達成上述目的，本研究文將建立一套變率施噴控制系統，並選擇對某型桿式噴藥車進行車上施噴系統的改良，以結合變率控制系統，使噴藥車施噴系統具有變率控制的特性。未來配合全球定位系統(Global Positioning System, GPS)之接收儀所提供的即時座標與經過地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)分析之施噴指示圖，可對特定田區進行變量的施噴作業，以達成因地制宜的目的。

二、文獻探討

在過去，農民對整個田區的耕作方式皆爲均一化，包括耕耘量、施肥/噴藥量等，不曾考慮到田區在地形及土壤種類、鹽度與害蟲猖獗區域的差異。對於利用不同肥料種類與可變率噴灑量相對應於田區特定地點，而使田區總體作物產量增加，此過程稱爲精準農業

(Lachapelle *et al.*,1996)。精準農業亦爲一個重新組織的專業系統，使農業朝低投資高效益的方向邁進，且調整傳統農業經營的腳步，來適應日益高漲的環保意識。現今全球正流行有機栽培與無農藥的農耕方式，但如此將影響作物產量，因此無法被大多數農民接受，精準農業針對田區狀況的不同，採取變異性管理正可提供此一解決的良方，同時滿足環境保護與作物產量降低的衝突(Shibusawa，1998)。

在精準農業的作業系統中，對農民耕作有幫助的全球定位系統之空間定位資料將被有效的利用於：可變率施作機具的定位導航、土壤種類與作物定址及田區產量紀錄分析等，藉由精確的控制，進而得到最大經濟產量(Monson，1997)。精準農業爲用最少的投資得到最大的獲利，並得以保護環境，結合田區產量圖對於特殊不同的田地施以特殊的耕作方法，包括：害蟲的管制防除、灌溉、按土壤種類型式予以施肥耕作、作物輪作等，以達到提高利潤並且減少對於環境的污染，整合性技術如圖 1 所示(Johnson *et al.*,1997)。

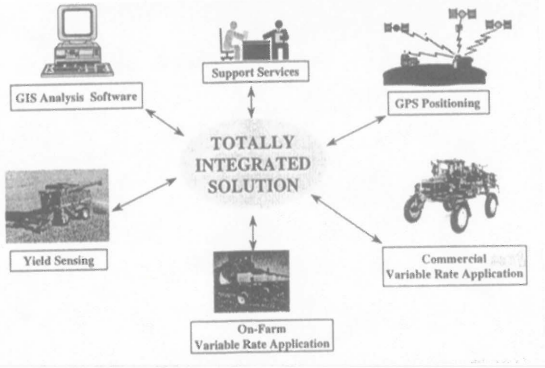


圖 1. 精準農業整合性技術(from Johnson *et al.*,1997)。

爲了配合田區特定地點對施作量要求的不同，因此可變率施作機械是必須使用的。可變率控制須提供：(1)施作機在田區正確的位置；(2)田區正確地點的變異資訊；(3)田區正確地點的可變率施作。田區正確位置可由 GPS 定位獲得，田區變異圖或即時感測器可提供正確變異的資訊，可變率控制系統即是結合前兩項資訊應用在施作機械上，使成可變率施作機械。

決策支援系統可提供農民在耕作上爲作物產量與環保問題的解決之策，即爲田區管理策略上的衝突找出一條可行的方向，使系統最佳化。以下例舉兩則美國精準農業的應用例(Clark，1998)：

1.可變率施肥機

傳統的施肥是把已經調製好裝載在施肥桶內的肥量液對一大片的田地實施均一性噴灑，但沒有考慮到土壤成分(主要指氮肥、磷肥及鉀肥)的非均一性，當對田區施用均一性肥料，則可能產生某些區域的土壤中，某種特定的肥料含量過高，相對地就有某些區域過低，然後多餘的無機肥則會對環境產生污染，其解決的方法就是應用精準農業，建立土壤需肥圖然後根據需肥圖施肥。

其方法如下：首先，將田區網格化分成若干大小的區塊，例如：100 英畝(40.469 公頃)的田區，每 2.5 英畝(1.012 公頃)分成一個網格則有 40 個區塊，然後在每個區塊中隨機選取 4～6 個土壤樣本，測試土壤成分，以區塊幾何中心爲代表，依序利用 GPS 定位記錄之，如此便完成田區土壤肥力圖。由於 GPS 定位只是提供空間座標資料，還需藉由 GIS 的空間分析功能，將田區各定點的調查資料整合起來，再近一步作成田區的耕作指示圖，以利可變率施作機的運作。

2.田區產量圖的製作

作物的產量對農民而言是重要且實際的問題，如能將田區特定網格的產量作圖紀錄下來，使農民有所依循，可對症下藥進而得到最佳產量。

其方法如下：於田區作物進行收穫時，在收穫機上裝置 GPS 接收機和兩個感測器，感

測器分別量測收穫之穀物流入率與穀物溼度，當收穫機進行收穫時其上的電腦便即時記錄包括：GPS 定位資料及穀物的流量與溼度。如此一來，待收穫完畢就有一份田區的作物產量圖，並同時有穀物溼度分布圖，有了這些資料便可提供明年耕作時的參考。例如：某區段穀物溼度太高則減少灌溉次數，某區段產量太低則不敷成本則休耕或改種其它作物，以求達最高經濟產量爲目標，並用最少的投資得到最大的回收，並得以保護環境，適時、適地與適量的耕作方式減少傳統均一式耕作所造成的浪費，以達到提高利潤減少對於環境的衝擊破壞。

1996 年 Deer&Co.公司，對使用 GreenStar 系統(爲整合 DGPS、產量監測器與地圖軟體的系統)的 650 位試用者作問卷調查，結果問卷回收率爲 66%，其中有 40%的農民使用這套系統所提供的建議來耕作，超過三分之二的農民使用這套輔助系統後能提高作物品質。除了硬體設備的使用外，還需重視有效農藝資料的收集，精準農業預測還需 30～35 年方可全面推展，可分爲三個階段，如圖 2 所示(Johnson *et al.*,1997)：第一階段：農藝農耕資料的收集；第二階段：使用第一階段所收集的資料來進行作物的輔助管理；第三階段：結合資料與技術對整體作一經濟性的管理，最終目的就是讓農民有一個整體田地的獲利圖。

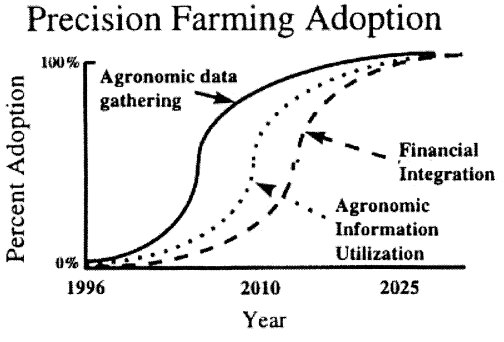


圖 2. 精準農業預測接受圖(from Johnson *et al.*,1997)。

精準農業是將田地區分成若干的區塊，例如：在 3 英畝(1.214 公頃)的土地上使用 1300 個點來代表，每點可表示 100 平方呎(9.339 平方公尺)的平均取樣值，區塊愈小點數愈多則愈精細，但整體系統需有經濟的考量，點數愈多則解析度要愈高。在相同的時間下則需要愈快的處理器、愈多的記憶體、、等，且機械變得更複雜、變重，需要大馬力來驅動車體，成本自然增加，相對的區塊愈大點數愈少則失去精耕的目的，在精確與經濟中間需要有所取捨，標準的 DGPS 系統精度已足夠用於作物收穫、施肥定位之用(Thompson, 1998)。

其它農耕上的可能應用，例如：

(1) 耕犁－由於深層的耕犁會破壞土壤的硬盤，因此曳引機作業時配備 GPS 接收機按照耕作指示圖上的土壤深度即可從事不同深度的耕犁，避免破壞土壤硬盤，影響保水性。

(2) 播種－經由作物產量圖會發現某些區域產量過低，故在下一次播種時可作爲依據，用來改變播種密度或施種其它作物。

(3) 噴藥－讓噴藥機按照耕作指示圖上所指示的不同害蟲猖獗區域或雜草區，施予不同程度的農藥，以求得到最大效果。

(4) 灌溉－由於水源的減少與水污染日益嚴重，故應更有效的利用水資源，將水分配到需要灌溉的地方，例如：地勢較高的山丘其需水量一定高於低地，根據地形圖將田地各區塊的需水量達到平衡。此外，還有兩種快速正確獲得地理資料的方法：空照和衛星影像，衛星圖像可以顯示土壤的乾濕，指示何地需要灌溉；空照可清楚的顯示田區何處受病害猖獗的情況，如此皆可協助農民管理田地(Jensen and Hall, 1999)

此外，農民也必須了解田區耕作指示圖與農事作業間的關係，例如：在某地已施行精準

農業三年，今年產量圖顯示有一區域有超低的產量，然在改變管理計劃前，應先去查看最近兩年的紀錄。如三年來產量皆低，則需比較施肥與土壤成分，也許有特殊的土壤成分過高，在未來的幾年就必須設法降低。然而若是今年產量低而去年前年產量高，則比較地形圖，看是否今年是多雨年，溼度高導致產量降低，未來則從灌溉著手。當農民接受精準農業後，那麼農地將成爲一處大實驗場，使得它變得精細而特別，爲農業的發展朝向永續經營邁進(Blackmore, 1994)。

三、實驗設備與研究方法

(一)實驗設備

本研究的主要設備如下，其中又可分別組成實驗施噴系統與桿式噴藥車施噴系統：

1. 實驗施噴系統動力源：東元電機公司(TECO)製造的三相感應電動機具有 5 馬力輸出。
2. 實驗施噴系統壓力幫浦：大農鑽石牌，型式爲 TS-80，利用三相感應電動機驅動，爲三缸柱塞式高壓幫浦，吸水量可達 75LPM(1000rpm)噴霧壓力 21～35kg/cm^2。
3. 實驗施噴系統輪配水管路：包括一 2 輸入口、4 噴霧出水口與 1 個迴水口之特製配水管件總成、噴霧軟管(SPRAY HOSE，玉兔牌)，內徑 ϕ 7.5mm、高壓噴霧軟管(MATCHMATE plus)，內徑 ϕ 3/8”。
4. 噴桿與噴嘴：噴桿長度左右段 300 cm，中段 150 cm、噴嘴爲螺旋水流型 ϕ 1.2 mm，呈中空圓錐型噴灑。噴桿左右段各配置 10 個噴嘴，中段配置 5 個噴嘴，各噴嘴間距 30 cm。
5. 比例控制閥：山野電氣公司(SUN YEH)製造，型式爲 OM-1，控制信號輸入(2～10 VDC)，比例閥口尺寸 3/8” 全開-全閉〔 90 °〕總時間 12 秒。
6. 流量計：Malema 公司製造之電子數位式流量計，型式爲 M-10000-S4083-00，屬輪葉轉子(turbine)式流量計，操作流量範圍 5～50(LPM)，精度 ± 2%FULL SCALE(± 1LPM)，口徑 1/2”。
7. 流量積算及指示器：欣原精機公司製造，型式爲 CUB5，具 2 組計算器可切換，分別爲水量積算(L)及流量(LPM)的計算、可運用倍率 0.0001～99.9999，藉以計算流量計輪葉迴轉所輸出的脈衝信號來計算管路流量，並顯示出來。
8. TeeJet 流量計算組件：TeeJet 公司製造，包括刻度計算器(Calibration Calculator)與量桶(Calibration Container)，可作流量的校正計算。
9. 其它儀器：

   電源供應器：對比例閥控制部輸入控制電壓(2～10 VDC)。

   三用電表：用於檢視比例閥實際開度位置。

   實驗施噴系統如圖 3 所示。

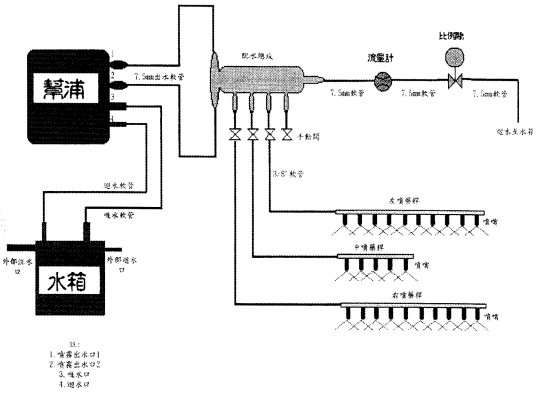


圖 3. 實驗施噴系統簡圖。

1. 桿式噴藥車：台南鉅業公司製造，型號爲 ZTSL500，使用動力爲 HONDA GX390 GCAA 型四衝程汽油引擎。
2. 噴藥機部份：大農鑽石牌 TS-80 與實驗施噴系統壓力幫浦相同，其動力來源爲噴藥車引擎以皮帶驅動。
3. 桿式噴藥車噴頭噴桿組：噴頭爲螺旋水流型 ϕ 1.2m/m ×35、噴桿左 315 cm、右 315 cm、中 140 cm，總長 8.2m。

桿式噴藥車施噴系統如圖 4 所示。

(二)實驗方法

實驗分成兩階段進行：第一階段爲實驗施噴系統，於幫浦不同設定壓力下改變比例閥開度進行流量測試。待第一階段之實驗施噴系統經反覆實驗分析改良得到流量數據後，再以統計學迴歸分析各種結果，找出系統特性。第二階段爲將實驗施噴系統結合噴藥車既有的施噴系統，使噴藥車施噴系統具有變率施噴的效果。

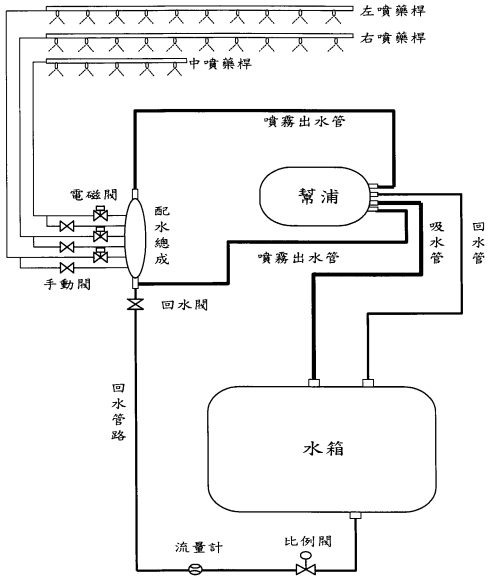


圖 4. 噴藥車變率施噴系統簡圖。

1.實驗施噴系統動態流量測試

(1)架設施噴系統。

(2)將電動比例閥、流量計安裝至施噴系統。

(3)啓動噴灑系統並且將配水總成之四個手動閥關閉。

(4)將比例閥馬達、流量積算及指示器 CUB5 接上電源。

(5)依序調整幫浦之出水壓力 8kg/cm^2、10kg/cm^2、13kg/cm^2、15kg/cm^2、18kg/cm^2、20kg/cm^2、23kg/cm^2、25kg/cm^2，並開啓幫浦的兩個噴霧出水閥。

(6)依序調整比例閥之輸入電壓 V(對應之開度%)：3V(11%)、3.5V(17%)、4V(24%)、4.5V(31%)、5V(37%)、5.5V(44%)、6V(51%)、6.5V(57%)、7V(64%)、7.5V(71%)、8V(77%)、8.5V(84%)、9V(91%)、9.7V(100%)。

(7)依序記錄比例閥開度之流量積算及指示器 CUB5 所顯示的瞬間幫浦流量。

(8)校正作業：於同時利用 TeeJet 量桶收集自流量計管路出口排出之水量，配合刻度計算器所記錄相對應的收集時間(second)，將水量(ounces)輸入刻度計算器即可得到計算結果，最後流量顯示 GPM(gallons per minute)。〔GPM = oz /(2.13×sec)〕

(9)依序輸入並記錄比例閥開度之刻度計算器所計算的瞬間幫浦流量。

〔one gallon＝3.79 liters〕

(10)分析數據。

實驗操作流程如圖 5 所示，在配水總成回流管路中裝設流量計，即時記錄流量 Q1，且於流量計出口管路後段裝設比例閥以控制施噴量，利用 TeeJet 量桶記錄水量配合刻度計算器求出管路流量 Q2，並以 Q2 值作爲校正 Q1 的依據。

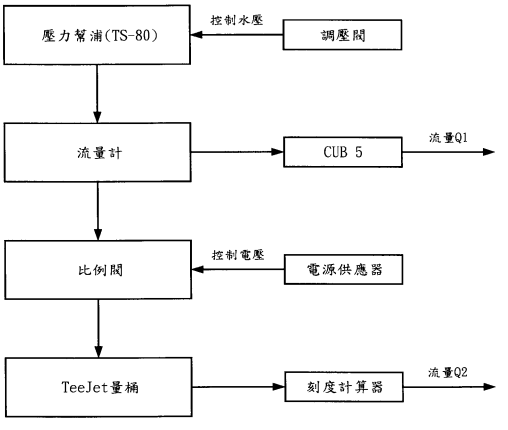


圖 5. 動態流量測試流程。

2.噴藥車變率施噴系統動態流量測試

(1)深入了解原型機之施噴系統各機構。

(2)將實驗施噴系統之流量計、比例閥裝設於噴藥車施噴系統配水總成回水軟管處。

(3)整合噴藥車施噴系統，使成爲一利用系統回流量控制施噴量的封閉迴路控制噴藥車變率施噴系統。

(4)以實驗施噴系統動態測試方法爲基礎，進行系統測試。依序調整幫浦之出水壓力爲 10kg/cm^2、13kg/cm^2、15kg/cm^2、18kg/cm^2、20kg/cm^2 並開啓配水總成之回水閥，使高壓水經由回水管路流回水箱。

(5)依序調整比例閥之輸入電壓 V(對應之開度%)：2.7V(7%)、3V(11%)、3.2V(13%)、3.4V(16%)、3.6V(19%)、3.8V(21%)、4V(24%)、4.2V(27%)、4.4V(29%)、4.6V(32%)、4.8V(35%)、5V(37%)、5.2V(40%)、5.4V(43%)、5.6V(45%)、5.8V(48%)、6V(51%)、6.2V(53%)、6.4V(56%)、6.6V(59%)、6.8V(61%)、7V(64%)、7.2V(67%)、7.4V(69%)、7.6V(72%)、7.8V(75%)、8V(77%)、8.5V(84%)、9V(91%)、10V(100%)。

(6)依序記錄比例閥開度之流量積算及指示器 CUB5 所顯示的瞬間幫浦回流量。於同時利用 TeeJet 量桶收集自流量可得到計算結果，以作爲校正，最後流量顯示 GPM(gallons per minute)。〔GPM = oz /(2.13×sec)〕

(7)依序輸入並記錄比例閥開度之刻度計算器所計算的瞬間幫浦流量。

〔one gallon＝3.79 liters〕

(8)分析數據。

待流量計以刻度計算器校正流量後，即以流量計流量爲計算施噴系統回流量之值。爲找出施噴系統回流控制之特性，將對系統作 10 次反覆動態流量測試，整體流程如圖 6 所示。

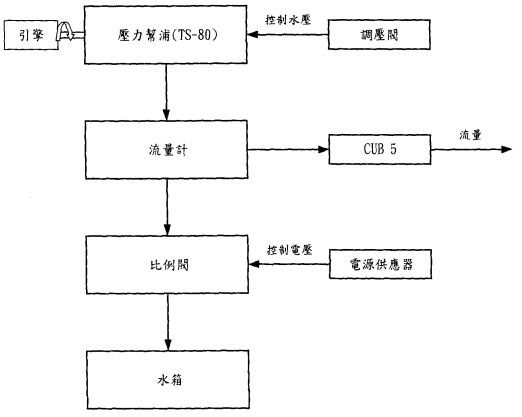


圖 6. 噴藥車施噴系統動態流量測試流程。

四、結果與討論

本章是將前文所提之實驗變率施噴系統及噴藥車變率施噴系統作動態實測，所得的結果再利用 Microsoft Excel 軟體進行迴歸分析，並進行討論。

(一)實驗施噴系統動態流量測試

對於實驗施噴系統所使用的高壓幫浦(TS-80)選擇與噴藥車相同，希望實驗結果較爲接近將來噴藥車施噴系統，針對高壓幫浦在不同的出水壓力下，藉由改變比例閥的開度，並量測管路的流量，以找出比例閥開度與幫浦流量間的特性關係。由實驗中可觀察出：

(1)比例閥對管路流量之有效控制約在其閥口開度的 0～60%；閥開大於 60%之後流量漸趨平穩，失去控制水量的意義。故 0～60%區域的比例閥閥口開度可用以對田間施予變率噴灑。至於區分的等級則視田地所需量而定，例如分成三級：微量噴灑(0～20%)、中量噴灑(21%～40%)、大量噴灑(41%～100%)。

(2) 使用流量計與刻度計算器所得之流量有一段差距，且流量計之流量約爲刻度計算器之三倍，推測可能與流量積算之CUB5 內部設定的倍率值有關。

(3) 觀察發現流量計在 15kg/cm^2 以下所感測的流量值較爲穩定，但流量計在壓力較高(＞20kg/cm^2)的情形下會有較不穩的流量出現，此應與流量計的適用壓力有關。

(4) 刻度計算器在計算流量中，會因收集水量時間與量桶刻度觀察的不準確而產生誤差，但可藉由實驗的次數來彌補，以維持數據的可靠性。

(5) 經由動態實驗施噴系統已具有變率的特性，因此證明了系統的可行性。

對於流量不穩定與突然性的變化，研判原因爲：管路中流量計置於比例閥之後，當比例閥閥口改變時會造成不連續的水流，大小不同的水流使流量計轉子室處在非塡滿的狀態，而靈敏的轉子在此環境下旋轉即容易產生感測的不穩定；對於流量的突然性變化研判爲管路中的氣泡流經流量計轉子造成轉子在高壓下轉動不穩定，進而影響到所感測的流量值。爲改善上述流量不穩定的缺點決定將管路中比例閥與流量計的位置互調，改善後的流程如圖 5 所示，並在比例閥出口處將管路提高 1 公尺，使流量計的轉子室經常保持充滿水的狀態，以提高轉子旋轉的穩定度同時也改善管路氣泡問題。

調整後可看出管路流量不穩定變化的情形已經獲得改善。此外，在調整流量積算器(CUB5)內部設定的倍率值之後，發現流量計所感測的流量值可趨近刻度計算器所計算之值。

今分別將流量計讀值除以計算器讀值與計算器讀值減去流量計讀值來檢視兩種調整後讀值間的關係，則如表 1 與表 2 所示，結果顯示實驗施噴系統幫浦流量測試已可直接讀取校正後之流量計讀值，而讀值所顯示的流量正是系統之回流量，因此將以改變比例閥閥口開度控制回流量，進而使施噴量得到控制。

表 1. 流量計讀值與計算器讀值之比值。

閥口開度(%)	壓力(kg/cm^2)					
	10	13	15	18	20	平均
24	1.03	1.00	0.99	1.00	0.98	1.00
37	1.02	1.00	0.96	1.01	0.98	1.00
64	1.03	1.02	1.02	1.04	1.06	1.04
100	1.04	1.02	0.99	1.05	1.02	1.03
平均	1.03	1.01	0.99	1.03	1.02	

表 2. 計算器讀值與流量計讀值之差值。

(單位：LPM)

閥口開度(%)	壓力(kg/cm^2)				
	10	13	15	18	20
24	-0.4	0.0	0.1	-0.1	0.2
37	-0.5	-0.1	0.7	-0.2	0.3
64	-0.7	-0.5	-0.6	-1.0	-1.4
100	-1.0	-0.7	0.2	-1.1	-0.6

在完成流量計流量值校正後，對實驗施噴系統再做動態流量測試，由於回流量在比例閥閥口開度約 60%以後流量幾乎不再增加，而流量可控制的開度約在 17%～60%之間。

所以在此區域範圍內以統計學線性迴歸的方式求取流量與比例閥開度的關係，在幫浦設定壓力 10kg/cm^2 下，其趨勢方程式爲：

$y=-0.0105x^2+1.3x-18.069$

$R^2=0.9938$ (x:閥口開度 y:流量)

在幫浦設定壓力 15kg/cm^2 下，其趨勢方程式爲：

$y=-0.0098x^2+1.2916x-17.325$

$R^2=0.9979$ (x:閥口開度 y:流量)

在幫浦設定壓力 20kg/cm^2 下，其趨勢方程式爲：

$y=-0.0123x^2+1.3987x-18.518$

R^2=0.996 (x:閥口開度 y:流量)

整體看來，在幫浦設定壓力範圍之內比例閥閥口開度與管路回流量是成高度正比關係的，故此系統已能滿足變率施噴的要求。

(二)噴藥車變率施噴系統動態流量測試

將以實驗變率施噴系統的建置與測試方法爲基礎，進行噴藥車變率施噴動態測試。由於噴藥車的施噴系統管路口徑特性與實驗施噴系統不同，因此需要先以 TeeJet 量桶配合刻度計算器進行初期流量計流量值校正。爲便於之後的流量測試，今分別將測試結果之計算器讀值除以流量計讀值與計算器讀值減去流量計讀值來檢視兩讀值間的關係，測試結果如表 3 與表 4 所示。結果顯示校正調整之後的流量讀值已經可與計算器讀值接近。

表 3. 計算器讀值與流量計讀值之比值。

閥口開度	壓力(kg/cm²)					
(%)	10	13	15	18	20	平均
11	#	0.81	0.79	0.79	0.80	0.80
24	1.03	1.01	0.75	0.76	0.89	0.85
37	1.06	1.07	0.98	0.96	0.94	0.99
51	1.09	1.08	1.04	1.00	0.97	1.02
64	1.09	1.08	1.03	1.02	0.97	1.03
77	1.11	1.09	1.04	1.05	0.98	1.04
100	1.13	1.10	1.04	1.04	1.03	1.05
平均	1.09	1.04	0.95	0.94	0.94	

表 4. 計算器讀值與流量計讀值之差值。

(單位：LPM)

閥口開度	壓力(kg/cm²)					
(%)	10	13	15	18	20	平均
11	0.00	-1.04	-1.26	-1.33	-1.27	-0.98
24	0.42	0.19	-2.80	-2.61	-1.14	-1.19
37	1.11	1.56	-0.50	-0.87	-1.56	-0.05
51	2.17	2.20	1.18	-0.04	-0.83	0.93
64	2.23	2.19	1.03	0.53	-0.97	1.00
77	2.64	2.56	1.37	1.49	-0.54	1.50
100	3.18	2.79	1.46	1.18	1.01	1.93
平均	1.68	1.49	0.07	-0.24	-0.76	

在校正流量計讀值後，對噴藥車施噴系統進行 10 次反覆的回流量動態測試，圖 7 所示係其中噴藥車幫浦壓力設定在 10 kg/cm² 之情形，而壓力設定在 13 kg/cm²、15 kg/cm²、18 kg/cm²、20 kg/cm² 則也有類似的趨勢。

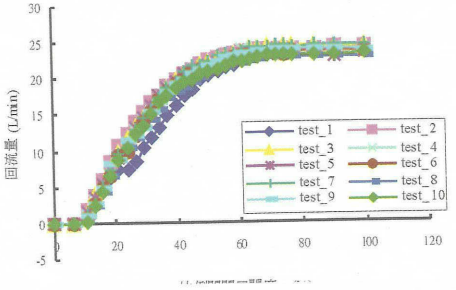


圖 7. 回流量與比例閥開度關係。(10kg/cm²)

由噴藥車動態測試結果可觀察到：

1.系統回流量在比例閥閥口開度約 60%以後即呈現穩定幾乎不再變化，故比例閥閥口可變率控制開度約在 10%～60%間，此情形與實驗施噴系統相當一致，至此更加了解到比例閥之閥口開度與其流量之特性。

2.表 5 是比較在幫浦不同壓力設定下，比例閥三段開度(20%、40%、60%)與可提供流量的關係，應注意的是在變率之外，也應該考慮到在不同壓力設定下所能提供田區的總量，這對將來的應用也具有決定性影響。

表 5. 比例閥三段開度與流量關係。

(單位：LPM)

閥口開度	壓力(kg/cm²)				
(%)	10	13	15	18	20
20	7	10	12	13	14
40	18	23	25	27	28
60	23	27	30	32	34

3.觀察到壓力設定在 15 kg/cm² 以下流量變化呈現較穩定平滑的變化，至 20 kg/cm² 則流

量呈現較不穩的情形出現，研判應與流量計在高壓下的穩定性有關，也就是與流量計的適用壓力有關。

4.因爲壓力幫浦是由引擎帶動，對於各級壓力設定下會出現少數幾次流量測試曲線的突然性變化，應是引擎在怠轉時的轉速不同變化所造成。

以下將對各種壓力設定下，比例閥閥口開度在 11%～64%作回流量趨勢的線性迴歸分析，以求取回流量與比例閥閥口開度的關係，圖 8 係壓力設定在 15kg/cm^2 時之回流量與比例閥開度迴歸分析圖，至於其他壓力設定時之關係圖，亦有類似之趨勢。

當壓力設定在 10 kg/cm^2 時，其流量趨勢方程式爲：

$y=-0.008x^2+1.0158x-8.9898$

$R^2=0.9973$(x:閥口開度 y: 流量)

壓力設定在 13 kg/cm^2 時，其流量趨勢方程式爲：

$y=-0.0101x^2+1.2461x-11.289$

$R^2=0.998$ (x:閥口開度 y: 流量)

壓力設定在 15 kg/cm^2 時，其流量趨勢方程式爲：

$y=-0.0102x^2+1.2958x-11.112$

$R^2=0.998$ (x:閥口開度 y: 流量)

壓力設定在 18 kg/cm^2 時，其流量趨勢方程式爲：

$y=-0.0118x^2+1.4801x-14.56$

$R^2=0.9974$(x:閥口開度 y: 流量)

壓力設定在 20 kg/cm^2 時，其流量趨勢方程式爲：

$y=-0.0137x^2+1.6534x-16.441$

$R^2=0.9987$(x:閥口開度 y: 流量)

由以上趨勢方程式結果來看：在這五種壓力設定下，管路回流量是和比例閥閥口開度是呈二次多項式正比的，當閥口開度越大，回流量則越大。此外，從趨勢方程式也可看出：當幫浦壓力設定愈高，其回流量也愈高。但要記得這僅限於在比例閥開度 11%～64%範圍之間。

(三)討論

對於變率施噴系統，歷經實驗變率施噴系統的測試改良，再結合噴藥車既有的施噴系統，利用控制回流量進行變流率動態測試，最後找出比例閥閥口開度與流量的特性關係。而閥口開度對流量可控制範圍在 11%～64%(電壓 3V～7V)間。若將流量以三段區分控制(閥口開度：20%、40%與 60%)再配合幫浦壓力設定的五段壓力(10kg/cm^2 、13 kg/cm^2 、15 kg/cm^2 、18 kg/cm^2 與 20 kg/cm^2)即可產生 15 段的變率施噴效果，可控制之施噴量從 7 LPM～34 LPM，多段的變率控制將有利於應用在多變的作業環境上，使對病害蟲的噴藥作業得到更精準的要求。

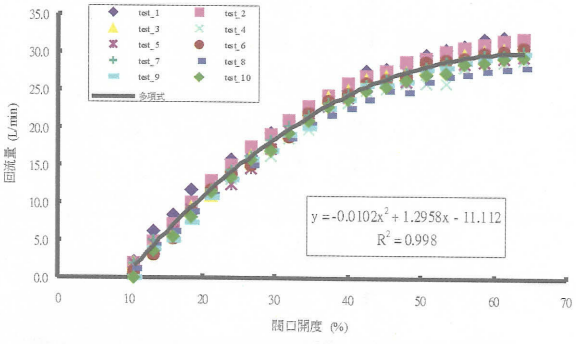


圖 8. 回流量與比例閥開度迴歸分析。(壓力設定 15kg/cm^2)

五、結語

本研究之主要貢獻是進行精準農業體系下的噴藥車變率施噴系統的初步設計，包括了

結合 GPS 定位系統與 GIS 等不同的理論基礎與軟硬體介面，再配合桿式噴藥車施噴系統的改良，使施噴系統具有變流率控制的效果。

噴藥車變率施噴系統部份，本文提出 15 段變率施噴法，利用幫浦之設定壓力與比例閥閥口之可控流量開度(11%～64%)結合，使變率施噴量範圍從 7 LPM 至 34 LPM，大幅增加了變率施噴的應用效果。

另外，經由實驗施噴系統與噴藥車施噴系統的動態測試，獲得比例閥閥口開度(11%～64%)對流量的控制特性呈二次正比的關係。

未來在變率施噴的應用上，首先取得經過 GIS 分析之病蟲危害程度圖層的待施藥田區之地理座標，藉由噴藥車上安裝的 GPS 接收儀引導至病蟲危害的田區，當噴藥車進入受病蟲害程度不同的田區時，則由 GPS 即時定位座標比對 GIS 圖層預設的不同程度區塊座標以判斷噴藥車所處之田區，並給予適當的施噴策略(15 段變率施噴法)，以達到因地制宜且適地、適量的目的。

六、誌謝

本項研究承蒙行政院農業委員會(89 遙測-4.1-糧-41(5), 90 農科-4.1.1-農-C2(2))及農委會農業試驗所 (91 農科-5.1.3-農-C2(C2), 92 農科-1.1.6-農-C1(C2))經費支持，謹藉以表示由衷感謝。

七、引用文獻

鉅業汽車企業有限公司。1998。桃改型桿式噴藥車 ZTSL 500 型使用說明書。

鉅業汽車企業有限公司。1998。桃改型桿式噴藥車 ZTSL 500 型修護手冊。

楊純明。2000。精準農業之關鍵要素與科技。p.16-23。水稻精準農業(耕)體系之研究。楊純明、林俊義，主編。行政院農委會農業試驗所，臺中縣。

Berry, J.K.1998.Who's minding the farm?. GIS world. February 1998:46-51.

Blackmore, S.1994.Precision Farming: An Introduction. http://www.cranfield.ac.uk/SAFE/cpf/.

Clark, R.L.1998.Practices and Potential assessing an Agricultural Revolution in Progress.http://www.precisionfarming.com /feature/0497clark.html.

Jensen, T. and L. Hall.1999.Precision Spraying-working toward an ideal. GPS world. February 1999:38-42.

Johnson, R.R., J.S. Hickman and W.F. Smith.1997.Precision Farming in Mechanized Agriculture.63-69.Society of Automotive Engineering paper no.972760.

Lachapelle, G., M.E. Cannon, D.C. Penny and T.Goddard.1996.GIS/GPS Facilitates Precision Farming. GIS world. July 1996:54-56.

Monson, R.J.1997.Navigation in Site-specific Agriculture.71-81.Society of Automotive Engineer paper no.972761.

Shibusawa, S.1998.Precision Farming and terramechanics. In"5th ISTVS Asia-Pacific Regional Conference", Korea.

Thompson, K.1998.Amber Wave of Grain-the age of precision agriculture has arrived. GEOWorld. October 1998:46-48.

Trimble Navigation Limited.1998.TSC1 Asset Surveyor Operation Manual.

Trimble Navigation Limited.1998. Asset Surveyor Software User Guide.

Trimble Navigation Limited.1997.Pathfinder Office Getting Started Guide.

Development of a GPS-operated Sprayer – Basic Study of the Variable-rate Spraying System

Chung-Kee Yeh[*1], Ying-Tar Liao[1] and Lien-Sheng Liang[2]
[1]Department of Bio-Industrial Mechatronic Engineering, National Taiwan University, Taipei, Taiwna, ROC.
[2]Divisiont of Agricultural Engineering, Agricultural Research Institute, COA, Taichung, Taiwan, ROC
E-mail:ckyeh@ccms.ntu.edu.tw

ABSTRACT

In the field, the real time position of the boom sprayer is obtained from a GPS receiver according to its space coordinate data. For the spraying system in the boom sprayer the feasibility is investigated by adding a proportional flow control valve. The opening of this control valve corresponding to the flow rate and real time error of the GPS receiver are obtained by experiment. First, a variable-rate spraying system and a positioning system was designed and tested separately. In the spraying system, system backflow rate is used to control the spraying rate. Then this system was tested dynamically in order to understand the influence of various setting values of the proportional control valve vs. backflow rate under the different pressure setting values of the pump. Finally, the data was analyzed by means of the regression method to predict the characteristics of the system performance. The experimental results show that for the backflow rate the controllable range of a proportional valve is within 11%～64%. The range is then divided into 3 stages： 20%、40%and 60%, with 5 various pump spraying pressures. There were 15 different variable-rate spraying outputs. For the purpose of variable environment, the spraying capacity is from 7 LPM to 34 LPM.

Key words: Precision agriculture, Boom sprayer, Variable-rate spraying, GPS, GIS.