

# 自走式噴霧車藥液桶攪拌效果分析

## Simulation and Analysis on the Mixing Effect inside a Tank of a Self - Propelled Sprayer

國立台灣大學農業機械工程學系教授

國立台灣大學農業機械工程學系研究助理

吳中興

李志萍

Chung-Hsing Wu

Chih-Ping Lee

### 摘要

由於台灣的氣候高溫且多濕，農作物栽培時，易受到昆蟲及病菌的危害。因此，噴灑農藥以防治病蟲害，為不可缺少的作業程序之一。施用農藥時所使用的機具，統稱為防除設備，動力噴霧機為常見的防除設備之一。執行噴灑農藥作業時，應準確地預估農藥的需求量，藥劑過量及不足皆不適宜，並且在噴灑作業時，在不同時段，噴出液中之藥劑濃度，應該趨近於恆定，使得同一園區內之病蟲害防治效果為一致，同時藥劑使用量亦可維持在最低的水準，以避免藥劑隨空氣四處流竄，為害鄰近人畜之健康。為了有效地控制藥劑的使用量，在動力噴霧機藥液桶內裝置有攪拌器，於施藥的過程中仍能持續地攪拌藥液，以確保施藥的適量與均勻度。

吳[3]於83年度間執行經濟部工業局「自走式高性能噴霧車之研究開發」計劃，研發高性能之噴霧車，其使用的攪拌方式，為於藥液桶的底部預設噴射入口，藉由噴霧泵的壓力將一部份的藥物混合液，由噴射入口送回藥液桶，而產生高流速的水柱攪拌藥液桶內的藥液，避免因藥劑的沉澱，造成了施藥的不均。在本研究計劃執行中，採用計算流體力學分析軟體，模擬藥液桶內攪拌情形的流場分佈，並進行分析討論其攪拌效果，結果用來輔助研究工作之執行。

根據計算模擬的結果，時間的變化分別設定為0.01(sec)、0.1(sec)、1(sec)、2(sec)及3(sec)，攪拌器所產生的高速水柱，在藥液桶內形成一個小渦流，且渦流的擾動範圍逐漸地擴大，在第三秒時，渦流擾動的範圍已影響到藥液桶大部份的區域。藉著渦流的擾動，可以達到攪拌藥液桶內藥液的效果，有效地控制施藥的均勻度，達到病蟲害防治之目的，以利農作物的生產。

**關鍵詞：**防除機具，自走式噴霧車，攪拌器，計算流體力學。

### ABSTRACT

Due to the warm and wet climate in Taiwan, plants are usually harmed by pests.

Therefore, spraying is necessary for pest control. Machines which are used for pest control are called pest control equipment. During the spraying operation, the quantity of pesticide should be used accurately since it is not proper to use less or too much. To efficiently control the quantity of the pesticide, mixer is installed inside a tank of the sprayer. The mixer will continually blend the solution during the spraying process in order to control the quantity of the pesticide and make the concentration of the pesticide uniform.

During 1997 to 1995, Wu[3] was the principal investigator of the project "The Development of a Self-Propelled Sprayer" which was funded by the Industry Bureau of Economic Department. The objective of the project was to develop a spraying car with high performance. The mixing process will be stated as following: The jet inlet is set on the bottom of the tank. Some amount of pesticide solution is sent back to the tank from the jet entrance by the pumping pressure of the sprayer. A high speed water current is charged to the tank to mix effectively the pesticide solution and avoid the sedimentation of the solute. In this study, we simulate the distribution of flow field inside the tank of a sprayer by the software of Computational Fluid Dynamics(CFD) in order to analyze the mixing effect of a mixer.

The simulation results show that the high speed water current can generate a small vortex inside the tank and the range affected by the disturbance of the vortex enlarges gradually. Because of the strong mixing effect induced by the disturbance of the vortex, the concentration of the pesticide solution inside the tank is very uniformly distributed. This mixing operation will improve the performance of pest control, which is helpful to the plant growing.

**Keywords:** Pest control equipment, Self-propelled sprayer, Mixer, Computational Fluid Dynamics(CFD)

## 一、前言

農作物在栽育的過程中，常常會遭到昆蟲及病菌的危害，造成了農民重大的損失。為了防止病蟲害，降低作物生產成本，及提高作物生長品質，必須適度地噴灑農藥，以消滅病蟲害。施用農藥時所使用的機具，統稱為防除設備(pest control equipment)。動力噴霧機(power sprayer)為常見的防除設備之一，其噴霧系統主要的構成基本元件包括：噴霧泵(pump)、噴霧管路(pipe)、藥液桶(tank)及噴嘴(nozzle)。噴霧泵對藥液加壓，藉著噴霧管路將農藥由藥液桶輸送到噴嘴，再由噴嘴上的小孔噴出霧化，以散佈微細的霧粒，使其附著於農作物的葉片上，達到預防及消

滅病蟲害之目的。

藥液桶中的液劑農藥會產生沉澱的現象，影響到施藥的均勻度，使得霧化的農藥有時過高，有時過低。濃度過高時，將造成了生態環境的污染；濃度過低時，則無法有效地防治病蟲害。因此，必須在藥液桶中裝置攪拌器，確保藥劑在施藥的過程中，與水溶液保持充分地均勻混合。依據動力形態的不同，攪拌的方式可分為：(1)機械式攪拌(mechanical agitation)與(2)水壓式攪拌(hydraulic agitation)。機械式攪拌是在藥液桶底部裝設螺旋槳狀的攪拌器，以 100 至 200rpm 的速度攪拌，避免液劑農藥沉澱於藥液桶的底部；水壓式攪拌是在藥液桶的底部預設噴射入口，利用噴射泵的壓力將一部份的藥劑混合液，由噴射入

口送回藥液桶，混合液進入藥液桶後會產生渦流，藉著渦流的擾動使液劑農藥混合均勻[10, R.A. Kepner et al.,1972]。

吳[3]於 83 年至 84 年間主持經濟部工業局「自走式高性能噴霧車之研究開發」計劃，研發高性能之噴霧車，其車型如圖 1 所示，以試圖滿足現有國內高株果樹病蟲害防治作業之需求。噴霧系統中採取水壓式攪拌方式，攪拌器之動力源乃是由噴霧機將水柱傳入攪拌器中之漸縮型噴嘴而產生流速更高之水柱，藉此攪拌藥液桶，避免藥液桶內藥劑的沉澱，造成了施藥的不均。

## 二、研究目的

依據我國新農業政策，未來的農業生產，須達成提高機械化之防除效率，降低作物生產成本，及提昇作物生產品質等目標，以增加農民之收益。目前國內果樹作物栽培，在人力缺乏，及國際貿易要求自由化之雙重壓力下，已造成極大的衝擊。果樹栽培目標，除了產量增加外，品質的提昇尤其重要。在果樹栽培的防除工作上，目前使用的人力噴霧機，小型自走式噴霧車，或是自動管路噴霧裝置等設施，只能滿足棚架式作物，或中低型作物之防除作業。未來將對高株作物之防除作業機械化之需求殷切，惟目前國內尚未生產大馬力且高性能之防除機械，這些機械全仰賴進口。進口產品因價格高昂，且功能未符合國內作物之栽培環境，作業上常造成農民無謂的損失，所以國內須要自行研發高性能的噴霧車，以滿足現有國內高株果樹防除作業之需求，並進一步進軍國際市場。

自走式高性能噴霧車的藥液桶內裝置攪拌器，於施藥過程中仍能持續性地攪拌藥液，而不致使藥劑有沉澱之情形，影響到施藥之均勻度。本研究以計算流體力學(Computational Fluid Dynamics, 簡稱 CFD)分析軟體 FIDAP，模擬藥液桶內流場的分佈，使我們了解到其流體的變化情形，攪拌器確實有混合攪拌，避免施藥不均的效果。

## 三、數學模式與數值方法

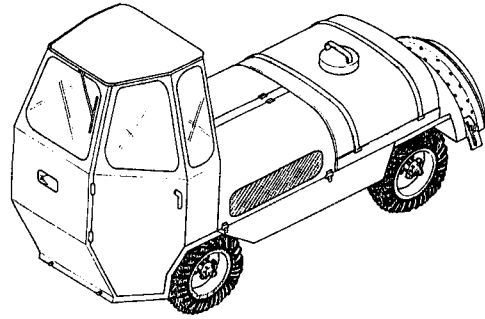


圖 1 自走式高性能噴霧車之車型外觀

CFD 係以數值方法將流場離散化，並求其數值進似解的計算。常見的 CFD 數值方法計有：(1)有限差分法(2)有限體積法(3)有限元素法等。本文的研究，是以 CFD 有限元素分析軟體 FIDAP，以有限元素分析法做噴霧機藥液桶內流場的二維模擬分析，其幾何形狀與格點配置，如圖 2 及圖 3 所示。藥液桶底部右邊 130mm 處接著高壓膠管，藉著噴霧泵將藥液壓提昇至  $35\sim 40\text{kg/cm}^3$ ，藥液由此處流出。藥液桶底部右邊 290mm 處裝置漸縮型噴嘴的攪拌器，噴霧泵將一部份的藥液，以  $10\sim 15\text{kg/cm}^3$  的壓力由此傳入，而產生高流速的水柱，攪拌藥液桶內的藥液。圖 2 的上方為自由曲面(free surface)，為藥液桶內藥液的曲面，將隨攪拌的過程而產生變化。由於藥液為不可壓縮流體(incompressible fluid)，流體的密度設為一常數。為了簡化運算的處理，本研究做了以下的假設：

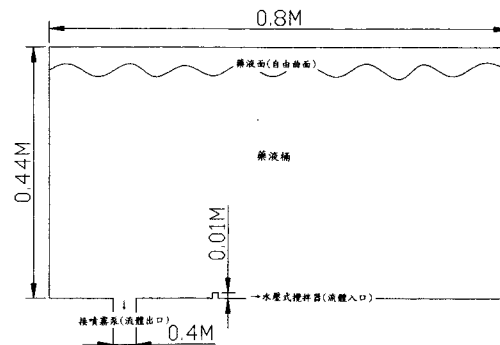


圖 2 噴霧車藥液桶內流場之幾何圖形

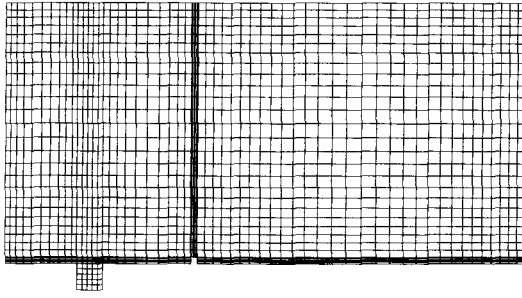


圖 3 噴霧車藥液桶內流場之格點配置

- (1) 忽略了溫度及浮力對流場的影響。
- (2) 忽略了重力對流場的影響。
- (3) 忽略了藥液的表面張力對流場的影響。
- (4) 忽略了噴霧車搖晃對流場的影響。

基於上述的假設，流體的統御方程式分述如下：  
連續方程式：

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

動量方程式：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)$$

以上各式中，諸變數所代表之意義為：

- $u$  : x 方向的速度分量
- $v$  : y 方向的速度分量
- $x$  : 直角座標系之 x 軸方向
- $y$  : 直角座標系之 y 軸方向
- $t$  : 時間
- $\rho$  : 密度
- $p$  : 壓力
- $\mu$  : 流體黏滯係數

本文為暫態(transient)自由曲面流場的模擬，亦即流場速度的分佈及自由曲面將會隨著不同的時間而產生變化。有關流場的初始條件、邊界條件，及流體性質定義如下：

### (一) 初始條件的設定：

假設當時間  $t = 0$  時，藥液桶內的流體為靜止狀態。而時間  $t > 0$  時，流體開始流動，分別以  $1.5\text{m/s}$  的速度由入口處流入，及  $0.5\text{m/s}$  的速度由出口處流出。

### (二) 邊界條件的設定：

由於流體具有黏滯性，因此假設在藥液桶壁上及底部流體的速度皆為零。入口處及出口處流體的速度分述如下：

入口處： $u = 1.5\text{m/s}$ ， $v = 0\text{m/s}$

出口處： $u = 0\text{m/s}$ ， $v = -0.5\text{m/s}$

自由曲面為藥液與空氣的介面，其邊界條件及座標位置為未知，將隨著時間而改變，以方程式  $S(x(t), y(t), t) = 0$  表示，將方程式等號兩邊對時間做全微分，則

$$\frac{DS(x(t), y(t), t)}{Dt} = 0$$

亦即，

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} = 0$$

因此，可根據此方程式求得自由曲面位置的變化及邊界條件[9, I.G. Currie, 1993]。

### (三) 流體性質參數的設定：

由於藥液為不可壓縮之流體，因此密度設為一常數。並且，由於是等溫流場的假設，並不計算能量方程式，因此相關流體的設定，僅定義密度與流體的黏滯係數。

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

本研究的數值計算為解初始值問題(initial value problem)，Runge-Kutta 法為常見的初始值計算方法，其方法簡單且結果較為準確，因此本文採用二階 Runge-Kutta 法計算。

#### 四、結果與討論

本研究之目的在探討水壓式攪拌器在噴霧機藥液桶內的攪拌效果，避免藥液產生沉澱現象，達到均勻施藥之目的。根據模擬的結果，分別對藥液桶內不裝置攪拌器及藥液桶內裝置水壓式攪拌器兩種情形做比較分析。

圖 4 至圖 8 為藥液桶內不裝置攪拌器流場之流線圖，時間分別為  $t = 0.01(\text{sec})$ ， $t = 0.1(\text{sec})$ ， $t = 1(\text{sec})$ ， $t = 2(\text{sec})$ ， $t = 3(\text{sec})$ 。由圖形顯示，由於藥液不斷地由出口處流出，使得液面漸漸地下降。於靠牆區域之液面高度，由於液體之黏滯力大於其內聚力，使得藥液附著於牆上，因此液面高度下降較不明顯。並且，由於沒有攪拌的效果，藥液桶內無渦流產生，將使得藥劑將沉澱於藥液桶底部，導致施藥的不均勻。

圖 9 至圖 13 為藥液桶內裝置攪拌器流場之流線圖，時間分別為  $t = 0.01(\text{sec})$ ， $t = 0.1(\text{sec})$ ， $t = 1(\text{sec})$ ， $t = 2(\text{sec})$ ， $t = 3(\text{sec})$ 。圖 9 為  $t = 0.01(\text{sec})$

之流線圖，流體流動的方向，一部份由液面流向出口處，另一部份由攪拌器射出的水柱流向出口處，此一瞬間，攪拌混合的效果並不明顯。圖 10 為  $t = 0.1(\text{sec})$  之流線圖，此時在攪拌器的上方形成一個小渦流。圖 11 為  $t = 1(\text{sec})$  之流線圖，由圖形可以看出，攪拌器上方渦流擾動的範圍漸漸地擴大，藉著渦流的擾動攪拌藥液，混合的效果亦逐漸地顯著。圖 12 為  $t = 2(\text{sec})$  之流線圖，渦流擾動的範圍再度擴大，出口處流出的流體，為經過攪拌混合後的藥液，因此藥液較為均勻。圖 13 為  $t = 3(\text{sec})$  之流線圖，由圖形顯示，在藥液桶中心形成的大渦流，其擾動的範圍，可以影響到藥液桶內大部份的區域。圖 14 為  $t = 3(\text{sec})$  之速度向量圖，由噴嘴射出的高速水流，在藥液桶中心位置產生一個大渦流，使得藥液桶內的藥液產生了強制對流，將底部濃度高之藥液帶到上方藥液濃度較低之區域，而達到混合攪拌之效果，以確保施藥之均勻。

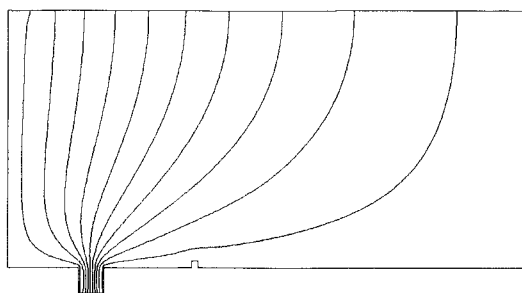


圖 4 藥液桶內不裝置攪拌器流場之流線圖( $t=0.01$ )

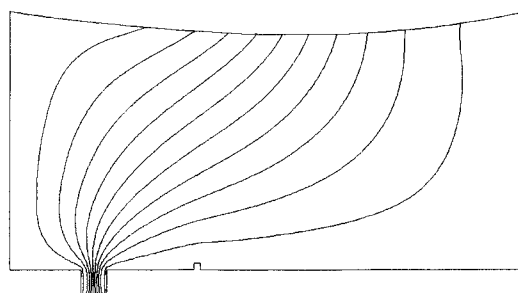


圖 6 藥液桶內不裝置攪拌器流場之流線圖( $t=1$ )

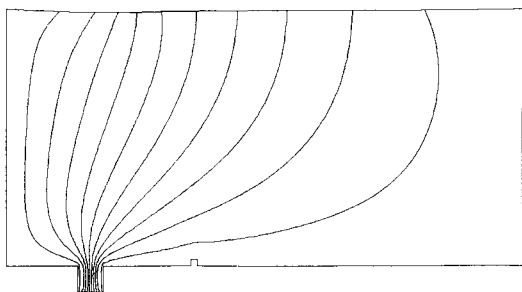


圖 5 藥液桶內不裝置攪拌器流場之流線圖( $t=0.1$ )

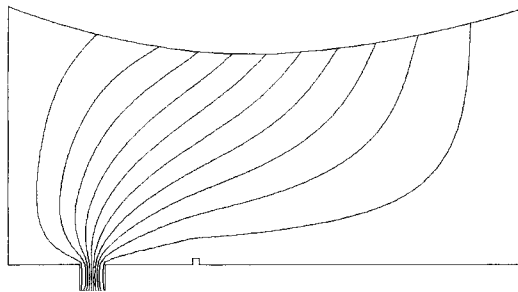


圖 7 藥液桶內不裝置攪拌器流場之流線圖( $t=2$ )

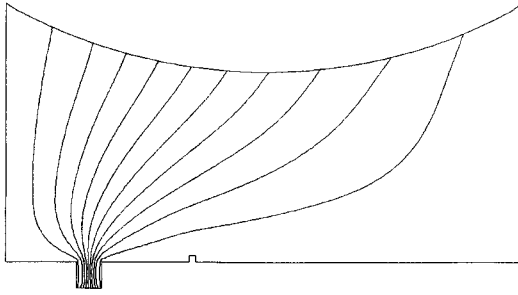


圖 8 藥液桶內不裝置攪拌器流場之流線圖(t=3)

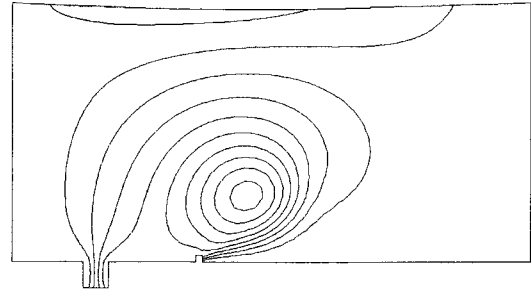


圖 11 藥液桶內裝置水壓式攪拌器流場之流線圖(t=1)

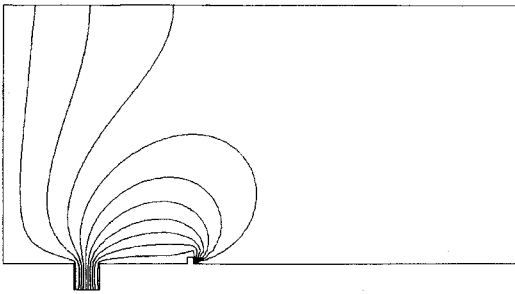


圖 9 藥液桶內裝置水壓式攪拌器流場之流線圖(t=0.01)

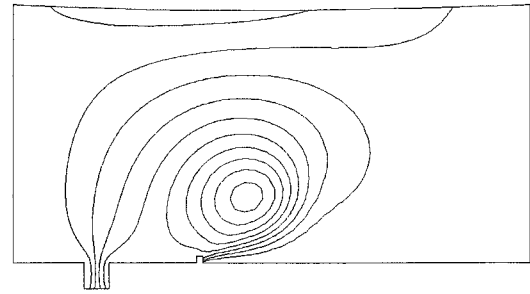


圖 12 藥液桶內裝置水壓式攪拌器流場之流線圖(t=2)

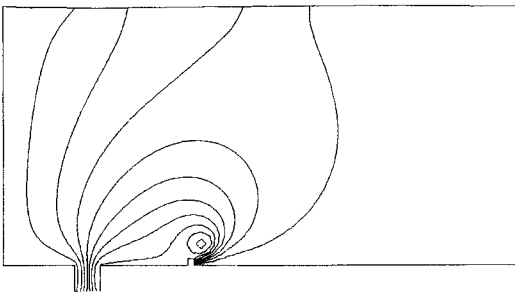


圖 10 藥液桶內裝置水壓式攪拌器流場之流線圖(t=0.1)

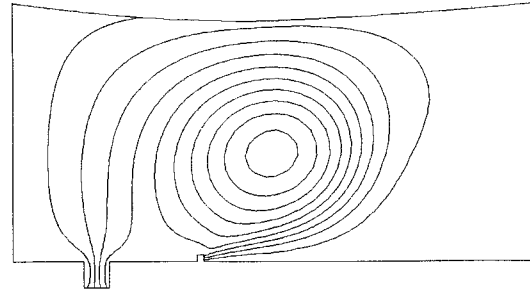


圖 13 藥液桶內裝置水壓式攪拌器流場之流線圖(t=3)

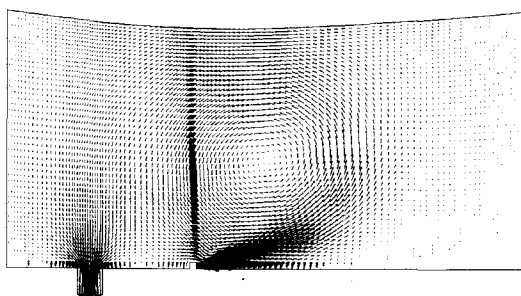


圖 14 藥液桶內裝置水壓式攪拌器流場之速度向量圖(t=3)

## 五、結 論

根據數值計算模擬分析討論後的結果，可得到以下的主要結論：

1. 藥液桶內不裝置攪拌器時，藥液不斷地從出口處流出，但是藥液桶內並沒有渦流的產生，因此藥劑將漸漸地沉澱於底部，造成了施藥的不均勻。
2. 利用水壓式攪拌器所產生的高速水柱，能在藥液桶內產生渦流，藉由渦流的混合攪拌，可以使藥劑與水均勻混合，以防止藥劑的沉澱。
3. 藥液桶內渦流擾動的範圍，將隨著時間的增加而逐漸地擴大。在第三秒時，渦流的擾動範圍，已可影響到藥液桶內大部份的區域。因此，在極短暫的時間內，即可見到混合攪拌所產生的效果。
4. 在施藥時，若是使用藥量過稀，則無法達到有效防治病蟲害之目的；然而，使用過量的藥劑，將危害人類及其他生物的健康，成為生態環境的污染源之一。因此，混合攪拌的效果，成為防除機具設計上重要的考量。利用數值模擬分析的結果，使我們對於攪拌的情形有初步的了解，可做為防除機具設計上的參考。

## 六、誌 謝

本研究工作是由經濟部工業局委託農業機械化研發中心執行「農業工業研究開發新產品第

五年度計劃」之子計劃，計劃編號「8301020104」，子計劃名稱為「自走式高性能噴霧車之研究開發」。感謝工業局提供經費補助，及台中佳農機械股份有限公司林瑞國先生在執行過程中的多方面協助與支持，謹此一併致謝。

## 七、參考文獻

1. 台南區農業改良場。1995。區域鼓風式施藥技術的研究。自動化施藥技術研討會。台灣省農業試驗所。
2. 邱銀珍、游俊明、吳文政、何新奇、施清田、鄭榮瑞、葉仲基、盛中德、王明茂。1995。水稻施藥的研究。自動化施藥技術研討會。台灣省農業試驗所。
3. 吳中興。1995。自走式高性能噴霧車之研究開發。經濟部工業局八十四年度專案計劃執行成果報告。台北：財團法人農業機械化研究發展中心。
4. 盛中德。1995。間歇式施藥技術的研究。自動化施藥技術研討會。台灣省農業試驗所。
5. 梁連勝、蔡致榮、周廷弘。1995。高架式施藥機械。自動化施藥技術研討會。台灣省農業試驗所。
6. 黃禮棟。1995。氣體輔助噴霧器之研究。自動化施藥技術研討會。台灣省農業試驗所。
7. A.J. Stepanoff, 1965. Two-Phase Flow: Flow and Pumping of Solids in Suspension and Fluid Mixture. John Wiley and Sons, Inc.
8. Erdal Ozkan. 1995. "Current State of Pesticide Application Technology in the U.S.A." Seminar of Automation in Pesticide Application Technology. Taichung, Taiwan R.O.C.
9. I.G. Currie, 1993. "Fundamental Mechanics of Fluids", 171-211. New York: McGraw-Hill, Inc.
10. Kepner R.A., Roy Bainer and Barger E.L. 1972 "Principles of Farm Machinery", 269-295. U.S.A.: The Avi Publishing Company, Inc.

11. Koichi Tosaki. 1995. "Recent Trend of Research and Development of Pest Control Machine in Japan." Seminar of Automation in Pesticide Application Technology. Taichung, Taiwan R.O.C.
12. Wesley, R.A., L.A. Smith and J.R. Williford. 1988. "An enclosed system for pesticide mixing

and loading." ASAE paper No. 88-1583. ASAE. St. Joseph, MI 49085.

收稿日期：民國 86 年 5 月 14 日

接受日期：民國 86 年 5 月 25 日