

## 多目標噴灑灌溉系統效率評估模式之研討

### The Evaluation Criteria for Multi-purpose Sprinkler Irrigation Systems

國立臺灣大學農業工程學系副教授

蘇 明 道  
Ming-Daw Su

#### 摘 要

由於工商業發展導致農村勞力減少，加上水資源之日益短缺，台灣急需以較省水與省工之方式來取代以往的旱作地表灌溉，目前農委會有鑑於此，亦以補助旱作灌溉設施之方式積極推廣噴灑灌溉，農民則由於轉作高經濟性作物（如水果蔬菜等）亦有很高的意願進行噴灑系統之設置，此一推廣計畫行之有年成果顯著，對提昇農業水準及節省水資源亦頗有貢獻。由於管路系統之設備及操作費用偏高，農民為提高系統之使用性，已開始朝向多目標噴灑灌溉系統之方向設計使用，其中以利用噴灑系統噴施農藥及肥料最為普遍盛行，由於此種趨勢日益明顯，而多目標噴灑灌溉系統之設計、操作管理及評估和以往單純之噴灑系統不同，有必要加以研討並建立相關之設計及評估之方法，以供日後應用之參考。本文即以噴灑系統兼用農藥噴施為研討對象，期能建立相關之設計標準及效率評估方式作為系統設計及評估之參考。影響噴藥時藥液分佈狀況之因素，除噴頭本身之特性外，主要有噴藥時間、受藥位置、操作壓力與氣象的變化，本研究先針對時間與位置兩項變因進行研討，亦即經由藥液附著度對時間及空間上之變化，研究噴頭試驗與噴灑施藥系統設計及評估之方法。研究中將噴頭架設於室內實驗室中在無風狀態下進行噴灑試驗，並使用對水分敏感的水試紙進行藥液之附著度採樣以進行噴灑特性之分析，由線性關係導出附著度隨時間變化關係式；空間上的變異則利用區域化變數理論進行空間內差，分析附著度在空間之上變化情形，進而利用附著度在目標區之均勻程度來評估系統優劣。本研究並提出一噴藥系統之效率特性曲線，以為噴頭檢定與噴藥系統設計之依據。

關鍵詞：噴灑灌溉、農藥、系統評估、均勻性。

#### ABSTRACT

The water demand in Taiwan from municipal and industrial water use sectors grew intensively in the last decade. For more effective use of the limited water resources, sprinkler irrigation systems are used more and more widely in Taiwan. The initial in-

vestment and the following operation costs are relatively high for sprinkler irrigation systems, but they can be automated to reduce labor cost and can also be used as application systems for fertilizer or pesticide. The distribution of the pesticide is determined by the kind and performance of the spray nozzle, operation time and pressure, canopy shape of the target crop, and weather conditions. To design an adequate pesticide application system, the 3-dimensional spatial distribution of pesticide around the nozzle is needed. This research is to study the spatial distribution of pesticide due to the variation of operation time and the arrangement of spray nozzles. Spray nozzles are installed and tested in an indoor laboratory under no wind condition. Water sensitive paper is used to simulate crop leaves and to collect data for pesticide adhesion. The degree of adhesion of pesticide are sampled and used for analysis. The description of the spatioal distribution of pesticide adhesion is done through the theory of regionalized variables by using minimum amount of data collected in the spray test. The relationship of performance variation to different operation time is also found. The spatial distribution of pesticide adhesion under different operation time can then be predicted so the optimum system operation time can be found. A system performance chart is also proposed in this study for evaluation of the pesticide spray systems.

Keywords : Sprinkler Irrigation, Pesticide, System Evaluation, Uniformity.

## 前 言

近年來由於經濟快速發展及人口激增造成水土資源日形短缺，農業生產逐漸移向邊際土地並採用較省水省工之管路噴灑灌溉技術以爲因應，因爲此種新進之灌溉技術有節約用水、操作方便、節省生產成本、提高農產品質等優點。此外對於邊際土地之開發利用，爲適應地形起伏並對較貧瘠或土層淺薄之耕地進行有效灌溉，採用管路施灌可以減少整地費用、降低土壤沖蝕，並可以少量多次施灌以減少深層滲漏。本省山坡地區域內適宜農牧生產者超過三十萬公頃，由於平地農地日益縮減，目前之農地開發以坡地爲主要對象，坡地開發水源取得不易，再由於其特殊之地形考量，坡地農作宜朝向使用省工、省水、多目標利用之高效率管路施灌方法，政府有鑑於此也於近年來大力提倡推廣，此種灌溉方法將成爲日後旱作灌溉發展之主要趨勢。

目前政府對管路灌溉之推廣採設備補助之方式，即由農民提出其設計資料，經政府相關單位審核後補助49%之設備費，希望能透過此種灌溉技術之推廣，有效利用國家寶貴之水資源並提昇農業生產之競爭力。此一推廣計畫行之有年成果

顯著，對提昇農業水準及節省水資源亦頗有貢獻。由於管路系統之設備及操作費用偏高，農民爲提高系統之使用性，已開始朝向多目標噴灑灌溉系統之方向設計使用，其中以利用噴灑系統噴施農藥及肥料最爲普遍盛行，由於此種趨勢日益明顯，而多目標噴灑灌溉系統、操作管理及評估和以往單純之噴灑系統不同，有必要加以研討並建立相關之設計標準及效率評估方式以作爲系統設計及評估之參考。

以往噴灑農藥多以人工方式進行，近年來爲工資高漲、雇工不易，且人工噴藥容易中毒，所以噴灑農藥逐漸朝自動化發展，常見之自動化噴藥系統有噴藥車與管碇噴藥系統兩種，管路噴藥系統是架設類似噴灑灌溉之管路系統進行藥液噴施，這類系統多使用高壓操作將藥液霧化後噴出，操作壓力大約在 $15\sim 20\text{kg}/\text{cm}^2$ ，設備費及操作費用均偏高，較適用於高價值之作物如梨或葡萄等。農民基於以往使用管路噴灑灌溉之經驗，以噴灑灌溉管路進行藥液噴施已日漸普遍。

噴灑灌溉是利用噴頭將水分噴灑到空中，再讓其均勻地散落於田區土壤上。如式(1)所列之均勻係數是用來評估水分於土壤中分佈均勻度之重要指標，雖然噴灑之水會被作物攔截，但是最後

幾乎所有的水分都會落至地表滲入土中，其情況較為單純只要在平面進行水分分佈之研討即可。但噴藥時則以藥液附著於作物之枝葉表面為目的，通常可以藥液在作物枝葉表面之附著度為效率評估之標準，為判定整體之附著度故需隨著作物枝葉生長情況必須做立體之附著度採樣。以管路系統噴施農藥時無法像人工噴藥般將噴嘴伸入作物中，因此除了附著度分佈均勻之程度外，尚必須考慮葉片中途攔截而影響後方葉片受藥之多寡，及葉面與葉背之差異，情況較為複雜。噴藥與噴灑灌溉之狀況雖有不同，但仍可利用噴灑灌溉之管路配置原理使噴藥系統噴灑之藥液得以因重疊而增加附著度分佈均勻性來從事噴藥作業的設計以提昇其效率。

噴藥與噴灑灌溉雖然在噴灑形態上有立體與平面之別，但其管路設計與噴頭之配置原理是相同的，皆需利用重疊噴灑的方式來獲得藥液均勻分佈的結果。本研究即以灌溉觀點出發，在管路系統多元化利用之目標下，為利用管路系統從事噴藥工作時，設計一試驗方法與評做標準，以為噴頭檢定與噴藥系統設計之依據。本研究以果樹噴藥為研究對象從事實驗設計。本文暫時假設果樹為圓柱狀（如圖1），先行探討藥液於圓柱體表面附著分佈之狀況。但為提高日後此後試驗大量執行之可行性，試驗進行時僅於離噴頭固定之距離與方位下之有限點進行採樣，但為得知圓柱表面噴藥之整體附著度分佈狀況，必須以有限之試驗資料進行空間內插，因此利用區域化變數理論為資料分析基礎進行內差，利用少量之附著度試驗資料推估全面之分佈狀況，再以疊加之方式而得知噴灑系統噴藥作業時之性能狀況。

此外噴灑時間直接影響附著程度之高低及藥液分佈之狀態，不同的作物或藥品會有不同的附著度需求因而需要不同的噴灑時間，瞭解時間與附著度之變化及其空間分佈關係，有助於噴藥系統的設計與操作管理，因此本研究中亦嘗試探求時間變化對附著度的影響。本研究之最終目標在於研討附著度在時間與空間上之變化，及推求適當的分析方法做為噴頭試驗設計與試驗資料分析之依據，並做為噴灑系統噴施農藥之設計的依據

和效率評估的標準。

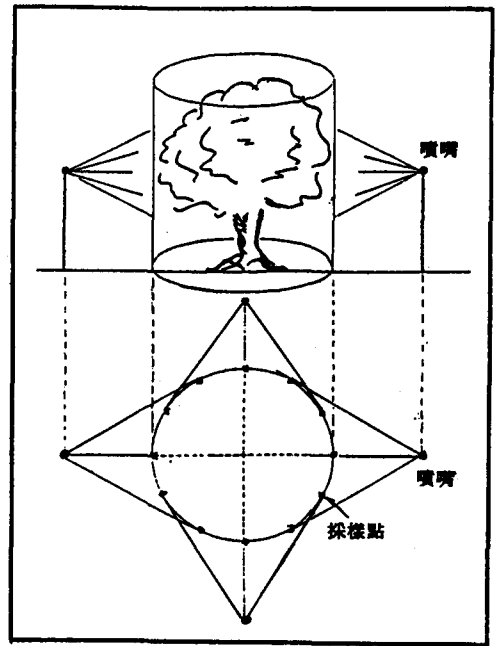


圖 1. 植株為圓柱狀假設示意圖

## 文獻探討

以往關於噴灑系統之研討大多著於系統水理之設計，隨著噴灑灌溉系統之發展，逐漸有將農藥與肥料直接注入灌溉系統中做多目標之利用，以減少勞力降低成本。Hermann G. J., G. M. McMaster, and D. W. Fitzsimmons (1974) 提出描述化學物質在噴灑支管混合情形的研究報告。蔡明華 (1974) 分析比較吸入式、壓入式與注入法等三種肥料注入灌溉系統多目標使用之參考。吳家昇 (1976) 提出一套簡易自動液混入裝置，並對其性能作理論之探討與檢定，配合實際經驗製成施肥操作方法之計算圖解，使實際應用更為簡便。黃騰鋒 (1994) 研究茶園穿孔管噴灑液肥混入裝置，由於施肥和噴灑之特性及需求相似，均是將水分與肥料均勻的送入土壤中，因此噴施水溶性液肥之問題較為單純。

McMaster and Douglas (1976) 研究利用噴灑系統噴施農藥以控制馬鈴薯蟲害，證實以灌溉系統噴施農藥能有效地防治馬鈴薯蟲害。W.W.Hare,

J.R.Young, and E.A.Harrell (1979) 利用單噴嘴系統實驗，研究當殺蟲劑注入灌溉水中後對玉米蟲害的控制玉米蟲害。可知以噴灑系統施農藥為一可行之方法。洪明治 (1989) 研究果園自動化管路噴藥系統，利用自動迴轉式高壓噴頭從事管路噴藥系統之設計，得到節省工資、提高效率等相當良好之結果。

目前較常用之噴藥噴灑系統大多採高壓迴轉式噴頭，其操作壓力高達每平方公分15~20公斤左右，而一般市售之微噴頭其操作壓力多低於每平方公分6公斤。陳孝瑜 (1993) 於微噴霧灌應用於噴施農藥之研究中，利用市售灌溉用之微噴霧噴頭，在一定的農藥附著度情況下，探討其適當的操作壓力，噴嘴的配置方式與間距，作為發展微噴霧噴藥系統之依據。該研究中以美國製雨鳥 (Rain-Bird) SP-24型微噴霧噴嘴進行實驗，但在室內實驗中立體面噴藥之附著均勻度很低，其建議可用高低噴頭重疊方式改善之。室外實驗結果顯示在微風狀態下噴灑效果最好。

由於實際之需要，以噴灑系統噴施農藥之技術日漸為農民所接受，但目前關於利用噴頭做農藥噴施之效能評定標準及設計與評估之規範均附之闕如，田間之噴藥系統設計均以經驗為之，有可能因設計不當或過度設計而造成經濟損失或污染環境。本研究擬研訂建立噴頭噴藥試驗之方法，以及多目標噴灑灌溉系統之效率描述與評估之方式，以作為日後相關器材檢定及系統設計與評估之參考。

## 研討方法及試驗佈置

目前使用之噴灑噴藥系統大多未能在系統架設前做好完善之設計，如果事後才發現效果不彰，往往因改善不易徒增困擾。但要設計合理之系統，必須先對噴頭之性能有完整之了解，由於考慮噴灑系統之多目標應用，其噴頭性能之檢定和一般傳統之噴灑灌溉性能檢定不同，因此有必要設計合理、有效一簡便之試驗程序，以便獲取噴頭性能資料。

### 附著度判讀之標準

本研究中以水試紙採集噴藥模擬試驗之資

料，水試紙為對水分相當敏感之試紙，未經使用之乾燥水試紙為黃色，在遇水後則變為藍色，將水試紙置於噴灑範圍內，則可測得該位置之藥液附著度。附著度係指藥液在樹葉表面之附著程度。本研究中附著度判讀標準之訂定是以一微噴霧噴嘴由數秒至數十秒做不同時間之噴灑，取粗顆粒與細顆粒二組資料，依附著程度分佈之範圍由最小到最大由0%、10%、20%直到100%，訂出二張標準附著度判讀圖。由於在設計及評估過程中影響較大的是分佈均勻性，亦即田間各部分中之相對誤差，因此附著百分比只代表附著程度之差異，並非附著面積之百分比。判讀附著度時是以人工將試驗所得之試紙和標準附著度比對以判讀其附著程度，如介於二個附著百分比之間時則取中間值，如判定附著度在10%與20%之間則取15%。

### 試驗配置

果樹之外形極為複雜，常因樹種不同而有所差異，且樹葉多成隨機分佈互相重疊遮斷，由於本類研討是屬首次且尚未有較合適之方式描述此種隨機之分佈情況，故目前假設果樹成圓柱狀，且只有圓柱表面受藥，請參考圖1所示。

影響農藥噴散之因子眾多，其中外在的因子主要為風速、溫度與濕度，其中又以風速影響最大且變化較大，因此試驗首先需在無風狀態下進行，等了解噴頭性能後，方能進一步探討風對噴頭性能之影響，本研究中之試驗即在室內無風狀態下進行。試驗佈置不僅需達到前面所提之目的，亦必須符合省時、省工、省材料之原則以便於將來大量推廣應用之需。試驗之佈置簡述如下 (請參考圖2之佈置示意圖)：

- (1) 在三組垂直桿上每隔20cm安置一張水試紙。
- (2) 將垂直桿分別置於間隔60度之三軸上。
- (3) 以噴頭為起點每隔50cm做一次試驗，直至噴灑範圍外，但因在距離較近時會因佈置擁擠不易操作，或會因噴頭滴下之水滴濺到試紙上造成誤差，故本研究之試驗距離由150cm開始，試驗時間則視流量而定，一般不會超過60秒，本試驗採用30秒。

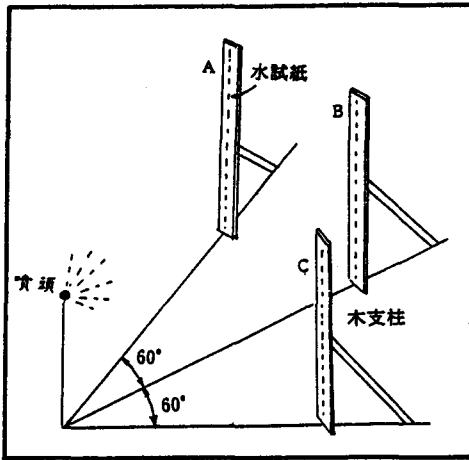


圖 2. 試驗佈置示意圖

試驗過程中為減少誤差，有下列事項必須注意：

- (1) 系統啟動後，需先運轉一段時間，待其穩定後再進行試驗。試驗中系統必須維持在穩定運轉狀態，試驗開始前將噴頭蓋住，開始計時同時將遮蓋物拿開，時間結束時再將遮蓋物蓋上。噴灑試驗結束後必須等待數秒鐘，讓所有水滴都落定後再回收試紙。
- (2) 試驗前噴頭雖被遮住，但水分會從遮蓋物處落下，因此開始試驗前應防止較近處之試紙濺到水滴。
- (3) 當攔試紙之垂直桿附着過多水分時，就會有水珠往下滑，可能會滑過試紙而影響試驗結果，且因試紙對水濕氣相當敏感，為減少誤差，在一組試驗前後須將垂直桿拭乾。

由於目前之試驗是在室內無風狀態下進行，因此有下列之假設：

- (1) 噴灑狀況對空間各方向呈現均勻之分佈：以噴頭為中心，如各方向之噴灑狀況不均勻，則無法對噴灑系統做合理的設計，因此必須各方向有均勻的噴灑狀況，此噴頭才能應用於噴藥系統上。各方向附著度之分佈均勻，即表示噴灑附著度之分佈型態僅與距離及高度有關而與方向無關。

(2) 附著度與時間成線性關係：由於不同之作物及藥物之特性，噴藥時間之要求亦會有所不同，於進行試驗收集噴頭噴灑特性資料時，限於時間及經濟之考量僅能就某些特定之時間進行試驗，且由於時間乃是一連續變數，要對所有可能之時間分別做試驗實際上並不可能，因此必須探討有關噴灑型態與時間變化之關係，以利用有限之試驗資料於系統之設計及操作管理之研討時推估某特定操作時間之噴灑特性。

### 差異係數

噴灑系統之優劣，必須視噴灑目標區內水量分佈或藥液附著之均勻度而定。從事噴灑灌溉設計時常用之均勻係數CU (Coefficient of uniformity) 是瞭解在某設定之條件下噴灑均勻程度的重要指標；此係數是在噴灑範圍之面積內，以固定間距擺設多數量筒採樣，觀測噴灑後各量筒所攔截得之水深，並以式(1)計算而得。均勻係數愈高表示各點之灌溉水深愈接近；均勻係數等於1.0時為一理想狀況，田區各點之灌溉水深一致；若噴灑很不均勻則會形成部份田區灌溉不足部份田區灌溉過度之現象，無法使灌溉水充分有效的利用。本研究以附著度取代灌溉水深，將均勻係數應用於噴藥之附著度分析。但在推求附著度之均勻係數時，由於噴藥分佈之特性常有許多點之附著度為零使均勻係數成為負值，為避免此一現象，因此定如式(2)之差異係數來取代，用以評估噴灑噴藥系統之均勻效率。差異係數愈小時其均勻性愈佳，若差異係數大於1.0時，表示有許多之觀測值極小或為零。

$$CU = 100 \times \left( 1.0 - \frac{\sum |X_i - M|}{N \times M} \right) \dots\dots\dots (1)$$

式中M：觀測值之平均

N：觀測值之個數

$X_i$ ：觀測之水深

$$\text{差異係數} = \frac{\sum |X_i - M|}{N \times M} \dots\dots\dots (2)$$

### 空間內差與克利金推估法

區域化變數理論源自採礦工程中之礦量分析，主要應用於需要利用少量的資料推估某物理

量於某區域內分佈之狀況，亦常應用於水文氣象及生物分佈等具有空間分佈特性資料推估整個噴灑範圍內之附著度分佈狀況。克利金推估法 (Kriging Estimation) 是以區域化變數理論為基礎之空間分佈資料估算方法，利用已知點對推估點之權重值進而求出預測值。其主要之功能是對某個具有空間分佈特性之物理量 (如本研究中之藥液附著度)，利用少數資料進行空間內差以推估某個特定區域內該物理量之分佈狀況。

為探討利用克利金作空間資料推估之可用性，以  $0.4\text{kg}/\text{cm}^2$  下進行噴藥試驗之資料為例，在距噴頭 150、200、250、300、350 及 400cm 處進行附著度採樣，所得之附著度實測值列如表 1。利用試驗之實測值代之克利金推估式中計算距離 225cm 之估計值，所得如表 2 所示。因附著度判讀時只判讀為五之倍數 (如 5%、10%、15%……等)，因此將推估值修正為相同形式得表中修正值。修正之方法是當推測值之個位以下部份小於 2.5% 時修正為 0%，大於 7.5% 改為 10%，介於二者之間則為 5%。由表 2 中之資料及其他之試驗資料分析結果顯示推估值與實測值之最大誤差均僅為 5%，推斷利用克利金推估法進行附著度內差為有效可行之方法。

#### 附著度之時間變化分析

噴藥時附著度之需求會因不同之病蟲害或使用的藥劑不同而有所差別；對某一點而言，噴灑時間愈久其附著度就愈高，但若噴灑過久則可能因而造成許多藥液流失到土壤中引起環境之污染，因此必須依各種附著度要求及系統設計情形，調整噴藥時間以得到最適當之操作結果。為有效進行噴頭試驗並應用於噴藥系統的設計，必須了解附著度與時間變化關係。

如果噴頭性能穩定則附著度應與時間呈線性之變化，圖 3 為一灌溉用撞擊式噴頭操作壓力  $2.0\text{kg}/\text{cm}^2$  時施灌水深與時間之關係圖，圖中每一條線代表一測點之施灌水深隨時間的變化情形，圖中顯示每一測點施灌水深隨時間成線性之變化。附著度與時間變化關係與灌溉水深對時間變化相似，圖 4 為本研究中使用的川山牌螺旋形噴頭於壓力  $3.5\text{kg}/\text{cm}^2$ ，距離 250cm 處各不同高度處附著度

於不同時間下之變化情形 (資料列如表 3)，每一條線代表一測點不同時間 (20 秒、50 秒、80 秒、100 秒) 之附著度變化，在相同時間下附著度較高之測點其附著度隨時間之變化關係。若將 200、250 與 300cm 三個測試軸下各測點不同時間之附著度迴歸成通過原點之直線，其斜率代表該測點之附著度隨時間之變化率列出如表 3。

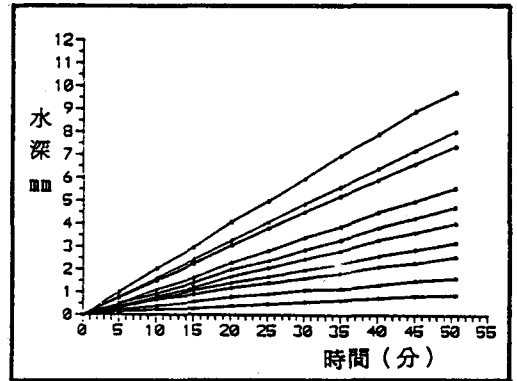


圖 3. 噴灌水深與時間之關係

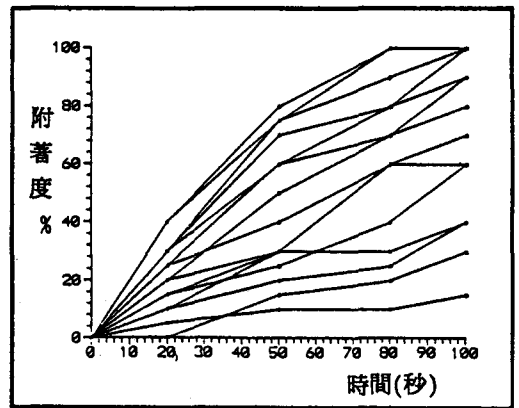


圖 4. 噴灑附著度與時間之關係

若以距離 200cm，時間 20 秒、50 秒、80 秒與 100 秒之附著度為 X 軸，其附著度隨時間之增加率為 Y 軸繪成圖 5，同樣的對 250cm、300cm 作圖如圖 6 及 7。由圖 5 至圖 7 可知附著度及其隨時間之變化率之間成幾近線性之關係，因此將其迴歸成通過原點之直線 (如表 4)。因為附著度最高為 100%，到達 100% 後雖然附著藥液可能增加，但判讀之讀數不再增大，因此做迴歸時只要有任一時間之附著度達 100% 之測點則剔除之。表 4 為某特定時間下，一測

表 1. 壓力4.0kg/cm<sup>2</sup>附著度之實測值

距離 cm	高 度 cm														
	300	280	260	240	220	200	180	160	140	120	100	80	60	40	20
150	0	25	40	50	55	60	80	80	80	70	60	45	40	30	20
200	5	10	15	20	35	40	50	65	55	55	55	40	30	30	25
250	5	5	5	5	15	15	20	20	25	30	25	25	25	15	15
300	0	0	0	0	0	5	5	10	10	10	15	20	15	10	10
350	0	0	0	0	0	5	0	5	0	5	5	5	5	5	10
400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5	5

表 2. 壓力4.0kg/cm<sup>2</sup>距離225cm附著度推估值

高度cm	300	280	260	240	220	200	180	160	140	120	100	80	60	40	20
實測值	5	5	10	15	20	30	30	45	40	35	35	30	25	20	15
推估值	4.9	6.8	9.3	14.0	21.6	28	34.5	39.6	41.1	41.3	38.8	33.3	27.7	23.3	20.2
修正值	5	5	10	15	20	30	35	40	40	40	40	35	30	25	20
誤差	0	0	0	0	0	0	5	5	0	5	5	5	5	5	5

表 3 附著度與時間之迴歸斜率

距離 cm	高度 cm	附 著 度				斜 率	R <sup>2</sup>
		20 秒	50 秒	80 秒	100 秒		
200	300	5	10	10	15	0.150	0.72
	280	0	15	20	30	0.277	0.91
	260	10	20	25	40	0.373	0.92
	240	15	30	60	70	0.705	0.98
	220	20	50	70	80	0.855	0.96
	200	25	60	80	100	1.031	0.97
	180	30	75	100	100	1.158	0.80
	160	40	80	100	100	1.181	0.56
	140	40	75	90	100	1.126	0.61
	120	30	70	80	90	1.010	0.71
	100	30	60	70	90	0.943	0.82
	80	25	40	60	70	0.741	0.89
60	20	30	60	60	0.658	0.89	
40	15	25	40	60	0.557	0.95	
20	10	30	30	40	0.420	0.79	
250	300	0	0	0	0	-	-
	280	0	5	5	5	-	-
	260	0	5	5	0	-	-
	240	5	5	10	15	0.137	0.84
	220	5	15	20	20	0.231	0.84
	200	10	30	30	30	0.368	0.37
	180	15	30	35	50	0.497	0.88
	160	10	30	50	65	0.632	0.99
	140	20	40	60	60	0.684	0.84
	120	20	35	65	70	0.744	0.95
	100	25	30	60	60	0.663	0.78
	80	25	45	60	60	0.702	0.59
60	25	35	55	60	0.655	0.78	
40	15	30	50	45	0.534	0.78	
20	15	25	35	45	0.459	0.92	
300	300	0	0	0	0	-	-
	280	0	0	0	0	-	-
	260	0	0	0	0	-	-
	240	0	0	0	0	-	-
	220	0	0	5	0	-	-
	200	0	0	5	0	-	-
	180	5	5	10	15	0.137	0.84
	160	10	20	20	20	0.249	0.41
	140	10	30	35	60	0.544	0.91
	120	10	30	35	60	0.544	0.91
	100	10	25	40	60	0.552	0.96
	80	10	30	40	50	0.513	0.98
60	20	35	35	50	0.516	0.51	
40	10	20	30	50	0.446	0.92	
20	15	30	30	40	0.425	0.56	

點之附著度與對應之時間變化率間之關係，表中顯示不同距離但相同時間時其變化關係相當接近，且時間與此斜率約略呈線性變化。表4中之平均值與時間關係之迴歸式為：

$$Y = 0.0367 - 0.00029 \times X \dots\dots\dots (3)$$

式中X：時間

Y：附著度增加率

綜合以上結果可得一以某特定時間T<sub>0</sub>為基準時，另一時間T之推求方程式。

$$E_t = D_0 + (0.0367 - 0.00029 \times T_0) \times D_0 \times (T_t - T_0) \dots\dots\dots (2)$$

式中E：t時間時之推估值

T<sub>0</sub>：基準時間

D<sub>0</sub>：基準時間時之實際觀測值

T<sub>t</sub>：欲推估之時間

式(4)可以用來對任何時間之附著度作推測，若以t=30秒之附著度實測資料來推估t=40秒之附著度時，T<sub>0</sub>=30，T<sub>t</sub>=40，D<sub>0</sub>=30秒時之附著度，代入(4)中即可求出40秒時之推估附著度E<sub>t</sub>。表5為30秒為基準推估40秒及60秒時推測值與實測值之比較，表中之推估值是以上述之方法推算後再以前空間內差克利金推估法節中所述之修正方法修正後之數值，大部份誤差均在10%和15%之間，此外由於是由t=30秒之實測資料內插所得，故40秒時之推估結果亦較60秒時之推估結果好。

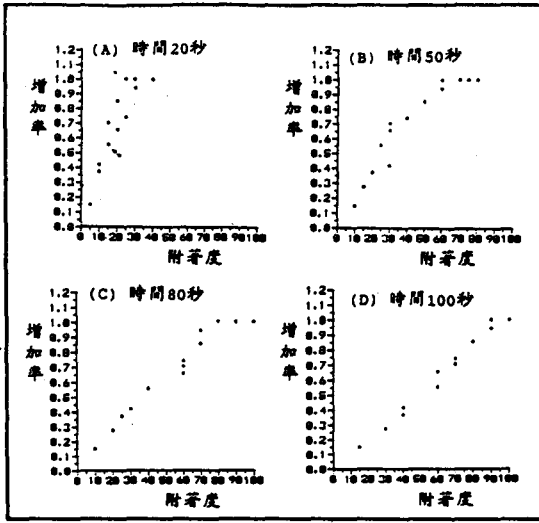


圖 5. 附著度與其隨時間之增加率(距離200cm)

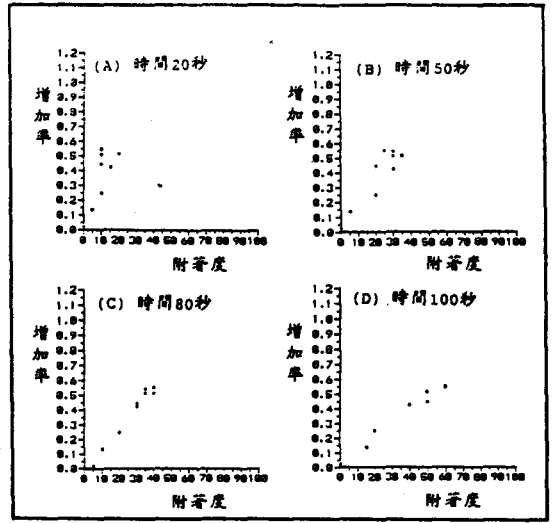


圖 7. 附著度與其隨時間之增加率(距離300cm)

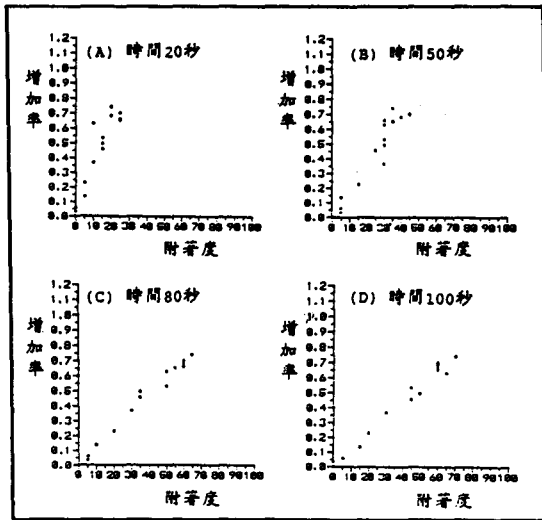


圖 6. 附著度與其隨時間之增加率(距離250cm)

表 4. 附著度變化率與時間之關係

距離 (cm)	時 間			
	20 秒	50 秒	80 秒	100 秒
200	0.0345	0.0167	0.0125	0.0105
250	0.0314	0.0178	0.0117	0.0108
300	0.0367	0.0171	0.0142	0.0096
平均	0.0342	0.0172	0.0128	0.0103

## 結果與討論

綜合前文述，分析評估多目標利用之噴灑系統效率時，試驗資料必須經過空間內差、時間換算與疊加後，再計算差異係數與平均值據以進行噴藥系統之效率評估。以下以壓力 $3.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 之試驗資料為例說明，表6所列為其附著度之實測值。

- (1)空間內差：噴藥時必須考慮果樹的高度與直徑，假設以 $H$ 代表果樹噴藥區高度， $D$ 為果樹覆蓋範圍之直徑， $L$ 為噴頭到果樹距離。以 $H=0\sim 200\text{cm}$ ， $D=200\text{cm}$ ， $L=150\text{cm}$ 為例，將果樹枝葉範圍分為12等分，如圖8所示，可求出單一噴頭在所及範圍內各點之附著度，因噴頭各方向呈均勻之噴灑並配置成對稱，且為無風之狀態，因此僅需以 $P_1$ 、 $P_2$ 及 $P_3$ 三點代表即可，噴灑時間為30秒之內差結果見表7。
- (2)噴灑時間換算：利用式(4)以30秒為基準，求出60秒推算值如表8所示。
- (3)疊加：圖8中 $P_2$ 及 $P_3$ 兩點同時在二個噴頭之噴灑範圍內，將時間推算值疊加，得30秒、60秒之疊加推算值，如表9。



表 5. 40秒及60秒附著度估計值(p=3.5kg/cm<sup>2</sup>)

距離		高度(cm)	300	280	260	240	220	200	180	160	140	120	100	80	60	40	20
200公分	40秒	實測值	10	10	20	25	30	60	70	70	60	65	50	40	30	20	20
		估計值	5	5	20	25	40	60	65	65	50	45	45	40	30	30	25
		誤差	5	5	0	0	10	0	5	5	10	20	5	0	0	10	5
	60秒	實測值	10	20	25	55	65	65	80	90	80	70	65	45	45	45	25
		估計值	10	10	30	40	55	80	90	90	75	65	65	55	45	45	40
		誤差	0	10	5	15	10	15	10	0	5	5	0	10	0	0	15
250公分	40秒	實測值	0	0	0	5	5	15	30	35	30	35	25	35	25	20	25
		估計值	0	5	5	5	5	20	25	25	30	25	40	40	30	20	20
		誤差	0	5	5	0	0	5	5	10	0	10	15	5	5	0	5
	60秒	實測值	0	5	5	10	20	30	35	40	60	60	35	40	30	35	35
		估計值	0	10	10	10	10	30	35	35	45	35	55	55	45	25	25
		誤差	0	5	5	0	10	0	0	5	15	25	20	15	15	10	10
300公分	40秒	實測值	0	0	0	5	5	15	30	35	30	35	25	35	25	20	25
		估計值	0	0	0	0	0	5	5	15	15	20	25	40	20	25	25
		誤差	0	0	0	0	0	5	0	5	5	5	5	10	10	5	5
	60秒	實測值	0	0	0	0	0	0	10	20	30	40	35	30	35	25	30
		估計值	0	0	0	0	0	10	10	20	20	30	35	55	30	35	35
		誤差	0	0	0	0	0	10	0	0	10	10	0	25	5	10	5

(4)計算差異係數與平均值：以表9內所列之附著度計算差異係數與平均值，結果得於30秒時之平均附著度為69.8%，差異係數為0.34；60秒時之平均附著度為90%，差異係數為0.15。

判讀附著度時最大值為100%，超過100%後可能還會有藥液再附著上去，但已無法得知其變化情形；因此做附著度時間推測及疊加時如有超

表 6. 壓力3.5kg/cm<sup>2</sup>下附著度之實測值

距離 cm	高 度 (cm)															
	300	280	260	240	220	200	180	160	140	120	100	80	60	40	20	
150	0	15	40	65	85	90	90	80	65	50	40	30	25	25	20	
200	5	5	15	20	25	35	55	55	50	45	35	30	25	25	25	
250	5	5	5	10	15	20	20	30	25	25	20	20	20	20	20	
300	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	10	15	15	15	
350	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	
400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

表 7. 30秒時附著度之內差結果

位置	高 度 (cm)									
	200	180	160	140	120	100	80	60	40	20
P1	90	90	80	65	50	40	30	25	25	20
P2	71	75	72	63	52	43	34	28	25	22
P3	27	38	43	44	42	38	32	28	25	23

註：P1、P2、P3參考圖 8

表 8. 60秒時附著度推算值

位置	高 度 (cm)									
	200	180	160	140	120	100	80	60	40	20
P1	100	100	100	89	74	64	54	49	49	44
P2	95	99	96	87	76	67	58	52	49	46
P3	51	62	67	68	66	62	56	52	49	47

註：P1、P2、P3參考圖 8

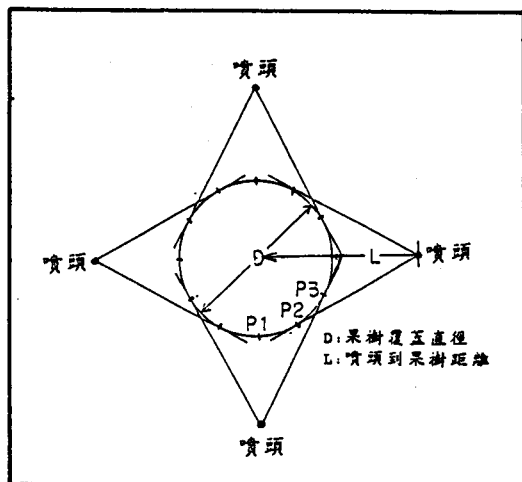


圖 8. 噴頭配置圖

過100%時則以100%表示之。附著度超過100%後噴藥已經明顯過量，所以噴灑目標區附著度超過100%的比例，亦可為噴藥系統評估之指標。利用上述方法分別計算不同時間附著度之平均值、差

表 9 30秒及60秒系統附著度疊加推算值

時間	位置	高度 (cm)									
		200	180	160	140	120	100	80	60	40	20
30 秒	P1	90	90	80	65	50	40	30	25	25	20
	P2	98	100	100	100	94	81	66	56	50	45
	P3	98	100	100	100	94	81	66	56	50	45
60 秒	P1	100	100	100	89	74	64	54	49	49	44
	P2	100	100	100	100	100	100	100	100	98	93
	P3	100	100	100	100	100	100	100	100	98	93

註：P1、P2、P3參閱圖 8

異係數、與超過100%的比例，結果得表10。

表10為附著度10秒至100秒之特性，其繪出如圖9，其中X軸為時間，Y軸分別代表差異數、附著度平均值之百分比、及附著度大於100%之比例。圖9可視為噴藥系統效率特性曲線。圖中顯示附著度平均值與附著度大於100%之比例隨時間增加而遞增，而差異係數則隨時間遞減，因為時間增加後會有愈多的推估點附著度變成為100%，所以差異係數變小，如果在某一時間內，所附著度有都未達100%，則該時間內之差異係數將維持不變。

由於一般灌溉設計標準之均勻度必須大於80%，若依此假設附著度之差異係數必須低於0.20，則可由圖9之特性曲線得知噴灑時間必須達50秒以上；又為避免用噴藥過度，假設附著度達飽和之樣本數不可超過70%，則噴藥時間必須低於63秒，所以限制時間在50秒與63間，此時間對應之平均附著度在86.6%與90.3%間，如果此範圍符合噴藥強度之需求，則此系統為良好有效之設計，若此範圍超量或不足，則為設計不良之系統。利用噴藥效率特性曲線即可評估所設計之系統是否運轉良好而有效率。理想的噴藥效率特性曲線如

表 10. 壓力3.5kg/cm<sup>2</sup>時系統之附著度特性表

時間(秒)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
差異係數	0.36	0.36	0.34	0.27	0.20	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06
平均值	31.70	51.90	69.80	79.40	85.60	90.00	93.00	94.50	95.60	96.50
N	0.00	0.00	0.20	0.50	0.60	0.67	0.77	0.83	0.87	0.87

註：1. N 為附著度大於 100% 之比例 ; 2. D=200 cm, L=150 cm, H=0-200 cm

圖10所示，差異係數皆低於0.2，而且無附著度超

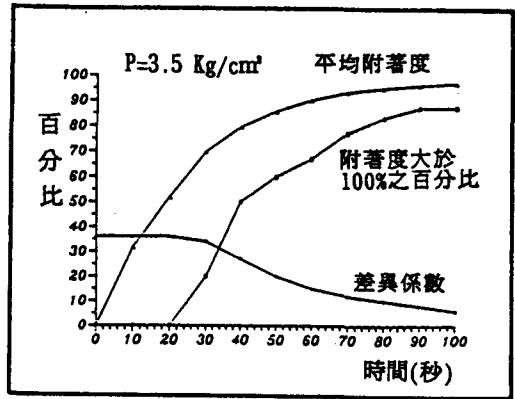


圖 9. 噴藥效率特性曲線

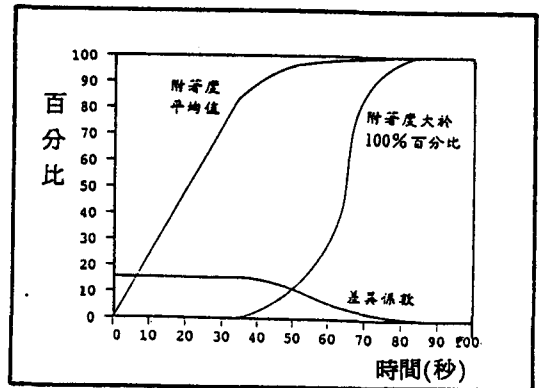


圖 10. 理想之噴藥率特性曲線

過100%情況下，平均附著度可達90%。

由一噴藥效率特性曲線可得知該配置條件下噴灑狀況之優劣，亦可以將相同配置不同操作壓力下比較不同壓力的差異。圖11為壓力3.5kg/cm<sup>2</sup>與5.0kg/cm<sup>2</sup>下，覆蓋直徑300cm，高度50-200cm，噴頭距植株150cm之噴藥效率特性曲線。操作壓力5.5kg/cm<sup>2</sup>時，操作時間30秒可得75%的平均附著度，差異係數為0.15，附著度皆在100%以

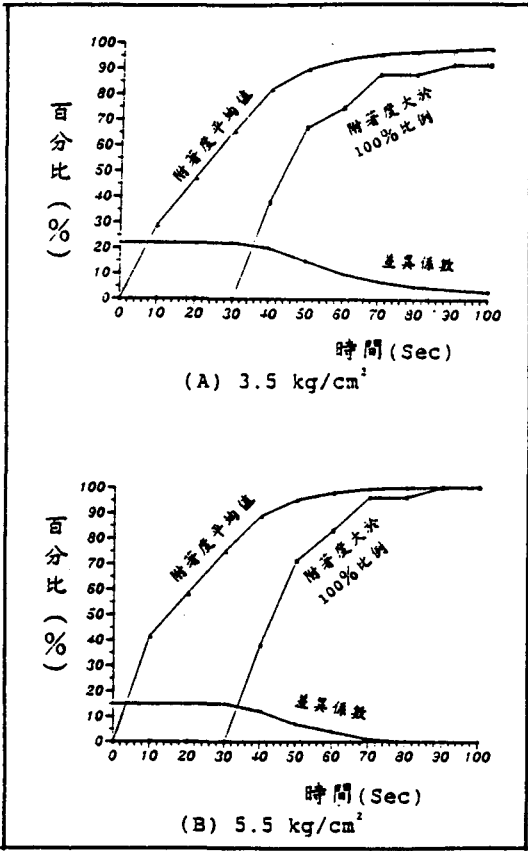


圖 11. 噴藥效率特性曲線比較圖  
(D=300cm, H=50-200cm, L=150cm)

下；操作壓力 $3.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 時，操作時間36秒，平均附著度亦可達75%，而差異係數為0.21，有22.8%之附著度過量，其噴灑效果較 $5.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 為差，兩種情況之用藥量恰好皆為2.7公升，因此若不考慮因提高壓力而增加之操作成本，操作壓力 $5.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 為較佳之操作方式。以不同操作壓力之噴藥效率特性曲線可比較出最佳壓力，如果由單一之特性曲線無法清楚地比較找出較佳的操作壓力。此外尚需以附著度之各種特性、藥液用量以及操作成本再做比較。

以上之探討僅考慮果樹外圍之藥液附著度，但是果樹內外與噴頭距離不同，加上外層樹葉會對內層樹葉產生遮蔽會使得附著度之差異更大。圖11為一中心距噴頭3m之果樹，將其分為半徑0.5m、1.0m與1.5m三種狀況，如果不考慮內外遮蔽造成的影響，將壓力 $5.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 所對應之三噴藥效率特性曲線作一比較得如圖12所示。假設要求平均附著度須達70%，則樹半徑為0.5m時需76，1.0m時需42秒，1.5m時則只需27秒，可見內外所需時間不同；假如如果樹半徑0.5m之平均附著度達70%為標準，則半徑1.5m部分之附著度皆超過100%，若以半徑1.0m之平均附著度達70%為標準，則半徑0.5m部分之平均附著度尚未達25%顯然不足；如果考慮內外遮蔽造成的影響，則差異會更大，所以果樹內外附著度的差異為一待克服之問題。

### 結論與建議

瞭解噴頭噴灑附著度於空間與時間之變化可清楚描述整個噴灑型態，有助於噴灑灌溉系統作多目標利用時之合理設計及供日後該系統操作管理時效率評估之參考。本研究中建立收集噴頭噴灑型態之試驗方式、以及利用少量試驗資料進行空間內差以推求整個噴灑空間內附著度分佈情況之模式，並推求出附著度空間分佈隨時間變化之情況，有助於噴灑系統設計及評估工作。本研究中建立初步噴藥系統效率評估之模式供作噴頭試驗及系統設計與評估之參考，但由於此項研究屬開創性質，尚有部分缺陷有待補強，以下摘要一些結論及建議供後續相關研究之參考。

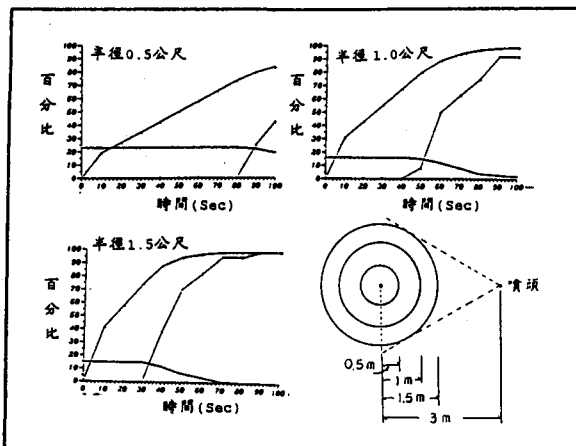


圖12.果樹內外層之噴藥效率性曲線( $p=5.5\text{kg}/\text{cm}^2$ )

(1)以區域以變數理論之空內差模式可以利用少量之試驗資料求得足以描述空間區域試驗資料，以作為系統設計的基礎。噴頭之噴灑附著度試驗必須滿足空間內差與時間變化的需要並儘量簡化程序，本研究建議一噴頭試驗程序，試驗佈置參考圖2，所得之試驗資料即可繪出附著度特性曲線供作多目標噴灑系統設計與評估之依據。

1.先量測噴頭噴灑半徑，並在離噴頭二分之一半徑的距離處豎立三等距離垂直桿，分別位於相距 $60^\circ$ 之三軸上，測量三方向之附著度是否均等，如果附著度之差距在10%以內則繼續進行試驗，否則即可知此為不適用之噴頭。

2.以噴灑半徑之 $1/4$ 、 $1/2$ 、 $3/4$ 三種距離分別將垂直桿放置於三軸上，每隔十秒鐘量測一次附著度直到有部分附著度達100%為止，此資料將用於推導出時間變化關係式，時間間隔可就實際狀況酌量增減。

3.從噴頭起每隔50公分試驗一組數據直至噴灑範圍為止，試驗間隔亦可酌量增減但以至少有六種距離為度，此試驗做為空間內插之基本資料。

(2)利用線性關性可以推導出附著度隨時間變化關係式，因此不必對每種可能之時間做個別試驗，即可利用已有之試驗資料推估其他操作時間之情況以探討最適當的操作時間。

(3)噴藥效率特性曲線可以表現出差異係數與噴灑量之關係，依據噴灑均勻度的要求或用藥量之限制，由特性曲線中可求得最佳操作壓力與噴灑時間，因此噴藥效率特性曲線可用為評估噴藥系統優劣之標準及設計與操作的依據。

(4)本文中僅探討果樹外圍之附著狀況，至於內層與外層樹葉的差異以及外層樹葉對內層樹葉在噴藥時產生遮蔽影響之研討必須對整個株體做適度之採樣，由於枝葉分佈之隨機性，採樣方法與試驗佈置必須做進

一步的研討。

(5)研究結果已經能夠描述附著度在時間及空間的變化，然而操作壓力對附著度產生之影響尚未求出，雖然由噴藥效率特性曲線可以求出適當的操作壓力，但是如果可以求得壓力變化之曲線，則能使噴藥系統評估工作更有效率。

(6)以人工判斷附著度往往過於主觀，結果常因人而異，雖然電腦影像處理輔助之判讀方式昂貴且費時，但在研究之初期仍應適度利用以降低人為誤差之影響，並作為尋求更有效判讀方法的依據。

(7)自動化噴藥系統可能會較人工噴藥產生更大藥液漏失而對環境造成污染，環保問題日後可能會成為噴藥系統自動化之一大阻力，因此對噴藥系統設計及評估應增加噴藥之有效量及損失量之研討。

## 謝 誌

本研究得行政院農業委員會經費補助始得以完成，研究期間承台灣省水利局規畫總隊崎頂沙坵地灌溉試驗站協助試驗，及台灣省政府農林廳農業藥物及毒物試驗所之協助，一併在此表示誠摯之感謝。

## 參考文獻

- 1.中國農村復興聯合委員會，管路灌溉方法及技術，農復會特刊新十五號，1974。
- 2.行政院農業委員會，微噴灌溉，農委會水利特刊第三號，1994。
- 3.吳家昇，配合灌溉系統之簡易自動液肥混入裝置及其性能與操作方法之研究，農業工程學報，(22)3:74-82，1976。
- 4.林永順、劉清和，自走鼓風式噴藥車柑桔園施藥，果農合作，(490):p44-48，1988。
- 5.洪明治，坡地果園管路噴水噴藥兼用噴頭之研究。
- 6.洪明治，果園自動化管路噴藥系統，豐年，39(1)，1989。
- 7.陳世凱，區域化變數理論應用於斗六地區含水層

- 流通係數變異性之研究，臺灣大學農業工程學研究所碩士論文，80p，1993。
8. 陳孝瑜，微噴霧應用於噴施農藥之研究，臺灣大學農業工程學研究所碩士論文，108p，1993。
  9. 陳貽倫，農用噴霧器之三試驗，農業工程學報，11(2):30-32，1965。
  10. 陳貽倫、祝敏雄，微粒噴霧器霧粒大小之觀測及統計方法，農業工程學報，12(2):45-47，1966。
  11. 陳貽倫，農用噴霧器檢定試驗報告，農業工程學報，17(2):7-13，1971。
  12. 許敏楓，雨量空間變異及站網設計之研究，臺灣大學農業工程學研究所碩士論文，141p，1993。
  13. 張瑞麟、李信玄，礦量評估之地質統計分析研究，礦冶，中國礦冶工程學會，32(4):78-p99，1988。
  14. 黃騰鋒，茶園穿孔管噴灌液肥混入裝置，管路灌溉技術研討會資料輯，水利局規畫總隊，1994。
  15. 鄭士仁，降雨深度最佳估計方法之研究極其應用於區域雨量站網之規劃設計，臺灣大學農業工程學研究所碩士論文，139p，1993。
  16. 蔡明華，配合噴灌系統噴施肥料之裝置及施肥方法研究，農業工程學報，20(4):51-64，1974。
  17. 龍國維，簡易設施用低成本自動噴藥裝置介紹，農業世界，NO.110，1992。
  18. 蘇昭山，微粒動力噴霧機性能試驗，農業工程學報，(9)2:21-23，1963。
  19. Edward H. Isaaks, R. Mohan Srivastav, Applied Geostatistics, New York Oxford University Press, 1989.
  20. Hare W. W., J. R. Young, and E. A. Harrell, Injection of Insecticide in Irrigation Water to Control Corn Earworm and Fall Armyworm on Corn, ASAE Transaction 22(5):1000-1003, 1979.
  21. Hermann G. J., and G. M. McMaster & D. W. Fitzsimmons, Mixing in Sprinkler System, ASAE Transaction 17(6):1020, 1974.
  22. McMaster G. M., and D. R. Douglas, Fungicide Application Through Sprinkler Irrigation Systems, ASAE, 19(6):1041-P1044, 1976.
  23. Richard H. Cuenca, Irrigation System Design-An Engineering Approach, 1989, Prentice Hall Book Co., 552p.

收稿日期：民國83年10月23日

接受日期：民國83年11月16日

(上接第84頁)

- power plant cooling water: heat transfer characteristics. Transactions of the ASAE 22(6): 1370-1374, 1380.
- Walker, P. N., J. N. Scarborough, and H. J. Rand. 1982. An experimental surface-heated greenhouse. Transactions of the ASAE 25(5):1022-1025.
- 杉二郎、井上裕雄、田中純生、野口勝一、高倉直、小穴敬喜。1962。九州大學環境制御實驗室にはる環境條件にてつて (I) 生物環境調節1(1): 24-32。
- 船田周、増井典良。1986。Controlled greenhouse にはる環境條件につつて (IV) : 屋根撤水わよびすだれ遮光の効果。生物環境調節6(1): 34-38。
- 小倉祐幸。1982。井水散水一重二層ハウスの保温性。農業設施14(1): 16-20。
- 小倉祐幸。1982。井水散水一重三層ハウスの保温機構。農業設施14(3): 10-15。
- 林村榮。1989。地下水使に省工ネ效果。機械化農業2: 24-27。
- 田中逸夫、石井征亞。1988。赤外線吸収根を用いた温室内の熱環境制御に關する基礎研究。岐阜大農研報51: 90-98。
- 田中逸夫。1989。赤外線吸収液流下式屋根を用いた温室内の昇温特性に關する基礎研究。岐阜大農研報52: 105-111。

收稿日期：民國83年8月20日

修正日期：民國83年10月19日

接受日期：民國83年11月1日