

棚架式作物農藥噴灑效率評估之研究

Study of Pesticide Application Systems performance for Vine Crops

台灣省水利局規畫總隊正工程師

朱 健 一
Chen-I Chu

國立台灣大學農業工程學系講師

陳 增 壽
Tzen-Show Chen

國立台灣大學農業工程學系碩士

李 俊 德
Chun-Der Lee

國立台灣大學農業工程學副教授

蘇 明 道
Ming-Daw Su

摘 要

近年來農藥噴灑自動化已逐漸普遍，部份文獻中亦曾針對噴藥系統效率評估進行研討，但大都著重於單株作物（如柑橘等果樹）噴藥效率之研究，目前有許多棚架式之作物栽培（如葡萄、梨等）亦採用自動噴藥系統施藥，棚架式作物與單株作物在藥液附著效果上有相當程度的不同，系統之效率評估方式亦有所差異，本文提出對定置式管路噴藥系統應用於棚架作物之農藥噴施進行效率評估之方法，供作系統設計、評估及操作之參考。

關鍵詞：農藥噴灑，自動化。

ABSTRACT

Automatic pesticide application systems are more popularly used in Taiwan. Sprinkler irrigation systems are modified, special sprinklers and higher pressure are used for automatic pesticide application. There were studies done on the evaluation of these systems specified on the operating time and pressure variations. These studies were done mostly on crops with tree shape (i.e. orchard). The sprinkler pesticide application systems are also used for vine crop (i.e. grape) in Taiwan. The pesticide application system performance for vine crop is very different from that for tree shape crop. This paper presents the results from system evaluation study on vine crop pesticide application.

Keywords : Pesticide application, Automation.

前 言

由於農村生活水準提高及勞力缺乏，自動化農藥噴施系統之需求日益普遍，國內有許多農由以往噴灑灌溉之經驗，架設定置式管路高壓噴霧系統進行農藥之噴施，但目前系統設計及操作均依經驗而行，對系統之效率以及對環境所可能造成污染之評估均付闕如，未能於發展噴藥自動化之同時兼顧對環境污染之衝擊以及經濟效益之提昇。近年來雖已有噴灑噴藥系統均勻性及效率評估方法之研究探討，建立在實驗室內利用水試紙對噴頭噴藥附著度及均勻度之檢驗方式，並利用空間內差模式推估噴霧系統之整體性能，初步架構評估噴藥系統之模式，但目前文獻中之研討均以單株果樹之噴藥為主要研究對象，從事實驗設計，其結果對於棚架式栽培之作物並不適用。棚架作物之枝葉呈平面分佈，與一般單株作物之枝葉成立體分佈有相當程度之差異，本研究擬利用目前農民常用之高壓噴藥噴頭，針對棚架作物之農藥噴施型態作進一步之研討，作為系統設計及操作之參考。

文獻探討

以往有關噴藥之研究多為噴藥機械及農藥藥效上之改良與試驗，而關於噴灑系統噴施農藥之研究則較為少見，由於農民對噴藥自動化及用藥安全之需求日益增加，此方面的研究才日漸受重視。早期之研究多集中於噴藥設備性能之檢測上，如蘇昭山(1963)、陳貽倫(1965,1971)、Hermann, McMaster & Fitzsimmons(1974)、蔡明華(1974)、吳家昇(1976)等之研究。日後因噴灌系統多目標應用之推展，開始有利用噴灑系統進行農藥噴施之研討，如McMaster & Douglas(1976)、Harc, Young & Harrell(1979)、林永順及劉清和(1988)、洪明治(1989)等。黃騰鋒(1994)研究茶園穿孔管噴灌液肥混入裝置，由於施肥和噴灌之特性及需求相似，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單純，該研究證實以管路灌溉系統兼施液肥成效良好。

近年來更有研究者針對噴藥系統之操作方法及噴灑效率進行研討，陳孝瑜(1993)利用微噴頭

進行實驗，探討其適當操作壓力、噴嘴配置方式與間距，作為發展微噴霧噴藥系統之依據。李俊德及蘇明道(1994)利用噴頭進行室內試驗，針對時間與位置兩項變因進行研究，並提出噴藥系統之效率特性曲線做為噴頭檢定與噴藥系統設計之依據。林詩淦(1996)探討高壓噴頭之壓力變化對系統噴灑效率之影響，發現操作壓力並非越高越好，在超過某一臨界壓力後，系統效率並不會因提昇壓力而提高。

前述各文獻大都著重於單株作物(如柑橘等果樹)噴藥效率之研究，但是目前有許多棚架式之作物栽培(如葡萄、梨等)亦採用自動噴藥系統施藥，棚架式作物與單株作物在藥液附著效果上有相當程度的不同，噴藥系統之效率評估方式亦有所不同，本文擬對定置式管路噴藥系統應用於棚架作物之農藥噴施進行效率評估之探討，供作系統設計、評估及操作之參考。

平面噴灑試驗配置

棚架作物如水梨、葡萄等，其枝葉生長方式與一般之單株作物(如柑橘)不同，目前這類作物亦普遍使用定置式噴藥系統，故必須考慮此類作物之生長型態，建立一以平面附著度為主之試驗佈置方法，研究噴灑在平面上之附著度分佈情況。本研究中對平面噴灑試驗的方法與步驟，大致採用文獻中(李俊德 1994)所建議之方式，主要不同處在將原放置水試紙的垂直豎板改為橫放，使其與地面成平行，由距離地面 20cm 做起，每次升高 20cm 進行一次試驗，由於本研究開始之初主要再研討低於噴頭處之附著分佈情況，試驗至高於噴頭處即不再進行，其試驗配置情況如圖 1 所示，於水利局崎頂權灌溉實驗站之室內噴灑試驗場進行試驗。為考慮棚架作物下層枝葉之噴灑模擬，並以相同之配置進行另外一組試驗，但將噴頭換成噴灑效果以向上噴為主之噴頭，且降低其高度至 24cm 處，水試紙正面朝下，豎板高度從 40 cm 做起，每次升高 20cm 直到噴灑附著度為零為止。平面試驗之資料收集後(列於表 1 及表 2)，再以 Krigging 方式進行空間上的推估，可得單噴頭噴灑之整平面附著度分佈情況。

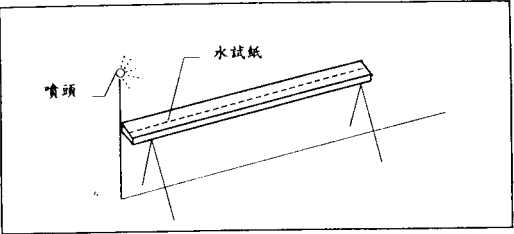


圖 1. 平面噴灑試驗配置圖

表 1. 水平噴灑試驗附著度資料摘要表 (向下噴灑)

高度cm	距 離cm															
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	
20	90	90	90	90	90	90	90	90	90	80	70	70	75	75	60	
40	95	95	90	90	95	95	95	85	80	90	85	85	80	75	60	
60	95	95	100	100	95	100	100	95	90	80	80	75	70	70	70	
80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	80	80	90	75	70	65	
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	75	65	60	50	
120	100	100	100	100	100	100	100	100	90	75	65	65	60	50	50	
140	100	100	100	100	100	90	80	80	70	70	65	65	60	60	60	
	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	
20	60	50	40	40	40	35	30	25	20	10	0	0	0	0	0	
40	55	45	35	35	35	30	25	20	10	0	0	0	0	0	0	
60	60	60	40	40	35	30	20	10	0	0	0	0	0	0	0	
80	55	55	45	40	35	30	20	15	10	0	0	0	0	0	0	
100	40	30	30	25	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
120	45	40	35	30	25	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
140	45	35	25	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

壓力：13kg/cm² 時間：一圖，平均9.69秒

表 2. 水平噴灑試驗附著度資料摘要表 (向上噴灑)

高度cm	距 離 cm															
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280		
220	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
200	10	20	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
180	5	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
160	50	60	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
140	80	85	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
120	90	85	80	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
100	100	100	50	5	15	70	80	65	50	15	5	0	0	0	0	
80	100	80	30	45	80	90	85	70	40	30	20	15	10	0	0	
60	100	100	100	100	100	85	65	50	30	25	5	0	0	0	0	
40	100	100	100	100	100	25	25	15	10	0	0	0	0	0	0	

壓力：13kg/cm² 時間：一圖 (平均10.12秒)

本研究並沿襲傳統評估噴灑灌溉系統之方式對噴藥系統平面上的附著度分佈狀況進行模擬，先假設不同的噴頭間距，在配置四噴頭間之矩形區域內以網路方式劃分，計算該區域內各網格點經由四支噴頭同時噴灑後附著度之平均值、差異

係數及附著度觀測值超過 100 % 之資料比例等特性，其噴頭配置情況如圖 2 所示。本研究將網格間距暫定為 50cm，四支噴頭噴灑後會有藥液重疊的情況，將網格交叉點位置上受各噴頭噴灑之附著度疊加，如此便可得到該區域內分佈均勻各點之附著度，再綜合矩形內所有網格交叉點上的受藥情形，分析其噴灑特性。本研究之試驗噴頭高 143.5cm，若假設棚架作物之枝葉面高度為 100cm (亦即於噴頭下方 43.5cm 處) 進行噴灑附著度採樣，以各種不同之噴頭間距配置進行系統模擬，可繪出附著度疊加情況如圖 3、圖 4、圖 5、及圖 6 所示，各種配置之噴灑特性分析列如表 3，圖中乃假設四個噴頭至於四個角落處噴灑所得之附著度分佈情形，橫軸表示距離，橫軸表示距離，縱軸代表附著度。

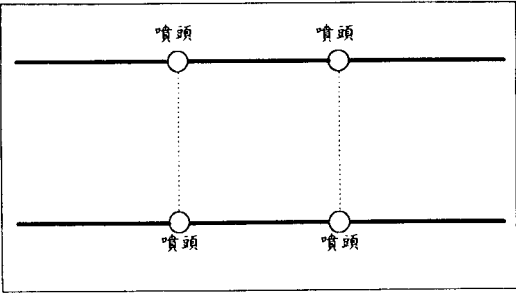


圖 2. 水平面噴灑配置示意圖

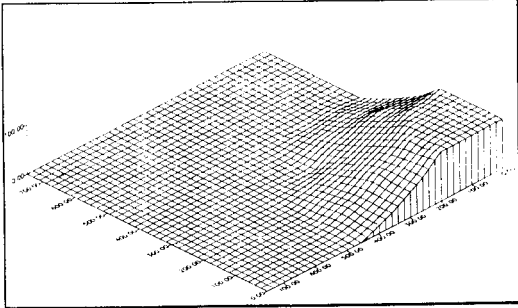


圖 3. 單一噴頭噴灑附著度分佈模擬

由系統噴灑附著之平均值、差異係數、及 N 值 (超過 100 % 之百分比) 即可以得到該系統噴灑效率之綜合評估。差異係數是系統分佈均勻度之指標，差異係數越低則系統噴灑情況越均勻，如果系統內每一點之噴灑效果均一致，則差異係數為零。為達到病蟲害防治效果，平均附著度應盡量提高，但如果系統之噴灑效果不均勻，為提高平均附著度往往會使部份區域過度噴藥，造成環

環境之污染，因此必須追蹤系統內附著超過 100 % 之百分比。總體而言，一個理想的系統應提高平均附著度，降低差異係數及 N 值。

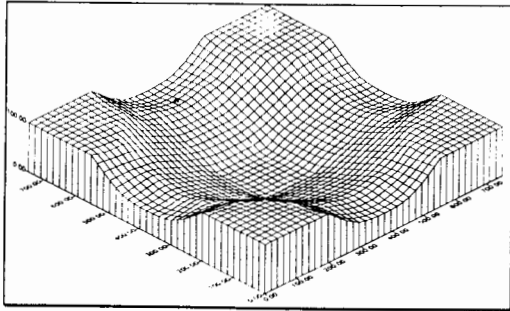


圖 4. 矩形配置噴灑附著度分佈模擬 (噴頭間距為 7.5m)

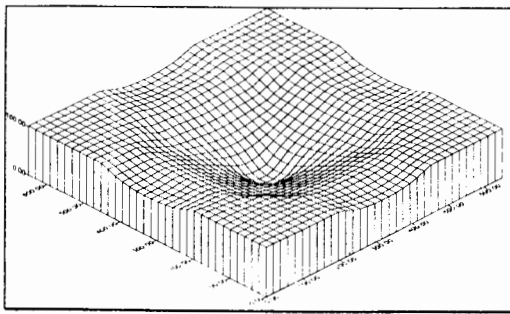


圖 5. 矩形配置噴灑附著度分佈模擬 (噴頭間距為 6.5m)

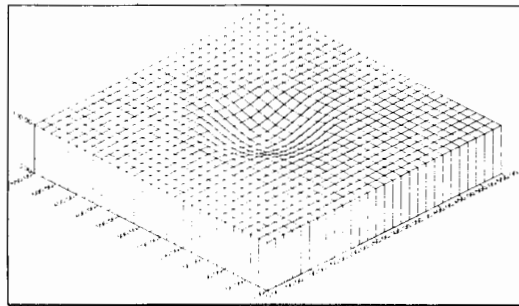


圖 6. 矩形配置噴灑附著度分佈模擬 (噴頭間距為 5.5m)

表 3. 採樣高度 100cm 之噴灑附著度分佈特性分析表

噴頭間距	差異係數	平均值	N 值
7.5m (圖四)	42.40	59.58	18.33
6.5m (圖五)	21.35	79.44	24.44
5.5m (圖六)	3.46	98.13	90.63

註：N 值為附著度超過 100% 之比例

噴頭間距越小表示噴灑重疊的部份越多，由圖 3 至圖 6 及表 3 可知，間距越小其附著度之平均值及 N 值會隨之增加而差異係數則降低，由表 3 中

之資料比較各項噴灑特性，噴頭間距 6.5m 為較理想之配置，平均附著度可達約 80 %，而超量噴藥之比例控制在 25 % 左右。間距 7.5m 者平均附著度偏低，顯示重疊不足的現象。而間距 5.5m 者則過度重疊，造成 N 值相對增高。除了不同的噴頭間距有不同的噴灑效果之外，安排相同的噴頭間距而控制不同的噴灑高度亦可得不同的噴灑效果。以表 3 中較佳的噴頭間距 6.5m 而言，模擬不同試驗高度的噴灑效果，分別為 140cm (低於噴頭 3.5 cm) 至 20cm (低於噴頭 123.5cm) 等八組試驗，結果列如表 4。

表 4 之資料可以作為系統設計配置之參考，若要求較高之附著度可考慮將噴頭升高至離枝葉面 6 3.5cm 以上 (提高平均附著度，如 No.4-No.7)，若不要求高附著度則可適當降低噴頭高度以減低污染之可能 (降低 N 值，如 No.1-No.3)，由此可知噴灑效果亦會隨著噴頭高度改變而不同，故噴頭高度亦是影響效果之主要因素。

由於改變噴頭高度及噴頭間距皆會影響噴灑效果，設計系統時可依需要來調整噴頭間距及噴頭高度，但基於降低操作成本及環境污染之考慮，在能達到相同效果情況下盡量降低噴頭數目，故應在容許範圍內拉大噴頭間距，而盡量以調整噴頭高度來改善噴灑效果。以本研究所使用之噴頭而言，噴頭間距在至少應在 6.5m 以上 (參考表 5)。對表 5 內之差異係數、附著度平均值、N 值三特性就各種試驗高度及噴頭間距綜合分析，可找出幾組較為理想的配置 (即以黑陰影匡起的部份)，其附著度平均值皆能達 80 % 以上、差異係數皆在 20 % 以下而 N 值亦能控制在 50 % 以下，這幾組配置可提供實際設計時之參考。

表 4. 不同噴頭高度之噴灑特性比較

No.	試驗高度 cm	離噴頭高度 cm	差異係數	平均值	N 值
1	140	3.5	20.29	68.11	4.44
2	120	23.5	17.48	78.56	15.56
3	100	43.5	21.35	79.44	24.44
4	80	63.5	6.91	95.22	68.89
5	60	83.5	8.46	93.00	51.11
6	40	103.5	7.56	92.67	40.00
7	20	123.5	5.07	96.33	66.67

註：1. N 值為附著度超過 100% 之比例

由圖 4、圖 5、圖 6 中亦發現噴灑疊加後，矩形中心部位皆有下凹的情形，表示中心部份噴灑疊加之效果不彰，導致該區域的附著不易提昇，

本研究乃參考噴灑灌溉系統的作法改變噴頭配置成交錯之三角形(如圖7)再觀察其疊加改善之情況,改變配置後附著度分佈情況如圖8、圖9、圖10及表6所示。

由表6可看出經過改變噴頭配置後(圖9與圖8比較),在附著度平均值(91.37及91.39)相差不多之情況下,N值卻有明顯下降(由62.75降至47.74),且附著度範圍由原先0%—100%改善為50%—100%,各種分佈特性皆有改善。而將支管間距由6m減至5.5m以拉近兩排噴頭後(圖10),將使N值變得太高,且就整個系統而言噴頭數目會增加,因而增加藥液噴灑量,可能造成殘液對環境之污染,並非很好之設計,仍以圖9之配置較佳。若將噴頭間距拉長(如表7)一公尺後(7×7),疊加附著度降低頗多,逐漸拉近兩排噴頭後附著度隨之增加,至7×5配置與6×6(圖9)配置之噴灑特性相近。

表 5. 水平試驗各種試驗高度及噴頭間距噴灑特性資料(向下噴灑)

平均 值							
噴頭間距	採樣高度cm						
	20	40	60	80	100	120	140
5 m	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
5.5 m	100.00	100.00	100.00	100.00	98.13	99.84	93.28
6 m	100.00	99.61	99.61	100.00	91.37	92.16	79.61
6.5 m	96.33	92.67	93.00	95.22	79.44	78.56	68.11
7 m	85.65	82.30	82.97	86.03	68.42	67.66	58.66
7.5 m	74.75	72.00	72.42	75.08	59.58	58.92	51.08
噴頭間距	N 值						
	採樣高度cm						
	20	40	60	80	100	120	140
5 m	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
5.5 m	100.00	100.00	100.00	100.00	90.63	96.88	40.63
6 m	100.00	92.16	92.16	100.00	62.75	57.52	10.46
6.5 m	66.67	40.00	51.11	68.89	24.44	15.56	4.44
7 m	19.14	5.74	22.97	42.11	21.05	13.40	3.83
7.5 m	0.00	0.00	8.33	15.00	18.33	11.67	3.33
噴頭間距	差異係數						
	採樣高度cm						
	20	40	60	80	100	120	140
5 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.5 m	0.00	0.00	0.00	0.00	3.46	0.30	6.77
6 m	0.00	0.73	0.73	0.00	12.47	9.79	13.81
6.5 m	5.07	7.56	8.46	6.91	21.35	17.48	20.29
7 m	11.17	15.44	16.98	16.51	31.28	23.78	26.96
7.5 m	16.93	22.55	22.25	22.06	42.40	32.83	39.24

註：N值為附著度超過100%之比例

以上所討論的為噴頭設置在枝葉上方以向下噴灑為主的情況,某些廠牌噴頭針對棚架式作物之噴灑需求設計不同之噴頭,分上下兩層同時以兩顆噴頭進行噴灑,對於枝葉面下層的噴灑須用另一種以向上噴灑為主的噴頭,其試驗資料分析如下(試驗資料摘要參考表2)。依照前述的方法分析可得表8,由差異係數、附著度平均值、N值三特性就各種試驗高度及噴頭間距綜合分析,可找出幾組較為理想的配置(以黑陰影引起的部份),其附著度平均值皆能達80%左右,差異係數在20%左右而N值亦能控制在40%以下。

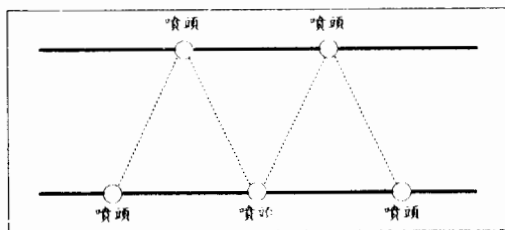


圖 7. 水平面噴灑配置示意圖(三角配置)

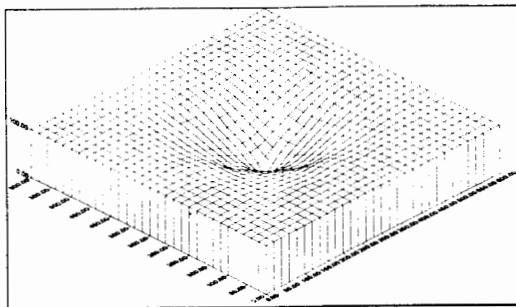


圖 8. 矩形配置噴灑附著度分佈模擬(噴頭間距為6m)

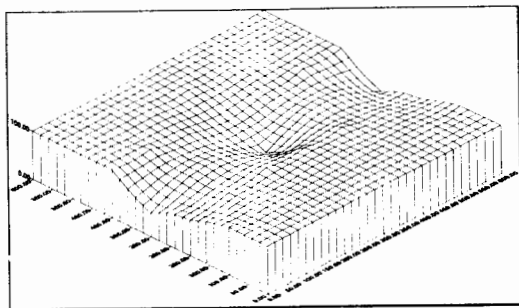


圖 9. 三角配置噴灑附著度分佈模擬(噴頭間距為6m)

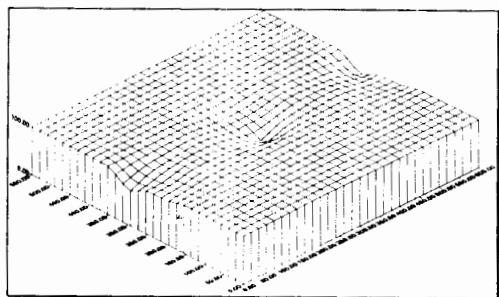


圖 10. 三角配置噴頭噴灑附著度分佈模擬(長 6m 寬 5.5m)

表 6. 三角與矩形配置噴頭噴灑特性比較

噴頭間距 (m)	差異係數	平均值	N 值	附著度	
				Min	Max
6 × 6 (圖八)	12.47	91.37	62.75	0	100
6 × 6 (圖九)	10.02	91.39	47.74	50	100
6 × 5.5 (圖十)	3.19	98.10	82.39	70	100

註：N 值為附著度超過 100% 之比例

表 7. 三角配置噴頭噴灑特性比較

噴頭間距 (m)	差異係數	平均值	N 值	附著度	
				Min	Max
6 × 6	10.02	91.39	47.74	50	100
7 × 7	31.66	66.94	19.43	15	100
7 × 6.5	24.84	72.07	20.92	30	100
7 × 6	19.13	78.04	22.65	50	100
7 × 5	9.74	91.95	53.64	60	100

註：N 值為附著度超過 100% 之比例

表 8. 水平試驗各種試驗高度及噴頭間距噴灑特性資料(向上噴灑)

平均 值						
噴頭間距	採樣高度 cm					
	40cm	60cm	80cm	100cm	120cm	140cm
2m	100.00	100.00	100.00	93.60	52.00	38.40
2.5m	89.44	100.00	98.33	91.67	36.11	26.67
3m	68.98	96.33	90.61	69.80	26.53	19.59
3.5m	52.81	78.13	80.94	57.19	20.31	15.00
4m	41.73	61.73	64.94	45.19	16.05	11.85
N 值						
噴頭間距	採樣高度 cm					
	40cm	60cm	80cm	100cm	120cm	140cm
2m	100.00	100.00	100.00	84.00	0.00	0.00
2.5m	66.67	100.00	66.67	44.44	0.00	0.00
3m	48.98	81.63	75.51	32.65	0.00	0.00
3.5m	37.50	37.50	18.75	6.25	0.00	0.00
4m	29.63	29.63	4.94	4.94	0.00	0.00
差異係數						
噴頭間距	採樣高度 cm					
	40cm	60cm	80cm	100cm	120cm	140cm
2m	0.00	0.00	0.00	11.49	72.00	87.33
2.5m	15.73	0.00	2.26	8.08	111.11	116.67
3m	44.05	6.23	15.65	35.42	134.69	134.69
3.5m	70.41	23.80	19.40	42.08	150.00	150.00
4m	91.40	44.71	26.71	47.76	160.49	160.49

註：N 值為附著度超過 100% 之比例

若仿照前述改變配置為三角形方式再觀察疊加狀況，附著度疊加情況如表 9 所示，由表中可看出三角形配置之噴灑效果略優於原矩形噴灑之配置。其與向下噴灑情況一樣，拉近兩排噴頭距離後一樣可使附著度提昇。

表 9. 三角形配置噴頭噴灑特性比較(向上噴灑)

試驗高度 100cm	差異係數	平均值	N 值
3 × 3 (矩形配置)	35.42	69.80	32.65
2.5 × 2.5 (矩形配置)	8.08	91.67	44.44
3 × 3 (三角配置)	34.77	72.04	26.53
3 × 2.5 (三角配置)	28.62	76.19	38.10
3 × 2 (三角配置)	14.85	88.86	48.57

註：N 值為附著度超過 100% 之比例

目前農民多採用上下層噴頭裝置於同一支豎管上連動運轉之方式，但由於向下噴灑噴頭之噴灑直徑和向上噴灑者並不相同(向下噴灑範圍約為 5m，向上噴灑範圍約為 2.5m)，為達到較均勻之噴藥效果則下層須裝設較多數目噴頭，但一般為操作及架設方便起見，常將噴頭安裝於同一支豎管上下層，亦即上下層之噴頭間距與噴頭數目均一致；若以噴頭間距為 6.5m 為例，其噴灑效果如表 10 所示，由表中可明顯看出上下層之噴灑效果相差頗大，適於上層之噴灑間距將使下層之噴灑狀況極不理想，可見利用同一支豎管分別安裝上下兩層噴頭以連動方式進行噴灑並不適當，必須上下層噴頭分開安裝。

表 10. 上下層噴頭連動豎管之噴灑效果(噴頭間距為 6.5m)

	噴頭裝設高度	差異係數	平均值	N 值
上層	高於枝葉頂端 83.5cm	8.46	93.00	51.11
下層	低於枝葉下端 55.5cm	97.35	26.84	2.04

註：N 值為附著度超過 100% 之比例

結果與討論

本研究利用市面上一般農民使用之高壓噴藥噴頭進行棚架式栽培作物之噴灑特性之研討，試驗中在噴灑範圍內做最少量之噴灑附著度資料採樣，並引入區域化變數理論做空間內差以補足所需之資料。

研究結果發現棚架作物之噴灑效果主要受噴

頭相對於枝葉範圍之高度及噴頭間距兩因素控制，可藉調整此兩變因而改變其噴灑效果，在具相同噴灑效果下，應以噴頭間距大者為佳，如此可降低系統設置成本及對環境之污染量。對棚架作物之農藥噴施，噴頭之配置以三角形間隔交錯方式配置（如圖7），其噴灑效果略優於矩形對齊配置方式（如圖2），而能得較高的附著度平均值、較低的N值及差異係數。不同廠牌不同樣式噴頭之噴灑效果皆不相同，應針對其噴灑特性為考量而使用，棚架作物一般分為上、下兩層以不同特性之噴頭進行噴灑，由於噴灑特性不同，上、下層之噴頭配置亦需有所差異，現行以上、下噴頭連動之設計方式易造成上、下層枝葉面間噴灑效果相當程度之差異，可能降低病蟲害防治效果。

謝 誌

本研究承農業委員會83-科技-2.4-糧-30(16)計畫經費補助始得以順利進行，謹致謝忱。研究進行期間水利局崎頂沙坵地灌溉試驗站鄭清坤先生、陳石結先生、陳孝瑜先生及苗栗水利會林朝慶先生於試驗工作上諸多配合及協助並提供意見，並得台大農工系甘俊二教授、鄭克聲教授、施嘉昌教授提供修正之建議，在上一並表示謝意。

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. 李俊德，"噴灑系統噴施農藥效率評估之研究"，臺灣大學農業工程學研究所碩士論文，74 pp., 1994。
4. 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。
5. 林永順、劉清和，"自走鼓風式噴藥車柑桔園施藥"，果農合作，490:44-48，1988。
6. 林詩淦，"定置式農藥噴施系統效率評估研究"，臺灣大學農業工程學研究所碩士論文，54 pp., 1996。
7. 洪明治，"坡地果園管路噴水噴藥兼用噴頭之研究"，臺東區農業改良場研究彙報1，p.91-96，1987。
8. 洪明治，"果園自動化管路噴藥系統"，豐年，39(1):20-23，1965。
9. 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，108pp., 1993。
10. 陳貽倫，"農用噴霧器之三試驗"，農業工程學

報，11(2):30-32，1965。

11. 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):45-47，1996。
12. 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。
13. 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。
14. 傅琳，1990，"霧灌技術及其應用"，農村實用工程技術，(2):21-23，1963。
15. 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。
16. 龍國維，"簡易設施用低成本自動噴藥裝置介紹"，農藥世界，110:51-56，1992。
17. 蘇昭山，"微粒動力噴霧機性能試驗"，農業工程學報，9(2):21-23，1962。
18. 蘇明道，1994，"多目標噴灑灌溉系統效率評估之研討"，中國農業工程學報，40(4):46-58。
19. Bode, L.E., B.J. Butler, and C.E. Goering, 1976, "Spray drift and recovery as affected by spray thickener, nozzle type and nozzle pressure", ASAE Transaction, 19(3):213-218。
20. Butler, B.J., N.B. Akesson, and W.E. Yates, 1969, "Use of spray adjustment to reduce drift", ASAE Transaction, 12(2):182-186。
21. Edware H. Isaaks, R. Mohan Srivastav, "Applied Geostatistics", New York Oxford University Press, 1989。
22. Hare W.W. & J.R. Young & 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。
23. Hedden, O.K. 1961, "Spray drop size distribution in pesticide sprayer", ASAE Transaction, 4(2):158-159。
24. Hermann G.J. & G.M. McMaster & D.W. Fitzsimmons, "Mixing in Sprinkler System", ASAE Transaction, 17(6):1020-1024, 1974。
25. McMaster G.M. & D.R. Douglas, "Fungicide Application Through Sprinkler Irrigation Systems", ASAE, Transaction, 19(6):1041-1044, 1976。
26. Wilkes, L.H., 1961, "Effect of nozzle types and spray application method on cotton insect control", ASAE Transaction, 4(2):166-169。
27. Yates, W.Z., N.B. Akesson, and R.E. Cowden, 1974, "Criteria for minimizing drift residuals on crop downwind from aerial applications", ASAE Transaction, 17(4):627-632。

收稿日期：民國85年10月22日

接受日期：民國85年10月30日