

# 配合噴灌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

## Study on Characteristics and Operation about Simple Automatic Fertilizer Application in Sprinkler Irrigation System

臺灣省水利局工程員

吳 家 昇

C. S. Wu

### Abstract

For the development of upland crop irrigation in Taiwan, study on the technique of applying fertilizer through sprinkler irrigation systems for saving labors and achieving the multi-purpose utilization of the system is as important as that for solving irrigation problem.

This paper offers the test result of a kind of simple automatic fertilizer application equipment for which a fertilizer application is developed following the principle of Venturi tube. By slightly regulating the inclined check valve of the simple automatic fertilizer application equipment, a pressure difference between the upstream and downstream, the valve can be easily obtained to mix water with chemical compounds in the fertilizer tank and to inject liquid fertilizer from the tank into the sprinkler irrigation system for application of water and fertilizer to the field. The characteristics of the simple automatic fertilizer application equipment is that fertilizer density decreases as time increases.

This paper deals with the experiment of the equipment on its function and study of its characteristic, and provides charts and nomographs for practical operation. The results of study can also be applied for spraying insecticides. It is believed that this type of simple automatic fertilizer application equipment will be contributed to the achievement of economically applying the sprinkler irrigation system for multi-purpose uses.

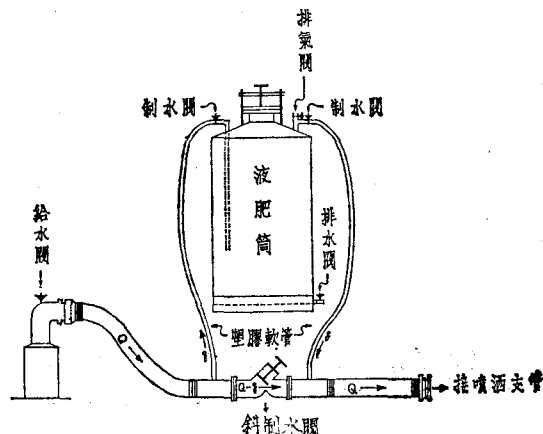
### 一、引 言

近年來噴灑灌溉系統在本省之應用範圍日益普遍，包括砂丘地、山坡地、果園、蔬菜園、茶園、蔗園等旱作物之灌溉。噴灑灌溉系統設備之利用除了主要用於作物灌溉外，尚可應用於凍霜害之防止、農藥與

肥料之噴施等多目標利用，其中配合噴灑施用液肥之效果有：①肥料費用低廉，符合經濟性。②提高品質，增加產量。③施肥作業輕鬆，省工。④防止土壤之酸性化。⑤肥效快，施肥管理容易。⑥容易採用自動化作業等，在國外已被倡用。本省因尚未有自製之自動施肥裝置，而由國外購入者價格昂貴，加以噴灑系

統之應用乃最近幾年來才較受重視，故配合噴灌系統噴施肥料尚未普遍使用。有鑑於此，臺灣省水利局崎頂灌溉利用研究實驗站曾設計一套簡易之自動液肥混入裝置，其整個裝置費用僅約新臺幣 2,500~3,000 元，較國外購入者便宜甚多（按日製 MP~MM 型自動液肥混入機，容量 19 公斤者售價即達新臺幣 14,000 元），本文即在研究其性能及操作方法，以期協助本省之噴灌系統為多目標之利用。

圖(1) 簡易自動液肥混入裝置之構造



## 二、簡易自動液肥混入裝置之構造及原理

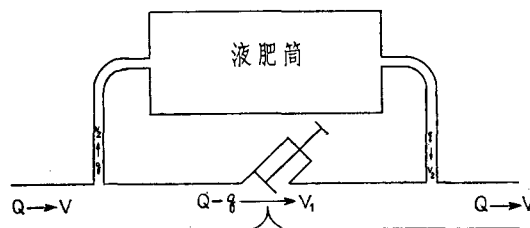
簡易自動液肥混入裝置之構造如圖(1)，其主要設備為液肥筒，是一個可封閉之鐵筒，容積 54.4ℓ，足夠一組噴灑支管一次灌溉面積之施用，不必於灌溉中再次補充。

該自動液肥混入裝置之施肥原理，係利用液肥筒盛貯液體肥料，以二條塑膠軟管分別與灌溉支管相連接，連接前端者為灌溉水進入液肥筒內之通道，連接後端者為經稀釋後之液肥送入灌溉支管與灌溉水混合稀釋液之通道。兩者之間，設有斜製水閥，此斜製水閥為主要控制及調節灌溉水與液肥稀液比例之閥門，當斜製水閥自關閉方向扭轉時，其作用如同文邱利 (Venturi) 管，使斜製水閥前後之水壓差增大，而使灌溉水部分經由前端之塑膠軟管進入液肥筒，擠壓並與液肥筒內之液肥擴散混合，而被擠壓之連續水流則由後端之塑膠軟管流出，此時流出之灌溉水已含有液肥。此含有液肥之灌溉水導入支管再與無液肥之灌溉水擴散混合，而後輸送灌施於田面。斜製水閥之開度愈大，則經由液肥筒之部份流量愈小。由是可以斜製水閥之開關大小來控制調節液肥稀釋情形。

## 三、流經液肥筒之部份流量 (q) 與斜制水閥開度 (Φ) 之關係

(一) 水理探討：

圖(2) 簡易自動液肥混入裝置示意圖



圖(2)為簡易自動液肥混入裝置之簡化示意圖。由是圖更易瞭解簡易自動液肥混入裝置之施肥方法係利用文邱利 (Venturi) 管之原理，且顯示其系統如同並聯管路，即噴灌支管於簡易自動液肥混入裝置處分為流經液肥筒與斜制水閥兩條管路，然後再會合。故知流經斜制水閥之能量損失 ( $\Delta H_1$ ) 等於流經液肥筒之能量損失 ( $\Delta H_2$ )，且可以流斜制水閥處之流速 ( $V_1$ ) 和塑膠軟管中之流速 ( $V_2$ ) 分別表示如下：

$$\Delta H_1 = C_1 \frac{(V_1)^2}{2g} = \Delta H_2 = C_2 \frac{(V_2)^2}{2g}$$

[式中  $C_1, C_2$  為能量損失係數]

上式亦可以流經斜制水閥處之流量 ( $Q-q$ ) 和其斷面積 ( $A_1$ ) 與流經液肥筒之部份流量 ( $q$ ) 及塑膠軟管斷面積 ( $A_2$ ) 表示，即

$$C_1 \frac{(Q-q)^2}{2g} = C_2 \frac{(q)^2}{2g}$$

移項開方可得如下：

$$\frac{Q-q}{q} = \frac{\sqrt{C_2}}{\sqrt{C_1}} \cdot \frac{A_1}{A_2} = \frac{CA_1}{A_2} \left[ C = \frac{\sqrt{C_2}}{\sqrt{C_1}} \right]$$

$$\frac{Q-q}{q} + 1 = \frac{CA_1}{A_2} + 1 \quad [\text{合比}]$$

$$\frac{Q}{q} = \frac{CA_1 + A_2}{A_2}$$

$$\frac{q}{Q} = \frac{A_2}{CA_2 + A_2}$$

因斜制水閥處之斷面積 ( $A_1$ ) 為其開度 ( $\Phi$ ) 之函數，即  $A_1 = f(\Phi)$ ，且  $A_2$  為定數 (constant)，故

$$\frac{q}{Q} = \frac{A_2}{f(\Phi) + A_2} = F(\Phi) \quad (1)$$

(二) 試驗結果：

由上節之分析，得知流經液肥筒之部份流量 (q)

與斜制水閥開度 ( $\Phi$ ) 及總流量之關係為

$$\frac{q}{Q} = \frac{A_2}{f(\Phi) + A_2} = F(\Phi)$$

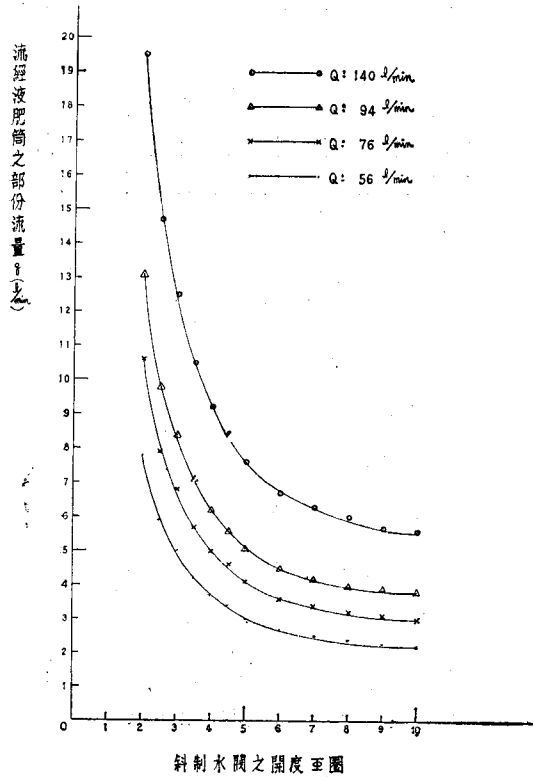
上式顯示斜制水閥開度 ( $\Phi$ ) 愈大 (表示  $A_1$  愈

大), 則在總流量 ( $Q$ ) 固定之情形下, 流經液肥筒之部份流量 ( $q$ ) 愈小。據多次試驗結果 [如表(1)和圖(3)] 亦證實其關係。

表(1) 流經液肥筒之部份流量  $q$  ( $\ell/\text{min}$ ) 與開度  $\Phi$  及總流量  $Q$  試驗結果關係表

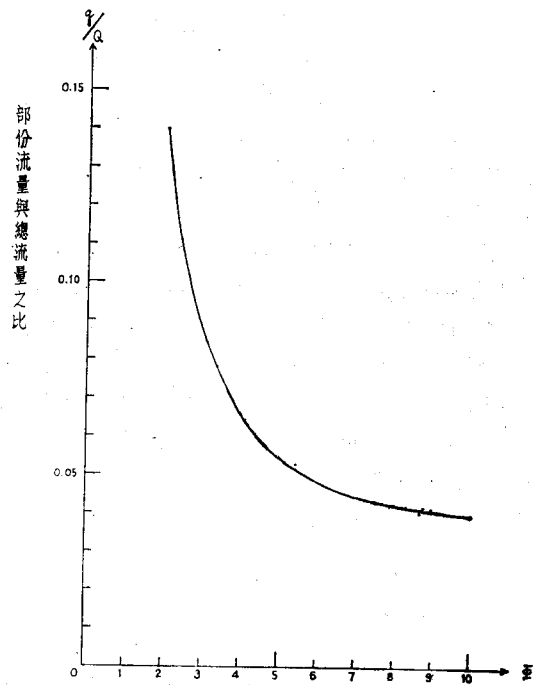
$\frac{q}{Q}$ ( $\ell/\text{min}$ ) / $\Phi$ (圈)	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	9.0	7.0	8.0	9.0	10.0	備註
140	19.5	14.7	12.5	10.5	9.2	8.4	7.9	6.7	6.3	6.0	5.7	5.6	噴槍 P: 2.8 kg/cm <sup>2</sup>
94	13.1	9.8	8.4	7.1	6.2	5.6	5.1	4.5	4.2	4.0	3.9	3.8	五噴頭 P: 2.75 kg/cm <sup>2</sup>
76	10.6	7.9	6.8	5.7	5.0	4.6	4.1	3.6	3.4	3.2	3.1	5.0	五噴頭 P: 2.15 kg/cm <sup>2</sup>
56	7.8	5.9	5.0	4.2	3.7	3.4	3.0	2.7	2.5	2.4	2.3	2.2	四噴頭 P: 2.5 kg/cm <sup>2</sup>

圖(3) 部份流量 ( $q$ ) 與開度 ( $\Phi$ ) 之關係圖



復由表(1)即可獲得部份流量 ( $q$ ) 與總流量 ( $Q$ ) 之比與開度 ( $\Phi$ ) 之實際函數關係, 如表(2)和圖(4)。

圖(4)  $q/Q$  與  $\Phi$  之關係



表(2)  $\Phi$  與  $q/Q$  關係表

$q/Q$ $\Phi$ (圈) $Q$ (l/min)	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
140	0.1393	0.1050	0.0893	0.0750	0.0657	0.0600	0.0543	0.0479	0.0450	0.0429	0.0407	0.0400
94	0.1392	0.1043	0.0894	0.0755	0.0660	0.0596	0.0543	0.0479	0.0447	0.0426	0.0415	0.0404
76	0.1395	0.1040	0.0895	0.0750	0.0656	0.0605	0.0539	0.0474	0.0447	0.0421	0.0408	0.0395
56	0.1393	0.1054	0.0893	0.0750	0.0661	0.0607	0.0536	0.0482	0.0446	0.0492	0.0411	0.0393
平均	0.1393	0.1046	0.0894	0.0751	0.0659	0.0602	0.0640	0.0478	0.0448	0.0426	0.0410	0.0398

#### 四、流經液肥筒部份流量 ( $q$ ) 與液肥稀釋之關係

(一)理論推導：

於推導部份流量 ( $q$ ) 與液肥稀釋之理論關係，首先必須假設部份流量流入液肥筒之瞬間即刻與液肥筒內之溶液完全混合。據試驗情形亦證實部份流量流入液肥筒瞬間擴散與液肥充分混合。

設液肥筒之總容積為  $V$  (升)，肥料筒內最初肥料濃度為  $C_0$ ，灌溉水之含肥料濃度為  $C_w$  (設清潔灌溉水以 0% 表示)。由給水閥輸入支管之灌溉水總流量為  $Q$  (升/分)，因斜制水閥之操作而經由液肥筒之部份流量為  $q$  (升/分)，則經由斜制水閥處之灌溉水流量為  $Q-q$ 。

設開始時液肥筒內裝滿肥料原液。當流經液肥筒之部份流量  $q$  流入時，在短時間之  $\Delta t$  內，流入之體積應為  $q \times \Delta t$  在此際，液肥筒之出口處因水之連續輸送，也有  $q \times \Delta t$  之液肥被擠壓流出液肥筒而導入支管與灌溉水混合，這些剛離液肥筒之肥料濃度為  $C_0$ 。(事實上，當  $q \times \Delta t$  體積之灌溉水進入液肥筒內，若  $\Delta t$  稍大，即可能產生稀釋變化，而流出之濃度或略小於  $C_0$ )。而在肥料筒內，因流入灌溉水之擴散稀釋作用，而使留在液肥筒之濃度變化成  $C_1$ ，則  $C_1$  之計算為

$$C_1 = \frac{q \times \Delta t \times C_w + (V - q \times \Delta t) \times C_0}{V}$$

設  $C_w = 0\%$ ，計算時可簡化成

$$C_1 = \frac{(V - q \times \Delta t) C_0}{V}$$

設  $\Delta t$  以 1 分鐘為單位時，則 1 分鐘後留在筒內之肥料濃度為

$$C_1 = \frac{(V - q) C_0}{V}$$

當 2 分鐘後，留在筒內之肥料濃度為

$$C_2 = \frac{(V - q) C_1}{V} = \left(\frac{V - q}{V}\right) \left(\frac{V - q}{V}\right) C_0$$

$$C_2 = \left(\frac{V - q}{V}\right)^2 C_0$$

同理，當  $t$  分鐘後，留在筒內之肥料濃度為

$$C_t = \left(\frac{V - q}{V}\right)^t C_0 \quad (2)$$

亦即  $C_t$  與  $\left(\frac{V - q}{V}\right)^t$  成正變化，即  $C_t$  與  $t$

在半對數紙上呈直線變化關係，而斜率為

$$\log\left(\frac{V - q}{V}\right)$$

$$\log C_t = t \log\left(\frac{V - q}{V}\right) + \log C_0 \quad (3)$$

設實際由噴嘴洒在田面之肥料濃度  $C_r$ ，開始時濃度  $C_{r0}$  為

$$C_{r0} = \frac{C_0 \times q + C_w (Q - q)}{q + (Q - q)} = \frac{C_0 \times q + C_w (Q - q)}{Q}$$

設  $C_w = 0\%$ ，則

$$C_{r0} = \frac{C_0 \times q}{Q}$$

當 1 分鐘後，噴至田間之肥料濃度為

$$C_{r1} = \frac{C_1 \times q}{Q} = \left(\frac{V - q}{V}\right) \times C_0 \times \frac{q}{Q}$$

當 2 分鐘後，噴至田間之肥料濃度為

$$C_{r2} = \frac{C_2 \times q}{Q} = \left(\frac{V - q}{V}\right)^2 \times C_0 \times \frac{q}{Q}$$

當  $t$  分鐘後，噴至田間之肥料濃度為

$$C_{rt} = \frac{C_t \times q}{Q} = \left(\frac{V - q}{V}\right)^t \times C_0 \times \frac{q}{Q} \quad (4)$$

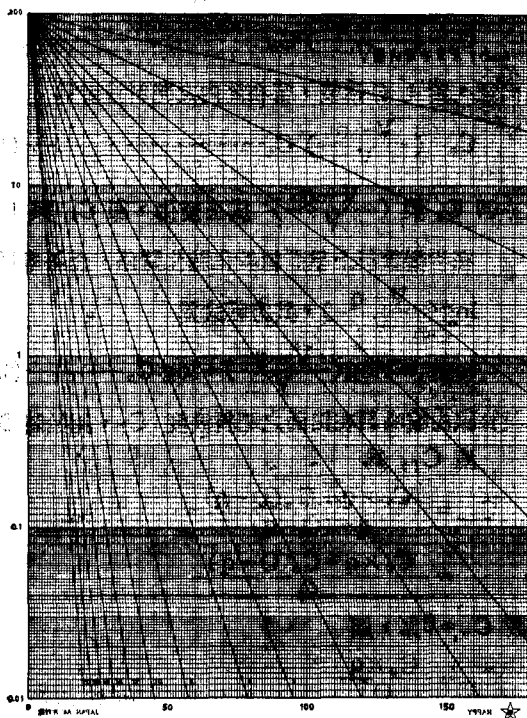
再對(4)式兩邊取對數，則

$$\log C_{rt} = t \log \left( \frac{V-q}{V} \right) + \log C_0$$

$$+ \log \left( \frac{q}{Q} \right) \quad (5)$$

即  $C_{rt}$  與  $t$  在半對數紙上亦呈直線變化關係，斜率與(3)式同為  $\log \left( \frac{V-q}{V} \right)$ ，換句話說，(3)式與(5)式在半對數紙上成平行直線，兩直線之截距差為  $\log \frac{q}{Q}$ 。因所裝成之液肥筒總容積  $V=54.4$  升，設  $C_0=100\%$ （即使用液肥原液，設其濃度為 100%），則由(3)式可得圖(5)。

圖(5) 液肥筒內濃度變化與時間之關係



圖(5)顯示以液肥筒內肥料濃度 ( $C_{rt}$ ) 為縱座標 ( $\log$ -scale) 及以時間 ( $t$ ) 為橫座標 (normal scale) 之關係變化圖中，因部份流量不同而有不同稀釋率之直線關係，亦即表示部份流量與稀釋斜率有一對一之相對應關係。

#### (二)性能試驗

自製液肥筒之施肥原理已如前述，為了確定其性能，筆者曾多次試驗，先利用導電度計測定液肥濃度與電導度之關係，復以不同之最初液肥濃度 ( $C_0$ ) 和不同之開度 ( $\Phi$ )，實際噴施西瓜和香瓜，操作中並

定時截取液肥筒內及噴施至田間之肥料水，再利用導電度計測定其濃度之變化，結果與理論之推導極為吻合。唯濃度降至萬分之一時，因與原有灌溉水之導電度極為接近，致使有誤差而未再繼續測量。由此可以瞭解當液肥濃度稀釋至 0.01% 時，所含肥料成分已是微乎其微，幾可視同原灌溉水，如圖(6)所示。

### 五、噴施液肥操作方法

簡易自動液肥混入裝置適於噴洒支管使用，由於肥料之濃度係隨噴灌時間而漸稀，與一般倍率固定之自動液肥混入裝置迥異，故每次液肥筒所裝入之肥料用量以一次用完為原則，如所需施肥量低於液肥筒容量，可以灌溉水補充裝滿，而計算其開始噴灌時之最初液肥濃度 ( $C_0$ )。施肥速率可以調整斜制水閘開度 ( $\Phi$ )，使流入流出液肥筒之部份流量 ( $q$ ) 加大或減小而得以控制。施肥時間愈短當然較為經濟，但因濃度過高，易引起肥傷，故必須在不發生肥傷之濃度條件下施用。

一般施肥時間 ( $T$ ) 之決定可以平均濃度不超過安全濃度 ( $M$ ) 為原則，即

$$\frac{C_0 V}{QT} \leq M$$

或  $\frac{54.4 C_0}{NST} \leq M \quad (V=54.4\ell)$

$$\therefore T \geq \frac{44.4 C_0}{NSM}$$

式中  $C_0$ ：液肥筒內最初液肥濃度 (%)

$V$ ：液肥筒體積 54.4 ( $\ell$ )

$Q$ ：支管總流量 ( $\ell/\text{min}$ )

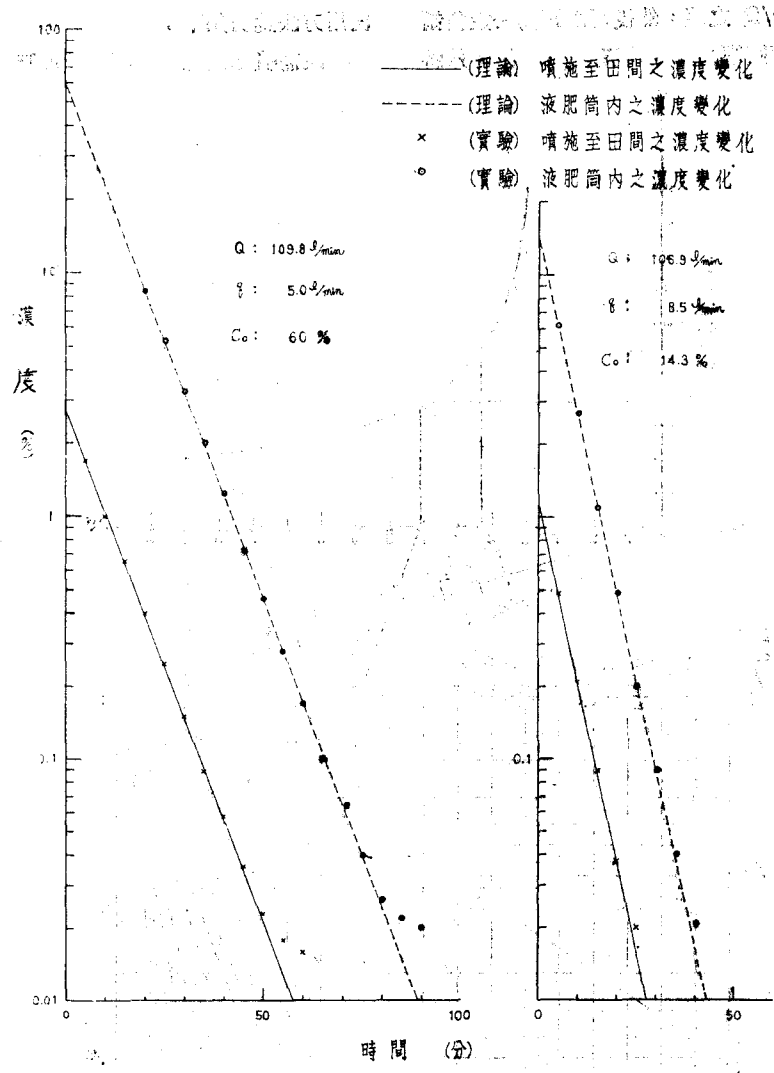
$T$ ：施肥時間 (min)

$M$ ：安全濃度 (%) [如附錄 1]

$N$ ：噴頭數量 (個)

$S$ ：噴頭出水量 ( $\ell/\text{min}$ ) [如附錄 2~3]

又施肥時間通常以配合灌溉需要為原則，故在計劃灌溉水量噴灌完成前能將所需肥料施入為佳，如是即不必增加施肥用水量，但平均濃度超過安全濃度時應酌加施肥用水量，或增加施肥次數亦可減少每次施肥用量。此外，噴肥前宜先有約  $\frac{1}{3}$  灌水量先噴濕作物葉面（以能全部噴濕葉面為原則），且於肥料噴施完成後，尚須有 20~30 分鐘之清潔灌水噴灌沖洗系統及洗淨作物葉簇，以免發生腐蝕或肥傷，因此施肥時間 ( $T$ ) 可以灌溉時間扣除施肥前  $\frac{1}{3}$  灌水量之時間及施肥完成後 20~30 分鐘之清洗而決定。



圖(6) 液肥筒內及噴施至田間之實驗與理論濃度變化比較

設液肥筒裝滿原液，當筒內濃度降至 0.01% 時，筒內殘存之量僅為  $54.4 \times 0.01\% = 0.054$  (升)。據試驗觀測，此時筒內液肥溶液與原灌溉水幾乎毫無軒輊。由是僅調整開度，使施肥時間 (T) 內濃度降至 0.01% 時，則施肥時間 (T) 後所噴施之灌溉水幾可視為清潔灌水，無需在施肥時間後噴施清潔灌水以沖洗系統及洗淨葉簇而再關閉液肥筒之出入口閘門。因此，只要確定灌溉時間及施肥時間，則僅需於開始噴灌灌水量後，開啓液肥筒前後兩個制水閘開始施肥，直至灌溉完時再關閉給水閘之制水閘和搬移液肥筒，使灌溉及施肥儘可能一氣呵成而省却灌溉施肥中關閉液肥筒前後制水閘之麻煩。

圖(5)顯示，因部份流量 (q) 之大小不同而稀釋

斜率有所不同，其關係為稀釋斜率 =  $\log\left(\frac{V-q}{V}\right)$ ，而稀釋斜率可直接由已知液肥筒內之最初液肥濃度 (C<sub>0</sub>) 及噴施至濃度為 0.01% (或另外選定最後殘存濃度) 之施肥時間 (T) 求出，故已知液肥筒內之最初液肥濃度 (C<sub>0</sub>) 與預定施肥時間 (T) 即可決定部份流量之大小。例如欲使施肥時間 (T) 內液肥筒內之最初液肥濃度 (C<sub>0</sub>) 降至 0.01%，可令

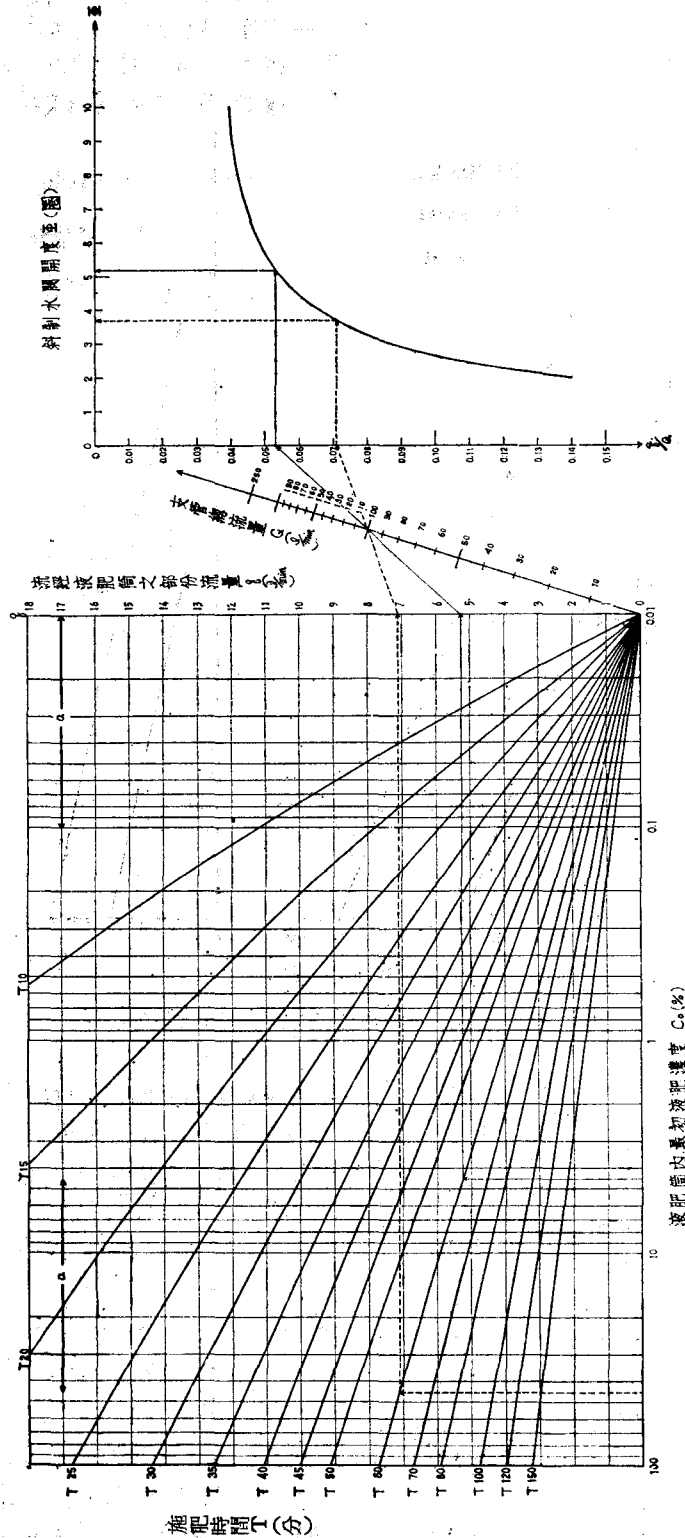
$$\log\left(\frac{V-q}{V}\right) = \frac{\log 0.0001 - \log C_0}{T} = \frac{-4 - \log C_0}{T}$$

解上式之方程式即得部份流量 (q)，再由噴頭數量 (N) 乘以每個噴頭之流量 (S)，而知支管總流量

(Q)，進而求得  $q/Q$  之值，然後可由圖(4)決定斜制水閥開度 ( $\Phi$ )，實際應用計算圖解示於圖 (7)，茲將

使用方法說明如下：

設需噴施液肥 24.5%，故液肥筒內最初液肥濃度



圖(7) 簡易自動液肥混入裝置計算圖解

(C<sub>0</sub>) 爲  $24.5/54.4=0.45=45\%$ 。計劃灌溉時間 135 分鐘，施肥時間 (T) 卽爲  $135 - \frac{1}{3} (135) - 30 = 60$  分鐘。噴頭數量五個，每個噴頭在當時壓力之出水量 (S) 爲 20 ℓ/min，得知支管總流量 (Q)=20×5=100 (ℓ/min)。然後由圖 (7) 依虛線之進行方向，最後得斜制水閥開度 (Φ) 爲 3.7 圈。換言之，當支管總流量 (Q) 100ℓ/min，斜制水閥開度 (Φ) 3.7 圈時，則在 60 分鐘之施肥時間 (T) 卽可使液肥筒內最初液肥濃度 (C<sub>0</sub>)=45% 降至 0.01% 而完成施肥。如液肥筒內之最後殘存濃度不須低至 0.01%，而欲另外選定最後殘存濃度時，亦可應用圖(7)。如以上之已知條件，施肥欲至 0.1% 爲止，可以圖(7)之液肥筒內最初液肥濃度之座標量測濃度 0.1% 至 0.01% 之距離 a，復從液肥筒內最初液肥濃度 (45%) 之座標向右移 a 距離至濃度 4.5% 之座標，然後依實線之進行方向，最後得知斜制水閥開度爲 5.2 圈。

## 六、結論與建議

### (一) 結論：

近年來本省工商業發達，農村青年趨向城市與工廠，致使農村勞力缺乏，故本省現今之灌溉發展，除了積極推廣噴灑灌溉系統以解決灌溉問題外，對於考慮如何配合噴灑系統之施肥技術，以節省施肥工資及發展多目標利用之研究，亦爲重要之課題。唯此方面之研究尙感缺乏，且由國外購入之自動施肥裝置價格昂貴，難以普通應用，實爲本省噴灑系統未能大量推廣多目標利用之主要原因之一。而本文之研究係提供一套簡易自動液肥混入裝置，並對其性能作理論之探討與試驗檢定，配合實際經驗製訂施肥操作方法之計算圖解，使實際應用更爲簡便。加以臺灣肥料公司近年來曾試製數種適合作物需要之液體肥料，如 12-9-

9 和 15-5-10 等液肥，初步試用結果，肥效甚佳，此種液體肥料之發展，更便利配合噴灑系統之施用。設若能普遍應用於本省之噴灑系統，其所能獲得之經濟價值當甚可觀。

### (二) 建議：

1. 簡易自動液肥混入裝置是配合噴灑系統使用，如風太大時應避免施肥，且選用轉速較快之旋轉噴頭，避免肥料噴施不均。

2. 如支管總流量大於 100ℓ/min 時，斜制水閥開度不得少於兩圈，否則通水斷面積過小，勢將影響噴頭之流量和壓力。

3. 改進斜制水閥之設計，並安裝有計算刻度之開關裝置，如此流經液肥筒之部份流量得以準確控制，進而應用於農藥之噴施。

4. 鐵製液肥筒如能改進爲耐高壓及耐酸鹼之 PE 製品，則既能再降低成本，且搬動更爲輕便，又無腐蝕生銹之虞。

## 七、附 錄

附錄 1 液肥葉面噴灑許可濃度

作物	許可倍數	作物	許可倍數
水稻	50 倍以上	蕃茄、花瓜	200 倍以上
水稻秧苗	100 倍以上	草 莓	200 倍以上
柑桔、果樹	夏季 30 倍 秋季 200 倍	花卉類	200 倍以上
草 皮	50 倍以上	西瓜、胡瓜類	200 倍以上
牧 草	100 倍以上	觀賞葉植物	800 倍以上
草	新芽 100 倍 古葉 50 倍	葉 菜 類	20 倍以上
香 瓜	200 倍以上	鳳 梨	10 倍以上

\*摘自水之江政輝「旱作用水多目標利用與自動化」

附錄 2 各種口徑噴嘴之出水量 (ℓ/min) (C=85%)

壓力 kg/cm <sup>2</sup>	噴 嘴 口 徑 (mm)										
	0.75	0.88	1.00	1.13	1.25	1.38	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50
0.35	0.193	0.261	0.344	0.435	0.537	0.643	0.772	1.048	1.369	1.731	2.140
0.70	0.272	0.370	0.488	0.608	0.757	0.908	1.093	1.482	1.935	2.455	3.020
1.05	0.333	0.454	0.595	0.753	0.927	1.117	1.336	1.818	2.370	2.834	3.730
1.40	0.380	0.526	0.685	0.871	1.072	1.299	1.582	2.096	2.746	3.476	4.284
1.75	0.432	0.587	0.768	0.973	1.200	1.450	1.726	2.347	3.064	3.880	4.795
2.10	0.473	0.643	0.841	1.063	1.323	1.589	1.892	2.574	3.363	4.256	5.260
2.45	0.512	0.692	0.908	1.150	1.416	1.715	2.043	2.776	3.630	4.598	5.675
2.80	0.545	0.742	0.969	1.227	1.514	1.834	2.183	2.936	3.878	4.910	6.070
3.15	0.581	0.788	1.029	1.302	1.609	1.945	2.316	3.150	4.112	5.220	6.435
3.50	0.610	0.828	1.082	1.374	1.695	2.053	2.441	3.318	4.260	5.490	6.780
3.85	0.640	0.871	1.135	1.438	1.778	2.148	2.560	3.482	4.544	5.770	7.120
4.20	0.670	0.908	1.188	1.503	1.854	2.246	2.730	3.634	4.772	6.020	7.425

\*摘自「農復會特刊十五號——噴灑灌溉」



附錄 3 各種口徑噴嘴之理論 (C100%) 出水量 (ℓ/min)

口徑 mm	斷面 mm <sup>2</sup>	噴 頭 壓 力 (kg/cm <sup>2</sup> )																			
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
0.5	0.20	0.11	0.16	0.20	0.23	0.26	0.28	0.30	0.33	0.34	0.36	0.38	0.40	0.41	0.43	0.45	0.46	0.47	0.49	0.50	0.51
1.0	0.79	0.47	0.65	0.80	0.92	1.03	1.13	1.22	1.30	1.38	1.45	1.52	1.59	1.66	1.72	1.78	1.84	1.90	1.95	2.00	2.06
1.5	1.77	1.03	1.46	1.79	2.07	2.31	2.53	2.74	2.93	3.10	3.27	3.45	3.58	3.73	3.87	4.01	4.14	4.26	4.39	4.51	4.62
2.0	3.14	1.84	2.60	3.18	3.68	4.11	4.50	4.86	5.20	5.52	5.81	6.10	6.37	6.63	6.88	7.12	7.35	7.58	7.80	8.01	8.22
2.5	4.91	2.87	4.06	4.98	5.76	6.42	7.04	7.60	8.13	8.62	9.08	9.53	9.95	10.36	10.75	11.13	11.49	11.84	12.19	12.52	12.85
3.0	7.07	4.14	5.85	7.16	8.27	9.25	10.13	10.94	11.70	12.41	13.08	13.72	14.33	14.91	15.48	16.02	16.55	17.06	17.55	18.03	18.50
3.5	9.62	5.63	7.96	9.75	11.26	12.59	13.79	14.89	15.93	16.89	17.80	18.67	19.50	20.30	21.07	21.81	22.52	23.21	23.89	24.54	25.18
4.0	12.57	7.36	10.40	12.74	14.71	16.44	18.01	19.45	20.80	22.06	23.26	24.39	25.47	26.51	27.52	28.48	29.42	30.32	31.20	32.05	32.89
4.5	15.90	9.31	13.16	16.12	18.61	20.81	22.03	24.62	26.33	27.92	29.43	30.87	32.24	33.56	34.83	36.05	37.23	38.38	39.49	45.57	41.62
5.0	19.64	11.49	16.25	19.90	22.98	26.69	28.15	30.39	32.50	34.47	36.34	38.11	39.80	41.43	42.99	44.50	45.96	47.38	48.75	50.09	51.39
5.5	23.76	13.90	19.66	24.08	27.81	31.09	34.06	36.77	39.33	41.71	43.97	46.11	48.16	50.13	52.02	53.85	55.61	57.33	58.99	60.60	62.18
6.0	28.28	16.55	23.40	28.66	33.09	37.00	40.53	43.76	46.80	49.64	52.32	54.88	57.32	59.66	61.91	64.08	66.18	68.22	70.20	72.12	74.00
6.5	33.18	19.42	27.46	33.63	38.84	43.42	47.57	51.32	54.93	58.26	61.41	64.41	67.27	70.02	72.66	75.21	77.67	80.07	82.39	84.64	86.84
7.0	38.18	22.52	31.85	39.01	45.04	50.36	55.17	59.56	63.70	67.56	71.22	74.69	78.02	81.20	84.27	87.22	90.08	92.86	95.53	98.17	100.72
7.5	44.18	25.85	36.56	44.78	51.71	57.81	63.33	68.36	73.13	77.56	81.76	85.75	89.56	93.22	96.74	100.13	103.41	106.60	106.69	112.69	115.62
8.0	50.27	29.42	41.60	50.95	58.83	65.77	72.06	77.80	83.20	88.25	93.02	97.56	101.90	106.06	110.07	113.93	117.66	121.28	124.80	128.22	131.55
8.5	56.75	33.21	46.96	57.51	66.41	74.25	81.34	87.82	93.03	99.62	105.01	110.14	115.03	119.73	124.25	128.61	132.83	136.92	140.89	144.75	148.51
9.0	63.62	37.23	52.65	64.48	74.46	83.24	91.30	98.45	105.30	111.69	117.73	123.47	128.97	134.23	139.30	144.19	148.92	153.50	157.95	162.28	166.50
9.5	70.88	41.48	58.66	71.48	82.96	92.75	101.16	109.70	117.33	124.44	131.18	137.58	144.69	149.56	155.21	160.55	165.92	171.03	175.99	180.81	175.51
10.0	78.54	45.96	65.00	79.61	91.92	102.77	112.59	121.56	130.00	137.88	145.35	152.44	159.22	165.72	171.98	178.01	183.85	189.51	195.00	200.34	205.55
10.5	86.59	50.67	71.66	87.77	101.25	113.31	124.13	134.02	143.33	152.02	160.24	168.06	175.54	182.70	189.60	196.25	202.69	208.93	214.99	200.88	226.62
11.0	95.03	55.61	78.65	96.32	111.23	124.35	136.23	147.08	157.30	166.84	175.87	184.45	192.65	200.52	208.09	215.39	222.45	229.30	235.95	242.42	249.71
11.5	103.87	60.78	85.56	105.28	121.57	135.29	148.90	160.76	171.93	182.35	192.22	201.60	210.57	219.16	227.44	235.42	243.14	250.62	257.39	264.95	371.84
12.0	113.10	66.18	93.60	114.63	132.37	147.99	162.12	175.04	187.20	198.55	209.30	219.51	229.27	238.63	247.65	256.32	264.74	272.89	280.80	288.49	295.89

\*摘自「農復會特刊十五號——噴洒灌溉」