

# 機耕與牛耕田區地表灌漑之試驗比較研究

## Experiments and Studies on Surface Irrigation in Comparison Between Machine and Animal Plowing

顧 筱 景

臺大農工系研究助理

### Abstract

In the Chinnan area, Because of insufficient water sources in this area, about 80,000 hectares of land are in operation of three-year-rotation cropping pattern. But after the Completion of the Tsongwen Reservoir, irrigation water will be enough not only for paddy Rice & sugarcane but also for upland crops.

In 1971 the project of "promotion of Modernized Agriculture" has been executed, and operation of farm machinery of deep plowing for upland crops has been adopted. It was found that many factors are different from those in the past, such as the advance velocity of stream flow, the application water depth, etc. Therefore, some experiments on the irrigation methods for the fields plowed by machinery are necessary for future water scheduling.

The purpose of this thesis is to carry out the experiment of Surface Irrigation Methods for the fields plowed by Machinery such as tractor, power tiller & furrow opener. and make a comparison between machine and animal plowing.

The experiment include the following items;

(1) Border irrigation method for Spring sorghum and furrow irrigation method for winter sweet potatoes.

(2) Border irrigation experiments will be carried out on the farm land with tractor plowing and power tiller plowing.

Furrow irrigation experiments will be carried out on the farm land with power tiller plowing and plowing with furrow opener.

(3) For each kind of above treatments, various size of stream and shut off distance will be tried.

(4) During the irrigation, intake rate of soil, soil moisture before & after irrigation, advance rate and recession rate of water will also be observed.

The Data of the experiment is analysed and the most suitable size of stream will suggest as follows;

In border Irrigation:

(1) Unit stream size  $q=0.35$  l/s with 90% shut off distance is suitable for the tractor plowing land.

(2) Unit stream size  $q=0.61$  l/s with 100% shut off distance is suitable for the power tiller plowing land.

In furrow Irrigation:

(1) stream size  $Q=61$  l/s, with 80% shut off distance is suitable for the power tiller plowing land

(2) Stream size  $Q=4$  l/s, with 90% shut off distance is suitable for animal plowing land.

論 文 摘 要

一、前 言

近年來臺灣工業之急速發展，故農業耕作亦用機械來代替以往之牛耕或人工操作。機械耕犁之結果造成機耕田區之耕犁深度較牛耕區為深，且整地情形也較優。因此與以往牛耕田區之灌溉實施有顯著的不同。故本文之目的為在機耕田區作數次試驗，從試驗資料中探討其最適合之灌溉流量，施灌時間，入滲率與流長間諸因子之相對關係，以供將來機耕田區之參考利用，並更進一步與以往之牛耕田區之資料作一比較。

此次，在新港旱作試驗站共作過四次試驗，包括二次埂灌及二次溝灌，每次試驗中分別用三種不同流量，三種不同的斷水距離百分比，作三次重複試驗，由許多資料中顯示出在機耕區其入滲率大於以往牛耕區，而前進時間則較牛耕區為慢，施灌水深在機耕區較牛耕區為多，施灌效率也在機耕區較高，且其施灌流量在機耕區亦用較大之數值。由此四次試驗結果，可暫獲結論如下：

畦溝灌溉區：

機耕區：用 6l/sec，80%斷水之灌溉方法較適合

半機耕區：用 4l/sec 90%斷水水灌溉方法較適合

間灌區：

大型曳引機耕犁田區：用單位流量  $q = 0.35$  l/sec，90%斷水之灌溉方法較適合

小型耕耘機耕犁田區：用單位流量  $q = 0.3$  l/sec，100%斷水之灌溉方法較適合。

灌溉之歷史至為悠久，可謂始自人類脫離游牧，漁獵時代而進入農業時代。故灌溉乃自古以來經營農業的重要一環。所謂灌溉即是以人工將水源引入田間，供給作物吸收利用，以補充作物所需水量的不足。近年來由於人口之急遽增加，農工業之日趨發展，對水之需求亦日益殷切。故在此有限的水源下，配合農作技術，使水源善加利用，而在有限的耕作面積上，獲得最高之產量，此即為灌溉之最終目標。

臺灣省位於亞熱帶，雖然雨量非常充沛，平均年雨量達 2,500mm，灌溉水源應很充足，但因時間及空間上之分佈甚不均勻，例如本省南部每年 5 月至 11 月為雨季，而 12 月至翌年 4 月為旱季，旱季必須有充分之灌溉方可提高農業生產。為了配合此種特殊的氣候因素必須施以灌溉的調節。臺灣過去的灌溉，主要在於水稻灌溉。凡在有可靠水源的地方，或者在夏秋天的雨季中，農民大都種植水稻。至於旱作物則種植在水源不足或無灌溉之利處所，或者在第二期水稻收穫後至第一期水稻種植前中間之旱季。近十多年來，許多學者為了配合此種特殊氣候，遂提倡輪流灌溉，作合理的水稻灌溉，並將此節省水量作為增加灌溉面積之用。到目前為止，無論對水稻或旱作灌溉皆已有優良之成果。惟目前政府之經濟政策為農工並進，近年來工業突飛猛進，農業方面必須迎頭趕上，因此政府為了提高單位面積之產量，遂全面實施農業機械化。對旱作而言，實施機械耕作後，灌溉水量有何差別，是為本文研究之課題。

在嘉南地區，灌溉面積大約有 150,000 公頃，因灌溉水源不足，大部份實施三年輪流耕作制度。其中三年一作中水稻種植一次，甘蔗種植一次，雜糧作物種植四次。在全面積三分之一種植水稻地區，施以適

時適量的灌溉。而在另外三分之一種植甘蔗地區，全生長期中只有二次灌溉。至于其他三分之一種植雜作地區，諸如玉米，高粱，甘藷，花生，黃蘗等田區，因水源不足，以往不予灌溉。但是最近由於注重雜糧生產，如能對旱作物加以適當的灌溉，則不但其作物產量可以提高，其品質亦可以改善。且自民國 62 年秋，曾文水庫竣工後，由於水源不足，灌溉可用水量增加，除水稻維持原來之灌溉外，甘蔗每作可由二次增加至七次，雜作亦可有二次灌溉，故旱作灌溉之研究，亦日趨重要。

旱作灌溉之研究可分需水量與灌溉方法二方面，本文僅討論灌溉方法部分。一般而言，灌溉方法可分為三種，即地表灌溉，噴灑灌溉與地下灌溉。地表灌溉可分為溝灌，埂灌二種，溝灌方式適用於甘蔗，甘藷及其他蔬菜等畦栽作物；而埂灌方式則適用於花生，黃麻，玉米，高粱等培土作物。噴灑灌溉雖適用於所有之作物，但其設備及維持費用均高，並未普遍採用。至于地下灌溉為一控制地下水位之灌溉，在地下埋管，通水，藉毛细管作用上昇至根系，以達灌溉之利，但因此種灌溉適用於平坦地，且需在有邊界地區，故在臺灣及外國均很少用。所以臺灣之旱作灌溉仍以地表灌溉為主，亦即採用畦溝灌溉及埂間灌溉。

所謂地表灌溉，係利用重力作用使水分自田區首端流至末端，以至浸潤地面之一部或全部，而使適量之水分保持於根系間，以供作物生長滋榮之用。影響地表灌溉之因素很多，如入滲率，流量，田區長度，田區坡度，地表狀態，施灌時間，土壤質地，土壤水分等，而地表灌溉之研究即是在如何調和此等相互影響之因子，而使灌溉水分能平均分佈於土層中以供作物根系吸收，故灌溉方法之研究實為一錯綜複雜之問題。

臺灣之旱作灌溉，自民國 53 年至 60 年間，一般機關及臺大施嘉昌教授已經作過甚多灌溉試驗之研究，包括埂間灌溉與畦溝灌溉，且從中探討出甚多有關各種旱作物之施灌流量，施灌流長，灌溉水深，及施灌時間之相關性，而求得可行之灌溉公式及有關圖表，以供灌溉實施之應用，但此等灌溉資料皆係牛耕區所求，如用於機耕區時是否可援例引用頗值探討。

自民國 60 年以來，由於臺灣工業之急速發展，農村勞力漸感缺乏，故農業耕作遂有改用機械操作來代替牛耕或人工操作之趨勢。目前旱田作物所用之機械，可分大型曳引機 (Tractor) 與小型耕耘機 (Power tiller) 二種，其耕犁深度均較牛耕區為深

，一般言之，機耕田區之耕犁深度大約為 17~21cm，而牛耕區之耕犁深度只有 12~15cm，而且其整地情形前者較後者為優，土質亦較疏鬆。由於以上諸種原因，故在機耕田區，其垂直滲漏量一定較大，如與牛耕區施灌相同之水量，則因其垂直滲漏量較大，故其向前移動之水量必相對的減少，因而使水流前進速度緩慢，但是為了要使整個田區尤其是田區末端滲入足夠水量，在機耕區其施灌水量與時間必需較牛耕區大。因此機械耕犁之田區其灌溉上各影響因子之間之相關性與牛耕區必有顯著的不同，若將以往所作之牛耕區之資料直接應用於機耕田區，似不太適合，因此，機耕田區之灌溉需重作試驗，從此而探討機耕田區影響地表灌溉諸因子間之綜合變化，然後由相互之關聯性中，冀以獲得一些基本概念，即在何種機耕田區，何種作物及何種土壤特徵下，其最優良的灌溉方式應如何實施，以後在類似的機耕田區，方可加以參考，以供其灌溉配水實施之用，此即為本文研究之目的。

## 二、文 獻 探 討

影響地表灌溉之因素很多，施灌後灌溉水在田面上之流動情形及滲入土層的情形，非常複雜，隨著時間及流距之不同而會發生遞減之變化，所以地表灌溉乃屬於一種不定量非等速流 (Unsteady Non-uniform Flow)，此種水理現象，若以純理論分析，則必須在許多可變性的因子上，先作若干假設，然後再加以解析，方能獲得一些結果。如假設不同，則因其研究方向不同，而所獲的結果亦大有差異。

以往各學者對地表灌溉之研究雖然很多，但綜合歸納之，根據其假設條件之不一，其研究方法可大別為二類。其一為基於質量不減原理，用水流法來探討地表灌溉，另一類是根據連續方程式，動量方程式及能量方程式三種基本原理，用流體動力法 (Hydrodynamics)，來探討地表灌溉之各項影響因素。茲分別概述如下：

### (一)水文法之探討

利用水文法來探討地表灌溉的歷史甚長，始自 1913 年 P. A. Parker 氏，即假設土壤入滲率是定值而推算水流前進長度，但是因土壤入滲率隨時間而漸減，故其結果與田間實際情形並不相同。

後來霍雨時氏利用 Kostiakov 之入滲率公式  $I = kt^n$ ，利用雙重積分法而導出一平均滲入水深公式：

$$D_s = \frac{kab}{n+1} t_i^{(n+b)} \left[ \frac{1}{b} - \frac{n+1}{b+1} + \frac{n(n+1)}{2(b+2)} \dots \dots \dots \right]$$

由於其太複雜，所以 F. W. Kiefer 即將上式提出一值，定為 Kiefer 校正係數，而導出平均滲入水深公式：

$$D_s = \frac{KF}{(n+1)(n+2)} t_i^{n+1} F = b(n+2) \left[ \frac{1}{b} - \frac{n+1}{b+1} + \frac{n(n+1)}{2(b+2)} \dots \dots \dots \right]$$

因地面積水公式為

$$D_s = \frac{D_o}{1+b}$$

所以 FoK 氏又將此二公式加以推演而導出一水流前進曲線公式：

$$L = \frac{Qt_s}{W(D_s + D_a)} = \frac{Qt_s}{W \left[ \frac{D_o}{1+b} + \frac{FK t_i^{n+1}}{(n+1)(n+2)} \right]}$$

此式適用於渠間灌溉

$$L = \frac{Qt_s}{\frac{UD_o^2}{1+b} + \frac{WFK t_i^{n+1}}{(n+1)(n+2)}}$$

此式適用於畦溝灌溉

式中

- $D_s$  = 平均滲入水深
- $D_a$  = 地面積水深
- $D_o$  = 渠道水深
- $t_s$  = 施灌時間
- $t_i$  = 入滲時間
- $Q$  = 施灌流量
- $L$  = 灌溉流長
- $W$  = 田區寬度
- $U$  = 形狀係數
- $n$  = 入滲指數，其值介於 0~1 中間
- $k$  = 入滲常數
- $a, b$  = 實驗常數

緊接着，施嘉昌教授又利用適合臺灣輪作田土壤特性的 philip 滲入公式  $I = Kt_i^n + C^0$  而推演得

$$L = \frac{Qt_s}{W \left[ \frac{D_o}{1+b} + \frac{KF t_i^{n+1}}{(n+1)(n+2)} + \frac{C_o t_i}{b+1} \right]}$$

另外，甘俊二氏推演得臺灣輪作田之流長公式而得：

$$L = \left\{ \frac{1}{aQ^0} \left( \frac{d}{x} \right)^{\frac{1}{n}} \left[ (2-E)^{\frac{1}{n}} - E^{\frac{1}{n}} \right] \right\}^{\frac{1}{b}}$$

葉政秀氏又推演輪作田區灌溉水深曲線公式

$$d = 7.68 \left( \frac{Q}{W} \right)^{0.18} L^{0.436}$$

式中

$E$  = 灌溉效率

而後，吳純宏氏又根據土壤入滲曲線  $D = Ct^n$ ，及水脈前進曲線  $X = at^b$ ，二個公式考慮提前斷水，而推演得田區平均滲入水深  $d_m$

$$d_m = c(t_k + t_c)^n \left( 1 - \frac{n}{m+1} \times \frac{t_L}{t_L + t_c} \right)$$

式中  $c$  = 滲入常數

$n$  = 滲入指數

$m$  = 前進指數

$t_L$  = 灌溉水流達末稍時間

$t_c$  = 田區末端滲入時間

由此平均滲入水深，再用電子計算機來求算一適當之斷水點，而達理想之灌溉效率。

## (二) 流體動力法之探討

在另一方面，利用流體動力法來探討地表灌溉，則始自 Loo 及 Hamsen 氏，他們是用連續方程式及動量方程式而導出一非線性微分式：

$$\frac{y}{x} = \left[ 1 - \frac{q^2}{gy^3} \right] - \left[ S_o - S_f - \frac{\partial q}{gy^2} \right] \left[ \frac{\partial q}{\partial x} - \frac{1}{gy} \frac{\partial q}{\partial t} \right]$$

但此微分式非常複雜，故 1965 年 Kruger 和 Bassert 即用定差分技巧 (Implicit finite difference)，來解此微分式，至 1968 年 Wilke 用數值分析法來解析 (Numerical techniques)，但是由於不容易找出濕潤前端的適當的邊界條件，所以必需假設水流動時之水深，流速以及入滲率之值。此法在水深較大時，正確性較高，而在水深較小時則反之。故 D. C. Kincaid, D. F. Herrmann 以及 E. G. Kruse 爲了克服此種難題而獲得水足端點較穩定之解，故利用連續方程式，動量方程式及能量方程式提出下列各數學模式，用以表示由坡度，粗糙度

，入滲率而影響的地表上水深的時間變化，以及前進速度的變化，其三個基本方程式如下：

$$\text{連續方程式：} y \frac{\partial v}{\partial x} + V \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = -I$$

$$\text{動量方程式：} \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} - S_0 = \frac{J_0}{ry} + \frac{VI}{gy}$$

$$\text{能量方程式：} \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} - S_0 = \frac{1}{V_{yr}} \int \epsilon dy + \frac{VI}{\partial gy}$$

$y$  = 水深

$V$  = 在任意點斷面的平均流速

$x$  = 自上游到此點之距

$I$  = 入滲率

$S_0$  = 坡度

$t$  = 灌溉開始後所經之時間

$g$  = 重力加速度

$r$  = 比重

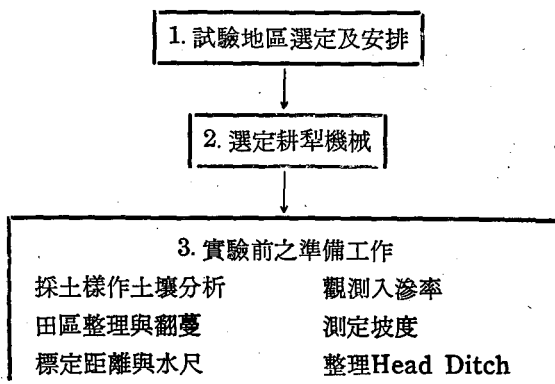
$J_0$  = 平均剪力

$\epsilon$  = 消失速率

此次試驗，係依水文法之原理來探討地表灌溉之水理。至於是否可用流體動力法來探討，則猶待更進一步之研究。

### 三、試驗研究計劃

一航言之，試驗研究成功與否，全視試驗前是否有周詳之計劃，倘事前準備完善，則試驗時自然可以有條不紊地達到吾人觀測之目的。茲將本次試驗之研究計劃簡繪如下圖，並將各工作項目，詳述如下：



作灌前採土

鋪 PVC 布  
埋巴歇爾水槽

#### 4. 試驗進行之實際觀測項目

|          |             |
|----------|-------------|
| 觀測水流前進時間 | 觀測灌溉前後之溝形斷面 |
| 觀測水位記錄   | 變化          |
| 觀測水流退水時間 | 觀測灌後採土      |

#### (一)試驗田區之選定與安排：

在灌溉試驗以前，所需試驗儀器及設備，必需先預備妥當。而其試驗前之第一步工作即為試驗地區之選定與安排。此步工作影響整個試驗至大，如安排不得宜則必會使試驗中遭受到許多阻礙，而直接影響到整個試驗的結果，故現將選定之步驟與條件分列如下：

1. 先決定擬試驗之土壤，作物，且在地圖上決定大概位置。

2. 請水利會工作站人員初步選擇試驗區及合作農民，實地去現場選定。

3. 試驗地區之大小在埤間灌溉區大約以 2 公頃左右為宜，而在畦溝灌溉區大約需 0.5 公頃左右即可。因為在每一試驗中，必需要有三種以上的流量，每一種流量要有二種以上的斷水距離，而每一斷水距離又必須要作三次重複試驗，如現在採用四種流量，三種斷水距離及三次重複試驗，則一試驗田區至少要有  $4 \times 3 \times 3 = 36$  丘塊，而另外尚需留幾區作準備溝及排水溝之用，故預計一試驗田區需 40 丘塊。而在埤灌區，其每一丘塊預計之寬度為 5m，長度為 100m，所以試驗田區之面積大約需  $40 \times 5 \times 100 = 20,000 \text{ m}^2 = 2.0 \text{ ha}$ ，同樣在畦溝灌溉區，其畦溝寬度大約為 1m，長度為 100m，所以在畦溝灌溉試驗區面積為  $40 \times 1 \times 100 = 4000 \text{ m}^2 = 0.4 \text{ ha}$ 。

4. 試驗田區之土質要均勻，且整地要良好。

5. 試驗田區要方正，長寬要有規則。

6. 試驗田區附近必須要有充足的水源及完整之灌溉系統。

7. 試驗田區如不能毗鄰時，各試驗分區要愈接近愈好，且各分區之土壤坡度等條件必須一致。

8. 試驗田區要有均勻坡度，且具有代表性者，故選地時必須用手水準儀大致測定之。

按上列原則在嘉南農田水利會管區新港旱作灌溉試驗站內選定試驗地，土質為砂壤土，試驗之處理及重複數列為表 1 及表 2：

表 1. 溝 灌 區 試 驗 之 處 理 情 形

|                 | 畦溝灌漑區                   |    |    |    |                        |    |                        |                          |    |    |           |    |    |
|-----------------|-------------------------|----|----|----|------------------------|----|------------------------|--------------------------|----|----|-----------|----|----|
| 作物              | 甘藷                      |    |    |    |                        |    |                        |                          |    |    |           |    |    |
| 耕犁方式            | 純機耕區<br>(用耕耘機耕犁，用作溝器作畦) |    |    |    |                        |    | 半機耕區<br>(用耕耘機耕犁，用牛犁作畦) |                          |    |    |           |    |    |
| 施灌流量<br>(l/sec) | 4                       |    | 6  |    | 8                      |    | 2                      | 4                        |    | 6  |           | 8  |    |
| 處理方式<br>(%)     | 100                     | 90 | 80 | 75 | 75                     | 70 | 100                    | 100                      | 90 | 80 | 75        | 75 | 70 |
| 重複數             | 3                       | 3  | 3  | 3  | 3                      | 3  | 1                      | 3                        | 3  | 3  | 3         | 3  | 3  |
| 試驗項目            | 1. 入滲率之測定<br>5. 觀測田區坡度  |    |    |    | 2. 灌前灌後採土<br>6. 觀測水位高度 |    |                        | 3. 觀測水流前進時間<br>7. 觀測斷面變化 |    |    | 4. 觀測退水時間 |    |    |

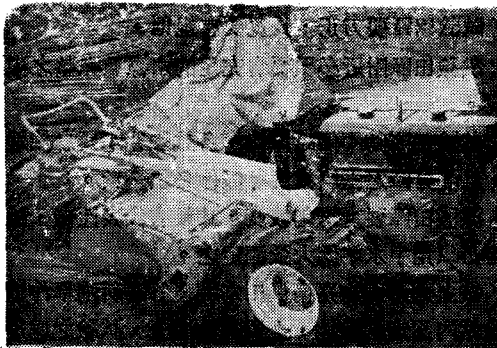
表 2. 埂 灌 區 試 驗 之 處 理 情 形

| 作 物                 | 埂 間 灌 溉 區                   |    |    |    |                        |    |    |  |                             |    |    |  |      |    |     |     |
|---------------------|-----------------------------|----|----|----|------------------------|----|----|--|-----------------------------|----|----|--|------|----|-----|-----|
|                     | 高 梁                         |    |    |    |                        |    |    |  |                             |    |    |  |      |    |     |     |
| 耕 犁 方 式             | 大 型 曳 引 機 機 耕 區<br>(用曳引機耕犁) |    |    |    |                        |    |    |  | 小 型 耕 耘 機 機 耕 區<br>(用耕耘機耕犁) |    |    |  |      |    |     |     |
| 單 位 流 量<br>q(l/sec) | 0.4                         |    |    |    | 0.35                   |    |    |  | 0.25                        |    |    |  | 0.35 |    | 0.3 | 0.2 |
| 施 灌 流 量<br>(l/sec)  | 24                          |    |    |    | 21                     |    |    |  | 15                          |    |    |  | 21   |    | 18  | 12  |
| 處 理 方 式<br>(%)      | 100                         | 90 | 85 | 80 | 100                    | 95 | 90 |  | 100                         | 95 | 90 |  | 100  | 90 | 80  |     |
| 重 複 數               | 3                           | 3  | 2  | 1  | 3                      | 3  | 3  |  | 3                           | 3  | 3  |  | 3    | 3  | 3   |     |
| 試 驗 項 目             | 1. 入滲率之測定<br>4. 觀測退水時間      |    |    |    | 2. 灌前灌後採土<br>5. 測定田區坡度 |    |    |  | 3. 觀測水流前進時間                 |    |    |  |      |    |     |     |

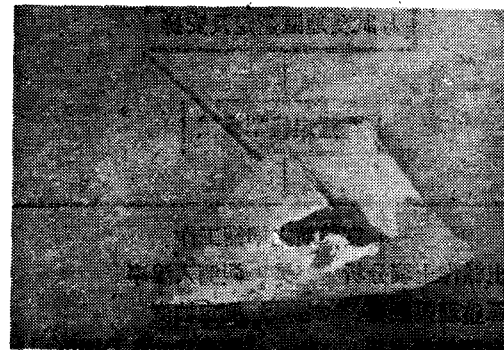
(一) 耕作機械：

此次之機耕田區之埂間灌溉試驗所用之耕犁機械可分為二種：一為大型曳引機 (Tractor)，其耕犁深度大約為 18~21cm，另一種為小型耕耘機 (Power tiller)，其耕犁深度大約為 15~18cm。(參看圖

1)。而在畦溝灌溉區亦分為二種，一區為純機耕區即用耕耘機耕犁，用作溝器作畦 (參看圖 2)，而另一區為半機耕區，是用耕耘機耕犁，而用牛犁作畦，故與以往用手耕犁及作畦之方法皆有顯著之不同。



(圖 1) 小型耕耘機



(圖 2) 作 溝 器

### (三)試驗前之準備工作

試驗田區選定以後，即可開始作試驗前之準備工作，其工作項目共有下列七項：

#### 1. 採土樣作土壤分析：

為確知試驗區土壤之性質，故需作機械分析 (Mechanical Analysis)，田間容水量 (Field Capacity)，凋萎點 (Wilting point)，及假比重 (Apparent Specific Gravity) 等土壤分析實驗，所以需在試驗開始前採土樣作土壤分析。依統計原理平均以每公頃逢機採取五點為宜，每點在土層剖面每隔 20cm 向下採取一樣本，直至 100cm 深度為止，故每公頃之田區平均採取 25 個樣本，而每個樣本之重量以 1~2 公斤為度。此次實驗，在溝灌區因為其面積只有 0.3ha，所以逢機選取 3 點，而在各點土層深度下 0~20cm，20~40cm，40~60cm 處採取土樣，而在埂灌區則仍逢機採取五點，在土層深度下 0~20cm，20~40cm，40~60cm 處採取土樣。

#### 2. 田區整理與翻蔓：

良好之灌溉試驗田區應具備良好之水流條件，因此試驗以前田區應妥為整理，如為埂間灌溉，每灌區間之田埂必須修補完善，不使水流沖蝕或有溢流現象；如畦溝灌溉選用甘藷區，必須預先翻蔓，以便試驗時水能流暢。

#### 3. 標定距離與水尺：

為求試驗觀測之方便，自試驗田區首端開始至末端，每隔 10m 處標出距離，常以蘆桿標插，在 50 公尺 100 及公尺等特殊點應做不同記號，如同時標插二蘆桿，以資識別。

#### 4. 作灌前採土工作，以觀測灌前土壤水分含量：

灌前採土對整個灌溉試驗而言，是非常重要的條件，根據玉井氏之  $\frac{1}{2}$  有效水分說，即多數土壤在全有效水分消失 50 % 左右時，作物之生長即被抑制，此  $\frac{1}{2}$  有效水分說最適用於砂壤土，在粘土時則應採用  $\frac{3}{4}$  有效水分說，即土壤水分降至自凋萎點以上  $\frac{1}{4}$  有效水分時即需灌溉。此次試驗地區在新港係砂壤土，故可採用  $\frac{1}{2}$  有效水分說。即是指當灌溉前土壤水分降至  $\frac{1}{2}$  有效水分左右時即實行灌溉，可獲得最佳之灌溉效果，此可由試驗結果證明之。除此以外，由灌溉前後土壤水分差，亦可探討灌溉後各不同土層中之蓄積水分含量及其水分分佈狀態，由此可以作為檢定灌溉良莠之指標。

在此次試驗中，灌前土壤水分之測定地點在埂灌區與溝灌區稍有不同，現略述如下：

#### (1) 埂灌區：

灌前土壤水分之測定地點是在各種流量，各種斷水處理中各採一區，每區採土地點是在自田首算起 30m，50m，80m 及 100m 四處，而每處又在土壤剖面下 20cm，40cm，60cm 處各採土樣，即每區共採土樣  $4 \times 3 = 12$  個，其剖面位置如圖 3 所示：

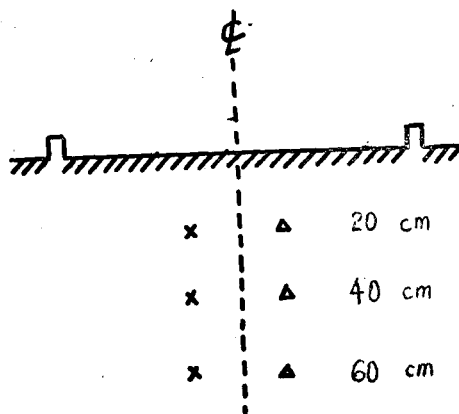


圖 3 埂灌區灌溉前後剖面採土位置圖

#### (2) 溝灌區：

溝灌區採土位置與埂灌區略同，亦是在每種流量，每種斷水處理中採一溝，全試驗共採 12 溝，每溝採土距離自田首起各為 22m，44m，66m，88m 四點，每點溝底一處，溝腰二處，各處在土層剖面下每隔 20cm 採土直至 100cm 止，故每一溝須採土樣  $4 \times 3 \times 5 = 60$  個，其位置如圖 4 所示：

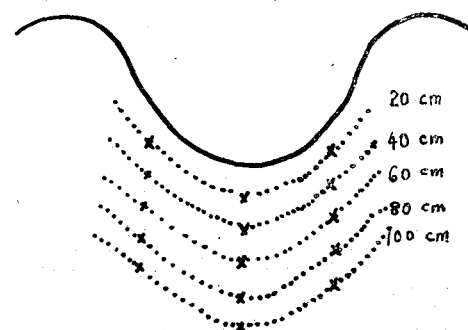


圖 4 溝灌剖面或土位置圖

#### 5. 觀測入滲率

土壤入滲率皆由田間實測求得，一般觀測入滲率之方法分圓桶法 (Cylinder Method)，水池法 (Ponding Method) 及水流法 (Inflow-Outflow Method) 三種，前者常用於埂灌與噴灌時觀測入滲率，其滲入水深考慮與土壤表面為平面者，後二者常

用於畦溝灌溉，在坡度較平之畦溝用水池法較準確，而在坡度較陡之地區則可用水流法。

此次試驗，在埤間灌溉田區採用圓筒法作入滲率之測定，而在畦溝灌溉田區則採用圓筒法及水池法二種方法來測定該地區之入滲率。

#### 6. 作田區坡度之測定：

灌溉前須先測出田區之坡度，以作為將來探討灌溉上各種因素之依據。此次田區坡度之測定工作，是在採土溝測定，而其距離是在 0m, 20m, 40m, 60m, 80m, 100m, 120m 處各行測定其高度，溝灌田區以溝底之高度為準，所用之儀器為水準儀。

#### 7. 整理 Head Ditch，鋪 PVC 塑膠布，埋設巴歇爾水槽：

在灌溉前需作田首引水渠（Head Ditch）以便灌溉水直接引入田區。做引水渠前應清理溝槽，然後鋪 PVC 布，以免定流量之水滲入引水渠，在引水渠前端埋設巴歇爾水槽以調節流量之大小而達試驗所需。巴歇爾水槽下游應緊接 PVC 布鋪設之引水渠，以保流量之準確。

#### 四、試驗進行之實際觀測項目：

灌溉試驗前之準備工作就緒後，即可開始進行灌溉試驗，其應觀測的項目計有下列五項：

##### 1. 觀測水流前進時間（Advanc time）：

在灌溉進行之中，欲了解灌溉水流前進之速度，則需隔一段距離  $\Delta L$  處觀測水流到達時間  $\Delta t$ ，由此可知此區之水流前進時間  $t_a$ 。此值受很多因素影響，諸如地面坡度，粗糙度，重力加速度，整地情況之優良與否，滲入水量之多寡……等。概括言之，如田區坡度較陡則其水流前進速度必較快，田區粗糙度愈大則水流前進速度愈小，整地較優則水流前進速度較快，滲入水量較小則水流前進速度亦較快。而在機耕田區，因用機械耕犁，故其整地情況較牛耕區為優，地表之糙率亦較小，且其耕犁深度較深，垂直滲入量較牛耕區為大，故在機耕田區，其水流前進時間應較牛耕區為慢。

在此次試驗進行之中，水流前進時間之觀測方法是每隔 10m 處記錄下其水流到達時間。

##### 2. 觀測水位記錄：

在田區每隔一定距離，觀測各地區水量之上升及下降之變化，由此水位之變化值可探討出灌溉水流之水利情形。

此次試驗，水位記錄之觀測方法有二種，一為用自計水位計自動觀測水位記錄。另一種即用人為之法

來觀測水位記錄。此二法前者較為精確，但須具備多臺自計水位計方可。而後者之觀測較粗略，所須人工較多，且所得之資料無連續性皆為其缺點。

##### 3. 觀測水流退水時間（Recession time）

當田區斷水經過一段時間後，田面上之蓄積水量即漸漸滲入土中，而地面上之水流即慢慢消失。當田區表面積水乾涸 70 % 以上時，則可認為此段距離已達退水狀態，而其時間即為退水時間（ $t_R$ ）。將田區各點之退水時間  $t_R$  減去其水流前進時間  $t_a$ ，即為此點之滯水時間  $t_i$ （Intake time）亦即是水分能充分滲入土壤中的時間。由於此次試驗是在嘉南三年輪作田內進行，其坡度甚平，大約為  $\frac{1}{1000} \sim \frac{2}{1000}$ ，故其退水速度甚緩慢，可是在機耕田區由於其耕犁深，故其退水時間又較牛耕區為快，大約為斷水後 3 ~ 4 小時即可有退水現象發生，而在牛耕區大約需 7 ~ 9 小時方可觀測到退水時間。

##### 4. 觀測灌溉前後之溝形斷面變化

溝形斷面之觀測只有在畦溝灌溉區進行之，因為臺灣之輪作田區坡度平坦，大約皆在  $\frac{1}{1000}$  左右，故在埤灌區水流前進後不久，田區前端水流往往奪破土埂，向橫方向漫流，而不完全順紋溝前進，因而形成導流水平埤間灌溉。故灌溉後溝形斷面往往被破壞，無法觀測出灌後溝形斷面變化，所以只有在溝灌區方觀測溝形斷面變化。

此次試驗溝形斷面之觀測方法是在畦溝之二邊畦頂處釘二根木樁，以木匠用水平尺使樁頂水平，每隔 10 公分在此水平線下量其深度，即可求出整個溝形斷面之變化，通水後亦以此基準線為準在適當之時間間隔測得水面之垂直高度。因此非但可求得通水時之斷面變化同時亦可求出灌前灌後溝形斷面之間之變化情形。其試驗方法略如下圖 5。

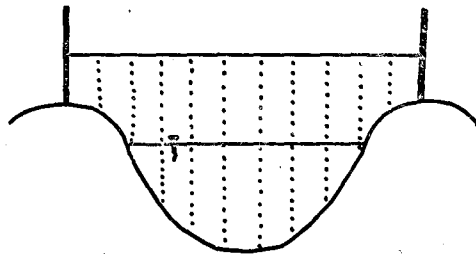


圖 5 試驗前後及試驗中畦溝斷面與水位昇降略圖

##### 5. 灌後採土

灌溉後 24 小時，俟地面水全部滲入根系後，

採取土樣，地點與灌溉前採土位置同，深度亦同，以作灌後土壤水分之調查。由灌前灌後土壤水分之含量即可作為計算灌溉效率之根據。

以上五種試驗觀測項目完成後，整個試驗即告完成。由所觀測之資料即可開始作分析工作，而求得試驗之結果。

#### 四、研究理論的探討

影響地表灌溉之因子甚多，諸如入滲率，前進速率，田區大小，灌溉流長，施灌流量，退水時間，滯水時間，地表逕流，土壤水分等。所以，如欲在一田區施行灌溉，而預期能得到最佳之灌溉效果，則應考慮各影響因子，然後求出其中相互間之關連性，即如 i 下式所示：

$$L = at^b a^c Q^d M^e S^f R^g t_r^h t_i^i D^j \dots \dots \dots (4.1)$$

式中：L：灌溉流長

$t_a$ ：施灌時間

I：入滲率

Q：施灌流量

M：土壤水分

S：田面坡度

R：地表糙率

$t_r$ ：退水時間

$t_i$ ：滯水時間

D：施灌水深度

a. b. c. d. e. .... j：常數

欲全盤考慮上列各因子而求其解，似非易事，唯一可行之方法為將較不重要的因子省略或歸併入其他類似因子以簡化上式，然後求其近似解。

(一) 以往所用之公式

在以往只認為流長 (L) 與水流到達某距離之時間 ( $t_a$ ) 之間有相當高之關聯性存在，因而導出最簡單之方程式如下：

$$L = at^b \dots \dots \dots (4.2)$$

此公式只考慮到 L 與  $t_a$  之間之關聯性，而將其他之影響因子，諸如流量 Q，入滲率 I 等認為並不十分重要，而併入係數 a 中，不加以分項考慮。故此公式雖較簡單，但是在研討方面不够精密。

其後，施嘉昌教授，曾考慮到流量與重力加速度亦會影響水流前進現象，故提出一項新的水流前進方程式，而其中考慮到四項因子在內，即為流長 (L)，施灌流量 (Q)，重力加速度 (G) 及水流前進達某

距離之時間 ( $t_a$ )。其方程式如下：

$$L = at_a^b Q^c G^d \dots \dots \dots (4.3)$$

在此式中，雖較以往之水流前進方程式多考慮二個變數，即 Q 與 G，但是在事實上，G 為一重力加速度，即  $9.8m/sec^2$ ，所以， $G^d$  亦為一常數，並不因地區及土壤的不同而有影響，故可將其併入常數 a 中而形成如下的形式：

$$L = a' t_a^b Q^c \dots \dots \dots (4.4)$$

(二) 應用公式導引之原因

在機耕田區其耕犁深度大約為 15~21cm. 而在牛耕田區其耕犁深度僅 9~12cm. 所以在機械耕犁區耕犁深度較大，則其垂直入滲水量一定較以往牛耕田區者為多。故同樣之水量灌入田區，較多之水向垂直方向滲入，而只剩下較少之水向前移動，故其前進的速度一定較慢。故在機耕田區，垂直入滲水量對水流前進時間之影響至巨，所以在考慮水流前進因子時，除了需考慮施灌流量，水流前進時間及流長外，尚需考慮此入滲率因子在內。

(三) 應用公式之導引

臺灣旱作田多屬輪作田，具有許多特性，致使許多影響因素皆不顯著，可視為一常數，茲略述如下：

1. 在臺灣輪作田區灌溉時，水流未達末端時即提早斷水，而使餘水流達末端以期獲得較均勻之灌溉，故無逕流產生。

2. 當土質為砂壤土時，即採用  $\frac{1}{2}$  有效水分說，故灌前土壤水分降至  $\frac{1}{2}$  有效水分時，即需加以灌溉時。當土質為粘土時，則採用  $\frac{3}{4}$  有效水份說，故土壤水分可視為一常數。

3. 現在臺灣田區皆已經過農地重劃，故其田區大小亦已有一定之規格，其長度為 100~120m，寬度在埂間灌溉區為 5m 寬，而在畦溝灌溉區為 1~1.1m 寬，故此田區大小亦可視為常數。

4. 臺灣輪作田之坡度平坦大約皆為  $\frac{1}{1000} \sim \frac{2}{1000}$  之間，故坡度亦可視為一常數。

5. 由於用機械耕犁，如使用之耕犁機械相同，則其所整成之溝形斷面必定相同且粗糙率也相差不多，故溝形斷面及地表粗糙率二因子亦可視為常數。

在所有影響地表灌溉之因子中，如 (4.1) 式所列，將其假設為常數的影響因子除去後，剩下的影響因子則只有入滲率，前進速率，施灌時間，滯水時間，退水速率，施灌流量，灌溉流長等七個因子。而其中前進速率為施灌時間的一個函數，故可併為一項影

響因子  $t_a$  而加以考慮。至於滯水時間與退水時間又為入滲速率的一個函數，因為  $t_i = t_R - t_a$ ，而  $I = Kt_i^n$ ，所以  $I = K(t_R - t_a)^n$ 。故滯水時間，退水時間實為入滲率之一個因子，只需考慮入滲速率  $I$  即可。所以將各影響因素考慮下去，則可推得一個方程式：

$$L = at_a^b I_c Q_d$$

式中  $L$ ：流長 (m)

$t_a$ ：水流到達某距離之時間 (min)

$Q$ ：灌溉流量 (e/sec)

$I$ ：土壤入滲率 (mm/min)

$a, b, c, d$ ：常數

再利用因次分析法分析之，可知

$$\text{長度因次：} l = c + 3d$$

$$\text{時間因次：} 0 = b - c - d$$

$$\therefore c = 1 - 3d$$

$$b = c + d = 1 - 2d$$

$$\therefore L = at_a^{1-2d} I^{1-3d} Q^d$$

將上式之 Repeating Variable  $t_a I$  提出，移項後即得：

$$\frac{L}{t_a I} = \frac{a Q^d}{t_a^{2d} I^{3d}}$$

$$\frac{L}{t_a I} = a \left( \frac{Q}{t_a^2 I^3} \right)^d$$

但因  $I = Kt_i^n$

$$\frac{L}{t_a K t_i^n} = a \left[ \frac{Q}{t_a^2 (K t_i^n)^3} \right]^d$$

$$\frac{L}{t_a K t_i^n} = a \left[ \frac{Q}{t_a^2 K^3 t_i^{3n}} \right]^d$$

所以由試驗資料之中，可推算出各試驗地區之  $K, t_i, Q, n$  諸值，然後即可代入 IME 小型計算機之最小二乘法之 Program 中，求出  $a, b, c, d$  四個係數值，而導引出此試驗地區之公式。

所以，在一地區如求其  $L, t_a, I, Q$  四因子間之相關性，則可繪一相關之 Normal Graph 以利將來類似地區灌溉之參考應用。

四應用公式導引之結果：

此次試驗在純機耕甘藷溝灌區導出之式如左：

$$L = 276.97 t_a^{0.56774} I^{0.35161} Q^{0.31615}$$

半機耕甘藷溝灌區

$$L = 523.36 t_a^{0.52884} I^{0.29325} Q^{0.23552}$$

大型曳引機高粱堰灌區

$$L = 392.47 t_a^{0.76214} I^{0.64821} Q^{0.11892}$$

小型耕耘機高粱堰灌區

$$L = 683.9 t_a^{0.6128} I^{0.4192} Q^{0.1925}$$

四公式之應用

在一欲灌溉地區，可引用以往在類似地區所作之試驗結果所導引出之公式而加以應用之。

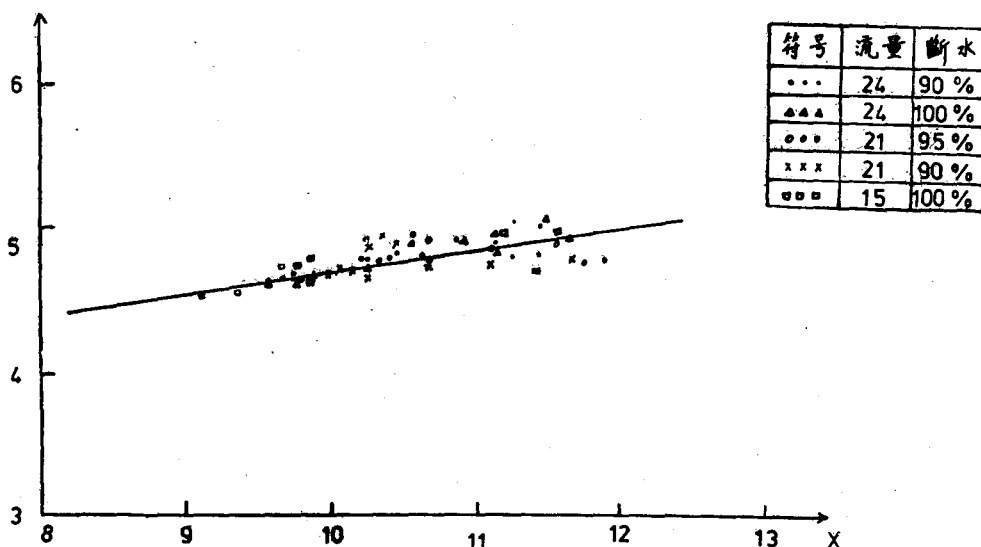
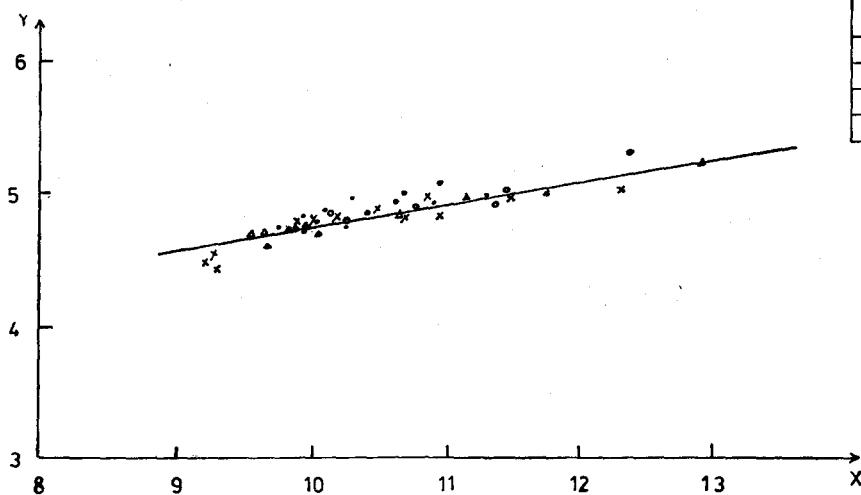


圖 6 大型曳引機 機耕高粱○灌區

$$L = 392.47 t_a^{0.76214} I^{0.64821} Q^{0.11892}$$

$$\text{圖中 } X = 7.7782 + \log Q - 2.0 \log t_a - 3 \log K - 3 n \log t_i$$

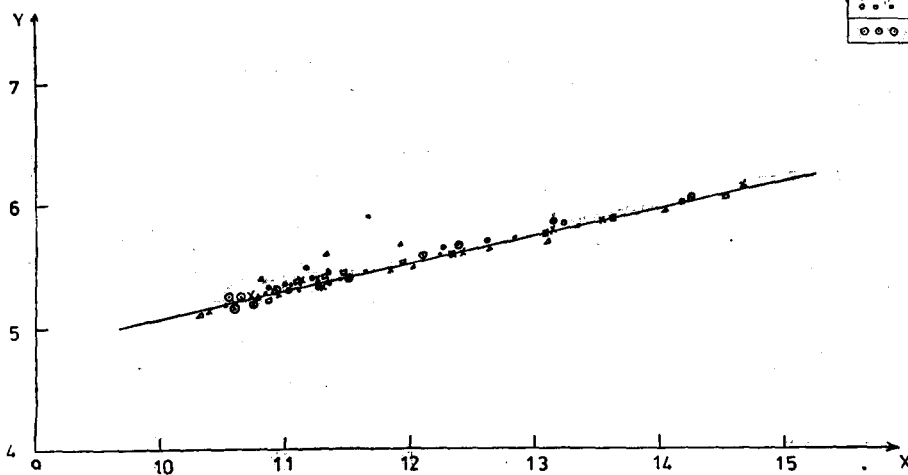
$$Y = 3 + \log L - \log K - n \log t_i$$



| 符号  | 流量 | 斷水   |
|-----|----|------|
| ••• | 18 | 100% |
| ××× | 18 | 90%  |
| ••• | 12 | 100% |
| △△△ | 12 | 90%  |

圖7 小型耕耘機耕高粱埂灌區

$$L = 683.9 t_a^{0.6128} I^{0.4192} Q^{0.1936}$$



| 符号  | 流量 | 斷水   |
|-----|----|------|
| □□□ | 8  | 75%  |
| ××× | 8  | 70%  |
| ••• | 6  | 80%  |
| △△△ | 6  | 75%  |
| ••• | 4  | 100% |
| □□□ | 4  | 90%  |

圖8 半機耕甘藷溝灌區

$$L = 523.36 t_a^{0.52064} I^{0.20828} Q^{0.28558}$$

此次試驗中所導出之公式形式為  $L = at_a^b I^c Q^d$  故在類似之地區，其  $a, b, c, d$  四常數可視為已知。而在同樣土質之地區，其入滲率  $I = Kt_i^n$  中之  $K, n$  可視為常數。將其積分後，即可求得累積滲入水深為  $D = Ct_i^m$ ，其中  $c, m$  亦可視為常數。所以，如果滲入水深已知，則可反算出浸水時間  $t_i$ 。因為施灌水經若干時間後，即會大部份皆滲入土中，故可

假設施灌水深度即與累積滲入水深相等。故如欲灌溉  $t_a$  時間，而用施灌流量為  $Q$  時，則其施灌水深度  $D = \frac{Qt_a}{A}$ ，故由此公式可推算出施灌水深度，而累積滲入水深亦可求出。再由此累積滲入水深  $D$  值即可反算出平均入滲時間  $t_i$  之值  $t_i = \left(\frac{D}{C}\right)^{\frac{1}{m}}$ ，由此

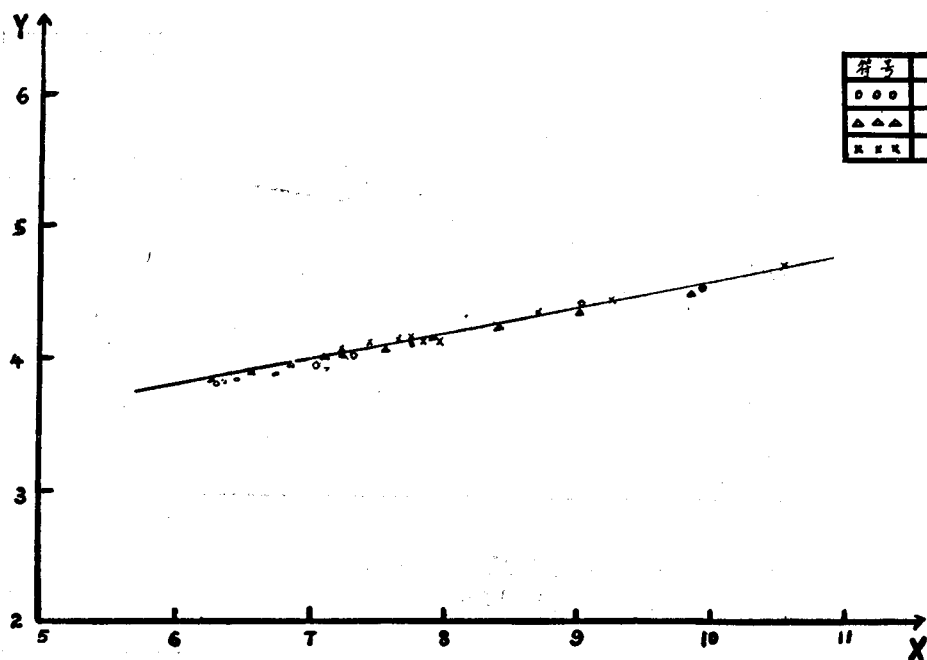


圖9 機耕甘肅溝灌區  
9.  $L = 276.97t_a^{0.56714} I^{0.85161} Q^{0.21618}$

平均入滲時間，即可估算出此地區之平均入滲率  $I$ 。

在一欲灌溉地區，如欲用施灌流量  $Q$ ，施灌時間  $t_a$ ，其平均入滲率為  $I$  時，即可代入公式  $L = at_a^b I^c Q^d$  中而求出施灌流長  $L$ 。如果不太適合，則可調整其施灌流量或施灌時間，以達到理想之灌溉效果。

(a) 以往之方法所導引之公式：

在以往，地表灌溉所考慮者皆為最簡單之情形，即設  $Qt_a = AD$ ，而其中  $Q$ ， $t_a$ ， $A$ ， $D$  四個因子間皆成一次關係性，故由

$$I = Kt_a^n$$

$$D = \int I dt_a = \frac{K}{n+1} t_a^{n+1} = \frac{t_a}{n+1} K t_a^n$$

$$= \frac{t_a}{n+1} I$$

由  $Qt_a = AD$  式中知：

$$A = \frac{Qt_a}{D}$$

$$WL = \frac{Qt_a}{D}$$

當  $W$  固定時

$$L = \frac{Qt_a}{D}$$

$$= \frac{Qt_a}{\frac{k}{n+1} t_a^{n+1}}$$

$$= \frac{Qt_a}{\frac{t_a}{n+1} I}$$

$$L = \frac{Qt_a (n+1)}{t_a I}$$

$$L = (n+1) Qt_a t_a^{-1} I^{-1}$$

(b) 以往所導引之公式與新導引公式之比較與討論

以往所導引之公式如前所述，即

$$L = (n+1) Qt_a t_a^{-1} I^{-1}$$

現在所導引之公式則為

$$L = at_a^b I^c Q^d$$

而其中  $a$ ， $b$ ， $c$ ， $d$  皆為正值的常數

按以往之公式， $t_a$  及  $I$  之指數皆應為負值方可，但現所導之  $I$  指數則為正值，其影響原因大概如下所述：

在以往所用之公式中，皆假設  $Q$ ， $t_a$ ， $A$ ， $D$  之指數式皆為一次式，即  $L = (n+1) Qt_a t_a^{-1} I^{-1}$  但現在所導引之公式，事先不假設其成此種簡單型式，而由因次分析法來求得  $a$ ， $b$ ， $c$ ， $d$  各值，例如  $L = at_a^b I^c Q^d$  其中， $a$ ， $b$ ， $c$ ， $d$  皆為任意數值，而不恆等於 1。由四次試驗結果得知， $d$  值大約皆趨近於 0.2。由以往之因次分析可知：

$$C = 1 - 3d$$

由於  $d$  值接近 0.2，所以  $C$  值接近於 0.4 而恆為正值，故無錯誤。

但是如果按以往之方法令  $d$  值恆等於 1 代入新公式，則  $C = 1 - 3d = -2$  如此則  $C$  值總為負值，故與以往之公式亦不謀而合。

所以由上可知，原有之公式與新導引之公式因為其假設不同，所以自然結果不相同。在實際應用上而言，以往之公式較簡單且較實用。但是在研討方面，則新導引公式雖然在應用上較煩，可是其精確度較高，比較可信。

## 五、討論與結論

此次之地表灌溉試驗，所用之耕作機械分為三種，即大型曳引機，小型耕耘機及作溝器。本文所探討之資料是從四次灌溉試驗而得，埂灌與溝灌各二，即本年三月底在甘藷畦溝灌溉區作過一次灌溉實驗。至 5 月初，又在高粱種植時期作過一次埂間灌溉試驗。在甘藷溝灌區中，其機耕區之試驗共作 18 次，即用  $Q=4l/sec$ ,  $6l/sec$ ,  $8l/sec$  三種流量作試驗，而每一種流量採用二種不同的長度斷水百分比，而每一種處理重複試驗三次。詳見表 1。在甘藷半機耕溝灌區中，用  $Q=2l/sec$ ,  $4l/sec$ ,  $6l/sec$ ,  $8l/sec$  四種流量作試驗，每一種流量亦採用 1~2 種不同的斷水百分比，每一種處理又重複作數次。故共作了 19 次灌溉試驗。在大型曳引機高粱埂灌區中用單位流量  $q=0.4l/sec$ ,  $0.35l/sec$ , 及  $0.25l/sec$  三種流量作試驗，每一流量採用 3~4 種不同的斷水百分比，而每一種處理又重複試驗數次，故共作了 27 丘塊之試驗。在小型耕耘機高粱埂灌區中，用  $q=0.35l/sec$ ,  $0.3l/sec$ , 及  $0.2l/sec$  三種流量，每一流量採用 2~3 種長度斷水百分比來處理，每一處理再重複試驗數次，故共作了 27 丘塊之試驗。以上之試驗處理情形詳見附表 2。茲就此二次灌溉試驗，加以分析。再與以往之牛耕區比較，發現有許多點不盡相同，現比較為下：

(一)入滲率之比較：

|       | 耕犁方式    | 入滲率公式                  |
|-------|---------|------------------------|
| 埂間灌溉區 | 大型曳引機田區 | $D=39.102 t_1^{0.158}$ |
|       | 小型耕耘機田區 | $D=33.423 t_1^{0.151}$ |
|       | 牛耕田區    | $D=12.520 t_1^{0.141}$ |
| 畦溝灌溉區 | 機械耕犁田區  | $D=36.611 t_1^{0.447}$ |
|       | 半機耕田區   | $D=20.741 t_1^{0.407}$ |
|       | 牛耕田區    | $D=13.382 t_1^{0.374}$ |

由上列之數據可知在機耕田區，其耕犁深度較深，且其土壤疏鬆，故其入滲率大於以往之牛耕區甚多

，尤其是剛開始入滲之時。而同樣的，用不同的機械耕犁亦會影響入滲率之值。由上表中可看出埂灌區中大型曳引機田區之入滲速度較小型耕耘機為大。而溝灌區之入滲率在機耕田區最大，在半機耕田區較小，牛耕區更小。如入滲時間較長後，則入滲水量漸趨穩定，故綜合言之，無論在埂灌區或溝灌區，機耕田區之入滲水深均較牛耕區為多，尤其是在剛開始入滲時，此差異更顯著。但時間稍久後，入滲水量即漸趨穩定而在各田區亦相差不多。

(二)前進時間  $t_a$  之比較：

|     | 單位流量<br>( $l/sec$ ) | 斷水百分比<br>(%) | 耕犁方式    | 施灌時間<br>(分鐘) | 施灌水深<br>(公厘) |
|-----|---------------------|--------------|---------|--------------|--------------|
| 埂灌區 | 0.4                 | 80%          | 大型曳引機田區 | 23.057       | 55.337       |
|     |                     |              | 牛耕田區    | 12.200       | 29.600       |
|     | 0.35                | 90%          | 大型曳引機田區 | 21.866       | 45.919       |
|     |                     |              | 小型耕耘機田區 | 21.254       | 44.633       |
|     | 0.3                 | 100%         | 小型耕耘機田區 | 31.842       | 57.316       |
|     |                     |              | 牛耕田區    | 18.324       | 33.983       |

|     | 流量<br>( $l/sec$ ) | 斷水百分比<br>(%) | 耕犁方式 | 施灌時間<br>(分鐘) | 施灌水深<br>(公厘) |
|-----|-------------------|--------------|------|--------------|--------------|
| 溝灌區 | 4                 | 100%         | 半機耕區 | 32.55        | 78.11        |
|     |                   |              | 牛耕田區 | 22.69        | 54.43        |
|     | 4                 | 90%          | 半機耕區 | 28.44        | 68.26        |
|     |                   |              | 牛耕區  | 16.60        | 40.39        |

在機耕田區，其耕犁深度較深，垂直滲漏量較牛耕田區為多，一如上節所述，故按理言之，如灌入相同之水量且在相同的斷水距離百分比時提前斷水，則在機耕田區之  $t_a$  值應較牛耕田區為慢，例如埂灌區中可看出  $q=0.35l/sec$ ，而在 90% 斷水時，大型曳引機田區之  $t_a$  值為 21.866 分鐘，而在小型耕耘機之田區為 21.254 分鐘以及在  $q=0.4l/sec$ , 80% 斷水時，大型曳引機田區之  $t_a$  值為 23.057 分鐘，而在以往之牛耕田區為 12.2 分鐘。在溝灌田區，亦可看出此現象，例如上表中  $Q=4l/sec$ , 90% 斷水時，半機耕區之  $t_a$  值為 28.44 分鐘，而牛耕區為 16.6 分鐘。而在  $Q=4l/sec$ , 100% 斷水時，半機耕區之  $t_a$  值為 32.55 分鐘而牛耕田區為 22.69 分鐘，故  $t_a$  值在機耕區顯較牛耕區為大。

(三)施灌水深之比較：

所謂施灌水深度即是指灌入田間之水量，可用  $Qt_a$ 。  
 $=AD_a$ 。公式來導出施灌水深度  $D_a = \frac{Qt_a}{A}$ ，由上式  
 可知，施灌水深度受  $t_a$  之影響至巨，故在同樣的處理  
 情形下，機耕田區之  $t_a$  值按理而言應較牛耕田區的  
 為慢，且因其垂直滲透量較多，故其施灌水深度應較牛  
 耕田區為多。

#### (四) 流量比較：

在灌溉時如流量大則其流速快，使得水流向前移  
 動之速度增快，而致使向下之垂直滲漏水量降低，故  
 在牛耕田區應用較小流量，使其有足夠之水量滲入田  
 區中，以補充作物所需水量，而在機耕區則因為其土  
 壤較疏鬆，垂直滲漏水量本來就較大，故可用較大之  
 流量。由此數次試驗結果，可大約看出，在埂灌區，  
 機耕田區之單位流量可用  $0.4l/sec$ ，但在牛耕田區則  
 嫌過大，而在溝灌區，機耕田區之流量可用  $6l/sec$ ，  
 但在牛耕田區約  $3\sim 4l/sec$  已足。

#### (五) 應灌水深度之比較：

應灌水深度即是在根系中，應補充之水量

即  $D = \frac{P_w A_s d}{100}$ ，故在同樣土質 同樣作物 之田區，  
 $A_s$  值及  $F$ 、 $C$  值相差不遠，而其根系深度  $d$  亦同，  
 故影響應灌水深度最大者即為  $P_w$  值，所謂  $P_w$  值即  
 是指灌溉時土壤應補充至  $F$ 、 $C$  之水分量即  $P_w =$   
 $F - C - M_b$ ，故灌前土壤水分  $M_b$  方才是真正影響  
 應灌水深度之最主要因素，所以應灌水深度並未受耕犁方  
 式之不同而異。

#### (六) 施灌效率之比較：

所謂施灌效率即是灌溉後實際儲蓄根系內之水深  
 與施灌水深度之比值。即  $E_a = \frac{(M_a - M_b) A_s d}{D_a}$

在高梁埂灌區，由於此次實驗在  $q=0.4l/s$  處，  
 其灌前土壤水分偏高，在  $40cm$  深時，其值大約為  
 $16.5\%$ （重量比），而在  $60cm$  深時，其值為  $18.0\%$ ，  
 超過  $\frac{1}{2}$  有效水分  $13.243\%$  太多，故灌溉根系儲  
 蓄水深顯然的較小，而施灌效率亦顯著的降低甚多。  
 但是在  $q=0.35l/s$  及  $q=0.3l/sec$  之試驗區時，其  
 灌前土壤水分大約在  $\frac{1}{2}$  有效水分左右，故其施灌效率  
 最高，幾乎全達  $90\%$  以上，但當流量太小如  $q=$   
 $0.25l/sec$  及  $q=0.2l/sec$  時，由於其施灌水量不足，  
 故其施灌水深度偏低，而其施灌效率即高達  $100\%$  以  
 上。在甘藷溝灌區，機耕田區之灌前土壤水分太低，  
 均只有  $9.0$  左右，與  $\frac{1}{2}$  有效水份之  $12.588\%$  相差太遠，  
 故其根系儲蓄水深均很高，施灌水深度不足，而致使

施灌效率偏高。

故灌前土壤水分實為影響施灌效率的重要因子，  
 故在灌溉前，實應慎重考慮之。

#### (七) 貯藏效率之比較：

貯藏效率，即灌溉前後增加水深之值與應灌水深度  
 之比值，故與灌後土壤水分以及整地之均勻程度均有  
 很大關連性，在機耕田區，用機器耕犁，其耕犁較均  
 勻，且土壤大的團粒構造均已破碎，故其水分均勻滲  
 入根系中，所以其貯藏效無論在溝灌或埂灌田區均很  
 高，均達  $90\%$  以上，只有在高梁埂灌區  $q=0.35l/s$   
 時，由於其坡度之關係，所以其貯藏效率  $E$ 。值降  
 低至  $70\%$  左右。

#### (八) 溝形斷面之比較：

在機耕田區，由於其用機械耕犁，所以溝形斷面  
 較寬約  $1.1$  呎、深度亦大並、較疏鬆、較對稱且粗糙  
 度亦小，而在牛耕區則反之。

#### (九) 結論：

影響地表灌溉之因子甚多，錯綜複雜很難由其中  
 而推斷出一最佳的灌溉方法，必須多做試驗後，方可  
 尋出一規則，以決定在何種土質，何種作物下之最佳  
 灌溉方法。本文試驗資料僅灌溉四次作為分析之根據，  
 如在此四次試驗中得機耕田區最佳灌溉方法之結論，  
 似嫌過早，不過由此四次試驗中亦可大約看出有以下  
 之結果：

#### (1) 畦溝灌溉區：

機耕區：用  $6l/sec$ ， $80\%$  斷水之灌溉方法較適合  
 半機耕區：用  $4l/sec$ ， $90\%$  斷水之灌溉方法較  
 適合

半耕區：用  $3l/sec$   $90\%$  斷水之灌溉方法較適合  
 (2) 埂間灌溉區：

大型曳引機：用  $q=0.35l/sec$ ， $90\%$  斷水之灌溉  
 方法適合。

小型耕耘機：用  $q=0.3l/sec$   $100\%$  斷水之灌溉  
 方法較適合。

## 六、誌 謝

本文係在所主任張建助教授及研究生所各師長之鼓  
 勵下始克完成。更蒙指導良師施嘉昌教授平日悉心指導  
 。關懷倍至，此情此意為銘感。

實驗中承嘉南農田水利會新港旱作試驗站之諸位先  
 生及陳寶美小姐，湯松義先生，黃俊雄先生之鼎力協助  
 ，更承朱景、董世旻二位同學之幫忙。謹此一併致虔誠  
 之謝意。

## 七、參 考 文 獻

1. 施嘉昌 「輪作田畦灌溉方法試驗資料之研究分析報告」。
2. 施嘉昌 「烏山頭蓄水庫灌溉系統埤間灌溉方法試驗資料之研究分析報告」。
3. 張建勛、徐玉標、吳銘塘 「旱地作物灌溉方法之研究」。
4. 施嘉昌 「地面灌溉試驗之探討」
5. 施嘉昌 「由滲入因素導演地表灌溉之流長公式」
6. 吳純宏 「臺灣輪作田埤間灌溉斷水點之研究」
7. 吳純宏 「畦溝灌溉方法之研究」
8. 吳耀煌 「畦溝灌溉之研討」
9. 葉政秀 「輪作田地灌溉之水理研究」
10. 林俊男 「灌溉壟溝入滲率之研究」。
11. 董世炘 「地表灌溉數學模型之探討」
12. Charles. C. C. Shih. "The influence of intake Function on the Mathematic Model of the water advance".
13. Cheng-Lung Chen. "Techniques of Border Irrigation by a Hydrologic method of Routing.
14. Cheng-Lung Chen. "Mathematical Hydraulics of Surface Irrigation"
15. Dennis C. Kincaid, Dale. F. Heermann and E. Gordon Kruse "Hydrodynamics of Border Irrigation Advance"
16. I-Pai Wu "Overland Flow Hydrograph Analysis to Determine Infiltration Funtion"
17. I-Pai Wu "Recession Flow in Surface Irrigation"
18. Israelsen O. W. "Irrigation Principles and Practices.

承包土木、水利、建築工程

和平營造廠

經理 林火木

台中縣霧峯鄉本鄉村會厝街三四號  
電話：一六九

專營砂石

大批供應

永豐建材有限公司  
和豐建材工業有限公司

公司：高雄市中二路一五八號  
電話：二二二六  
營業處電話：九曲堂 一三三三 五五四號