

# 滴水灌溉方法探討高粱需水量之研究

## Sorghum Consumptive Use Study by Drip Irrigation

國立台灣大學農工學系教授

國立台灣大學地理系博士班研究生

施 嘉 昌  
Charles C. C. Shih

張 本 初  
Tom B. C. Chang

### 摘 要

高粱省水灌溉試驗期間自民國79年到81年共三年，包括春作三作，秋作三作，試驗地點位於嘉南農田水利會學甲試驗站，灌溉方法採用滴水灌溉。蒸發散量資料由田區、露天滲透計及自動遮雨棚滲透計同時獲得，每一試驗區共有五種處理兩重覆。灌溉期距以每週之A型蒸發皿蒸發量與有效雨量之差決定。每週並定期測定根系土壤水分遞減率。利用Penman公式應用氣象因子決定潛在蒸發散量，由作物實際蒸發散量與潛在蒸發散量之比值決定春、秋作高粱作物係數，利用三次多項式迴歸分析作物係數與生長日數之關係，做成理論作物曲線。作物曲線對於日後決定灌溉期距是一項重要的依據。每一期作高粱收穫後進行乾莖葉重及穀粒產量調查。結果顯示，高粱之作物係數最大值接近於1.0，最高產量每公頃7500公斤，需水量270公厘。關鍵詞：滴水灌溉，蒸發量，蒸發散量，作物係數，作物曲線。

### ABSTRACT

Evapotranspiration experiments of sorghum were conducted in Hsuehchia Experimental Station of Chianan Irrigation Association during 1990 to 1992 for three years. The experiments have been done in three sites such as common field, drainage lysimeter, and auto-rainshelter lysimeter with five treatments and two repetitions under drip irrigation. The irrigation scheduling is considered the factors of evaporation and effective rainfall, soil moisture depletion is controlled for irrigation. Potential evapotranspiration was determined using Penman's equation, and a crop coefficient curve was plotted in spring and fall growing seasons. A third order polynomial crop curve was estimated to relate crop coefficient of growing days since planting. The yield of sorghum was evaluated by random sampling method. The simulated curve shows that the maximum value of sorghum crop coefficient is nearly 1.0, and the maximum grain yield is 7500 kg/ha with 270 mm of evapotranspiration.

Keywords: Dip irrigation, Evaporation, Evapotranspiration, Crop coefficient, Crop curve.

## 一、前言

省水灌溉的實施是基於作物本身的生理調節機能來進行，在作物遇到輕微旱象時，能夠控制氣孔的開關使水分的流失減少到最低，並能維持基本生產力。因此省水灌溉的意義不僅是為了有效利用水資源，提高施灌效率，並期望在節省水源和作物減產之間求得適當之調配，以達到最大的經濟效益。實施省水灌溉最明顯的結果是減少深層滲漏，因此可以將施灌效率提高至100%(17)，但是在施灌水量不足的區域，依作物種類不同以及缺水的比率，會有減產的情形發生。

滴水灌溉適用於世界上所有乾燥缺水的地區，在美國西部、以色列、以及中國大陸新疆沙漠地區都行之有年。滴水灌溉最大的優點是避免輸水損失（包括蒸發及滲漏損失），直接將水輸送到作物根部，也減少了田區的地表蒸發；若將農藥注入管路中施灌，可節省農藥的損失，並且可完全節省人工，達到完全自動化的地步。滴水灌溉所面對的問題是滴嘴阻塞以及水力摩擦損失，前者可安裝過濾器設法解決；後者則需要經過周詳的管網設計。

作物產量與所需蒸發散量（evapotranspiration，簡寫成ET）有關。推求蒸發散量分為直接和間接的方法，直接的方法是裝置滲透計，以質量平衡定律推求蒸發散量；間接的方法是以當地的氣候條件為基礎，以大氣的可蒸發能力推斷作物潛在蒸發散量（potential ET，簡寫為ETp）。本文利用一般田區、露天滲透計、與自動遮雨棚滲透計三種不同試驗地，根據民國79年至81年三年之高梁滴灌試驗結果，探討高梁蒸發散量與產量之關係。

## 二、研究目的

滴水灌溉是將少許的水直接注入根系附近的土壤層中，入滲率和作物蒸發散量皆與傳統的地表或噴灌灌溉有很大的不同。利用滴水灌溉可以較精確的量測作物蒸發散量所需要的水量。但相對的，在實施滴水灌溉之前必須先具有作物需水量之基本資料，做為系統設計與訂定灌溉期距之依據，本試驗之主要目的即利用滴水灌溉來推求作物之精確蒸發散量。

作物需要水分供給生理所需，在降水無法充分

供應當地作物之需求時，灌溉則須進行。作物吸收水分和二氧化碳進行光合作用，同時張開氣孔進行呼吸作用，因此當作物無缺水之虞時，氣孔完全張開，此時水分散失率最大；當缺水發生時，部分氣孔關閉以限制體內水分散失，但因此也阻礙光合作用的進行影響生育。水分從氣孔散失的過程一般通稱為蒸散作用，通常作物根莖葉累積量與蒸散量成直線的關係(10)，而產量與蒸發散量之間是拋物線的趨勢(12)。因此為了達到一定產量時，作物所需的蒸散量必須滿足。除了作物本身的蒸散損失外，尚有土壤表面之蒸發損失，然而土壤蒸發損失的大小與灌溉方式有關，在滴灌中由於大部分非作物根系附近土壤是乾燥的，除非有降水或地下水補給，一般土壤蒸發量可忽略不計。

影響作物蒸發散量的因子很多，包括大部分氣象因子，土壤因子，作物種類等，其中氣象因子包括太陽輻射、氣溫、相對濕度和水汽的空氣動力性質，目前有許多應用氣象因子推求蒸發散量之模式，其中最常用者為Penman模式，其基本型式為

$$ET_p = \frac{\Delta R_n + \gamma E_a}{\Delta + \gamma} \dots\dots\dots (1)$$

其中ETp表示潛在蒸發散量（potential evapotranspiration），潛在蒸發散量之定義為“在種植8~10公分的短草，葉面充分覆蓋表土，不虞缺水或其他病蟲害的情況下，所得到之最大蒸發散量”(11)； $\Delta$ 為飽和蒸汽壓對溫度之曲線斜率 $de/dt$ （mbar/°C）； $\gamma$ 為濕度常數（mbar/°C）； $R_n$ 為淨輻射率（cal/cm<sup>2</sup>/day），與當地全天日輻射之關係為

$$R_n = -0.031 + 0.809R \dots\dots\dots (2)$$

$E_a$ 為空氣動力項，其中包含了氣孔蒸散阻力、大氣蒸發阻力、作物幾何形狀、大氣穩定度、亂流傳遞等因素(6)。就操作上而言，可以經驗式表示如下

$$E_a = 0.27(w_1 + w_2u)(e_a - e_d) \dots\dots\dots (3)$$

其中 $w_1$ 和 $w_2$ 為常數，分別等於1.0和0.01(8)； $u$ 為2公尺處風速； $(e_a - e_d)$ 為飽和蒸汽壓差。

作物生長階段實際需水量與生長期間氣候條件下的最大蒸發散量之比值稱為作物係數（crop coefficient，簡寫成Kc），表示為

$$ET = K_c \cdot ET_p \dots\dots\dots (4)$$

其中ETp為潛在蒸發散量。作物係數隨著生長日數變化繪成作物曲線（crop curve），作物曲線在決定灌溉期距時是非常重要的依據。

實施灌溉必須同時決定灌溉間距和灌溉水量，兩者相互影響。滴水灌溉是一種灌溉頻率較高的一種灌溉方式，因此它能提供少許水量而使根系土壤經常保持濕潤。滴水灌溉的設計原則必須考慮流量供應大小，施灌均勻度和設計成本。均勻度直接影響產量之差異，通常決定均勻度之方法是比較最高與最低流量之差而得(17)，因此假設流量分佈為常態分佈，一部分的作物將缺水，而另一部分的作物則灌溉過量。一般而言，作物較能夠忍受過量灌溉，而對於缺水所呈現的反應較明顯(4)，因此在本價便宜的地區，農民寧願多灌而不願少灌。但是灌溉過量會造成養分流失和地下水位上升，土壤鹽鹼化等問題。

本試驗目的以高粱之蒸發散量需求為主，並以播種後日期為依據，找出高粱之作物曲線。由產量結果分析高粱之最佳灌溉期距，並預測當缺水或過量灌溉發生時造成減產之程度。

### 三、試驗設計與材料

本試驗地區位於嘉南農田水利會學甲早作試驗站，全部共有三種試驗場地，分別為一般田區、露天滲透計、和自動遮雨棚滲透計，並設有農業氣象站觀測氣象因子。一般田區中共有10小區，每小區面積為150平方公尺(6m×25m)。土壤質地經過機械分析，顯示表土至40公分深處為坵質壤土(砂：25.7%，坵土：48.5%，黏土：20.1%)。田間含水量(field capacity)為21.07%，凋萎點(wilting point)為6.42% (在15倍大氣壓時)，土壤假比重為1.43(2)。

露天滲透計和自動遮雨棚滲透計分別有10小區，每小區之面積為15平方公尺(3m×5m)。滲透計中為人工分層填入土壤，土壤物理性與一般田區稍有不同，機械分析之結果，表土10至30公分以下為坵質壤土(砂：31.63%，坵土：52.37%，黏土：16%)；30公分以下為物質壤土(砂：35.5%，坵土：49.05%，黏土：15.5%)。田間含水量為21.4%，凋萎點為6.08%，土壤假比重為1.52(3)。

試驗作物是高粱(雜交高粱台中五號)。高粱是一種氣孔關閉非常靈敏的作物，遇到乾旱時將氣孔關閉，雖然抑制其光合作用，但能防止水分消耗，因此適時供應水分對預防減產很重要。

灌溉期距以一週為單位，施灌水量由蒸發量

(E)與有效雨量(Re)之差來計算，即施灌水量(W)=蒸發量(E)-有效雨量(Re)，若蒸發量大於有效雨量，必須施灌以補充雨水之不足；若雨水供應充足，不需灌溉，過多的雨水並視為下一週的有效雨量累加之。試驗共分5種處理，分別為T<sub>1</sub>(0.2W)、T<sub>2</sub>(0.4W)、T<sub>3</sub>(0.6W)、T<sub>4</sub>(0.8W)、和T<sub>5</sub>(1.0W)，每一處理有兩區重覆試驗，採取隨機分配佈置。

灌溉方式採用滴水灌溉系統，為以色列製嵌入式TYPHOON型支管，支管間距50cm，滴嘴距離25cm，以HARDIE-700型自動水閥和RAINBIRD RCM-12型控制器自動灌溉，並裝有3吋及1吋過濾器避免滴嘴阻塞。滴水管路系統最佳設計是各滴嘴流量趨於一致，在考慮管徑大小、支管長度、支管間距、滴嘴間距、水頭壓力、地形坡度、水流速度及管壁光滑度等基本要素外，作物種類、種植間距、土壤質地及經濟條件等相關條件也必須考慮。根據Christiansen(7)定義均勻係數表示如下

$$Cu = 1 - \frac{\Delta \bar{q}}{\bar{q}} \dots \dots \dots (5)$$

其中Cu表示均勻係數(uniformity coefficient)， $\bar{q}$ 是平均滴嘴流量， $\Delta \bar{q}$ 是平均滴嘴流量差，得到試驗期間滴灌系統之變異係數(coefficient of variation,  $\frac{\sigma}{\bar{q}}$ 為標準偏差)和均勻係數如表1所示。

表1：試驗期間滴灌系統之變異係數和均勻係數。

年 別	均勻係數	變異係數
第1年	97.2%	0.04 (n=13)
第2年	91.4%	0.11 (n=21)
第3年	95.3%	0.06 (n=30)

n：採樣數

### 四、試驗結果分析

#### 土壤水分測定

土壤含水量與作物蒸發散量有直接的關係。本試驗中每種處理選擇一區視為採樣區，分別於灌溉前後、降雨後，以及週一定期採土，採土深度分別為0~10、10~20、20~30、30~40、以及40~60公分等不同土層，利用烘乾箱測定其含水率。

試驗期間由於降雨頻繁，不同深度土壤水分變化趨於一致，如79年春秋作，80年秋作和81年春作，其總降雨量分別為812.9，681.6，1042.9和4673

mm (見表2)。在一般田區中地下水補給量視水位高與土壤水分而定。圖1顯示地下水位隨著雨水補注發生變化的情形，若沒有降雨發生，則地下水位維持在地表3公尺以下，對蒸發散量之影響甚微；若發生降雨，則根系土壤水分足夠供應植物所需，因此在計算作物蒸發散量時，地下水補給量可忽略不計(1)。

### 作物蒸發散量

一般田區中作物水分需求可以來自降水，人工灌溉以及地下水補注，然而滲漏量和逕流量無法測得，因此依土壤水分遞減率來估算蒸發散量，表示如下：

$$ET = \frac{(W_a - W_b)A_s D}{100} \dots\dots\dots (6)$$

式中 $W_a$ 和 $W_b$ 分別為每週灌溉前後土壤水分含量(重量百分比)， $A_s$ 為土壤假比重； $D$ 為根系深度(mm)。若土壤含水量高於田間容水量，表示重力排水尚未完全達成，則土壤含水量以田間容水量表示。若後期土壤含水量高於前期，表示雨水補注明顯，作物生長環境濕潤，因此以A型蒸發皿蒸發量來表示蒸發散量。將每一期距所得到的蒸發散量累積起來，則得到全期作之蒸發散量，見表2。由前一節討論得知，在79年春秋作，80年秋作和81年春作，因雨量豐沛，各處理間全期之土壤含水量差異不大，因此各處理間所得到的蒸發散量差異亦小。而在80年春作時降雨量稀少，因施灌水量間之差異，所以各處理間蒸發散量有顯著的差異，最低為274mm，最高為385mm。

露天滲透計不僅可阻絕地下水補給，並可量測逕流量及滲透量，因此依水分收支平衡原理決定滲透計之蒸發散量，表示如下：

$$ET = I + R - D - R_o \pm \Delta M \dots\dots\dots (7)$$

式中 $I$ 為灌水量； $R$ 為降水量； $D$ 為滲透量； $R_o$ 為逕流量； $ET$ 為蒸發量； $\Delta M$ 為土壤水分變化量。將露天滲透計所得到之蒸發散量列於表3。在降雨量較少的80年春作， $T_1$ 處理蒸發散量僅有151mm， $T_3$ 有222mm，而 $T_5$ 則有327mm。

自動遮雨棚滲透計中，若持續降雨超過0.5mm，雨棚自動遮蓋滲透計，因此雨量忽略；若灌溉適宜，則滲透與逕流量亦可省略不計，因此(7)式可簡化為

$$ET = I \pm \Delta M \dots\dots\dots (8)$$

遮雨棚滲透計各期作蒸發散量列於表四。

### 作物係數

由公式(4)， $K_c = ET/ET_p$ 得到民國79年至81年間高粱之作物係數曲線，見圖2至3，係利用三次項迴歸分析法，依生長日數累進而繪成。圖2(a)表示春作高粱一般田區試驗所得之結果，作物係數從作物生育初期的0.32到盛期的1.0，從播種到成熟共約90天，而由迴歸分析所得最大值接近0.9，約在播種後第70天。圖2(b)表示春作高粱在兩滲透計上所做的試驗結果，作物係數從生育初期的0.19到盛期的1.06，迴歸曲線之最大值約0.86，發生在播種後第76天。

使用滴水灌溉時，根系土壤水分遞減量絕大部分是供應作物蒸散所需，而僅有少部分是由於土壤表面蒸發損失。因此圖2對預期春作高粱隨著生長期的演進所需要的蒸發散量有很大的幫助。基本上，可將春作高粱之生育階段依作物係數的變化趨勢分為四個階段：第一階段為生育初期，從播種後到第20天為止，蒸發散量需求不大，與潛在蒸發散量之比值，即作物係數約0.35。在此階段中，水分損失大部分經由根系活動與少部分的裸土表面損失。第二階段為作物成長階段，表土以上植株體快速成長，枝葉茂盛，大部分葉片發展完成，葉冠充分覆蓋表土，此階段之蒸發散量隨時間成直線增加，約在播種後第60天(滲透計中為70天)達到最大值0.9(滲透計中為0.85)。在一般田區中達到最大蒸散量之時間需求約比滲透計中少10天，但最大作物係數卻多了0.05，可能是因為地下水供應所造成。第三階段為生育盛期持續約兩個星期，在此階段中，作物蒸發散量維持在最大值，依作物生理階段而言，此時高粱處於抽穗期，穀粒開始形成。第四階段為乳熟期，穀粒成熟，葉片開始凋萎，自播種後第74天(滲透計為84天)至第90天收穫日為止，蒸發散量需求逐日下降，作物係數從最大值0.9下降至約0.67。

秋作高粱為宿根栽培，春作收穫後離地面約1~2公分處將莖切斷，待其萌芽重新生長，因此生育初期較春作為短或甚至不明顯存在。由圖3之結果顯示，秋作高粱之生育初期少於兩個星期，作物係數為0.4(滲透計中為0.57)。自生育初期後第50天之內為生長期，蒸發散需求隨時間呈直線增加，並

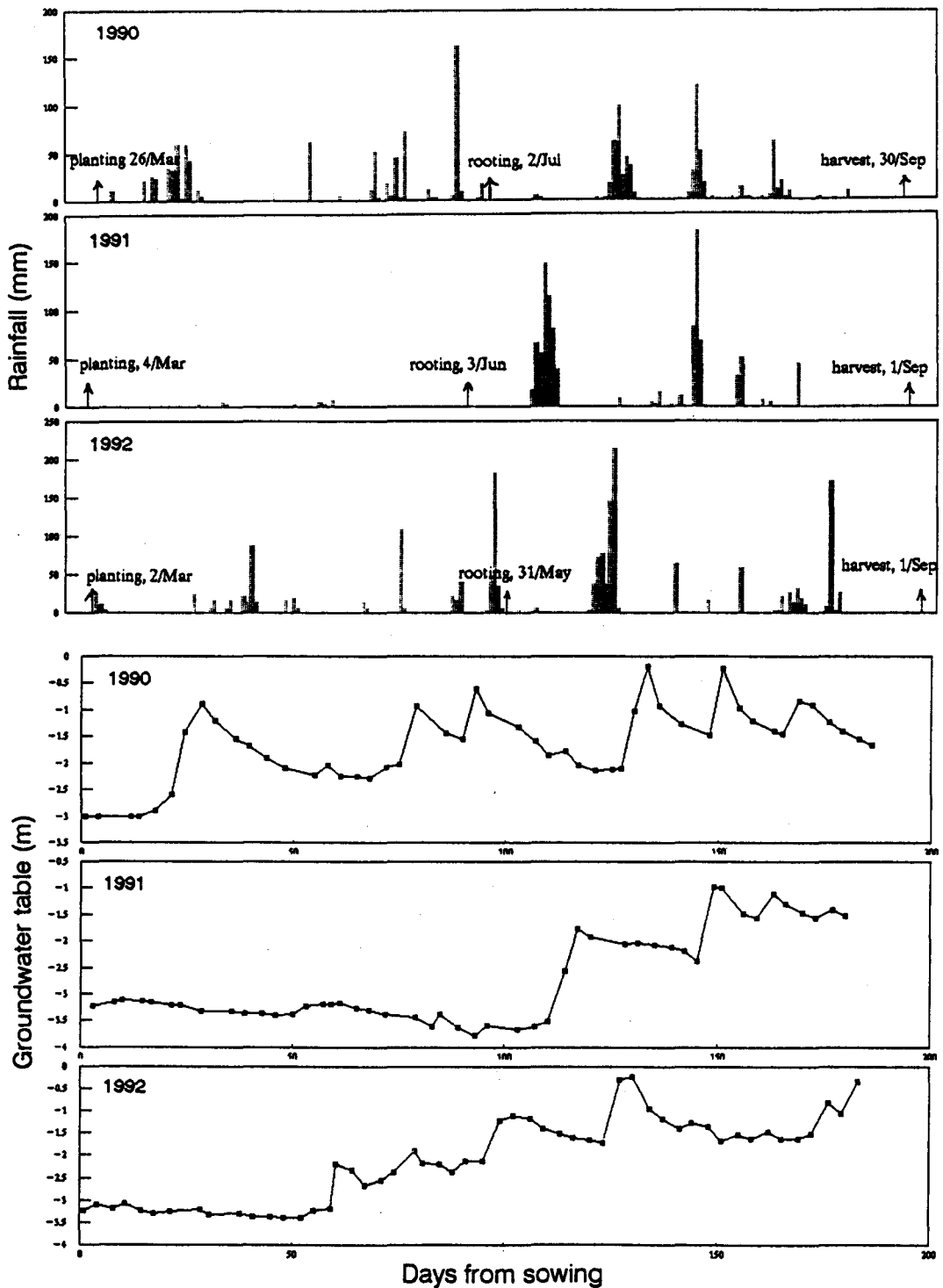


圖1：生育階段降水量和地下水位變化

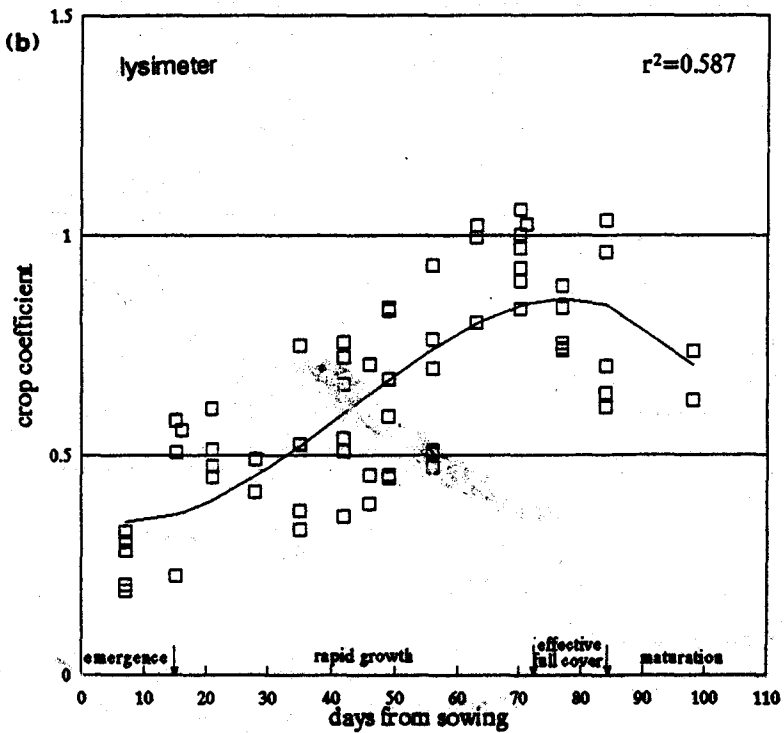
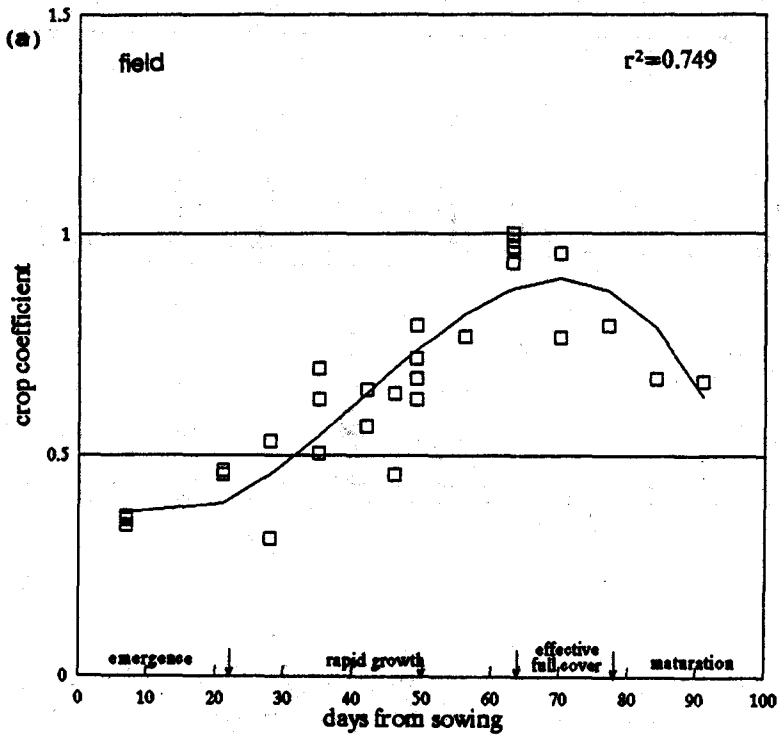


圖2：春作高粱作物曲線

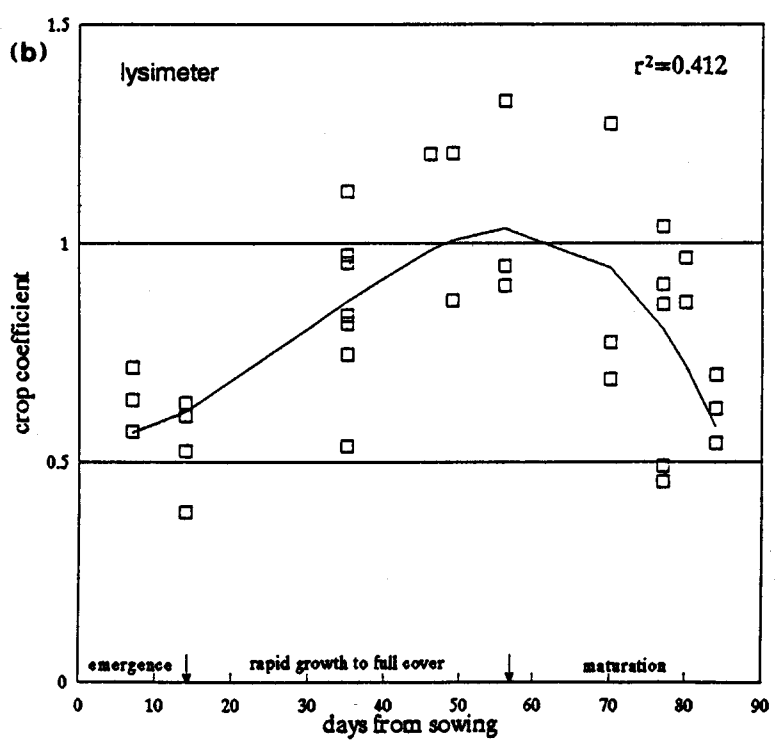
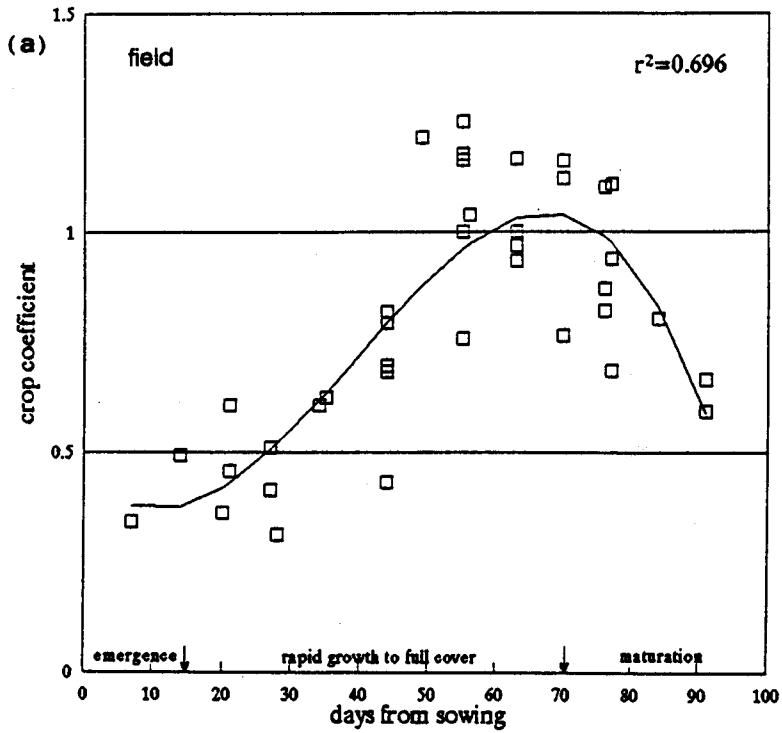


圖3：秋作高粱作物曲線

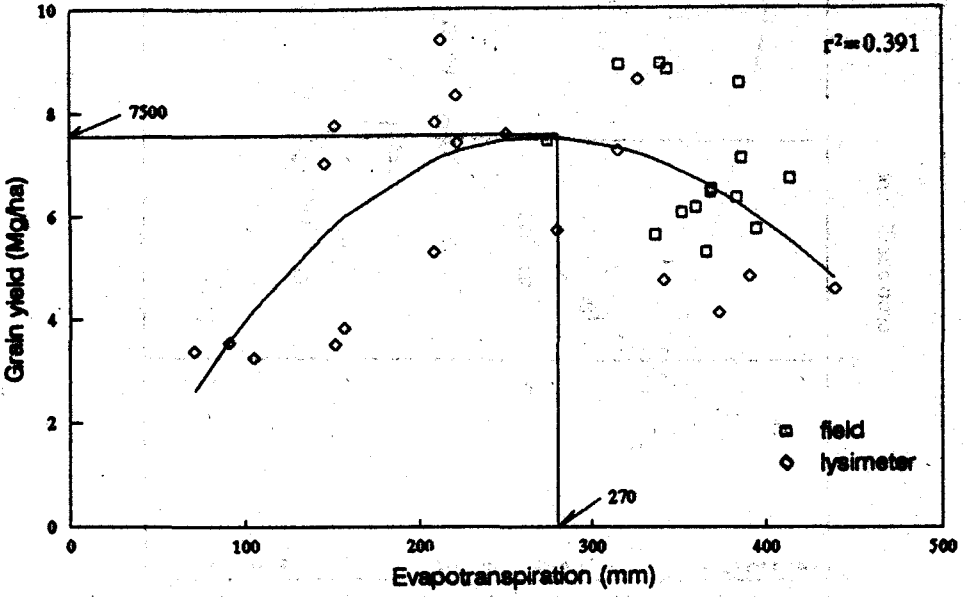


圖4：春作高粱穀粒產量與蒸發散量

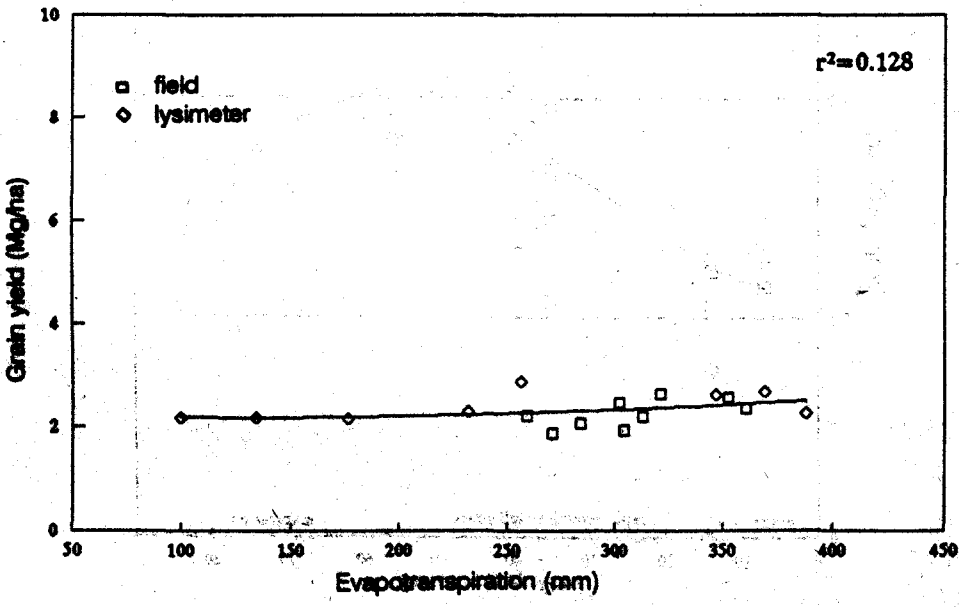


圖5：秋作高粱穀粒產量與蒸發散量



表2：一般田區高粱蒸發散量水分平衡表

期 別	處 理 別	灌 溉 量	總 降 雨 量	蒸 發 散 量
		mm	mm	
79 年 度 春 作	0.2 W	3.0	812.9	394.76
	0.4 W	7.1	812.9	359.4
	0.6 W	7.5	812.9	351.1
	0.8 W	11.3	812.9	335.65
	1.0 W	12.2	812.9	365.18
79 年 度 秋 作	0.2 W	10.9	681.6	312.48
	0.4 W	22.8	681.6	351.97
	0.6 W	31.2	681.6	314.62
	0.8 W	41.7	681.6	360.12
	1.0 W	57.2	681.6	301.75
80 年 度 春 作	0.2 W	58.1	27.0	274.07
	0.4 W	116.3	27.0	315.73
	0.6 W	174.4	27.0	339.08
	0.8 W	232.5	27.0	385.34
	1.0 W	290.6	27.0	343.32
	0.2 W	0	1042.9	258.7
80 年 度 秋 作	0.4 W	0	1042.9	270.65
	0.6 W	0	1042.9	303.78
	0.8 W	0	1042.9	320.72
	1.0 W	0	1042.9	283.52
81 年 度 春 作	0.2 W	11.5	467.3	368.27
	0.4 W	22.9	467.3	383.59
	0.6 W	34.4	467.3	413.93
	0.8 W	45.8	467.3	386.23
	1.0 W	57.3	467.3	368.81

表3：露天滲透計高粱蒸發散量水分平衡表

期別	處理別	灌溉量 mm	總降雨量 mm	滲透量 mm	逕流量 mm	土壤水分 變化量mm	蒸發散量 mm
79 年度 春作	0.2 W	8.0	812.9	286.0	156.4	37.4	341.1
	0.4 W	16.0	812.9	420.2	144.7	55.6	208.4
	0.6 W	24.0	812.9	266.8	147.6	49.2	373.3
	0.8 W	32.0	812.9	363.2	54.5	36.5	390.7
	1.0 W	40.0	812.9	284.9	76.6	52.0	439.4
79 年度 秋作	0.2 W	8.6	681.6	230.5	58.0	74.8	326.9
	0.4 W	17.2	681.6	429.1	12.9	0.9	256.0
	0.6 W	25.7	681.6	278.3	50.7	31.9	346.3
	0.8 W	34.3	681.6	234.9	81.8	30.1	369.1
	1.0 W	42.9	681.6	296.4	28.2	11.9	388.0
80 年度 春作	0.2 W	58.1	27.0	0	0	-65.7	150.8
	0.4 W	116.3	27.0	0	0	-78.4	221.7
	0.6 W	174.4	27.0	0	0	-21.0	222.4
	0.8 W	232.5	27.0	0	0	9.1	250.4
	1.0 W	290.6	27.0	0	0	-9.1	326.8

表4：自動遮雨棚滲透計高粱水分平衡表

期別	處理別	灌溉量 mm	土壤水分 變化量mm	蒸發散量 mm
79 年度 春作	0.2 W	31.5	-59.3	90.8
	0.4 W	62.8	-8.	71.0
	0.6 W	94.7	-10.0	104.7
	0.8 W	126.3	-24.6	150.9
	1.0 W	157.8	1.8	156.0
79 年度 秋作	0.2 W	50.9	-48.3	99.2
	0.4 W	101.8	3.6	98.2
	0.6 W	152.6	19.2	133.4
	0.8 W	203.5	27.4	176.1
	1.0 W	254.4	22.8	231.6
80 年度 春作	0.2 W	63.5	-81.2	144.7
	0.4 W	127.0	-82.1	209.1
	0.6 W	190.6	-21.9	212.4
	0.8 W	254.1	-61.1	315.2
	1.0 W	317.6	38.3	279.3

表5：高粱穀粒產量統計分析表

處理別	1990						1991				1992	
	春作 3/26-7/2			秋作 6/9-10/1			春作 3/4-6/3			秋作 6/17-9/2	春作 3/2-5/31	秋作 6/12-9/2
	田區	滲透計	遮雨棚	田區	滲透計	遮雨棚	田區	滲透計	遮雨棚	田區	田區	田區
T1(0.2W)*	5713.3	4727.7	3540.7	2182	3666	2175	8154	9733.2	7009	2198	6686.2	3843.4
T2(0.4W)	6134.4	5297.2	3373	2547	2858	2610	8625.9	9025.5	8293.1	1879	6568.9	4020.5
T3(0.6W)	6030.6	4101.1	3245.7	3367	2591	2169	8762.9	8258.6	9343.9	1930	6981.5	3919.2
T4(0.8W)	5608.3	4806.2	3496.7	2343	2658	2151	8661.5	7455.4	7527.3	2261	7401.6	4041.3
T5(1.0W)	5268.1	4558.1	3819.9	2446	2251	2287	8706.6	8613.5	5707	2051	6720.9	4413.5
平均值	5750.9	4698.1	3495.2	2573	2804.8	2279.6	8582.2	8217.2	7576	2064	6868.2	4047.5
處理間標準差	309.9	386.6	192.2	405.4	473	171.7	346.2	1147.8	1930.9	233.7	472.9	310.5
處理間顯著性 差異(P>0.05)							0.93 (no)	33.8 (no)	21.83 (yes)	0.77 (no)	8.25 (yes)	3.07 (no)
集區間標準差							860	480.2	160	397.9	796.7	367.7
集區間顯著性 差異(P>0.05)							5.77 (no)	0.66 (no)	0.15 (no)	2.24 (no)	23.42 (yes)	4.31 (no)
誤差之標準差							358.1	589	413.2	266.1	164.6	177.2
變異係數							0.04	0.07	0.05	0.13	0.02	0.04

\*註：施灌水量(W)=蒸發量(e)-有效雨量(Re)均以一週計算

達到最大值約1.0。當蒸發散達到最大值後即開始下降，直到收穫期之0.6為止。抽穗期（春作之第三階段）並不明顯，生長日數約90天。

綜而言之，春作田區和滲透計之平均作物係數分別為0.66和0.65；秋作田區和滲透計平均作物係數則分別為0.81和0.79。

### 產量分析

利用完全逢機集區試驗設計（complete randomized block design）分析試驗處理與集區之間的差異性對穀粒產量之影響，其結果見於表5。結果以0.05信賴度區間來判斷，在試驗處理之影響分析方面，除了民國80年春作自動遮雨棚滲透計和81年春作一般田區有顯著性差異外，其他各期區並無顯著差異；而在集區處理方面，除了81年春作一般田區有顯著差異，需要以採樣區之產量結果來代替平均值外，其他各期區皆無明顯差異。而各期區之Pearson變異係數（誤差之標準偏差與平均值之比值）以80年秋作一般田區的0.13為最高，而以81年春作一般田區的0.02為最低，79年各期區無重覆處理。

綜合三年之穀粒產量資料，發現春作高粱之每公頃公斤產量從3245.7變化到9382.5kg/ha（見圖4），而利用三次項迴歸分析發現，最高理論產量約7500kg/ha，相對蒸發散量約270mm。假設若缺水10%（或多灌10%）之水量，依理論分析結果，穀粒產量約減少1.3%（1.27%）；若缺水增加到30%（或多灌30%），則產量減少10%（8.9%）。

圖5表示秋作高粱穀粒產量與需水量之關係，迴歸分析顯示產量隨著蒸發散量增加而增加，雖然增加幅度很小，但無明顯之產量減少趨勢。

## 五、結 論

本試驗採用滴水灌溉方法探討高粱蒸發散量，施灌均勻度皆高於90%。試驗期間從民國79至81年三年，共有春作新植高粱及秋作宿根高粱各三作，在一般田區、露天滲透計及自動遮雨棚滲透計三地同時種植試驗。定期測定土壤水分並配合降雨、逕流、入滲等資料得到蒸發散量，與Penman潛在蒸發散量比較得到高粱之作物係數曲線，其中春作高粱生長期共約100天，作物係數最高約0.9；秋作宿根高粱生長期共約90天，作物係數最高約1.0。春秋作高粱之穀粒產量相差懸

殊，春作平均最高產量每公頃7500公斤，需水量270公厘，多灌有減產現象；秋作宿根平均最高僅2500kg/ha，而需水量卻達到400公厘，需水量與穀粒產量呈直線增加趨勢，沒有多灌減產現象。本試驗期間因雨量充沛，大部分期作各處理間產量並無明顯差異。

## 六、參考文獻

- 1.施嘉昌，1990。高粱不同灌溉處理效果及需水量試驗研究，農業工程研究中心。
- 2.施嘉昌、王錦鈺，1993。高粱需水量之研究，農工學報，出版中。
- 3.施嘉昌等人，1986-1989。玉米不同灌溉處理效果及需水量試驗研究，農業工程研究中心。
- 4.Bielorai, H. 1982. The effect of partial wetting of the root zone on yield and water use efficiency in a drip-irrigated and sprinkler-irrigated mature grapefruit grove. Irrig. Sci. 3: 89-100.
- 5.Bralts, V.F., I.P. Wu, and H.M. Gitlin. 1981. Drip irrigation uniformity considering emitter plugging. TRANSACTION of the ASAE 24(5): 1234-1240.
- 6.Brutsaert, W.H. 1982. Evaporation into the Atmosphere. D. Reidel Publ. Co., Boston, Mass.
- 7.Christiansen, J.E. 1942. Hydraulics of sprinkling systems for irrigation. TRANSACTION of the ASCE 107:221-239.
- 8.Doorenbos, J., and W.O. Pruitt. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrig. and Drain. Paper 24, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- 9.Jensen, M.E., R.D. Burman, and R. G. Allen, eds. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. Manual number 70, ASCE, New York, N.Y.
- 10.Nakayama, F.S., and D.A. Bucks, eds. 1986. Trickle irrigation for crop production: design, operation and management. Elsevier Science Publisher B.V., Amsterdam, Netherlands.
- 11.Penman, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. R. Soc. A 193: 120-145.

12. Sammis, T.W., et al. 1985. Evapotranspiration crop coefficients predicted using growing-degree-days. TRANSACTION of the ASAE, 28(3): 773-780.
13. Shih, C.C.C. 1983. Upland Crop Irrigation in Taiwan. Chinese Society of Agricultural Engineering.
14. Stewart, J.J., R.M. Hagan, and W.O. Pruitt. 1974. Functions to predict optimal irrigation programs. J.Irrig. Drain. Div. Am. Soc. Civ. Eng. 100(IR2):179-199.
15. Warrick, A.W., and W.R. Gardner. 1983. Crop yield as affected by spatial variations of soil and irrigation. Water Resour. Res. 19(1): 181-186.
16. Wu, I.P. 1988. Linearized water application function for drip irrigation schedules. TRANSACTION of the ASAE 31(6):1743-1749.
17. Wu, I.P., and H.M. Gitlin. 1983. Drip irrigation application efficiency and schedules. TRANSACTION of the ASAE 26 (1): 92-99.
18. Wu, I.P., T.A. Howell, and E.A. Hiller. 1979. Hydraulic Design of Drip Irrigation Systems. Agr. Exp. Sta., Univ. Hawaii, Tech. Bull. 105.
19. Wu, I.P., and J.M. Irudayaraj. 1987. Evaluation of uniformity parameters for drip irrigation design. ASAE paper No. 87-2522.

收稿日期：民國82年7月16日  
 修正日期：民國82年8月22日  
 接受日期：民國82年9月1日

<p>專營土木、水利、建築等工程</p> <p><b>穩程營造有限公司</b></p> <p>地 址：宜蘭縣冬山鄉光明路236號              電 話：(039)586090</p>	<p>專營土木、水利、建築等工程</p> <p><b>義嵐營造有限公司</b></p> <p>地 址：宜蘭市新民路62號              電 話：(039)323538</p>
<p>專營土木、水利、建築等工程</p> <p><b>泉順營造有限公司</b></p> <p>地 址：羅東鎮重陽街95巷17號              電 話：(039)517347-9</p>	<p>專營土木、水利、建築等工程</p> <p><b>禾昌營造有限公司</b></p> <p>負責人：林炳貞              地 址：宜蘭市和睦路35號              電 話：(039)354150</p>