

作物模式應用在灌溉管理之研究

Application of Crop Model on Irrigation Management

國立台灣大學農業工程學系講師

陳 增 壽

Tzen-Show Chen

摘 要

本研究引用由隸屬於國際開發總署之國際農業技術轉移基標網路計畫 (IBSNT) 與美國密西根大學合作發展之玉米生長模式 (CERES MAIZE)，經驗證後可作為今後台灣用水及灌溉計畫之參考。CERES MAIZE 模式已經由中興大學土壤系研究證實其於臺灣之適用性，但該研究著重於作物適栽性之研討而較忽略水管理部份之考慮，本研究延續其研討，著重水管理部份之研討與校正。本計畫之目的在於藉由模式以瞭解如遇缺水情況時供水量與作物生長和產量之關係，並模擬作物在各個生長時期的缺水與產量降低之關係，探討在缺水時期，有限水資源之最佳分配方式，並據以擬定相關之灌溉計畫，期能以有限之供水量充分有效利用，使缺水損失降至最低，以期達到水資源之最佳利用目標。

關鍵詞：作物模式，乾旱調配，灌溉管理。

ABSTRACT

The crop model for maize (CERES MAIZE) from IBSNT was introduced. The model was developed under the project of International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer, (IBSANT). CERES MAIZE has been studied at the Soil Department, Chung-Hsin University for the analysis of optimal land use for different crops. The results showed that it can be used effectively to model the growth of maize in Taiwan.

If not enough water is spilled to the root zone for crop use, the crop may suffer from stress due to high soil moisture tension. Damage may occurs if that stress is too high or lasts too long. The relationship between water deficit and yield decrease are different in various growth stages. The crop may be more sensitive in some growth stage than others. This study concentrated on the water management part of the CERES MAIZE model for the knowledge of relation between crop yield and water applied. Some field experiment data from the Shui-Chia experiment station at Tainan were used for the validation and calibration of the model. The crop model was used to understand the crop yield response to the water deficit in different growth stages. These knowledge can be then used for drought allocation when drought occurs for optimal use of the limited water supply.

Keywords: Crop model, Drought allocation, Irrigation management.

一、前言

台灣近幾年來由於人口大量增加且向都會區集中，加上工商業快速成長，供水需求量不斷增加，一旦降雨稍減即有缺水之虞。乾旱時期中各標的之供水量往往需要打折減量供應，因此，如何因應乾旱期之供水不足以使經濟損失降至最低，便成為各用水標的重要之課題。

農業用水量佔全台灣省總用水量之 75 % 左右，但農業用水型態有別於民生用水或工業用水；農業用水依作物生長期不同會有較大之變動，如整地期或作物開花期等會需要較多之水量供應。但作物在不同生長期間發生對缺水之敏感性不盡相同，如果能有效估計作物各個生長時期的缺水量與產量降低之關係，將可以進一步探討缺水時期有限水資源之最佳分配方式，在乾旱期間有效調配利用有限之供水量，以降低可能發生之經濟損失，即可在乾旱發生時進行必要之乾旱調配 (drought allocation)。

一般以田間試驗之方式探討各個作物生長時期之缺水量與產量降低之關係，需要花費龐大之人力與物力，且由於統計分析設計需要重複進行栽培試驗，要獲得作物各個生長時期之缺水量與產量降低之關係需要相當長之時間。

本研究引用由隸屬於國際開發總署之國際農業技術轉移基標網路計畫 (IBSNT) 與美國密西根大學合作發展之玉米生長模式 (CERES MAIZE)，利用台南嘉南農田水利會學甲灌溉試驗站以往收集之田間試驗資料對作物模式進行驗證及校正，並利用該作物生長模式以模擬各個生長時期不同之缺水量對產量之影響。

瞭解作物各生長期缺水對其產量之影響後，即可在乾旱期對有限之供水量進行調配，在作物對水分較不敏感之時期減少供水，而在作物對水分需要時充分供水，期使乾旱缺水所可能導致之作物減產降至最低，並有效調配利用水資源，減少乾旱引起之經濟損失。

二、文獻回顧

國內外之文獻中已有許多關於作物生長模式及其應用之討論，但多集中於探討作物在不同氣

象、土壤與作物管理方式下之生長情況及其產量之預估。早期之作物模式有 Feddes et al. (1978) 發表的土壤水分實際蒸發散速率和作物生長模式 (ASWATR, CROPR)，Huda and Virmani (1984) 發表之高粱生長模式 (SORGF)，Boote et al. (1987) 發表之花生生長模式 (PUNTGRO) 及 Jones and Boote et al. (1987) 發表大豆生長模式 (SOYGRO)。臺灣省農業試驗所農業化學系陳琦玲等 (1992)，以大豆生長模式 (SOYGRO) 應用於生產潛量估算之分析，目的在將 SOYGRO 本土化，經測試後應用於模擬評估某一地區僅在氣候因子影響作用下大豆可能之生產潛量，以提供農地生產力評估與規劃之參考。

美國農業試驗場 (Williams et al., 1989) 發展之 Erosion productivity-Impact-Calculator (EPIC) 包含了水稻、玉米、大豆及高粱等模式。臺灣大學農業化學系陳啓烈等 (1992) 以 EPIC 模式評估作物輪作制度，並以臺南農業改良場 (1989) 水旱田耕作制度試驗研究結果，將水稻、大豆、玉米等之試驗資料輸入 EPIC 進行模擬演算，以了解各種不同施肥管理對作物產量之影響程度。

美國農業部農業研究所發展之 Crop-Environment Resource Synthesis (簡稱 CERES) 系統，其中包括玉米生長模式 CERES-MAIZE (Jones and Kiniry, 1986)、小麥生長模式 CERES-Wheat (Jones et al., 1985) 及水稻生長模式 CERES-Rice (IBSNAT, 1990)。中興大學莊作權等 (1988) 以 CERES-Maize 模式進行本土化之研究，在本省土壤與氣候環境下做校正與驗證，對 CERES-Maize 之適用性進行評估，結果證實在適當土壤與作物品種資料輸入後，可獲得可靠之預測結果。

國際農業技術轉移基標網路計畫 (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer, IBSANT)，1989 年在夏威夷大學主持協調下，整合各種生長模式，選擇其中適用最少數據 (Minimum Data Set) 概念者，統一其輸入、輸出資料檔格式，發展出決策輔助支援系統 (Decision Support System for Agrotechnology Transfer, 簡稱 DSSAT) (IBSANT, 1989)，其中即包括了前述之玉米生長模式 (CERES-Maize)、小麥生長模式 (CERES-Wheat)、大豆生長模式 (SOYGRO)、及花生生長模式 (PNUTGRO) 等。

迄今之有關文獻中尚未見有結合作物模式以做灌溉管理之研討者，本研究即嘗試利用作物模式對作物在各個不同生長階段作不同之用水管理模擬，以找出不同灌溉用水量對作物產量影響之憑證，作為日後灌溉管理及乾旱時期合適配水之參考。

三、作物生長模式

DSSAT 系統下之作物生長模式係屬於機制模式，即假設在複雜之農作系統中所觀察到之現象，都可以若干基本之生物、物理假說或法則來描述；依據這些假說或法則即可建立數學方程式，並加以整合成一動態性機制模式。機制模式基於對農作系統中可測定之物理、化學與生物過程，設定具有科學意義之參數，所以有較佳之適用彈性。機制模式具有下列三種特徵：

1. 環境上之輸入變數。
2. 系統之基本常數。
3. 數學方程式。

本研究探討之模式 CERES-Maize 即屬於此類機制模式，模式主要分為如下四部份：氣象生理形態發展、作物生長模擬、土壤水分管理與氮管理等四個模組，茲分述如下：

3-1. 氣象生理形態發展

為研討各作物生長期對水分之敏感度，必須能再預測追蹤作物於何時進入某個生長階段。一般對作物生長期之追蹤預測大都以氣象資料作為依據，依 Kiniry 等 (1983) 之研究，有關玉米之生理形態發展與氣象資料之關係受品種遺傳特性與環境因子所支配，主要的影響因子為每日積溫 (accumulation of daily thermal time)，故模式中由遺傳特性參數及田間試驗決定每個生長階段所需累積之積溫值，供作模擬玉米生長階段之基礎。

3-2. 作物生長模擬

在 CERES-Maize 模式中，有關玉米乾物質的累積與分配主要是依 Hanway & Rusell (1969) 之研究結果來建立，作物乾物生產潛能與有效光合輻射 PAR (photosynthetically active radiation) 成線性相關，並與葉面積指數 LAI (leaf area index) 成指數相關，當進入有效子粒充實期 (effective grain fill period) 時，「作物能量轉換效率」 (efficiency of energy

conversion) 即開始下降。模式中之「葉片生長模擬」部份是綜合 Kiniry & Ritchie (1981), Tollenaar (1979) 及 Warrington & Kanemasu (1983) 等之研究，模擬玉米生長時葉片之變化；「葉面積擴大率」 (rate of leaf area expansion) 是作物生長對環境阻力最敏感的項目之一，葉片之枯黃掉落會因乾旱和對光之競爭而加快。

作物乾物質中，根所佔的比例隨作物之發育而減少，乾旱時乾物質傾向分配到根部，在特定土層中，根的生長依土層含水量與氮之有效性而定，此外根系壓實因子亦會影響根的發展。模式中子粒之計算，則依據 Edmeades & Daynard (1979) 及 Kiniry & Ritchie (1985) 的研究建立。

3-3. 土壤水分管理模式

模式中土壤水分之計算是依據 Ritchie (1985) 之研究報告，土壤含水量的變化主要是由降雨量、灌溉量、蒸發散量、逕流量及土壤剖面排水量等諸因子所決定，可由如下公式加以表示：

$$SW = P + I - ET - R - D \dots \dots \dots (3.1)$$

其中 SW：土壤含水量

P：降雨量

I：灌溉水量

ET：蒸發散量

R：逕流量

D：土壤剖面排水

逕流量之計算是依美國農業部土壤保持局 (Soil Conservation Service) 之曲線號碼技術 (Curve Number Technique; SCS, 1972) 來估計。若降雨量每 30 分鐘超過 0.2mm，逕流即可能發生，其逕流曲線值可從 0 (無逕流發生) 至 100 (全部轉為逕流)。排水和土壤水分再分佈可由土壤水由上層移至下層土壤之路徑來估計，當土壤水分含量介於田間容水量和飽和含水量時，即發生排水。因大部份土壤之限制層支配整個土壤剖面水分之流動，因此將「土壤剖面排水參數」 SWCON (soil specific conductance parameter) 假設為一常數，SWCON 可由從 0 (無排水發生) 至 1 (瞬間排水)。此外，排水亦會助長脫氮作用和氮之淋失。

土壤表面蒸發速率之計算方式，係依據 Ritchie (1972) 所發表之模式來估計，其認為實際土壤

表面之蒸發速率主要係受溫度、葉面積及土壤表面供蒸發之能量利用性所影響。植物之蒸散速率是以經由 Priestly & Talor (1972) 修改過之平衡蒸發觀念計算之，植物之蒸散速率主要是受根長、土壤中水分分佈及最大蒸發散速率潛能之支配，最大蒸發散速率潛能又受日照、土壤反射率及平均日溫之影響。

3-4. 氮管理

氮肥關係作物之生長及產量，生長模式中氮管理模組之發展是依據 Jones (1983) 之研究報告，包含礦質化作用、生物固定作用、硝化作用、作物吸收、淋洗、向上移動及脫氮作用等。

IBSANT 發展之玉米生長模式是應用最少資料組 (MSD) 之概念，其執行時所需之基本資料包括氣象資料、土壤資料、作物植栽管理，包括施肥及灌溉資料、作物收穫、生長記錄調查，可與模式模擬結果比較，及其他雜項資料，包括計畫位置、計畫現場描述、作物品種及其種子狀況等，如果種植作物是新品種時，則需先在資料檔 GENETICS. XX9 (XX 為作物代碼) 中加入新品種之遺傳特性參數。

1. 氣象資料：如表 3-1 所列，其中每日之乾、濕球溫度、風速、風向資料，並非必要資料，但可提供模式以 Penman method 估計蒸發量，使模式更準確估計氣象對作物生長之影響，在乾燥地區影

表 3-1. 氣象資料

記錄資料	備註
每日最高溫	°C
每日最低溫	°C
每日日射量	Cal/cm ²
每日降雨量	mm
每日乾球溫度	°C
每日濕球溫度	°C
每日風速	km/hr
每日風向	

響可能會更顯著。

2. 土壤資料：DSSAT 本身提供了一些基本土壤資料，建立在 SPROFILE. xx2 (xx 為作物代碼，如 MZ 表玉米，SB 表示大豆)，當這些內建資料不適用時則需自行建立現地之土壤資料，土壤資料的建立有兩種方法：

- a. 藉由 DSSAT 系統提供之程式，輸入敘述性資料 (表 3-2)，由電腦計算，轉換成數值資料。
- b. 直接測得所需之數值資料，如土壤之反射率、凋萎點、田間含水量、飽和含水量等，建立符合模式規格之資料檔，加入 SPROFILE. xx2 中，供模式執行時選用。

有些土壤資料並不易量測到，完全以 b. 法建立土壤資料並不容易，如果配合 a. b. 法，以可量測得到之數值資料校正模式模擬值，即可獲得較可靠之土壤資料。

表 3-2. 土壤資料

調查資料	備註	調查資料	備註
試驗位置經度		各層黏土百分比	%
試驗位置緯度		各層粉粒百分比	%
編號(Pedon No.)		各層粒徑>2mm百分比	%
土壤分類		各層總體積密度	g/cm ³
坡度	%	各層 pH 值	H ₂ O
表土顏色		各層飽和度	若 pH>5.5, A1=0
土壤穿透性		各層根分佈	
土壤排水性		年平均溫度	預設值=20 °C
土壤分層數		月平均氣溫差	預設值=0 °C
土壤各層厚度	cm	礦化係數	預設值=1
土層剖面描述(soil horizon)		各層有機碳百分比(%有機質=1.724*%有機碳)	%

3. 作物植栽管理：包括施肥 (表 3-3) 及灌溉 (表 3-4) 資料。

表 3-3. 施肥資料

記錄資料	備註
施肥日期	
肥料種類	
施肥深度	cm
氮含量	kg/ha

表 3-4. 灌溉資料

記錄資料	備註
灌溉日期	
灌溉水深	cm
灌溉方法	

4. 作現場植栽試驗時，在作物生長過程，模式會要求調查一些項目(表 3-5)，依作物發育之外觀區分生長階段，記錄到達該階段之日期與需要調查之項目(表 3-6)，可與模式模擬結果比較。

表 3-5. 作物收穫調查項目

編號	調查項目	備註
1	單位面積植株數	pl./m ²
2	種植面積	m ²
3	單位面積地面上作物乾重	g/m ²
4	單位面積種子濕重	g/m ²
5	單位面積種子乾重	g/m ²
6	單位面積種子數	seeds/m ²
7	單位面積穗數	ears/m ²
8	單位面積葉乾重	g/m ²
9	單位面積葉柄乾重	g/m ²
10	單位面積莖和穗殼乾重	g/m ²
11	單位面積玉米穗軸和苞葉乾重	g/m ²
12	單位面積根乾重	g/m ²
13	葉面積指數	m ² /m ²
14	葉數	

表 3-6. 作物生長觀察及記錄收穫項目

代碼	生長階段描述	收穫項目	
		Required	Desired
V-Stage			
VE	50%植株冒出土壤表面		
V1	50%作物第一片葉基部可見		
V2	50%作物第二片葉基部可見		
V3	50%作物第三片葉基部可見		
V4	50%作物第四片葉基部可見		
V5	50%作物第五片葉基部可見		
V6	50%作物第六片葉基部可見	1-3	8-10,12-15
V(n)	50%作物第N片葉基部可見		
VT	50%作物穗頂最後分叉可見，但未見吐絲		
R-Stage			
R1	50%作物穗苞葉外有絲可見	1-3	7-10,13-15
R2	50%作物達水泡期(bilster)-種子內胚乳富含液體，約在R1期後10-14天		
R3	50%作物達乳熟期，約在R1期後18-22天		
R4	50%作物達乾燥期，即內胚乳呈糊，約在吐絲後24-28天	1-3	4-11,13-15
R5	50%作物達凹陷期，即玉米粒頂端有凹陷現象		
R6	50%作物達生理成熟期，胚芽基部可見棕或黑色，苞葉不再呈綠色，約在R1期後55-65天	1-3,5-7	4,8-15
R7	50%作物達收穫期，通常與R6期甚接近		

5. 其他雜項資料(表 3-7)包括計畫位置，計畫現場描述，使用作物品種及其種子狀況等，如果種植作物是新品種時，則需先在資料檔 GENETICS.

XX9 (XX 為作物代碼)中加入新品種之遺傳特性參數。此外有些非必要資料，如計畫大綱敘述(計畫內容、負責人等)，則不再列入表中。

表 3-7. 其他資料

資料內容	備註
計畫位置ID	
計畫位置經度	
計畫位置緯度	
計畫位置名稱	
計畫位置地理景觀描述	
自然植生	
計畫位置高程	
計畫開始日期	
計畫結束日期	
計畫名稱	
整地時地上雜草或作物殘留混合總量	kg/ha
整地時殘留雜草或作物深	cm
計畫區域面積	m ²
計畫區域坡度、坡向、坡長	
排水土層深	cm
排水設施間之距離	m
種植前各土層之pH值	H ₂ O & KCl
種植前各土層之NO ₃ -N、NH ₄ -N含量	g/Mg
種植前各土層P、K含量	g/Mg
種植前各土層Al含量	%
種植前各土層含水量	%
作物品種	
種子重量、年齡	
種植方法	
種植或移植日期	
植株行距	cm
植株數	
作物密度	pl./m ²
種子種植深度	cm

CERES MAIZE 作物生長模式中提供了模式變數修正功能，以便使用者進行模式之校正，可修正之變數包括：

1. 播種日期、模擬日數與種植深度。
2. 改變植栽密度。
3. 氮素無限制條件下，作物生長模擬。
4. 灌溉管理與水平衡轉變。
5. 施肥管理。
6. 選擇新品種或改變品種部份遺傳參數。
7. 選擇不同土壤或改變部份土壤物理參數，如田間容水量、飽和含水量、凋萎點、總體積密度等。
8. 選擇不同之氣象資料。
9. 改變土壤初始肥力、水分含量。

其中玉米遺傳參數包含五項，分述如下：

1. P1：玉米從發芽到幼年末期(end of juvenile phase)高於基本溫度 8 °C 日積溫 (日度 °C - Day)，其值介於 110-355 之間。

2. P2：光週期敏感度係數 (1/ha) 其值介於 0-0.8 之間 (Kiniry 等, 1983)。

3. P5：吐絲期至生理成熟期高於基本溫度 8 °C 之日積溫 (日度 °C - Day)。其值約為 685 左右，熱帶品種則會大於 685 (Kiniry 等, 1983)。

4. G2：每株最大可能粒數 (粒/株)，其值介於 560-834 之間 (Kiniry 等, 1983)。

5. G3：每天最大子粒生長速率 (mg/kernel/day)，其值介於 6-11 之間 (Kiniry 等, 1983)。

P1 及 P5 用於校正玉米吐絲期與生理成熟期之生育日數，使模擬值接近實測值之合理範圍內。而 G2 及 G3 則用於校正模擬產量。

四、模式驗證

學甲旱作灌溉試驗站曾於民國 74 至 77 年間從事玉米不同灌溉處理效果及需水量田間試驗，本研究收集學甲旱作灌溉試驗站之玉米田間栽植試驗相關資料，供作模式驗證之憑證。需解析之資料包括土壤物理性態 (表 4-1) 及水分常數資料；灌溉方法、灌溉用水量及每年施肥管理與收成時之產量資料等 (表 4-2.1 ~ 表 4-2.4)。

表 4-1. 學甲試驗站土壤物理性態資料

調查資料	調查結果	備註
試驗位置經度	120°13'N	
試驗位置緯度	23° 11'E	
編號(Pedon No.)	自訂	
土壤分類	坵質壤土	
坡度	0.5	%
表土顏色	黃色	
土壤滲透性	中	
土壤排水性	中	
土壤分層數	自訂	
土壤各層厚度	自訂	cm
土層剖面描述(soil horizon)		
各層黏土百分比	21-19	%
各層粉粒百分比	55-48	%
各層粒徑>2mm百分比	0	%
各層有機碳百分比 (%有機質=1.724*%有機碳)	有機質2-0.5	%
各層總體積密度	1.46-1.38	g/cm ³
各層pH值	6.5-5.8	H ₂ O
各層飽和度	0	若pH>5.5, Al=0
各層根分佈		
年平均溫度	20	預設值=20 °C
月平均氣溫差	0	預設值=0 °C
礦化係數	1	預設值=1

表 4-2.1 田間試驗資料--74 年度

施肥資料				
期作別	施肥日期	肥料種類	施肥深度	肥料用量
春作	--	--	--	--
秋作	9.16	基肥	4	硫酸銨 =300kg/ha 過磷酸鈣=350kg/ha 氯化鉀 = 50kg/ha
	10.9	追肥	5	硫酸銨 =300kg/ha 氯化鉀 = 50kg/ha
	10.20	追肥	5	硫酸銨 =200kg/ha
灌溉資料				
期作別	施灌一次	施灌二次	施灌三次	備註
春作	--	--	--	
秋作	11.5	11.5、12.5	10.11、11.9、12.4	灌溉水深40mm
產量資料 (Kg/ha)				
期作別	品種	施灌一次	施灌二次	施灌三次
春作	臺南 16號	--	--	--
	臺農351號	--	--	--
秋作	臺南 16號	4,924	4,622	4,920
	臺農351號	4,032	4,325	4,976

表 4-2.2 田間試驗資料--75 年度

施肥資料				
期作別	施肥日期	肥料種類	施肥深度	肥料用量
春作	2.17	基肥	4	硫酸銨 =360kg/ha 過磷酸鈣=420kg/ha 氯化鉀 = 60kg/ha
	3.24	第一次追肥	5	硫酸銨 =360kg/ha 氯化鉀 = 60kg/ha
	4.8	第二次追肥	5	硫酸銨 =240kg/ha
秋作	6.30	綠肥		播種大豆綠肥
	9.2	綠肥		犁耕大豆綠肥
	9.15	基肥	4	同75年春作基肥
	10.23	第一次追肥	5	同75年春作第一次追肥
	11.20	第二次追肥	5	同75年春作第二次追肥
灌溉資料				
期作別	施灌一次	施灌二次	施灌三次	備註
春作	3.24	3.14、4.8	3.14、4.8、5.3	灌溉水深40mm
秋作	11.18	11.18、12.18	10.24、11.18、12.18	灌溉水深40mm
產量資料 (Kg/ha)				
期作別	品種	施灌一次	施灌二次	施灌三次
春作	臺南 16號	3,766	4,366	4,438
	臺農351號	3,293	3,564	3,791
秋作	臺南 16號	5,275	5,608	5,672
	臺農351號	5,158	5,426	5,482

表 4-2.3 田間試驗資料--76 年度

施肥資料				
期作別	施肥日期	肥料種類	施肥深度	肥料用量
春作	2.17	基肥	4	同75年春作基肥
	--	第一次追肥	--	--
	4.2	第二次追肥	5	同75年春作第二次追肥
秋作	7.15	綠肥		播種大豆綠肥 硫酸銨 = 60kg/ha
	8.14	綠肥		犁耕大豆綠肥
	8.23	基肥	4	同75年春作基肥
	10.12	第一次追肥	5	同75年春作第一次追肥
	10.25	第二次追肥	5	同75年春作第二次追肥
灌溉資料				
期作別	施灌一次	施灌二次	施灌三次	備註
春作	--	12.21	12.25、12.21	資料不全
秋作	11.7	11.7、12.7	10.13、11.7、12.7	灌溉水深40mm
產量資料 (Kg/ha)				
期作別	品種	施灌一次	施灌二次	施灌三次
春作	臺南 16號	8,094	8,308	8,487
	臺農351號	7,423	8,198	8,352
秋作	臺南 16號	4,968	5,928	6,988
	臺農351號	4,264	5,951	6,555

表 4-2.4 田間試驗資料--77 年度

施肥資料				
期作別	施肥日期	肥料種類	施肥深度	肥料用量
春作	2.22	基肥	4	同75年春作基肥
	3.23	第一次追肥	5	同75年春作第一次追肥
	4.9	第二次追肥	5	同75年春作第二次追肥
秋作	7.4	基肥		播種大豆綠肥 硫酸銨 = 67kg/ha
	9.13	綠肥		犁耕大豆綠肥
	9.19	基肥	4	同75年春作基肥
	10.27	第一次追肥	5	同75年春作第二次追肥
	11.9	第二次追肥	5	同75年春作第二次追肥

灌溉資料				
期作別	施灌一次	施灌二次	施灌三次	備註
春作	4.19	4.11	4.11	灌溉水深40mm
秋作	11.25	11.25、12.17	11.1、11.25、12.17	灌溉水深30mm

產量資料 (Kg/ha)				
期作別	品種	施灌一次	施灌二次	施灌三次
春作	臺南 16號	6,551	6,623	6,816
	臺南 351號	5,418	5,987	5,727
秋作	臺南 16號	7,032	7,451	7,703
	臺南 351號	5,265	6,432	6,880

表 4-3 肥料要素含量

肥料名稱	要素含量
硫酸銨 ((NH ₄) ₂ SO ₄)	氮(N): 21%
過磷酸鈣 (CaP ₂ O ₅)	磷(P): 7.7%
磷酐 (P ₂ O ₅)	磷(P): 18%
氯化鉀 (KCl)	鉀(K): 49.2%
氧化鉀 (K ₂ O)	鉀(K): 60%

五、結果與討論

本研究嘗試以目前可獲得之資料，配合模式中可選擇之品種—台南 11 號，輸入模式進行分析，再與學甲試驗站 76 年秋作玉米—台南 16 號作一比較，模式執行結果如下（表 5-1）：

表 5-1 田間資料與模式預測值之比較 A

	田間試驗	模式模擬	模式誤差
品種	臺南16號	臺南11號	
施灌一次	4,919	4,668	-5.10%
施灌二次	5,882	5,392	-8.33%
施灌三次	6,932	5,398	-22.13%
收穫日期	1月12日	1月5日	7天

註：表中所列之產量以 Kg/ha 表示

表 5-1 中臺南 16 號之產量為田間試驗收集之實際資料，臺南 11 號為模式選用之品種。由模式計算結果與實際產量比較顯示，施灌一次與施灌二次之產量誤差較小，而施灌三次之產量誤差較

大，且施灌二次與施灌三次之產量並無明顯差異，選用模式中其他品種測試時亦有相同之情況。究其原因，由模式水平衡分析發現，灌溉二次與三次時，作物缺水壓力均為零；且由模式估計之現場土壤田間含水量、凋萎點、土壤飽和含水量均偏高，是乃造成水分在模式中影響不顯著之主因。

配合學甲試驗站已完成之現地土壤調查資料，修正模式模擬之土壤資料。學甲試驗站可得到之土壤資料有水分當量、田間含水量(DUL)與凋萎點(LL)，列表比較如表 5-2：

表 5-2. 學甲試驗站土壤性質

	有效水分上限DUL (drained upper limit soil water content)	有效水分下限LL(lower limit of plant-extractable soil water)
模式模擬值	0.265 - 0.257	0.129 - 0.122
田間實測值	0.223 - 0.200	0.067 - 0.062

以實測之田間含水量及凋萎點值等土壤資料代入模式執行後，獲得新的結果如下（表 5-3），如表中所示，不同之灌溉次數間產量有較明顯之差異。

表 5-3 田間資料與模式預測值之比較 B

品種	臺南16號	臺南11號	模式誤差
施灌一次	4968	4428	-10.87%
施灌二次	5928	4627	-21.95%
施灌三次	6988	5146	-26.36%
收穫日期	1月12日	1月5日	7天

註：表中所列之產量以 Kg/ha 表示

由以上結果可知土壤性質對模式推估之結果影響頗大，由模式推估土壤性質與實際土壤性質有些許差異，若有實測值代入模式執行，可獲得較準確之結果。土壤之資料取得較易，因此，使用模式之前應對目標區之土壤資料充分瞭解，以使模式之準確性提高。

在品種方面，根據台灣省台南區農業改良場年報估計，台南 11 號與台南 16 號產量差異約在 -20% ~ -25% 之間，可作為推估玉米遺傳參數 G2 與 G3 值之參考，但 P1 與 P5 值仍缺乏相關之可用資料；較可靠之方法為遵循植栽模式，在適當之控制種植環境中，種植目前之作物品種，可求得所

需之作物品種遺傳參數。

目前利用模式靈敏度分析，推求台南 16 號之遺傳參數，經多次嘗試後，台南 16 號與台南 11 號之遺傳參數對照（表 5-4），模式模擬之產量如表 5-5。

表 5-4. 台南 16 號與台南 11 號之遺傳參數

遺傳參數	P1	P2	P5	G2	G3
台南 16 號	230	0.8	685	750	8.0
台南 11 號	200	0.8	670	730	6.8

表 5-5. 田間資料與模式預測值之比較

	田間試驗	模式模擬	模式誤差
施灌一次	4968	4957	-0.22%
施灌二次	5928	5917	-0.19%
施灌三次	6988	6625	-5.19%
收穫日期	1月12日	1月10日	2天

註：表中資料之產量以 Kg/ha 表示

在適當校正後，CBRES MAIZE 模式可適用於台灣地區；由校正過程中可知以土壤資料及作物遺傳特性資料對模式模擬結果影響較大。

以此校正結果對作物各個生長時期供水作一定量調整，由模式推估調整後之產量變化，以探討減量供水與作物產量之相關性。

首先移除氣象資料中之降雨資料，假設生長期間無降雨；利用模式模擬在一定可用水量下，施灌一次、二次及三次等三種灌溉管理方法與產量之關係。

考慮土壤性質與根層深度，土壤假比重 $A_s = 1.40$ ，田間含水量 22.33%，凋萎點 6.02%，作物根系深度 60cm，依此計算一次灌溉水深：

$$D = \frac{E.C. \cdot PWP}{100} \div A_s \times d$$

其中，

D = 一次灌溉水深

E.C. = 田間含水量

PWP = 凋萎點

A_s = 土壤假比重

d = 作物根系深度

在極端情況下， $D = \frac{(22.33 - 6.02)}{100} \times 1.40 \times$

600 = 137mm，即土壤完全乾燥時，一次灌溉水深亦不應超過 137mm，由於灌溉管理上不可能將所

有之有效水分耗盡，所以暫以 120mm 為施灌水量之上限，分別就灌溉一、二、三次之管理方法予以研討。模式模擬之結果如表 5-6 及圖 5-1 所示，由其中可以發現，在總灌水量不變之情況下，降低灌溉次數可提高產量，且由管理之觀點而言，減少施灌次數並可降低操作成本，增加根之發展及有效雨量之利用。

表 5-6. 三種灌溉管理方法與產量之關係

總灌溉水深(mm)	灌溉1次	灌溉2次	灌溉3次
10	387	374	383
20	458	403	382
30	641	449	402
40	2317	512	437
50	2185	587	512
60	2563	748	640
70	3846	2103	1682
80	4074	3347	1969
90	4566	3923	1774
100	4941	4347	2147
110	5054	4527	3373
120	5284	5040	4383

單位：Kg/ha

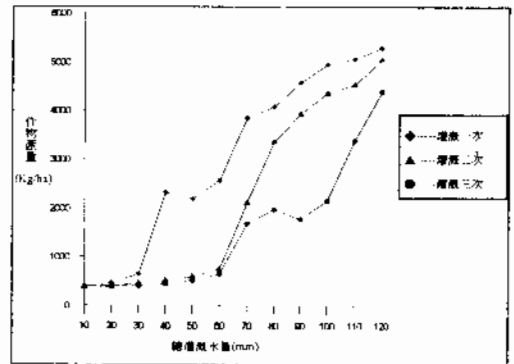


圖 5-1. 三種灌溉管理方法與產量之關係

再探討灌溉一次之管理方法，原灌溉日期在播種後 50 天，利用模式模擬不同之灌溉日期，以灌溉水深 40mm 為例，獲得結果如表 5-7，圖 5-2。

表 5-7. 不同灌溉日期與產量之關係

灌溉日期	20	30	40	45	50	55	60	65	70
模擬產量	490	553	1607	1950	2317	2755	2694	814	531

單位：Kg/ha

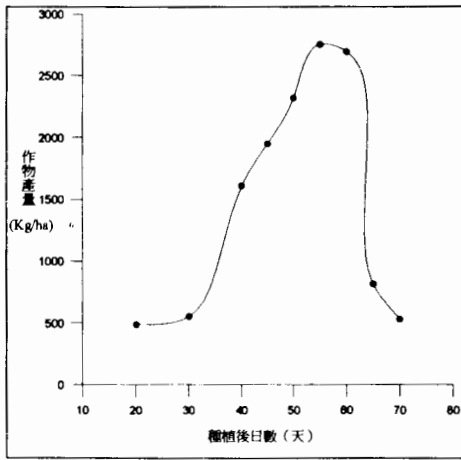


圖 5-2. 不同灌溉日期與產量之關係

由模式模擬亦可得知，如擬獲得較佳之產量，一次灌溉時，施灌時間應在播種後 50 至 60 天之間，以獲得較大之效益。

六、結 論

對 IBSANT 之玉米生長模式做初步之探討可知，模式應用台灣地區之條件，在經過校正後，可準確估計田間試驗之產量；在模式驗證確實可行後，藉由模式可模擬多種可能之灌溉管理方式，且可節省許多花費在田間試驗之人力物力。本研討藉由校正之過程，以固定總灌水量為限制條件，依學甲試驗站之灌溉方式，做灌溉一、二、三次之模擬，以灌溉一次可獲得最大之產量；在決定灌溉一次管理後，再藉由模式模擬不同之施灌時間，可找到一段最佳之施灌期間，再建議農民在該時間內施灌，以獲得最佳之作物產量，此乃本研究獲得之結論。玉米模式為研討乾旱調配相當有效之輔助工具，可用於採用其他不同之總灌水量、灌溉管理方法，並模擬、尋求用水量與作物產量之關係，作為乾旱調配模式之依據。

謝 誌

本研究承行政院農業委員會經費補助始得以順利進行，謹此致謝。研究期間蒙嘉南農田水利會所屬學甲旱作灌溉推廣及試驗站王主任銀和、

王股長錦鈺、劉股長寶發、林石獅先生等協助收集資料並提供建議，台灣省農業試驗所農化系向為民先生、陳琦玲小姐提供模式相關資料，以及台灣大學農業工程學研究所施嘉昌教授、蘇明道副教授之協助與指導，研究生糠瑞林負責模式之執行及校正，一併於此表示謝意。

參考文獻

- 林正鈞、葉明智：簡易氣象資料模式用於估算作物需水潛量之研究，1990. 12，中華農會學報，p. 1-12。
- 曹以松、施嘉昌、朱榮彬、吳四福：玉米不同灌溉處理效果及需水量試驗研究，1986，農工中心研究報告，p. 74。
- 曹以松、施嘉昌、李源泉、王錦鈺：玉米不同灌溉處理效果及需水量試驗研究，1987，農工中心研究報告，p. 99。
- 曹以松、施嘉昌、李源泉、王錦鈺：玉米不同灌溉處理效果及需水量試驗研究，1988，農工中心研究報告，p. 160。
- 陳琦玲、蔡正廷、林正鈞：大豆生長模式應用於生產潛力估算之分析，1992，農地生產力評估技術之開發與應用研討會，p. 63-96。
- 陳琇瑜：缺水對玉米、大麥生理與產量的影響，1990，中興植物研究所。
- 莊作權、林正鈞、謝元德：玉米作物模式之校正及驗證，1989. 12，中華農會學報，p. 12-85。
- 莊作權、林正鈞、謝元德：IBSANT 玉米作物模式之構造及原理，1989，農林學報，38 (1)，p. 15-27。
- 張佑芳：台灣地區氣象因子對玉米產量模式之影響 I. 春作玉米，1991，氣象學報，37 (1)，p. 45-61。
- 張佑芳：台灣地區氣象因子對玉米產量模式之影響 II. 秋作玉米，1991，氣象學報，37 (3)，p. 217-235。
- 蔡正廷：機制性作物模式適用性之評估，1989，中興土壤研究所。

(文轉第12頁)