



灌溉管理模式應用於農業用水量之規劃

Application of Irrigation Management Model to Agricultural Water Demand Planning

財團法人七星農田水利研究發展基金會組長
暨國立宜蘭技術學院土木工程系兼任副教授

國立臺灣大學農業工程學系
名譽教授

郭勝豐

施嘉昌

Sheng-Feng Kuo

Charles C. C. Shih

摘要

灌溉管理模式可模擬田間“作物-土壤-大氣”間之複雜現象，估算作物需水量及灌溉期距，進而規劃農田水利會於目前及加入 WTO 後作物制度變更下之灌溉計畫農業用水量。

嘉南農田水利會學甲試驗站歷年來之田間試驗資料被收集、分析，復輸入聯合國國際糧農組織發展之 CROPWAT 灌溉管理模式估算結果得知，學甲試驗站之年平均潛勢蒸發散量為 1444 公厘，有效雨量為 897 公厘。不考慮有效雨量，一期作水稻之灌溉需水量為 962 公厘，滲漏量為 295 公厘，二期作水稻之灌溉需水量為 1114 公厘，滲漏量為 296 公厘，合計學甲灌區內水稻田滲漏量約佔灌溉需水量之 28.6%。旱作部份之作物蒸發散量，春作玉米為 358 公厘、秋作玉米為 273 公厘，春作高粱為 332 公厘、秋作高粱為 366 公厘，春作大豆為 350 公厘、秋作大豆為 264 公厘。

五種不同灌溉方式用以分析玉米之灌溉期距，得知春作玉米採用土壤水分追蹤法實施一次灌溉(3/23)，淨灌溉水深 66.9 公厘時具有最佳效果，秋作玉米則採用管理者制訂法實施三次灌溉(10/18, 11/13, 12/13)，淨灌溉水深 120 公厘時具有最佳效果。

嘉南水利會學甲工作站八十七年度灌溉管理資料中顯示單期作水稻耕種面積約佔 65%，據此訂定作物制度復利用 CROPWAT 模式分析得知該灌區單期作物制度之年總灌溉水深為 507 公厘，月別尖峰用水量發生於十月份之 126 公厘。雙期作物制度之年總灌溉水深為 1019 公厘，月別尖峰用水量發生於一月份之 192 公厘。

本研究結果顯示灌溉管理模式能迅速、效率的分析農業灌溉用水量，然與臺灣現行農田水利會灌溉管理制度之配合仍須進一步修正、分析，相信日後能用以提昇農田水利會之灌溉管理能力。

關鍵詞：灌溉管理模式，農業用水量，蒸發散量，作物制度，作物產量。

ABSTRACT

Irrigation management model simulating the complicated on-farm “crop-soil-climate” relationship is introduced to estimate the crop evapotranspiration and prepare the irrigation schedules; furthermore, to plan the agricultural water requirements with different cropping pattern for Irrigation Associations.

The field experiment data from HsuehChia Experiment Station of ChiaNan Irrigation Association was collected and analyzed, then as input to the CROPWAT irrigation management model that was developed by the FAO of UN. The results from CROPWAT model show that the annual potential evapotranspiration and effective rainfall in HsuehChia area are 1444 mm and 897 mm, respectively. Regarding the paddy fields, the amount of crop water requirements and deep percolation are 962 mm and 295 mm for the first period rice, also 1114 mm and 296 mm for the second period rice. Considering the upland crops, the amount of crop water requirements for spring and autumn corn are 358 mm and 273 mm, 332 mm and 366 mm for sorghum, 350 and 264 mm for soybean, respectively.

Five different irrigation methods were used to simulate the irrigation schedule for spring and autumn corn. The optimal results happened in the “soil moisture simulation method” with one time and 69.6 mm net irrigation depth for spring corn. Also, the “manager defined method” with three times and 120 mm net irrigation depth has the optimal results for autumn corn. Based on the single rice cropping pattern with 65% planted area of paddy fields and irrigation management data of HsuehChia Working Station in 1998, the CROPWAT model simulated results show that the annual agricultural water demand are 507 mm, and the peak monthly scheme water requirements happened on the October with 126 mm. For the double rice cropping pattern, the annual agricultural water demand are 1019 mm, and the peak monthly scheme water requirements happened on the January with 192 mm.

The research show that irrigation management model can effectively and efficiently estimate the agricultural water requirements, yet it still needs more study to fit the complicated situation of cropping pattern for upgrading the ability of irrigation management of Irrigation Associations in Taiwan.

Keywords: Irrigation management model, Agricultural water requirements, Evapotranspiration, Cropping pattern, Crop yield.

一、前言

為了有效利用有限水資源，因應台灣加入 WTO 後農業耕作制度之改變，收集分析台灣區域性之田間試驗及灌溉管理基本資料，復利用灌溉管理模式精確及迅速的估算各種不同作物制度下之灌溉用水量，以增進農田水利會之灌溉管理能力、提昇其能力架構(Capacity Building)，實為當前農田水利最重要之課題。

基本資料之收集與分析為灌溉管理最重要之工作，嘉南農田水利會學甲旱作試驗站自民國 74 年起分別于田間試驗種植了包括玉米、高粱及大豆等作物，亦收集了歷年的農業氣象資料，此花費相當財力、人力及時間收集之寶貴資料，實有必要進一步應用電腦軟體加以分析、應用。另外，灌溉管理模式可模擬田間包括“作物-土壤-大氣”間之複雜現象，藉以估算灌溉計畫下各個作物之需水量、灌溉時間、產量等，精確而迅速的估算灌溉計畫於作物生長階段期間之灌溉需水量、滲漏量、逕流量及有效降雨量等，進而規劃灌溉計畫于作物制度變更下，包括水稻田及早作之整體灌溉需水量。因此，本研究於田間試驗資及灌溉管理基本資料收集、分析完成後，復利用由聯合國國際糧農組織(FAO of UN)發展之灌溉管理模式(CROPWAT)用以估算嘉南水利會佳里管理處目前耕作制度下之灌溉需水量。同時，探討未來不同耕作制度下之灌溉用水量，配合現有可用之水資源，以規劃台灣加入 WTO 後，嘉南灌區合理可行之作物制度以符合國家農業、工業永續經營之理念。

國際灌溉排水協會(International Commission on Irrigation and Drainage, ICID)鑑於農田水利研究與實際管理者及單位間配合之落差，認為實有必要加強水部門之能力架構，藉由灌溉管理技術之提昇及人員之教育訓練等方法來增進水部門之運作能力。因此，ICID 于 1995 年成立「能力架構、教育及訓練工作小組(Working Group on Capacity Building, Education and Training, WG/ICBET)」，由此可知，透過灌溉管理模式之應用，編撰使用手冊，加以訓練農田水利會之決

策人員，增進其灌溉管理能力，實為水利會能力架構(Capacity Building, CB)最重要的工作。

綜合上述，本計畫之重要工作項目及實施方法包括如下：

1. 田間試驗及灌溉管理資料收集與分析
 - (1)收集學甲旱作試驗站歷年之田間試驗及農業氣象資料。
 - (2)收集嘉南水利會佳里管理處學甲工作站之灌溉管理資料
 - (3)田間試驗資料分析，包括作物係數、潛在蒸發散量、實際蒸發散量、作物產量等灌溉管理必備之基本資料。
2. 灌溉管理模式應用於推估不同耕作制度下之灌溉需水量
 - (1)國際糧農組織 (FAO) 發展之 CROPWAT 灌溉管理模式探討
 - (2)CROPWAT 應用於推估佳里管理處學甲工作站包括水稻田及早作之灌溉需水量。
 - (3)探討不同耕作制度下之灌溉需水量。

二、文獻回顧

田間現地試驗為灌溉管理必備之過程，田間試驗之資料可藉以建立區域性之灌溉管理資料，包括：農業氣象、土壤物理特性、作物係數、作物產量等，同時，可用於驗證灌溉管理模式之實用性。國內部份，嘉南農田水利會學甲旱作試驗站自 1985~1994 年間於田間試驗包括了玉米、高粱及大豆等作物，並記錄了農業氣象相關資料。黃成達(1993)、施嘉昌、何信賢(1997)等均利用該區資料分別估算高粱及玉米之作物係數，張本初(1995)則同時探討了該區域之蒸發散量。

灌溉管理模式概念包括模擬田間“土壤-作物-大氣”間之互動關係，收集、管理灌溉區域之灌排農用水路，同時可延伸到最佳化之規畫，以協助農田水利會決策者如何運用現有之水資源達到最大經濟效益。郭勝豐(1995)利用 C 程式語

言配合著遺傳演算法(Genetic Algorithm, GA)建立了一使用者介面之灌溉管理模式 ISOM(Irrigation Simulation and Optimization Model, ISOM)，此模式可模擬田間每日之水收支平衡情形，藉以推估灌溉用水量及作物產量，同時利用 GA 規劃位於美國猶他州 Delta 灌溉計畫之最大經濟效益，其限制條件為 Seiver River Basin 中有限之水資源。Merkley (1996)配合著埃及水資源局、美國墾務局、美國猶他州立大學等單位之需要建立了 Window 版本之水資源管理模式 PDM (Planning Distribution Model, PDM)用以分析埃及尼羅河流域區域內包括農業、工業、民生用水之需要。美國加州科技大學配合著加州水資源局(California Dept. of Water Resources)及太平洋電力公司(Pacific Gas and Electric Co.)之需要，利用專家系統(Expert System)建立了一田間灌溉管理決策模式(An Interactive Expert Systems for Examining On-Farm Irrigation Water Management Model, AGWATER)藉以模擬田間包括灌溉需水量、滲漏量、灌溉時間等要素，同時利用專家系統規劃最經濟之電力使用量。Allen(1990)發展之 REF-ET 模式能迅速的利用 8 種不同方法估算潛在蒸發散量(ET_o)。FAO(Smith, 1991)發展之灌溉管理模式 CROPWAT 則能應用於估算不同耕作制度下之灌溉需水量。

國內有關農田水利會能力架構(Capacity Building)之理念尚屬於初期階段，李聰輝、甘俊二(1998)於台灣首次舉辦之“水部門能力架構、教育及訓練研討會”中探討了台灣目前農田水利會包括灌溉管理、人力、財務等會務現況，藉以剖析農田水利會需改進之處以加強能力架構之建立。

三、CROPWAT 灌溉管理模式探討

CROPWAT 模式可應用於灌溉計畫之規劃，管理者可依灌溉計畫之實際需要訂定作物制定(Cropping Pattern)以計算計畫區域之月別農業灌溉用水量，亦可機動性的改變作物制度及估算農業用水量於合理、可接受範圍。因此，此模式極適用於未來台灣加入 WTO 後包括農田水利

會及台糖等單位於機動性的改變其作物制度，進而規劃、計算應提供之農業用水量。由此可知，灌溉管理模式之應用可加強農田水利會之灌溉管理能力，進而達到提高水利會組織能力架構(Capacity Building)之目的。

(一) 理論架構

CROPWAT 係聯合國國際糧農組織(FAO of UN)自 1990 年開始發展之灌溉管理模式，此模式主要目的為協助灌溉管理者於估算作物需水量及灌溉計畫之規劃。CROPWAT 研發至今配合英國 Southampton University 及埃及 National Water Research Center (NWRC)建立了具有使用者介面之“CROPWAT 4W” Window 版本，及 Dos 介面下之“CROPWAT 70”版本。Window 版具有較好之使用者介面，然尚未包括水稻需水量之運算功能。因此，本研究採用 CROPWAT 70 版本。

CROPWAT 之運算流程如圖 3.1 所示。圖中顯示應輸入之灌溉管理資料包括作物、氣象、土壤等。其中，農業氣象資料包括：(1)最高、最低溫度；(2)風速；(3)日照時數；(4)相對溫度；(5)降雨量等。模式利用 Penman Monteith 法估算潛在蒸發散量(ET_o)，有效雨量估算法則包括：(1)固定比例法；(2)經驗公式法；(3)美國農業部土壤保持法(USBR)等。本研究採用 USBR 法計算嘉南灌區有效雨量如下式所示：

$$PE = P_{tot} * \frac{125 - 0.2P_{tot}}{125} \text{ for } P_{tot} < 250^{mm} \quad (3.1)$$

$$PE = 125 + 0.1 * P_{tot} \text{ for } P_{tot} > 250^{mm}$$

其中：PE 表示月平均有效雨量，P_{tot}表示月平均降雨量

灌溉管理基本資料輸入完成後，CROPWAT 模式可計算作物生長期間旬別之相關資料，包括：(1)作物係數；(2)葉面積指數；(3)作物蒸發散量；(4)滲漏量；(5)整田需水量；(6)有效雨量；(7)作物灌溉需水量等。模式亦可應用不同灌溉方式用以決定灌溉期距(Irrigation Schedule)，包括：(1)自訂次數、時間及水深；(2)最佳灌溉；(3)

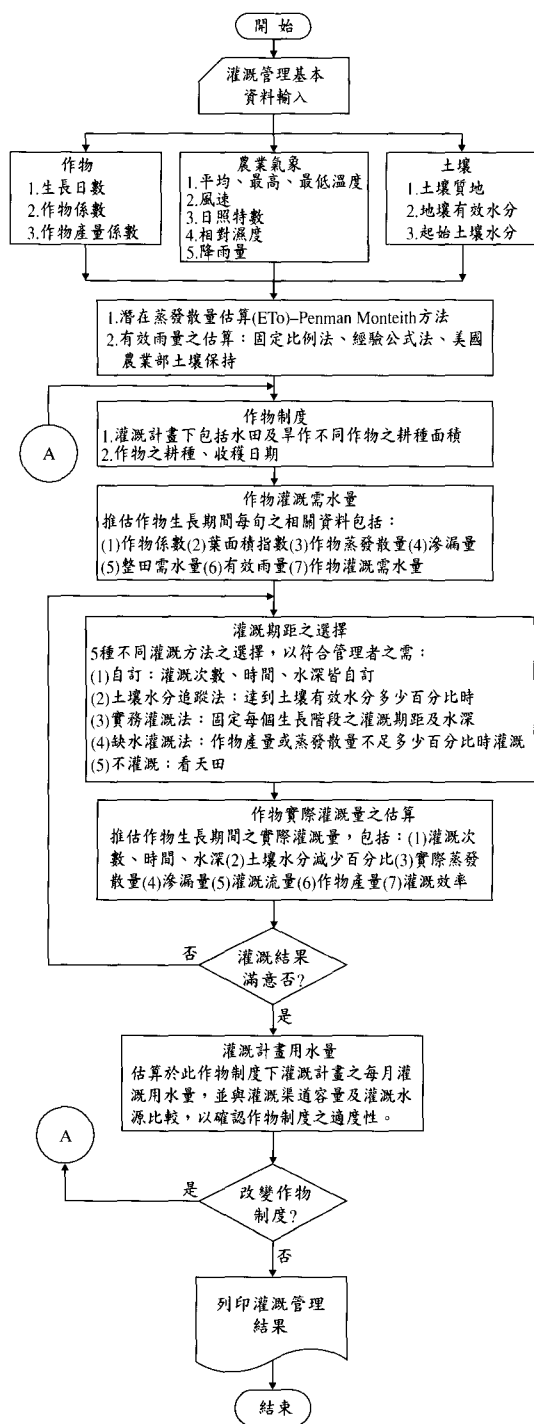


圖 3.1 CROPWAT 灌溉管理模式流程圖

實務灌溉；(4)缺水灌溉；(5)不灌溉等。其中，缺水灌溉可設定為作物產量減產百分比或每個生長階段減少供給作物所需蒸發散量百分比。

灌溉期距確定後，模式可開始計算作物生長期間之實際田間水收支平衡及灌溉量，包括：(1)灌溉次數、時間及水深；(2)土壤水分減少百分比；(3)滲漏量；(4)實際蒸發散量；(5)灌溉量；(6)作物產量等。田間水收支平衡依下列公式決定之：

$$SMD_t = SMD_{t-1} + ET_c - PE - IR + RO + DP \quad (3.2)$$

其中：

SMD_t , SMD_{t-1} ：表示 t 及 $t-1$ 時間之土壤水分匱乏量

ET_c ：表示作物實際蒸發散量

PE ：表示有效雨量

IR ：表示灌溉量

RO ：表示逕流量

DP ：表示滲漏量

作物將因土壤水分無法完全供給其蒸發散量所需而降低作物產量，每個生長階段之作物減產量百分比以公式 3-3 估算之，累積作物生長期間之減產百分比以公式 3-4 估算之。

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_{\max}}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_{\max}}\right) \quad (3.3)$$

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_{\max}}\right)_i = 1 - \left(\frac{Y_a}{Y_m}\right)_1 * \left(\frac{Y_a}{Y_m}\right)_2 * \dots * \left(\frac{Y_a}{Y_m}\right)_i \quad (3.4)$$

其中：

i ：作物生長階段（若分為四個階段則 $i=4$ ）

K_y ：作物減產係數

Y_a , ET_a ：分別代表作物實際產量及蒸發散量

$Y_{\max}$, $ET_{\max}$ ：分別代表作物最大產量及潛勢蒸發散量

每個作物之灌溉期距估算後，CROPWAT 灌溉管理模式可進一步依據灌溉計畫（Irrigation Scheme）之作物制度估算出灌溉計畫之月平均農業灌溉需水量，如公式 3.5 所示。

$$Q_{gross} = \frac{1}{e_p * t} \times \left[0.116 \times A_{scheme} \times \sum_{i=1}^n (ET_{crop} - P_{eff}) \times \frac{A_{crop}}{A_{scheme}} \right] \dots\dots\dots(3.5)$$

其中：

Q_{gross} ：計畫整體之旬別灌溉用水量 (l/s)

e_p ：灌溉效率(<=1，無因次)

t ：操作時間因子(<=1，無因次)

i ：作物制度下之作物種類

A_{crop} ：每個作物涵蓋之面積(ha)

A_{scheme} ：灌溉計畫總面積(ha)

ET_{crop} ：作物蒸發散量(mm/day)

P_{eff} ：有效雨量(mm/day)

(二) 灌溉管理基本資料輸入

嘉南農田水利會學甲旱作灌溉試驗站 (23°13'N, 120°11'E)，位於嘉南農田水利會佳里區管理處大灣工作站附近，海拔高度約 4 m，距離海岸 10 km。因該地區是位於地勢平坦、氣候特性一致的嘉南平原內，所以該地區觀測所得資料和數據，可以充分表現出嘉南平原之農業生產環境。表 3.1 表示學甲試驗站歷年來月平均農業氣象資料 (1964 ~ 1997)，將此資料輸入 CROPWAT 模式，應用 Penman-Monteith 法計算得知學甲灌區之年潛勢蒸發散量 (ET_o) 為 1444mm。

作物係數(Kc)為實際蒸發散量和潛在蒸發散量之比值，亦為灌溉管理中必備之基本資料。作物生長階段隨著作物品種、農業氣象等因素而變，亦與作物係數具有直接之關係，為了便於灌溉管理，通常將旱作之生長期間分成四個階段，包括：初始階段、作物發展階段、中間階段及末期階段。依據 FAO 標準並以玉米 125 天作物生長期間為例，初始階段指作物種植到覆蓋面積達 10%之期距，此階段約為 20 天，而作物係數維持定值。作物發展階段定義為作物覆蓋面積介於 10%~70%之間，此階段約為 35 天，作物係數則成線性遞增。中間階段定義為覆蓋面積由 70%~100%，此階段約為 40 天，而作物係數維持定值。末期階段泛指覆蓋面積 100%到作物成熟及收穫期間，此階段約為 30 天，作物係數則成

線性遞減。學甲試驗站田間試驗求得玉米於嘉南灌區之生長天數為 119 天，初始階段為 21 天，作物發展階段為 35 天，中間階段為 42 天，末期階段為 21 天。上述田間試驗資料與 FAO 標準趨勢一致然亦非完全相同，因此本文採用學甲試驗站之田間資料，藉以完全顯示玉米於嘉南灌區之實際現況，由此亦表示田間試驗之重要性。

學甲試驗站自 1986~1995 於田間實施包括玉米、高粱、大豆之田間試驗，表 3.2 表示嘉南地區各生長作物於不同階段之生長天數，何信賢 (1998) 分析得知，如表 3.3 所示玉米在三期作 (1986,1987,1988)之平均 Kc 值，在四階段之平均作物係數分別 0.40、0.78、0.89 和 0.71。表 3-4 則表示出高粱在三期作(1989,1991,1992)之平均 Kc 值，在四階段之平均作物係數分別 0.44、0.71、0.87 和 0.62。表 3-5 則表示出大豆在三期作(1993,1994,1995)之平均 Kc 值，在四階段之平均作物係數分別 0.45、0.89、0.92 和 0.58。

依據表 3-2~3-5 資料分別表示水稻、玉米、高粱、大豆等作物經由學甲試驗站田間試驗資料收集、分析後輸入 CROPWAT 模式中，包括各個作物不同生長階段之：(1)天數；(2)作物係數；(3)根系深度；(4)土壤容許消滅係數 (Soil Depletion Level)；(5)作物產量係數 (Yield Response Factor)。水稻部分則同時包括了：整地用水量及滲漏量。水稻滲漏量依據學甲試驗站物理特性資料中之粘粒百分比最高值為位於 90cm 處之 41.7%，復參考水利局設計規範標準中重粘土之粘土百分比達 49%時之滲率為 2.45 mm/day。因而，本研究採用水稻田之入滲率為 2.5 mm/day，整地用水量則訂為 180mm。

肆、實例應用

本章節目的為應用嘉南農田水利會學甲試驗站收集、分析之田間試驗資料輸入 CROPWAT 模式中，配合學甲工作站 87 年度之灌溉管理資料，用以分析包括水稻、玉米、高粱、大豆等作物之：

表 3.1 學甲試驗站歷年月平均農業氣象資料(1964~1997)

月份	最高溫 (°C)	最低溫 (°C)	日照時數 (hrs)	蒸發皿蒸發 量 (mm)	降雨量 (mm)	風速 (m/sec)	相對濕度 (%)
1	21.82	12.24	5.23	3.03	19.36	3.57	79.18
2	22.23	13.39	5.20	3.44	31.98	3.65	78.98
3	25.15	15.45	5.25	4.17	42.53	3.52	75.40
4	28.32	19.18	5.36	4.84	65.14	2.92	74.66
5	30.63	22.46	5.43	5.24	191.41	2.56	74.92
6	31.43	24.12	5.51	5.65	330.13	2.77	77.06
7	32.58	24.94	6.70	5.86	290.74	2.71	77.23
8	32.04	24.59	5.91	5.08	325.74	2.82	78.70
9	31.87	23.46	6.08	5.01	132.24	2.72	73.38
10	30.00	20.62	6.14	4.47	15.92	3.02	76.34
11	26.52	17.15	5.51	3.59	18.46	2.94	77.33
12	23.32	13.87	5.29	3.01	9.89	3.13	78.61

表 3.2 嘉南地區各生長作物之生長天數

作物	生長天數	作物生長階段			
		初始階段 (I)	作物發展階段 (II)	中間階段 (III)	末期階段 (IV)
玉米	119	21	35	42	21
高粱	105	14	28	42	21
大豆	105	14	28	42	21

表 3.3 玉米在各生長階段的實際蒸發散量(ETa)和作物係數(Kc)

期作	作物生長階段							
	(I)		(II)		(III)		(IV)	
	ETa (mm)	Kc	Tea (mm)	Kc	Tea (mm)	Kc	Tea (mm)	Kc
1986	40.0	0.58	122.6	0.94	169.5	1.02	92.2	0.75
1987	20.6	0.27	101.0	0.85	166.1	0.89	61.0	0.65
1988	21.4	0.36	61.1	0.54	130.7	0.77	87.3	0.74
平均	27.5	0.40	94.9	0.78	155.4	0.89	80.2	0.71

表 3.4 高粱各生長階段的實際蒸發散量(ETa)和作物係數(Kc)

期作	作物生長階段							
	(I)		(II)		(III)		(IV)	
	ETa (mm)	Kc	Tea (mm)	Kc	Tea (mm)	Kc	Tea (mm)	Kc
1989	20.9	0.53	74.4	0.83	137.0	0.83	60.9	0.69
1991	8.2	0.25	37.4	0.47	145.0	0.93	71.1	0.61
1992	17.9	0.54	61.4	0.83	93.7	0.84	34.4	0.55
平均	15.7	0.44	57.8	0.71	125.2	0.87	55.5	0.62

表 3.5 大豆在各生長階段的實際蒸發散量(E_{Ta})和作物係數(K_c)

期作	作物生長階段							
	(I)		(II)		(III)		(IV)	
	E _{Ta} (mm)	K _c	E _{Ta} (mm)	K _c	E _{Ta} (mm)	K _c	E _{Ta} (mm)	K _c
1993	17.3	0.44	75.6	0.91	124.0	1.05	37.4	0.52
1994	13.4	0.43	74.6	0.83	112.2	0.86	45.4	0.68
1995	14.6	0.48	57.5	0.93	108.2	0.85	31.9	0.55
平均	15.1	0.45	69.3	0.89	114.8	0.92	38.2	0.58

(1) 旬別作物需水量、田間水收支平衡等資料；

(2) 灌溉期距：本研究同時配合著施嘉昌等(1986, 1992, 1995)于學甲試驗站進行對玉米春作、秋作等不同灌溉處理試驗方法，對作物灌溉次數、時間、水深及作物產量等之影響。本研究採用之灌溉方式包括：

(a) 管理者制訂式灌溉：分別灌溉 2 次，3 次及 4 次，每次灌溉 40mm；

(b) 土壤水分追蹤式灌溉：灌溉達到 100% 及 50% 之土壤總速效性有效水分 (Readily Available Moisture, RAM)；

(c) 固定式灌溉：依據作物不同生長期，固定每次灌溉時間，至土壤水分達到田間含水量 (F.C.)；

(d) 缺水灌溉：設定減少灌溉作物所需之蒸發散量百分比，及減少作物產量百分比等；

(e) 不灌溉：看天田，僅依靠有效雨量。

(3) 灌溉計劃用水量：本研究亦參考學甲工作站目前水稻、雜作等灌溉面積之比例，分析目前單期作物制度下之月別灌溉用水量，同時探討了因應台灣加入了 WTO 後作物制度變更情形下，農業用水量之調整。

(一) 案例概述

嘉南農田水利會佳里管理處學甲工作站事業區域南以麻豆排水為界、北至頭港排水、東至營後排水、西至沿海，行政區域包括學甲、佳里、麻豆、北門等鄉鎮。本站目前共有 16 個水利小

組，會員數為 7428。地質大多屬砂土、壤土、及黏土鹽分地。主要作物為水稻、甘蔗、玉米、高粱、蔥、蒜等。學甲工作站計有 16 個工作小組，表 4.1 所示轄區面積與水源，表 4.2 表示八十七年度單期作灌溉面積計有 1124.2884 公頃，三年二作灌溉面積計有 597.529 公頃，合計 1721.8174 公頃。

(二) 作物蒸發散量及需水量之估算

表 4.3 分別表示利用 CROPWAT 模式模擬嘉南農田水利會學甲工作站水稻一期作 (1 月 15 日種植) 及二期作 (6 月 15 日種植) 之作物旬別生長情形，及田間水收支平衡。一期作水稻之結果如下：(1) 作物蒸發散量 488^{mm}；(2) 滲漏量 295^{mm}；(3) 有效雨量 202^{mm}；(4) 作物需水量 962^{mm}；(5) 灌溉需水量 760.8^{mm}。二期作水稻之結果如下：(1) 作物蒸發散量 639^{mm}；(2) 滲漏量 296^{mm}；(3) 有效雨量 584^{mm}；(4) 作物需水量 1114^{mm}；(5) 灌溉需水量 541.4^{mm}。比較作物需水量與滲漏量間之值，得知一期作之滲漏量約佔作物需水量 30.7% ($\frac{295}{962} \times 100\% = 30.7\%$)；二期作約佔 26.7% ($\frac{296}{1114} \times 100\% = 26.5\%$)。整體而言，水稻之滲漏量約佔作物需水量之 28.6%，圖 4.1 及 4.2 分別表示水稻一期作及二期作之旬別蒸發散量及作物係數。

表 4.4 表示利用 CROPWAT 模式模擬春作及秋作玉米之作物蒸發散量及灌溉需水量情形。圖 4.3，4.4 及 4.5 分別表示春作玉米、高粱及大豆

于田間之旬別水收支平衡及作物係數。表 4.5 則綜合整理學甲試驗站包括玉米、高粱、大豆等三個作物利用 CROPWAT 模式模擬春作、秋作之年作物蒸發散量、有效雨量及灌溉需水量等模擬結果。

(三) 不同灌溉方式之灌溉期距

依據前節敘述採用不同灌溉方式藉以估算作物之灌溉期距。本研究配合施嘉昌等(1986,1992,1994) 于學甲試驗站進行之田間試驗方式，而採用春作玉米之灌溉方式包括：

- (1)灌溉二次：種植後 35 天，50 天，每次灌溉水深 40^{mm}；
- (2)灌溉三次：25 天，50 天，80 天，每次灌溉水深 40^{mm}；
- (3)灌溉四次：種植後 25，50，75，80 天，每次灌溉 40^{mm}；
- (4)土壤水分追蹤法：模擬土壤水分降至土壤總速效性有效水分底限時（100%RAM）執行灌溉，並灌溉至土壤水分達到田間容水量；
- (5)土壤水分追蹤法：模擬土壤水分降至土壤總速效性有效水分一半時(50%RAM)執行灌溉，並灌溉至土壤水分達到田間容水量；
- (6)務實灌溉：初始及作物發展階段之灌溉期距為 25 天；中間及期末生長階段之灌溉期距為 10 天；
- (7)缺水灌溉：產量減產 10%以內；
- (8)不灌溉：看天田。

秋作玉米之灌溉方式與春作類似，僅前三種方式為配合田間試驗資料其灌溉時間分別為：

- (1)灌溉一次：于種植後 50 天，每次灌溉水深 40^{mm}；
- (2)灌溉二次：于種植後 50，80 天，每次灌溉水深 40^{mm}；
- (3)灌溉三次：于種植後 25，50，80 天，每次灌溉水深 40^{mm}。

表 4.6 綜合整理利用 CROPWAT 模擬春作及秋作玉米於不同灌溉方式下之灌溉期距。

表 4.1 學甲工作站灌溉面積與水源

圳別	長度(公尺)	灌溉面積 (公頃)	水源
學甲分線	12169	1414	烏山頭
西埔分線	5064	308	烏山頭

表 4.2 學甲工作站八十七年度灌溉面積

單位：公頃

	三年輪灌區		
	單期作	三年二作	合計
大灣	--	130.2324	130.2324
東寮	--	125.3302	125.3302
營後	81.9921	25.5581	107.5502
下溪洲	--	118.4385	118.4385
中洲	--	89.5266	89.5266
南中洲	--	108.4432	108.4432
草	108.5850	--	108.5850
南山寮	74.4647	--	74.4647
西中洲	118.8823	--	118.8823
二重港	61.5981	--	61.5981
溪底寮	131.1072	--	131.1072
三寮灣	144.0392	--	144.0392
東頭港	96.0644	--	96.0644
頭港	77.3987	--	77.3987
西埔	113.7377	--	113.7377
灰港	116.4190	--	116.4190
合計	1124.2884	597.5290	1721.8174

表 4.5 CROPWAT 模式估算作物蒸發散量及灌溉需水量

作物別 日期及水量	玉米		高粱		大豆	
	春作	秋作	春作	秋作	春作	秋作
種植日期	2/17	9/23	2/28	6/4	3/7	9/20
蒸發散量 (mm)	358.1	272.9	332.1	366.2	350	264.8
有效雨量 (mm)	328.2	74.6	293.8	517.9	323.1	73.9
灌溉需水量 (mm)	69.5	203.6	75.3	0	38.4	198.2

表 4.3 水稻之旬別作物蒸發散量及灌溉需水量（一期作）

RICE EVAPOTRANSPIRATION AND IRRIGATION REQUIREMENTS											
Rain climate station:			HsuehChia			Crop: Rice					
Eto climate station:			HsuehChia			Transplanting date: 15 January					
Month	Dec	Stage	Area %	Coef Kc	ETcrop mm/day	Perc	LPrep	RiceRg mm/day	EffR mm/dec	IrReq mm/day	IrReq mm/dec
Dec	2	Nurs	8	1.20	0.24	0.2	0.9	1.3	0.1	1.31	6.5
Dec	3	Nu/La	21	1.17	0.66	0.5	5.6	6.8	0.9	6.69	73.6
Jan	1	Land	60	1.09	1.74	1.5	8.1	11.3	3.1	11.02	110.2
Jan	2	La/In	91	1.02	2.51	2.3	3.2	8.0	5.6	7.46	74.6
Jan	3	Init	100	1.00	2.80	2.5	-	5.3	8.2	4.62	50.8
Feb	1	In/De	100	1.01	2.92	2.5	-	5.4	8.9	4.53	45.3
Feb	2	Deve	100	1.02	3.06	2.5	-	5.6	10.2	4.54	45.4
Feb	3	Deve	100	1.03	3.40	2.5	-	5.9	8.9	4.50	36.0
Mar	1	De/Mi	100	1.05	3.73	2.5	-	6.2	11.9	5.04	50.4
Mar	2	Mid	100	1.05	4.04	2.5	-	6.5	12.8	5.26	52.6
Mar	3	Mid	100	1.05	4.21	2.5	-	6.7	16.5	5.35	58.8
Apr	1	Mid	100	1.05	4.38	2.5	-	6.9	15.6	5.32	53.2
Apr	2	Mi/Lt	100	1.04	4.50	2.2	-	6.8	16.8	5.07	50.7
Apr	3	Late	100	1.01	4.48	1.7	-	6.2	26.0	3.59	35.9
May	1	Late	100	0.98	4.41	1.0	-	5.4	37.5	1.68	16.8
May	2	Late	100	0.95	4.35	0.3	-	4.6	18.6	0.00	0.0
Total					488	295	179	962	202	760.8	

CROPWAT 7.0

(續) 表 4.3 水稻之旬別作物蒸發散量及灌溉需水量（二期作）

RICE EVAPOTRANSPIRATION AND IRRIGATION REQUIREMENTS											
Rain climate station:			HsuehChia			Crop: Rice					
Eto climate station:			HsuehChia			Transplanting date: 15 January					
Month	Dec	Stage	Area %	Coef Kc	ETcrop mm/day	Perc	LPrep	RiceRg mm/day	EffR mm/dec	IrReg mm/day	IrReg mm/dec
May	2	Nurs	8	1.20	0.41	0.2	0.9	1.5	1.9	1.15	5.8
May	3	Nu/La	21	1.17	1.14	0.5	5.6	7.2	11.2	6.31	69.4
Jun	1	Land	60	1.09	3.02	1.5	8.1	12.6	30.5	9.59	95.9
Jun	2	La/In	91	1.02	4.35	2.3	3.2	9.9	49.2	4.95	49.5
Jun	3	Init	100	1.00	4.82	2.5	-	7.3	53.1	2.00	20.0
Jul	1	In/De	100	1.01	4.97	2.5	-	7.5	51.6	2.31	23.1
Jul	2	Deve	100	1.02	5.16	2.5	-	7.7	51.1	2.56	25.6
Jul	3	Deve	100	1.04	5.11	2.5	-	7.6	56.7	2.92	32.1
Aug	1	De/Mi	100	1.05	5.02	2.5	-	7.5	53.9	2.13	21.3
Aug	2	Mid	100	1.05	4.88	2.5	-	7.4	55.2	1.87	18.7
Aug	3	Mid	100	1.05	4.90	2.5	-	7.4	53.2	3.00	33.0
Sep	1	Mid	100	1.05	4.92	2.5	-	7.4	41.8	3.24	32.4
Sep	2	Mi/Lt	100	1.04	4.87	2.2	-	7.0	36.4	3.40	34.0
Sep	3	Late	100	1.01	4.51	1.6	-	6.1	26.0	3.49	34.9
Oct	1	Late	100	0.97	4.15	0.9	-	5.0	12.2	3.81	38.1
Oct	2	Late	100	0.94	3.80	0.1	-	3.9	0.2	3.82	7.6
Total					639	296	179	1114	584	541.4	

CROPWAT 7.0

表 4.4 玉米之旬別作物蒸發散量及灌溉需水量（春作）

Crop Evapotranspiration and Irrigation Requirements								
Climate File : Tainan				Climate Station : Hsuehchai				
Crop : Corn				Planting date : 17 February				
Month	Dec	Stage	Coeff Kc	ETcrop mm/day	ETcrop mm/dec	Eff. Rain mm/dec	IRReq. mm/day	IRReq. mm/dec
Feb	2	init	0.40	1.20	3.6	3.0	0.19	0.6
Feb	3	init	0.40	1.31	13.1	11.1	0.19	1.9
Mar	1	in/de	0.41	1.46	14.6	12.2	0.24	2.4
Mar	2	deve	0.50	1.89	18.9	13.2	0.57	5.7
Mar	3	deve	0.64	2.51	25.1	15.3	0.98	9.8
Apr	1	deve	0.78	3.16	31.6	16.0	1.56	15.6
Apr	2	de/mi	0.87	3.65	36.5	17.5	1.90	19.0
Apr	3	mid	0.89	3.83	38.3	36.4	1.19	11.9
May	1	mid	0.89	3.92	39.2	36.7	0.25	2.5
May	2	mid	0.89	4.01	40.1	46.3	0.00	0.0
May	3	mi/lt	0.87	3.97	39.7	48.4	0.00	0.0
Jun	1	late	0.80	3.73	37.3	50.5	0.00	0.0
Jun	2	late	0.72	3.38	20.3	31.6	0.00	0.0
TOTAL					358.1	328.2		69.5

（續）表 4.4 玉米之旬別作物蒸發散量及灌溉需水量（秋作）

Crop Evapotranspiration and Irrigation Requirements								
Climate File : Tainan				Climate Station : Hsuehchai				
Crop : Corn				Planting date : 23 September				
Month	Dec	Stage	Coeff Kc	ETcrop mm/day	ETcrop mm/dec	Eff. Rain mm/dec	IRReq. mm/day	IRReq. mm/dec
Sep	3	init	0.40	1.80	12.6	17.9	0.00	0.0
Oct	1	init	0.40	1.72	17.2	12.7	0.45	4.5
Oct	2	in/de	0.44	1.81	18.1	1.2	1.70	17.0
Oct	3	deve	0.55	2.12	21.2	2.8	1.85	18.5
Nov	1	deve	0.69	2.48	24.8	4.4	2.04	20.4
Nov	2	de/mi	0.83	2.73	27.3	6.0	2.13	21.3
Nov	3	mid	0.89	2.79	27.9	5.1	2.28	22.8
Dec	1	mid	0.89	2.64	26.4	4.2	2.22	22.2
Dec	2	mid	0.89	2.49	24.9	3.2	2.17	21.7
Dec	3	mid	0.89	2.46	24.6	4.2	2.04	20.4
Jan	1	mi/lt	0.87	2.33	23.3	5.3	1.80	18.0
Jan	2	late	0.77	2.08	20.8	6.3	1.45	14.5
Jan	3	late	0.68	1.92	3.8	1.5	1.16	2.3
TOTAL					272.9	74.6		203.6

表 4.6 CROPWAT 模式估算春作玉米灌溉期距

灌溉方式	灌溉期距 次數	灌溉 日期	淨灌溉 水量(mm)	總灌溉 水量(mm)	有效雨量 百分比(%)	作物減產百 分比(%)
管理者自訂法(Run 1)	2	3/22, 4/7	80	114.3	63.2	0
管理者自訂法(Run 2)	3	3/12, 4/7, 5/7	120	171.4	43	0
管理者自訂法(Run 3)	4	3/12, 4/7, 5/2, 5/7	160	228.6	37	0
土壤水分追蹤法 (Run 4)	1	3/23	66.9	95.5	66	0
土壤水分追蹤法 (Run 5)	6	2/18, 3/2, 3/23, 4/16	115.2	164.6	32	0
務實灌溉法(Run 6)	8	3/12, 4/7, 4/17, 4/27, 5/7, 5/17, 5/27, 6/7	206.4	294.9	9	0
缺水灌溉法(Run 7)	1	4/26	114.4	163.4	33.5	9.3
不灌溉(Run 8)	0	--	--	--	85.5	16.1

(續) 表 4.6 CROPWAT 模式估算秋作玉米灌溉期距

灌溉方式	灌溉期距 次數	灌溉 日期	淨灌溉 水量(mm)	總灌溉 水量(mm)	有效雨量 百分比(%)	作物減產百 分比(%)
管理者自訂法 (Run 1)	1	11/13	40	57.1	100	55.2
管理者自訂法(Run 2)	2	11/13, 12/13,	80	114.3	100	30.8
管理者自訂法(Run 3)	3	10/18, 11/13, 12/13	120	171.4	100	3.9
土壤水分追蹤法 (Run 4)	2	10/25, 11/29	156.3	223.2	100	0
土壤水分追蹤法 (Run 5)	6	9/27, 10/12, 10/25, 11/10, 11/29, 12/20	202.8	289.8	100	0
務實灌溉法(Run 6)	8	10/18, 11/13, 11/23, 12/3, 12/13, 12/23, 1/3, 1/13	255.9	365.5	86.3	0
缺水灌溉法(Run 7)	1	11/20	122.7	175.3	100	7.3
不灌溉(Run 8)	0	--	0	0	100	79.6

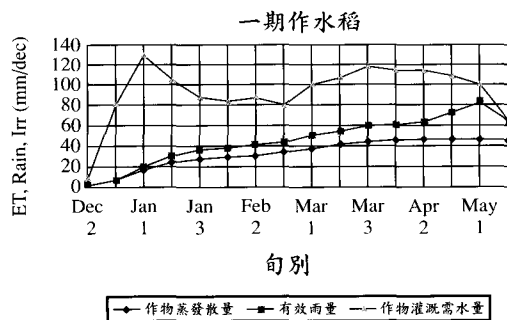


圖 4.1 CROPWAT 模擬一期作水稻之田間水收支平衡

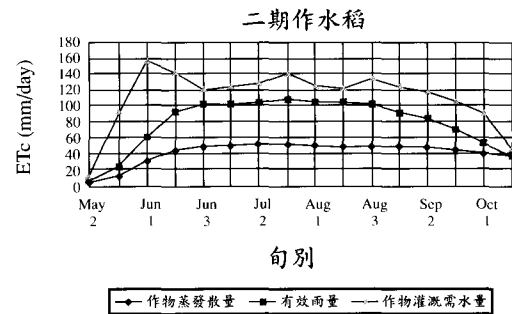


圖 4.2 CROPWAT 模擬二期作水稻之田間水收支平衡

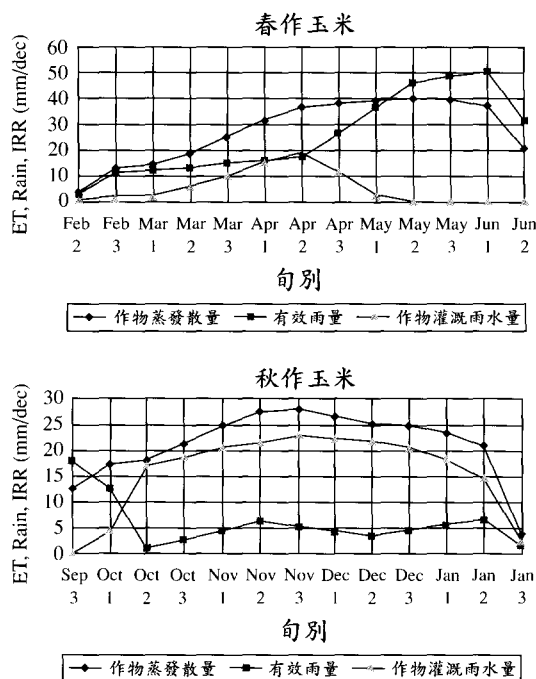


圖 4.3 CROPWAT 模擬春作及秋作玉米之田間水收支平衡

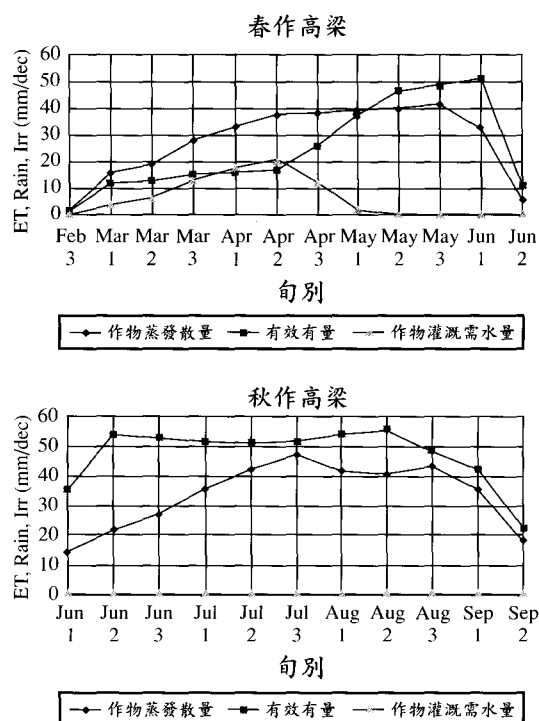


圖 4.4 CROPWAT 模擬春作及秋作高粱之田間水收支平衡

(四) 學甲工作站不同作物制度之月別農業灌溉用水量

參考嘉南農田水利會學甲工作站 87 年度業務報告資料，得知學甲分線及西埔分線之全部灌溉面積為 1722 公頃，本年度單期作田之灌溉面積為 1124.288 公頃，約佔全部面積之 65%。本研究分析學甲工作站于單期作及雙期作耕作制度下之旬別灌溉用水量。本研究分二種案例討論：

- (A) 單期作水稻及早作之作物制度；
- (B) 雙期作水稻之作物制度。

案例(A)中目前單期作之作物制度依下列原則訂定：

- (1) 二期作水稻種植以前，種植旱作。因此，春作玉米于 2 月 15 日種植，6 月 14 日收穫，耕種面積佔 45%。春作高粱于 2 月 15 日種植，5 月 31 日收穫，種植面積佔 45%。合計二月中旬到六月中旬之旱作種植面積為 90%。

- (2) 二期作水稻于 7 月 15 日種植，11 月 12 日收穫，種植面積依據學甲工作站之資料訂為 65%。水稻以外之區域則種植秋作高粱自 7 月 1 日到 10 月 14 日，面積為 25%，合計七月中旬到十一月中旬之種植面積亦為 90%。

- (3) 本作物制度假設另外 10% 區域種植蔥蒜等作物，不計灌溉用水量。

依上述原則，因而訂定案例(A)之作物制度如表 4.7 所示，表 4.8 則表示執行結果。案例(B)表示雙期作耕作田之作物制度，訂定一期作水稻種植時間自 1 月 15 日~5 月 15 日，種植面積為 90%，二期作水稻種植時間自 7 月 1 日~10 月 29 日，種植面積為 90%。依上述原則，訂定作物制度如表 4.9 所示，表 4.10 則表示執行結果。

表 4.8 及 4.10 之執行結果中 SQ_1 , SQ_2 , SQ_3 分別表示日別之淨灌溉需水量，其單位分為 mm/day, mm/month, ls/h 而 AR 則表示灌溉區

域佔總灌溉計劃面積之百分比。表 4.11 彙整學甲工作站于二種不同作物制度下之月平均灌溉需水量同時以圖 4.6 表示之。表 4.11 及圖 4.6 看出嘉南水利會學甲工作站 87 年度灌溉管理執行情形下，目前單期作之作物制度（案例 A）之年總用水量為 537 公厘，月別尖峰用水量發生於十月份之 126 mm/month。雙期作田（案例 B）之年總用水量為 1019 公厘，月別尖峰用水量則發生於一月份之 192 mm/month。由此可知，CROPWAT 模式可模擬不同作物制度下之農業灌溉用水量，亦可機動性調整作物制度以因應台灣加入 WTO 後作物制度之改變，依據此結果可檢視農業用水及渠道容量是否足夠供給作物所需，若不合目前狀況，則可機動性的重新調整作物制度，直到符合實際狀況之需要，此亦為採用灌溉管理模式可提高農田水利會灌溉管理能力之原因所在。

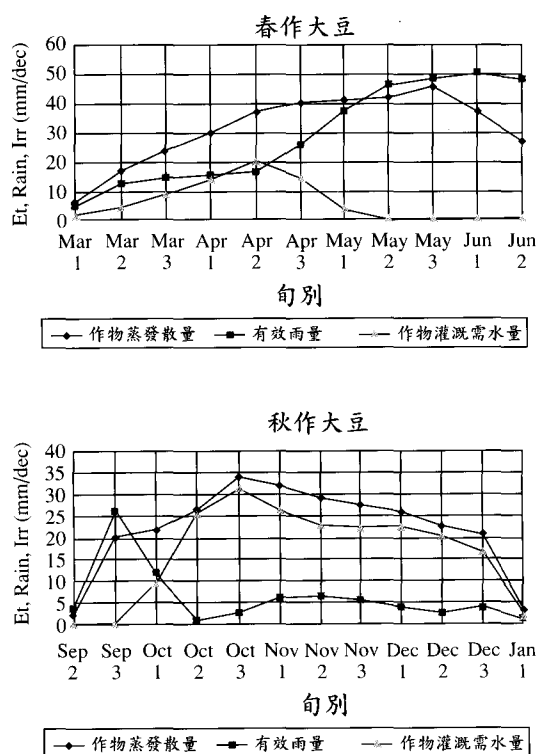


圖 4.5 CROPWAT 模擬春作及秋作大豆之田間水收支平衡

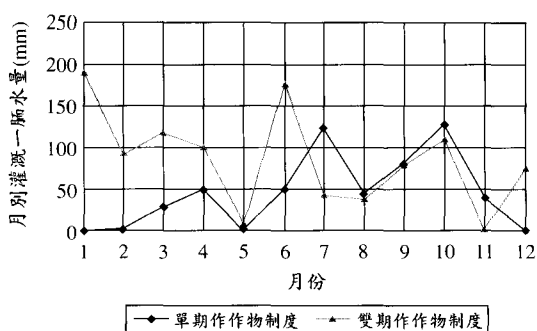


圖 4.6 嘉南農田水利會學甲工作站八十七年度不同作物制度下之月別農業灌溉用水量

五、結果與討論

- (1) 表 4.5 表示春作玉米之灌溉需水量為 69.5^{mm} ，秋作則高達 203.6^{mm} ，春作大豆為 68.4^{mm} ，秋作大豆則亦高達 198.2^{mm} 。此係秋作玉米及大豆均於九月下旬種植，有效雨量僅介於 $73.9^{\text{mm}} \sim 74.6^{\text{mm}}$ 之間，而春作之有效雨量則高達 $323.1^{\text{mm}} \sim 328.2^{\text{mm}}$ 之間。至於秋作高粱于 6 月上旬種植亦可有效利用降雨量高達 517.9^{mm} ，因而無需灌溉。由此可知，有效雨量之利用對於農業用水量俱有絕對性之影響。
- (2) 表 4.6 表示春作及秋作玉米于不同灌溉方式之灌溉期距，表中看出秋作及春作玉米不灌溉時，作物產量減產百分比別為 79.6% 及 16.1%。此結果表示無法提供秋作玉米 203.6^{mm} 灌溉需水量時其產量減產程度較春作玉米僅需 69.5^{mm} 灌溉需水量更顯著。
- (3) 比較表 4.6 中春作及秋作玉米之作物產量、有效雨量使用百分比及總灌溉水量，得知春作玉米最適當之灌溉方法為“土壤水分追蹤法 (Run 4)”，即土壤水分降至 100 %RAM 時實施灌溉。因為其僅於 3 月 23 日實施 95.5^{mm} 之總灌溉用水量時，而不會造成作物減產，而有效雨量使用百分比為

66%。秋作玉米之最佳結果則發生於管理者自訂法(Run 3)，此時分別於 10/18, 11/13, 12/13 實施三次灌溉，總灌溉用水量為 171.4^{mm}，僅造成 3.9%之作物減產，而有雨量之使用則達到 100%。

(4)表 4.11 及圖 4.6 表示嘉南水利會學甲工作站 87 年度灌溉管理執行情形下，目前單期作之作物制度（案例 A）之年總用水量為 537 公厘，月別尖峰用水量發生於十月份之 126 mm/month。雙期作田（案例 B）之年

總用水量為 1019 公厘，月別尖峰用水量則發生於一月份之 192 mm/month。

CROPWAT 模式亦可機動性調整作物制度以因應台灣加入 WTO 後作物制度之改變，依據此結果可檢視農業用水及渠道容量是否足夠供給作物所需，若不合目前狀況，則可機動性的重新調整作物制度，直到符合實際狀況之需要，此亦為採用灌溉管理模式可提高農田水利會灌溉管理能力之原因所在。

表 4.7 嘉南水利會學甲工作站八十七年度單期作物制度

CROPPING PATTERN					
Name : HSUEHCHIA					
Nr.	Crop file	Crop name	Planting date dd/mm	Harvest Date dd/mm	Area %
1	TW-CORN	Corn	15/02	14/06	45
2	TW-SORGH	Sorghum	15/02	31/05	45
3	TW-RICE	Rice	15/02	12/11	65
4	TW-SORGH	Sorghum	01/07	14/10	25

CROPWAT 7.0

Crop pattern file: C:\CROP70\CRO\TAINANI.PAT

表 4.8 CROPWAT 模擬學甲工作站八十七年度單期作物制度之月別農業灌溉用水量

SCHEME IRRIGATION REQUIREMENTS												
Rain station : HsuehChia					Cropping pattern: HSUEHCHIA							
ETo station : HsuehChia												
Crop Nr	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Crop IrrReq (mm/day)												
1	-	0.1	0.8	1.8	0.1	0.0	-	-	-	-	-	-
2	-	0.1	1.3	1.8	0.0	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	2.5	6.0	2.2	3.9	5.7	2.0	-
4	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.5	1.4	-	-
SQ1	0.0	0.1	0.9	1.6	0.1	1.6	3.9	1.4	2.6	4.1	1.3	0.0
SQ2	0	2	28	48	2	49	121	44	79	126	38	0
SQ3	0.00	0.01	0.11	0.19	0.01	0.19	0.45	0.17	0.31	0.47	0.15	0.00
AR	0.0	60.0	90.0	90.0	90.0	73.3	90.0	90.0	90.0	81.7	43.3	0.0
AQ	0.00	0.02	0.12	0.21	0.01	0.26	0.50	0.18	0.34	0.57	0.34	0.00
SQ1, SQ2, SQ3 = Net scheme irr. requirements in mm/day, mm/month and l/s/h												
AR = Irrigated area as percentage of total scheme area												
AQ = Irrigation requirements in l/s for actually irrigated area												

CROPWAT 7.0

表 4.9 嘉南水利會學甲工作站八十七年度雙期作物制度

CROPPING PATTERN					
Name: HSUEHCHIA					
Nr.	Crop file	Crop name	Planting date (dd/mm)	Harvest Date (dd/mm)	Area (%)
1	RICE	Rice	15/01	15/05	90
2	RICE	Rice	01/07	29/10	90

CROPWAT 7.0

Crop pattern file: C:\CROP70\CRO\TAINAN3. PAT

表 4.10 CROPWAT 模擬學甲工作站八十七年度雙期作物制度之月別農業灌溉用水量

SCHEME IRRIGATION REQUIREMENTS												
Rain station : HsuehChia						Cropping pattern: HSUEHCHIA						
ETo station : HsuehChia												
Crop Nr	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Crop IrReq (mm/day)												
1	6.9	3.5	42	3.7	0.3	-	-	-	-	-	-	2.6
2	-	-1	-	-	-	6.6	1.5	1.3	2.9	3.9	-	-
SQ1	6.2	3.2	3.8	3.3	0.2	5.7	1.4	1.2	2.6	3.5	0.0	2.3
SQ2	192	89	118	100	7	177	42	36	77	109	0	72
SQ3	0.72	0.37	0.44	0.38	0.03	0.68	0.16	0.13	0.30	0.41	0.00	0.27
AQ	90.0	90.0	90.0	90.0	60.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	0.0	60.0
AQ	0.79	0.41	0.49	0.43	0.05	0.76	0.18	0.15	0.33	0.45	0.00	0.45
SQ1, SQ2, SQ3 = Net scheme irr. Requirements in mm/day, mm/month and ls/h												
AR = Irrigated area as percentage of total scheme area												
AQ = Irrigation requirements in l/s for actually irrigated area												

CROPWAT 7.0

表 4.11 學甲工作站八十七年度不同作物制度下之月別農業灌溉需水量

月別	單期作物制度之月別灌溉需水量 (公厘/月)	雙期作物制度之月別灌溉需水量 (公厘/月)
1	0	192
2	2	89
3	28	118
4	48	100
5	2	7
6	49	177
7	121	42
8	44	36
9	79	77
10	126	109
11	38	0
12	0	72
合計	537	1019

(5)一期作水稻之作物蒸發散量為 488^{mm}，考慮 180^{mm} 之整地用水量滲漏量及有效雨量求得一期作水稻之灌溉需水量為 760.88^{mm}，二期作水稻之作物蒸發散量為 639^{mm}。考慮 180^{mm} 之整地用水量滲漏量及有效雨量求得二期作水稻之灌溉需水量為 541.4^{mm}。學甲工作站之水田滲漏量約佔水稻作物需水量之 28.6%。

(6)表 3.3，3.4 及 3.5 中之玉米、高粱及大豆于各生長階段之實際蒸發散量及作物係數係藉由學甲試驗站自 1986~1995 年田間試驗之寶貴資料估算求得。此資料能代表台灣區域性作物之最基本且重要資料，當此灌溉管理基本資料精確估算，方能進而代入灌溉管理模式以精確的估算台灣真正之農

業用水量。因此，田間試驗為農田水利灌溉管理領域內最基本、最重要亦為最辛苦的一環。

- (7)此研究結果顯示灌溉管理模式能應用於台灣農業用水量之估算與規劃，然需進一步收集相關資料加以校正，期結果能更具意義，未來亦能更廣泛的應用於全省各農田水利會。

誌 謝

本研究承農委會計畫 88 科技-1.7-林-01(4)經費補助，農委會王桑村技正技術指導，台大農工系何信賢博士、李芳承研究員協助田間試驗資料整理，嘉南農田水利會謝勝賢管理師提供灌溉管理資料，謹此一併致謝。

參考文獻

1. 施嘉昌等，“玉米不同灌溉處理效果及需水量試驗研究”，1986。
2. 施嘉昌等，“高粱不同灌溉處理效果及需水量試驗研究”，1992。
3. 黃成達，“玉米蒸發散係數之研究”，國立台灣大學農業工程學系碩士論文，1993。
4. 施嘉昌等，“大豆不同灌溉處理效果及需水量試驗研究”，1994。
5. 張本初，“區域蒸發散量之研究”，國立台灣大學地理學研究所博士論文，1995。
6. 施嘉昌、何信賢，“大豆蒸發散係數之探討”，台灣水利，45(2):1-11，1997。
7. 何信賢，“乾旱時期毛管水對旱作補給量之推估”，臺灣大學農業工程系博士論文，1998。
8. 陳湘文，“嘉南農田水利會學甲工作站業務報告”，1998。
9. 嘉南農田水利會，“八十七年度曾文、烏山頭水庫系統灌區灌溉計劃”，1998。
10. Allen, R.G. (1990). “REF-ET: Reference Evapotranspiration Calculator.”, Utah State University, Logan, UT.
11. Kuo, ShengFeng (1995). “Decision Support for Irrigated Project Planning Using a Genetic Algorithm.” Ph.D. Dissertation, Utah State University, Logan, UT.
12. Merkley, Gary P. (1996). “Planning Distribution Model (PDM) User’s Manual”, Dept. of Biological and Irrigation Engrg., Utah State Univ., Logan, UT.
13. Merkley, Gary P. (1993). “Water Management Model (WMM) User’s Manual”, Dept. of Biological and Irrigation Engrg., Utah State Univ., Logan, UT.
14. Pleban, S., and Israeli, I. (1989). “Improved Approach to Irrigation Scheduling.” J. of Irrig. And Drain. Engrg., ASCE, 115(4):577-587.
15. Smith, Martin (1991). “CROPWAT: Manual and Guidelines.”, FAO of UN, Rome.
16. Somkiat Prajamwong (1994). “Command Area Decision Support System for Irrigation Projects.” Ph.D. Dissertation, Utah State University, Logan, UT.
17. User’s Manual (1994). “An Interactive Expert System for Examining On-Farm Irrigation Water Management (AGWATER)”, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA.

收稿日期：民國 88 年 7 月 13 日

修正日期：民國 88 年 9 月 10 日

接受日期：民國 88 年 11 月 22 日