

灌溉管理操作對水稻產量與節水效能 影響之研究

A Study on Rice Yield and Water Saving Efficiency for Irrigation Management Practice

國立嘉義大學
土木與水資源工程學系
副教授

陳清田*

Ching-Tien Chen

醒吾科技大學
休閒與遊憩管理研究所
副教授

張焜權

Yu-Chuan Chang

國立嘉義大學
土木與水資源工程學系
碩士

洪振東

Chen-Tung Hung

摘 要

乾旱為一無法避免之天然事件，近年來因受極端氣候影響，更提昇了乾旱頻率及強度，如何藉由節水灌溉措施，建立乾旱時期灌溉用水之營運管理方式，期以降低乾旱缺水對農業生產所造成之衝擊，此乃從事水資源研究者規劃之重要課題。

本研究目的，以嘉南農田水利會學甲灌溉技術推廣中心之試驗田，於 2003 年 2 月 23 日~11 月 7 日實施田間試驗，探討水稻於分蘗期(tiller stage)與開花期(blooming stage)之生育階段別，開始實施 100%與 80%之灌溉水量與 7、10、13 天輪灌期距之節水灌溉處理，解析在不影響水稻產量之前提下，水稻之耐旱程度、最低用水量及輪灌期距，且輔以作物產量反應因子(ky)，建立水稻節水率與減產率之相關性，期能有效提昇缺水期之灌溉用水效能。研究結果顯示，在減產率與節水率之綜合評估，一、二期水稻於開花期實施 100%之灌溉水量輔以 7 天輪灌期距之灌溉處理時，其對產量影響甚微，且有 14%~7.4%之節水效能。就作物產量反應因子而言，一、二期水稻於開花期之 Ky 值為 0.69、1.13 皆較分蘗期之 Ky 值為 0.61、1.06 為高，顯示開花期應優先提供作物生長所需之灌溉水量，上述成果可供缺水期水稻田間灌溉操作與用水調配管理之應用。

關鍵詞：水稻，輪灌期距，乾旱，產量反應因子。

ABSTRACT

Drought is a natural and inevitable event. Due to recent climate variation, the

*通訊作者，國立嘉義大學土木與水資源工程學系副教授，60004 嘉義市學府路 300 號，ctchen@mail.ncyu.edu.tw

frequency and severity of drought has been increased. How to establish irrigation management process to reduce the impact on agriculture production has become the primary issue for agriculture water resource manager.

The purpose of this research is to discover the relationship between the productivity of paddy rice and different irrigation ration controls during tiller stage and blooming stage by field experiment (from February 2003 to November 2003) at irrigation center in Chia-Nan Irrigation Association. The goal is to attain the degree of drought tolerance and the optimum irrigation timing and interval of paddy rice without compromising on yield. This information will lead to the minimum water requirements under different drought conditions, accompanied with the crop yield response factor (Ky). These requirements can also serve as the foundation for the irrigation bureau to implement a feasible irrigation ration policy.

The results indicate that, considering the yield and water saving for irrigation, with 100% irrigation depth and 7days rotation irrigation interval for first and second paddy rice in blooming stage, irrigation water can be saved for about 14%~7.4% but the yield is only slightly influenced. The Ky value of blooming stage is higher than that of tiller stage, implying that the water supply at blooming stage has higher priority than that of at tiller stage in irrigation.

Keywords: Paddy Rice, Rotation Irrigation Interval, Drought, Yield Response Factor.

一、前 言

台灣地區水資源因受地形、地勢及降雨時空分佈不均等因素影響，使得水資源豐枯懸殊，造成水資源調配利用之困擾。近年來又受極端氣候影響，更提高乾旱頻率與強度，使農業水資源之調配利用更捉襟見肘。

台灣省輪流灌溉推進委員會推行小組(1961)為因應乾旱事件之發生，邀集農業水利方面之專家學者共同研討，決定於台南縣中營、台中農林改良場、桃園、台北等地區分別設置實驗田，以定水量(一次灌溉水深皆為 45 mm)之灌溉方式，輔以 6 日、8 日、10 日與 15 日等不同灌溉期距之處理加以試驗，探討不同之節水灌溉方式，對水稻生產之影響，結果顯示輪灌期距越長節水效率越佳，減產情形越為嚴重為，惟此試驗研究對灌溉時期與灌溉水量對產量之影響，則未加以探討。許宗民與甘俊二(1983)於嘉南農田水

利會虎頭埤灌區缺水期之灌溉研究資料顯示，其平均產量指數與稻作總用水量間，並非正比關係，稻作之用水量並非漫無限制。朱榮彬(1990)研究指出水稻灌溉排水需依據水稻各生育階段之需水情形進行，鑒及以往輪流灌溉著眼於輪灌及田面之活力化即可得節約用水量。

邱一盛、陳清田等(1996)藉由水稻盆栽試驗，探討缺水期於水稻重要生育階段實施不同節水灌溉處理對水稻生育產量之影響程度，研究結果顯示產量之影響，一期作於分蘖期、二期作於開花期之耐旱性最差。陳嘉和(2002)根據水稻生理特性，利用氣象資料模擬預測水稻產量與氣候之關係，研究得知水稻生長受到氣候條件的影響很大。Moutonnet (2001)研究指出，農作物生產在整個生長的季節主要取決於土壤水份，故在灌溉水量不足時應選擇農作物在對水分敏感較高的生長期間加以灌溉。Yesim and Yuksel (2003)亦指出，水分供應對產量的影響在不同的生長期有所

不同，於灌溉的安排過程與生產計畫中，在需水高敏感期應優先提供作物生長所需之灌溉水量。Belder *et al.* (2004)在中國湖北省及菲律賓 Nueva Ecija 省，水稻試驗中一個主要的發現是，對於續灌跟間歇灌溉的建議灌溉方式，間歇灌溉可以讓土壤在沒有浸沒期間不會過於乾燥，且亦能維持一定之產量。

Uphoff (1999)在「環境與農業」的一系列調查中，認為 SRI (The System of Rice Intensification, 簡稱 SRI)是一種友善環境的作法(Environment Friendly)，透過 SRI 可以找到農業生產與環境保育的平衡點，因此開始積極推廣，目前各國亦積極投入相關研究。惟 McDonald *et al.* (2006)從馬達加斯加、尼泊爾、中國、泰國、寮國、印度、斯里蘭卡、印尼、孟加拉及菲律賓收集了將近 40 筆的 SRI 資料，再與當地農民慣行用水管理的結果進行比較，並沒得到 SRI 的實施結果在產量上有明顯的優勢。根據 Moser 與 Barrett (2003)在未開發國家(如馬達加斯加)對 SRI 所作的調查，由於實施 SRI 需耗費相當的人力與耗費推廣作業來改變農民現有作業方式，因此並不建議採用 SRI。

綜上所述，因灌溉用水具有時間性、空間性之限制，當作物於正常生長需水時，未能適時地配合灌溉，即生乾旱。水稻為台灣主要糧食，故水田灌溉用水量為農業用水之大宗，亦是缺水時期受害之主要對象，故如何建立缺水期水田灌溉用水操作管理模式，以提昇缺水期之用水效率進而降低對農業生產之衝擊，實乃刻不容緩之重要課題。

本研究以台灣重要水稻生產區之嘉南平原實施田間試驗，旨在探討缺水期水稻於分蘖期(tiller stage)與開花期(blooming stage)生育階段別，開始實施不同灌溉水量(100%與 80%)與不同輪灌期距(7、10、13 天)之節水灌溉處理，其對水稻生育產量之影響，期能建立水稻節水效能與減產率之相關性，且輔以作物產量反應因子(ky)評析，冀以有效提昇缺水期之水田灌溉用水效能，俾供極端氣候或春季缺水期水稻田間灌溉操作及用水調配管理之參考。

二、材料與研究方法

2.1 田間試驗

本研究為瞭解於不同灌溉時期、灌溉水量及灌溉期距等節水灌溉設計與處理，對水稻產量、耐旱性與作物產量反應因子(ky)之影響，以田間試驗加以探討，今就試驗材料、土壤試驗、田間試驗設計與處理、種植方式與田間管理、農藝性狀調查等分述如下：

2.1.1 試驗材料

水稻試驗品種以南部地區廣為使用且產量高之台梗 8 號為之。

2.1.2 試驗環境概述

為避免降雨對節水灌溉試驗之影響，本研究選擇具有自動遮雨棚試驗裝置之嘉南農田水利會灌溉技術推廣中心之試驗田為試驗區(23°13' N, 120°11' E)，該自動遮雨棚在降雨量累積達 0.5 公厘時，即自動關閉試驗區，試區海拔高度約 4 m，距離海岸線約 10 km。因該地區地勢平坦且位處嘉南平原，試驗區位屬熱帶區域，由西元 1951 年至西元 2002 年，共計 52 年之平均資料加以統計分析得知：年平均溫度約 25°C，最低平均氣溫為 13°C，最高平均氣溫為 36°C，平均日蒸發量為 3.6 mm/day，降雨豐枯明顯，雨量大約集中在 5 月至 9 月，而 10 月至隔年 4 月屬旱季。

2.1.3 土壤物理性質

為瞭解 14 試驗小區之土壤物理性質是否具一致性，以作為試驗設計與處理之依據。本研究以機械分析加以試驗得知，試驗田區之砂粒範圍為 63.0%~69.3%、粉粒範圍為 20.7%~29.6%、粘粒範圍為 7.4%~11.4%，真比重之範圍為 2.64~2.69，田間含水量之範圍為 21.8%~25.1%，顯示各試驗區土壤具一致性，依農業土壤分類法得知本試驗區之土壤質地皆為砂質壤土。

2.1.4 田間試驗設計與處理

試驗區計分 14 區，為避免節水灌溉受降雨之影響，試驗於設有自動遮雨棚試驗裝置之非稱重排水型滲透計(Lysimeter)進行，每一小區面積為 15 平方公尺(長 5 公尺、寬 3 公尺)。本研究之

表 1 水稻田間試驗設計表

T ₁₂	T ₁₁	T ₁₃	T ₂₂	T ₂₁	T ₂₃	對照組試驗區
B ₂₂	B ₂₃	B ₂₁	B ₁₃	B ₁₂	B ₁₁	對照組試驗區

註：T：分蘗期(tiller stage) B：開花期(blooming stage)
 T_{jk}：水稻分蘗期於 j 灌溉水量 k 輪灌期距下之試驗區集
 B_{jk}：水稻開花期於 j 灌溉水量 k 輪灌期距下之試驗區集
 j = 1~2，表示 100%及 80%之灌溉水量
 k = 1~3，表示 7、10 與 13 天之輪灌期距

田間試驗設計以水稻重要生長階段之分蘗期與開花期為主(邱一盛、陳清田等，1996)，探討乾旱現象若發生於此生長階段，開始實施對照組灌溉水量之 100%及 80%與輪灌期距分別為 7、10 與 13 天之灌溉處理(灌溉處理前之灌溉用水則依一般灌溉計畫正常供給)，期以解析灌溉時期、灌溉水量與輪灌期距，對水稻生育產量與用水效能之影響，其田間試驗設計並以逢機排列方式為之，如表 1 所示。

2.1.5 種植期間與田間用水操作及管理

水稻田間試驗期間分別為：一期作水稻種植日期為 2 月 23 日至 6 月 25 日計 123 天，二期作水稻為 7 月 22 日至 11 月 7 日計 109 天，種植行株距 30 cm × 20 cm，對照組田間試驗則以農民現行之灌溉方式為主，其餘則依田間試驗設計處理間苗後一星期，每區施硫酸銨作追肥，並於生長期中作適當之雜草及病蟲害防治，其餘管理方式與一般農民相同，灌溉用水於分蘗期及開花期生長階段前，皆依水稻栽培灌溉排水原理操作(農委會，1977)，然於分蘗期及開花期生長階段時，則開始實施一次灌溉水深 45 mm (100%灌溉水量)及 36 mm (80%灌溉水量)與輪灌期距分別為 7、10、13 天之田間用水操作。

2.1.6 農藝性狀調查

農藝性狀調查之項目包括株高、每叢有效分蘗數、每穗穎花數、穗長、平均每穗重、每叢總穗重、每叢子粒重、每穗子粒數、平均每穗子粒重、稔實率、千粒重等項。

2.2 試驗分析

本文以變方分析、耐旱分析(減產率)、節水

率及作物產量反應因子(Ky)分析，解析節水灌溉對水稻生育產量與之影響，其內容分述如下：

2.2.1 變異數分析

本研究以隨機化完全區集設計(Randomized Complete Block Designs)變方分析，期以瞭解各灌溉處理效應之差異性，變異數分析是利用兩個不同變異數估計值來達到比較多組平均數之差異。在數理統計，已經證實當各組平均數沒有差異時(即沒有處理效應時)組內變異數與組間變異數相等，本研究變異數分析顯著水準以 α = 5% 設計，變方分析結果如表 2 及表 3 所示。

2.2.2 水稻耐旱性與節水效能分析

水稻耐旱性大小(產量指數)，以減產率(%)之觀點加以定義，亦即減產率(%)為低時，則其作物之耐旱性佳，反之，當減產率(%)為高時，則作物之耐旱性低，其公式如下所示：

$$R_i = \left(1 - \frac{Y_i}{Y_a} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：R_i：水稻不同灌溉處理下之減產率(%)
 Y_i：一、二期作水稻不同灌溉處理下之產量(Kg/ha)
 Y_a：一、二期作水稻農民慣行灌溉方式(對照組處理區)之產量(Kg/ha)

為使節水灌溉被農民接受且易於施行，水稻灌溉節水效能乃以農民慣行操作之灌溉水量為主(對照組灌溉水量)，本研究以節水率(%)之觀點加以定義，亦即節水率(%)愈高時，則其灌溉之節水效能愈佳，其公式如下所示：

表 2 一期作水稻不同處理時期、灌溉水量及灌溉期距對水稻農藝性狀影響之變方分析表

農藝性狀 變因		MS												
		株高	每叢 總分蘗數	每叢 有效分蘗數	每叢 無效分蘗數	穗長	平均每穗 每穗重	每叢 總穗種	每叢 子粒重	每穗 穎花數	每穗 子粒數	平均每穗 子粒種	千粒種	稔實率
處理時期	25.67**	12.500	0.0139	13.347	1.71	1.801**	578.000**	558.950**	1,011.750*	289.602	1.355**	34.722**	0.011**	
灌溉水量	1,841.84**	168.056**	70.014**	17.014	2.24	0.053	142.186**	137.421**	359.567	121.680	0.037	0.569	0.0042*	
灌溉期距	123.88*	24.104	3.875	20.042*	8.92	0.498*	369.823**	394.394**	734.106*	634.876*	0.422	5.018	0.00016	
時期×水量	564.06*	107.556**	19.014	39.014**	0.42	0.163	3.538	0.338	9.753	9.827	0.245	19.220**	0.001	
時期×期距	1.21	3.292	18.514	9.764	0.50	0.027	17.792	31.854	79.929	155.743	0.053	0.423	0.0036*	
水量×期距	18.34	0.013	7.097	5.264	1.269	0.747**	4.302	2.733	408.986	407.611	0.782**	16.323**	0.0008	
時期×水量×期距	13.15	3.014	27.681	14.264	3.132	0.020	236.387**	207.657**	76.569	31.638	0.029	9.225*	0.0007	
機差	22.23	14.339	9.358	5.414	1.599	0.142	16.763	16.111	194.186	179.467	0.139	2.455	0.0010	

註：*：顯著；**極顯著

表 3 二期作水稻不同處理時期、灌溉水量及灌溉期距對水稻農藝性狀影響之變方分析表

農藝性狀 變因		MS												
		株高	每叢 總分蘗數	每叢 有效分蘗數	每叢 無效分蘗數	穗長	平均每穗 每穗重	每叢 總穗種	每叢 子粒重	每穗 穎花數	每穗 子粒數	平均每穗 子粒種	千粒種	稔實率
處理時期	624.222**	0.125	17.014	14.222	0.4	0.437	819.653*	752.526**	793.347	70.607	0.344	7.347	0.005	
灌溉水量	14.222	5.014	19.014	4.500	5.1	0.165	1.918	0.024	645.602	1,384.257**	0.948*	0.436	0.033**	
灌溉期距	44.097*	35.014*	26.292*	3.014	5.7	0.553	61.240*	36.797	1,217.306	92.436	0.058	0.739	0.025**	
時期×水量	29.389	39.014*	5.014	16.056*	1.5	0.357	4.800	0.614	115.520	162.300	0.164	2.645	0.009	
時期×期距	116.514**	1.792	1.264	1.097	1.8	0.239	9.611	10.148	255.742	438.671	0.232	0.684	0.014*	
水量×期距	27.514	0.681	7.931	4.042	7.0	1.000**	53.816	13.676	1,133.425	1,167.123**	1.120**	18.123	0.010	
時期×水量×期距	53.764*	10.014	0.847	14.181	3.2	1.934	13.183	57.609*	2,913.490**	3,430.060**	2.605**	7.347	0.042**	
機差	12.317	8.825	6.103	3.906	1.8	0.197	19.007	15.594	297.263	187.774	0.149	0.436	0.004	

註：*：顯著；**極顯著

表 4 水稻於不同處理時期、灌溉水量及灌溉期距處理下之單位面積產量與減產率分析表

處理時期	灌溉水量	灌溉期距 (天)	一期作水稻				二期作水稻			
			產量 (kg/ha)	減產率 (%)	灌溉水量 (m ³ /ha)	節水率 (%)	產量 (kg/ha)	減產率 (%)	灌溉水量 (m ³ /ha)	節水率 (%)
對照組	-	-	8,232	-	12,790	-	5,182	-	11,160	-
分蘗期	100%	7 天	6,253	24.0	7,820	38.9	3,871	25.3	8,630	22.7
		10 天	6,146	25.3	7,200	43.7	3,608	30.4	7,430	33.4
		13 天	5,246	36.3	6,220	51.4	2,985	42.4	6,830	38.8
	80%	7 天	5,986	27.3	7,020	45.1	3,530	31.9	7,750	30.6
		10 天	5,900	28.3	6,380	50.1	3,195	38.3	6,790	39.2
		13 天	5,546	32.6	5,740	55.1	2,793	46.1	6,150	44.9
開花期	100%	7 天	7,613	7.5	11,000	14.0	5,057	2.4	10,330	7.4
		10 天	7,146	13.2	10,200	20.3	4,189	19.2	9,530	14.6
		13 天	6,646	19.3	9,800	23.4	3,869	25.3	9,130	18.2
	80%	7 天	7,286	11.5	10,520	17.7	4,887	5.7	9,770	12.5
		10 天	6,886	16.4	9,880	22.8	3,823	26.2	9,130	18.2
		13 天	6,700	18.6	9,500	25.8	3,330	35.7	8,810	21.1

$$S_i = \left(1 - \frac{FIR_i}{FIR_a}\right) \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

式中：S_i：水稻不同灌溉處理下之節水率(%)
 FIR_i：一、二期作水稻不同灌溉處理下之灌溉水量(m³/ha)
 FIR_a：一、二期作水稻農民慣行灌溉方式(對照組處理區)之灌溉水量(m³/ha)

有關各灌溉處理對產量與水量之影響如表 4 所示，各灌溉處理之減產率與節水率之關係，則如圖 3 及圖 4 所示。

2.2.3 水稻產量反應因子(K_y)分析

當作物需水量未能完全滿足時，作物內部缺水情況會導致作物成長與產量均受影響(Sammis, 1981; Abdul-Jabbar, *et al.*, 1982)，這種影響情形，隨作物種類與成長時期受缺水程度不同而異(Al-Jamal, *et al.*, 2000)。當供水無法滿足作物用水需求時，實際蒸發散量(或實際灌溉用水量)會降到小於最大蒸發散量(或最大灌溉用水量)，即 ET_a < ET_m，此情形下，作物內部所引起之需水壓力，會影響作物生長，最後反應到產量上。一般常以作物產量反應因子(yield response factor,

K_y)表示，本式反應供水與產量之相關性，其公式如下：

$$K_y = \frac{1 - \frac{Y_a}{Y_m}}{1 - \frac{ET_a}{ET_m}} \dots\dots\dots(3)$$

式中：K_y：產量反應因子，無因次。
 Y_a：實際收穫產量，Kg/ha。
 Y_m：理論最大收穫產量，Kg/ha。
 ET_a：實際蒸發散量，mm/day。
 ET_m：最大蒸發散量，mm/day。

一、二期作於分蘗期與開花期之 K_y 值如圖 5 及圖 6 所示。一般而言，作物產量反應因子 K_y 值，若小於 0.85 則其對水之敏感性屬於低程度敏感，介於 0.85~1.0 則屬中低程度敏感，1.0~1.15 則屬中高度敏感，大於 1.15 則表示對水份之供應具有高程度之敏感性，上述表示，較高之 K_y 值將有更多之產量損失。

三、結果與討論

3.1 灌溉處理對水稻農藝性狀之影響分析

由表 2 變方分析得知，一期作水稻在分蘗期

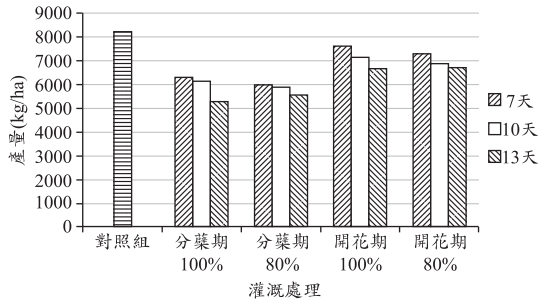


圖 1 一期作水稻於不同灌溉處理時產量變化趨勢圖

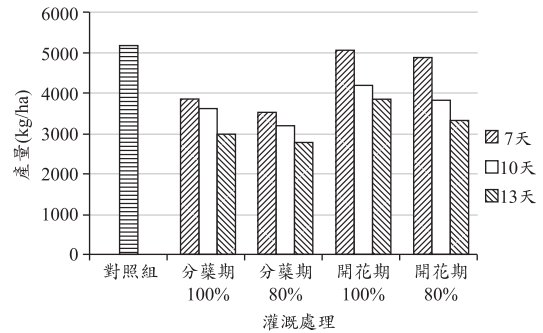


圖 2 二期作水稻於不同灌溉處理時產量變化趨勢圖

及開花期實施不同灌溉處理時，其對水稻之株高、稔實率、每叢總穗重及每叢子粒重、平均每穗重、平均每穗子粒重及千粒重有極顯著之影響，每穗穎花數有顯著之影響，而其他農藝性狀則均無顯著之影響。在不同灌溉水量處理方面，則極顯著影響株高、每叢總分蘗數、每叢總穗重、每叢子粒重及每叢有效分蘗數等性狀。灌溉期距亦極顯著影響每叢總穗重及每叢子粒重，而顯著影響株高、無效分蘗數、每穗穎花數及每穗子粒數等性狀。

由表 3 變方分析得知，二期作水稻在分蘗期及開花期時期，進行灌溉處理對水稻之株高及每叢子粒重有極顯著之影響，每叢總穗重有顯著之影響，而其他農藝性狀則均無顯著之影響。在不同灌溉水量處理方面，則極顯著影響每穗子粒數及稔實率等性狀。灌溉期距極顯著影響稔實率，亦顯著影響株高、每叢總分蘗數、每叢有效分蘗數及每叢總穗重等性狀。

3.2 灌溉處理對水稻產量與節水效能之影響分析

本文以耐旱分析(減產率)及節水率，解析節水灌溉對水稻生育產量與之影響，由圖 1 及圖 2 得知，農民慣行用水管理(對照組)下之一期作水稻產量為 8,232 kg/ha 高於二期作水稻產量為 5,182 kg/ha 甚多，遂因一期作水稻之生長環境是低溫至高溫、病蟲害較少，適合水稻生長所致；其穗數在低溫高日照下，分蘗數較多，惟溫度過高則縮短分蘗期間，使得分蘗減少，而二期作插

秧後為高溫多日照、水稻營養生長迅速，生殖生長提早 14 天，乃導致水稻有效分蘗期內分蘗數減少，故其產量較一期作水稻為低。

又由圖 1 及圖 2 得知，一、二期作水稻分別於分蘗期與開花期發生乾旱，實施相同灌溉水深或輪灌期距之灌溉處理時，一、二期作水稻於分蘗期之產量皆較開花期為低，究其因一、二期作水稻於分蘗期因受較長時間之缺水影響，故其減產量較開花期為高。就灌溉水量而言，於相同之灌溉時期(分蘗期與開花期)與輪灌期距，實施不同之灌溉水深處理，則對照組 100%灌溉水深皆較 80%灌溉水深之平均產量為高。就輪灌期距而言，一、二期作水稻分別於分蘗期及開花期實施 7、10、13 天等不同乾旱程度之輪灌處理時，一、二期作水稻於開花期發生缺水，若實施對照組 100%之灌溉水量且輪灌期距 7 天之產量，其與一、二期作對照組水稻產量幾乎無影響(圖 1 及圖 2 所示)，且有 14%~7.4%之節水效能(表 4 所示)。又輪灌期距達 10 天，雖有 14.6%~20.3%之節水效能，惟其減產率亦達 13.2%~19.2%之顯著影響，當輪灌期距為 13 天時，則其減產率將高達約 19.3%及 25.3%。又若一、二期作水稻於分蘗期發生缺水，開始實施對照組 100%灌溉水量與輪灌期距為 7 天之日灌溉處理，由圖 1 及圖 2 即可得知其與一、二期作對照組水稻產量已有相當之影響，又灌溉水量僅為對照組之 80%且輪灌期距為 13 天時，一、二期作水稻雖有 55.1%及 44.9%之節水效能，惟其減產率更高達約 33%

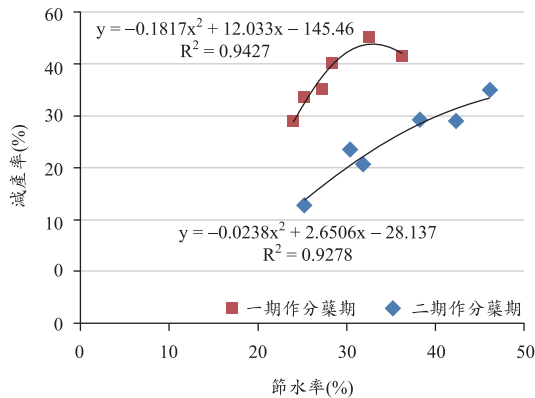


圖 3 一、二期作水稻於分蘗期灌溉節水率與減產率之迴歸分析圖

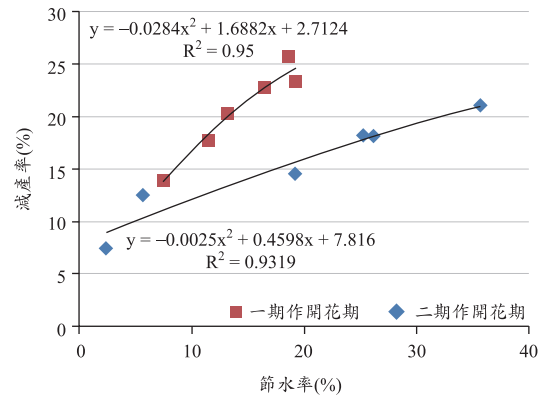


圖 4 一、二期作水稻於開花期灌溉節水率與減產率之迴歸分析圖

及 46%，顯示於此情境所受乾旱程度之影響最為嚴重。

由表 4 得知，在一期作水稻於分蘗期實施對照組 100%與 80%之灌溉水量下，且輪灌期距分別為 7、10 與 13 天時，其減產率分別為 24.0%、25.3%、36.3%及 27.3%、28.3%、32.6%，節水率分別 38.9%、43.7%、51.4%及 45.1%、50.1%、55.1%。又於一期作開花期做相同處理，其減產率亦分別為 7.5%、13.2%、19.3%及 11.5%、16.4%、18.6%，節水率分別 14.0%、20.3%、23.4%及 17.7%、22.8%、25.8%。由此結果得知，無論於分蘗期或開花期水稻產量隨著灌溉水量之減少及灌溉期距之加大而減少，節水效能則隨著灌溉水量之減少及灌溉期距之加大而增加，二期作水稻之減產率及節水效能與一期作水稻具有相同之趨勢。綜上所述，在減產率與節水率之綜合評估，一、二期水稻於開花期實施 100%之灌溉水量輔以 7 天輪灌期距之灌溉處理時，其對產量影響甚微，然確有 14%~7.4% (1790 m³/ha~830 m³/ha)之節水效能，此結果可供極端氣候或春季缺水期水稻田間灌溉操作與用水調配管理之應用。

依作物生理觀點，分蘗期及開花期為水稻重要生長階段，為解析水稻於分蘗期與開花期生長階段，其於不同生長環境下對水需求性之差異性(一期作水稻生長氣候環境由低溫度到高溫度，

二期作水稻生長氣候環境由高溫度到低溫度)，乃以節水率及減產率，評估一、二期作水稻於相同生長階段時之節水效能趨勢，如圖 3 及圖 4 所示。由圖 3 得知，水稻若於分蘗期發生乾旱時，則一期作水稻之減產率與減灌水量之迴歸方程式為 $y = -0.1817x^2 + 12.033x - 145.46$ ($R^2 = 0.9427$)，二期作則為 $y = -0.0238x^2 + 2.6506x - 28.137$ ($R^2 = 0.9278$)。又由圖 4 亦得知，水稻於開花期發生乾旱，則可得一期作水稻之減產率與減灌水量之迴歸方程式 $y = -0.0284x^2 + 1.6882x + 2.7124$ ($R^2 = 0.95$)，二期作水稻為 $y = -0.0025x^2 + 0.4598x + 7.816$ ($R^2 = 0.9319$)，由此結果顯示節水率越高其減產率有越大之趨勢，且於相同節水效能下，無論分蘗期或開花期一期作之減產率皆有高於二期作之趨勢，由此可見，一期作水稻對灌溉水量之需求性較二期作為高，此成果可供缺水期水稻節水灌溉措施擬定之參考。

3.3 灌溉處理對水稻作物產量因子(K_y)之影響分析

由圖 5 及圖 6 得知，在供灌水量與產量之考量下，一、二期水稻於分蘗期之作物產量反應因子(K_y)分別為 0.61、1.06，相關係數 r 為 0.837、0.917，於開花期之 K_y 分別為 0.69、1.13，相關係數 r 為 0.975、0.97，由此結果得知開花期 K_y 值較分蘗期高，亦即開花期較分蘗期有較高之用水需求，故於相同之供灌水量為使減產率降低，

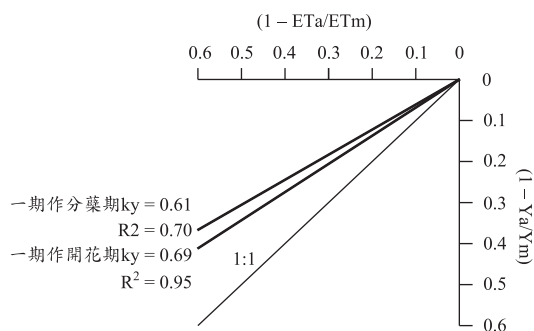


圖 5 一期作水稻於分蘗期及開花期 K_y 值趨勢圖

則開花期應優先提供作物生長所需之灌溉水量，此結果可供水田灌溉用水調配之應用。

四、結論與建議

1. 一、二期作水稻無論於農民慣行用水管理方式(對照組)或各節水灌溉處理，一期作水稻之產量與灌溉用水效能，皆高出二期作水稻甚多，故應強化及擬定缺水期一期作水稻田間灌溉操作與用水調配管理策略，以確保糧食生產並有效提升水資源利用效能。
2. 在減產率與節水率之綜合評估，一、二期水稻於開花期實施 100%之灌溉水量輔以 7 天輪灌期距之灌溉處理時，其對產量影響甚微，且有 14%~7.4% ($1790 \text{ m}^3/\text{ha}$ ~ $830 \text{ m}^3/\text{ha}$)之節水效能，其中一期作之節水效能較二期作為佳，此結果可供極端氣候或春季缺水期水稻灌溉用水調配管理之應用。
3. 由一、二期作水稻節水率與減產率之迴歸分析得知，節水率越高其減產率有越大之趨勢，且於相同節水率下，無論分蘗期或開花期一期作之減產率皆有高於二期作之趨勢，由此可見一期作水稻對灌溉水量之需求性較二期作為高，此結果可供缺水期水稻節水灌溉措施擬定之參考。
4. 一、二期作水稻於分蘗期及開花期始實施不同之節水灌溉處理，在供灌水量與產量之考量下，一、二期水稻於開花期之作物產量反應因子 K_y 值皆較分蘗期為高，顯示開花期應優先提供作物生長所需之灌溉水量，此結果可供缺

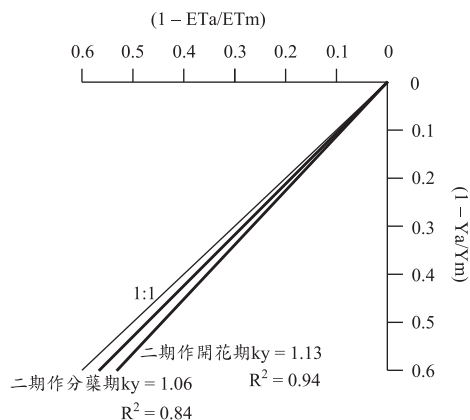


圖 6 二期作水稻於分蘗期及開花期 K_y 值趨勢圖

水期灌溉用水調配利用與管理之參考應用。

5. 就灌溉期距而言，於分蘗期及開花期實施對照組 100%灌溉水量時，灌溉期距為 7 及 10 天對產量已有影響，且隨著灌溉期距延長產量影響愈為顯著，尤以分蘗期於灌溉期距為 13 天且灌溉水量僅為對照組之 80%時，一、二期作水稻雖有 55.1%及 44.9%之節水效能，惟減產率高達 33 及 46%，由於此減產結果將不符農民期望，此節水灌溉方式建議應予排除。
6. 糧食安全儼然為全球之重要議題，本研究在確保農業生產與水資源之利用效能之前提下，以灌溉時期、灌溉水量與輪灌期距之灌溉處理設計，建立缺水期灌溉用水調配管理策略，惟建議可增加作物耕作方式調整與稻作強化體系(SRI)之試驗研究探討，期以建置缺水期最適化之水田灌溉操作管理模式，以因應極端氣候之衝擊。

誌謝

本研究承蒙行政院農業委員會與嘉南農田水利會之經費補助，復蒙國立嘉義大學農藝系劉景平教授於本計畫之協助與建議，始得以完成，特此誌謝。

參考文獻

1. 甘俊二、許宗民，「水稻耐旱性及節水灌溉

- 對策之調查研究」，台灣水利，32(1)，pp. 4-33，1983。
2. 台灣省輪流灌溉推進委員會推行小組，「台灣省推行輪流灌溉工作報告」，1961。
 3. 朱榮彬，「考慮水稻生理配水方法之研究」，台灣水利，38(4)，pp. 76-84，1990。
 4. 邱一盛、陳清田、劉景平，「節水灌溉對水稻生產生態影響之先期研究(一)」，曹公農田水利會研究發展基金會，pp. 25-51，1996。
 5. 陳嘉和，「乾旱預警系統及氣候變遷對水稻生長之影響」，國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文，2002。
 6. 行政院農業農委會，「水稻栽培灌溉排水原理」，1977。
 7. Abdul-Jabbar, A. S., Sammis, T. W., Lugg, D. G., "Effect of moisture level on the root pattern of alfalfa", *Irrigation Science*. Vol. 3, pp. 197-207, 1982.
 8. Al-Jamal, M. S., Sammis, T. W., Ball, S., Smeal, D., "Computing the crop water production function for onion", *Agricultural Water Management*, Vol. 46, pp. 29-41, 2000.
 9. Belder, P., Boumana, B. A. M., Cabangon, R., Guoan, Lu, Quilang, E. J. P., Yuanhua, Li., Spiertz, J. H. J, Tuong, T. P., "Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia", *Agricultural Water Management*, Vol. 65, pp. 193-210, 2004.
 10. Chang, Y. C., Kan, C. E., Chen, C. T., "Enhancement of water storage capacity in wetland rice fields through deepwater management practice", *Irrigation and Drainage*, 56(1), pp. 78-86, 2007.
 11. Moutonnet, P., "Yield response factors of field crops to deficit irrigation International Atomic Energy Agency", Joint FAO/IAEA Division, Vienna, Austria, 2001.
 12. McDonald, AL., Hobbs PR, Riha SJ., "Does the system of rice intensification outperform conventional best management? A synopsis of the empirical record", *Agric Syst*, 96, pp. 31-36. 2006.
 13. Moser, CM., Baret, CB., "The disappointing adoption dynamics of a yield-increasing, low external-input technology: the case of SRI in Madagascar", *Agric Syst*, 76, pp. 1085-1100. 2003.
 14. Sammis, T. W., Agron, J., "Yield of alfalfa and cotton as influenced by irrigation", Vol. 73, pp. 323-329, 1981.
 15. Yesim, E., Yuksel, N., "Yield response of watermelon to irrigation shortage", *Sciatica Horticulture*, Vol. 98, pp. 365-383, 2003.
 16. Uphoff, N., "Agroecological implications of the System of Rice Intensification (SRI) in Madagascar", *Environment, Development and Sustainability*, 1(3/4), pp. 29-31, 1999.

收稿日期：民國 102 年 7 月 22 日

修正日期：民國 102 年 9 月 9 日

接受日期：民國 102 年 9 月 11 日