JOURNAL OF TAIWAN AGRICULTURAL ENGINEERING
VOL. 68, NO. 4, DECEMBER 2022
DOI - 10.29974/JTAE.202212_68(4).0001

臺灣合理灌溉用水量推估

ON ESTIMATION OF IRRIGATION WATER CONSUMPTION IN TAIWAN

國立中央大學
土木工程學系
特聘教授

吳 瑞 賢*
Ray-Shyan Wu

國立中央大學
土木工程系
博士候選人
財團法人農業工程研究中心
助理研究員

吳 幸 娟
Hsing-Chuan Wu

國立中央大學
土木工程系
碩士

馬 郁 棻
Yu-Fen Ma

摘　要

本研究透過分析相關文獻在桃園、彰化及嘉南地區的研究結果，探討一期作田間需水量、有效雨量及排水量，並分析桃園、彰化及嘉南管理處的灌溉計畫書，探討各管理處間田間需水量與計畫用水量的差異，並推估其損失率，以及分析桃園、彰化及嘉南管理處之實際用水量，探討各管理處實際用水量與降雨量之關係。

文獻上顯示以系統動力模式推估之一期作田間需水量約為 1 m 水深，以灌溉計畫書所呈現的數據，桃園管理處之田間需水量為 1.05 m，彰化管理處之田間需水量為 1.77 m，嘉南管理處之田間需水量為 1.04 m。根據灌溉計畫，彰化管理處之損失率為 36%，相較於桃園及嘉南管理處來得高。河川型灌溉與水庫型灌溉不同，水庫型灌溉能儲存多餘的水量，故當河川於豐水期時，在不影響民生用水、工業用水及下游基流量時，河川型灌溉可增加灌溉用水量，減少抽取地下水，且多餘的水量可補注至地下水。

關鍵詞：灌溉管理、作物需水量、灌溉效率、輸水損失。

* 通訊作者，國立中央大學土木工程學系特聘教授
32001桃園市中壢區中大路300號，raywux@gmail.com

ON ESTIMATION OF IRRIGATION WATER CONSUMPTION IN TAIWAN

Ray-Shyan Wu*
National Central University
Department of Civil Engineering

Hsing-Chuan Wu
National Central University
Department of Civil Engineering
Agricultural Engineering
Research Center

Yu-Fen Ma
National Central University
Department of Civil Engineering

ABSTRACT

This study explored the water requirements, effective rainfall and drainage of the first crop by analyzing the results of related literature in Taoyuan, Changhua and Chianan Management region. The irrigation plan of Taoyuan, Changhua and Chianan Management Offices, were studied to explored the water requirement and irrigation water consumption of each management office, and estimated the rate of conveyance loss. Furthermore, this study analyzed the actual water consumption of Taoyuan, Changhua and Chianan Management Offices, and explored the relationship between actual water consumption and rainfall in each management office.

It is shown tin the literature that the crop water requirement estimated by using the system dynamic model is around 1 meter of water. According to the irrigation plan, the water requirement of Taoyuan Management region, Changhua Management region, and Chianan Management region are 1.05, 1.77, and 1.4 meters. The loss rate of the Changhua Management region was 36%, which is higher than that of Taoyuan and Chianan Management region. River irrigated area differs from the reservoir irrigated area, which can store surplus water. Therefore, when the river is in a high flow period, without affecting water for household and industry use, it is no longer necessary to limit the irrigation water consumption, which can reduce the extraction of groundwater, in the current time and the excess water can be recharged to groundwater in the future.

Keywords: Irrigation management, Crop water requirement, Irrigation efficiency, Channel loss.

Wu, R.S.*, Wu, H.C., & Ma, Y.F. (2022). “On Estimation of Irrigation Water Consumption in Taiwan.” *Journal of Taiwan Agricultural Engineering,* 68(4), 18-34. https://doi.org/10.29974/JTAE.202212_68(4).0001

JOURNAL OF TAIWAN AGRICULTURAL ENGINEERING
VOL. 68, NO. 4, DECEMBER 2022
DOI - 10.29974/JTAE.202212_68(4).0001

一、前言

近年來全球面臨氣候變遷的影響，各地區氣候逐年升溫，依據許晃雄等 (2018) 研究指出，中央氣象局觀測資料顯示，臺灣在過去一百年來，全年平均溫度上升約 1.3 ℃。極端氣候事件日趨頻繁，是以導致水資源短缺，在農業灌溉水源不足情況下，配合政策限水措施減少農業用水量，使農業地區停灌休耕，造成嚴重農業災損。因此，透過灌溉用水量推估，分析桃園、彰化、嘉南管理處灌區的田間需水量、有效雨量、排水量以及探討計畫灌溉用水量與實際灌溉用水量，以了解臺灣農業管理處灌溉用水情況，對於農業灌溉用水推估有莫大助益。

對於農業用水進行管控，改進灌溉效率，將水資源效率化利用，學者們為更有效節省灌溉水量及提高用水效率，以改進灌溉效率，如 Li *et al*. (2005) 分析使用灌溉計畫以提高小麥產量及用水效率；Yoo *et al*. (2013) 探討土地利用與作物生長調整之相關策略，在氣候變遷情境下有效降低農業生產之缺水衝擊；Liu *et al*. (2013) 研究水稻生產系統可使灌溉水量相較傳統方式灌溉水量顯著減少，同時提高了糧食產量 18 %，該系統可應用於水資源缺乏之區域，增加材料及人力之投入成本；Thakur *et al*. (2014) 進行水稻強化栽培系統 (SRI) 與傳統農法，供灌方式為連續灌溉及田面無湛水深之不同輪灌期距灌溉處理，結果顯示水稻強化栽培系統的產量高於傳統農法約 49 %，且供水減少 14 %，其水資源生產力提高 73 %；Materu *et al*. (2018) 進行連續淹水系統 (CF) 及水稻強化栽培系統 (SRI) 灌溉管理系統，探討不同灌溉系統之水經濟生產力，結果顯示相對於 CF 系統，在 80%SRI 系統中可獲得最高的水經濟生產力，所節省水源可擴大當前水稻灌溉面積 50 %、每年增加 150 萬公噸水稻產量及提高工業及環境用途的水資源可用性；He *et al*. (2020) 探討優化灌溉管理 (兩次交替濕潤法、乾燥灌溉法及有限漫灌法)，對於減少灌溉用水、溫室氣體排放及保持產量之影響，結果顯示與原有的持續漫灌法相比，優化灌溉管理可減少 40%灌溉用水量，並同時提升 34 %的水生產力，且可減少 37 %的溫室氣體排放。

在臺灣桃園地區，早期以人工掘築蓄水埤塘，蓄存豐水期間之降雨，以於枯水期調節灌溉水源，許睿翔 (2006) 針對桃園大圳區域建立水田埤塘灌溉系統，藉由調整田區灌溉之湛水高度，研究各灌溉湛水高度之配置方案對灌區的影響，並得出各支線缺水量最少之排水口高度；林喬莉 (2010) 研究改變引灌水量操作方式用量以及埤塘灌溉系統之調蓄效益，證實埤塘灌溉系統在極端降雨型態下，埤塘系統於農業灌溉影響顯著。在臺灣彰化地區，豐水期降雨豐沛，但無法有效蓄存於枯水期使用，於用水尖峰時期經常缺水，以實施輪灌以解決用水不足之情況，張聖瑜 (2015) 建立田間精密灌溉用水模式，探討田間自動灌溉管理之可行性，結果顯示，配合田間自動控制水門控制水量，可節省一日灌溉水量約 7.9 萬噸，以評估灌溉計畫配水仍有節水空間；陳佩瑩 (2017) 建立可自動推估地下抽取水量及估算灌溉用水量，依循作物生長階段之灌溉基準點及灌溉需水點，自動判斷抽水時間及抽取量，達目標水深後即停止，可減少農民個人操作習慣不同而衍生抽水問題。在臺灣嘉南地區，期灌區為位於經濟高度開發地區，民生及工業用水量大，且水源來自於水庫，故制定灌溉措施及制度，以提升灌溉用水效率，陳清田等 (2014) 研究節水灌溉措施，建立乾旱灌溉用水之營運模式，探討水稻生長期間不同輪灌期距之節水效能，由結果顯示，一、二期水稻於開花期實施 7 天輪灌期距時，其對產量影響甚微；鄭安成 (2018) 針對嘉南管理處的灌溉制度及加強用水管理實務進行分析探討，結果顯示實施加強灌溉管理後，在 103 年至 107 年間，一期作稻作平均可減少灌溉水深 34 %，有效雨量提升 26 %，入滲量減少 34 %，根據模式推估出一期作水稻需水量在一般灌溉管理模式介於 830 至 1,063 mm，在加強灌溉管理模式介於 732 至 828 mm。謝仲霖 (2019) 運用系統動力模式建立埤塘灌溉系統，使用大圳引水量及降雨量進行案例分析，在埤塘操作之比較中，從蓄存面來看，埤塘調蓄之蓄存降雨及大圳補給能力皆優於埤塘部分調蓄，而若從供給面來看，埤塘調蓄之供給量高過於埤塘部分調蓄，尤其在枯水期更顯差異，在埤塘調蓄的操作下，灌區小組之缺水情形減少許多。

目前已有許多學者研究臺灣地區灌溉用水措施，如林羿汝等 (2017) 探討灌溉管理操作對於水稻生長期距及灌溉用水效能之影響，分析不同水稻間灌溉管理操作於缺水期之最適灌溉水量與灌溉用水效能；林慧娟 (2017) 以 CROPWAT 模式、TaiWAP 模式與系統動力學建置水田水筒模型，模擬水稻用水量，研究水旱田灌溉用水量之影響；陳貞臻 (2021) 分析曾文-烏山頭水庫調整為單期作田，以不同耕作方式與灌溉方式調整水稻種植期距，探討期作節水率及節水量。本研究將針對桃園、彰化及嘉南管理處其灌溉計畫書及耕作制度，探討各管理處之田間灌溉用水量、計畫灌溉用水量及實際灌溉用水量。

二、用水結構

臺灣用水標的可分為農業用水、民生用水及工業用水，但北中南東各地區的用水特性皆不同。近年來因應社會型態及結構改變，在持續都市化及工業化的發展之下，用水結構隨產業變遷而改變，因而引發水資源缺乏與分配不均之情況。臺灣水資源年使用量約 170 億 m^3，經濟部水利署統計 2019 年用水標的之用水量，生活用水約 31.9 億 m^3，工業用水約 16.7 億 m^3，農業用水約 118.9 億 m^3，分別佔總用水量的 19.04 %、9.97 %及 70.99 %，其中以農業用水居冠，而農業用水包含灌溉用水、養殖用水及畜牧用水，其中又以灌溉用水比例最高灌溉用水量約 109.7 億 m^3，佔農業用水總用水量約 92.26 % (經濟部水利署，2019)，如圖 1 所示。在都市人口增加及工商業持續發展下，民生及工業用水需求增加，雖臺灣水利法第 18 規定，各用水標的之順序為家用及公共用水、農業用水、水力用水、工業用水、水運及其他用途，其農業用水順序僅次於家用及公共用水，且其順序高於工業用水，但因農業灌溉用水量高，民生用水對於缺水耐受度低，且農業產值低於工業，故於枯水時期，佔總用水量 70%之農業用水，需面臨調撥給其他用水標的使用，在未來氣候變遷下水資源短缺且民生及工業用水增加的影響之下，對於農業用水的影響更為加劇。

臺灣年平均累積降雨量為 2,207 mm (交通部中央氣象局，2019)，由歷年降雨量數據資料顯示，每年降雨量互有增減，其中 2014 年累積雨量為 1643.3 mm，2016 年累積雨量為 2771.8 mm，2019 年累積雨量為 2197.3 mm，故以 2014 年、2016 年及 2019 年分別代表枯水年、豐水年及平水年。依據 2014 年、2016 年及 2019 年農田水利聯合會的統計資料，如表 1 所示，2014 年計畫灌溉面積為 373,096 ha，計畫用水量為 1,488,171 萬 m^3，實際用水量為 1,092,885 萬 m^3；

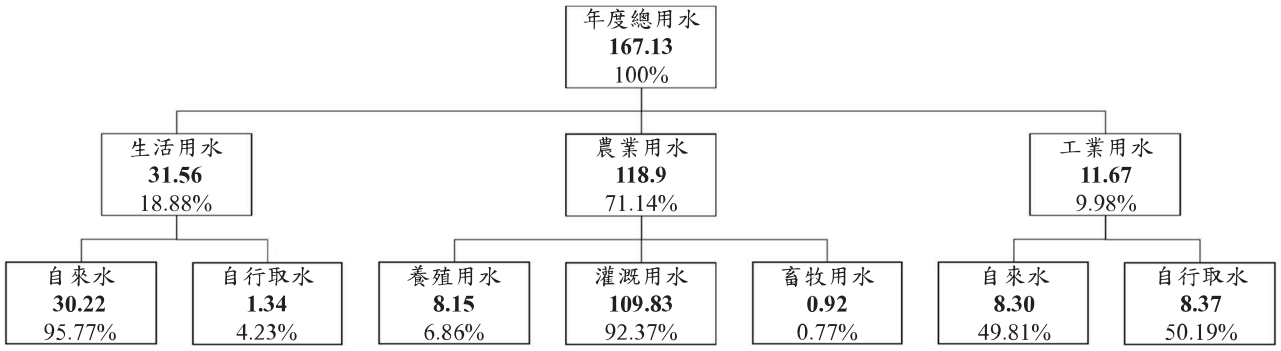

圖 1　臺灣地區 2019 年用水結構圖

表 1　臺灣地區農業管理處灌溉用水量

年份	管理處	計畫灌溉面積 (ha)	計畫用水量 (10^4 m^3/yr)	實際用水量 (10^4 m^3/yr)	單位面積計畫水量 (10^4 m^3/ha/yr)	單位面積實際水量 (10^4 m^3/ha/yr)
2014	宜蘭	18,551	85,167	74,861	4.59	4.04
	北基	5,299	22,253	21,603	4.20	4.08
	瑠公	407	318	218	0.78	0.54
	七星	630	3,393	3,347	5.39	5.31
	桃園	24,650	61,227	40,928	2.48	1.66
	石門	12,085	21,796	18,919	1.80	1.57
	新竹	6,825	31,554	44,841	4.62	6.57
	苗栗	9,504	43,747	39,734	4.60	4.18
	台中	26,335	187,814	132,599	7.13	5.04
	南投	12,412	61,167	59,542	4.93	4.80
	彰化	45,815	248,385	126,093	5.42	2.75
	雲林	64,502	234,065	129,494	3.63	2.01
	嘉南	74,483	141,757	68,129	1.90	0.91
	高雄	19,900	55,356	40,722	2.78	2.05

JOURNAL OF TAIWAN AGRICULTURAL ENGINEERING
VOL. 68, NO. 4, DECEMBER 2022
DOI - 10.29974/JTAE.202212_68(4).0001

年份	管理處	計畫灌溉面積 (ha)	計畫用水量 (10^4 m^3/yr)	實際用水量 (10^4 m^3/yr)	單位面積計畫水量 (10^4 m^3/ha/yr)	單位面積實際水量 (10^4 m^3/ha/yr)
	屏東	25,027	82,590	76,885	3.30	3.07
	台東	14,173	119,404	112,314	8.42	7.92
	花蓮	12,498	88,178	102,656	7.06	8.21
	總計/平均	**373,096**	**1,488,171**	**1,092,885**	**3.99**	**2.93**
2016	宜蘭	18,551	84,271	74,176	4.54	4.00
	北基	5,299	23,131	22,154	4.37	4.18
	瑠公	466	290	185	0.62	0.40
	七星	627	3,441	3,432	5.49	5.47
	桃園	22,677	53,767	40,404	2.37	1.78
	石門	12,085	22,262	20,048	1.84	1.66
	新竹	6,033	33,850	29,512	5.61	4.89
	苗栗	9,504	44,523	39,186	4.68	4.12
	台中	26,283	193,181	148,075	7.35	5.63
	南投	12,412	60,057	56,565	4.84	4.56
	彰化	44,416	247,764	130,215	5.58	2.93
	雲林	63,577	157,358	86,593	2.48	1.36
	嘉南	74,434	127,858	68,764	1.72	0.92
	高雄	19,736	52,700	34,174	2.67	1.73
	屏東	25,076	79,363	76,733	3.16	3.06
	台東	14,173	123,626	107,381	8.72	7.58
	花蓮	12,498	121,963	136,748	9.76	10.94
	總計/平均	**367,847**	**1,429,405**	**1,074,345**	**3.89**	**2.92**
2019	宜蘭	18,551	81,210	64,684	4.38	3.49
	北基	5,299	22,649	22,254	4.27	4.20
	瑠公	481	242	150	0.50	0.31
	七星	630	3,441	3,313	5.46	5.26
	桃園	22,677	53,791	28,622	2.37	1.26
	石門	12,085	21,401	19,737	1.77	1.63
	新竹	6,035	34,156	31,366	5.66	5.20
	苗栗	9,504	44,629	34,271	4.70	3.61
	台中	26,092	196,635	119,970	7.54	4.60
	南投	12,643	63,571	60,799	5.03	4.81
	彰化	44,014	241,316	109,879	5.48	2.50
	雲林	63,485	216,624	99,439	3.41	1.57
	嘉南	74,177	142,612	66,381	1.92	0.89
	高雄	20,164	49,115	30,293	2.44	1.50
	屏東	25,092	79,091	71,419	3.15	2.85
	台東	15,001	140,164	128,466	9.34	8.56
	花蓮	14,806	192,744	203,154	13.02	13.72
	總計/平均	**370,736**	**1,583,391**	**1,094,197**	**4.27**	**2.95**

資料來源：農田水利會聯合會，2014、2016、2019。

2016 年計畫灌溉面積為 367,847 ha，計畫用水量為 1,429,405 萬 m^3，實際用水量為 1,074,345 萬 m^3；2019 年計畫灌溉面積為 370,736 ha，計畫用水量為 1,583,391 萬立 m^3，實際用水量為 1,094,197 萬 m^3，可發現在 2014 年、2016 年及 2019 年各管理處灌溉用水量上，實際用水量遠小於計畫用水量，而若考量計畫灌溉面積，可發現實際用水量與計畫用水量有較大差異，以計畫灌溉面積較多者之管理處，如桃園、

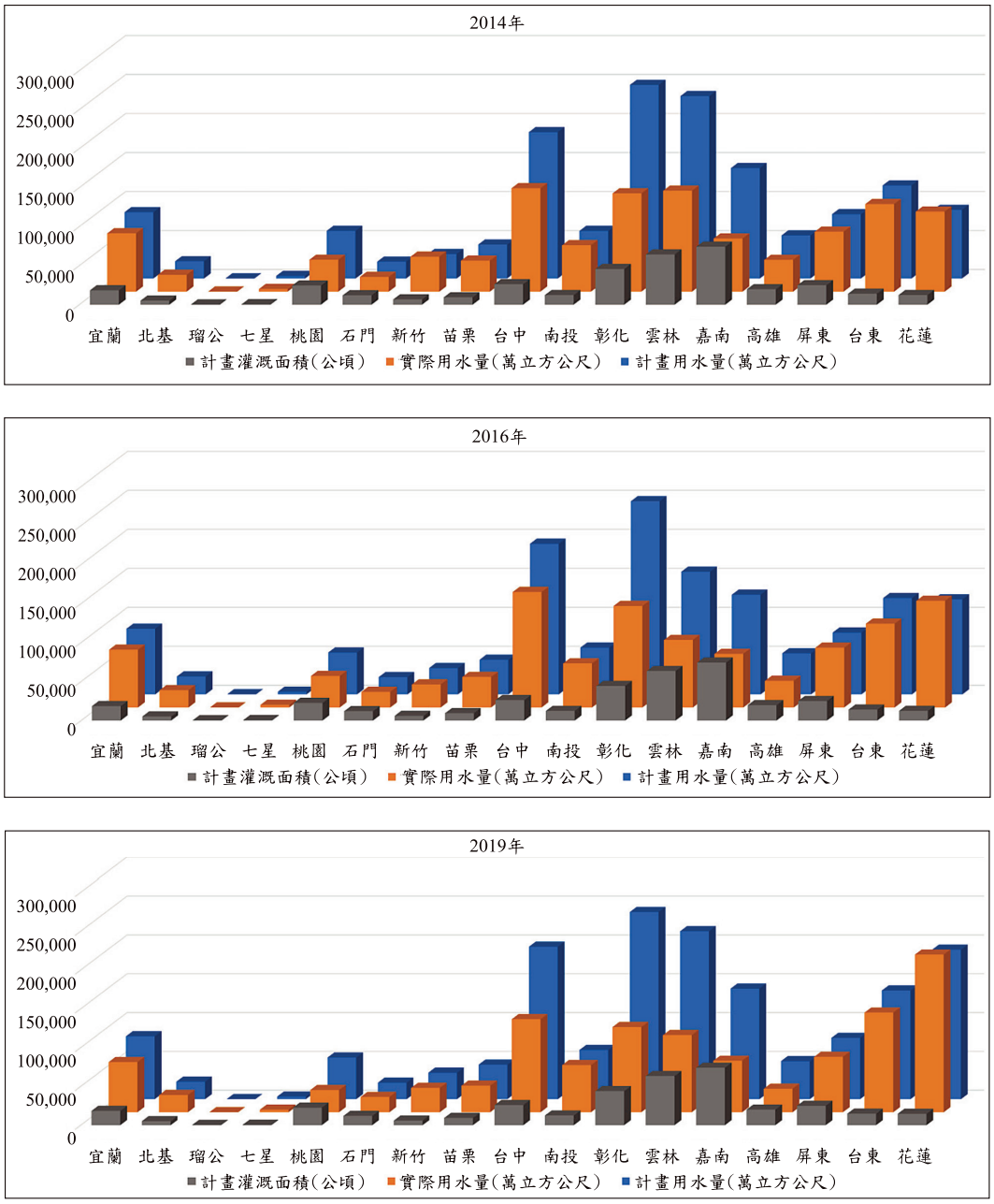

圖 2　臺灣地區農業管理處各管理處灌溉面積及灌溉用水量

臺中、彰化、雲林及嘉南管理處，其實際用水量與計畫用水量有較大差異，其中又以 2014 年枯水年及 2019 年平水年，差異更甚。然而，若考量單位面積用水量，可發現在 2014 年在單位面積計畫用水量為 3.99 萬 m^3/ha/yr，單位面積實際用水量為 2.93 萬 m^3/ha/yr；2016 年在單位面積計畫用水量為 3.89 萬 m^3/ha/yr，單位面積實際用水量為 2.92 萬 m^3/ha/yr；2019 年在單位面積計畫用水量為 4.27 萬 m^3/ha/yr，單位面積實際用水量為 2.95 萬 m^3/ha/yr，可發現在 2014 年枯水年、2016 年豐水年及 2019 年平水年中各管理處單位面積用水量變化較為相似，於各管理處單位面積實際水用上，僅相差約 0.03 萬 m^3/ha/yr，如圖 2 所示。

三、研究區域及分析資料

臺灣農業灌溉水源來自河川、水庫、降雨、埤塘、地下水等，經灌溉渠圳取水系統或取水設施引入灌溉水源，以灌溉渠道輸送至田區供給作物灌溉，在

JOURNAL OF TAIWAN AGRICULTURAL ENGINEERING
VOL. 68, NO. 4, DECEMBER 2022
DOI - 10.29974/JTAE.202212_68(4).0001

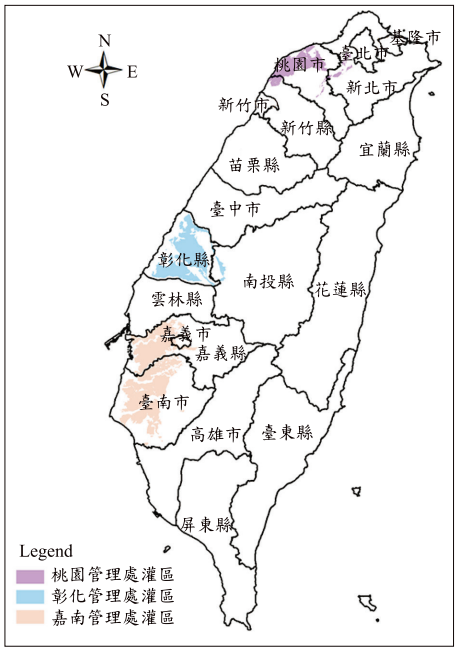

圖 3　管理處灌區位置圖

農業灌溉型態上，大致可分為水庫型灌溉及河川型灌溉。桃園管理處灌溉水源來自石門水庫、河川及灌溉埤塘，其中灌溉埤塘可調蓄由石門水庫輸送支配水，為水庫型灌溉，另因地形形成特有埤塘灌溉形式；彰化管理處灌溉水源來自濁水溪及烏溪，由河川進行引灌，為河川型灌溉；嘉南地區灌溉水源曾文水庫及烏山頭水庫，為水庫型灌溉，而為探討水庫型灌溉及河川型灌溉，本研究以桃園、彰化及嘉南管理處為探討分析對象，研究區域位置分布圖如圖 3。

桃園管理處之灌區位於臺灣西北部，地勢由東南向西北傾斜，並與臺灣海峽相界，區內河流短促，雨水暫留時間甚短，因此早期桃園地區以人工掘築蓄水埤塘，蓄存豐水時期之降雨，於枯水時期提供灌溉水源並調節水資源管理，桃園大圳灌區水源主要來自石門水庫取水、河川取水及灌溉埤塘，灌區耕作作物以水稻為主 (行政院農業委員會農田水利署桃園管理處，2021)。本研究在桃園管理處以桃園大圳第二支線 2007 年一期作及桃園大圳第十支線 2017 年一期作為對象。桃園大圳二支線範圍涵蓋桃園區及蘆竹區等地區，區域內共有 38 個灌區與 29 口埤塘，土壤性質為粘質壤土、砂質壤土及砂質粘壤土，灌溉面積為 2,699.6 公頃；桃園大圳第十支線涵蓋新屋區及觀音區等地區，區域內共有 15 個灌區及 15 口埤塘，土壤性質為粘質壤土及砂質壤土，灌溉面積為 1,188.5 公頃。

彰化管理處之灌區位於烏溪與濁水溪兩大河流之間，東為平林溪、貓羅溪，西為臺灣海峽，地形呈現南寬北窄，灌溉水源主要來自濁水溪及烏溪，為河川行灌溉，因灌區內缺乏水庫設施，故枯水期水源較不穩定 (行政院農業委員會農田水利署彰化管理處，2021)。本研究在彰化管理處以莿仔埤新永基幹線灌區 1 ~ 5 輪區 2013 年及 2015 年一期作為對象，其莿仔埤圳為彰化管理處第二大灌溉系統，於溪洲地區引濁水溪水源灌溉，水路流經溪州、埤頭、二林、芳苑、北斗、竹塘及大城地區，土壤性質為砂質壤土，灌溉面積為 215 公頃。

嘉南管理處之灌區位於嘉南平原，地勢平坦，灌區橫跨嘉義及臺南，灌溉水源主要來自曾文水庫、烏山頭水庫、河川取水及地下水補注水源等，為水庫型灌溉 (行政院農業委員會農田水利署嘉南管理處，2021)，而灌區因降雨時空分布不均，且灌區區域廣闊，無法穩定提供水源，故嘉南管理處發展特有掌水工制度，負責調配水源及田間灌溉管理 (鄭安成，2018)。本研究在嘉南管理處以八掌溪支線崁前分線灌區內西鹿草小組 2014 ~ 2018 年一期作為對象，灌溉水源為烏山頭水庫，土壤性質為砂質壤土，水稻灌溉面積為 136 公頃。

四、研究方法

本研究以分析桃園、彰化及嘉南管理處一期作水稻的田間需水量及田間灌溉需水量，依據各管理處的灌溉計畫書，探討桃園、彰化與嘉南管理處於計算計畫用水量的差別，並依據農田水利資料輯實際灌溉用水量，探討桃園、彰化與嘉南管理處實際用水量與降雨量之關係。

4.1 作物蒸發散量

田間之作物葉面蒸散量與田區自由水面或土壤面蒸發量之總和，稱之為作物蒸發散量 (Evapotranspiration)，以 ET_{crop} (mm/day) 表示。甘俊二 (1996) 等人研究指出臺灣地區較適合使用國際灌排協會 (ICID) 於 1994 年所公佈之 Penman-Monteith 推算，作物因子則以作物係數 K_c (Crop Coefficient) 為指標，則作物蒸發散量為：

$$ET_{CORP} = K_c \times ET_0 \quad \text{.....(1)}$$

式中作物係數 (K_c) 隨著期作而有所不同，且與作物各個生長階段相關，不同作物在不同的生長時期有不同的作物係數，依作物係數評定作物蒸發散量。

4.2 田間需水量

作物從耕種到收成的整個生長期所消耗的水量，稱之為田間需水量 (Water requirement)。經濟部水資源局 (1997) 針對坵塊、輪區以及大面積水田，進行田間需水量差異探討，在引進灌溉之水量中，田間需水量除了作物蒸發散量以及滲漏量，尚有排水量。以單一坵塊而言，以逕流方式由排水渠排出之水量，不具有回歸利用之功效；以輪區而言，由於輪區一般面積約 30 公頃至 50 公頃，且輪區內之排水往往隨排水溝而流去，對該輪區而言無法回收再利用；以大面積水田而言，區域內上游田區之排水，可藉由地形坡度，成為下游之灌溉水源，將水源不斷地反覆利用，該大面積水田排水量會趨近於零。張煜權 (2005) 將田間需水量定義為「蒸發散量與滲漏量 (Percolation) 之和，不論供水來源為灌溉水或雨水均稱為田間需水量，其單位與蒸發散量同亦為水深或某作物生長季節之單位面積水深表之。」則田間需水量為：

$$\text{田間需水量} = \text{作物蒸發散量} + \text{滲漏量} + \text{排水量} \quad \cdots\cdots (2)$$

灌溉水從給水渠道流入田區後，依地形坡度從田首流至田末，大部分水量會受重力影響而滲入土層，成為土壤水。當土壤水分持續累積超過根系土壤吸收力時，則會滲至根系以下，該部分水量稱之為滲漏量。以逕流方式排出之水量，稱之為排水量。

4.3 田間灌溉用水量

張煜權 (2005) 將田間灌溉用水量 (Field irrigation requirement) 定義為「供水來源均為灌溉用水，因此田間灌溉用水量為田間需水量與有效雨量之差。」，則田間灌溉用水量為：

$$\text{田間灌溉用水量} = \text{田間需水量} - \text{有效雨量} \quad \cdots\cdots (3)$$

有效雨量 (Effective rainfall) 為因降雨而減少之田間灌溉用水量，若降雨不能實際節省田間灌溉用水量，亦不能視為有效。

4.4 計畫灌溉用水量

計畫灌溉用水量需考慮作物在生長灌溉時之蒸發散量損失、有效降雨量、滲漏量及輸水損失，計算式如下：

$$\text{計畫灌溉用水量} = \text{田間灌溉用水量} + \text{輸配水損失量} \quad \cdots\cdots (4)$$

$$\text{輸配水損失量} = \frac{\text{灌溉用水量}}{(1 - \text{輸配水損失率})} - \text{田間灌溉用水量} \quad \cdots\cdots (5)$$

輸水損失量為幹、支、分線之輸水損失，張煜權 (2005) 提及「目前管理處幹、支、分線之構造，大部分為混凝土內面上，其輸水損失量均於建設完成時利用謬芮斯氏 Moritz 公式估算及實際觀測所得資料，由於經過年久，內面上結構難免有裂縫或其他斷面不整等現象，故採用之輸水損失難免有所不正確。

五、研究結果及分析

5.1 以模式推估田間灌溉用水量

本研究針對桃園、彰化及嘉南地區運用系統動力學模擬田間灌溉用水，以模式推估田間灌溉用水量。臺灣灌溉水稻方式湛水深灌溉，故灌溉需水量較多，然而灌溉需水量受到蒸發散、滲漏及逕流的影響，在大面積的水田區，其區域內上游田區之排水，因地形坡度而成為下游田區之灌溉水源，在水源反覆利用之下，該大面積水田的排水量趨近於零，故本研究將田間需水量視為作物蒸發散量與滲漏量之總和，而有效雨量為田間需水量減掉田間灌溉用水量，灌溉水產生之排水量為總出流量減去無效雨量及上游迴歸水量。

5.1.1 桃園地區田間灌溉用水量分析

桃園地區以桃園大圳第二支線及桃園大圳第十支線作為研究區域，並建立三種埤塘灌溉系統操作模式，第一種為埤塘調蓄，為灌區可使用埤塘蓄水量之所有水量，此方法較為貼近實際灌溉運作情形；第二中方法為埤塘部分調蓄，為灌區僅使用埤塘蓄水量之 70%，以保障埤塘蓄水量可供其他用水；第三種為埤塘關閉，為假設灌區內無埤塘使用。許良瑋 (2011) 以桃園大圳第二支線作為研究區域，模擬 2007 年的一期作期間，在埤塘調蓄、埤塘部分調蓄及埤塘關閉此三種方法對於大圳供水量的影響，模擬結果顯示，推估一期作田間需水量為 823.4 mm。在埤塘調蓄，田間灌溉用水量不包含有效雨量為 357.7 mm，故可推估有效雨量為 465.7 mm，由灌溉水產生的排水量約 11.8 mm；在埤塘部分調蓄，田間灌溉用水量不包含有效雨量為 349.9 mm，故可推估有效雨量為 473.5 mm，

由灌溉水產生的排水量約 12.8 mm；在埤塘關閉，田間灌溉用水量不包含有效雨量為 337.9 mm，故可推估有效雨量為 485.5 mm，由灌溉水產生的排水量約 17.8 mm。由三種不同方法得知，有效雨量約佔田間需水量的 60 %，灌溉水產生的排水量約 11.8 mm 至 17.8 mm。謝仲霖 (2019) 以桃園大圳第十支線作為研究區域，模擬 2017 年的一期作期間，在埤塘調蓄、埤塘部分調蓄及埤塘關閉此三種方法對於大圳供水量的影響，模擬結果顯示，推估一期作田間需水深介於 834 mm 至 892 mm。在埤塘調蓄，田間灌溉用水量不包含有效雨量為 379.3 mm，故可推估有效雨量為 512.7 mm，由灌溉水產生的排水量約 59.3 mm；在埤塘部分調蓄，田間灌溉用水量不包含有效雨量為 324.5 mm，故可推估有效雨量為 543.5 mm，由灌溉水產生的排水量約 60 mm；在埤塘關閉，田間灌溉用水量不包含有效雨量為 233.8 mm，故可推估有效雨量為 600.7 mm，由灌溉水產生的排水量約 64.81 mm。由三種不同方法得知，有效雨量約佔田間需水量的 60 %至 70 %，灌溉水產生的排水量約 59.3 mm 至 64.81 mm。

5.1.2 彰化地區田間灌溉用水量分析

在彰化地區以莿仔埤圳新永基幹線灌區內之 1 ~ 5 輪區作為研究區域。張聖瑜 (2015) 依據灌溉計畫書配水及雨量資料，模擬 2013 年一期作水稻生長需水量與灌溉配水量之關係及灌溉餘水量等，探討各輪區田間蓄水量的變化。模擬結果顯示，推估一期作田間需水量介於 867 mm 至 874 mm。第一輪區田間灌溉用水量不包含有效雨量為 762.3 mm，故可推估有效雨量為 111.8 mm；第二輪區田間灌溉用水量不包含有效雨量為 761.6 mm，故可推估有效雨量為 111.8 mm；第三輪區田間灌溉用水量不包含有效雨量為 754.9 mm，故可推估有效雨量為 117.4 mm；第四輪區田間灌溉用水量不包含有效雨量為 736.3 mm，故可推估有效雨量為 134.2 mm；第五輪區田間灌溉用水量不包含有效雨量為 713.8 mm，故可推估有效雨量為 153.9 mm。由五個輪區得知，有效雨量約佔田間需水量的 13 %至 17 %。整體灌區的配水量為 1433.1 mm，五個輪區平均有效雨量為 125.8 mm，無效雨量為 549.2mm，由灌溉水產生的排水量約 728.1 mm。陳佩螢 (2017) 考量灌區地下水抽取量與地下水位關係，利用田間水平衡計算 2015 年一期作田間水文因子，探討各輪區田間蓄水量的變化。模擬結果顯示，推估一期作田間需水量介於 801 mm 至 814 mm。第一輪區田間灌溉用水量不包含有效雨量為 784.1 mm，故可推估有效雨量為 17.2 mm；第二輪區田間灌溉用水量不包含有效雨量為 809.5 mm，故可推估有效雨量為 0 mm；第三輪區田間灌溉用水量不包含有效雨量為 789 mm，故可推估有效雨量為 83.3 mm；第四輪區田間灌溉用水量不包含有效雨量為 791 mm，故可推估有效雨量為 16.2 mm；第五輪區田間灌溉用水量不包含有效雨量為 786.7 mm，故可推估有效雨量為 19.4 mm。由五個輪區得知，有效雨量約佔田間需水量的 0 %至 10 %。

5.1.3 嘉南地區田間灌溉用水量分析

嘉南地區以八掌溪支線崁前分線灌區西鹿草小組作為研究區域。鄭安成 (2018) 依據嘉南管理處灌溉計畫與烏山頭灌溉系統之實際灌溉日期，模擬 2014 年至 2018 年一期作，在一般灌溉管理模式及加強灌溉管理模式下田間水文因子變化。模擬結果顯示，推估出一期作水稻田間需水深在一般灌溉管理模式介於 830 mm 至 1,063 mm，在加強灌溉管理模式介於 732 mm 至 828 mm。田間灌溉用水量為累積灌溉水深與累積有效雨量之總和，2014 年，一般灌溉管理模式之田間灌溉用水量為 994.6 mm，推估排水量為 164.4 mm，加強灌溉管理模式之田間灌溉用水量為 867.3 mm，推估排水量為 134.6 mm；2016 年，一般灌溉管理模式之田間灌溉用水量為 1279.8 mm，推估排水量為 354.3 mm，加強灌溉管理模式之田間灌溉用水量為 935.8 mm，推估排水量為 125.7 mm；2017 年，一般灌溉管理模式之田間灌溉用水量為 1,379 mm，推估排水量為 382.1 mm，加強灌溉管理模式之田間灌溉用水量為 1,060.3 mm，推估排水量為 232.3 mm；2018 年，一般灌溉管理模式之田間灌溉用水量為 1,506.7 mm，推估排水量為 443.6 mm，加強灌溉管理模式之田間灌溉用水量為 894.9 mm，推估排水量為 92.6 mm。由 2014 年至 2018 年一般灌溉管理模式時，有效雨量約佔田間需水量的 7 % 至 18 %，平均排水量為 336.1 mm；而在加強灌溉管理模式時，有效雨量約佔田間需水量的 12 % 至 36 %，平均排水量為 146.3 mm。

5.1.4 桃園、彰化及嘉南地區模式灌溉用水量比較

在桃園地區，根據許良瑋 (2011) 研究結果，推估出一期作水稻田間需水量為 823.4 mm，有效雨量約佔田間需水量的 60 %，灌溉水產生的排水量約 11.8 mm 至 17.8 mm；而謝仲霖 (2019) 研究結果，推估出一期作水稻田間需水深介於 834 mm 至 892 mm，有效雨量約佔田間需水量的 60 % 至 70 %，灌溉水產生的排水量約 59.3 mm 至 64.81 mm。在彰化地區，根

表 2　以模式推估之灌溉用水量

地區	文獻	研究日期	期作	田間需水量 (mm)	有效雨量佔田間需水量 (%)	排水量 (mm)
桃園	許良瑋 (2011)	2004/3/14-2004/7/11	一期作	823.4	60	11.8-17.8
	謝仲霖 (2019)	2017/3/14-2017/7/11	一期作	834-892	60-70	59.3-64.81
彰化	張聖瑜 (2015)	2013/2/11-2013/6/30	一期作	867-874	13-17	728.1
	陳佩瑩 (2017)	2015/3/1-2015/6/18	一期作	801-814	0-10	486
嘉南	鄭安成 (2018) 一般灌溉	2014/1/16-2014/5/16、2016/1/21-2016/5/20、2017/1/21-2017/5/21、2018/1/29-2018/5/29	一期作	830-1,063	7-18	336.1
	鄭安成 (2018) 加強灌溉		一期作	732-828	12-36	146.3

資料來源：許良瑋 (2011)、張聖瑜 (2015)、陳佩瑩 (2017)、鄭安成 (2018)、謝仲霖 (2019)。

據張聖瑜 (2015) 研究結果，推估出一期作水稻田間需水深介於 867 mm 至 874 mm，有效雨量約佔田間需水量的 13 % 至 17 %，整體灌區由灌溉水產生的排水量約 728.1 mm；而在陳佩瑩 (2017) 研究結果，推估出一期作水稻田間需水深介於 801 mm 至 814 mm，有效雨量約佔田間需水量的 0 % 至 10 %，整個灌區由灌溉水產生的排水量約 486 mm。在嘉南地區，根據鄭安成 (2018) 研究結果，在一般灌溉管理模式，田間需水量介於 830 mm 至 1,063 mm，有效雨量約佔田間需水量的 7 % 至 18 %，平均排水量為 336.1 mm；在加強灌溉管理模式，田間需水量介於 732 mm 至 828 mm，有效雨量約佔田間需水量的 12 % 至 36 %，平均排水量為 146.3 mm，以模式推估之灌溉用水量如表 2 所示。

綜合上述在桃園管理處有效雨量可佔田間需水量的 60 % 至 70 %，彰化管理處有效雨量可佔田間需水量的 0 % 至 10 %，而嘉南管理處有效雨量可佔田間需水量的 12 % 至 36 %，可知桃園管理處在有效雨量上高於彰化及嘉南地區，其在於桃園地區因地形特殊形成特有埤塘，埤塘水源主要取自石門水庫，而埤塘可蓄存降雨，提升降雨量的使用率，調配灌溉水源，且桃園地區位處北部，於冬季不過分乾旱，故在有效雨量上高於彰化及嘉南地區。

5.2 計畫灌溉用水量

灌溉計畫用水量是由各管理處根據耕種制度，並考量灌區內當期作作物種類、預計耕種面積、土壤質地、輸水損失及有效雨量等因素後，於期作開始前所預估之灌溉用水量。本研究以分析桃園、彰化及嘉南管理處的一期作期間之計畫用水量，探討各管理處之間的差別。

5.2.1 桃園管理處計畫灌溉用水量分析

桃園管理處於計算計畫用水量時，田間需水深依據土壤性質配合稻作灌溉之時期而有不同之用水量，在土壤性質為砂質土壤的田間需水深相較其他性質的土壤來更多。桃園灌區以水庫取水灌溉，在計算灌溉用水量時會將有效雨量納入估算並預先扣除，而有效雨量採用近 20 年的月雨量資料統計，進行排列後以倒數第四位之值即為計畫月有效雨量。然而，計畫用水量需考量田間需水深及有效雨量，另有田間輸水損失及幹支線輸水損失需考量在內，若支線位於上游處，則田間輸水損失率約為 13 % 至 24 %，若支線位於下游處，則田間輸水損失率約為 40 % 至 50%，田間需水量扣掉有效雨量，再除以田間輸水損失，即為水門需水量。水門需水量水源，會再分成河水及貯水池取入、水庫等兩個部分，若水源來自水庫，則會有幹渠輸水損失率，幹渠輸水損失率若無另行率定，則每年每一支線損失率假定為相同。桃園管理處計算計畫用水量公式為：

$$\text{水門需水量} = \frac{\text{田間灌溉用水量}}{1-\text{田間輸水損失率}} \quad \text{.....(6)}$$

$$\text{計畫用水量} = \left(\frac{\text{水門需水量}-\text{河水取入量}}{1-\text{幹渠輸水損失率}}\right)+\text{河水取入量} \quad \text{.....(7)}$$

上式中，田間灌溉用水量之單位為萬 m^3；田間需水量之單位為萬 m^3；有效雨量之單位為萬 m^3；水門需水量之單位為萬 m^3；田間輸水損失率之單位為%；計畫用水量之單位為萬 m^3；河水取入量之單位為萬 m^3；幹渠輸水損失率之單位為 %。

然而，土壤田間需水深固定不變，在每年制定灌

JOURNAL OF TAIWAN AGRICULTURAL ENGINEERING
VOL. 68, NO. 4, DECEMBER 2022
DOI - 10.29974/JTAE.202212_68(4).0001

溉計畫時，田間需水量依據灌溉面積進行調整，若灌溉面積相同，則田間需水量則不變，而各支線的田間輸水損失率則是固定，除非另行檢討率定。根據 2020 年桃園管理處之灌溉計畫書在灌溉面積為 22,677 公頃，一期作水稻單位面積計畫灌溉用水量約為 1.18 m。

5.2.2 彰化管理處計畫灌溉用水量分析

彰化管理處於計算計畫灌溉用水量時，分為水稻及旱作之計算，水稻在不同灌區依據土壤種類與灌溉日數在秧田、浸田、整田及本田時有不同之灌溉水深，而旱作作物有春秋作、裡作及甘蔗，依據作物的耕種天數及土壤類型，有不同灌溉次數與灌溉水深，故作物在不同灌區將依據土壤類型以及耕種天數有不同之灌溉用水量。各灌區計算出水稻與旱作之灌溉需水量需考量灌區之輸配水損失，為計畫灌溉用水量。彰化管理處計算計畫用水量公式為：

$$水稻計畫用水量=\frac{灌溉面積\times灌溉水深}{1-輸配水損失率} \quad \text{.....(8)}$$

$$旱作計畫用水量=\frac{灌溉面積\times灌溉水深}{1-輸配水損失率} \quad \text{.....(9)}$$

$$計畫用水量=水稻計畫用水量+旱作計畫用水量 \quad \text{..(10)}$$

上式中，水稻計畫用水量之單位為 m^3；灌溉面積之單位為 ha；灌溉水深之單位為 mm；輸配水損失率之單位為%；旱作計畫用水量之單位為 m^3；計畫用水量之單位為 m^3。

依據 2014 年彰化管理處之灌溉計畫書，水稻一期作灌溉面積為 31,797 公頃，田間需水量為 56,237 萬 m^3；旱作一期作灌溉面積為 14,563 公頃，田間需水量為 22,297 萬 m^3；2014 年一期作水稻及旱作總面積為 46,360 公頃，總計畫灌溉用水量為 123,189 萬 m^3，單位面積灌溉用水量為 2.76 m。

5.2.3 嘉南管理處計畫灌溉用水量分析

嘉南管理處於計算計畫用水量時分為水稻、雜作和甘蔗，水稻面積會依據耕種制度調整，而在一期作水稻耕種面積屬於雙期作田，在二期作水稻面積有雙期作田及單期作田，故每年耕種面積會依據耕種制度進行調整。水稻面積會依灌溉水源有分成水庫及併用水源，在計畫灌溉用水量的面積則是採用由水庫水源的面積進行計算。

各灌區的管理處制定的用水標準，計算計畫灌溉用水量，而計算用水量時會分成整田期及本田期。整田期的田間需水量為灌溉面積乘上整田水深，單位為萬 m^3；本田期的田間需水量為灌溉面積除以基本灌溉率，單位為 CMS，計算出田間需水量後，再加上支分線消耗量和幹線消耗量，即為灌溉計畫用水量。嘉南管理處計算計畫用水量公式為：

$$整田期間計畫用水量=灌溉面積\times整田水深+(支分線消耗量+幹線消耗量)\times86400\times天數 \quad \text{.....(11)}$$

$$本田期間計畫用水量=(灌溉面積\div基本灌溉率+支分線消耗量+幹線消耗量)\times86400\times天數 \quad \text{..(12)}$$

$$計畫用水量=整田期間計畫用水量+本田期間計畫用水量 \quad \text{.....(13)}$$

上式中，整田期間計畫用水量之單位為 m^3；灌溉面積之單位為 ha；整田水深之單位為 mm；支分線消耗量之單位為 m^3/s；幹線消耗量之單位為 m^3/s；本田期間計畫用水量之單位為 m^3；基本灌溉率之單位為 $ha/m^3/s$；計畫用水量之單位為 m^3。

依據 2021 年嘉南管理處之灌溉計畫書，2021 年一期作水稻灌溉面積為 16,606 公頃時，計畫用水量為 23,506 萬 m^3，而單位面積計畫用水量為 1.42 m。春季第一次甘蔗及雜作之灌溉總面積為 42,662 公頃，總計畫用水量為 7,037 萬 m^3，單位面積計畫用水量為 0.16 m。春季第二次甘蔗及雜作灌溉總面積為 42,008 公頃，總計畫用水量為 6,738 萬 m^3，單位面積計畫用水量為 0.16 m。春季第三次甘蔗灌溉總面積為 16,054 公頃，總計畫用水量為 3,252 萬 m^3，單位面積計畫用水量為 0.2 m。一期作水稻、甘蔗和雜作灌溉總面積約為 59,268 公頃，總計畫用水量為 40,532 萬 m^3，單位面積計畫用水量為 0.68 m。

5.2.4 桃園、彰化及嘉南地區計畫灌溉用水量比較

桃園管理處 2020 年一期作計畫灌溉面積為 22,677 公頃，計畫灌溉用水量約為 26,967 萬 m^3，單位面積計畫灌溉用水量約為 1.18m；彰化管理處 2014 年一期作計畫灌溉面積為 46,360 公頃，其中水稻面積為 31,797 公頃，旱作面積為 14,563 公頃，計畫灌溉用水量約為 123,189 萬 m^3，單位面積計畫灌溉用水量約為 2.76m；嘉南管理處 2021 年一期作水稻、甘蔗和雜作灌溉總面積約為 59,268 公頃，計畫灌溉用水量為

40,532 萬 m^3，單位面積計畫灌溉用水量為 0.68 m。

將 2021 年桃園管理處、2014 年彰化管理處及 2021 年嘉南管理處之灌溉計畫書一期作水稻用水量進行比較，將用水量分成需求端及供給端，需求端為進入田間之用水量，即為田間需水量，而供給端為大圳及水庫的配水量，即為計畫灌溉用水量。由供給端，桃園管理處之計畫水稻灌溉面積為 22,677 公頃，田間需水量為 23,794 萬 m^3，單位面積田間需水量為 1.05 m；彰化管理處之計畫水稻灌溉面積為 31,797 公頃，田間需水量為 56,237 萬 m^3，單位面積田間需水量為 1.77 m；嘉南管理處之計畫水稻灌溉面積為 16,606 公頃，田間需水量為 17,271 萬 m^3，單位面積田間需水量為 1.04 m。由需求端，桃園管理處計畫用水量為 26,967 萬 m^3，單位面積計畫用水量為 1.18 m，但有效雨量深度為 0.24 m，最後加總單位面積計畫用水量為 1.42 m；彰化管理處計畫用水量為 87,870 萬 m^3，單位面積計畫用水量為 2.76 m；嘉南管理處計畫用水量為 23,506 萬 m^3，單位面積計畫用水量為 1.42 m。各管理處供給端與需求端比較，如表 3 所示，彰化管理處的單位面積需水量相較於其他兩個管理處高，而嘉南及桃園管理處雖然單位面積需水量相同與單位面積供給量相同，但桃園管理處在計算計畫用水量時，部分水源來自河水，而損失率僅計算水源來自水庫，故損失率應高於 26 %。

表 3　桃園、彰化及嘉南管理處於供給端與需求端之比較

管理處	單位面積田間需水量(m)	單位面積計畫用水量(m)	損失率
桃園	1.05	1.42	26%
彰化	1.77	2.76	36%
嘉南	1.04	1.42	27%

5.3 實際灌溉用水量

實際用水量為管理處於期作結束後統計取用水量紀錄，其會受到當期農民實際種植情況及水文豐枯情勢影響，因此通常小於計畫用水量。根據各灌區的一期作農作時程，桃園管理處採用 3 月上旬至 6 月下旬的資料，彰化管理處採用 2 月下旬至 6 月中旬，嘉南管理處採用 1 月下旬至 5 月中旬。由於實際灌溉用水量難判定其用水量是由水稻或旱作使用，故本研究以一期作實際耕種面積計算面積實際灌溉用水量，並與降雨量進行比較，一期作實際灌溉用水量統計如表 4 所示。

5.3.1 桃園管理處實際灌溉用水量分析

2014 年一期作水稻面積為 10,585 公頃，旱作面積為 3,766 公頃，實際取水量為 15,649 萬 m^3，單位面積實際用水量為 1.09 m，總降雨量為 708.5 mm；而 2014 年下半年水情不佳，且無颱風侵臺紀錄，故 2015 年一期作停灌休耕；2016 年一期作水稻面積為 14,536 公頃，旱作面積為 4,622 公頃，實際取水量為 16,079 萬 m^3，單位面積實際用水量為 0.84 m，總降雨量為 1,034 mm；2017 年一期作水稻面積為 14,665 公頃，旱作面積為 4,093 公頃，實際取水量為 10,259 萬 m^3，單位面積實際用水量為 0.55 m，總降雨量為

表 4　一期作實際灌溉用水量統計表

地區	年份	實際水稻面積 (ha)	實際旱作面積 (ha)	實際取水量 (10^4m^3)	單位面積實際用水量 (m)	降雨量 (mm)
桃園	2018	15,249	3,840	13,426.13	0.70	247.1
	2017	14,665	4,093	10,259.74	0.55	2,161.9
	2016	14,536	4,622	16,079.04	0.84	1,034
	2015	-	-	-	-	492
	2014	10,585	3,766	15649.63	1.09	708.5
彰化	2018	29,615	12,966	51,937.72	1.22	280.9
	2017	29,651	12,536	46,012.92	1.09	912.2
	2016	30,622	12,154	49,692.27	1.16	558.2
	2015	31,185	12,464	39,251.87	0.90	551.1
	2014	31,797	12,137	47,103.03	1.07	641.9
嘉南	2018	20,644	17,084	21,348.32	0.57	124.5
	2017	20,629	20,676	30,000.93	0.73	172.2
	2016	20,538	11,268	28,263	0.89	484.8
	2015	11,980	19,203	17,914.87	0.57	204.4
	2014	20,617	9,866	23,159.26	0.76	271.3

資料來源：農田水利會聯合會，2014、2016、2019。

JOURNAL OF TAIWAN AGRICULTURAL ENGINEERING
VOL. 68, NO. 4, DECEMBER 2022
DOI - 10.29974/JTAE.202212_68(4).0001

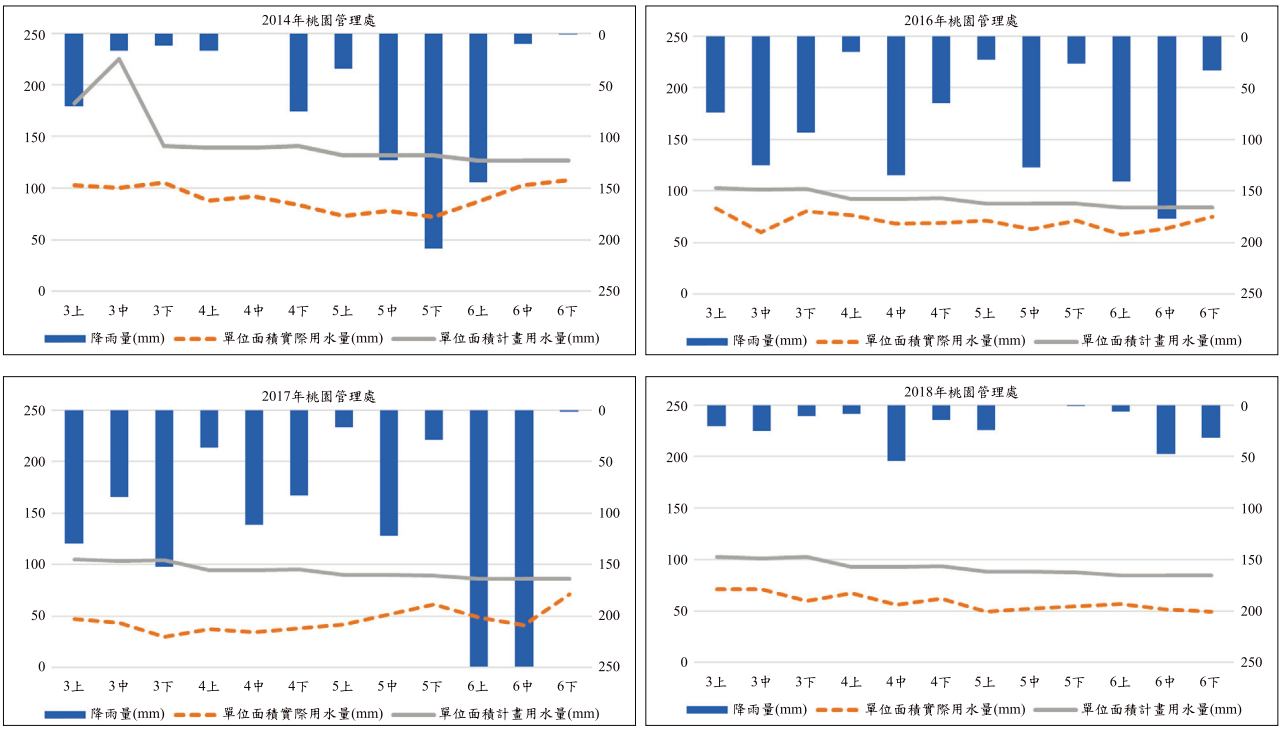

圖 4　桃園管理處計畫及實際單位面積用水量與降雨量關係圖

2,161.9 mm；2018 年一期作水稻面積為 15,249 公頃，旱作面積為 3,840 公頃，實際取水量為 13,426 萬 m^3，單位面積實際用水量為 0.7 m，總降雨量為 247.1 mm，如圖 4 所示，為 2014 年 2018 年間之單位面積計畫用水量及單位面積實際用水量，於 2014 年間 5 月下旬降雨量較多，故單位面積實際用水量減少，而在 6 月中旬至下旬因無降雨，故單位面積實際用水量有上升之趨勢；於 2016 年間一期作期間降雨較為豐富，故在單位面積實際用水量上無明顯之變化，而相較於 2014 年，其單位面積實際用水量亦較少；於 2017 年間 3 月上旬至 4 月下旬皆有降雨，故其單位面積實際用水量較無明顯變化，而在 5 月上旬及下旬，因降雨量降少，故單位面積實際用水量有上升之趨勢，另在 6 月期間因降雨豐富，故單位面積實際用水量有明顯下降之趨勢；於 2018 年間 4 月中旬、6 月中旬有較多降雨，故單位面積實際用水量些微下降，其餘期間無明顯之變化。

5.3.2 彰化管理處實際灌溉用水量分析

2014 年一期作水稻面積為 31,797 公頃，旱作面積為 12,137 公頃，實際取水量為 47,103 萬 m^3，單位面積實際用水量為 1.07 m，總降雨量為 614.9 mm；2015 年一期作水稻面積為 31,185 公頃，旱作面積為 12,464 公頃，實際取水量為 39,251 萬 m^3，單位面積實際用水量為 0.9 m，總降雨量為 551.1 mm；2016 年一期作水稻面積為 30,622 公頃，旱作面積為 12,154 公頃，實際取水量為 49,692 萬 m^3，單位面積實際用水量為 1.16 m，總降雨量為 558.2 mm；2017 年一期作水稻面積為 29,651 公頃，旱作面積為 12,536 公頃，實際取水量為 46,012 萬 m^3，單位面積實際用水量為 1.09 m，總降雨量為 912.2 mm；2018 年一期作水稻面積為 29,615 公頃，旱作面積為 12,966 公頃，實際取水量為 51,937 萬 m^3，單位面積實際用水量為 1.22 m，總降雨量為 280.9 mm，如圖 5 所示，為 2014 年 2018 年間之單位面積計畫用水量及單位面積實際用水量，於 2014 年 2 月下旬至 4 月下旬間，期間降雨量少，單位面積實際用水量明顯上升，其趨勢與單位面積計畫用水量相似，而在 5 月上旬至 6 月上旬期間有較多降雨，故單位面積實際用水量有明顯下降之趨勢，另在 6 月中旬因降雨量減少，而單位面積實際用水量上升；於 2015 年 5 月中旬至下旬期間降雨量多，故單位面積實際用水量有明顯下降之趨勢；於 2016 年 3 月上旬至下旬、4 月中旬、6 月上旬及中旬因有降雨，故單位面積實際用水量逐漸下降，而於 4 月上旬因降雨減少，故單位面積實際用水量上升；於 2017 年 5 月上旬因降雨量少，故單位面積實際用水量有上升之趨勢，而在 5 月中旬至 6 月中旬，期間因降雨量較多，故單位面積實際用水量有明顯下降之趨勢；於 2018 年一期作期間，僅在 5 月上旬、6 月上旬及中旬有較多降雨量，

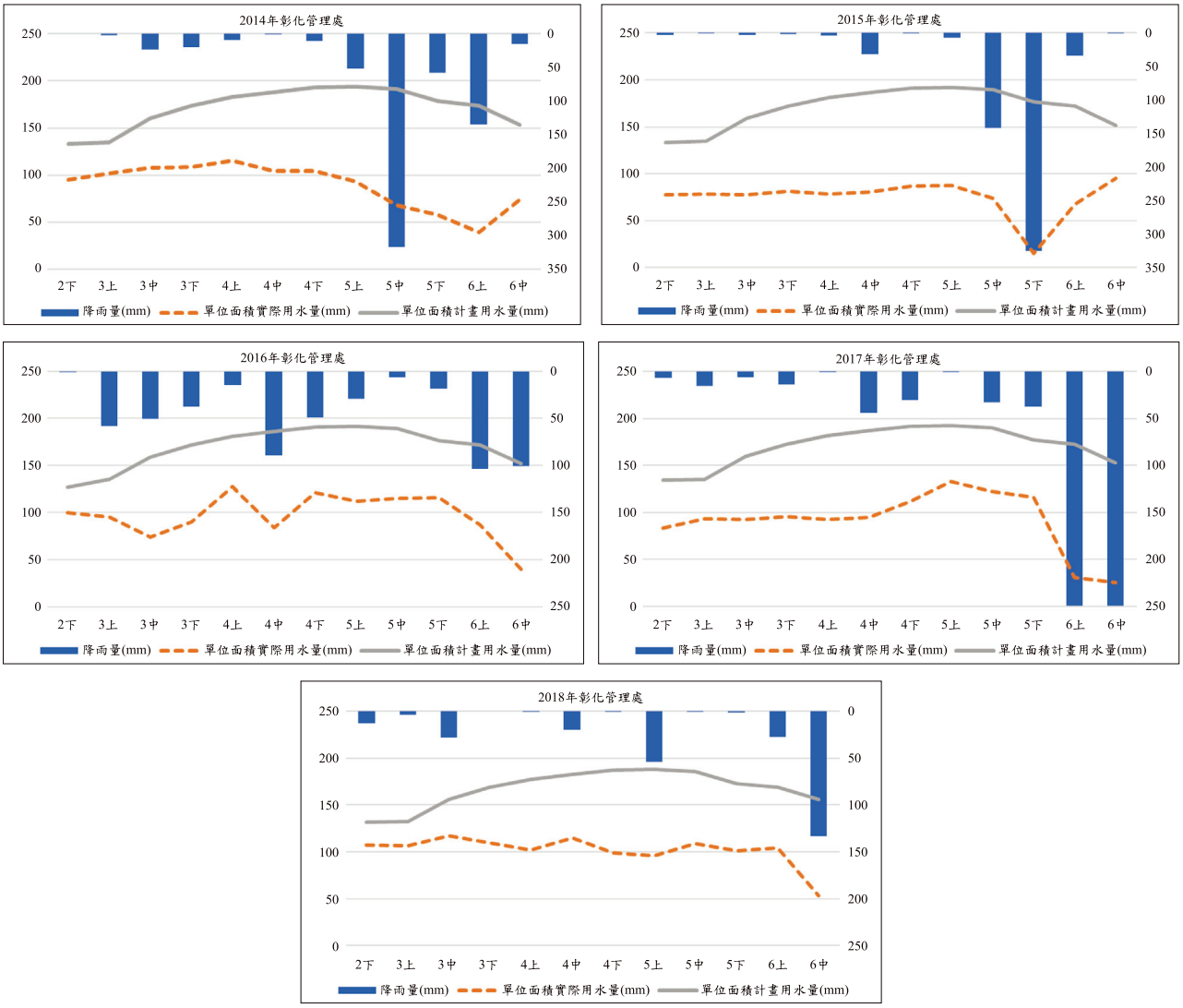

圖 5　彰化管理處計畫及實際單位面積用水量與降雨量關係圖

故在此期間單位面積實際用水量有明顯下降之趨勢，其餘期間較無明顯變化。

5.3.3 嘉南管理處實際灌溉用水量分析

2014 年一期作水稻面積為 20,617 公頃，旱作面積為 9,866 公頃，實際取水量為 23,159 萬 m^3，單位面積實際用水量為 0.76 m，總降雨量為 271.3 mm；2015 年一期作水稻面積為 11,980 公頃，旱作面積為 19,203 公頃，實際取水量為 17,914 萬 m^3，單位面積實際用水量為 0.57 m，總降雨量為 204.4 mm；2016 年一期作水稻面積為 20,538 公頃，旱作面積為 11,268 公頃，實際取水量為 28,263 萬 m^3，單位面積實際用水量為 0.89 m，總降雨量為 484.8 mm；2017 年一期作水稻面積為 20,629 公頃，旱作面積為 20,676 公頃，實際取水量為 30,000 萬 m^3，單位面積實際用水量為 0.73 m，總降雨量為 172.2 mm；2018 年一期作水稻面積為 20,644 公頃，旱作面積為 17,084 公頃，實際取水量為 21,348 萬 m^3，單位面積實際用水量為 0.57 m，總降雨量為 124.5 mm，如圖 6 所示，為 2014 年 2018 年間之單位面積計畫用水量及單位面積實際用水量，於 2014 年 3 月下旬、5 月上旬及中旬，期間因有較多降雨量，故在單位面積實際用水量上有明顯下降之趨勢，其餘期間因無明顯降雨，故單位面積實際用水量與單位計畫用水量變化趨勢相似；於 2015 年 2 月中旬開始降雨量不多，造成單位面積實際用水量上升，而僅在 4 月中旬、5 月中旬有較多降雨量，其單位面積實際用水量變化趨勢較緩；於 2016 年 3 月上旬至 4 月中旬皆有降雨量，故在 3 月上旬至下旬、4 月上旬間，單位面積實際用水量有下降之趨勢；於 2017 年 1 月下旬至 4 月上旬皆無明顯降雨，且因嘉南管理處實施加強灌

JOURNAL OF TAIWAN AGRICULTURAL ENGINEERING
VOL. 68, NO. 4, DECEMBER 2022
DOI - 10.29974/JTAE.202212_68(4).0001

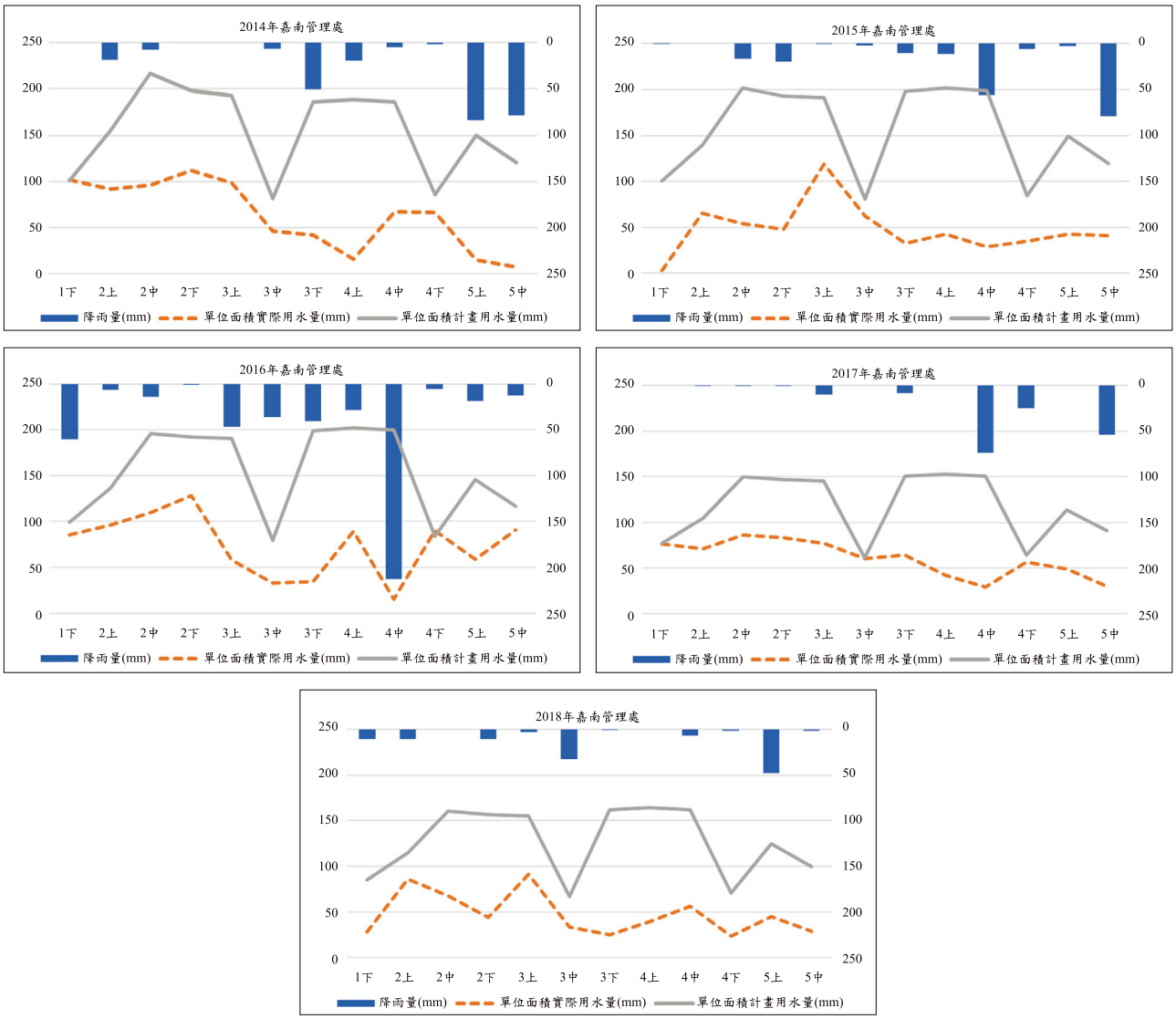

圖 6　嘉南管理處計畫及實際單位面積用水量與降雨量關係圖

溉管理，故在單位面積實際用水量上無明顯變化，而在 4 月中旬、5 月中旬有較多降雨量，故在單位面積實際用水量上有下降之趨勢；於 2018 年 1 月下旬至 3 月上旬皆無明顯降雨，且因嘉南管理處實施加強灌溉管理，故在單位面積實際用水量上無明顯變化，而在 3 月中旬因有較多降雨量，在降雨量大於 50 mm 時，單位面積實際用水量有明顯下降之趨勢。

5.3.4　桃園、彰化及嘉南管理處實際灌溉用水量比較

在降雨量與單位面積實際灌溉用水量上，桃園管理處在各旬資料上，降雨量與單位面積實際用水量有明顯之關係，於一期作期間，在 2018 年間因降雨量大，埤塘可儲存雨水，而當埤塘水量達可用水量時，可優先灌溉田區，故 2018 年實際灌溉用水量較少；彰化管理處在各旬資料上，降雨量與單位面積實際用水量有明顯之關係，於 2015 年 5 月、2017 年 6 月及 2018 年 6 月之降雨事件更為顯著；嘉南管理處在各旬資料上，因有掌水工制度，在各旬資料上，可發現有降雨時，單位面積實際用水量則會減少。

六、結論

本研究為探討桃園、彰化及嘉南地區之田間需水量及田間灌溉需水量，進行以模式推估田間灌溉用水量、計畫灌溉用水量及實際灌溉用水量之分析，並依據管理處灌溉計畫書及農田水利資料輯，研析計畫用水量及實際用水量與降雨量之關係。針對桃園、彰化及嘉南地區運用系統動力學模擬田間灌溉用水，以模

式推估田間灌溉用水量，在已知的氣候條件下，桃園地區一期作水稻田間需水量約為 0.823 ~ 0.892 m，其有效雨量佔田間需水量約為 60 ~ 70 %，排水量約為 11.8 ~ 64.81 mm；彰化地區一期作水稻田間需水量約為 0.801 ~ 0.874 m，其有效雨量佔田間需水量約為 0 ~ 17 %，排水量約為 486 ~ 728 mm；嘉南地區一期作水稻田間需水量約為 0.732 ~ 1.063 m，其有效雨量佔田間需水量約為 7 ~ 36 %，排水量約為 146.3 ~ 336.1 mm，綜合本研究分析結果，發現桃園地區因有埤塘調節儲存雨水，有效雨量約為田間需水量的 60 %，而彰化地區有效雨量最少，但其灌溉水會產生大量的排水量，故其計畫用水量會產生大量迴歸水，而在嘉南地區在加強灌溉管理模式下，其田間需水量較一般灌溉管理模式減少 0.098 ~ 0.235 mm，故其排水量亦之減少。

為分析各管理處計畫灌溉用水量，本研究考量各管理處耕種制度、灌區內當期作作物種類、預計耕種面積、土壤質地等因素，於桃園地區單位面積計畫用水量為 1.42 m，單位面積田間需水量為 1.05 m，損失率為 26 %；彰化地區單位面積計畫用水量為 2.76 m，單位面積田間需水量為 1.77 m，損失率為 36 %；嘉南地區單位面積計畫用水量為 1.42 m，單位面積田間需水量為 1.04 m，損失率為 27 %，綜合本研究分析結果，比較各管理處供給端與需求端，彰化地區於計畫灌溉用水量上預估較多用水量，故其損失率亦較高，而桃園地區與嘉南地區雖單位面積計畫用水量與田間需水量相似，其因桃園管理處在計算計畫用水量時，其部分水源來自河水，本研究損失率僅計畫水源來自水庫，故其損失率應高於 26 %。

本研究進一步探討實際灌溉用水量，依據農田水利資料輯統計實際灌溉用水量，分析單位面積實際灌溉用水量與降雨量之關係。綜合各項研究結果，桃園地區在各旬資料上，單位面積實際用水量與降雨量有顯著的關係，如 2014 年 3 月下旬，及 2016 年 3 月中旬、6 月上旬，以及 2017 年 3 月下旬、6 月上旬及 6 月中旬，而在 2018 年間因降雨量大，當埤塘水量達可用水量時優先灌溉田區，故實際灌溉用水量較少；在彰化地區各旬資料上，可發現在降雨量超過 100 mm 時，單位面積實際用水量有明顯下降，如 2015 年 5 月上旬、2016 年 6 月上旬及中旬，以及 2017 年 6 月上旬、中旬與 2018 年 6 月中旬；在嘉南地區各旬資料上，因嘉南管理處有掌水工制度，在實施灌溉管理後，可發現在降雨量大於 50 mm 時，單位面積實際用水量有明顯下降，如 2014 年 5 月上旬、中旬，及 2016 年 4 月中旬與 2017 年 4 月中旬。

本研究針對桃園、彰化及嘉南地區進行田間灌溉用水量、計畫灌溉用水量及實際灌溉用水量之分析，綜合上述研究得知，桃園管理處為河川型灌溉，由石門水庫經幹線支分線由河水堰引灌，另有埤塘可調配灌溉水源、蓄水以提升降雨量的使用率，其有效雨量佔田間需水量約為 60 ~ 70 %，損失率為 26 %；彰化管理處為河川型灌溉，灌溉水源由溪州鄉取自濁水溪，經由幹線支分線引灌至彰化西南地區，其有效雨量佔田間需水量約為 0 ~ 17 %，而在計畫灌溉用水量上預估較多用水量，故損失率亦較高，損失率為 36 %；嘉南管理處為水庫型灌溉，由曾文水庫及烏山頭水庫經幹線支分線進行引灌，其有效雨量佔田間需水量約為 7 ~ 36 %，損失率為 27 %，而南部地區水資源分布不均，為做水資源做最有效分配應用，以掌水工執行加強灌溉管理，田間需水量較一般灌溉管理模式減少，故排水量亦之減少。

綜合上述田間灌溉用水量、計畫灌溉用水量及實際灌溉用水量之分析，目前本研究僅針對桃園、彰化及嘉南地區之一期作田間水量進行分析，而為能掌握全年度田間水量之情形，了解地區田間需水量及其灌溉用水量，有必要進一步分析探討二期作田間需水量。另外，本研究在降雨量分析上，採用農田水利資料輯之資料為地區總降雨量，因降雨在時間及空間上分布不均，未來研究建議採用灌溉區域附近之降雨數據進行分析，以灌溉區域降雨資料，以提供更準確降雨量及實際灌溉用水量之分析。

參考文獻

1. He, G., Wang, Z., and Cui, Z., “Managing irrigation water for sustainable rice production in China,” *Journal of Cleaner Production*, Vol. 245, February, 2020.
2. Li, Jiamin, Inanaga, S., Li, Z., and Eneji, A. E., “Optimizing irrigation scheduling for winter wheat in the North China Plain,” *Agricultural Water Management*, Vol. 76, No. 1, pp. 8-23, July, 2005.
3. Liu, M., Lin, S., Dannenmann, M., Tao, Y., Saiz, G., Zuo, Q., Sippel, S., Wei, J., Cao, J., Cai, X., Butterbach-Bahl, K., “Do water-saving ground cover rice production systems increase grain yields at regional scales,” *Field Crops Research*, Vol. 150, pp. 19-28, August, 2013.
4. Materu, S.T., Shukla, S., Sishodia, R. P., Tarimo, A., and Tumbo, S. D., “Water use and rice productivity for

DOI - 10.29974/JTAE.202212_68(4).0001

irrigation management alternatives in Tanzania," *Water*, Vol. 10, No. 8, August, 2018.

5. Thakur, A. K., Mohanty, R. K., Patil, D. U., and Kumar, A., "Impact of water management on yield and water productivity with system of rice intensification (SRI) and conventional transplanting system in rice," *Paddy and Water Environment*, Vol. 12, No. 4, pp. 413-424, October, 2014.
6. Yoo, S. H., Choi, J. Y., Lee, S. H., Oh, Y. G., Koun, Y. D., "Climate change impacts on water storage requirements of an agricultural reservoir considering changes in land use and rice growing season in Korea," *Agricultural Water Management*, Vol. 117, pp. 43-54, January, 2013.
7. 甘俊二、陳清田、陳焜耀，「台灣地區作物需水量推估模式之合適性」，農業工程學報，第 42 卷第 2 期，pp. 8-19，1996。
8. 交通部中央氣象局，「108 氣候年報」，交通部中央氣象局，2019。
9. 行政院農業委員會農田水利署桃園管理處，「行政院農業委員會農田水利署桃園管理處」網頁，https://www.iatyu.nat.gov.tw/intro.asp。
10. 行政院農業委員會農田水利署彰化管理處，「行政院農業委員會農田水利署彰化管理處」網頁，https://www.iachu.nat.gov.tw/iachu/view.php?theme=web_structure&id=60。
11. 行政院農業委員會農田水利署嘉南管理處，「行政院農業委員會農田水利署嘉南管理處」網站，https://www.iacna.nat.gov.tw/INTintro.aspx。
12. 林羿汝、邱儀婷、陳清田、李振誥，「灌溉管理操作對水稻生長期距及灌溉用水效能影響之研究」，農業工程學報，第 63 卷第 2 期，pp. 35-48，2017。
13. 林喬莉，「以系統動力模式評估水田埤塘灌溉系統」，國立中央大學土木工程學系碩士論文，2010。
14. 林慧娟，「灌溉管理模式對水旱田灌溉用水量之影響分析」，國立中興大學土木工程學系碩士論文，2017。
15. 許晃雄、周佳、陳維婷、羅敏輝、李明安、洪志誠、鄒治華、盧孟明、洪致文、陳正達、鄭兆尊，「臺灣氣候變遷科學報告 2017-物理現象與機制」，科技部，2018。
16. 許良瑋，「桃園埤塘輪灌系統之模擬分析」，國立中央大學土木工程學系碩士論文，2011。
17. 許睿翔，「水田埤塘之系統動力模式」，國立中央大學土木工程學系碩士論文，2006。
18. 張聖瑜，「田間精密灌溉用水模式及管理機制之建立」，國立中央大學土木工程學系碩士論文，2015。
19. 張煜權，灌溉計畫，輔導農田水利會業務改進研討會，2005。
20. 陳佩螢，「建立水旱作混植區之地表水與地下水聯合灌溉管理模式」，國立中央大學土木工程學系碩士論文，2017。
21. 陳貞臻，「作物耕作方式及灌溉方式調整對灌溉用水調配效能影響之研究」，國立嘉義大學土木與水資源工程學系碩士論文，2021。
22. 鄭安成，「嘉南地區加強灌溉管理實務探討」，國立中央大學土木工程學系碩士論文，2018。
23. 謝仲霖，「桃園埤塘灌溉系統調蓄能力分析」，國立中央大學土木工程學系碩士論文，2019。
24. 經濟部水資源局，研擬合理農業灌溉用水標準 (III) 及農業用水調配之可行方案研究，1997。
25. 經濟部水利署，「108 年各標的用水統計年報」，經濟部水利署，2019。

收稿日期：民國 111 年 02 月 18 日
修改日期：民國 111 年 09 月 23 日
接受日期：民國 111 年 10 月 18 日