

國立台灣大學工學院土木工程學系

碩士論文

Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

考慮三生效益下枯旱時期最佳休耕區域及面積之研究

The Study on Optimal Decision for Area and Location  
of Fallow with Consideration to Environmental,  
Ecological and Productive Functions in the Drought  
Period

吳潔舒

Chieh-Shu Wu

指導教授：徐年盛 教授

Advisor : Prof. Nien-Sheng Hsu, Ph.D.

中華民國99年7月

July, 2010

## 致謝

承蒙恩師徐年盛教授悉心指導，解惑無數，使本文得以順利完成，浩蕩師恩，學生銘感五內。不僅在課堂上，老師將畢生所學授與學生；而在生活上，老師也分享許多人生的經驗，使我在兩年的碩士班生涯中，不僅獲得了許多專業領域上該有的知識以及做研究的經驗，在待人接物以及處事的態度也有了不同的體會。

接著感謝鄭文明學長及陳敬文學長指導學生於論文上的寫作技巧，更耐心指導學生修正補強論文內容，深表謝意。於論文口試期間，感謝生工所張斐章老師、劉振宇老師、海大廖朝軒老師，以及成大周乃昉老師細心審查，提供寶貴意見與建議，使本文更加完備，還有感謝彰水會的林俊杰大哥及雲水會的姚文成股長、劉茂梓學長現場經驗以及資料的分享。

再來感謝從大學時期一路陪伴我的小賴、阿光、蚯蚓、小魚、大頭、甜甜、耀南、少芄、天立、詩雅、政隆及我家的包子。而在台大求學生涯中，很開心有永鈴、永鳳、小猴、婉玲、安格斯、小桂及文立的陪伴，使我的心靈得以豐富不枯乏。台大生涯中，最感謝同研究室的學長阿強、鑫儒、佳堯、上田、旻璋和建霖六位學長，在我的求學過程中給予鼓勵及指導。還有一起努力的艾芸、竣文、承甫、伯穎、郁寰及智傑...等人，以及文晞、仁甫、怡安、敦琪四位可愛的學弟妹給予我精神上的鼓勵。

最後感謝我的家人，在我十八年的求學生涯中，不斷地對我付出和關心，使我順利完成學業，僅以本文獻給所有支持我的人。

## 摘要

本研究考量農業生活、生態、生產即三生之效益，在不同枯旱程度供水情境，以休耕優選模式評估在不同超越機率下，最佳配水量以決定最佳休耕面積及位置，獲得最大之農業三生效益。本研究首先分析濁水溪灌區與集集攔河堰用水特性，透過水文統計資料尋找集集攔河堰入流量資料機率之最適分布，並經由其最適機率分布求出各超越機率下相對應之流量，以計算不同超越機率流量，進而評估不同枯旱程度下之供水情形。本研究以幹渠輸水損失優選模式為基礎加入農業三生及休耕考量因素，建立休耕優選模式，該模式應用於濁水溪灌區所得農業供灌系統現況總效益約為540億元，其中生活及生態效益佔總效益之76%，生產值僅佔總效益之24%，而其總效益隨著入流量超越機率上升而有下降之趨勢。

## Abstract

In this study, the optimal decisions for agricultural benefits, area and location of fallow with consideration to environmental, ecological and productive functions in the drought period are obtained and estimated by the optimal drought model in the scenarios of different exceed probability of river discharge. The characteristics of water usage in the study area are analyzed and the appropriate probability distributions of river discharge to Ji-Ji weir are obtained for generating river discharge of each time step to calculate and assess the results of water supply in different drought situations when river discharges are generated with some exceed probabilities (50% to 90%). The optimal fellow model is constructed on the base of water transportation loss and consideration to environmental, ecological and productive functions, and the analytical result shows that in the study area the total benefits are 54 billion dollars. In the total benefits, the benefits of environmental and ecological functions occupy 76% and the benefit of productive function occupies 24%, and the total benefits decrease as the exceed probability of river discharge increases.

# 目錄

致謝 .....	i
摘要 .....	ii
Abstract.....	ii
目錄 .....	i
表目錄 .....	iv
圖目錄 .....	v
第一章 緒論 .....	1
1.1 研究動機 .....	1
1.2 文獻回顧 .....	2
1.2.1 優選模式 .....	2
1.2.2 農業三生效益 .....	3
1.2.3 乾旱及休耕策略 .....	4
1.3 研究目的 .....	6
1.4 研究架構及步驟 .....	6
第二章 模式建立及求解方法 .....	8
2.1 水田三生機能效益評估 .....	9
2.1.1 生產效益量化指標 .....	9



2.1.2	生活效益量化指標.....	9
2.1.3	生態效益量化指標.....	13
2.2	休耕優選模式之系統概念化及公式化.....	14
2.2.1	模式架構之概念圖.....	14
2.2.2	目標方程式.....	15
2.2.3	限制式.....	16
第三章	模式應用.....	24
3.1	研究區域概況.....	24
3.1.1	濁水溪流域概況.....	25
3.1.2	濁水溪沖積扇概況.....	27
3.1.3	濁水溪灌區概況.....	27
3.2	濁水溪灌區輸水損失推求.....	33
3.2.1	輸水損失優選模式建立.....	33
3.2.2	輸水損失推求及分析.....	34
3.3	模式應用之情境設定.....	36
3.3.1	各超越機率入流量之計算.....	37
3.3.2	適合度檢測(Goodness-of-fit test).....	42
3.3.3	最適機率之分布.....	43
3.4	休耕優選模式之應用.....	46

3.4.1 情境一運用結果與分析 .....	48
3.4.2 情境二運用結果與分析 .....	56
3.4.3 情境三運用結果與分析 .....	66
3.4.4 各情境分析結果比較 .....	76
四、結論與建議 .....	81
4.1 結論 .....	81
4.2 建議 .....	82
參考文獻 .....	83
附錄 .....	1
附錄一 各項標號之說明 .....	附錄-1
附錄二 模式應用之情境二各項效益表 .....	附錄-6
附錄三 模式應用之情境三各項效益表 .....	附錄-10



## 表目錄

表2.1 關渡地區水田二氧化碳吸收量 .....	10
表2.2 水稻耕作時之甲烷釋出 .....	11
表2.3 關渡地區水田氧氣釋放量 .....	12
表3.1 彰化幹渠損失係數表 .....	35
表3.2 雲林幹渠損失係數表 .....	35
表3.3 彰化支渠損失係數表 .....	35
表3.4 雲林支渠損失係數表 .....	35
表3.5 Kolmogorov-Smirnov適合度檢測臨界值 .....	42
表3.6 各旬流量之最適機率分布 .....	44
表3.7 各超越機率於各旬別之流量分布示意圖 .....	45
表3.8 濁水溪區域歷年耕作面積表 .....	50
表3.9 濁水溪區域於休耕優選模式下歷年耕作面積表 .....	51
表3.10 休耕優選模式所得總效益之效益表 .....	53
表3.11 各灌區二氧化碳( $CO_2$ )調節之效益 .....	53
表3.12 各灌區甲烷( $CH_4$ )減少之效益 .....	54
表3.13 各灌區氧氣( $O_2$ )調節之效益 .....	54
表3.14 各灌區生物去除量( $BOD$ )調節之效益 .....	55
表3.15 各灌區調蓄洪水之效益 .....	55
表3.16 情境二各超越機率下各灌區效益 .....	58
表3.17 情境三各超越機率下各灌區效益 .....	68

## 圖目錄

圖 1.1 研究架構流程圖 .....	7
圖 2.1 休耕優選模式系統概念圖 .....	8
圖 2.2 水資源供需系統示意圖 .....	15
圖 3.1 濁水河流域及其及沖積扇地理位置圖 .....	24
圖 3.2 集集攔河堰日平均入流量統計圖 .....	26
圖 3.3 集集攔河堰月平均入流量統計圖 .....	26
圖 3.4 彰化水利會灌區分布圖 .....	28
圖 3.5 彰化縣轄區內濁水河流域灌溉系統圖 .....	29
圖 3.6 彰化農田水利會各工作站之作物制度分布 .....	30
圖 3.7 雲林水利會灌區分布圖 .....	31
圖 3.8 雲林縣轄區內濁水河流域灌溉系統圖 .....	32
圖 3.9 雲林農田水利會各工作站之作物制度分布 .....	32
圖 3.10 輸水損失優選模式之供水量比較圖 .....	35
圖 3.11 休耕優選模式建立流程圖 .....	37
圖 3.12 各超越機率於各旬別之流量分布示意圖 .....	43
圖 3.13 彰化及雲林灌溉系統示意圖 .....	46
圖 3.14 彰化及雲林灌溉系統編碼示意圖 .....	47
圖 3.15 情境一流程圖 .....	49
圖 3.16 歷年耕作面積與模式面積比較圖 .....	50
圖 3.17 生產效益下耕作面積與農業三生下面積比較圖 .....	51
圖 3.18 情境一各項效益比例表 .....	52
圖 3.19 情境二流程圖 .....	57
圖 3.20 情境二各超越機率入流量下三生效益計算結果圖 .....	59
圖 3.21 情境二各超越機率入流量下休耕面積比例圖(一期作) .....	60
圖 3.22 情境二超越機率入流量下休耕面積比例圖(二期作) .....	60
圖 3.23 情境二超越機率50%入流量之休耕面積及位置 .....	61
圖 3.24 情境二超越機率60%入流量之休耕面積及位置 .....	62
圖 3.25 情境二超越機率70%入流量之休耕面積及位置 .....	63

圖 3.26	情境二超越機率80%入流量之休耕面積及位置 .....	64
圖 3.27	情境二超越機率90%入流量之休耕面積及位置 .....	65
圖 3.28	情境三流程圖 .....	67
圖 3.29	情境三各超越機率入流量下三生效益計算結果圖 .....	69
圖 3.30	情境三各超越機率入流量下休耕面積比例圖(一期作) .....	70
圖 3.31	情境三各超越機率入流量下休耕面積比例圖(二期作) .....	70
圖 3.32	情境三超越機率50%入流量之休耕面積及位置 .....	71
圖 3.33	情境三超越機率60%入流量之休耕面積及位置 .....	72
圖 3.34	情境三超越機率70%入流量之休耕面積及位置 .....	73
圖 3.35	情境三超越機率80%入流量之休耕面積及位置 .....	74
圖 3.36	情境三超越機率90%入流量之休耕面積及位置 .....	75
圖 3.37	情境一與情境二效益比較(一期作) .....	76
圖 3.38	情境一與情境二效益比較(二期作) .....	77
圖 3.39	情境一與情境三之效益比較(一期作) .....	78
圖 3.40	情境一與情境三之效益比較(二期作) .....	78
圖 3.41	情境二與情境三之效益比較(一期作) .....	79
圖 3.42	情境二與情境三之效益比較(二期作) .....	80
圖 3.43	情境二與情境三地下水貢獻效益 .....	80



# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機

台灣有著特殊的地理環境，尤其山地地形佔其總面積的三分之二，並且大部分地勢陡峻、河川的河床比降有極大的變化，導致水流湍急、水資源停留時間短並且容易流入海中，難以貯蓄水資源以供長時間利用。加上，台灣雖有著年平均約2,500mm的豐沛降雨量，但在時間及空間上之分配卻極為不均，佔總降雨量78%的豐水期僅降於每年5月至10月間的梅雨與颱風活動期間，然而枯水期的雨量卻僅佔22%，因此，台灣地形與降雨量的影響，造成枯水期期間的水資源利用上的困難、而發生缺水的危機。近年來，更浮現出全球氣候變遷的影響，頻頻發生異常的水文氣象，很可能加深目前台灣水資源存在的問題，甚至造成嚴重的水荒。

除了台灣地理環境因素的影響之外，社會的進步發展也使得需水量增加，有限的水資源也面臨不敷使用的問題，因此，政府為了改善水資源使用的問題，在政策上有以農業休耕轉作之方式，來移轉農業用水，作為公共用水之使用。

以農立國的台灣在水資源的使用上常以農業為最大宗，而在灌溉用水中又以水稻作物的需水量為主要用水量。礙於水稻種植特性，在用水效率上必須先決定可耕作面積，以減少因缺水造成植物缺水乾死無法收成之情形。然而，近期台灣地區水資源環境和保育意識已大幅改變，單純農業生產觀念之效益評估已不敷現今多元社經的需求，因此，本研究將考量農業生活、生態、生產之效益，在不同之供水情境下，以休耕優選模式，來評估在不同之超越機率入流量、推估最佳之供水量，進而決定最佳休耕面積及位置，以達到最大農業三生效益之目的。

## 1.2 文獻回顧

本研究之目的在於建立一休耕優選模式，以考量各供灌調配情境下，最大農業三生效益的最佳休耕面積及位置。一般而言，在分析水資源調配問題時之模式工具，較常被採用者包括模擬模式、優選模式等。本研究為由供水效益最大化，故採用優選模式作為分析水資源在三生效益下之最佳結果呈現，因此本文獻回顧以優選模式、農業三生之效益以及氣候變遷下休耕之判斷作為文獻回顧之主軸呈現。

### 1.2.1 優選模式

優選模式是一種可將系統內各限制條件和平衡方程式以數學式清楚表示，並根據系統架構所設定之目標函數求得水資源系統之最佳運用方式(系統之最佳解)。優選模式在應用上，較普遍的有線性規劃(Linear Programming, LP)、動態規劃(Dynamic Programming, DP)、網流法(Network Flow, NF)、整數規劃(Integer Programming, IP)等模式。上述模式中，利用線性規劃可用來處理目標函數(objective function)及限制式(constraint)皆為線性化後之優選模式，根據優選模式之求解結果可視為全域之最佳解(global optimization)。利用線性規劃模式進行研究水資源調配問題(如區域性灌溉水源調配問題)可建構出一套最佳水量調配之優選模式，採用此模式可求解在優選模式下產生的最大收益(如農耕收益最大或成本最少或推估在農業三生下效益最大等其他目標收益)或最小損失(如遇缺水所造成之農業損失最小等其他損失)。由於線性規劃法具有將模式簡單化之功能外，其所求解之結果為解空間之最佳解，故常用於求解水資源規劃問題的形式之一，以求水資源之最佳利用並產生最高效益。

張斐章等(1990)利用序率線性規劃模式研擬水庫配合農業用水的最佳運轉策略，並以日月潭水庫配合集集站下游之農業用水量之決定為研究範例，求得任一時期水庫及入流量於各種不同的情況下，水庫之最佳放水策略；Crawley and Dandy(1993)以線性規劃法進行地表水權模擬分析之研究；

杜明彥(1996)利用線性規劃法進行地表水權模擬之研究；周乃昉等(1998)以線性規劃法建立南部地區地表水與地下水聯合運用模式，假設水質穩定下，根據不同的水文狀況，考慮不同的水資源調配策略進行水量調配模擬，以瞭解在不同的水資源調配策略下實際配水的情形並比較其差異；簡傳彬等(2000)利用線性規劃法，在桃園農田水利會的光復圳灌區來建構一個整合埤塘、水庫、回歸水及攔河堰等水源的最佳調配模式，以達到最大農業收益為目標求的最佳調配方式；Chandramouli and Raman (2001)以動態規劃為基礎的類神經網路系統建立一多水庫聯合操作模式；黃成龍(2004)以線性規劃發展南化水庫、旗山溪及高屏溪流域水資源最佳聯合調配模式，並評估南化水庫與高屏溪攔河堰聯通管路之效益；鄭文明(2005)採用線性網流模式建立一埤塘灌溉系統水源調配之優選模式，並依照優選結果提出埤塘擴充位置；陳依琳(2008)亦利用線性規劃分析石門淨水場及鄰近埤塘擴充之效益。

### 1.2.2 農業三生效益

水田之外部性機能包括蓄洪防災、地下水補注、減輕地層下陷社會成本、氣溫調節、空氣淨化、水質淨化、提供生活用水不足等各項公益機能。近年因公共給水及工業用水競爭有限之水資源，導致農民休耕，實際種植水稻面積已不到三十萬公頃。水稻田除了生產性之功能外，尚存在生活上及生態上之機能，如調蓄洪水、降低洪峰流量、調節微氣候及淨化環境等，因此本研究主要在量化水稻田之生態功能，作為水資源使用依據並合理推估水稻田休耕面積及位置。水稻田主要是利用其與大氣和土壤之熱量、水氣交換以調節氣候，除了因溫度差所產生的可感熱流(Sensible Heat)外，在蒸發散水分的過程中，也會產生蒸發潛熱流(Latent Heat)，因此可以調節周圍環境之溫度與濕度，可替代或減少空調系統的使用，達到省電與節能的效果。

蔡明華與林永德(1994)根據水田灌溉之實態分析及參考以往國內外之文獻，將水稻田灌溉所具有之各項機能，歸納為「生產性機能」、「生態

性機能」、「生活性機能」等三類；甘俊二等(1997)提出水田即是水庫配合農業用水架構，因水田為面積廣而水淺之天然水庫，能將水資源有效利用，此即為三生農業之芻議觀點；房志懿(2005)探討水稻田之生態功能，量化其調節微氣候與吸收二氧化碳之效果，利用模擬結果評估水稻田調節微氣候之效果，換算水稻田可節省電量並評估水稻田之二氧化碳吸收量對我國二氧化碳減量目標之貢獻；Chang and Ying (2005)利用條件評估法評估台灣水稻田外部效益，結果顯示台灣人民對水稻田外部效益已有認知且平均每年每戶願意支付新台幣1,777.92元來維持水稻田之水源涵養與防止土壤沖蝕機能；Huang et al. (2006)評估台灣地區水稻田多功能效益，包含減輕洪水災害、涵養水源、防止土壤侵蝕、水質淨化、大氣調節、空氣淨化及休閒娛樂等七項機能，以替代法、假想市場評價法與旅遊成本法將上述七項機能量化及貨幣化；劉振宇(2008)水田三生功能分析及經濟效益包含農業生產、生態及生活各項之評估。

### 1.2.3 乾旱及休耕策略

現行之水文乾旱造成缺水之應變手段大多透過農田大面積休耕以解決缺水問題，但仍缺少長期之農業休耕規劃與缺水管理措施，例如：如何決定休耕範圍、位置及時機等。

由於目前缺乏合理之長期農業休耕規劃與缺水管理措施，又農田休耕已成為經常性乾旱缺水之應變手段，故本研究主要提出農業灌區在不同水文超越機率下之休耕地區及面積，並考慮農業灌區之用水特性及用水調配的準則，再透過模擬各種調配準則，評估該準則下之休耕區域與範圍對農業用水管理的衝擊，以作為後續擬定休耕政策與農業乾旱管理之參考。

乾旱為雨水匱乏而產生之水文現象，在水資源管理中可從不同層面來定義不同類型之乾旱，當實際的降雨帶來的空氣濕度比氣候產生的空氣濕度低，稱為氣象乾旱(Palmer, 1965)；當土壤濕度無法與蒸發散平衡將會導致作物無法維持生長，用土壤含水量及植物生長狀態為特徵所定義之乾旱

則稱為農業乾旱(Changnon, 1987)；降水量與地表水及地下水之總量收支不平衡所造成的異常水分短缺現象稱之水文乾旱(Changnon, 1987)；林俊男(1993)在進行休耕時，休耕區域選定可考慮田間滲漏量、田間給水成數、渠道損失等主要因子，並輔以其他次要因子進而決定安排停灌之次序；蔡天雄(1996)，若是決定之休耕區域分布越零散，則休耕可釋出的水量將越小原因為零星區塊的休耕，圳路仍必須維持通水，水源管制困難，對於農業用水釋出並無太大績效；Laura and William (2002)考慮土地用途分配、水稻、畜牧業生產以及綠色補貼價格之考量；林尉濤(2002)，因為農業原已有明顯用水不足之現象，除了政府單位既定之農糧政策所造成之休耕事件外，上有因乾旱導致休耕情況發生；郭家淦(2002)在極端氣候下事先預估農業最佳休耕面積以減少缺水損失，如反聖嬰南方震盪下農業最佳休耕面積之推估；徐元棟(2003)，政策性停止供灌，宣導集團大面積休耕、轉作，以節餘出更多的水量；李源泉(2005)目前休耕採人民自願方式進行，應設法改變為「強制性集團式」休耕轉作方式，始能達到既減產稻米，又能節餘水資源之雙贏局面；溫在弘(2006)以現況乾旱管理措施，模擬近年各標的間用水轉移之現象評估各標的之風險轉移，如標的間用水移轉對區域乾旱缺水風險分布之影響；張筱惠(2006)利用序率優勢方法決定出最佳調配原則，建立並分析農業乾旱缺水潛勢；王世復(2006)探討休耕面積與可節餘水率的關係，評估不同休耕區域之空間分布對於灌溉水量的影響，並以空間分佈型態為基礎建立休耕節水效率評估指標。

### 1.3 研究目的

彰化及雲林地區產業以農業為主，農業灌溉用水以濁水溪流域水源為主要來源，且彰雲地區目前尚無地面水庫等設施以供蓄水，灌溉用水透過南北岸聯絡渠道引集集攔河堰引水量，集集攔河堰所引水量為濁水溪之川流水，故此區用水受季節豐枯影響劇烈。又礙於近年極端氣候影響，乾枯差異大，本研究在農業生活、生態、生產之效益考量下，於不同之供水情境以休耕優選模式評估不同之超越機率下最佳之供水量，決定最佳休耕面積及位置，並計算出最大之農業三生效益。

### 1.4 研究架構及步驟

本研究建立休耕優選模式，以農業供灌系統在三生效益為前提下，評估集集攔河堰引水量不同枯旱程度時，規畫出最佳的休耕面積及位置以獲得最大效益。

研究方法分三大部分，第一：蒐集、歸納集集攔河堰運轉以來歷年之引水資料及濁水溪各灌區農業引水量、耕作面積、渠道輸水限制、各灌區需水量等資料；第二：蒐集農業三生之生產、生態及生活效益之計算評估方式及相關評估指標，將其納入耕作與休耕間效益之考量，並藉由休耕優選模式，在各供水情境下判斷最佳休耕面積及位置，使三生效益最大化；第三：透過水文統計分析歷年流量資料，並尋找各旬流量資料之最適分布，依其最適分布產生各超越機率下之入流量，得以推估農業供灌系統在不同超越機率之休耕面積及位置。茲將研究流程如圖1.1所示。

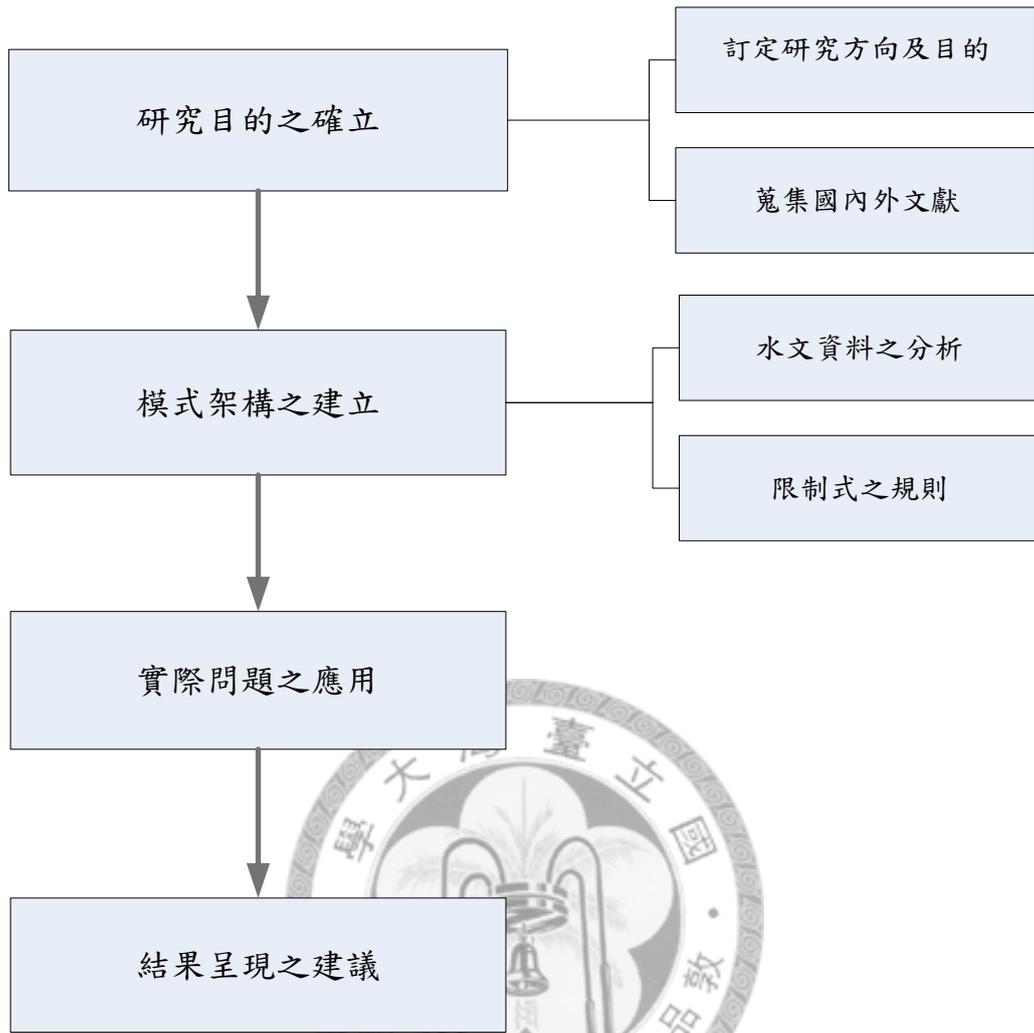


圖1.1 研究架構流程圖

## 第二章 模式建立及求解方法

本研究為決定各超越機率入流量下、能達到三生效益最大化的最佳之休耕面積及位置，而建立一休耕優選模式。在模式建立之前，首要工作為蒐集研究區域之模式輸入所需資料，包括歷年河川流量資料、灌區需水量資料、輸水渠道基本資料、灌區耕作面積及其他評估三生效益所需資料等，相關資料參考李光敦(2004)、李天浩(2008)及農委會網站，其中，歷年流量資料尚須經過機率統計適合度檢測，以供計算各超越機率入流量之用。圖2.1為本研究休耕優選模式建立流程圖，茲將計算各超越機率入流量情況下的水田三生機能效益評估、以及休耕優選模式之系統概念化和公式化，詳述如后。

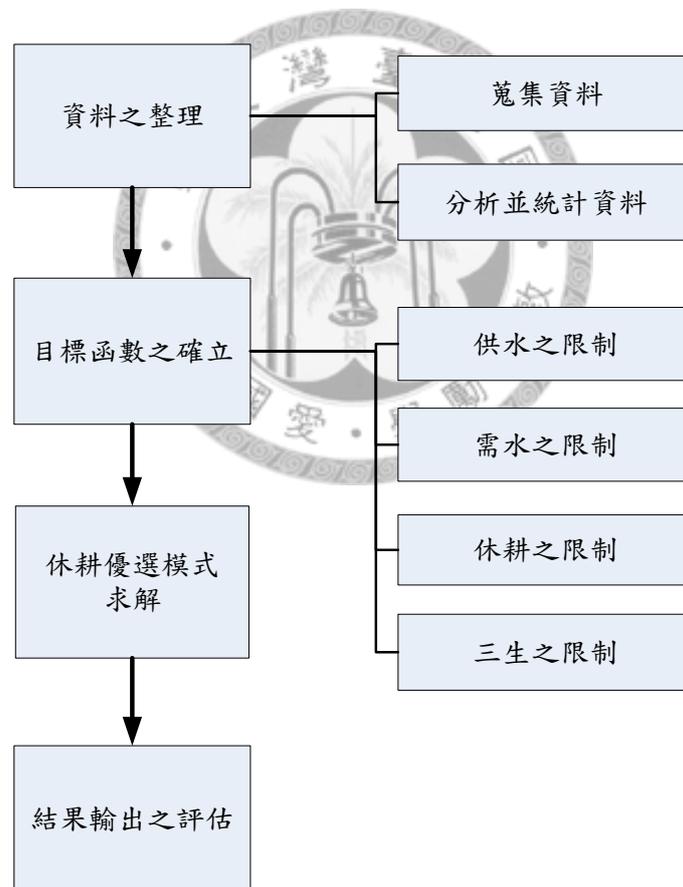


圖2.1 休耕優選模式系統概念圖

## 2.1 水田三生機能效益評估

本研究之休耕優選模式除考慮水田本生種植效益外，亦加入台灣水田三生機能與其效益分析，並合理探討內外部效益之經濟價值。水田在農業三生機能方面，包含生產性、生態性及生活性機能。其中生產性屬於內部效益，主要受益對象為稻農，一般以往吾人僅注意到此部分面向，而忽略因種植稻作帶來生態及生活效益。近年由於氣候變遷異常，使得水資源時空分布愈發不均勻，尤以公共用水(民生及工業用水)需求提高及農業政策改變，遂轉移農業用水以滿足公共用水需求；而農業用水中又以灌溉用水為最大宗，當農業供水量不能滿足需水量導致部分水田休耕，則水田三生效益亦受影響，故本研究之休耕優選模式茲將評估三生效益所使用之量化指標介紹如后。

### 2.1.1 生產效益量化指標

台灣以稻米為主要糧食來源，為提升稻米生產品質及產量，有效率使用水資源以提升水田耕作面積、栽培技術稻米品質以及產量。關於生產效益部分，本研究將分析台灣水稻田耕作面積、生產產值及產值變化，評估稻米生產所帶來之內部效益。

### 2.1.2 生活效益量化指標

水田於生活上之機能，可提供淨化空氣及水質等效益，如下所示。

#### 一、溫室氣體

自工業革命以來，人類對大然環境的影響甚鉅，工業革命後產生大量的溫室氣體，帶來的溫室效應除影響地球氣候外還造成地球暖化之風險。

水田對於溫室氣體之吸收，係透過大面積作物之栽培吸收二氧化碳，對於減少溫室氣體有顯著功效，但在水稻生長期間亦會釋出甲烷，是因為水田在耕作期間，具有氧化層的包含水層外、根圈及土壤表層，其餘皆為

無氧狀態，故甲烷之釋出量多寡將對氣候變遷及溫室效應造成影響。故本研究為公正評估三生之效益亦將甲烷釋出量造成之效益損失加入考量，以合理評估三生之效益。

吳富春(2004)以二氧化碳流通量模式，估計關渡地區水田之二氧化碳吸收量如表2.1所示，本研究取其平均值數據以推估水田吸收二氧化碳之效益，計算式如(2.2)式；經濟價值則以二氧化碳減量成本平均約為1,960元/ton(李國忠，2000)估算，由於二氧化碳與甲烷釋出量與田面湛水相關，故以灌溉天數90天估算之。計算式如下所示：

$$\text{一期CO}_2\text{效益(元)} = 715(\text{kg/ha/day}) \times \text{耕作面積}(\text{ha}) \times \text{灌溉天數}(\text{day}) \times \text{單位CO}_2\text{效益(元/kg)} \quad (2.1)$$

$$\text{二期CO}_2\text{效益(元)} = 640(\text{kg/ha/day}) \times \text{耕作面積}(\text{ha}) \times \text{灌溉天數}(\text{day}) \times \text{單位CO}_2\text{效益(元/kg)}$$

表2.1 關渡地區水田二氧化碳吸收量

稻種	TN稻		TC稻		TN稻及TC稻平均	
	一期	二期	一期	二期	一期	二期
平均CO <sub>2</sub> 吸收量(kg/ha/day)	620	590	810	690	715	640

資料來源：吳富春，2004

根據2009年農糧署產量統計，平均每公頃稻穀產量有4,786kg，將其代入式(2.1)計算得單位面積二氧化碳吸收效益為7,149元/ton。甲烷釋出量之估算，根據IPCC(intergovernmental panel on climate change)於1996年提出之報告指出，甲烷之GWP(global warming potential)為21，因此本研究假設甲烷平均減量成本為二氧化碳之21倍，經計算得知二氧化碳減量成本平均約為1,960元/ton，再將二氧化碳減量成本1,960元/ton乘上21倍亦即為甲烷平均減量成本41,160元/ton。

甲烷釋出需於田面保持湛水狀態，而灌溉期間有30天處於無湛水狀態，

因此計算之灌溉天數以90天為主，其甲烷釋出量如表2.2所示。根據吳重儀(2003)甲烷釋出模式估算甲烷釋出量之計算式如下：

$$\text{一期CH}_4\text{負效益(元/ha)} = \text{甲烷釋出率(kg/ha/day)} \times \text{期作面積(ha)} \times \text{灌溉天數(day)} \times \text{單位CH}_4\text{減量負效益(元/kg)} \quad (2.2)$$

$$\text{二期CH}_4\text{負效益(元/ha)} = \text{甲烷釋出率(kg/ha/day)} \times \text{期作面積(ha)} \times \text{灌溉天數(day)} \times \text{單位CH}_4\text{減量負效益(元/kg)}$$

表2.2 水稻耕作時之甲烷釋出

地區		一期稻作時期 MER*(Kg/ha/d)	二期稻作時期 MER*(Kg/ha/d)	全年平均之 MER(Kg/ha/d)
北部 地區	北基	0.16	1.55	0.86
	桃園	0.23	2.04	1.14
	石門	0.12	1.05	0.59
	新竹	0.15	1.42	0.79
	苗栗	0.14	1.03	0.59
中部 地區	台中	0.71	9.32	5.02
	南投	0.06	0.59	0.33
	彰化	0.89	14.9	7.9
	雲林	1.1	13.65	7.38
南部 地區	嘉南	1.28	13.55	7.42
	高雄	1.31	15.74	8.53
	屏東	1.4	18.28	9.84
東部 地區	台東	1.01	12.27	6.64
	花蓮	1.12	13.24	7.18
	宜蘭	0.62	5.25	2.94

\*MER: Methane emission rate 資料來源:吳重儀, 2003

## 二、氧氣產生

地球大氣組成中有21%由氧氣組成，為大多數生物賴以維生之必要元素，人體內若無法獲得充足之氧氣，將妨礙健康進而威脅到生命。近年來由於工業化影響及生活型態改變，造成空氣汙染使得大氣環境遭破壞，某些空氣汙染物將會造成植物葉子組織破壞而產生病變，而存在植物體之中的葉綠素能吸收太陽能進而產生光合作用並透過光反應形成氧氣釋放到大氣中。耕作水稻於日間可以進行行光合作用，有助減低空氣的二氧化碳含量，同時釋出大量氧氣，以達空氣淨化機能。根據吳富春(2004)研究結果，

關渡地區水田之氧氣釋放量如下表2.3所示，本研究取其平均值以推估水田釋氧效益，其經濟效益則以醫療生產氧氣價格4,350元/ton估算，氧氣釋出與種植水稻天數相關，故以水稻種植一期平均所需天數120天估算之氧氣釋放量。氧氣釋放量計算如下所示：

$$\begin{aligned} \text{一期O}_2\text{效益(元)} &= 520(\text{kg/ha/day}) \times \text{期作面積}(\text{ha}) \times \text{種植天數}(\text{day}) \\ &\quad \times \text{單位O}_2\text{效益(元/kg)} \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} \text{二期O}_2\text{效益(元)} &= 465(\text{kg/ha/day}) \times \text{期作面積}(\text{ha}) \times \text{種植天數}(\text{day}) \\ &\quad \times \text{單位O}_2\text{效益(元/kg)} \end{aligned}$$

表2.3 關渡地區水田氧氣釋放量

稻種	TN稻		TC稻		TN稻及TC稻平均	
	一期	二期	一期	二期	一期	二期
平均O <sub>2</sub> 吸收量 (kg/ha/day)	450	430	590	500	520	465

資料來源：吳富春，2004

### 三、BOD去除量

水田濕地生態環境對於水質淨化有其正面效果，非潔淨水源流入灌排水路或水稻田，可經由稻作吸收成為養份抑或滲入土壤經由微生物加以分解，故灌溉水田具稀釋及水質淨化機能。根據林英傑(2002)之研究指出關渡地區水田BOD去除效率，第一期作約為15.24 kg/ha，第二期作約為18.9 kg/ha，將其分別乘以期作面積，再依主計處調查農業廢污水BOD去除成本，約16,891元/公噸進行估算水田之BOD去除效益。而BOD去除量計算如下所示：

$$\text{一期BOD正效益(kg)} = 15.24(\text{kg/ha}) \times \text{期作面積}(\text{ha}) \times \text{單位BOD效益(元/kg)} \quad (2.4)$$

$$\text{二期BOD正效益(kg)} = 18.9(\text{kg/ha}) \times \text{期作面積}(\text{ha}) \times \text{單位BOD效益(元/kg)}$$

### 2.1.3 生態效益量化指標

水田之生態效益有蓄洪防災效益機能。故本研究彙整水田生態機能之研究成果，其蓄洪流水計算式如下。

#### 一、蓄洪流水

台灣因為山高坡陡、河川短促且近年因為開發不當造成山坡地濫墾，由於坡地水土保持不當，每遇颱風豪雨之際往往造成重大洪水災害，生命財產損失難以估計。一般常見水田之田埂高度約20~30cm高，於暴雨洪水來臨之時具有調蓄洪水之功效，亦可減低下游洪峰流量並安定河川流況。

水稻於生長期需要充足水分，平均湛水深約6cm，湛水深度與田埂高度間之容積即為耕作期間水田所能蓄積之洪水量，假設田埂高度為25cm湛水深度為6cm，水田區將田埂高度25cm扣除湛水深度6cm所剩餘19cm即可將暴雨期間之洪水蓄積於此空間中，等待暴雨過後再將蓄積之洪水排放。水稻生長期之稻株高度變化亦會影響蓄洪容量，根據張倉榮等(2006)水田區調洪減災生態功能之三維度量分析與試驗中曾考量水稻不同株高對於蓄洪及滯洪效果之影響，根據水稻分段高度及分段迎水面積推求不同稻株高度之蓄水體積百分比，可得株高為30cm、60cm及100cm所對應之蓄水百分比為96%、88%及70%。本研究參考劉振宇(2008)之研究，假設水稻耕作期間，水稻稻株高30cm、60cm及100cm各佔耕作天數之1/3，以此估算株高不同時耕作所能蓄洪之效益；而將水田休耕面積乘上田埂高度即為休耕時水田所能蓄洪之水量。蓄洪水量之效益則以水庫開發原水單價11.15元/m<sup>3</sup>估算，其蓄洪效益如下式所示：

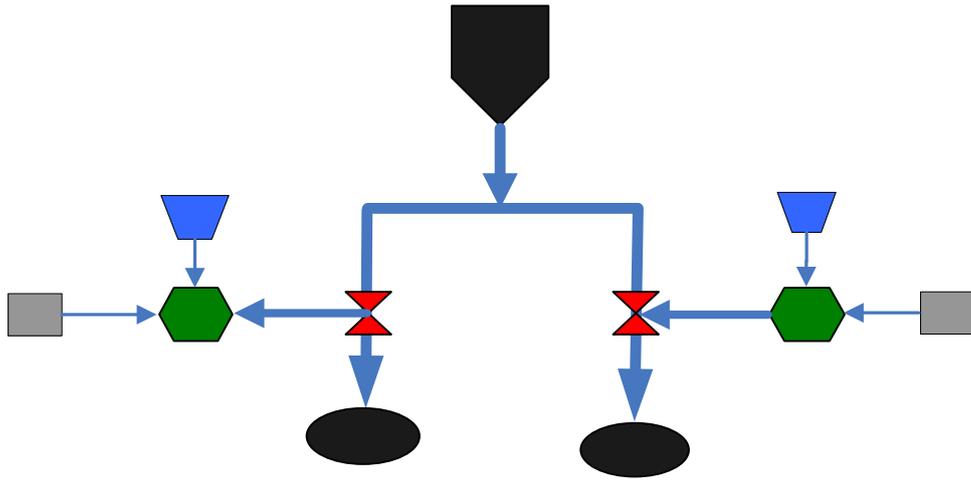
$$\begin{aligned} \text{未種植水稻田區蓄洪量} &= \text{田埂高(cm)} \times \text{水田面積(ha)} \\ \text{種植水田區蓄洪量} &= \sum (1/3 \times \text{蓄水百分比}) \times (\text{田埂高-湛水深}) \times \text{水田休耕面積(ha)} \\ \text{蓄洪效益(元)} &= \text{蓄洪量} \times \text{原水單價(元/m}^3\text{)} \end{aligned} \tag{2.5}$$

## 2.2 休耕優選模式之系統概念化及公式化

本研究建立之休耕優選模式係以混合整數線性規劃，用以評估農業灌溉系統使農業三生效益最大化為目標，考慮不同枯旱程度即不同超越機率入流量供給下，灌區之最佳休耕面積及位置。為完成上述休耕優選模式之建立，本研究利用Fortran程式語言，建立求解線性規劃軟體Lingo之輸入檔，達到求解休耕優選模式之目的。在撰寫程式前，吾人須先將實地現況灌溉系統概念化，簡化成水資源供需系統圖，以便程式符號之設定、編寫與目標方程式及限制式撰寫，再經程式求解。茲將休耕優選模式之系統概念化及公式化介紹如后。

### 2.2.1 模式架構之概念圖

在休耕優選模式建立之前，為了完整呈現水資源系統之供需關係，本研究將系統元件予以定義，並合理簡化建立流網系統圖。網流系統圖是將實際的灌溉系統利用各種元件繪製成灌溉網路圖，圖2.1為灌溉系統各元件符號之定義，其中部分元件符號乃參考蔡嘉訓(2003)及鄭文明(2005)。圖2.2將系統元件分為八類，第1個元件為河川引水量之入流箭線；第2個元件為入流節點；第3個元件為取水口節點表分水之功用，如將河川引水量分至水利渠道設施中；第4個元件為用水節點代表一般灌區或其他公共用水點等；第5個元件為一般箭線，代表一般引水量如地表水配合量、地下水配合量；第6個元件表示地表水配合量之節點；第7個元件表示地下水配合量之節點；第8個元件代表系統末端剩餘之水量。本研究利用圖2.2之各元件符號繪製成一簡單灌溉系統示意圖，此示意圖可用來說明灌溉系統中各種設施與河川、渠道等之聯結關係。



圖例說明

- |    |  |       |    |  |       |
|----|--|-------|----|--|-------|
| 1. |  | 河川入流  | 5. |  | 一般箭線  |
| 2. |  | 入流節點  | 6. |  | 地面水配合 |
| 3. |  | 取水口節點 | 7. |  | 地下水配合 |
| 4. |  | 用水節點  | 8. |  | 節餘水點  |

圖2.2 水資源供需系統示意圖

### 2.2.2 目標方程式

本研究建立休耕優選模式，用以評估農業供灌系統在考慮農業三生下（生產、生活、生態）在農田耕作與休耕之最大效益，並促使水資源發揮最大利用效率。模式係透過權重法組成複合目標方程式，其權重係由單位面積效益來考量，並以單位體積水量決定其效益，其目標函數(objective function)如下所示。

$$\begin{aligned}
MAX \quad & \sum_{j \in N^d} \left( \sum_{n \in \{1,2\}} C_{j,n}^1 \cdot X_{j,n}^{A1} \right) - \sum_{j \in N^d} \left( \sum_{n \in \{1,2\}} C_{j,n}^2 \cdot X_{j,n}^{A2} \right) \\
& + \sum_{j \in N^d} \left( \sum_{n \in \{1,2\}} C_{j,n}^3 \cdot X_{j,n}^{A1} \right) - \sum_{j \in N^d} \left( \sum_{n \in \{1,2\}} C_{j,n}^4 \cdot X_{j,n}^{A2} \right)
\end{aligned} \tag{2.6}$$

目標函數中，以整體大環境來考量稻作種植所帶來之農業三生最大效益，以C代表各項效益之係數並以A表示計畫耕作面積，則A1為耕作面積，A2為休耕面積， $N^d$ 為需水節點，其中第1項中 $C_{j,n}^1$ 為j灌區在n期作之單位耕作面積可獲得效益， $X_{j,n}^{A1}$ 為j灌區在n期作之耕作面積，故 $C_{j,n}^1 \cdot X_{j,n}^{A1}$ 即j灌區在n期作可得到之耕作效益，第2項中 $C_{j,n}^2$ 為j灌區在n期作之單位休耕面積所減少效益， $X_{j,n}^{A2}$ 為j灌區在n期作之休耕面積，故 $C_{j,n}^2 \cdot X_{j,n}^{A2}$ 即j灌區在n期作因休耕所減少之效益(即休耕之綠色補助津貼部分)，第3項中 $C_{j,n}^3$ 為j灌區n期作單位耕作面積所獲得之農業生活及生態效益， $X_{j,n}^{A1}$ 為j灌區在n期作之耕作面積，故 $C_{j,n}^3 \cdot X_{j,n}^{A1}$ 即j灌區在n期作因耕作所帶來之農業生活及生態效益，第4項中 $C_{j,n}^4$ 為j灌區在n期作單位休耕面積損失之農業生活及生態效益， $X_{j,n}^{A2}$ 為j灌區在第n期作之休耕面積，故 $C_{j,n}^4 \cdot X_{j,n}^{A2}$ 即j灌區在n期作因為休耕帶來之農業生活及生態效益損失，上述目標方程式中耕作之單位面積為公頃，單位體積以萬噸為單位，其單價效益則以萬元為單位。

### 2.2.3 限制式

#### 一、供水節點限制式

對於河川引水之農業灌區而言，其水量之供給受限於天然河川流量限制，故以下列各式說明各供水節點之限制式，式(2.7)說明模式中地下水配合量之供給限制；式(2.8)說明模式中地表水配合量之供給限制；而式(2.9)在於說明模式中灌溉渠道所需之供水量之供給限制。

$$U_{j,t}^g \geq \sum_{f_i=j} X_{i,t} \quad i \in L_{gw} ; j \in N^g \quad (2.7)$$

$$U_{j,t}^s \geq \sum_{f_i=j} X_{i,t} \quad i \in L_{sw} ; j \in N^s \quad (2.8)$$

$$U_{j,t}^r \geq \sum_{f_i=j} X_{i,t} \quad i \in L_{rw} ; j \in N^r \quad (2.9)$$

如上列所示之供水節點限制式，即箭線取水量小於等於供給水源量，式(2.7)  $U_{j,t}^g \geq \sum_{f_i=j} X_{i,t}$  表示地下水提供至灌區之配合水量，其中*i*屬於  $L_{gw}$  之箭線標號， $L_{gw}$  為地下水配合量供給之箭線，而*j*屬於  $N^g$  之箭線標號， $N^g$  為地下水配合量供給之節點；式(2.8)  $U_{j,t}^s \geq \sum_{f_i=j} X_{i,t}$  表示地表水供至灌區之配合水量，其中*i*屬於  $L_{sw}$  之箭線標號， $L_{sw}$  為地表水配合量供給之箭線，而*j*屬於  $N^s$  之箭線標號， $N^s$  為地表水配合量供給之節點；而式(2.9)  $U_{j,t}^r \geq \sum_{f_i=j} X_{i,t}$  表示透過南北岸聯絡渠道引集集攔河堰至灌區之之引水量，其中*i*屬於  $L_{rw}$  之箭線標號， $L_{rw}$  為攔河堰引水量供給之箭線，*j*屬於  $N^r$  之箭線標號， $N^r$  為攔河堰引水量供給之節點。

## 二、渠道輸水之連續方程式及限制

水源在渠道的輸送運輸上，因為蒸發散現象或水在渠道輸送過程中滲漏影響所減少之水量，即所謂之輸水損失，本研究利用式(2.10)中之  $C_i$  值為供水係數，反言之， $(1-C_i)$  之值即為輸水損失率可用以表示輸水損失之現象。而各個渠道因為工程設計，故有其所能輸送水量之最大容量限制，且渠道在輸送水上為使有足夠動力將水運送至灌區亦有最小之輸水限制，故以式(2.11)表示渠道輸水上下限之限制。

$$\sum_{h_i=j} C_i X_{i,t} - \sum_{f_i=j} X_{i,t} = 0 \quad i \in L ; j \in N^n \quad (2.10)$$

$$X_{i,t}^{\min} \leq X_{i,t} \leq X_{i,t}^{\max} \quad i \in L \quad (2.11)$$

式(2.10)中之  $C_i$  為各渠道之供水係數，即引水量供至各渠道之供水係數。其中  $h_i$  為供水箭線  $i$  之終點而  $f_i$  為供水箭線  $i$  之起點，終點代表著上游，起點相對代表是下游， $j$  為節點代號， $N^n$  為一般節點，而  $\sum_{h_i=j} C_i X_{i,t}$  是引水量供至各下游渠道之箭線組之限制，其中  $i$  屬於  $L$ ， $L$  包括  $L_{rw}$ 、 $L_{sw}$  及  $L_{gw}$ ，即供至灌區  $j$  之所有箭線組。而  $\sum_{h_i=j} C_i X_{i,t} - \sum_{f_i=j} X_{i,t} = 0$  則是渠道供水之連續方程式，即上游水量乘上供水係數後為下游  $t$  時刻可供之水量。

式(2.11)中之  $X_{i,t}^{\min}$  為渠道於  $t$  時刻可輸送水量之下限，而  $X_{i,t}^{\max}$  為渠道於  $t$  時刻可輸送水量之上限，透過  $X_{i,t}^{\min} \leq X_{i,t} \leq X_{i,t}^{\max}$  限制渠道輸送水量之上限與下限。

### 三、無休耕之需水點供水限制式

河川引水量取得不易且受天然氣候影響甚大，對於採取河川引水量灌溉之地區，實為供水風險相對較高之地區，為有效使用有限水資源進行灌溉並創造最佳收穫效益，必須設定灌區需水點之供水限制，以滿足供水之物理限制。

$$D_{j,t} \geq \sum_{h_i=j} C_i X_{i,t} \quad i \in L ; j \in N^d \quad (2.12)$$

式(2.12)中， $D_{j,t}$  表示需水點之需水量，其值需大於渠道可供水量、地表水配合量及地下水配合量之總和，而  $C_i$  為各水源類別箭線之供水係數組，則  $\sum_{h_i=j} C_i X_{i,t}$  為  $t$  時刻可供至需水節點  $j$  之供水量， $\sum_{h_i=j} C_i X_{i,t}$  相加須小於或等於需水點之限制即  $D_{j,t} \geq \sum_{h_i=j} C_i X_{i,t}$ 。

#### 四、休耕判斷之需水點供水限制式

近年來由於極端氣候影響所致，水文狀況變化大且較不穩定，加以台灣地區地理位置影響，水資源分布時空不均，又有農業用水轉移之慮，造成農業灌溉水源不足，因而產生休耕之現象。而休耕之決策必須根據當年水文情形並在水田耕作之前決定，本研究為使水資源有效利用，並做出正確之休耕決策，加入一個二元變數 $\lambda$ 作為是否休耕之判斷依據，而 $\lambda$ 是由是否滿足該灌區在耕作前期之最低供水量來判定，若滿足其最低供水量則當期可繼續耕作，反之，當期則宣布休耕，將水資源給予其他灌區做更有效率之利用，使農業供灌系統產生最大農業三生效益。

$$\sum_{t \in T'_n} \lambda_{j,n} \cdot \sum_{h_i=j} X_{i,t}^{\min} \leq \sum_{t \in T'_n} \lambda_{j,n} \cdot D_{j,t} \leq \sum_{t \in T'_n} \lambda_{j,n} \cdot \sum_{h_i=j} X_{i,t}^{\max} \quad (2.13)$$

$$\lambda_{j,n} \in \{0,1\} ; i \in L ; j \in N^d ; n \in \{1,2\}$$

如上式(2.13)所示， $\lambda_{j,n}$ 代表灌區 $j$ 於期別 $n$ 是否休耕之判斷依據， $\lambda$ 為一個二元變數， $\sum_{h_i=j} X_{i,t}^{\min}$ 是用以判斷 $\lambda$ 成立與否之供水下限值，其值之設定由決策者根據該灌區特性決定，意即利用 $T'_n$ 判斷休耕之旬數及期距，且 $T'_n \in \{3,4,5\}$  for  $n=1$  ;  $T'_n \in \{21,22,23\}$  for  $n=2$ ， $\sum_{h_i=j} X_{i,t}^{\max}$ 是用以判斷 $\lambda$ 成立與否之供水上限值， $\sum_{t \in T'_n} \lambda_{j,n} \cdot \sum_{h_i=j} X_{i,t}^{\min}$ 、 $\sum_{t \in T'_n} \lambda_{j,n} \cdot \sum_{h_i=j} X_{i,t}^{\max}$ 透過 $\lambda$ 之判斷來檢驗各灌區之連續供水是否滿足作物生長所需水量，作為休耕判斷之依據。

#### 五、耕作面積之決定

藉由耕作判斷因子 $\lambda$ 決定耕作與否，將式(2.12)改寫成式(2.14)，利用各灌區水量與面積迴歸之 $\alpha$ 決定耕作面積， $\alpha$ 是根據歷史供水量與歷史耕作面積並依據期別所迴歸之供水與面積曲線，用以計算耕作面積與需水量

關係，藉由此得到耕作及休耕面積後，進而計算帶來之農業三生效益。

$$\lambda_{j,n} D_{j,t} \geq \sum_{h_i=j} C_i X_{i,t} \quad \lambda_{j,n} \in \{0,1\} ; n \in \{1,2\} ; i \in L ; j \in N^d \quad (2.14)$$

$$X_{j,n}^{AD} = \sum_{t \in T_n} \sum_{h_i=j} C_i X_{i,t} \quad i \in L ; n \in \{1,2\} ; j \in N^d \quad (2.15)$$

$$X_{j,n}^{A1} = X_{j,n}^{AD} \cdot \alpha_{j,n} \quad n \in \{1,2\} ; j \in N^d \quad (2.16)$$

$$A_{j,n} = X_{j,n}^{A1} + X_{j,n}^{A2} \quad n \in \{1,2\} ; j \in N^d \quad (2.17)$$

式(2.14)中之 $\lambda_{j,n} D_{j,t}$ 透過式(2.15)決定之 $\lambda$ 值判斷進入灌區之供水量成立與否，透過 $\lambda$ 休耕判斷與供水量之關係計算該灌區可供水量；式(2.15) $X_{j,n}^{AD}$ 為各灌區於期作 $n$ 之可供水量總和，包含渠道可供水量、地表水配合量及地下水配合量，其中 $i$ 屬於 $L$ ， $T_n$ 為第 $n$ 期作所屬旬次之代號，以計算該灌區期作 $n$ 可供水之總量， $T_n = \{1,2,\dots,18\}$  for  $n=1$ ； $T_n = \{19,20,\dots,36\}$  for  $n=2$ ；式(2.16)透過可供水量與供水面積迴歸參數 $\alpha$ 決定耕作面積，其中 $\alpha_{j,n}$ 為 $j$ 灌區在期作 $n$ 之迴歸參數， $\alpha$ 值之求得係透過各灌區現況供水量與現況耕作面積，利用線性迴歸所得之迴歸參數， $X_{j,n}^{A1}$ 為 $j$ 灌區期作 $n$ 之耕作面積，利用可供水量 $X_{j,n}^{AD}$ 及迴歸參數 $\alpha$ 估算該其之可耕作面積；式(2.17)中之 $A_{j,n}$ 為 $j$ 灌區在期作 $n$ 的現況耕作面積， $X_{j,n}^{A1}$ 代表休耕優選模式推算 $j$ 灌區在期作 $n$ 之耕作面積，而 $X_{j,n}^{A2}$ 代表休耕優選模式推算 $j$ 灌區在期作 $n$ 之休耕面積。

## 六、三生效益之限制式

### (一)生產效益

台灣糧食來源以稻米為主，本研究將蒐集歷年耕作面積、生產產值及產值變化之資料以估算稻米生產所帶來之效益。透過農糧署統計資料可得各灌區面積產量與各灌區稻米產量之價格，本研究透過耕作面積與價格，統計生產平均值用以計算稻米之效益。如下所示：

$$C_{j,n}^p = U_{j,n}^q \times U_{j,n}^p \quad (2.18)$$

式(2.18)中之 $U_{j,n}^q$ 表示 $j$ 灌區在期作 $n$ 單位面積之平均產量， $U_{j,n}^p$ 表示 $j$ 灌區在期作 $n$ 單位面積之平均產量之價格，而 $C_{j,n}^p$ 則為 $j$ 灌區在期作 $n$ 之單位耕作面積可獲得效益。

## (二)生活效益

水田除提供生產效益之外，在生活上亦可淨化空氣與水質，即農業三生效益之中之生活效益，詳述如后。

### 1.溫室氣體

#### (1)二氧化碳

水田的種植對於溫室氣體二氧化碳吸收有顯著效果，係透過大面積作物之栽培來吸收二氧化碳，對於減少溫室氣體有其顯著之功效，本研究根據李國忠(2000)、吳富春(2004)及劉振宇(2008)之研究評估其效益，如下所示：

$$C_{j,n}^{CO_2} = G_{j,n}^{CO_2} \times D_{j,n}^p \times U_{j,n}^{CO_2} \quad (2.19)$$

式(2.19)中之 $G_{j,n}^{CO_2}$ 為 $j$ 灌區在期作 $n$ 單位面積可吸收之二氧化碳， $D_{j,n}^p$ 為 $j$ 灌區在期作 $n$ 灌溉之天數， $U_{j,n}^{CO_2}$ 為單位吸收二氧化碳之價格， $C_{j,n}^{CO_2}$ 為 $j$ 灌區在期作 $n$ 單位面積可吸收二氧化碳之效益。

#### (2)甲烷

水田的種植雖然對於溫室氣體二氧化碳的吸收有顯著的效果，但在水田生長期間受無氧狀態影響會釋出甲烷，甲烷釋出量之多寡將對溫室效應造成影響，本研究根據吳重儀(2003)、吳富春(2004)及劉振宇(2008)之研究評估其效益，如下所示：

$$C_{j,n}^{CH_4} = G_{j,n}^{CH_4} \times D_{j,n}^p \times U_{j,n}^{CH_4} \quad (2.20)$$

式(2.20)中之  $G_{j,n}^{CH_4}$  為  $j$  灌區在期作  $n$  單位面積所釋出之甲烷量， $D_{f,n}^p$  為  $j$  灌區在期作  $n$  灌溉之天數， $U_{j,n}^{CH_4}$  為單位減量甲烷之價格， $C_{j,n}^{CH_4}$  為  $j$  灌區在期作  $n$  單位面積減量甲烷之三生效益損失。

## 2. 氧氣產生

水田在耕作期間透過光合作用之進行，除了吸收二氧化碳外同時可以釋出大量氧氣，不僅可提供人類及大多數動物維生外，可以達到空氣清淨之機能，本研究根據吳富春(2004)及劉振宇(2008)之研究評估氧氣產生效益，如下所示：

$$C_{j,n}^{O_2} = G_{j,n}^{O_2} \times D_{j,n}^f \times U_{j,n}^{O_2} \quad (2.21)$$

式(2.21)中之  $G_{j,n}^{O_2}$  為  $j$  灌區在期作  $n$  單位面積可產生之氧氣， $D_{j,n}^f$  為  $j$  灌區在期作  $n$  種植之天數， $U_{j,n}^{O_2}$  為單位產生氧氣所需之價格， $C_{j,n}^{O_2}$  為  $j$  灌區在期作  $n$  單位面積可產生之氧氣之效益。

## 3. BOD 去除量

水田在耕作期間同時也形成一個濕地的生態環境，除上述幾點之外，水田形成濕地環境對於水質之淨化有顯著效果，尚可以透過水田之灌溉來稀釋或去除水質中之汙染物以達淨化之效果，根據林英傑(2002)及劉振宇(2008)中研究指出水田在 BOD 去除量上有顯著效果，其效益評估如下所示：

$$C_{j,n}^{BOD} = B_{j,n}^{BOD} \times U_{j,n}^{BOD} \quad (2.22)$$

式(2.22)中之  $B_{j,n}^{BOD}$  為  $j$  灌區在期作  $n$  單位面積可去除之 BOD 量， $U_{j,n}^{BOD}$  為單位減量 BOD 所需之價格， $C_{j,n}^{BOD}$  為  $j$  灌區在期作  $n$  單位面積可去除 BOD 之效益。

### (三) 生態效益

水田不僅在生產及生活上有其效益之表現，對生態上亦有實質上之效

益，透過水田種植有蓄洪減災功能。台灣水田之田埂高度約為20~30cm高，而水田在耕作期間期平均湛水深度為6cm，其差值之19cm可調節因暴雨帶來洪水，於休耕期間則可視為一片淺而廣之水庫以調蓄洪水，本研究根據張倉榮(2006)及劉振宇(2008)之研究評估水田調節洪水之效益，如下所示：

$$C_{j,n}^{flood-1} = H_{j,n}^{flood-1} \times U_{j,n}^{flood} \quad (2.23)$$

$$C_{f,n}^{flood-2} = H_{f,n}^{flood-2} \times U_{f,n}^{flood} \quad (2.24)$$

$$C_{f,n}^{flood} = (H_{f,n}^{flood-1} + H_{f,n}^{flood-2}) \times U_{f,n}^{flood} \quad (2.25)$$

式(2.23)中之  $H_{j,n}^{flood-1}$  為  $j$  灌區在期作  $n$  耕作之單位面積可調節洪水高度，式(2.24)中之  $H_{f,n}^{flood-2}$  為  $j$  灌區在期作  $n$  休耕時之單位面積可調節洪水高度， $U_{j,n}^{flood}$  為單位面積調節洪水量之價格， $C_{j,n}^{flood}$  為  $j$  灌區在期作  $n$  單位面積之總可調節洪水量之效益。

綜合以上三生(生產、生活、生態)之限制式，將之各係數相加，其和之值表示為三生效益係數，如下所示：

$$C_{j,n}^3 = C_{j,n}^{CO_2} + C_{j,n}^{O_2} + C_{j,n}^{BOD} + C_{j,n}^{flood} \quad (2.26)$$

式(2.26)中之  $C_{j,n}^3$  為  $j$  灌區在期作  $n$  可得到之三生效益，包括  $C_{j,n}^{CO_2}$  為吸收二氧化碳之效益， $C_{j,n}^{O_2}$  為產生之氧氣之效益， $C_{j,n}^{BOD}$  為可去除  $BOD$  之效益， $C_{j,n}^{flood}$  為耕作時可調節洪水量之效益。

$$C_{j,n}^4 = C_{j,n}^{CH_4} \quad (2.27)$$

式(2.27)中之  $C_{j,n}^4$  為  $j$  灌區在期作  $n$  帶來之三生效益損失， $C_{j,n}^{CH_4}$  為甲烷造成之三生效益損失。

### 第三章 模式應用

本研究將所建立之休耕優選模式，應用於濁水溪沖積扇灌區以驗證模式之可用性。茲將研究區域概況、建構濁水溪灌區休耕優選模式應用結果，以及情境分析比較說明如后。

#### 3.1 研究區域概況

濁水溪灌區位於濁水溪沖積扇，灌溉水源主要來自濁水溪流域之水源，茲將依序概述濁水溪流域、濁水溪沖積扇及濁水溪灌區。其濁水溪集水區流域及沖積扇地理位置示意圖如下圖3.1所示。



資料來源:農委會農業水資源有效利用與灌溉管理策略規劃計畫內容  
圖3.1 濁水溪流域及其沖積扇地理位置圖

### 3.1.1 濁水河流域概況

濁水溪為台灣地區最長之河川，全長約186.6km，發源於南投合歡山，流域涵括彰化、南投、雲林等縣市，流域面積3,156 km<sup>2</sup>。濁水溪之名由為日本人所命名，因其溪水夾帶大量泥沙，長年混濁因而得名，河口百年洪峰流量達到24,000cms，為台灣中部地區主要水資源供應之一，但因上游河流所經地層大部分屬於易受侵蝕的頁岩、砂岩，故含沙量高，年平均輸沙量達 $6.3 \times 10^7$  ton/year，高居全島第一，可利用之水資源相當有限。且濁水流域之水源缺少水庫調節，水資源主要來源主要為河川引水量，由集集攔河堰抬升水位以攔蓄濁水河流域之水源，並透過南北岸聯絡渠道輸送水源至濁水溪灌區使用，本研究將濁水河流域蒐集之水文情形整理如下。

#### 一、氣溫

濁水河流域屬亞熱帶氣候，流域內山區氣溫較平地為低，山區平均霜期約170天，最冷月之平均溫度約在10~13°C之間，平原地之平均溫度約16~20°C之間，1月份月平均溫度最低，其後逐漸上升至6~8月份最高。

#### 二、蒸發量

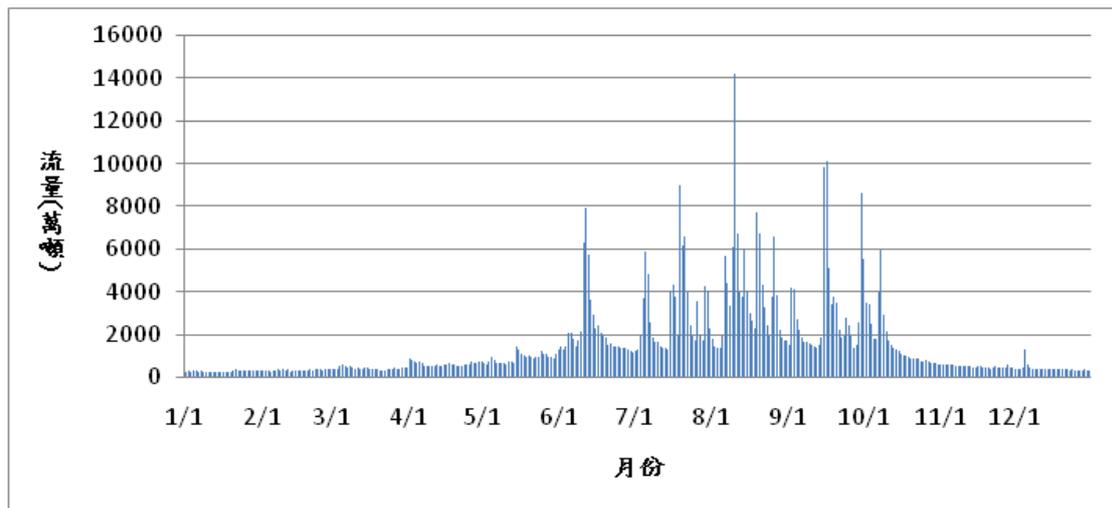
自然蒸發量主要為地表受太陽輻射及風力作用之現象，湖泊、池塘、溪流及土壤表層的水分會漸漸蒸發逸散至大氣中。一般言之，蒸發量大小之分布與日照時數相似，本研究區域之年平均蒸發量為866mm。

#### 三、雨量

濁水溪沖積扇集水區域內之雨量就時間分布而言，每年5~10月因受西南季風、颱風之影響，降雨量多屬於雨季。東北季風期為11月至翌年4月，因受中央山脈之屏障，降雨量低屬於乾季。空間分布上，雨量自海岸向東依序遞增，山區平均年雨量在2,200mm以上，下游平原區平均年雨量在丘陵地帶約為2,000~2,800mm，平原地帶則約在1,100~1,800mm。

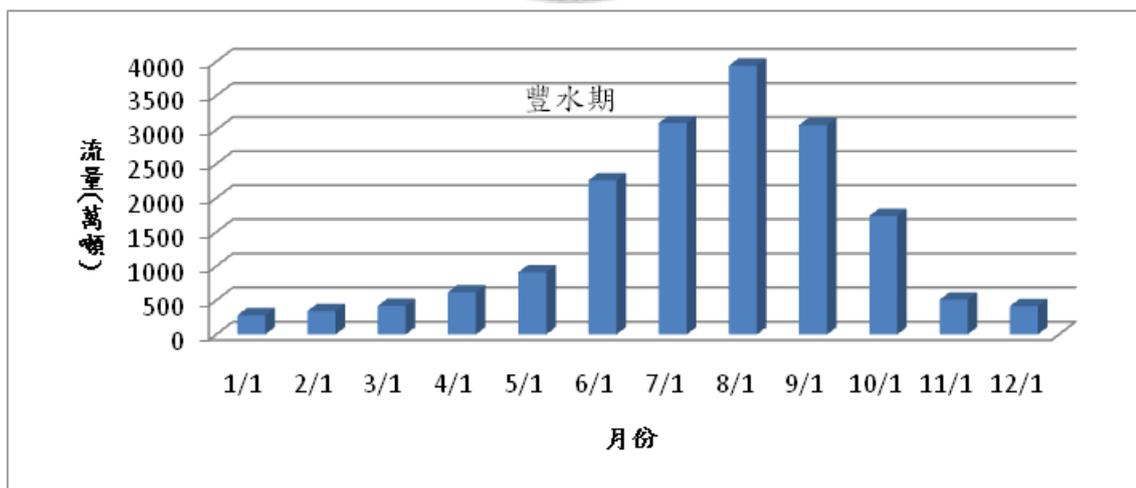
#### 四、流量資料

濁水河流域之水源主要來自集集攔河堰抬升水位以攔蓄濁水溪水，本研究參考集集攔河堰年報得知，集集攔河堰枯水期平均入流量113.3cms，佔全年比重之37.0%，豐水期平均入流量386.0cms，佔全年流量之比重63.0%；上游玉峰橋平均入流量為169.0cms；下游彰雲大橋平均入流量為240.4cms。本研究蒐集水文水資源網站中集集攔河堰流量之日觀測，資料呈現出集集攔河堰流量比例受時空季節影響，豐水期集中於6~10月，其豐、枯之情形可由圖3.2及圖3.3表示之。



資料來源:水文水資源管理系統，本研究整理。

圖3.2 集集攔河堰日平均入流量統計圖



資料來源:水文水資源管理系統，本研究整理。

圖3.3 集集攔河堰月平均入流量統計圖

### 3.1.2 濁水溪沖積扇概況

濁水溪沖積扇位於台灣西南部，東以八卦山台地及斗六丘陵為界，西至台灣海峽，北為烏溪，南至北港溪，面積約1,800 km<sup>2</sup>，主要行政區域包含彰化縣、雲林縣及部份南投縣(如圖3.1所示)。濁水溪沖積扇以二水附近之鼻子頭為扇軸向海岸延伸，其半徑約40km，北至烏溪南側，南至北港溪北側，沖積扇內共有濁水溪、舊濁水溪、新虎尾溪、舊虎尾溪與北港溪等五條主要河道。

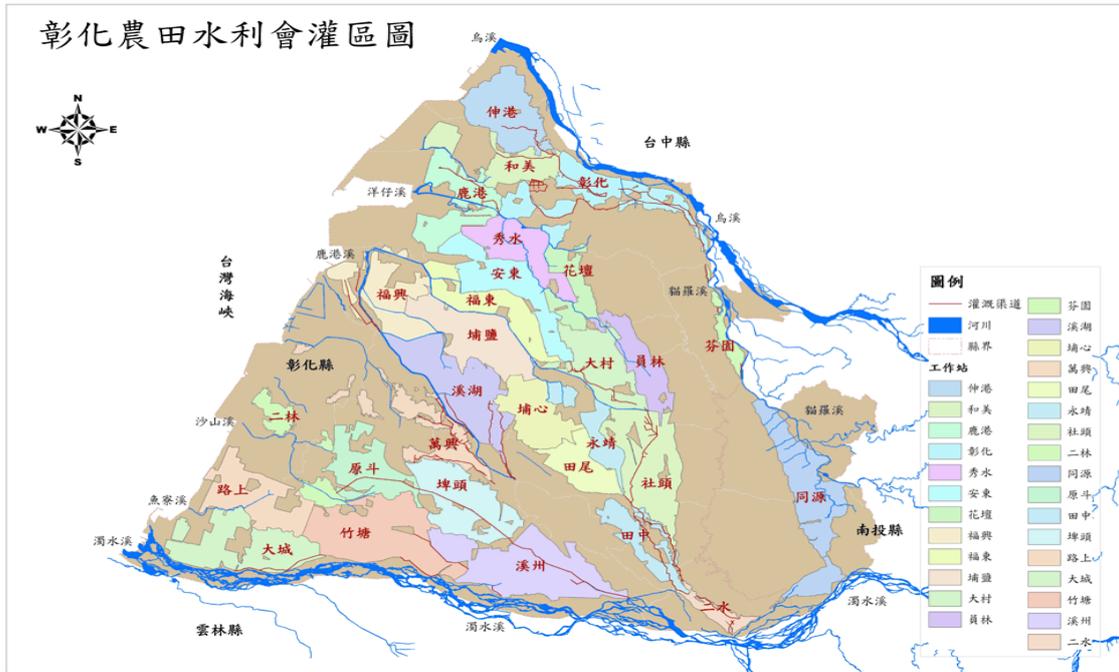
### 3.1.3 濁水溪灌區概況

濁水河流域水源灌溉地區以濁水溪灌溉區域為主，該灌區所轄之區域包含彰化水利會及雲林水利會灌溉事業區域，此區之產業型態以農業為主，沿海漁業為輔，故農業用水需求高，茲將該區之環境特性、灌溉系統及供水情形介紹如下。

#### 一、彰化地區

##### (一) 彰化地理環境介紹及現況

彰化灌區位於烏溪與濁水溪兩大河流間，灌區內年降雨量約在1,300~2,200mm，總量雖豐沛，惟在時空上分布不均，土壤大部份屬坵質壤土或砂質壤土，土地肥沃。彰化水利會事業面積核定有62,587ha，目前納入營運灌溉面積為46,317ha。其灌溉面積大略可分為以下系統(詳見圖3.4)。



資料來源:灌溉管理情式資料庫

圖3.4 彰化水利會灌區分布圖

## (二) 彰化灌溉系統

彰化灌溉系統之用水來源，可略分為地表水、地下水與攔河堰引水量等三類。濁水溪流至北岸聯絡渠道即進入彰化地區。其灌溉區域之同源圳、八堡圳及荊仔埤灌區皆從北岸聯絡渠道取用濁水溪溪水，惟因烏溪灌區乃採用彰化北部之烏溪及貓羅溪之溪水，故不在本研究之範圍內。而當地表水不足時則抽取地下水支援，圖3.5為彰化縣轄區內濁水河流域之灌溉系統圖。

圖例：	灌溉圳路名稱	A(ha)
	L(m)	Q(cms)

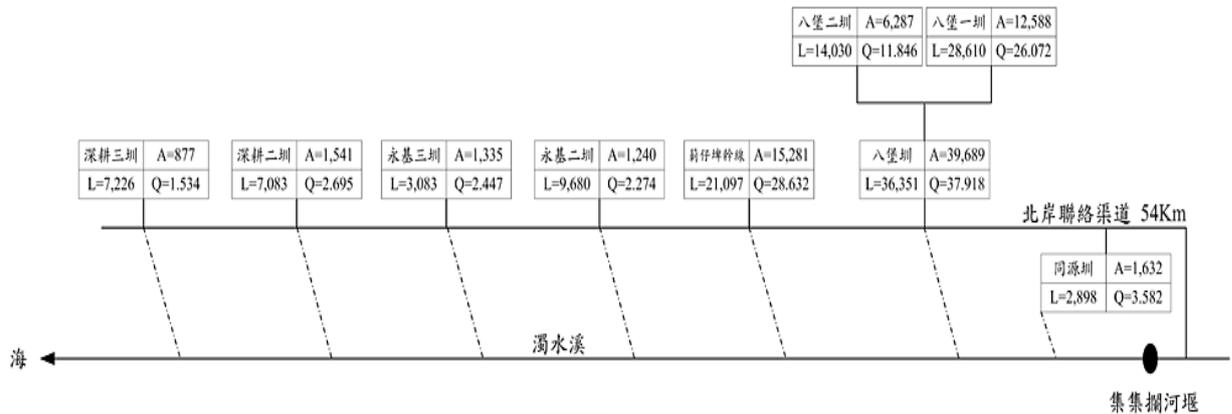
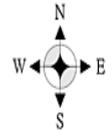
A：係2004年一期作計畫灌溉面積

L：係指灌溉圳路長度

Q：係指灌溉圳路渠道容量

●：攔河堰

—：導水路

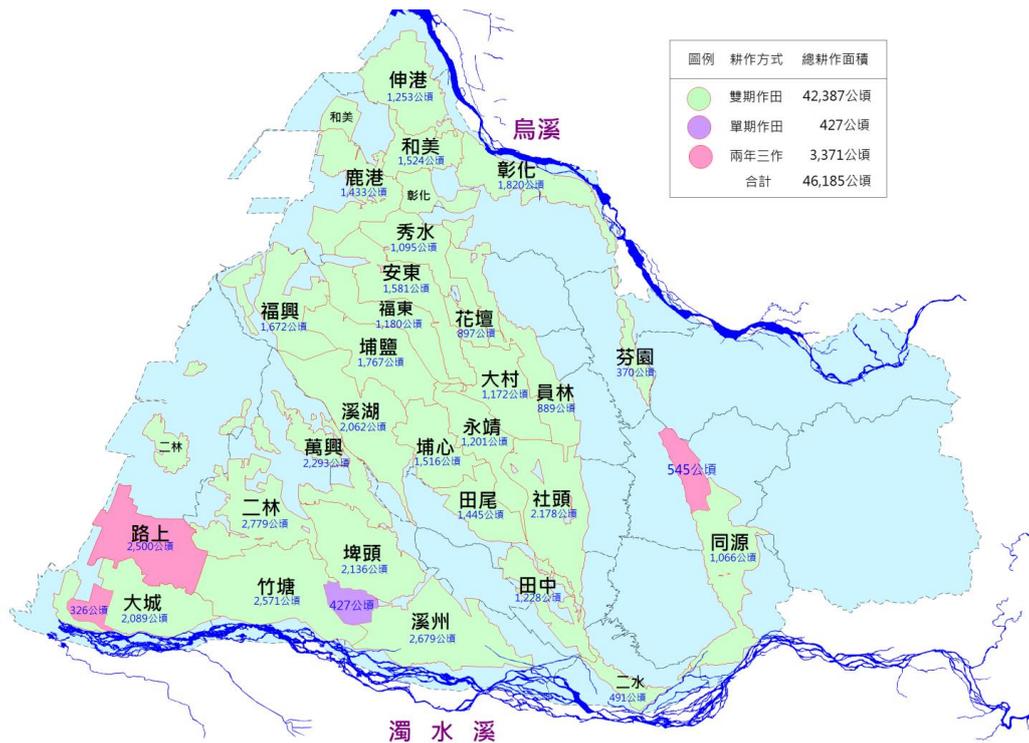


資料來源:灌溉情勢資料庫

圖3.5 彰化縣轄區內濁水溪流域灌溉系統圖

### (三)彰化目前供水情形

彰化灌區供水以濁水溪系統佔87%，另烏溪系統佔13%，由於缺乏水庫等大型蓄水設施進行水量調節，繼集集攔河堰完工後，農業灌溉用水皆由北岸聯絡渠道引水運輸至各灌區，故灌區所需水源多取自集集攔河堰。若遇濁水溪季節性枯水期水源不足，或配合集集攔河堰維修清淤，彰化農田水利會即實施大區輪灌，以有效調配水資源，並合理維護用水秩序。圖3.6為彰化農田水利會灌區期作之分布示意圖。

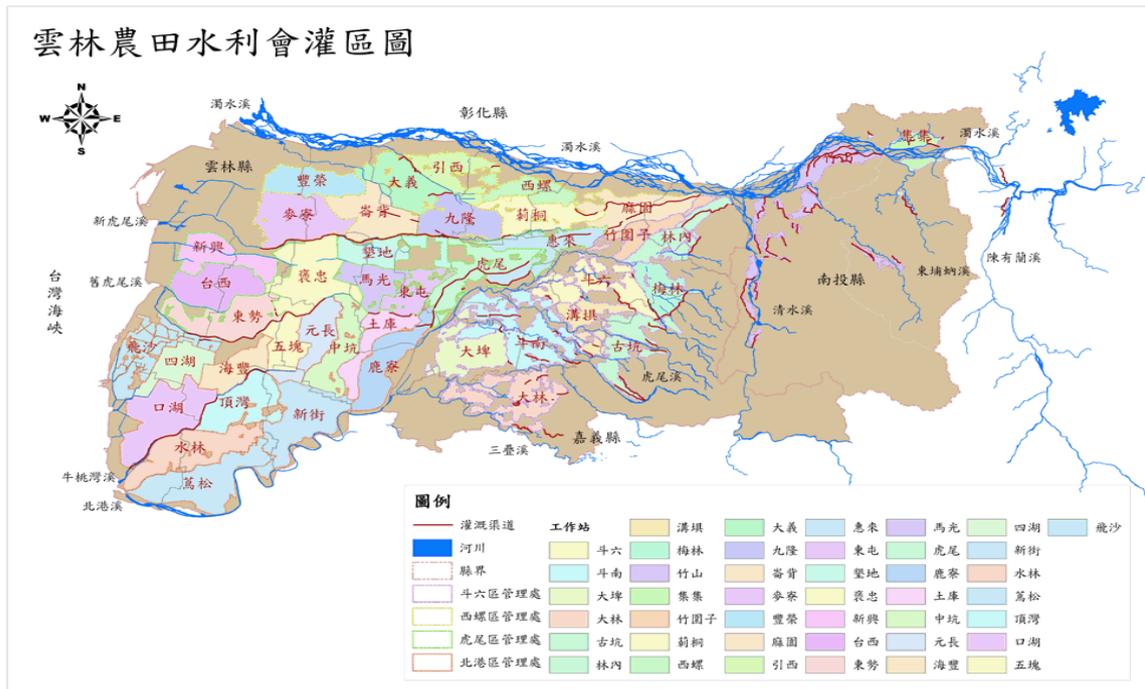


資料來源:農委會農業水資源有效利用與灌溉管理策略規劃計畫內容  
 圖3.6 彰化農田水利會各工作站之作物制度分布

## 二、雲林地區

### (一)雲林地理環境介紹及現況

雲林灌區位於台灣西海岸中南部，灌區內年平均雨量約1,500mm。雲林水利會現有灌溉地面積65,831ha，係台灣區各地農田水利會中第二大灌溉區，其面積大略可分為以下系統(詳見圖3.7)。

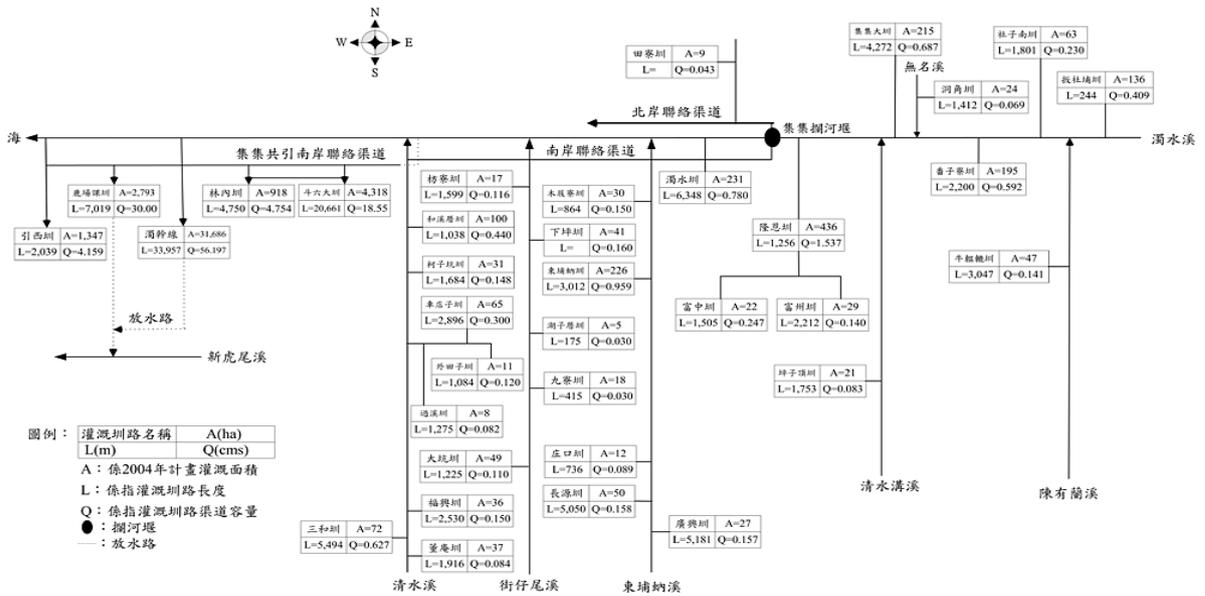


資料來源:灌溉管理情式資料庫

圖3.7 雲林水利會灌區分布圖

## (二) 雲林灌溉系統

雲林灌溉系統之用水來源，亦可略分為地表水、地下水及攔河堰引水量等三類，其中雲林地區攔河堰之引水量透過南岸進水口將濁水溪水引至雲林地區，途中經過清水溪，加上清水溪進水口之水量，先後分配至雲林地區公共用水處理廠及斗六大圳。南岸聯絡渠道之剩餘水將送至林內分水工，林內分水工可由原有濁幹線之進水口取到匯流後之濁水溪水，將水分給雲林離島工業區及濁幹線渠道。雲林境內以濁幹線為最大種植區灌溉系統，受限於水源供應之穩定影響，當地表水供應不足時，將抽取地下水以尋求支援，雲林水利會乃投入開發抽水設施，開鑿深淺井抽取地下水源以補充灌溉所需，但受天然氣候因子所影響，水量仍不夠支應，無法充分灌溉，故區內多數農田採取輪作制度之營運方式來維持，圖3.8為雲林縣轄區內濁水河流域之灌溉系統圖。

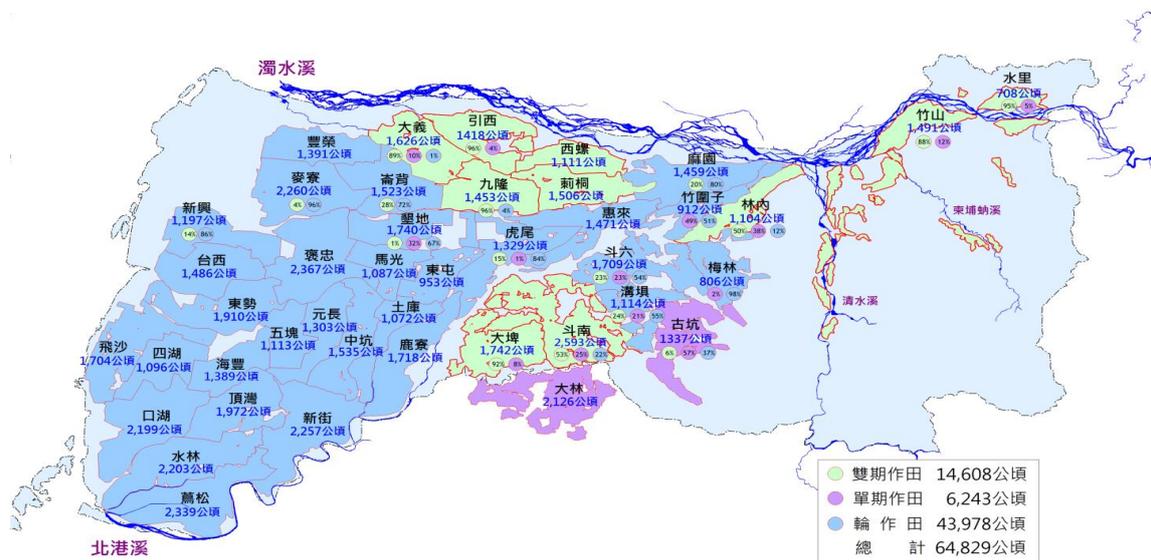


資料來源:灌溉情勢資料庫

圖3.8 雲林縣轄區內濁水河流域灌溉系統圖

### (三)雲林目前供水情形

雲林灌區供水以濁水溪系統佔72%，北港溪佔13%，其他水源則佔15%，可窺其主要取用來自集集攔河堰之水源，並透過南岸聯絡渠道輸送，本研究範圍係考慮濁水系統影響區域部分。圖3.9為雲林地區期作分布示意圖。



資料來源:農委會農業水資源有效利用與灌溉管理策略規劃計畫內容  
圖3.9 雲林農田水利會各工作站之作物制度分布

## 3.2 濁水溪灌區輸水損失推求

本研究已蒐集濁水溪灌區農業供水量、需水量、集集攔河堰引水量資料及各灌區取水口之供水資料，但缺少各幹渠之輸水損失等相關資料，故無法實際反映該灌區輸水損失之過程。因此本研究建構一非線性優選模式(簡稱優選模式)，求得各灌區輸水幹線之輸水損失率。

### 3.2.1 輸水損失優選模式建立

優選模式之目標函數為使計算供水情形與歷史供水量之差異為最小，透過供水節點限制式、渠道輸水之連續方程式及需水點之供水限制，限制渠道可供水量之限制，使供水量最大並接近歷史供水結果，進而推估濁水溪灌區之輸水損失率。茲將模式之目標函數及限制式敘述如后。本研究建立優選模式，求解濁水溪灌區渠道各段輸水損失，用以評估濁水溪灌區各幹渠之供水情形。本研究為確立各幹渠之渠道損失率及供水最大化，故在歷史供水需求中已扣除地表水及地下水配合量之影響部分，僅求各幹渠輸水損失率，如限制式(3.3)中之 $D'_{f,t}$ ，其中 $D'_{f,t} \geq \sum_{h=j} C_i X_{i,t}$ 為供水箭線終點， $j$ 屬於需水節點 $N^d$ 。而目標方程式如式(3.1)所示，其他限制式以第二章中供水節點限制如式(2.9)灌區引水量限制；渠道輸水之連續方程限制如式(2.10)連續供水平衡限制及式(2.12)渠道供水之上下限；幹渠上需水點之供水限制將式(2.13)中地表水及地下水配合量扣除並改寫為式(3.3)，並加入輸水損失限制如式(3.4)中所示，其中式(3.4)中 $C_i$ 為供水係數而 $(1-C_i)$ 為輸水損失係數， $C^{av}$ 為濁水溪灌區各區之輸水損失係數， $I_{i,t}$ 為集集攔河堰供給水量；本研究透過非線性現況優選模式以供水量最大化為目標，決定各灌區之輸水損失係數，作為日後休耕優選模式中供水係數之依據。

一、目標函數

$$MAX \quad \sum_{j \in N^d} \left( \sum_t S_{j,t} \right) \quad (3.1)$$

二、限制式

$$S_{j,t} = \sum_{h_i=j} C_i X_{i,t} \quad i \in L_{rw} ; j \in N^d \quad (3.2)$$

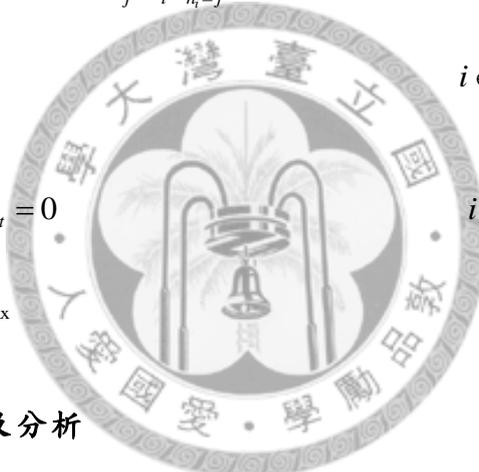
$$D'_{j,t} \geq \sum_{h_i=j} C_i X_{i,t} \quad i \in L_{rw} ; j \in N^d \quad (3.3)$$

$$\sum_j \sum_t \sum_{h_i=j} (1-C_i) X_{i,t} = C^{av} \sum_j \sum_t \sum_{h_i=j} I_{i,t} \quad i \in L_{rw} ; j_1 \in N^n ; j_2 \in N^l \quad (3.4)$$

$$U_{i,t} \geq \sum_{h_i=j} X_{i,t} \quad i \in L_{rw} ; j \in N^r \quad (2.10)$$

$$\sum_{h_i=j} C_i X_{i,t} - \sum_{f_i=j} X_{i,t} = 0 \quad i \in L ; j \in N^n \quad (2.11)$$

$$X_{i,t}^{\min} \leq X_{i,t} \leq X_{i,t}^{\max} \quad i \in L \quad (2.12)$$



3.2.2 輸水損失推求及分析

本研究區域礙於龐大之人力及用水影響，多年來一直無法透過實驗實際量測各段之輸水損失，其輸水損失僅能由各灌區得到水量和與上游總水量作概括上之評估，為實際反映濁水溪灌區之用水特性及休耕優選模式所需，本研究建立幹渠輸水損失優選模式以推求輸水損失，係透過供水限制、渠道輸水限制及供水連續方程式決定灌區渠道各段幹渠及支渠之輸水損失係數。其成果呈現如下表3.1及表3.2所示，並將輸水損失優選模式得到之輸水損失代入計算供水情形，並與歷史供水資料比較如下圖3.10所示：

表3.1 彰化幹渠損失係數表

渠道別	北岸渠道	同源圳	八堡圳	荊仔埤
損失係數	1.00%	1.02%	1.30%	1.70%

表3.2 雲林幹渠損失係數表

渠道別	南岸渠道	斗六大圳	林內圳	濁幹線	鹿場課圳	麻園
損失係數	10.04%	12.04%	12.04%	12.09%	12.16%	12.34%

表3.3 彰化支渠損失係數表

渠道別	同源圳	八堡圳	荊仔埤
損失係數	1.00%	1.40%	1.90%

表3.4 雲林支渠損失係數表

渠道別	斗六大圳	林內圳	濁幹線	鹿場課圳	麻園
損失係數	1.10%	1.23%	1.76%	1.82%	8.16%

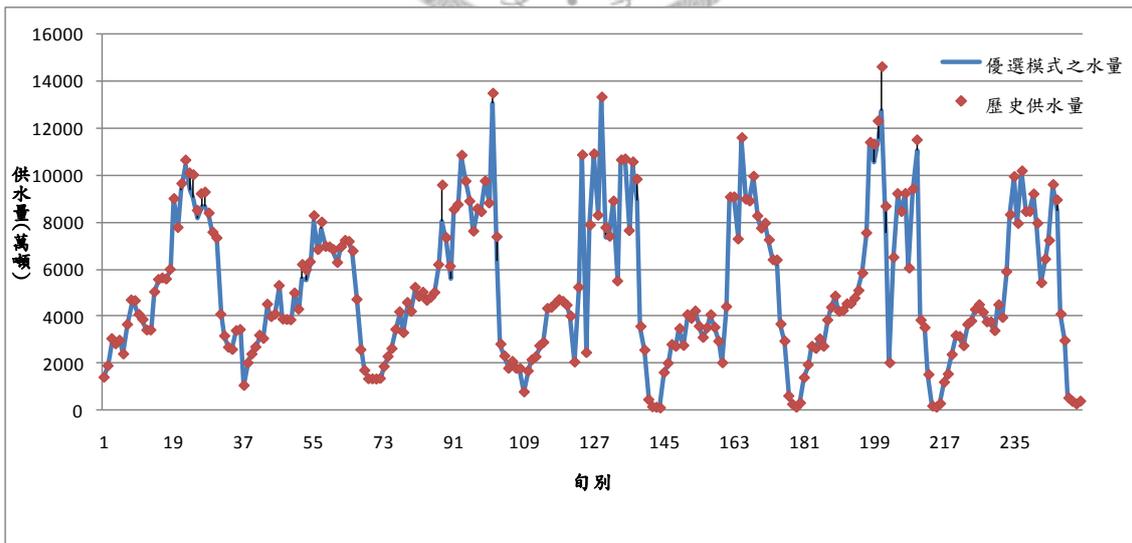


圖3.10 輸水損失優選模式之供水量比較圖

### 3.3 模式應用之情境設定

濁水溪區域水資源主要仰賴集集攔河堰所攔蓄之水源提供供水，本研究為推估不同枯旱程度下之休耕面積及位置，須透過天然流量方可分析，但濁水溪區域集集攔河堰流量資料受人為操作影響而非天然流量，故本研究採取鄰近測站玉峰橋之天然流量，透過比流量法由玉峰大橋流量推估集集攔河堰入流之天然流量，並將其入流量資料利用水文統計方法透過機率統計適合度檢定，尋找集集攔河堰入流量各旬最適機率之統計分布，計算各超越機率入流量下最佳休耕面積及位置。本研究建立休耕優選模式，用以評估最佳休耕面積及位置，其模式之目標方程式，係以農業三生效益最大化為目標考量。本研究根據現況需求設計三種不同情境，其中情境一，透過休耕優選模式以歷史入流量及地下水及地表水配合量，推估其最佳休耕面積與位置及其效益；情境二，透過休耕優選模式，以水文統計方法推估各超越機率下集集攔河堰之入流量，並加入地下水及地表水之配合量後，推估各超越機率最佳休耕面積及位置；情境三，透過休耕優選模式以水文統計方法推估各超越機率下集集攔河堰之入流量，並加入地表水配合量，推估各超越機率最佳休耕面積及位置。其中情境一之考量，是以現況不休耕之情形為基準，計算農業三生效益，並加入傳統僅有產值考量效益與農業三生效益之比較。而情境一與情境二間之差異，可用來評估在不同超越機率(枯旱程度)下因休耕所帶來的效益，以及休耕面積及位置；情境二與情境三之差異，可用來估算在各超越機率(枯旱程度)下地下水所貢獻之效益，情境三之設定乃是因應近年來公共工程高鐵經過地區地層下陷問題之探討；本研究針對不同情境所產生的結果進行分析與比較，如圖3.11所示，為本研究休耕優選模式之建立流程圖與情境比較流程圖。

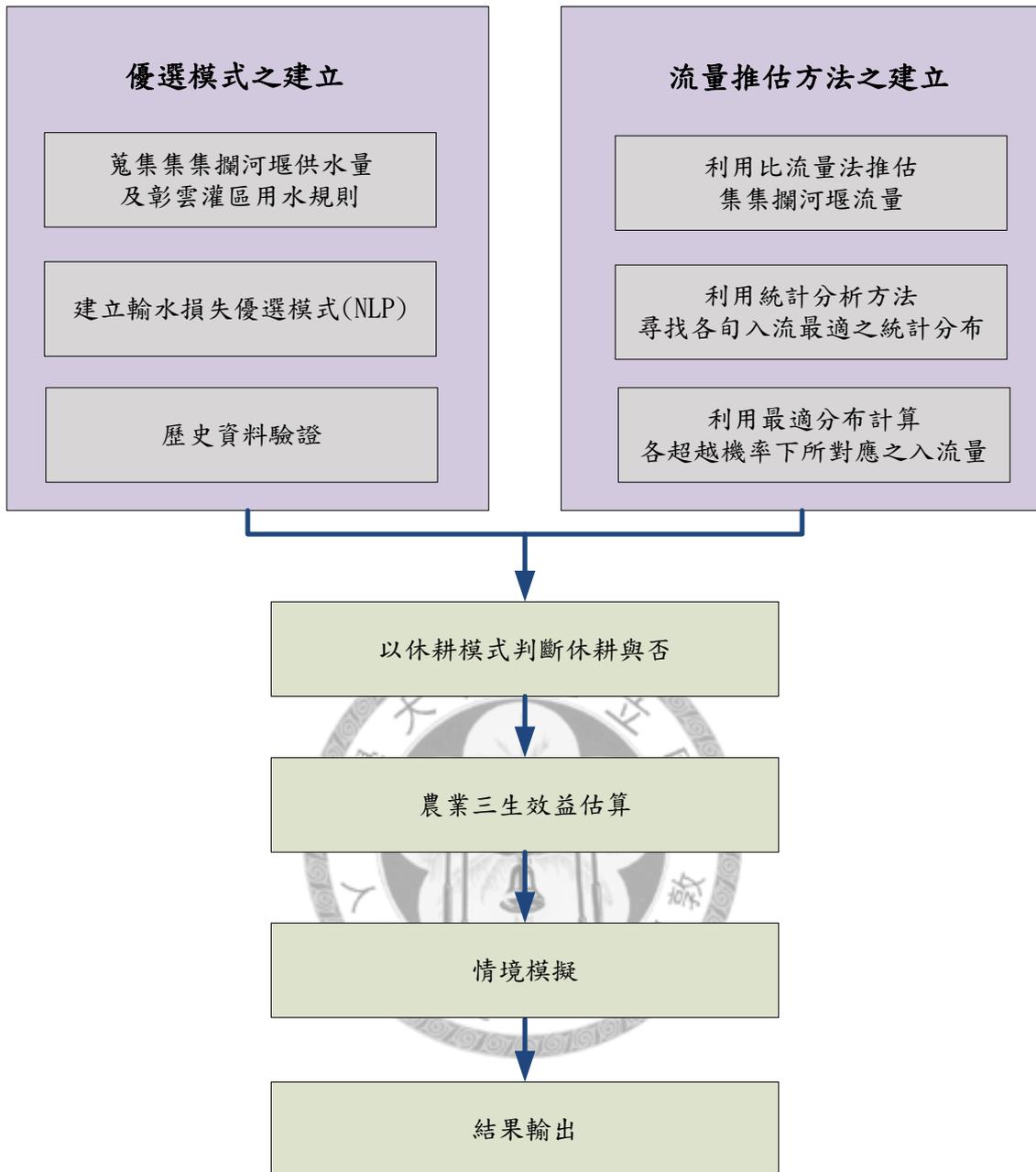


圖3.11 休耕優選模式建立流程圖

### 3.3.1 各超越機率入流量之計算

本研究之休耕優選模式以旬為演算單位，先將蒐集之歷年天然流量資料依旬劃分，透過水文機率統計進行適合度檢測(Goodness-of-fit test)，其檢測方法包含常態分布、對數常態分布、皮爾森第三型分布(PearsonType III)、對數皮爾森第三型分布(log-PearsonType III)、極端值第一型分布(Extreme Value Type I, EVI)，以SE最小決定其分佈，再以K-S檢定以信心區

間95%檢測是否通過，並依此決定每一句最適之機率密度函數，如此即可用此最適之機率分布，求得所對應超越機率之入流量。茲將本研究所使用之機率分布說明如下。

### 一、常態分布

常態分布又稱高斯分布是一個在數學、物理以及工程上，皆非常重要的機率分布，在統計學上有著重大的影響力，其機率密度函數(probability density function)可表示如下：

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (3.5)$$

其中  $\mu$  為資料之期望值； $\sigma$  為資料之標準偏差。將上式積分可得累積機率分布函數(cumulative probability function)如下式：

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{u-\mu}{\sigma}\right)^2\right] du \quad (3.6)$$

由於上式並無解析解，實際應用時以已知之樣本資料平均值  $\bar{x}$ 、標準偏差  $s$  及已知超越機率  $p_x$  計算所對應之統計值  $x$ ，可由查表或利用以下各式來推求。

$$x = \bar{x} + zs \quad (3.7)$$

$$z = w - \frac{2.515517 + 0.802853w + 0.010328w^2}{1 + 1.432788w + 0.189269w^2 + 0.001308w^3} \quad (3.8)$$

$$\begin{cases} w = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{p_x}\right)} & , \quad 0 < p_x \leq 0.5 \\ w = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-p_x)^2}\right)} & , \quad p_x > 0.5 \end{cases} \quad (3.9)$$

$$F(x) = 1 - p_x \quad (3.10)$$

其中  $z$  為標準常態變數 (standard normal variable);  $w$  為由超越機率  $p_x$  所計算之中間變數 (intermediate variable)。

## 二、對數常態分布

將資料  $x$  取對數得  $y = \ln x$ , 代入常態機率分布公式其機率密度函數改寫為：

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2\right] \quad (3.11)$$

其中  $\sigma_y$  為隨機變數  $y$  之標準偏差;  $\mu_y$  為隨機變數  $y$  之期望值, 皆由  $x$  取對數後計算之。累積機率 (超越機率) 計算方法則於  $x$  取對數之後計算方式相同。

## 三、皮爾遜第三型分布

皮爾遜第三型分布是一個較有彈性之分布, 隨著機率分布參數之變化, 可轉換為不同之分布, 如常態分布就是皮爾遜第三型分布在偏度為零之情況下之特例, 其機率密度函數及累積機率分布函數表示如下：

$$f(x) = \frac{1}{\theta\Gamma(\beta)} \left(\frac{x-\gamma}{\theta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\theta}\right)\right] \quad (3.12)$$

$$F(x) = \frac{1}{\theta\Gamma(\beta)} \int_0^{x_0} \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\theta}\right)\right] \left(\frac{x-\gamma}{\theta}\right)^{\beta-1} dx \quad (3.13)$$

$$\beta = \left(\frac{2}{C_s}\right)^2 \quad (3.14)$$

$$\gamma = \mu - \sigma\sqrt{\beta} \quad (3.15)$$

$$\theta = \frac{\sqrt{\beta}}{\sigma} \quad (3.16)$$

其中  $\mu$  為資料之期望值； $\sigma$  為資料之標準偏差； $C_s$  為偏態係數； $\theta$  為尺度參數； $\beta$  為形狀參數； $\gamma$  為位置參數； $\Gamma(\cdot)$  為 GAMMA 函數。實際運用時可由查表或下列諸式配合常態分布之近似公式在已知之樣本資料平均值  $\bar{x}$ 、標準偏差  $s$  及已知超越機率  $p_x$  計算所對應之統計值  $x$ 。

$$x = \bar{x} + z's \quad (3.17)$$

$$z' = z + (z^2 - 1) \frac{C_s'}{6} + \frac{1}{3} (z^3 - 6z) \left(\frac{C_s'}{6}\right)^2 + (z^2 - 1) \left(\frac{C_s'}{6}\right)^3 + z \left(\frac{C_s'}{6}\right)^4 + \frac{1}{3} \left(\frac{C_s'}{6}\right)^5 \quad (3.18)$$

其中  $z'$  為修正標準常態變數； $C_s'$  為修正偏態係數，而上式中標準常態變數  $z$  之計算方式同常態分布計算，經由超越機率  $p_x$  所計算之中間變數  $w$  後求出。

#### 四、對數皮爾遜第三型分布

將資料  $x$  取對數得  $y = \ln x$ ，再代入皮爾遜第三型機率密度函數得：

$$f(x) = \frac{1}{\theta x \Gamma(\beta_y)} \left(\frac{\log x - \gamma_y}{\theta_y}\right)^{\beta_y - 1} \exp\left[-\left(\frac{\log x - \gamma_y}{\theta_y}\right)\right] \quad (3.19)$$

其他如累積分布函數、資料之期望值、標準偏差、偏態係數、尺度參數、形狀參數及位置參數之計算方式同皮爾遜第三型分布，僅是先將  $x$  轉換為  $y$  後再計算上述參數。

#### 五、極端值一型分布

極端第一型分布又稱甘保氏分布，其機率密度函數及累積分布函數表

示如下：

$$f(x) = \exp[-y - \exp(-y)] \quad (3.20)$$

$$F(x) = \exp[-\exp(-y)] \quad (3.21)$$

其中

$$y = \alpha(x - \beta) \quad (3.22)$$

$$\alpha = \frac{\pi}{\sqrt{6}\sigma} \quad (3.23)$$

$$\beta = \mu - \frac{0.5772}{\alpha} \quad (3.24)$$

上諸式中， $\mu$  為資料之期望值； $\sigma$  為資料之標準偏差。由累積分布函數可整理成下式：

$$y = -\ln[-\ln(1 - p_x)] \quad (3.25)$$

其中  $p_x$  為超越機率，將上面四個式子整理後可得

$$x = \mu + \frac{\sqrt{6}}{\pi} \{-\ln[-\ln(1 - p_x)] - 0.5772\} \sigma \quad (3.26)$$

改寫成樣本統計之形式

$$x = \bar{x} + \frac{\sqrt{6}}{\pi} \{-\ln[-\ln(1 - p_x)] - 0.5772\} s \quad (3.27)$$

實際在運用時，可由上式配合已知之樣本資料平均值  $\bar{x}$ 、標準偏差  $s$  及

已知超越機率 $p_x$ 計算所對應之統計值 $x$ 。

### 3.3.2 適合度檢測(Goodness-of-fit test)

K-S(Kolmogorov-Smirnov)檢定所利用的檢定概念，是將資料按照大小排序，以排序資料的累積機率經驗公式(即點繪公式)估計每個排序樣本的累積機率值，比較每個樣本資料的累積機率與套配的機密度函數的累積機率，以兩者的最大差值的絕對值作為檢定指標，當此一指標值超過某個數值以上，便不通過適合度檢測。檢定指標定義為：

$$D = \max_{i=1}^n |F^*(x_i) - F(x_i)| \quad (3.27)$$

當式(3.27)之指標數值 $D \geq C_{n,\alpha}$ ，便不通過K-S檢定；其中 $C_{n,\alpha}$ 是樣本數 $n$ ，顯著水準 $\alpha$ 的K-S適合度檢定臨界值。臨界值如下表3.5所示：

表3.5 Kolmogorov-Smirnov適合度檢測臨界值

樣本數 (N)	LEVEL OF SIGNIFICANCE FOR D = MAXIMUM [ F0(X) - Sn(X) ]				
1	0.200	0.150	0.100	0.050	0.010
2	0.900	0.925	0.950	0.975	0.995
3	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
4	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
5	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
6	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
7	0.410	0.436	0.470	0.521	0.618
8	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
9	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
10	0.339	0.36	0.388	0.432	0.514
11	0.322	0.342	0.368	0.41	0.490
12	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
13	0.295	0.313	0.338	0.375	0.450
14	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
15	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
16	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
17	0.258	0.274	0.295	0.328	0.392
18	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
19	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
20	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
25	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
30	0.210	0.220	0.240	0.270	0.320
35	0.190	0.200	0.220	0.240	0.290
35	0.180	0.19	0.21	0.230	0.270
large n	$1.07/\sqrt{n}$	$1.14/\sqrt{n}$	$1.22/\sqrt{n}$	$1.36/\sqrt{n}$	$1.63/\sqrt{n}$

K-S檢定決定是否通過適合度方法的檢定指標，是樣本資料與優選模式機率對於相同變數樣本數值的累積機率的 $\text{最大差異}$ 。就此指標在檢測上的意義而言，是此組樣本資料數值分布情形與套配機密度函數在前次累積機率相等以後的 $\text{最大「出現機率累積誤差」}$ ，因此K-S檢定與樣本資料是否連續大於機率密度函數有關。

### 3.3.3 最適機率之分布

本研究根據比流量法(單位面積的逕流量)由玉峰橋推估集集攔河堰流量，透過水文統計分析流量資料，尋找集集攔河堰各旬最適機率分布，呈現於表3.6中，並依此機率分布推算不同超越機率下集集攔河堰對應之流量，如表3.7及圖3.12所示。

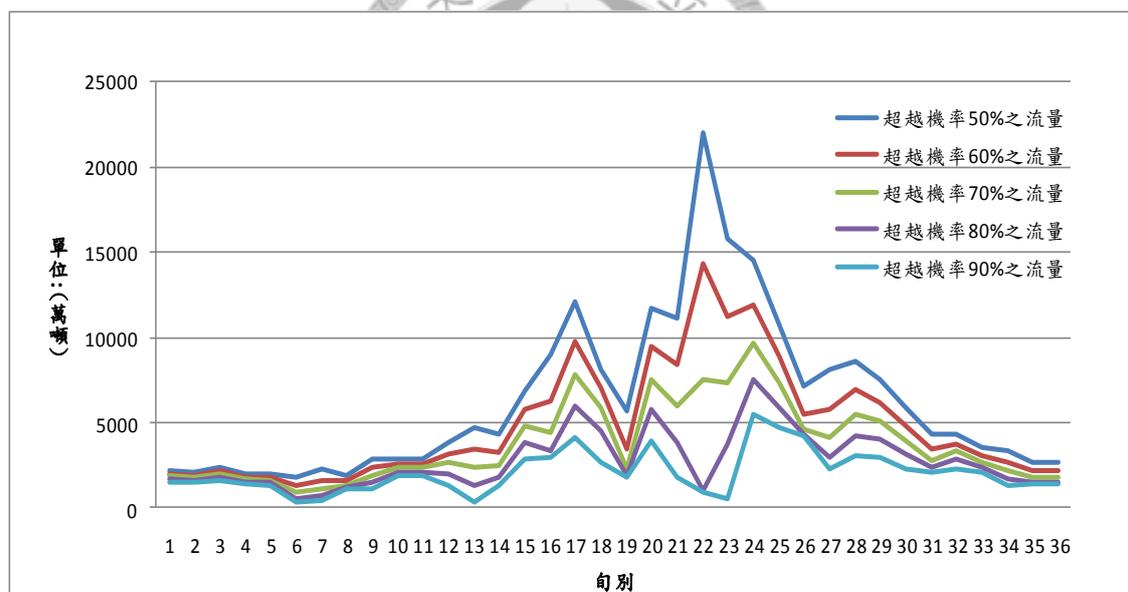


圖3.12 各超越機率於各旬別之流量分布示意圖

表3.6 各旬流量之最適機率分布

旬別	機率分布	D_max	平均值	標準偏差
1	皮爾森III型	0.09	2406.94	867.77
2	皮爾森III型	0.08	2286.74	793.72
3	對數皮爾森III型	0.09	7.78	0.33
4	皮爾森III型	0.13	2214.70	830.17
5	對數皮爾森III型	0.11	7.60	0.36
6	皮爾森III型	0.19	2916.32	3328.44
7	皮爾森III型	0.20	3508.38	3844.15
8	皮爾森III型	0.29	3068.82	3156.09
9	皮爾森III型	0.09	3600.94	2644.51
10	皮爾森III型	0.23	3677.83	3318.80
11	皮爾森III型	0.08	3202.63	1335.02
12	皮爾森III型	0.14	4164.91	2519.83
13	皮爾森III型	0.15	6478.60	6501.89
14	皮爾森III型	0.05	6477.84	6476.45
15	對數常態	0.09	8.84	0.68
16	皮爾森III型	0.29	18007.22	24550.06
17	對數常態	0.18	9.40	0.84
18	皮爾森III型	0.11	8256.11	4448.05
19	皮爾森III型	0.52	15998.09	29361.82
20	對數皮爾森III型	0.11	9.35	0.83
21	皮爾森III型	0.13	15342.37	14694.91
22	皮爾森III型	0.19	31920.97	38431.61
23	皮爾森III型	0.13	31920.97	38431.61
24	對數皮爾森III型	0.09	9.62	0.81
25	皮爾森III型	0.11	13935.35	10513.92
26	皮爾森III型	0.58	15526.89	23964.24
27	皮爾森III型	0.11	14281.27	17308.07
28	對數皮爾森III型	0.13	9.15	0.92
29	對數皮爾森III型	0.15	8.96	0.77
30	對數皮爾森III型	0.10	8.69	0.77
31	皮爾森III型	0.12	6460.51	6159.77
32	對數常態	0.09	8.37	0.50
33	皮爾森III型	0.12	4409.59	2788.20
34	皮爾森III型	0.15	4363.25	3469.57
35	皮爾森III型	0.14	3734.59	3153.16
36	對數皮爾森III型	0.11	3838.91	3539.64

資料來源:本研究整理

表3.7 各超越機率於各旬別之流量分布示意圖

旬別/超越機率	50%	60%	70%	80%	90%
1	2209.38	2027.25	1858.30	1692.26	1512.99
2	2077.67	1921.87	1782.26	1651.27	1520.17
3	2334.25	2153.31	1982.06	1807.08	1602.47
4	2015.53	1844.91	1688.36	1536.76	1376.86
5	1970.30	1799.18	1635.79	1467.32	1268.27
6	1781.30	1279.11	882.69	574.35	358.37
7	2239.61	1625.46	1127.21	722.64	412.58
8	1911.16	1559.82	1321.93	1180.74	1132.16
9	2867.43	2364.65	1921.16	1514.10	1121.55
10	2871.52	2601.20	2355.11	2119.23	1874.61
11	2871.52	2601.20	2355.11	2119.23	1874.61
12	3793.16	3208.02	2631.63	2020.27	1279.52
13	4684.47	3444.03	2348.02	1339.66	363.27
14	4339.20	3305.32	2466.84	1786.43	1265.56
15	6897.70	5802.43	4820.95	3880.46	2871.91
16	8999.77	6283.19	4449.70	3368.34	3003.60
17	12116.47	9792.08	7793.66	5965.46	4117.47
18	8149.35	7032.40	5850.44	4485.91	2628.32
19	5652.83	3461.07	2294.77	1898.79	1803.00
20	11684.83	9466.92	7534.54	5746.06	3920.43
21	11154.99	8413.98	6018.73	3848.86	1803.55
22	22011.24	14379.20	7499.44	993.21	913.12
23	15807.72	11265.38	7320.66	3778.48	491.19
24	14549.64	11896.73	9638.28	7583.44	5503.11
25	10754.58	8889.62	7299.07	5907.42	4675.09
26	7185.07	5487.54	4616.49	4349.50	4245.29
27	8083.16	5799.65	4111.60	2934.32	2295.07
28	8632.12	6907.48	5501.83	4276.55	3092.07
29	7507.91	6192.81	5062.72	4024.05	2959.42
30	5842.09	4819.40	3932.91	3111.79	2264.29
31	4279.30	3433.39	2795.52	2335.28	2063.57
32	4294.55	3785.89	3307.44	2823.43	2267.13
33	3516.61	3052.03	2667.47	2345.55	2083.35
34	3322.81	2702.30	2170.99	1703.46	1285.09
35	2644.56	2182.55	1822.97	1549.58	1367.39
36	2644.56	2182.55	1822.97	1549.58	1367.39

單位:萬噸

### 3.4 休耕優選模式之應用

本研究建立之休耕優選模式，考量最大之農業三生效益下於各供灌情境下之最佳休耕面積，本研究根據濁水溪區域之實際供灌情形繪製如下之概念圖(詳見圖3.13)。

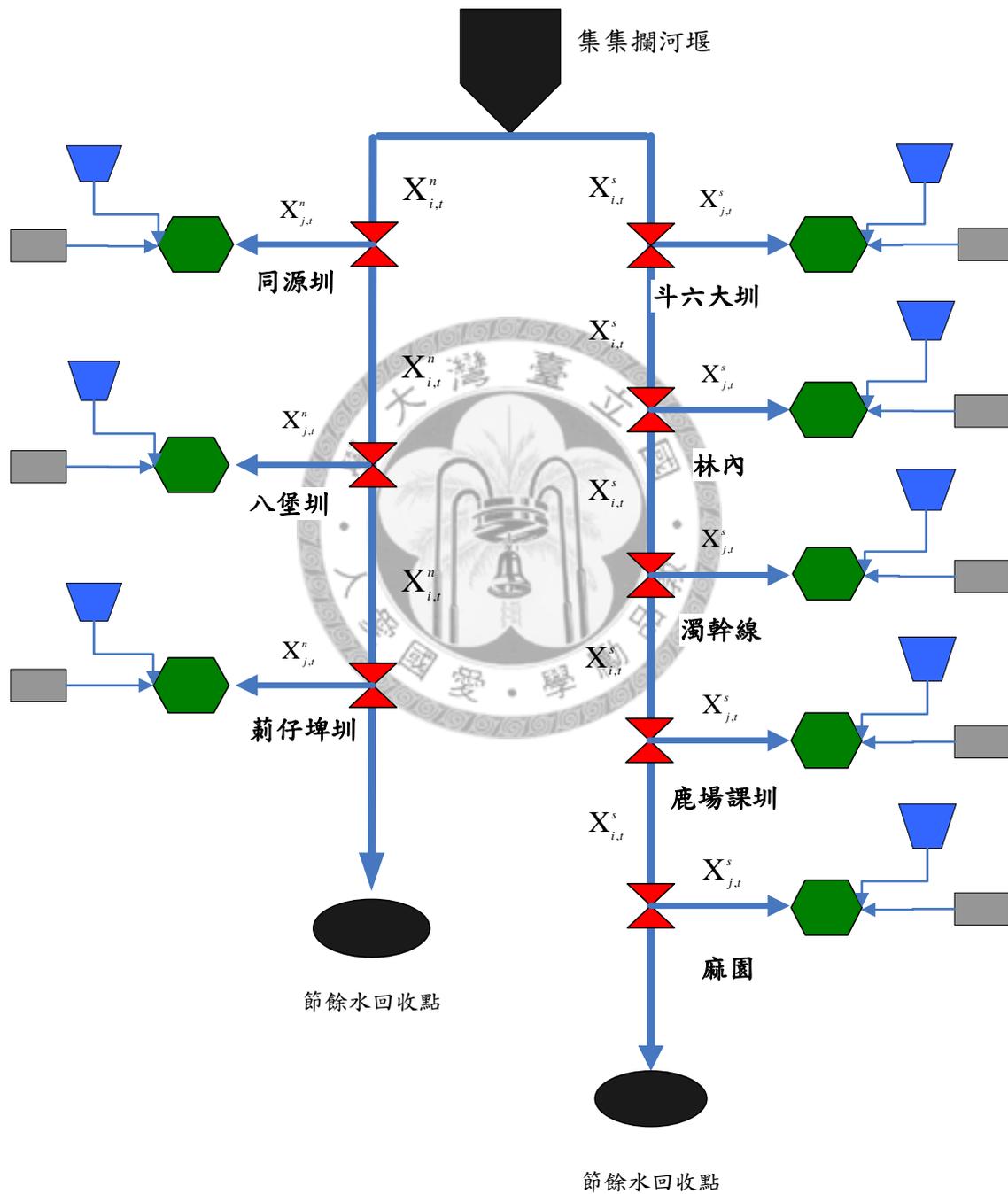


圖3.13 彰化及雲林灌溉系統示意圖

本研究將上述之灌溉系統示意圖，加以元件符號化以便休耕優選模式電腦程式撰寫之用，如下圖3.14所示。

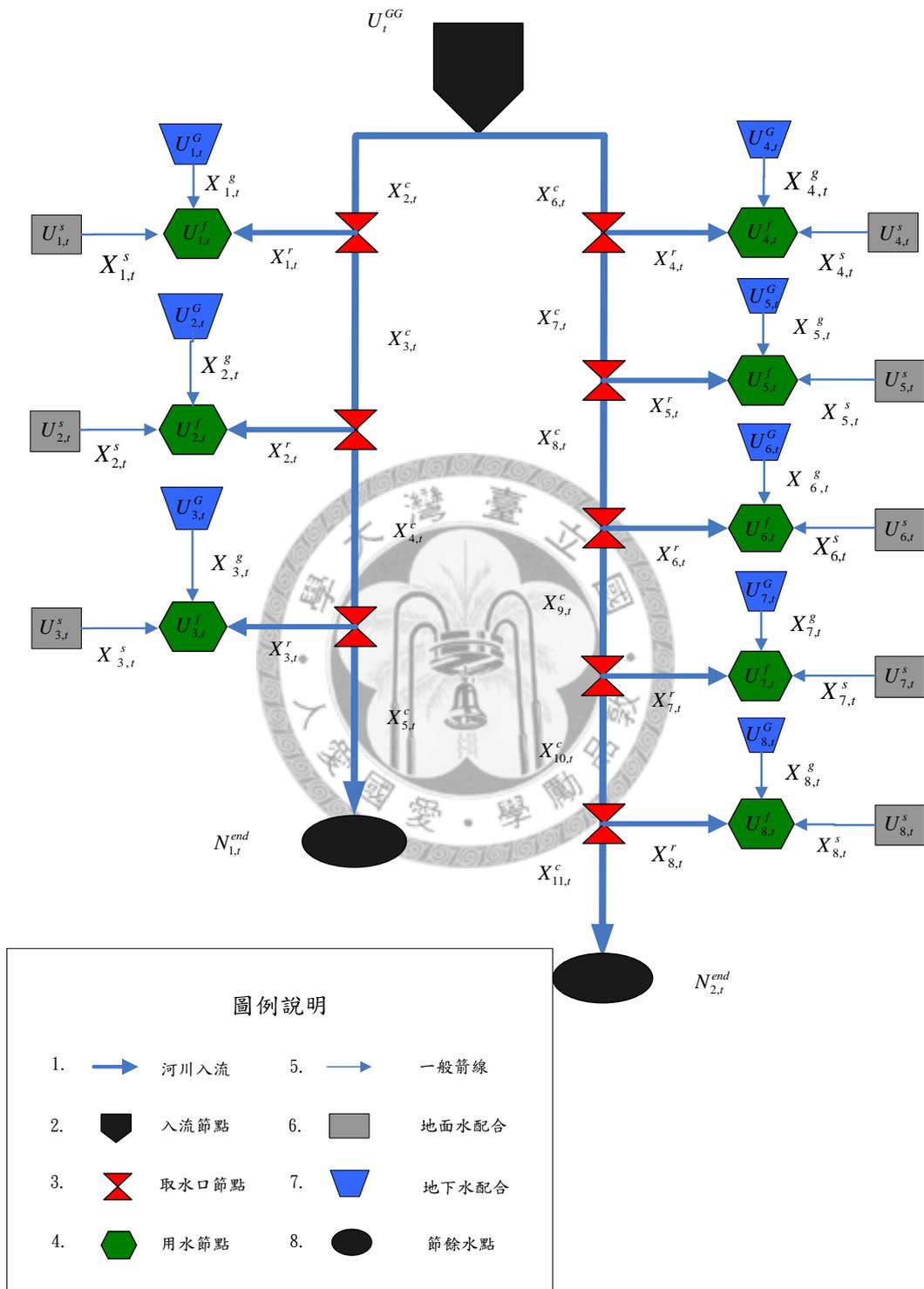


圖3.14 彰化及雲林灌溉系統編碼示意圖

### 3.4.1 情境一運用結果與分析

本研究情境一是基於現況不休耕下之情形為比較考量之基準，為確立休耕優選模式可以更貼近彰化及雲林實際耕作之現況；本研究在情境一中採用比流量法，即利用已知測站之天然流量推求未知測站之天然流量，本研究透過比流量法推求所得到集集攔河堰之歷史天然入流量，將之輸入本研究優選模式中，用以驗證本研究之優選模式是否可以掌握該區(彰化及雲林濁幹線區域)農業用水之調配供灌特性，以提高並確立休耕優選模式之可信度。而本研究所應用之比流量法，乃是由集集攔河堰上游之玉峰大橋測站，利用該測站歷史入流量透過集水區面積轉換推求下游集集攔河堰之流量。本研究在確立優選模式之可信度後，遂將優選模式加入農業三生考量並令其三生效益最大化為目標方程式，其流程如圖3.15所示。其中三生效益之生產效益即為我們一般大眾所知之農業稻米產值效益；而在生活效益方面上透過農田水稻的種植，為種植區域帶來溫室氣體之調節、氧氣增量效果以及對水中生物耗氧量之BOD指數亦有降低之功效；在生態方面，水田區域對於洪水來襲時還有調蓄洪水之作用，本研究情境一中主要為評估農業三生加入前後效益之差異；透過加入農業三生效益之成本係數(cost coefficient)，而使本研究之優化模式輸出目標函數之最佳效益，將休耕優選模式輸出之結果與現況(不休耕情形)，比較僅有生產效益以及加入農業三生效益加以探討比較。情境一輸出之結果及圖表詳述如后。

下圖中之條狀圖顯示，歷年耕作面積與休耕優選模式之結果相近，即本模式確實可以實際掌握該區之用水特性；而圖中之一期作與二期作面積之差值主要受雲林輪作制度之影響，由於受天然氣候條件影響，一期作期間可供灌溉之入流量較相較於二期作間常有颱風經過補充降水來的少，故形成雲林地區濁幹線之水稻田僅施行單期作是為二期作，因引用濁幹線水量灌溉之面積龐大，故使此圖表型成一高一低之趨勢，但透過圖3.16可確定本模式確實已經掌握該區之用水特性。其詳細歷史灌溉面積與休耕優選模式所得之灌溉面積，如表3.8與表3.9所示。



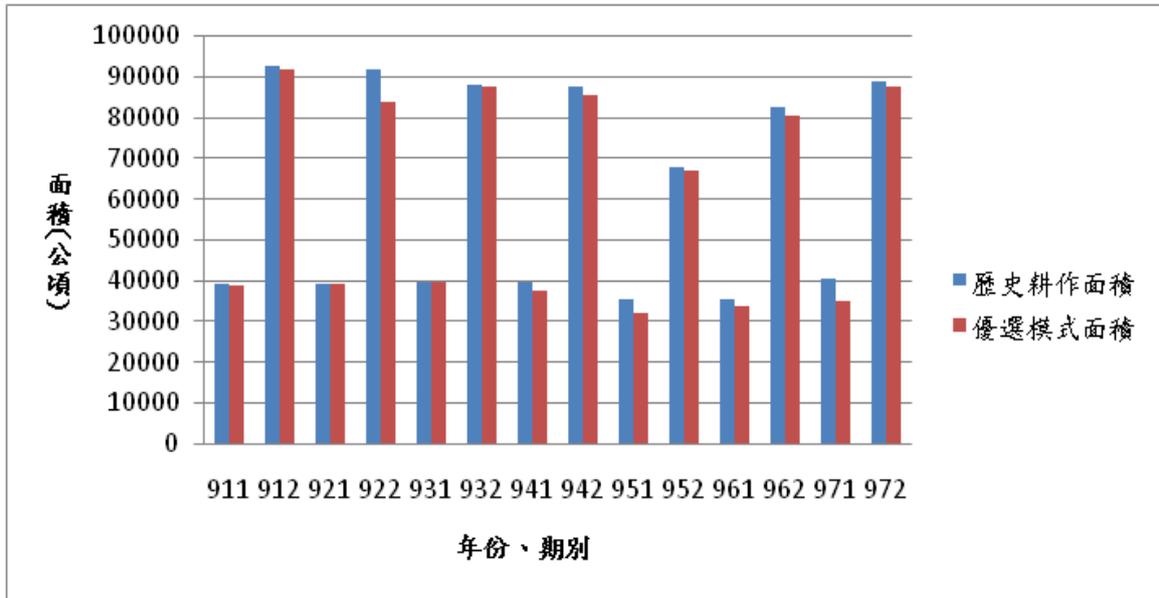


圖3.16 歷年耕作面積與模式面積比較圖

表3.8 濁水溪區域歷年耕作面積表

年別	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
2002	1	1674	17578	15106	1672	395	0	2768	126
2003	1	1632	17426	15190	1844	394	0	2793	128
2004	1	1632	17456	17169	0	393	0	2793	128
2005	1	1632	17432	16222	1623	0	0	2793	128
2006	1	1632	17409	16178	0	393	0	0	0
2007	1	1611	17365	16256	0	393	0	0	0
2008	1	1611	17377	16260	1933	393	0	2782	130
2002	2	1674	17577	15106	4578	924	49957	2793	115
2003	2	1632	17427	15191	4323	921	49900	2240	115
2004	2	1632	17452	16263	0	918	49356	2258	115
2005	2	1632	17431	16113	0	918	49089	2299	115
2006	2	1622	17350	16256	0	918	31674	0	0
2007	2	1611	17369	16270	0	918	43525	2782	233
2008	2	1614	17376	16261	4304	918	45583	2782	130

單位:公頃(ha)

表3.9 濁水溪區域於休耕優選模式下歷年耕作面積表

年別	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
2002	1	1674	17578	15096	1672	395	0	2768	46
2003	1	1632	17426	15190	1844	394	0	2793	128
2004	1	1632	17456	17169	0	393	0	2793	128
2005	1	1632	17432	14120	1623	0	0	2793	8
2006	1	1632	17384	12625	0	393	0	0	0
2007	1	1611	17365	14453	0	393	0	0	0
2008	1	1611	17377	12633	244	393	0	2782	130
2002	2	1674	17577	15106	3632	924	49957	2793	115
2003	2	1632	14605	12156	4200	829	47313	988	115
2004	2	1632	17452	16263	0	711	49356	2258	115
2005	2	1632	17431	14300	0	719	49089	2299	115
2006	2	1622	17350	15650	0	776	31674	0	0
2007	2	1611	16925	14629	0	918	43525	2782	233
2008	2	1614	17376	15361	4023	918	45583	2782	130

單位:公頃(ha)

本研究亦加入休耕模式下僅考量生產時之耕作面積與考量三生下時耕作面積之差異，其結果如圖3.17所示，可以看出僅考慮供水量最大於生產時，其耕作面積會較考慮三生效益大。

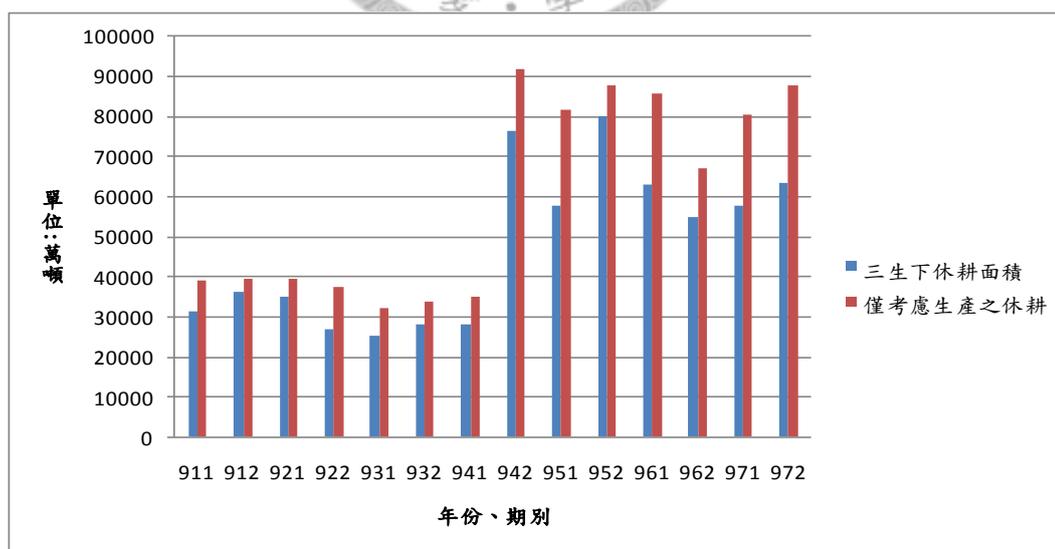


圖3.17 生產效益下耕作面積與農業三生下面積比較圖

本研究在確立休耕優選模式已經實際掌握該區之用水特性後，遂將農業三生效益加入本研究之休耕優選模式中考量，並將其效益統計輸出後，各效益所佔之百分比以圖3.18表示。

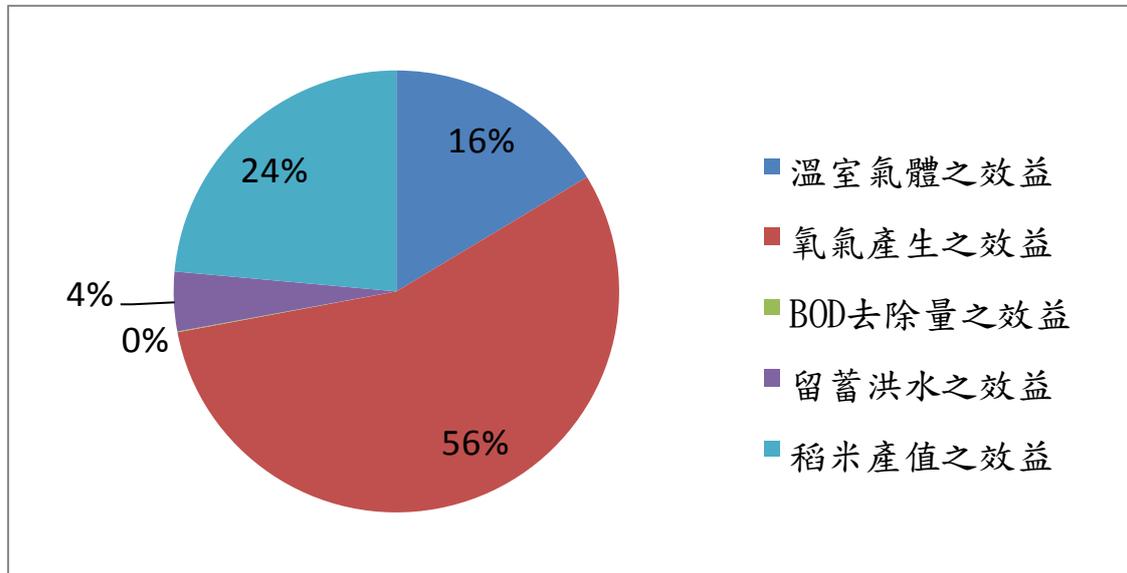


圖3.18 情境一各項效益比例表

由上述之比例圖中可以發現，以往農業效益評估著重之生產值效益，所佔比例相較於總體可評估效益而言有偏低之現象，僅佔本研究區域總效益的24%；以往被忽略的各項農業生活與生態效益所佔之比例相對於農業稻米產值卻高出許多，由農業所帶來之生活與生態效益之和佔總效益的76%。三生效益之中以種植水田透過光合作用之進行帶來的氧氣生產之效益位居調節三生效益之第一，佔有整體效益之56%；而種植水田對溫室氣體二氧化碳雖有調節作用，但種植水田亦會帶來沼氣負面效益，兩者效益相互消長後，使溫室氣體調節效益位居調節三生效益之第二位；相較於其他三生效益，以往吾人熟知之農業稻米產值效益僅居總效益之第三位，所佔比例為24%，其各灌區歷年三生總效益如表3.10所示，而各灌區之各項三生效益如以下列表(詳見表3.13、表3.14、表3.15、表3.13、表3.14及表3.15)所示。

表3.10 休耕優選模式所得總效益之效益表

年別	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
2002	1	8.76	91.93	78.55	8.73	2.06	0.00	14.46	0.21
2003	1	8.54	91.14	79.45	9.63	2.06	0.00	14.59	0.67
2004	1	8.54	91.30	89.80	0.00	2.05	0.00	14.59	0.67
2005	1	8.54	91.17	72.90	8.48	0.00	0.00	14.59	-0.01
2006	1	8.54	90.91	64.43	0.00	2.05	0.00	0.00	0.00
2007	1	8.43	90.82	74.78	0.00	2.05	0.00	0.00	0.00
2008	1	8.43	90.88	64.44	0.51	2.05	0.00	14.53	0.68
2002	2	7.18	75.44	64.83	15.33	4.01	216.72	10.55	-0.04
2003	2	7.00	54.38	35.13	18.16	2.30	204.08	0.33	-0.04
2004	2	7.00	74.90	69.80	0.00	2.99	214.11	9.80	0.50
2005	2	7.00	74.81	60.56	0.00	3.03	212.95	9.97	0.50
2006	2	6.96	74.46	66.89	0.00	3.30	137.40	0.00	0.00
2007	2	6.91	72.44	60.79	0.00	3.98	188.81	9.32	-0.10
2008	2	6.93	74.57	48.41	17.32	3.98	197.74	1.04	-0.06

單位:億元

表3.11 各灌區二氧化碳(CO<sub>2</sub>)調節之效益

年別	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
2002	1	2.11	22.17	18.95	2.11	0.50	0.00	3.49	0.06
2003	1	2.06	21.98	19.16	2.33	0.50	0.00	3.52	0.16
2004	1	2.06	22.02	21.65	0.00	0.50	0.00	3.52	0.16
2005	1	2.06	21.99	17.81	2.05	0.00	0.00	3.52	0.01
2006	1	2.06	21.93	15.92	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00
2007	1	2.03	21.90	18.23	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00
2008	1	2.03	21.92	15.93	0.31	0.50	0.00	3.51	0.16
2002	2	1.89	19.84	17.05	4.10	1.04	56.40	2.78	0.00
2003	2	1.84	14.82	9.99	4.74	0.64	53.41	0.32	0.00
2004	2	1.84	19.70	18.36	0.00	0.80	55.72	2.55	0.13
2005	2	1.84	19.68	16.14	0.00	0.81	55.42	2.60	0.13
2006	2	1.83	19.59	17.67	0.00	0.88	35.76	0.00	0.00
2007	2	1.82	19.11	16.22	0.00	1.04	49.14	2.49	0.00
2008	2	1.82	19.62	13.27	4.54	1.04	51.46	0.54	0.00

單位:億元

表3.12 各灌區甲烷(CH<sub>4</sub>)減少之效益

年別	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
2002	1	5.52	57.95	49.54	6.81	1.61	0.00	11.28	0.19
2003	1	5.38	57.45	50.08	7.51	1.61	0.00	11.38	0.52
2004	1	5.38	57.55	56.60	0.00	1.60	0.00	11.38	0.52
2005	1	5.38	57.47	46.55	6.61	0.00	0.00	11.38	0.03
2006	1	5.38	57.31	41.62	0.00	1.60	0.00	0.00	0.00
2007	1	5.31	57.25	47.65	0.00	1.60	0.00	0.00	0.00
2008	1	5.31	57.29	41.65	0.99	1.60	0.00	11.34	0.53
2002	2	92.40	970.17	833.78	183.66	46.72	2526.08	124.65	0.16
2003	2	90.08	724.34	488.51	212.37	28.70	2392.40	14.12	0.14
2004	2	90.08	963.27	897.65	0.00	35.95	2495.69	114.18	5.81
2005	2	90.08	962.11	789.30	0.00	36.34	2482.19	116.25	5.81
2006	2	89.53	957.64	863.79	0.00	39.26	1601.60	0.00	0.00
2007	2	88.92	934.20	792.84	0.00	46.42	2200.84	111.68	0.00
2008	2	89.09	959.08	648.69	203.42	46.42	2304.91	24.18	0.00

單位:百萬元

表3.13 各灌區氧氣(O<sub>2</sub>)調節之效益

年別	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
2002	1	4.54	47.71	40.79	4.54	1.07	0.00	7.51	0.13
2003	1	4.43	47.30	41.23	5.01	1.07	0.00	7.58	0.35
2004	1	4.43	47.38	46.60	0.00	1.07	0.00	7.58	0.35
2005	1	4.43	47.32	38.33	4.41	0.00	0.00	7.58	0.02
2006	1	4.43	47.19	34.27	0.00	1.07	0.00	0.00	0.00
2007	1	4.37	47.14	39.23	0.00	1.07	0.00	0.00	0.00
2008	1	4.37	47.17	34.29	0.66	1.07	0.00	7.55	0.35
2002	2	4.06	42.66	36.67	8.82	2.24	121.26	5.98	0.01
2003	2	3.96	31.85	21.48	10.19	1.38	114.84	0.68	0.01
2004	2	3.96	42.36	39.48	0.00	1.73	119.80	5.48	0.28
2005	2	3.96	42.31	34.71	0.00	1.74	119.15	5.58	0.28
2006	2	3.94	42.11	37.99	0.00	1.88	76.88	0.00	0.00
2007	2	3.91	41.08	34.87	0.00	2.23	105.65	5.36	0.00
2008	2	3.92	42.18	28.53	9.76	2.23	110.64	1.16	0.00

單位:億元

表3.14 各灌區生物去除量(BOD)調節之效益

年別	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
2002	1	0.43	4.52	3.87	0.43	0.10	0.00	0.71	0.01
2003	1	0.42	4.49	3.91	0.47	0.10	0.00	0.72	0.03
2004	1	0.42	4.49	4.42	0.00	0.10	0.00	0.72	0.03
2005	1	0.42	4.49	3.63	0.42	0.00	0.00	0.72	0.00
2006	1	0.42	4.47	3.25	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
2007	1	0.41	4.47	3.72	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
2008	1	0.41	4.47	3.25	0.06	0.10	0.00	0.72	0.03
2002	2	0.43	4.52	3.89	0.93	0.24	12.86	0.63	0.00
2003	2	0.42	3.38	2.28	1.08	0.15	12.18	0.07	0.00
2004	2	0.42	4.49	4.19	0.00	0.18	12.71	0.58	0.03
2005	2	0.42	4.49	3.68	0.00	0.19	12.64	0.59	0.03
2006	2	0.42	4.47	4.03	0.00	0.20	8.15	0.00	0.00
2007	2	0.41	4.36	3.70	0.00	0.24	11.20	0.57	0.00
2008	2	0.42	4.47	3.03	1.04	0.24	11.73	0.12	0.00

單位:百萬元

表3.15 各灌區調蓄洪水之效益

年別	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
2002	1	30.94	324.93	279.51	30.91	7.30	0.00	51.17	2.60
2003	1	30.17	322.12	280.79	34.09	7.28	0.00	51.63	2.37
2004	1	30.17	322.68	317.37	0.00	7.26	0.00	51.63	2.37
2005	1	30.17	322.23	306.94	30.00	0.00	0.00	51.63	2.77
2006	1	30.17	321.89	311.01	0.00	7.26	0.00	0.00	0.00
2007	1	29.78	320.99	306.56	0.00	7.26	0.00	0.00	0.00
2008	1	29.78	321.22	312.77	41.42	7.26	0.00	51.43	2.40
2002	2	30.94	324.91	279.24	87.81	17.08	923.46	52.73	2.50
2003	2	30.17	336.62	302.14	80.32	18.21	931.11	48.00	2.50
2004	2	30.17	322.60	300.62	0.00	17.67	912.35	41.74	2.13
2005	2	30.17	322.21	303.95	0.00	17.64	907.42	42.50	2.13
2006	2	29.98	320.72	302.53	0.00	17.45	585.50	0.00	0.00
2007	2	29.78	322.56	307.17	0.00	16.97	804.56	53.36	5.09
2008	2	29.83	321.20	315.76	80.51	16.97	842.61	59.18	2.84

單位:百萬元

### 3.4.2 情境二運用結果與分析

本研究情境二之考量，是藉由情境一考量衍伸而出的，情境二之出發考量點源於近年氣候之不穩定所致，在氣候異常影響下，考量水資源最有效率利用，以使決策者在氣候狀況異常之時，本研究之研究結果能提供決策者意見，根據不同情形狀況提早做出決策，使決策者及時掌握用水現況並做出最適合之決策。本情境二基於情境一濁水溪灌區現況不休耕之基準下，通盤考量農業三生效益為比較之基準；本研究在情境二中，為使決策者能根據不同程度缺水情況做出最佳決策，以達水資源做最有效利用並使整體農業環境得到最佳效益，本研究透過水文統計機率方法，評估集集攔河堰各旬用水量統計資料之最適機率分布(如表3.6呈現)，再依各旬之最適分布應用水文統計方法求出不同超越機率下集集攔河堰各旬所對應之流量，如表3.7及圖3.12所示，將不同超越機率下對應之流量輸入休耕優選模式中，以計算不同超越機率下所對應之休耕面積與位置，其流程圖如圖3.19所示，而情境二中休耕面積比較基準，則以情境一中經過休耕優選模式計算出之最佳耕作面積為基準，使決策者可以根據不同缺水情形及早決定休耕位置及面積，使整體農業環境帶來最大效益。表3.16為不同超越機率下各灌區效益呈現，由表3.16中可以發現，不同期別在相同超越機率下，二期作效益會相較於一期作高，而影響二期作的因素主要來源有以下二項；第1，降水受氣候空間影響分布所致，二期作可供耕作用水較一期作大，故二期作耕作面積較一期作大；第2，在二期作耕作時間種植水稻時，水稻田田面湛水對環境溫度調節產生的效益相當可觀。情境二中其他不同超越機率下之各灌區詳細效益值附於附錄二中。

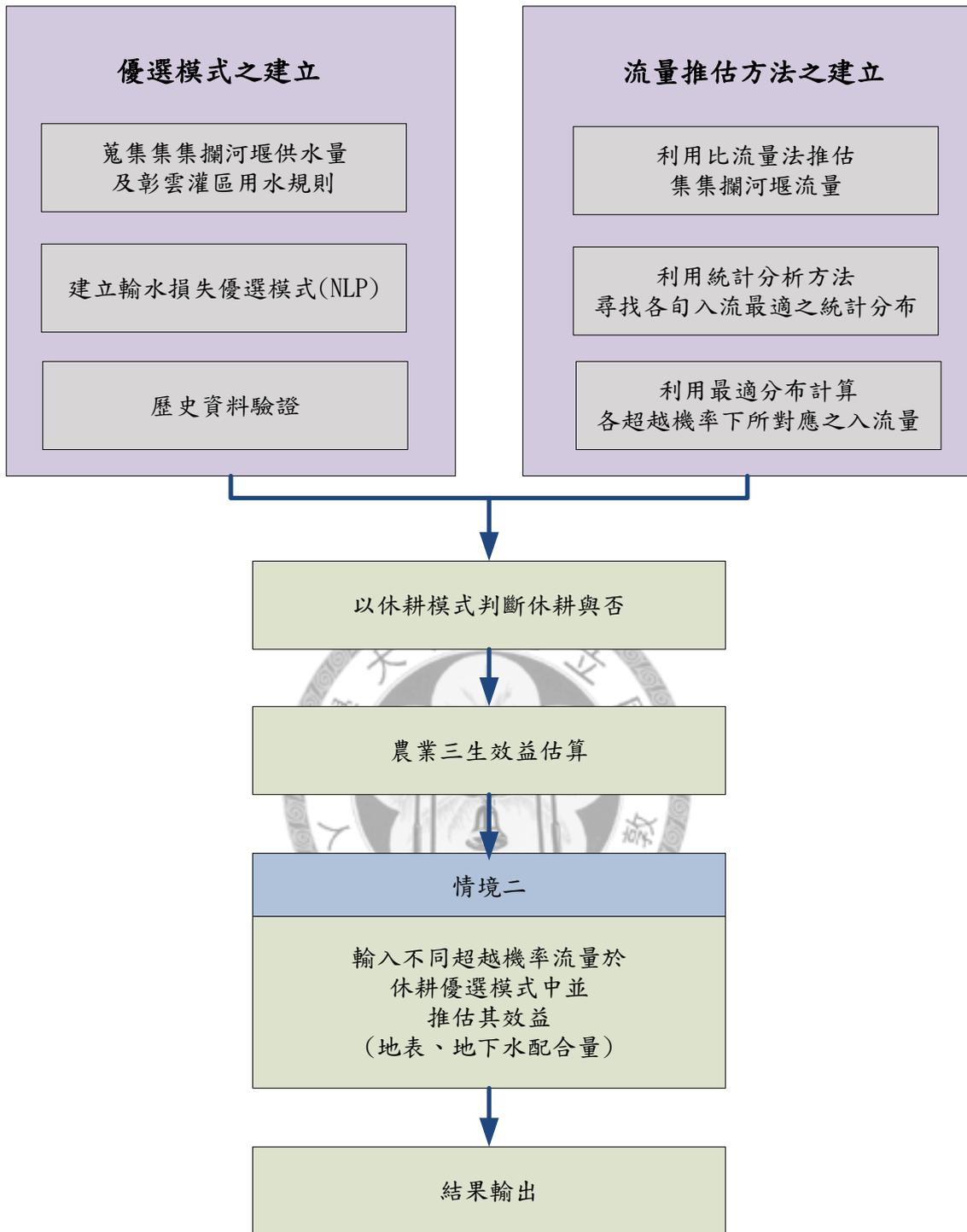


圖3.19 情境二流程圖

表3.16 情境二各超越機率下各灌區效益

超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	1	8.54	91.16	73.32	3.82	1.76	0.00	10.39	0.31
60%	1	8.54	91.16	71.18	3.91	1.76	0.00	10.02	0.32
70%	1	8.54	90.91	66.67	3.91	1.76	0.00	8.99	0.21
80%	1	8.54	90.36	60.10	3.91	1.76	0.00	5.82	0.13
90%	1	8.54	89.15	47.50	3.91	1.76	0.00	3.22	0.09
超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	2	7.00	72.41	62.26	7.19	3.52	195.84	9.21	0.51
60%	2	7.00	71.89	55.45	7.15	3.44	195.97	6.83	0.36
70%	2	7.00	68.53	45.43	6.85	3.34	195.45	3.91	0.20
80%	2	7.00	56.25	33.56	3.68	2.02	185.89	0.59	-0.05
90%	2	6.06	49.68	34.35	1.77	1.82	175.97	1.01	0.03

單位:百萬元

上述表格中為農業三生總效益在各灌區於各超越機率下之呈現，而圖3.20中所呈現的是，根據不同超越機率(圖中之X軸)各項三生效益(圖中之Y軸，單位效益為百萬元)的發展趨勢，其中溫室效益趨勢是由種植稻作促使二氧化碳減量之效益減去因種植稻作而產生甲烷損失所得到之趨勢，溫室氣體調節效益隨著超越機率增加有下降之趨勢；BOD去除量之調節效益，亦隨著超越機率增加而呈現下降之趨勢；只有調蓄洪水效益隨著超越機率的增加而有上升之趨勢，其原因為當超越機率越高造成休耕面積越高，水田休耕相較於耕作時可調蓄洪水的體積較高，故造成當超越機率越高時，調蓄洪水效益亦隨之攀升。

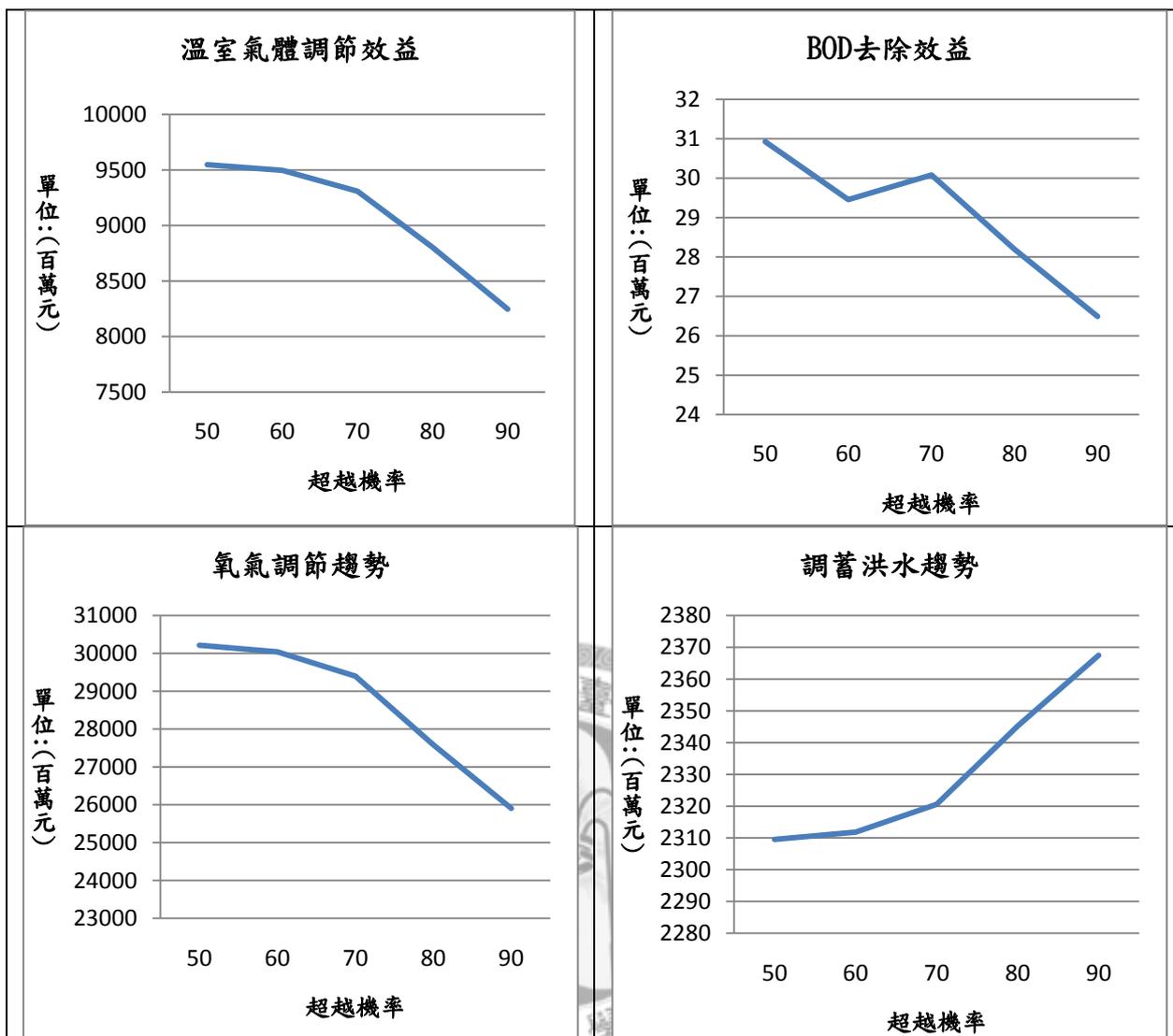


圖3.20 情境二各超越機率入流量下三生效益計算結果圖

本情境二中透過圖3.21及圖3.22可反映出不同超越機率下之農業整體效益，本研究之休耕優選模式不僅可計算農業整體效益外，透過本研究休耕優選模式亦可計算輸入不同超越機率下之入流量，同時經由本研究之休耕優選模式也能指出對應之超越機率下各灌區休耕位置及對應之休耕面積，如下圖3.26、圖3.24、圖3.25、圖3.26及圖3.27所示。

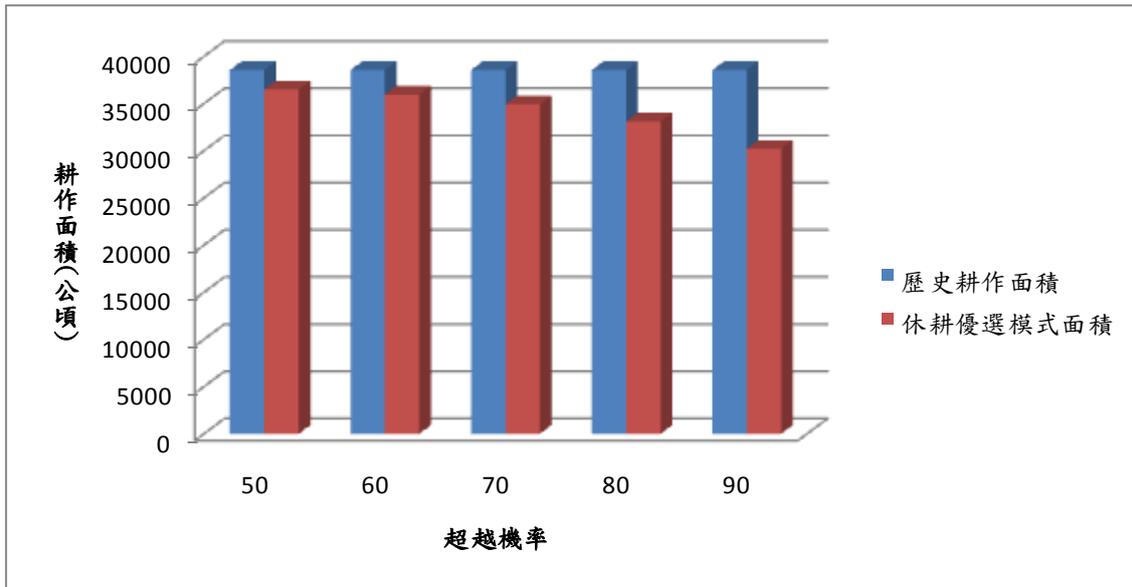


圖3.21 情境二各超越機率入流量下休耕面積比例圖(一期作)

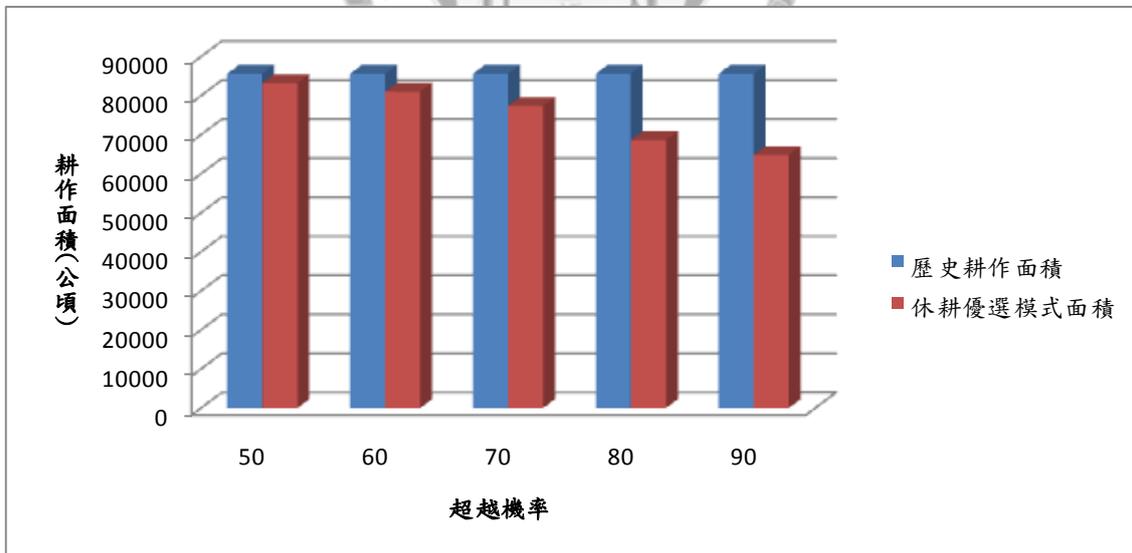


圖3.22 情境二超越機率入流量下休耕面積比例圖(二期作)

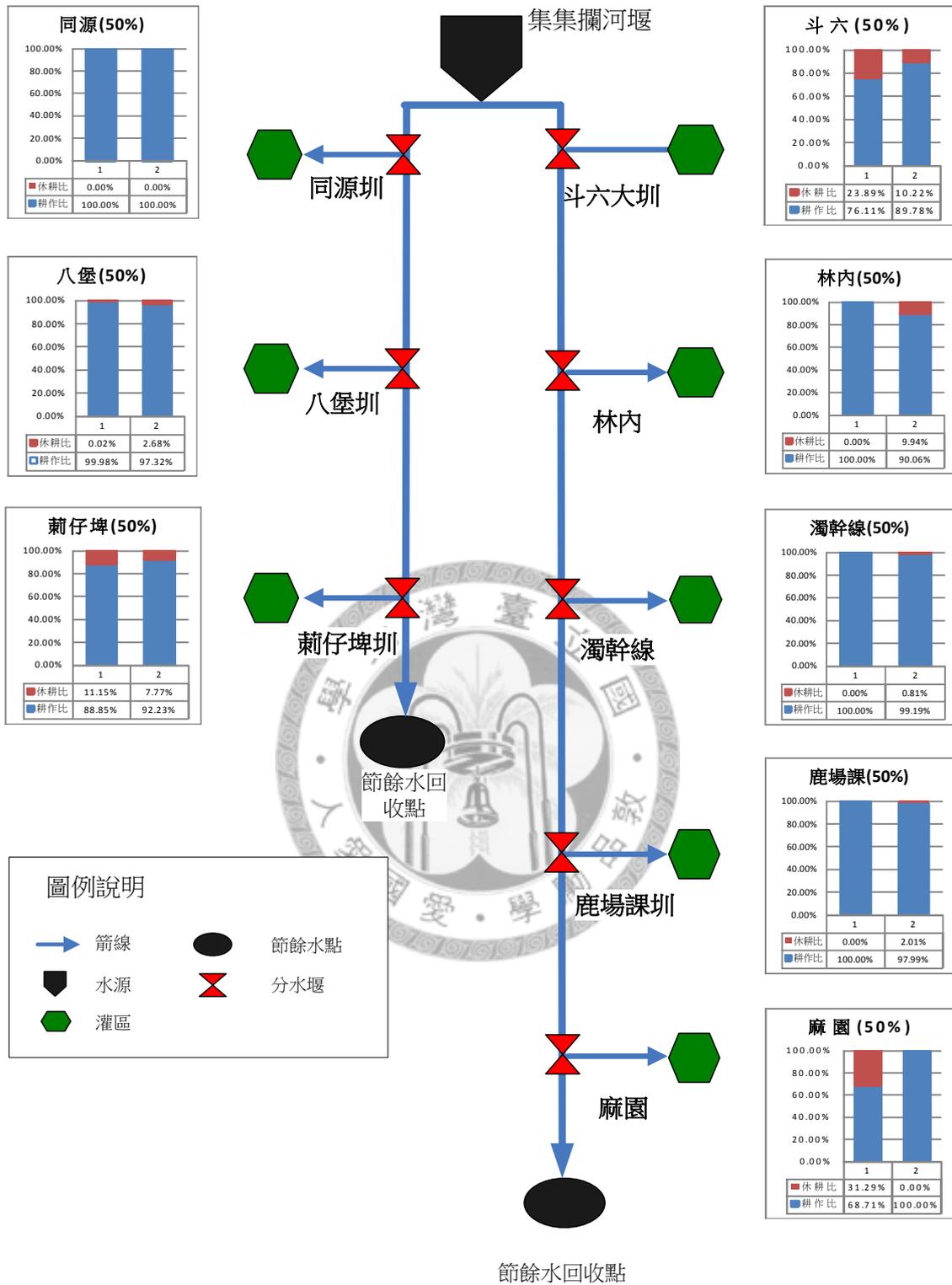


圖3.23 情境二超越機率50%入流量之休耕面積及位置

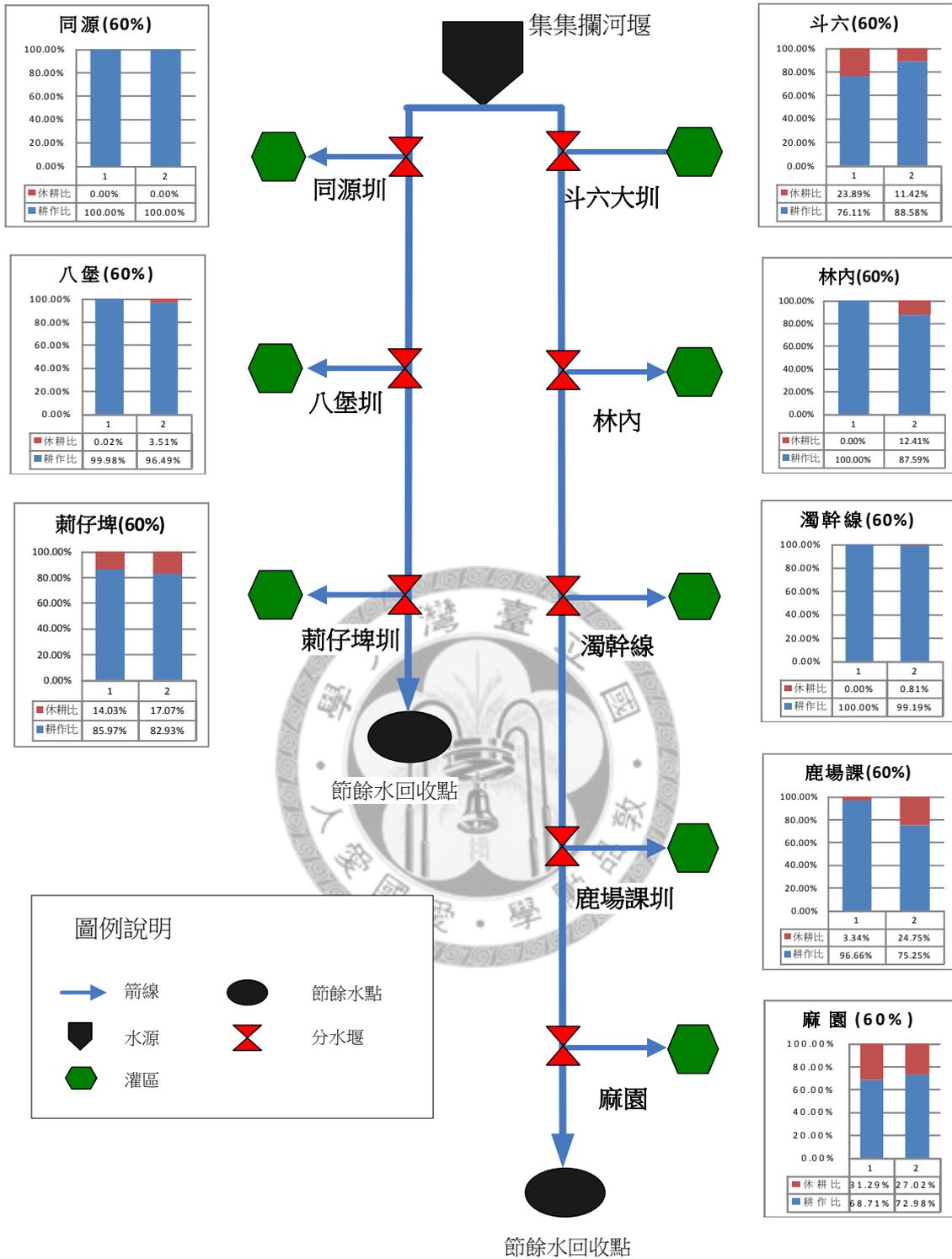


圖3.24 情境二超越機率60%入流量之休耕面積及位置

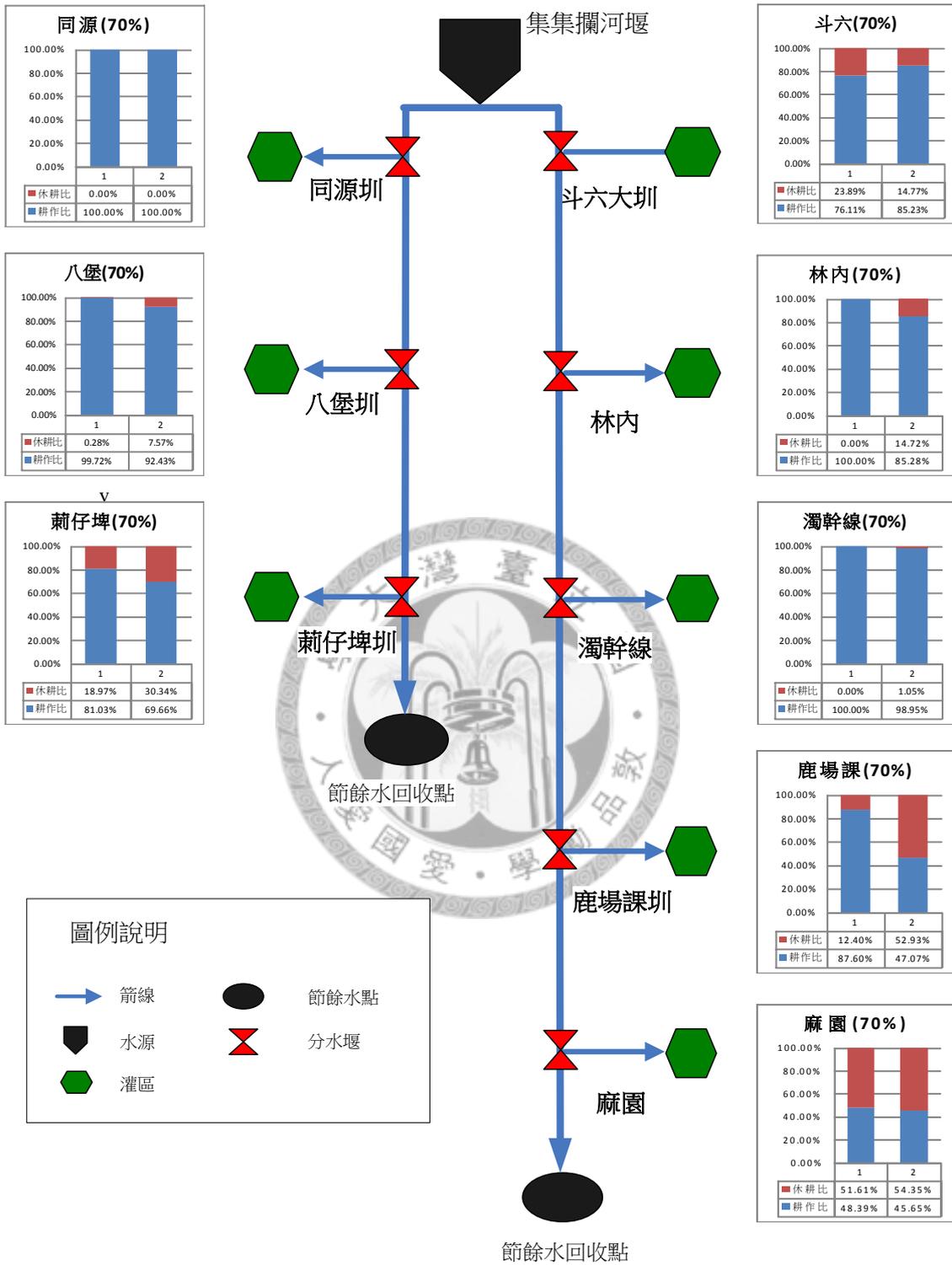


圖3.25 情境二超越機率70%入流量之休耕面積及位置

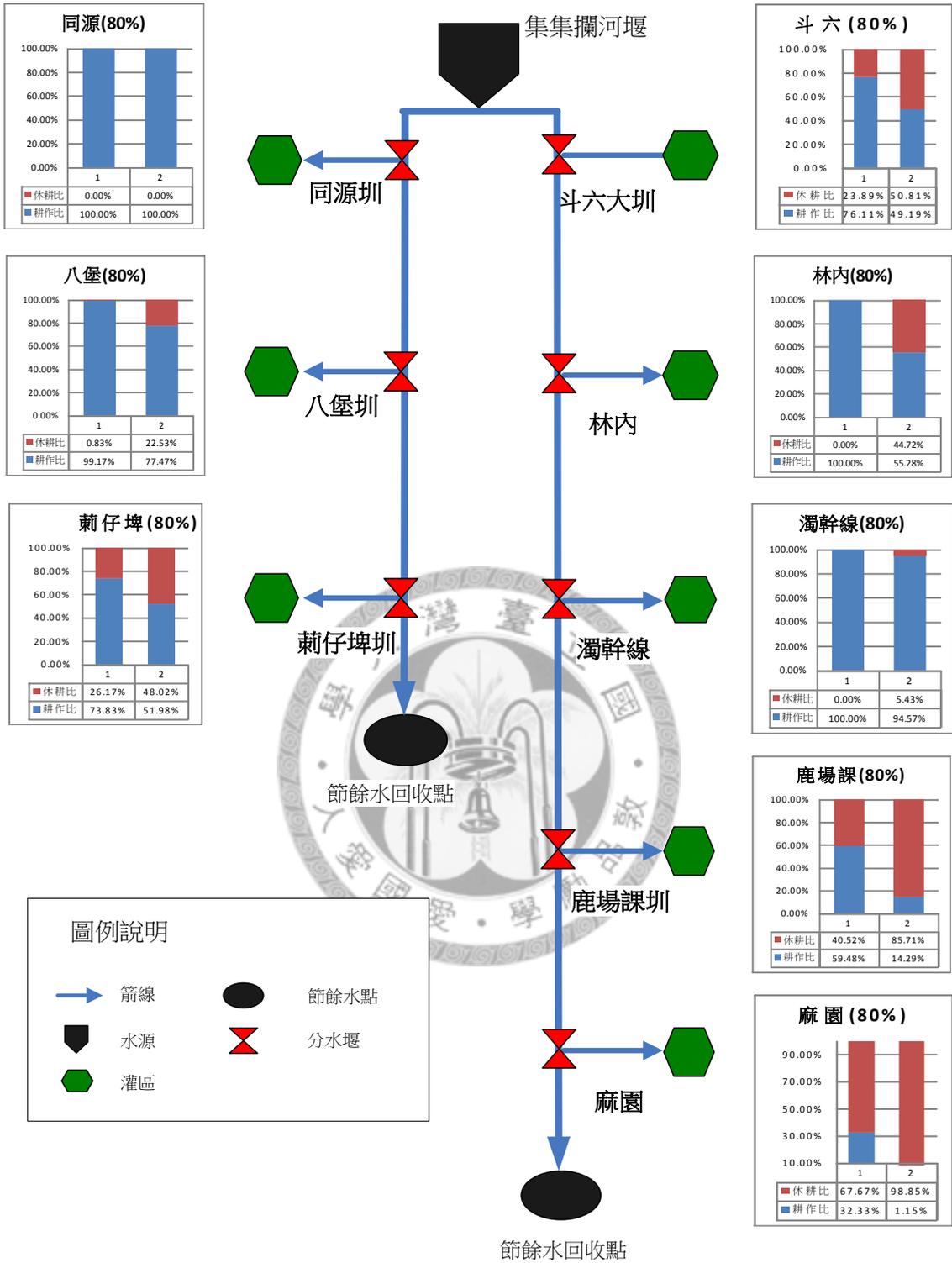


圖3.26 情境二超越機率80%入流量之休耕面積及位置

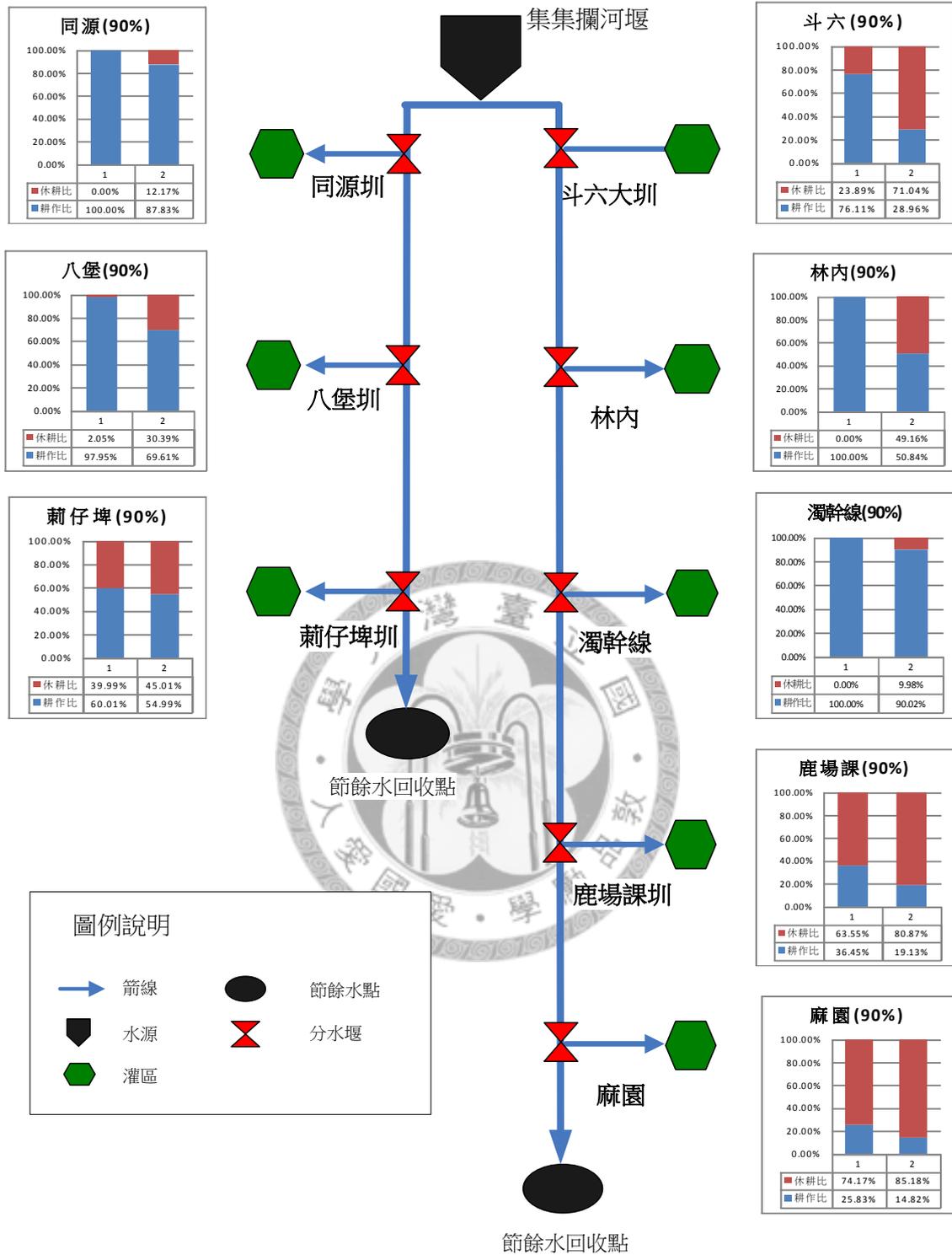


圖3.27 情境二超越機率90%入流量之休耕面積及位置

### 3.4.3 情境三運用結果與分析

本研究情境三之考量，是由情境一及情境二中考量衍伸而出，情境三之出發考量點源於近年地下水抽取使用上有超額之虞，超額抽取地下水所衍伸公共工程問題開始受到重視，有限的地下水資源超額使用將為環境帶來負荷，本研究立於公共工程安全考量之著力點上，以不抽取地下水配合補助量並在如此有限水資源情形下，有效率利用水資源以及讓決策者在氣候狀況異常之時，本研究之研究結果能提供決策者意見，根據不同情形狀況及早做出決策，使決策者及時掌握用水現況並做出最適合之決策。本情境三基於情境一濁水溪灌區現況不休耕之情形下，並且通盤考量農業三生效益為比較之基準；本研究在情境三中，為使決策者在減少地下水補注量之下，依據不同程度之缺水情況做出最佳決策，促使水資源做最有效利用並使整體農業環境得到最佳效益。本研究透過水文統計機率方法，評估集集攔河堰各旬用水量統計資料之最適機率分布，再依各旬之最適機率分布應用水文統計方法求出不同超越機率下集集攔河堰各旬所對應之流量，將不同超越機率下對應之流量輸入休耕優選模式中，以計算不同超越機率下所對應之休耕面積與位置，而情境三中休耕面積比較基準，則以情境一中經過休耕優選模式計算出之最佳耕作面積為基準，使決策者可以依據不同缺水情形及早決定休耕位置及面積，使整體農業環境帶來最大效益，其流程圖如圖3.28所示。表3.17為不同超越機率下各灌區之效益呈現，由表3.17中可以發現，如同情境二之不同期別在相同超越機率，二期作之效益會相較於一期作高，而影響二期作的因素主要來源有以下二項；第1，降水受氣候空間影響分布所致，二期作可供耕作用水較一期作大，故二期作耕作面積較一期作大；第2，在二期作耕作時間種植水稻時，水稻田田面湛水對環境溫度調節產生的效益相當可觀。情境三其他不同超越機率下之各灌區詳細效益值附於附錄三中。

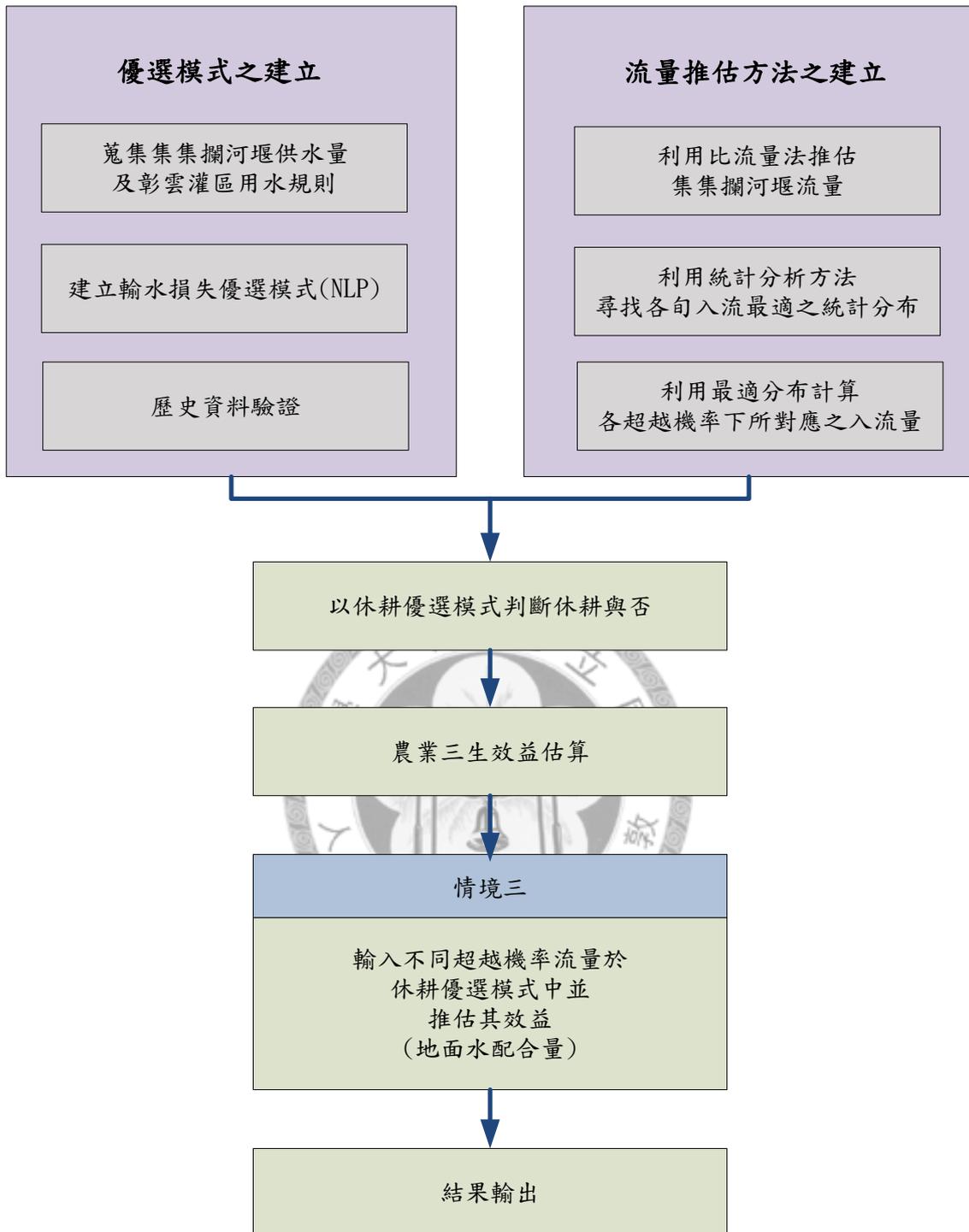


圖3.28 情境三流程圖

表3.17 情境三各超越機率下各灌區效益

超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	1	8.54	91.10	67.11	3.73	1.76	0.00	9.36	0.06
60%	1	8.54	90.80	58.40	3.73	1.76	0.00	6.51	-0.04
70%	1	8.54	89.91	46.61	3.73	1.76	0.00	3.95	-0.04
80%	1	8.54	87.69	33.39	3.73	1.76	0.00	2.03	-0.04
90%	1	8.54	81.21	21.79	3.73	1.68	0.00	0.38	-0.04
超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	2	7.00	72.57	60.69	7.26	3.51	195.97	7.59	0.49
60%	2	7.00	71.13	44.49	7.14	3.42	195.97	3.41	0.23
70%	2	7.00	62.70	24.07	6.82	2.44	195.44	0.15	-0.01
80%	2	6.60	40.90	13.81	2.43	1.53	185.47	-0.42	-0.05
90%	2	5.08	35.15	15.72	1.39	1.58	169.38	0.67	-0.01

單位:億元

上述表格中為農業三生總效益在各灌區於各超越機率下之呈現，並繪如圖3.29，根據不同超越機率(圖中之X軸)各項三生效益(圖中之Y軸，單位效益為百萬元)的發展趨勢，其中產值效益趨勢是由耕作面積得到之產值減去休耕面積產生之損失所得到之趨勢，其中產值、溫室氣體調節效益、溫度調節效益、氧氣調節效益及BOD去除量之調節效益，皆隨著超越機率增加而呈現下降之趨勢，只有調蓄洪水效益隨著超越機率的增加而有上升之趨勢，其原因為當超越機率越高造成休耕面積越高，水田休耕相較於耕作時可調蓄洪水的體積較高，故造成當超越機率越高時，調蓄洪水效益亦隨之攀升。

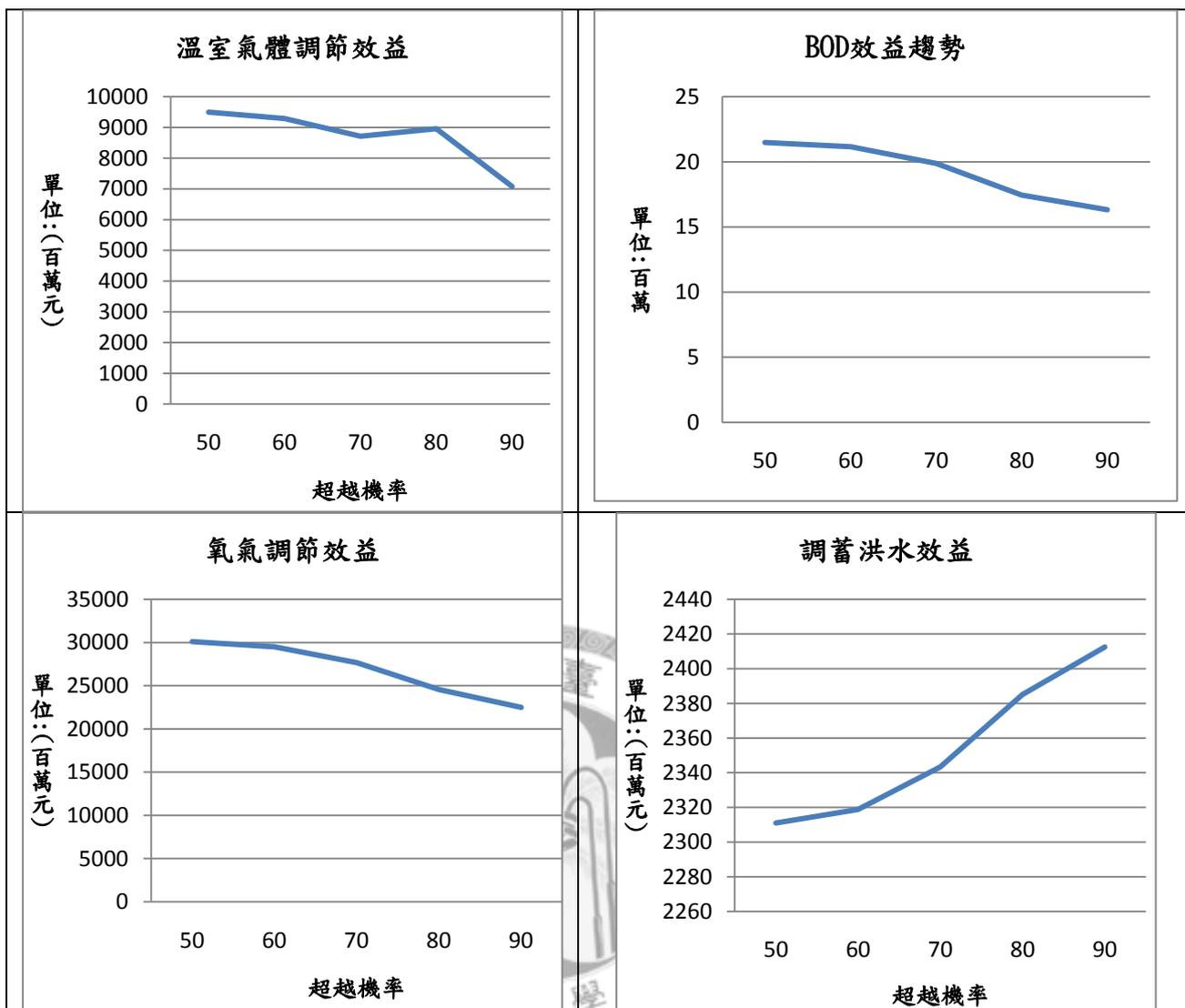


圖3.29 情境三各超越機率入流量下三生效益計算結果圖

本情境三中透過圖3.30及圖3.31可反映出不同超越機率下之農業整體效益，本研究之休耕優選模式不僅可計算農業整體效益外，透過本研究休耕優選模式計算輸入不同超越機率下之流量，同時經由該模式也能指出對應之超越機率下各灌區休耕位置及對應之休耕面積，如下圖3.32、圖3.33、圖3.34、圖3.35及圖3.36所示。

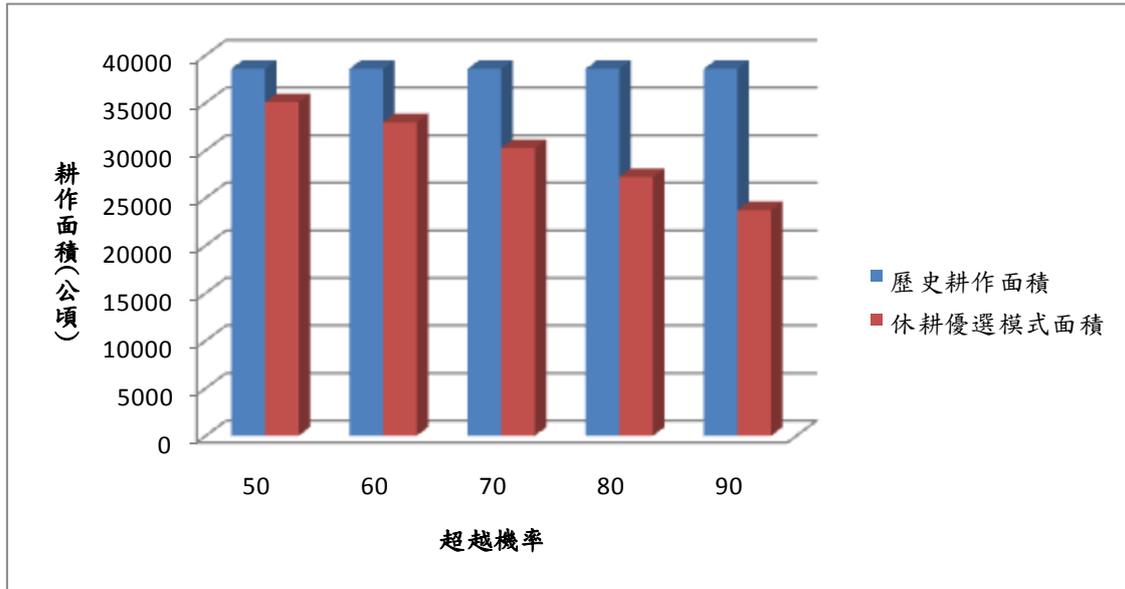


圖3.30 情境三各超越機率入流量下休耕面積比例圖(一期作)

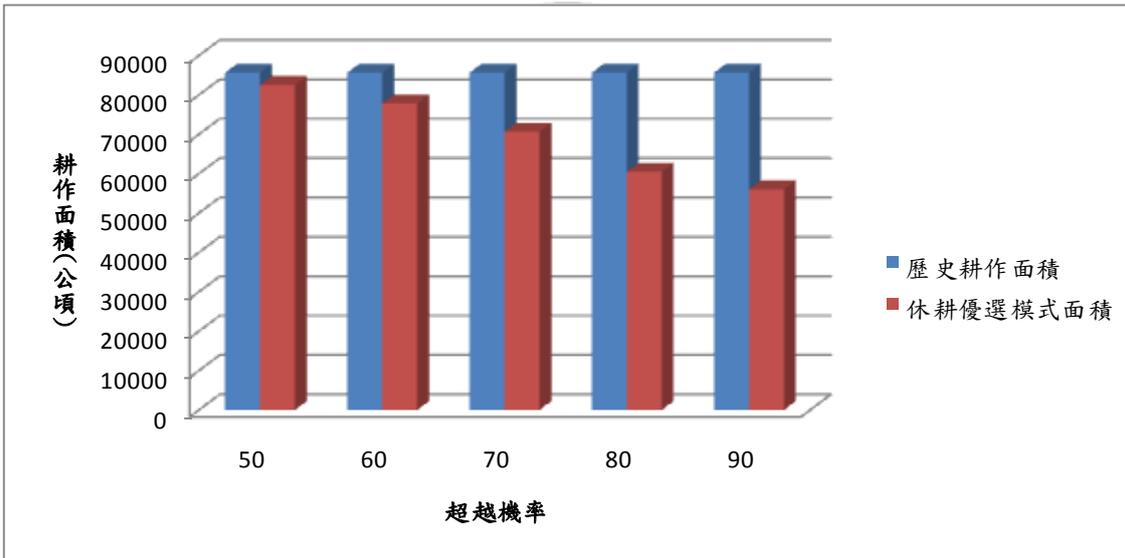


圖3.31 情境三各超越機率入流量下休耕面積比例圖(二期作)

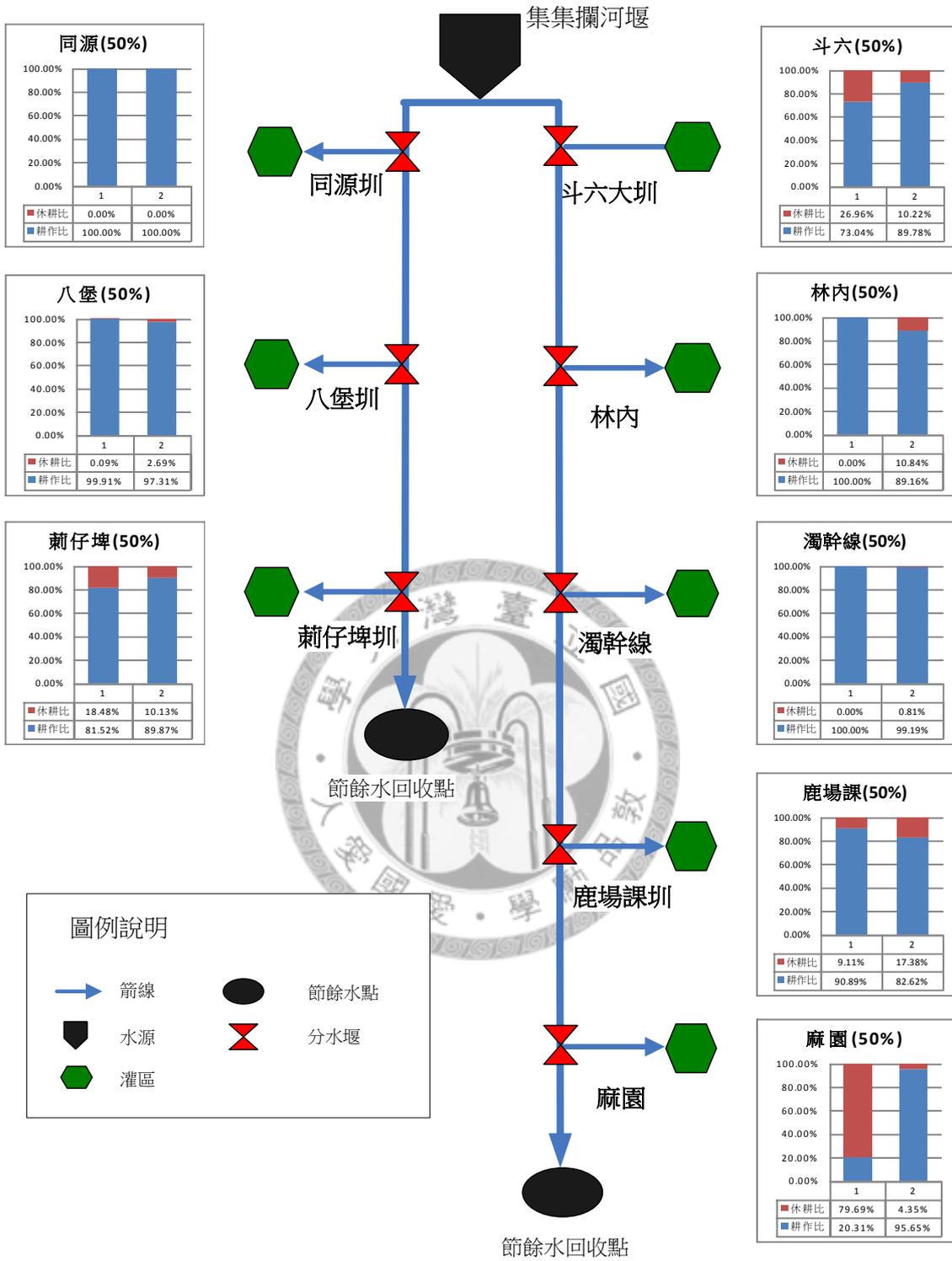


圖3.32 情境三超越機率50%入流量之休耕面積及位置

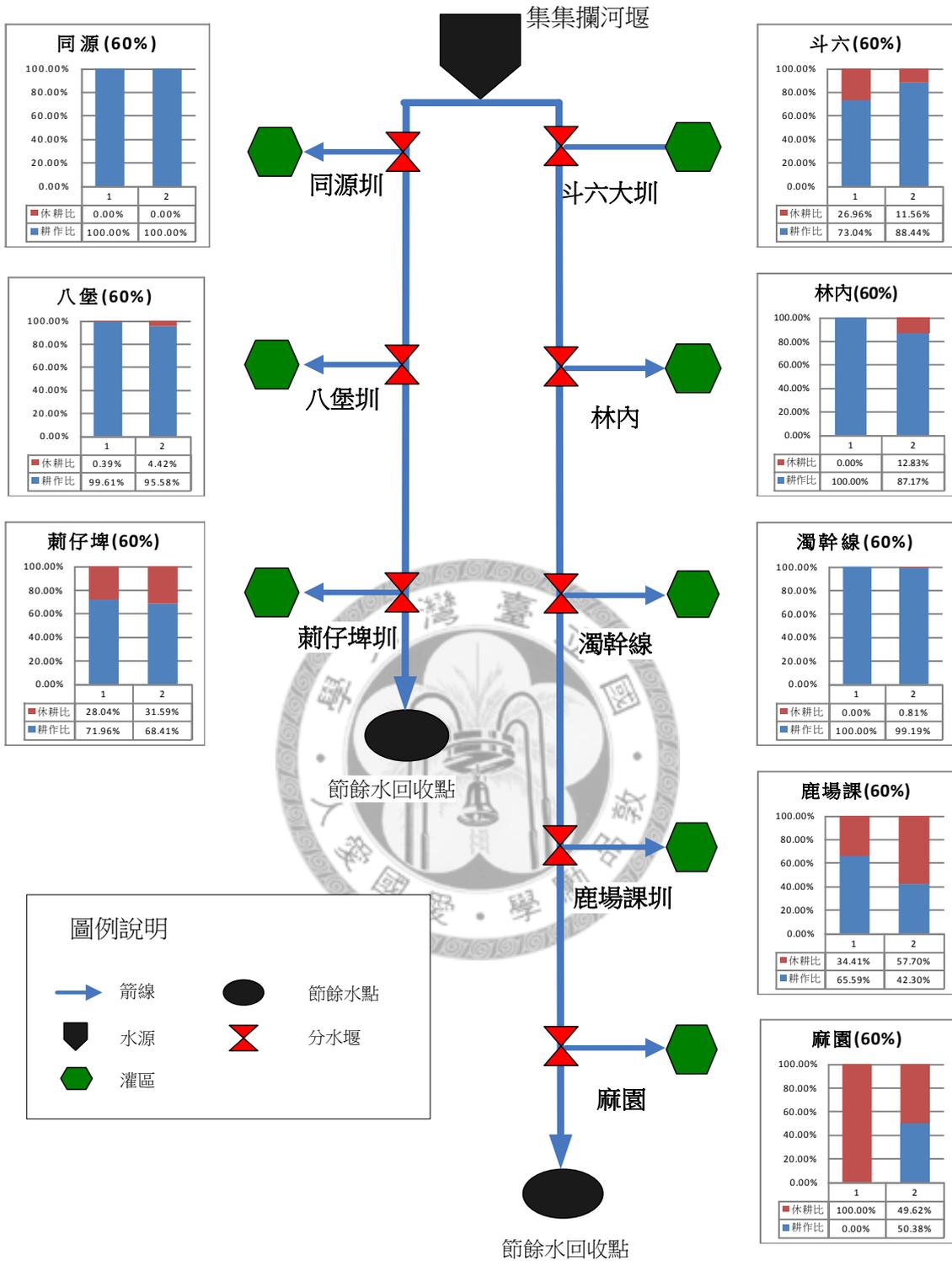


圖3.33 情境三超越機率60%入流量之休耕面積及位置

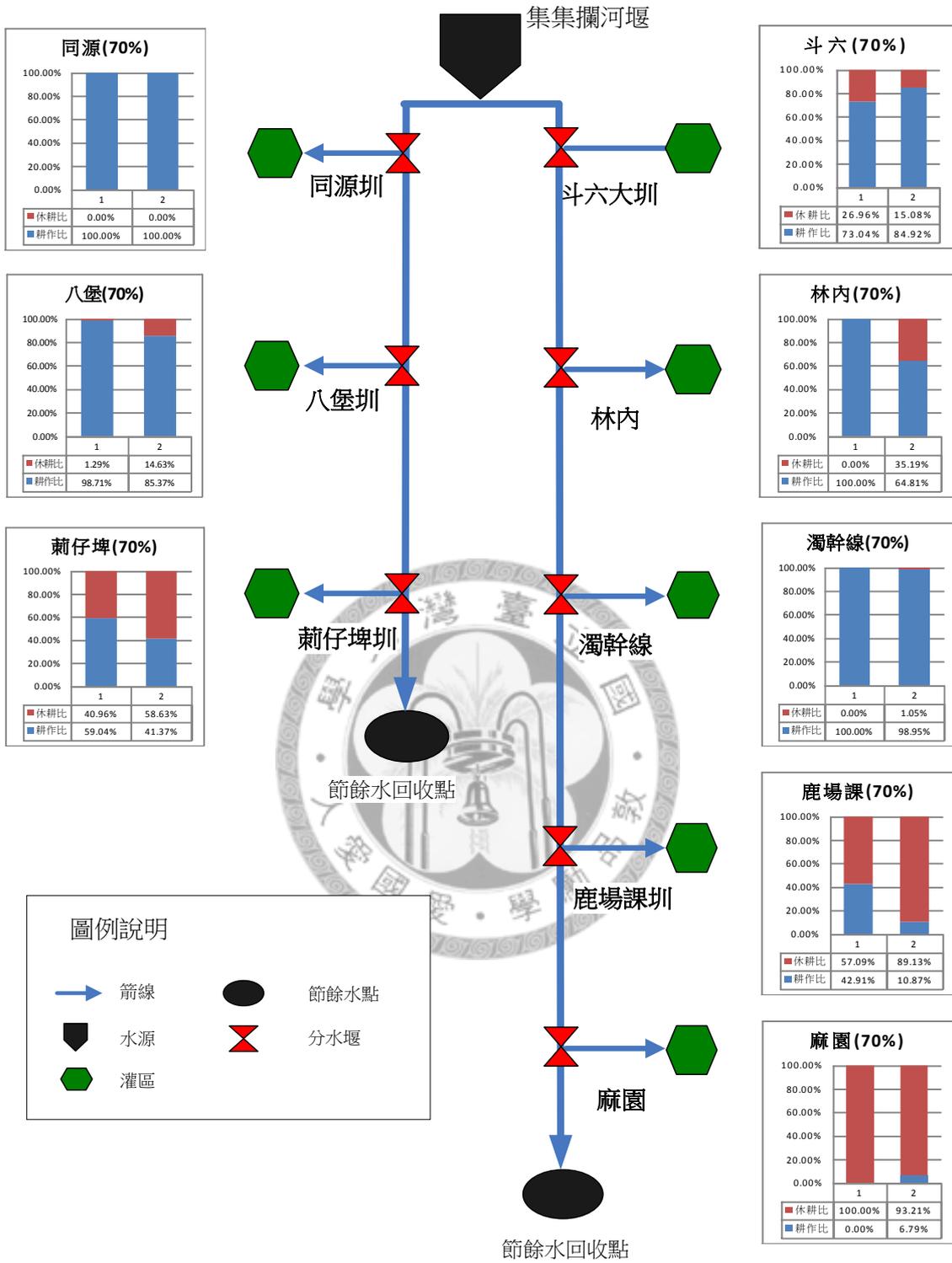


圖3.34 情境三超越機率70%入流量之休耕面積及位置

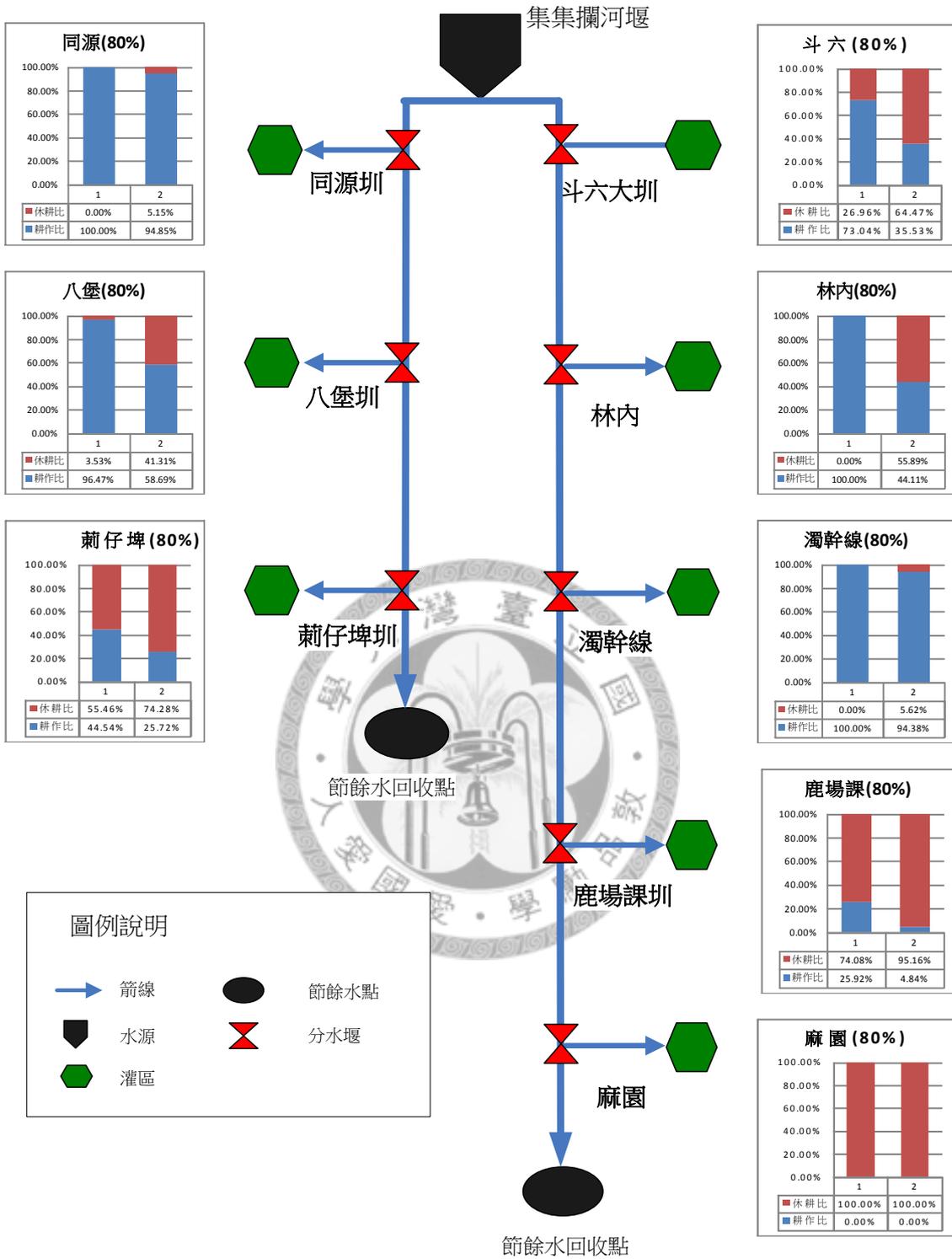


圖3.35 情境三超越機率80%入流量之休耕面積及位置

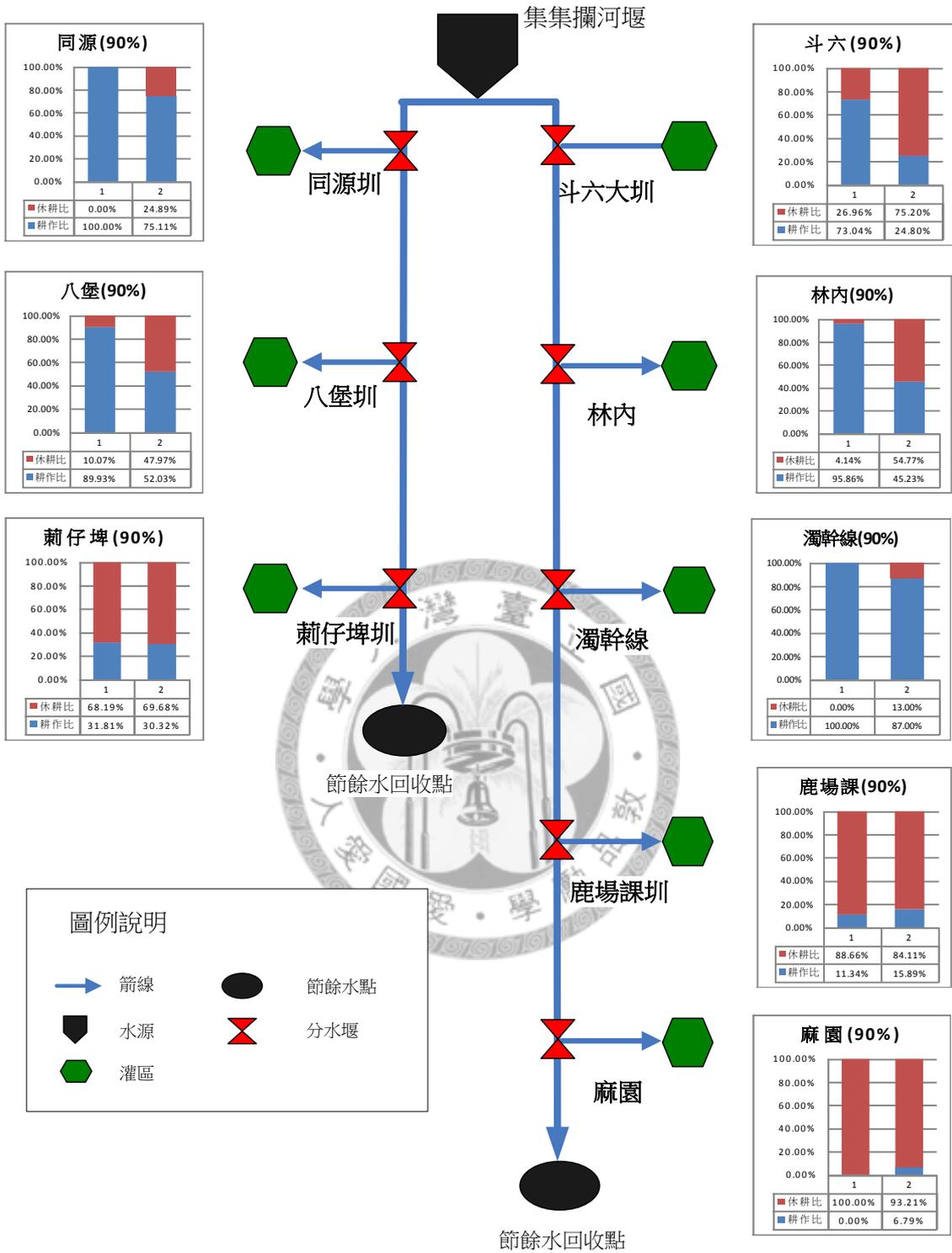


圖3.36 情境三超越機率90%入流量之休耕面積及位置

### 3.4.4 各情境分析結果比較

#### 一、情境一與情境二之比較

本研究之情境一係透過休耕優選模式，以歷史入流量及地下水與地表水配合量推估其最佳效益；情境二透過休耕優選模式，以水文統計方法推估各超越機率下集集攔河堰之入流量，並考量地下水與地表水之配合量後，推估各超越機率下最佳效益。本研究以情境一為現況效益基準，經由情境一與情境二之比較可以發現，情境二之效益隨著超越機率上升而下降，如圖3.37及圖3.38所示，由下圖吾人發現，超越機率50%時兩線相交集，做現況之供水效益約略為超越機率50%之供水結果。

在圖3.37及圖3.38中可發現，二期作之效益較一期作大，乃是因為二期作之灌溉面積大於一期作，且二期作中之氣溫可調節效益較高影響所致。

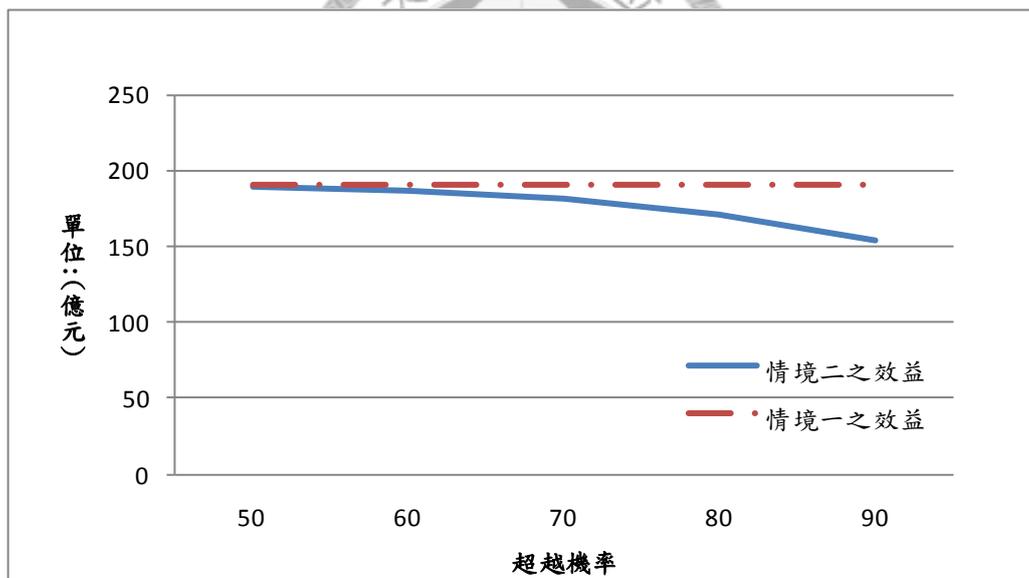


圖3.37 情境一與情境二效益比較(一期作)

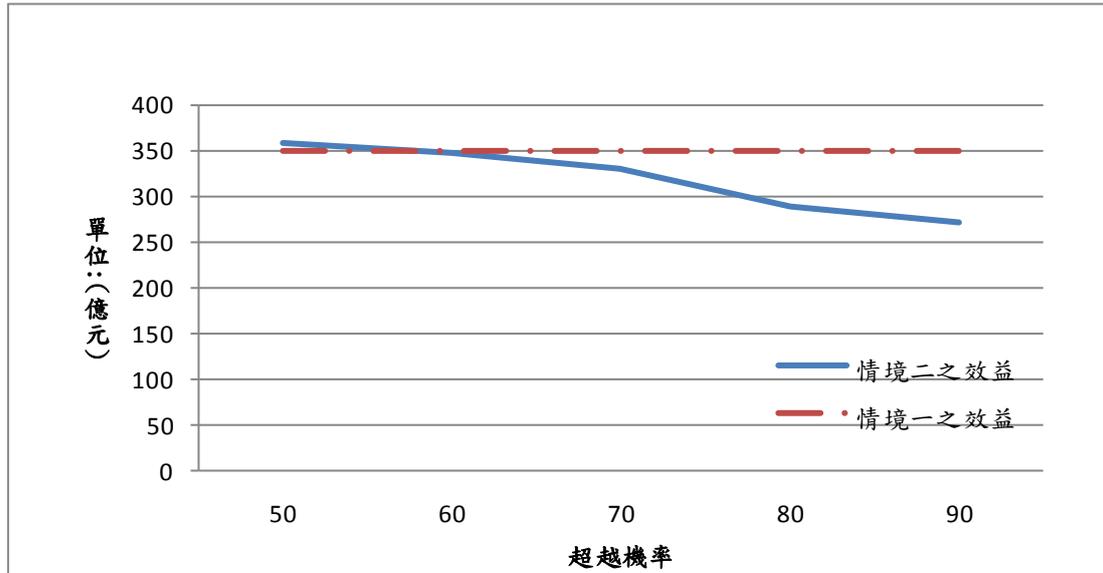


圖3.38 情境一與情境二效益比較(二期作)

## 二、情境一與情境三之比較

本研究之情境一係透過休耕優選模式，以歷史入流量及地下水與地表水配合量，推估其最佳效益；情境三係透過休耕優選模式，以水文統計方法推估各超越機率下集集攔河堰之入流量，並考量地表水之配合量後，推估各超越機率下最佳效益。本研究以情境一為現況效益基準，經由情境一與情境三之比較發現，情境三之效益隨著超越機率上升而下降，如圖3.39及圖3.40所示，由下圖吾人發現，超越機率50%時之效益，大約與現況效益相當，故可知有地表水加入配合時，可由超越機率50%反應其現況。

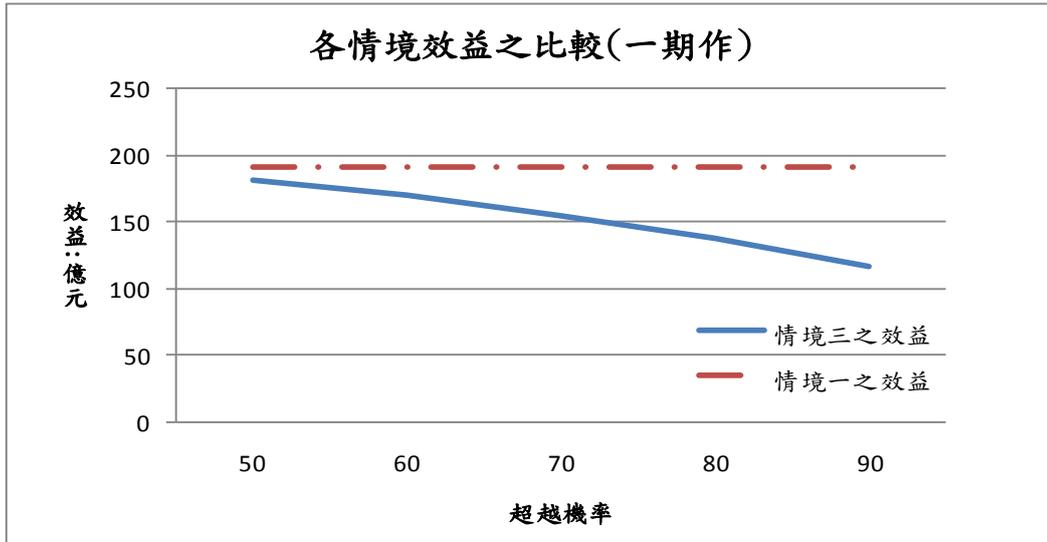


圖3.39 情境一與情境三之效益比較(一期作)

在圖3.39及圖3.40中可發現，二期作之效益較一期作大，是因為二期作之灌溉面積大於一期作，且二期作中之氣溫可調節效益較高影響所致。

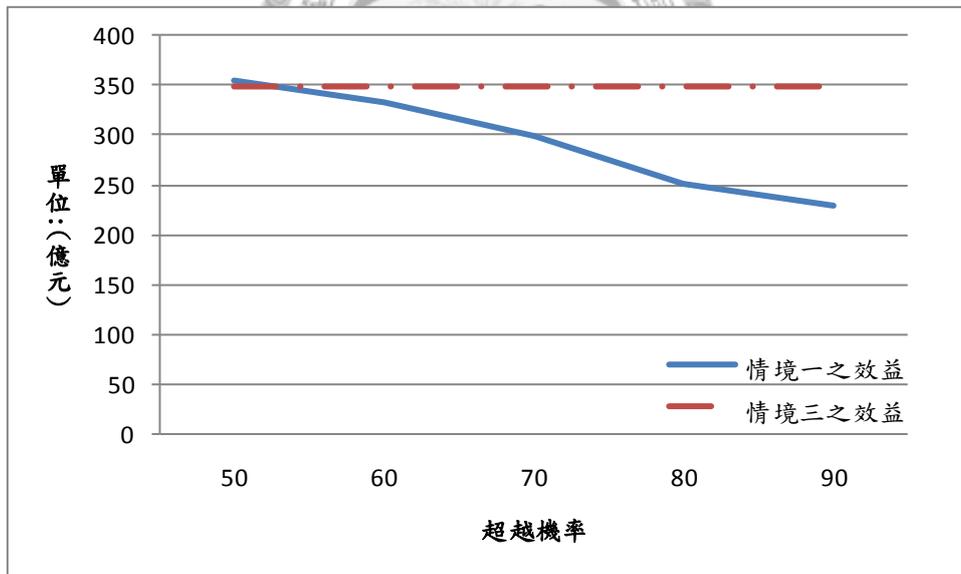


圖3.40 情境一與情境三之效益比較(二期作)

### 三、情境二與情境三之比較

本研究情境二係透過休耕優選模式，以水文統計方法推估各超越機率下集集攔河堰之入流量，並加入地下水與地表水之配合量後，推估各超越機率下最佳效益；情境三係透過休耕優選模式以水文統計方法推估各超越機率下集集攔河堰之入流量，並加入地表水之配合量後，推估各超越機率下最佳效益。情境二與情境三之差異為各超越機率下(即不同枯旱程度下)且扣除地下水配合量之休耕效益，由情境二與情境三之間之變化差異，可由下圖兩線間之距離可看出各超越機率下地下水之貢獻度。由圖3.41及圖3.42中可見其效亦隨著超越機率上升而下降，當超越機率在50%時，情境一與情境二之差異值最小。

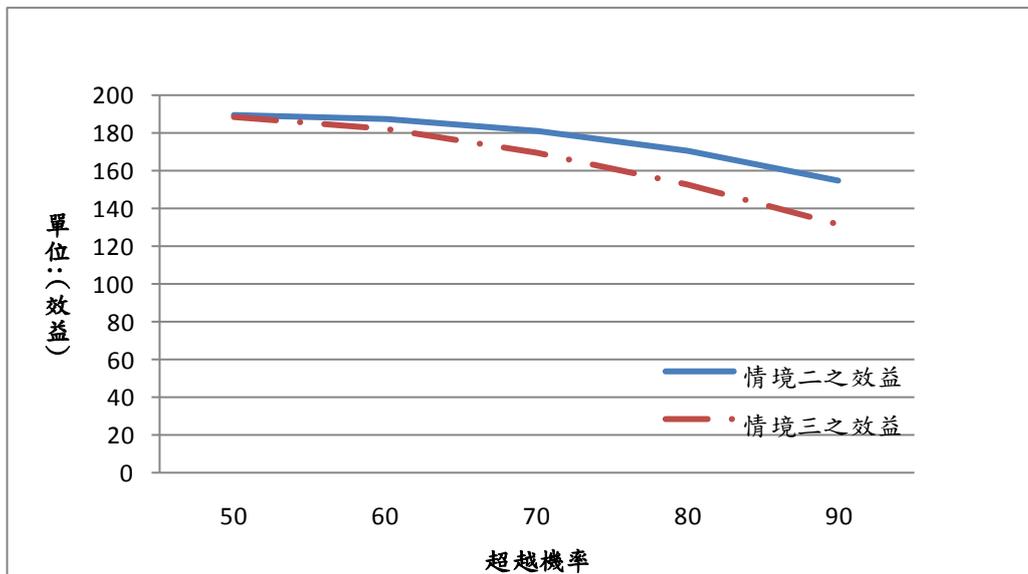


圖3.41 情境二與情境三之效益比較(一期作)

在圖3.41與圖3.42中可發現，二期作之效益較一期作大，是因為二期作之灌溉面積大於一期作，且二期作中之氣溫可調節效益較高影響所致。

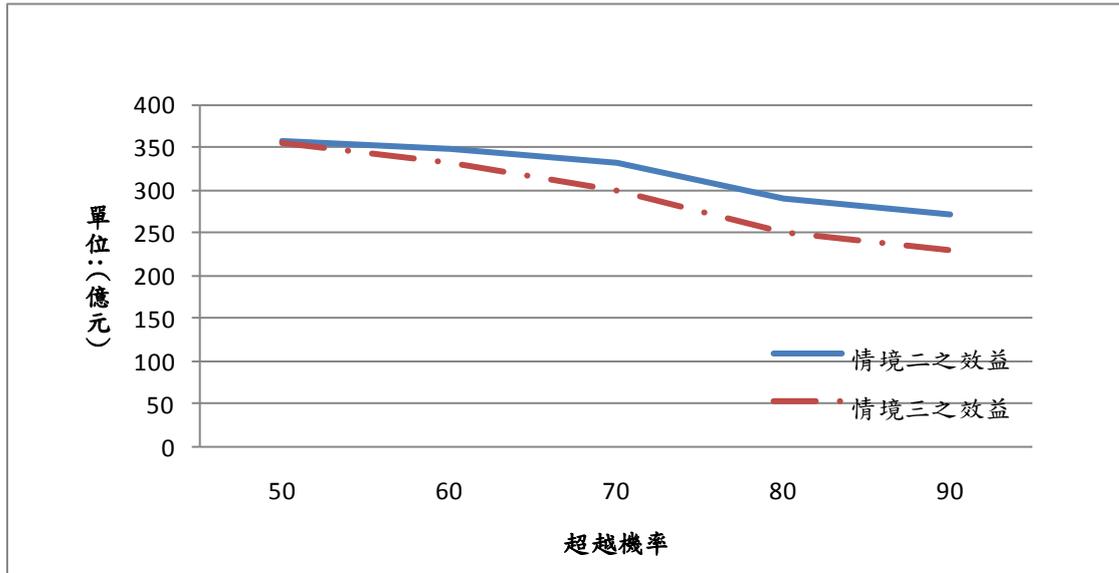


圖3.42 情境二與情境三之效益比較(二期作)

圖3.43表示的即是地下水在各超越機率下貢獻效益的變化成長圖，左邊座標軸是地下水效益在情境三與情境二間百分比差異之呈現，右邊座標軸為相同超越機率下情境三與情境二地下水效益的貢獻值，由圖中可知在超越機率為50%時地下水貢獻之效益度最小。

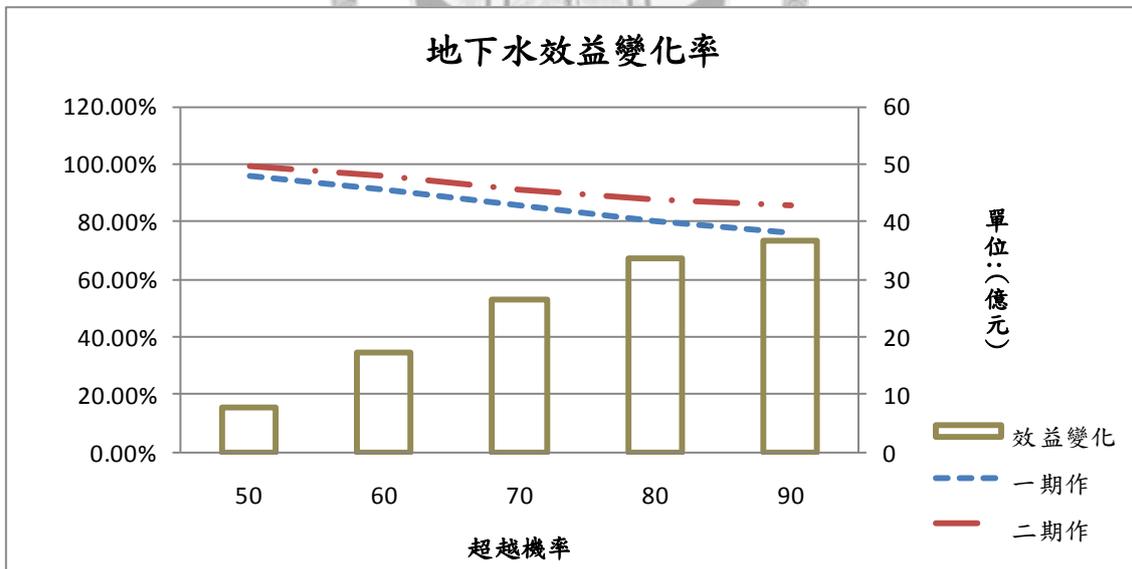


圖3.43 情境二與情境三地下水貢獻效益

## 四、結論與建議

### 4.1 結論

本研究建立之休耕優選模式，其目的是建立一尋找最佳休耕面積及位置之方法，以期能達到效益最大化、提高用水效率為目標，避免浪費可利用的水資源。而本研究所建立之休耕優選模式中，包含限制式數目為21,038條、實數變數總共有13,145個及整數變數共112個，以CPU為AMD Athlon (tm) 64 Processor-1.8 GHz、RAM 1.5GB之桌上型電腦，求解所需之計算時間約為15~30秒，其休耕優選模式以旬為計算時間間隔，優選期間共252旬(2002年~2008年)。模式之中考慮灌區供水特性、渠道輸水損失、農業種植帶來之三生效益考量，以最大總效益為目標推估不同超越機率供水下之休耕面積及位置。其中模式之供給水源有集集攔河堰引水量(佔大宗)及地表水與地下水配合量經由優化調配模式供給輪區灌溉。

而本研究在效益為最大的條件下，可獲得下列結論：

- 一、本研究以效益為最大條件下，發現以往農業種植之生產效益，僅佔可評估總效益之24%，以往用水研究所忽略農業生活、生態效益卻佔總效益之76%。
- 二、以效益為最大及不同超越機率供水條件下，本研究發現彰化灌區休耕面積以蔴仔埤圳灌區最多，八堡次之，同源圳最小；雲林灌區灌區因面積大小差異影響，灌區需水以濁幹線為大宗，故濁幹線之休耕率最小，其他灌區則係越往下游休耕面積比例越大。
- 三、本研究發現在不同供水情境下，總效益皆隨超越機率越大而有下降之趨勢，三生效益中僅有調蓄洪水趨勢隨著超越機率上升而上升。

## 4.2 建議

本研究依以上結論遂提出以下之建議：

- 一、 本研究建議未來可將其他尚未考量之農業三生效益納入本模式之中評估，評估及計算其效益及其影響等，以使本研究更完善。
- 二、 本研究建議系統如渠道的分布情況及各埤圳下各灌區之系統，以及供水情形可以做更深入的調查，使模式可以更接近實際灌溉情形。
- 三、 本研究僅用幹渠供水係數來考慮輸水損失，建議未來可依渠道環境及該灌區土壤特性以考慮各灌區支渠之輸水損失，以更符合實際流況。
- 四、 本研究建議未來可將氣候變遷之影響因子納入考量，以合成流量推估氣候變遷下之入流量，估算在氣候變遷下之休耕面積及位置。
- 五、 本研究建議可將未來用水之需水量，亦納入模式中考量以估算因應工業發展影響下之最佳休耕面積及位置。



## 參考文獻

- 張斐章、易任，「序率線性規劃模式研擬水庫之最佳運轉策略」，第五屆水利工程研討會論文集，台南，第 28-39 頁 (1990)。
- 林俊男，「地理資訊系統應用於乾早期安排停灌順序之研究」，台灣大學農業工程研究報告 (1993)。
- 蔡明華、林永德，「水稻田生態環境保護對策之研究」，八十三年度農業工程研討會論文集，高雄，第 9-23 頁 (1994)。
- 吳富春、許銘熙，「水稻田之生態與環境」，農業工程學報，第 41 卷，第 4 期，第 13-19 頁 (1995)。
- 蔡天雄，「水田休耕對農業用水量影響之探討」，碩士論文，台灣大學農業工程研究所論文，台北 (1996)。
- 杜明彥，「利用優選法進行地表水水權之研究」，碩士論文，台灣大學土木工程學研究所，台北 (1996)。
- 林俊男，「河水取入利用檢討」，桃園農田水利發展基金會 (1996)。
- 甘俊二、張煜權、陳焜權，「永續農業-三生水田灌溉之芻議」，農業工程學報，第 43 卷，第 1 期，第 1-8 頁 (1997)。
- 顏榮祥、周乃昉、陳家榮，「南部地區水資源管理調配策略之比較」，第九屆水利工程研討會論文集，中壢，第 139-148 頁 (1998)。
- 簡傳彬、方文村，「線性規劃在池塘灌溉系統聯合營運之應用」，農業工程學報，第 46 卷，第 3 期，第 69-82 頁 (2000)。
- 林尉濤，「農業水資源調配及乾旱因應對策」，農業工程研討會論文集，雲林，第 39-48 頁 (2002)。
- 郭家淦，「反聖嬰—南方震盪現象下農業最佳休耕面積推估方法之建立」，碩士論文，台灣大學土木工程學研究所，台北 (2002)。
- 林英傑，「關渡自然公園水稻田生態經營之環境與教育經濟效益分析」，碩士論文，台灣大學生物環境系統工程學研究所，台北 (2002)。

- 吳重儀，「水稻田甲烷散發量之推估」，碩士論文，台灣大學生物環境系統工程學研究所，台北 (2003)。
- 徐元棟，「農田休耕與灌溉用水釋出之探討」，農田水利，第 49 卷，第 9 期，第 44-49 頁 (2003)。
- 蔡嘉訓，「多水庫系統聯合操作模擬模式與逐時段優選求解方法之建立與應用」，碩士論文，臺灣大學土木工程學研究所，台北 (2003)。
- 黃成龍，「以線性規劃與遺傳演算法建構水資源調配之最佳化模式 - 以南化水庫、旗山溪及高屏河流域為例」，碩士論文，高雄第一科技大學營建工程系，高雄 (2004)。
- 吳富春，「水田生態環境微氣候模式及二氧化碳流通量模式分析」，推廣水田生態環境保護及地下水涵養補注計畫成果報告，行政院農業委員會，台北(2004)。
- 李源泉，「灌溉區集團休耕轉作之用水管理策略」，水稻田農業多樣性機能研討會，台中，第 109-121 頁 (2005)。
- 鄭文明，「埤塘水源最佳調配運用模式之建立與應用」，碩士論文，國立台灣大學土木工程研究所，台北 (2005)。
- 房志懿，「水稻田區微氣候與光合作用模式之研究」，碩士論文，臺灣大學生物環境系統工程學研究所，台北 (2005)。
- 溫在弘，「標的間用水轉移對區域乾旱缺水風險分析之影響」，博士論文，臺灣大學生物環境系統工程學研究所，台北 (2006)。
- 張筱蕙，「農業乾旱風險分析」，碩士論文，臺灣大學生物環境系統工程學研究所，台北 (2006)。
- 王世復，「休耕決策對灌溉水影響之空間分布」，碩士論文，臺灣大學生物環境系統工程學研究所，台北 (2006)。
- 張倉榮、高宏民、林玫珊，「水田區調洪減災生態功能之三維度量化分析與試驗研究」，農業工程學報，第 52 卷，第 4 期，第 80-90 頁 (2006)。
- 劉振宇，「水田三生功能分析及經濟效益評估」，行政院農業委員會報告，台北 (2008)。
- 陳依琳，「埤塘供水系統最佳休耕面積與埤塘擴充取捨之研究」，碩士論文，台灣

- 大學土木工程學研究所，台北 (2008)。
- 李光敦，「水文學講義」，國立台灣海洋大學水文學上課講義，基隆 (2004)。
- 李天浩，「高等水文分析講義」，國立台灣大學土木工程研究所上課講義，台北 (2008)。
- 楊良偉，「農業水資源有效利用與灌溉管理策略規劃」，行政院農業委員會農田水利處研究報告，台北 (2009)。
- 水文水資源資料庫。(http://gweb.wra.gov.tw/wrweb/)
- 灌溉情式資料庫。(http://coa.water.tku.edu.tw/water/index.asp)
- 行政院農委會。(http://www.coa.gov.tw/show\_index.php)
- Changnon, S.A., “Detecting Drought in Illinois,” Illinois Water Survey (1987).
- Chandramouli, V., and Raman, H., “Multireservoir Modeling with Dynamic Programming and Neural Networks,” Journal of Water Resources Planning and Management, Vol.127, Issue 2, pp. 89-98 (2001).
- Chang, K., and Ying, Y., “External Benefits of Preserving Agriculture Land: Taiwan Rice Fields,” The Social Science Journal, Vol. 42, No. 2, pp. 285-293 (2005).
- Crawley, P., and Dandy, G.C., “Optimal Operation of Multiple-Reservoir System,” Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, Vol.119, No.1, pp.1-7 (1993).
- Huang, C.C., Tsai, M.H., Lin, W.T., Ho, Y.F., and Tan, C.H., “ Multifunctionality of Paddy Fields in Taiwan,” Paddy and Water Environ ,Vol. 4, No. 4, pp. 199-204 (2006).
- Laura, R.M., and William, E.G., “Agricultural Production and Wetland Habitat Quality in Acoastal Prairie Ecosystem: Simulated Effects of Alternative Resource Policies on Land-Use Decisions,” Ecological Modelling, Vol.150, Issues 1-2, pp23-43, (2002).
- Palmer, W.C., “Meteorological Drought,” Research Paper No.45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington D.C. (1965).

## 附錄

### 附錄一 各項標號之說明

---

代號	定義
$t$	: 旬別之標號
$n$	: 耕作期別之標號
$i$	: 表示箭線之標號
$j$	: 節點之標號
$h_i$	: 箭線 $i$ 之終點
$f_i$	: 箭線 $i$ 之起點
$A1$	: 耕作面積之標號
$A2$	: 休耕面積之標號
$C_{j,t}^1$	: 灌 $j$ 於期別 $n$ 單位耕作面積獲得效益之標號
$C_{j,t}^2$	: 灌 $j$ 於期別 $n$ 單位休耕面積所損失效益之標號
$C_{j,t}^3$	: 灌 $j$ 於期別 $n$ 單位耕作面積獲得三生效益之標號

---



- 
- $C_{j,t}^l$  : 灌 $j$ 於期別 $n$ 單位休耕面積損失三生效益之標號  
 $C_i$  : 供至各渠道箭線 $i$ 之供水係數  
 $C^{av}$  : 濁水溪灌區平均輸水損失率之係數  
 $T'_n$  : 判斷休耕旬數及期距之代號  
 $T_n$  : 第 $n$ 期作所屬旬數之代號  
 $N_{i,t}^{end}$  : 時刻 $t$ 節餘水 $i$ 之水量  
 $N^d$  : 需水節點組  
 $N^n$  : 一般節點組  
 $N^r$  : 集集攔河堰引水量供給之節點組  
 $N^s$  : 地表水配合量供給之節點組  
 $N^g$  : 地下水配合量供給之節點組  
 $D_{j,t}$  : 時刻 $t$ 供至灌區 $j$ 之需水量  
 $D'_{j,t}$  : 時刻 $t$ 供至灌區 $j$ 之川流水供給需水量  
 $S_{j,t}$  : 時刻 $t$ 供至灌區 $j$ 之供水量  
 $\lambda_{j,n}$  : 灌區 $j$ 於期別 $n$ 休耕判斷之整數變數標號
-

- 
- $L$  : 所有類別供水箭線組
- $L_c$  : 河川引水量供至各渠道之箭線組
- $L_{gw}$  : 地下水供至灌區之箭線組
- $L_{sw}$  : 地表水供至灌區之箭線組
- $L_{rw}$  : 河川引水量供至灌區之箭線組
- $U_{i,t}^g$  :  $t$ 時刻地下水供至灌區 $i$ 之水量限制
- $U_{i,t}^s$  :  $t$ 時刻地表水供至灌區 $i$ 之水量限制
- $U_{i,t}^r$  :  $t$ 時刻河川引水量供至灌區 $i$ 之水量限制
- $X_{j,n}^{A1}$  : 灌區 $j$ 期別 $n$ 之耕作面積
- $X_{j,n}^{A2}$  : 灌區 $j$ 期別 $n$ 之休耕面積
- $X_{i,t}$  :  $t$ 時刻供至各渠道箭線 $i$ 之輸水量
- $X_{i,t}^{\min}$  :  $t$ 時刻供至各渠道箭線 $i$ 之輸水量下限
- $X_{i,t}^{\max}$  :  $t$ 時刻供至各渠道箭線 $i$ 之輸水量上限
- $C_{j,n}^p$  : 灌區 $j$ 於期別 $n$ 單位面積稻米生產量效益之標號
-

- 
- $U_{j,n}^q$  : 灌區 $j$ 於期別 $n$ 單位面積平均產量之標號
- $U_{j,n}^p$  : 灌區 $j$ 於期別 $n$ 單位面積平均產量價格之標號
- $C_{j,n}^{CO_2}$  : 灌區 $j$ 於期別 $n$ 單位面積可吸收二氧化碳效益之標號
- $G_{j,n}^{CO_2}$  : 灌區 $j$ 於期別 $n$ 單位面積可吸收之二氧化碳之標號
- $D_{j,n}^p$  : 灌區 $j$ 於期別 $n$ 可灌溉天數之標號
- $U_{j,n}^{CO_2}$  : 單位吸收二氧化碳價格之標號
- $C_{j,n}^{CH_4}$  : 灌區 $j$ 於期別 $n$ 單位面積可吸收甲烷效益之標號
- $G_{j,n}^{CH_4}$  : 灌區 $j$ 於期別 $n$ 單位面積可吸收甲烷之標號
- $U_{j,n}^{CH_4}$  : 單位減量甲烷價格之標號
- $C_{j,n}^{O_2}$  : 灌區 $j$ 於期別 $n$ 單位面積可產生氧氣效益之標號
- $G_{j,n}^{O_2}$  : 灌區 $j$ 於期別 $n$ 單位面積可產生氧氣之標號
- $D_{j,n}^f$  : 灌區 $j$ 於期別 $n$ 耕作天數之標號
- $U_{j,n}^{O_2}$  : 單位產生氧氣價格之標號
- $C_{j,n}^{BOD}$  : 灌區 $j$ 於期別 $n$ 單位面積可去除 $BOD$ 效益之標號
-

---

$B_{j,n}^{BOD}$  : 灌區 $j$ 於期別 $n$ 單位面積可去除 $BOD$ 之標號

$U_{j,n}^{BOD}$  : 單位減量 $BOD$ 價格之標號

$H_{j,n}^{flood\_1}$  : 灌區 $j$ 於期別 $n$ 耕作之單位面積可調節洪水高度

$H_{j,n}^{flood\_2}$  : 灌區 $j$ 於期別 $n$ 休耕之單位面積可調節洪水高度

$U_{f,n}^{flood}$  : 單位調節洪水量價格之標號

$C_{j,n}^{flood}$  : 灌區 $j$ 於期別 $n$ 之單位面積總可調節洪水效益

---



## 附錄二 模式應用之情境二各項效益表

附表一 情境二水田耕作之產值效益(單位:百萬元)

超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	1	179.52	1917.42	1569.09	84.58	37.10	0.00	218.88	6.91
60%	1	179.52	1917.42	1518.28	84.58	37.10	0.00	211.58	6.91
70%	1	179.52	1912.43	1430.96	84.58	37.10	0.00	191.73	4.87
80%	1	179.52	1901.83	1303.77	84.58	37.10	0.00	130.18	3.25
90%	1	179.52	1878.41	1059.85	84.58	37.10	0.00	79.77	2.60
超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	2	179.41	1865.54	1615.34	186.29	91.07	4973.53	233.34	12.93
60%	2	179.41	1849.61	1452.61	183.81	88.57	4973.53	179.20	9.44
70%	2	179.41	1771.77	1220.10	176.85	86.24	4961.54	112.10	5.90
80%	2	179.41	1486.73	944.79	103.93	55.90	4741.79	35.83	0.16
90%	2	157.57	1334.30	963.19	60.09	51.41	4513.90	45.56	1.92

附表二 情境二水田休耕之產值損失效益(單位:百萬元)

超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	1	0.00	0.37	167.18	24.58	0.00	0.00	0.00	2.91
60%	1	0.00	0.24	150.54	16.13	0.00	0.00	4.44	1.91
70%	1	0.00	3.27	203.61	16.13	0.00	0.00	16.50	3.15
80%	1	0.00	9.72	280.90	16.13	0.00	0.00	53.91	4.14
90%	1	0.00	23.95	429.14	16.13	0.00	0.00	84.54	4.53
超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	2	0.00	47.52	103.63	19.64	9.31	37.64	0.44	0.00
60%	2	0.00	40.87	181.65	14.40	7.63	24.70	35.82	2.12
70%	2	0.00	88.17	322.96	18.63	9.05	31.99	76.59	4.27
80%	2	0.00	261.40	490.27	62.94	27.48	165.54	122.94	7.76
90%	2	13.27	354.04	479.09	89.59	30.21	304.03	117.04	6.69

情境二 水田耕作調節溫室氣體(二氧化碳)之效益(單位:百萬元)

超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	1	205.84	2198.51	1799.12	96.98	42.54	0.00	250.97	7.92
60%	1	205.84	2198.51	1740.86	96.98	42.54	0.00	242.60	7.92
70%	1	205.84	2192.79	1640.74	96.98	42.54	0.00	219.84	5.58
80%	1	205.84	2180.64	1494.91	96.98	42.54	0.00	149.27	3.73
90%	1	205.84	2153.79	1215.22	96.98	42.54	0.00	91.47	2.98
超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	2	184.13	1914.66	1657.87	191.20	93.47	5104.47	239.49	13.27
60%	2	184.13	1898.30	1490.85	188.65	90.90	5104.47	183.92	9.69
70%	2	184.13	1818.42	1252.22	181.51	88.51	5092.16	115.05	6.06
80%	2	184.13	1525.88	969.67	106.67	57.37	4866.63	36.78	0.16
90%	2	161.72	1369.43	988.55	61.68	52.77	4632.74	46.76	1.97

情境二 水田耕作調節溫室氣體(甲烷)之損失效益(單位:百萬元)

超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	1	5.38	57.47	47.03	3.13	1.37	0.00	8.11	0.26
60%	1	5.38	57.47	45.51	3.13	1.37	0.00	7.84	0.26
70%	1	5.38	57.32	42.89	3.13	1.37	0.00	7.10	0.18
80%	1	5.38	57.00	39.08	3.13	1.37	0.00	4.82	0.12
90%	1	5.38	56.30	31.77	3.13	1.37	0.00	2.96	0.10
超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	2	90.02	936.09	810.54	85.64	41.86	2286.24	107.26	5.95
60%	2	90.02	928.09	728.89	84.49	40.72	2286.24	82.38	4.34
70%	2	90.02	889.04	612.22	81.30	39.64	2280.73	51.53	2.71
80%	2	90.02	746.01	474.08	47.78	25.70	2179.72	16.47	0.07
90%	2	79.06	669.52	483.31	27.62	23.63	2074.96	20.94	0.88

情境二 水田耕作調節氧氣效益(單位:百萬元)

超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	1	442.99	4731.49	3871.95	208.72	91.55	0.00	540.13	17.05
60%	1	442.99	4731.49	3746.55	208.72	91.55	0.00	522.10	17.05
70%	1	442.99	4719.18	3531.08	208.72	91.55	0.00	473.13	12.01
80%	1	442.99	4693.03	3217.24	208.72	91.55	0.00	321.25	8.02
90%	1	442.99	4635.24	2615.31	208.72	91.55	0.00	196.86	6.41
超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	2	395.89	4116.57	3564.46	411.08	200.95	10974.77	514.91	28.54
60%	2	395.89	4081.41	3205.37	405.60	195.45	10974.77	395.43	20.83
70%	2	395.89	3909.66	2692.31	390.25	190.29	10948.31	247.37	13.03
80%	2	395.89	3280.68	2084.81	229.34	123.35	10463.40	79.07	0.35
90%	2	347.69	2944.31	2125.41	132.61	113.45	9960.54	100.53	4.23

情境二 水田耕作去除BOD之效益(單位:百萬元)

超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	1	0.42	4.49	3.67	0.20	0.09	0.00	0.51	0.02
60%	1	0.36	3.85	3.10	0.19	0.07	0.00	0.39	0.01
70%	1	0.42	4.48	3.35	0.20	0.09	0.00	0.45	0.01
80%	1	0.42	4.45	3.05	0.20	0.09	0.00	0.30	0.01
90%	1	0.42	4.40	2.48	0.20	0.09	0.00	0.19	0.01
超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	2	0.42	4.37	3.78	0.44	0.21	11.64	0.55	0.03
60%	2	0.42	4.33	3.40	0.43	0.21	11.64	0.42	0.02
70%	2	0.42	4.15	2.86	0.41	0.20	11.61	0.26	0.01
80%	2	0.42	3.48	2.21	0.24	0.13	11.10	0.08	0.00
90%	2	0.37	3.12	2.25	0.14	0.12	10.56	0.11	0.00

情境二 水田之調蓄洪水效益(單位:百萬元)

超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	1	30.17	322.29	302.79	19.49	6.23	0.00	36.78	1.79
60%	1	0.00	0.08	89.96	5.27	0.00	0.00	1.45	2.37
70%	1	30.17	322.45	307.02	19.49	6.23	0.00	37.61	1.85
80%	1	30.17	322.77	310.91	19.49	6.23	0.00	39.50	1.90
90%	1	30.17	323.49	318.37	19.49	6.23	0.00	41.04	1.92
超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	2	30.15	323.69	298.50	35.52	17.30	843.86	40.16	2.17
60%	2	30.15	324.18	303.48	35.60	17.38	843.86	41.82	2.28
70%	2	30.15	326.56	310.59	35.81	17.45	844.22	43.87	2.39
80%	2	30.15	335.28	319.01	38.04	18.38	850.95	46.21	2.56
90%	2	30.82	339.94	318.45	39.38	18.51	857.92	45.91	2.51



### 附錄三 模式應用之情境三各項效益表

情境三 水田耕作之產值效益(單位:百萬元)

超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	1	179.52	1916.16	1439.60	81.17	37.10	0.00	198.94	2.04
60%	1	179.52	1910.36	1270.80	81.17	37.10	0.00	143.57	0.00
70%	1	179.52	1893.05	1042.58	81.17	37.10	0.00	93.93	0.00
80%	1	179.52	1850.12	786.56	81.17	37.10	0.00	56.73	0.00
90%	1	179.52	1724.69	561.83	81.17	35.57	0.00	24.82	0.00
超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	2	179.41	1865.39	1574.07	186.29	90.16	4973.53	196.75	12.37
60%	2	179.41	1832.07	1198.21	183.52	88.15	4973.53	100.72	6.52
70%	2	179.41	1636.45	724.61	176.21	65.54	4961.31	25.88	0.88
80%	2	170.18	1130.65	486.48	75.24	44.61	4732.21	12.65	0.00
90%	2	134.76	997.34	530.99	51.47	45.73	4362.50	37.85	0.88

情境三 水田休耕之產值損失效益(單位:百萬元)

超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	1	0.00	1.01	198.36	18.21	0.00	0.00	12.12	4.87
60%	1	0.00	4.53	300.94	18.21	0.00	0.00	45.77	6.11
70%	1	0.00	15.05	439.64	18.21	0.00	0.00	75.94	6.11
80%	1	0.00	41.14	595.22	18.21	0.00	0.00	98.54	6.11
90%	1	0.00	117.37	731.80	18.21	0.93	0.00	117.94	6.11
超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	2	0.00	31.28	107.84	12.89	6.66	24.70	25.15	0.34
60%	2	0.00	51.53	336.26	14.58	7.89	24.70	83.51	3.90
70%	2	0.00	170.41	624.08	19.02	21.63	32.13	128.99	7.33
80%	2	5.61	477.80	768.79	80.38	34.35	171.36	137.03	7.86
90%	2	27.13	558.82	741.74	94.83	33.66	396.04	121.72	7.33

情境三 水田耕作調節溫室氣體(二氧化碳)之效益(單位:百萬元)

超越機率	期別	同源	八堡	蔴仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	1	205.84	2197.06	1650.64	93.07	42.54	0.00	228.11	2.34
60%	1	205.84	2190.42	1457.10	93.07	42.54	0.00	164.62	0.00
70%	1	205.84	2170.57	1195.42	93.07	42.54	0.00	107.70	0.00
80%	1	205.84	2107.57	954.73	93.07	42.54	0.00	65.05	0.00
90%	1	205.84	1977.53	644.19	93.07	40.78	0.00	28.46	0.00
超越機率	期別	同源	八堡	蔴仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	2	184.13	1914.50	1615.51	191.20	92.54	5104.47	201.93	12.70
60%	2	184.13	1880.31	1229.75	188.35	90.47	5104.47	103.38	6.69
70%	2	184.13	1679.54	743.69	180.85	67.26	5091.92	26.56	0.90
80%	2	174.66	1160.41	499.29	77.22	45.78	4856.80	12.98	0.00
90%	2	138.31	1023.59	544.97	52.82	46.94	4477.35	38.85	0.90

情境三 水田耕作調節溫室氣體(甲烷)之損失效益(單位:百萬元)

超越機率	期別	同源	八堡	蔴仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	1	5.38	57.43	43.15	3.01	1.37	0.00	7.37	0.08
60%	1	5.38	57.26	38.09	3.01	1.37	0.00	5.32	0.00
70%	1	5.38	56.74	31.25	3.01	1.37	0.00	3.48	0.00
80%	1	5.38	55.45	23.57	3.01	1.37	0.00	2.10	0.00
90%	1	5.38	51.69	16.84	3.01	1.32	0.00	0.92	0.00
超越機率	期別	同源	八堡	蔴仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	2	90.02	936.01	789.83	85.64	41.45	2286.24	90.44	5.69
60%	2	90.02	919.29	601.23	84.36	40.52	2286.24	46.30	3.00
70%	2	90.02	821.14	363.59	81.00	30.13	2280.62	11.90	0.40
80%	2	85.39	567.33	244.11	34.59	20.50	2175.32	5.81	0.00
90%	2	67.62	500.44	266.44	23.66	21.02	2005.36	17.40	0.40

情境三 水田耕作調節氧氣效益(單位:百萬元)

超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	1	442.99	4728.38	3552.40	200.29	91.55	0.00	490.92	5.04
60%	1	442.99	4714.08	3135.87	200.29	91.55	0.00	354.28	0.00
70%	1	442.99	4671.36	2572.70	200.29	91.55	0.00	231.78	0.00
80%	1	442.99	4565.43	1940.95	200.29	91.55	0.00	140.00	0.00
90%	1	442.99	4255.91	1386.39	200.29	87.77	0.00	61.24	0.00
超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	2	395.89	4116.24	3473.39	411.08	198.95	10974.77	434.15	27.30
60%	2	395.89	4042.72	2644.01	404.96	194.51	10974.77	222.26	14.38
70%	2	395.89	3611.06	1598.95	388.84	144.62	10947.80	57.10	1.94
80%	2	375.52	2494.92	1073.49	166.03	98.43	10442.27	27.91	0.00
90%	2	297.37	2200.76	1171.71	113.57	100.92	9626.45	83.52	1.94

情境三 水田耕作去除BOD之效益(單位:百萬元)

超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	1	0.42	4.48	3.37	0.19	0.09	0.00	0.47	0.00
60%	1	0.36	3.83	2.58	0.19	0.07	0.00	0.25	0.00
70%	1	0.42	4.43	2.44	0.19	0.09	0.00	0.22	0.00
80%	1	0.42	4.33	1.84	0.19	0.09	0.00	0.13	0.00
90%	1	0.42	4.04	1.31	0.19	0.08	0.00	0.06	0.00
超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	2	0.42	4.37	3.68	0.44	0.21	11.64	0.46	0.03
60%	2	0.42	4.29	2.80	0.43	0.21	11.64	0.24	0.02
70%	2	0.42	3.83	1.70	0.41	0.15	11.61	0.06	0.00
80%	2	0.40	2.65	1.14	0.18	0.10	11.07	0.03	0.00
90%	2	0.32	2.33	1.24	0.12	0.11	10.21	0.09	0.00

情境三 水田之調蓄洪水效益(單位:百萬元)

超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	1	30.17	322.33	306.75	19.59	6.23	0.00	37.39	1.94
60%	1	30.17	322.51	311.92	19.59	6.23	0.00	39.09	2.00
70%	1	30.17	323.04	318.90	19.59	6.23	0.00	40.61	2.00
80%	1	30.17	324.35	326.73	19.59	6.23	0.00	41.74	2.00
90%	1	30.17	328.19	333.60	19.59	6.28	0.00	42.72	2.00
超越機率	期別	同源	八堡	荊仔埤	斗六	林內	濁幹線	鹿場課	麻園
50%	2	30.15	323.70	299.76	35.52	17.33	843.86	41.28	2.19
60%	2	30.15	324.71	311.26	35.60	17.39	843.86	44.22	2.37
70%	2	30.15	330.70	325.75	35.83	18.08	844.23	46.51	2.54
80%	2	30.43	346.17	333.03	38.92	18.72	851.24	46.92	2.57
90%	2	31.51	350.25	331.67	39.64	18.69	862.55	46.14	2.54

