

氣候對水文環境影響下作物調整與田間水源管理之建議

Proposal of Crop Adjustment and Irrigation Management under Climate Change in Hydrology

主管單位：經濟部水利署水利規劃試驗所

簡傳彬 ¹	譚智宏 ¹	方文村 ¹
Chien, Chuan-Pin ¹	Tan, Chih-Hung ¹	Fang, Wen-Tsun ¹
姜世偉 ¹	張雅婷 ¹	陳淑貞 ¹
Chiang, Shin-Wei ¹	Chang, Ya-Ting ¹	Chen, Shu-Chen ¹

¹財團法人農業工程研究中心

摘要

氣候變遷對水文環境造成降雨與蒸發散的強度升高，並進而影響農田有效雨量、河川逕流量與作物需水量，故整合水資源及農業生產之調適策略或方法，為當前重要之課題。目前台灣地區在糧食安全上是否有安全的疑慮，本計畫就主要糧食作物耕種現況、比例與分布情形進行瞭解，再配合農業糧食政策就主要糧食作物產量及農地利用情形，進行作物調整分析。

本計畫在假設未來耕種面積不變的情況下，以 5 個較能反映台灣水文特性的 GCMs 模式進行一期作以及二期作用水量分析結果，桃園農田水利會灌區一期作水量變化為-8.56%~1.41%；二期作水量變化為 7.32%~15.20%。假設未來稻米需求量不變，考量綜合方案，即一期作調整；二期作維持不變，進行可節餘灌溉水量之分析，則桃園農田水利會灌區在近未來氣候變遷情境下之分析結果，顯示一期作可減少水量為 1,302~2,540 萬立方公尺；二期作增加 481~1,001 萬立方公尺。彰化農田水利會灌區之一期作可節餘水量為 6,692~8,438 萬立方公尺；二期作除 Mpi_echam5 可節餘 25 萬立方公尺外，其餘用水量增加 327~1,840 萬立方公尺。嘉南農田水利會灌區之一期作可減少水量為 1,562~4,054 萬立方公尺；二期作用水量增加 572~3,449 萬立方公尺。

桃園及嘉南農田水利會依照「綜合方案」所建議之面積調整後，在不同氣候變遷情境下，桃園農田水利會透過轉作後，在 3 月上旬與中旬、5 月以及 6 月的用水量均有較大減少之趨勢，亦即代表這些旬別可因此增加調度利用水量的空間；彰化農田水利會在 3~5 月份有較大的調度空間；嘉南農田水利會在各旬別的用水量減少程度差異不大，所可能調度的水量亦較為分散。

關鍵詞：氣候變遷、作物調整、灌溉管理

Abstract

Climate change on the hydrological environment will cause the increased intensity of rainfall and evapotranspiration and which will affect the effective rainfall, river runoff and crop water requirements. Therefore, the integration of adaptation strategies or methods of water resources and agricultural production will be a current important issue. The global warming climate change will bring changes on crop productivity and affect the supply of food. For possible food shortages and international food prices in the future, the government currently improves food security related measures such as promoting food self-sufficiency rate. For the purpose of stabilizing the domestic food supply, efficient use of agricultural land, reducing domestic support for agriculture and creating sustainable farming environment. To understand the current food security in Taiwan, it is necessary to survey and analyze the situation on the main food crop farming, proportional distribution. Then, to do crop adjusted analysis by major food product and agricultural land use concerning agricultural food policy.

The total irrigation water consumption conditions of Taoyuan irrigation association under 5 GCMs for the first and the second period are shows the amount of water is -8.56% ~ 1.41 % for the first period crop and 7.32% ~ 15.20% for the second period crop. Applying "Integrated program", the analysis results for irrigated area of Taoyuan irrigation association under climate change are shows water saving of 1,302 ~ 2,540 10^4m^3 for the first period and water increasing of 481 ~ 1,001 10^4m^3 for the second period. The analysis results for irrigated area of Changhua irrigation association under climate change are shows water saving of 6,692 ~ 8,438 10^4m^3 for the first period and water increasing of 601 ~ 1,321 10^4m^3 (water saving of 25 10^4m^3 for Mpi_echam5) for the second period. The analysis results for irrigated area of Chianan irrigation association under climate change are shows water saving of 1,562 ~ 4,052 10^4m^3 for the first period and water increasing of 572 ~ 3,449 10^4m^3 for the second period.

Applying "Integrated Program", the irrigation water in the irrigated area of Taoyuan irrigation association has a greater tendency to reduce the amount of water in early March, May and June. The irrigation water mostly decreases from March to May for the irrigated area of Changhua irrigation association while dispersal decreases within the first period for the irrigated area of Chianan irrigation association.

Keywords: Climate Change, Crop Adjustment, Irrigation Management.

一、前言

近年來，氣候變遷對水文環境的影響已有相當多的學者進行探討，而其造成溫度上升以及降雨分布的變異，對於農作物作物需水量影響亦有頗多研究成果產出。氣候的變異已成為未來的趨勢，若單就氣候變遷對水稻需水以及產量的影響，由於仍存在若干不確定性，目前仍尚未有定論。洪峰增大、連續不降雨天數增加、枯水期延長、缺水機會增加是未來必須面對的水文環境。因此必需優先考慮三項水資源調適課題：(一)水資源開發與保育、(二)水資源供給、(三)水資源需求。就現階段而言，實有必要針對目前農業生產用水量進行檢視，並進一步評估未來氣候條件的變異對於農業用水的衝擊，成果可做為未來農業水資源調適策略擬定之參考依據。

二、國內主要糧食作物耕種現況

台灣糧食作物包括三大類，分別為：1、穀類(稻米、小麥、高粱、粟、大麥、玉米及蕎麥等)；2、豆類(大豆、紅豆、花豆、綠豆等)；3、薯類(甘薯、樹薯及馬鈴薯等)。參考農糧署統計資料，國內稻作面積由73年之58.7萬公頃、生產糙米224.4萬公噸，調整至101年為26.1萬公頃、生產糙米136.8萬公噸，已達國內稻米供需平衡之目標。

民國101年以熱量為基礎計算的整體糧食平均自給率約為32%，其中稻米自給率達107%，然而穀類自給率卻僅有27.1% (如表1)，主要原因是由於小麥、高粱、玉米等穀物大多仰賴進口，自給率均小於2%。反觀其他糧食包括蔬菜(88.4%)、水果(87.9%)、肉類(82.7%)、蛋類(100%)、漁產(153.2%)等自給率能均維持83%以上。

表1、糧食自給率統計表

年別(民國) 產品別	92年	93年	94年	95年	96年	97年	98年	99年	100年	101年
穀類	27.1	23.5	22.9	24.9	21.6	23.9	25.9	23.2	26.8	27.1
米	100.7	88.1	89.3	95.9	84.2	89.5	98.9	91.9	108.2	106.9
小麥	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
玉米	2.2	2.0	1.8	1.6	1.6	1.7	2.0	1.6	1.8	1.5
高粱	20.1	19.8	9.9	7.6	6.7	2.8	1.0	0.7	0.1	0.1
其他	0.8	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4
綜合自給率	34.1	32.1	30.2	32.1	30.3	32.2	31.7	31.3	33.9	32.7

資料來源：行政院農業委員會

三、糧食作物耕作面積需求範圍評估

國內稻米自給能力可達百分之百，政府儲備稻米量高於國內3個月需要量，已超過世界糧農組織(FAO)建議儲備率。就糧食安全，稻米之儲備機制已完善具備。在配合農糧政策之糧食安全與提高糧食自給率下，針對生產過剩之稻米評估其可縮減耕地面積，再評估生產量不足、仰賴進口之糧食作物其適生環境，提出糧食作物耕作面積需求範圍如下：

3.1 糧食作物種類選擇

作物調整需考慮作物之土壤及氣候環境、農民種植習慣與作物產銷制度等配合，故本計畫參考各農田水利會灌區主要種植農作物、102 年各縣市雜糧生產情形及 102 年「調整耕作制度活化農地計畫」各直轄市、縣市地區特產核定情形(糧食作物部份)，提出建議。作物調整原則主要以黃、小、玉為優先之情境進行分析。

稻米與黃豆、小麥、玉米之農家賺款如表 2，其中稻米、黃豆與玉米之農家賺款資料引用自 102 年農業統計年報－農產品生產費用與收益，該農家賺款資料已包含契作獎勵金。黃小玉之契作獎勵則依「調整耕作制度活化農地中程計畫」之轉(契)作作物補貼標準。因農糧署無小麥農家賺款資料，本研究以民國 93~102 年平均每公頃產量 3.382 噸，單價 3.139 萬元/公噸，計算得農民粗收益 10.616 萬元，扣除生產成本 6.01 萬元/公頃，淨收益為 4.606 萬元/公頃。綜合以上提出各水利會可種植之糧食作物建議如表 3。

表2、稻米與黃豆、小麥、玉米之農家賺款

作物別	契作獎勵 (萬元/公頃)	含契作獎勵之農家賺款 (萬元/公頃/期作)
稻米	一期作 0	一期作6.78
	二期作 0	二期作4.37
大豆	4.5	4.97
小麥	4.5	9.11
玉米	4.5	6.08

表3、產銷平衡下全台各水利會灌區建議之糧食作物耕種面積

會別	建議種植糧食作物	
	(1)不特別設定	(2)黃小玉為主
宜蘭	小麥, 高粱, 玉米, 大豆, 甘薯	玉米
北基	玉米, 甘薯	玉米
桃園	小麥, 玉米, 綠豆, 甘薯	小麥
石門	小麥, 玉米, 綠豆, 甘薯	小麥
新竹	玉米, 甘薯	玉米
苗栗	小麥, 玉米, 大豆, 花豆, 甘薯	小麥
臺中	小麥, 高粱, 玉米, 大豆, 紅豆, 甘薯	小麥
南投	玉米, 甘薯	玉米
彰化	小麥, 玉米, 綠豆, 甘薯	玉米
雲林	高粱, 玉米, 大豆, 紅豆, 綠豆, 甘薯	玉米
嘉南	小麥, 高粱, 粟, 玉米, 大豆, 紅豆, 花豆, 綠豆, 甘薯	大豆
高雄	粟, 玉米, 大豆, 紅豆, 甘薯	大豆
屏東	高粱, 粟, 玉米, 大豆, 紅豆, 甘薯	大豆
臺東	小麥, 高粱, 粟, 玉米, 大豆, 綠豆, 甘薯	玉米
花蓮	玉米, 大豆, 紅豆, 甘薯	大豆
七星	玉米, 甘薯	玉米

3.2 糧食作物之耕作面積需求範圍

國內稻米生產之規劃，係以維持供需穩定平衡為目標，並參酌國內消費需求量及進口量，訂定每年稻米生產目標。稻米現有庫存已足以彈性因應國際糧食危機，在穩定國內糧食供需及確保國家糧食安全目標下，農委會訂定 103 年國內稻米生產目標為 130 萬公噸，對照民國 101 年國內生產量為 136.8 萬公噸，在不影響糧食安全下，約可縮減稻米生產量 6.8 萬公噸，稻米種植面積約可減少 5%。依據 102 年各農田水利會水稻一、二期作面積予以縮減，各水利會所縮減之稻作面積則為建議其他糧食作物之旱作面積。全省各水利會一期作原稻作面積 178,481 公頃，縮減 5% 後建議稻作面積 169,557 公頃，則有 8,924 公頃可改種植旱作；二期作原稻作面積 171,131 公頃，縮減 5% 後建議稻作面積 162,574 公頃，則有 8,557 公頃可改種植旱作。

旱作種類依表 3 建議，若以黃豆、小麥、玉米為調整方案之進口替代作物，則以上稻作面積調整後，可分別種植大豆、小麥、玉米 4,396、4,567、8,518 公頃，面積乘以單位面積產量(以 101 年農糧署資料，大豆、小麥、玉米單位面積產量分別為每公頃 1.873、1.989、4.723 噸)，可得各單項作物之產量，即分別增加大豆、小麥、玉米產量為 8.23、9.08、40.23 千噸，再除上 101 年國內供給量計算得各單項自給率，即可提升大豆、小麥、玉米之單項自給率為 0.3%、0.7% 及 0.9%。

若以增加糧食自給率為目標，可考慮配合休耕地活化政策，經由活化休耕地的推動，以休耕補貼款補助並鼓勵生產進口替代糧食，假設台灣各農田水利會灌區全部活用不休耕，在水稻計畫種植面積外，均種植雜糧等旱作物，即各農田水利會灌溉地面積(稻作)與實際稻作耕種面積之差值，為該水利會之稻作休耕面積，建議其不休耕但改種植進口替代糧食，至於原實際稻作耕種面積則維持種植水稻。則一期作可活化面積為 86,537 公頃，二期作可活化面積 128,903 公頃，若作物調整以黃小玉為主，則以上活化面積可分別種植大豆、小麥、玉米 80,227、44,836、90,377 公頃，分別增加大豆、小麥、玉米產量為 150.27、89.18、426.85 千噸，可提升大豆、小麥、玉米之單項自給率為 6.3%、6.5% 及 9.8%。

四、作物調整前後灌溉用水量差異

4.1 方案一、維持產銷平衡

國內稻米生產之規劃，係以維持供需穩定平衡為目標，並參酌國內消費需求量及進口量，訂定每年稻米生產目標。根據農委會訂定之 103 年農業生產目標，103 年國內年糙米消費量約為 128.6 萬公噸，出口數量 0.4 萬公噸糙米，扣除國內稻米預定進口數量 14.47 萬公噸糙米，因此為維持產銷平衡，103 年國內稻米供給量估計需達 114.5 萬公噸，對照民國 101 年國內生產量為 136.8 萬公噸，可縮減稻米生產量 22.3 萬公噸，

稻米種植面積約可減少 16.3%。因現有農田灌溉設施係由全台 17 個農田水利會進行管理營運並調配用水，故以各水利會灌區進行研析，依據 102 年各農田水利會水稻一、二期作面積予以縮減，提出調整後之建議稻作面積，各水利會所縮減之水稻種植面積則為建議旱作面積，可改種植表 3 所建議之其他糧食作物。

4.2 方案二、確保糧食安全

稻米現有庫存已足以彈性因應國際糧食危機，在穩定國內糧食供需及確保國家糧食安全目標下，農委會訂定 103 年國內稻米生產目標為 130 萬公噸，對照民國 101 年國內生產量為 136.8 萬公噸，在不影響糧食安全下，約可縮減稻米生產量 6.8 萬公噸，稻米種植面積約可減少 5%。依據 102 年各農田水利會水稻一、二期作面積予以縮減，提出調整後之建議稻作面積，各水利會所縮減之稻作面積則為建議旱作面積，計算作物調整後之用水量如表 4-25，在不影響糧食安全原則下，部分稻作面積改種旱作，則一期作可減少用水量 14,615 萬立方公尺，二期作可減少 10,724 萬立方公尺。

4.3 方案三、活化各水利會休耕地

台灣因加入 WTO 而實施休耕制度，27 年來，每年兩個期作約有 20 萬公頃農田辦理休耕種植綠肥作物，面對全球氣候異常造成糧荒警訊，國內開始倡導糧食安全，經由活化休耕地的推動，以休耕補貼款補助並鼓勵生產進口替代糧食。本方案主要是配合休耕地活化政策，假設台灣各農田水利會灌區全部活用不休耕，在水稻計畫種植面積外，均種植雜糧等旱作物，即各農田水利會灌溉地面積(稻作)與實際稻作耕種面積之差值，為該水利會之稻作休耕面積，建議其不休耕但改種植進口替代糧食，至於原實際稻作耕種面積則維持種植水稻。則一期作可活化面積為 86,537 公頃，增加旱作因此增加用水量 67,633 萬立方公尺，二期作可活化面積 128,903 公頃，增加旱作因而增加用水量 99,531 萬立方公尺。

4.4 方案四、連續休耕地活化

因應 100 年全國糧食安全會議結論，配合糧食自給率 40% 目標，將活化休耕地 14 萬公頃，並優先鼓勵特定農業區等優良休耕農地，種植穀類如飼料玉米等糧食作物。因此農委會自 102 年起推動「調整耕作制度活化農地中程(102~105 年)計畫」，以兩個期作連續休耕之農地 5 萬公頃為優先活化對象，田區仍得辦理一個期作休耕種植綠肥，補貼每公頃 4.5 萬元，另一個期作鼓勵種植進口替代(如硬質玉米、大豆、短期經濟林等)、具外銷潛力(如毛豆)、有機作物及產銷無虞之地區特產等轉(契)作作物。

方案四即以兩個期作連續休耕之農地為優先活化對象，擬發揮農地生產功能，提高糧食自給率，針對各會連續休耕地，選擇其中一個期作恢復種植(旱作)，假設一半休耕地種一期旱作，一半休耕地種二期旱作，休耕活化需水量為一半連續休耕面積乘上一期旱作需水量，再加上一半連續休耕面積乘上二期旱作需水量，則此方案須增加用水量 44,578 萬立方公尺。連續休耕農地多位處於灌溉系統之末端區域，區域性供水條件較為不佳，復耕所需灌溉成本(硬體改善與人為管理)與用水量(輸送愈遠，損失愈

高)可能會較高。

4.5 方案五、豐枯水期作物調整

台灣有明顯的水資源豐枯情況，尤其是提供一期作之水資源明顯不足，故配合水資源限制條件下，本方案建議進行豐枯水期作物調整，即豐水期(二期作)多種水稻、枯水期(一期作)多種旱作為基本原則，進行水稻面積與區位之調節，以減輕枯水期灌溉用水壓力。在確保國家糧食安全目標下，103 年國內稻米生產目標為 130 萬公噸，首先評估二期作全種水稻灌溉面積有 300,034 公頃，101 年糙米二期作每公頃產量為 4.811 公噸，則二期作種滿可達糙米產量 1,443,464 公噸，超過糧食安全目標 1,300,000 公噸，即稻作部份由二期作灌溉面積全種水稻即可滿足國內稻米需求，則一期作原種植水稻面積可全面轉作其他糧食作物。

4.6 方案六、水資源限制下調整

水資源限制下調整：本方案引用水規所 2013 年「台灣地區各水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力綜合研究」計畫成果，以其目標年供需缺口作為水資源限制條件進行作物調整方案研擬。由於未來人口變化、水資源經理計畫以及水資源規劃案均推估至民國 120 年為止，故其目標年供需缺口為以缺水指數(SI)=0.5 為缺水容忍度門檻值所推求之供水能力，是否可滿足該地區民國 120 年之水資源需求量。

表 4 為該計畫整理全省各分區供水缺口分析結果，其中需求為民國 120 年各地區之水資源需求量；供水能力為考量水文條件、水資源供水系統後，滿足缺水容忍度要求下，所得到之水資源系統最大可供應水量；目標年供需缺口若為正值，代表需大於供，即該供水系統不足以滿足目標年之用水需求量；若供需缺口為負值，代表供大於需，即該供水系統足以滿足目標年之用水需求量。

本方案即針對有供水缺口之縣市，以枯水期(一期作)少種水稻、改種旱作為原則，進行作物調整以盡可能滿足供水缺口，達節餘水量目標。表 4 中供需缺口係以各縣市為單位，包含桃園、新竹、苗栗、台中、彰化、嘉義、台南、高雄、屏東等為有供水缺口之縣市，作物調整則以水利會灌區為單位，因此部份地區如桃園縣因有桃園、石門水利會灌區，針對桃園縣供水缺口擬以此二會進行作物調整，因考慮集中轉作對於水利會灌溉管理較為便利，故先以桃園水利會進行調整，若仍無法滿足缺口再調整石門灌區。另嘉義、台南二縣市之供水缺口則合併於嘉南水利會進行作物調整，依上述原則進行作物調整。作物調整前後可節餘水量 56,042 萬立方公尺。

原則上二期作維持原作物與種植面積，惟高雄市因供水缺口較大，民國 120 年需水量為 195.4 萬噸/日，以現況供水設施進行評估，當 SI 為 1 之條件下供水能力為 152.09 萬噸/日，供水缺口 43.31 萬噸/日，顯示現況設施無法滿足未來需水條件，在本方案中考慮以作物調整方式節省水量，則其一、二期作需全面停灌才有足夠節餘水量。

表 4、全省各分區供水缺口分析結果

北區	宜蘭	基隆	台北+新北	桃園	新竹
需求量	17	51	262	137	64
供水能力	26	58	492	114	54
目標年供需缺口	-9	-7	-230	23	10
中區	苗栗	台中	彰化	雲林	南投
需求量	41.64	170.76	41.58	31.37	17.56
供水能力	21.40	178.5	4.41	41.00	0.00
地下水供應量	3.50	10.00	26.00	20.00	19.00
區域支援量	10.00	-38.00	8.00	-3.80	3.50
目標年供需缺口	6.74	20.26	3.17	-25.83	-4.94
南區	嘉義	台南	高雄	屏東	
需求量	41.84	119.04	195.4	19.46	
供水能力	31.63	90.66	152.09	10.73	
目標年供需缺口	10.21	28.38	43.31	8.73	
東區	花蓮	台東			
需求量	10.868	6.884			
供水能力	4.482	3.317			
地下水供應量	19.334	8.024			
目標年供需缺口	-12.948	-4.458			

4.7 方案七、綜合方案

以上係個別依據農業政策(糧食安全與休耕地活化)及水資源條件，所擬定之六種耕種面積調整方案，其依特定限制條件下之極限狀況研擬方案，藉此分析了解不同方案對於用水量差異之極限，可提供決策者未來規劃之參考。以上述六個方案為基礎，在水資源條件限制下，並符合確保糧食安全、維持農民收益原則，進行豐枯水期作物調整之綜合評估，以達最大節水效益。

水資源限制條件同方案六，考量不同區域缺水程度，在滿足農糧政策之糧食安全目標下提出現階段缺水區域差異性之作物調整建議。針對表 4 中有供水缺口之縣市，包含桃園、新竹、苗栗、台中、彰化、嘉義、台南、高雄、屏東等進行作物調整，調整之限制條件為符合農糧政策之確保糧食安全目標。

稻米現有庫存已足以彈性因應國際糧食危機，在穩定國內糧食供需及確保國家糧食安全目標下，對照農委會所訂定之 103 年國內稻米生產目標與 101 年國內生產量，稻米生產量約可減少 5%，在本方案中以各水利會實際耕作面積(稻作)乘上每公頃糙米產量(稻米生產一期作每公頃產量 5,537 公斤，二期作每公頃產量 4,811 公斤)，可得各水利會實際產量，則全省可縮減共 5%之產量(約 9.1 萬噸)集中在有供水缺口之縣市進行作物調整，則全省可縮減稻米產量(約 9.1 萬噸)相對於有缺口之縣市總產量(桃園、新竹、苗栗、臺中、彰化、嘉南、高雄、屏東等水利會總產量約 59.12 萬噸)比例約為 15%，因縮減量不多故集中於一期作進行調整，所縮減之稻作面積則為建議旱作面積，無缺口之縣市與各縣市二期作維持原種植面積與作物，作物調整前後用水量差異，可

節餘水量為 26,106 萬立方公尺(佔各縣市總缺口 46.5%)。

五、作物調整方案綜合評估

整理現況與各方案之灌溉用水需求如表 5，相較於現況若用水量較現況少，則該方案有可節餘水量。利用各水利會之 102 年實際耕種面積進行耕種面積調整，若以黃豆、小麥、玉米為調整方案之進口替代作物(如表 3)，依調整後面積乘以單位面積產量(以 101 年農糧署資料，大豆、小麥、玉米單位面積產量分別為每公頃 1.873、1.989、4.723 噸)，可得各單項作物之產量，再除上 101 年國內供給量計算得各單項自給率。另糧食自給率係由各項糧食加總而得，小麥、玉米屬於穀類；大豆屬於子仁及油籽類，且因每年產量、組成、熱量不同，計算公式及參數設定複雜，各方案對於整體糧食自給率提高成效不易估算，故以各方案黃豆、小麥、玉米耕種面積增加之可得產量與可提升單項自給率整理如表 6，

表 5、各方案之灌溉用水需求比較

			一期稻作	二期稻作	一期旱作	二期旱作	總計	可節餘水量
現況	面積	(公頃)	178,481	171,131				
	用水量	(萬噸)	406,933	353,979			760,911	
方案一	面積	(公頃)	149,389	143,237	29,092	27,895		
	用水量	(萬噸)	340,603	296,280	18,686	22,737	678,306	82,605
方案二	面積	(公頃)	169,557	162,574	8,924	8,557		
	用水量	(萬噸)	386,586	336,280	5,732	6,975	735,572	25,340
方案三	面積	(公頃)	178,481	171,131	86,537	128,903		
	用水量	(萬噸)	406,933	353,979	67,633	99,531	928,075	-167,164
方案四	面積	(公頃)	178,481	171,131	30,204	30,204		
	用水量	(萬噸)	406,933	353,979	20,231	24,347	805,489	-44,578
方案五	面積	(公頃)		300,034	178,481			
	用水量	(萬噸)		624,329	114,641		738,970	21,942
方案六	面積	(公頃)	141,366	168,991	31,875			
	用水量	(萬噸)	341,585	349,793	13,491		704,869	56,043
方案七	面積	(公頃)	162,466	171,131	16,015			
	用水量	(萬噸)	374,359	353,979	6,468		734,805	26,106

就水資源利用角度而言，建議在枯水季之一期作轉作旱作，以期有節餘水提供紓解旱象。各方案之支出成本，包括稻作轉旱作所需增加之契作獎勵金、一期稻作轉二期稻作之農家賺款差額、水利會配合作物調整所需支付之加強灌溉管理費用。依此計算各方案可節餘水量之供水成本=各方案支出成本/各方案可節餘水量，如表 7 所示。推動活化休耕農地，整體而言，有增加農業用水之虞，故方案三、四無節餘水量，不予估計其成本。其他方案有 21,942~82,605 萬噸不等之節餘水量，方案五因針對一期

稻作改種旱作，補貼其稻作之農家賺款差額，故供水成本大幅提高，其他方案可節餘水量之供水成本皆為 11.3~11.84 元/噸。

表 6、不同方案下黃小玉可得產量與可提升單項自給率

方案	項目	種植面積	產量	自給率
方案一 維持產銷平衡	大豆	14.330	26.84	1.1
	小麥	14.889	29.61	2.2
	玉米	27.768	131.15	3.0
方案二 確保糧食安全	大豆	4.396	8.23	0.3
	小麥	4.567	9.08	0.7
	玉米	8.518	40.23	0.9
方案三 活化各水利會灌區休耕地	大豆	80.227	150.27	6.3
	小麥	44.836	89.18	6.5
	玉米	90.377	426.85	9.8
方案四 連續休耕地活化	大豆	26.127	48.94	2
	小麥	15.310	30.45	2.2
	玉米	18.971	89.60	2.1
方案五 豐枯水期作物調整	大豆	34.943	65.45	2.7
	小麥	50.072	99.59	7.3
	玉米	93.466	441.44	10.1
方案六 水資源限制下調整	大豆	14.508	27.17	1.1
	小麥	14.671	29.18	0.3
	玉米	2.696	12.73	2.1
方案七 綜合方案	大豆	4.255	7.97	0.3
	小麥	6.172	12.28	0.9
	玉米	5.589	26.40	0.6

表 7、各方案可節餘水量之供水成本比較

	可節餘水量 (萬噸)	成本總計 (萬元)	供水成本 (元/噸)
方案一 維持產銷平衡	82,605	978,405	11.84
方案二 確保糧食安全	25,340	300,136	11.84
方案三 活化各水利會 灌區休耕地	-167,164	969,480	—
方案四 連續休耕地活化	-44,578	271,836	—
方案五 豐枯水期作物調整	21,942	1,425,077	64.95
方案六 水資源限制下調整	56,043	633,253	11.30
方案七 綜合方案	26,106	300,234	11.50

六、結論與建議

本計畫研擬糧食作物耕種面積調整方案時，考慮滿足稻米安全需求量下，可轉作之耕種面積調整，並提出各區域適合轉作之建議作物，進一步估算各方案用水量之差異，及各方案所需支出成本、各方案可節餘水量之供水成本，考量轉作後之農民收益與原先種植水稻的差異，以契作獎勵與轉作補助等方式予以補貼。因此，本計畫已考

慮到糧食安全、水資源與農民收益等不同面向。惟未來實際推行時，若欲提高農民轉作意願，政府必須負擔獎勵金成本以及相關產銷等配套措施，方具實際推行可行性。

所列各方案中若考慮供水成本則以方案六與方案七，在水資源限制條件下，以作物調整方式節省水量，其成本最低為 11.3 元/噸，方案六可節餘水量 56,043 萬噸，大豆、小麥、玉米可分別提升單項自給率為 1.1%、0.3%、2.1%。綜合方案在水資源限制條件下，以確保糧食安全為目標進行作物調整，兼顧水資源與農業政策，針對有供水缺口之縣市調整後可節餘水量 26,106 萬噸，大豆、小麥、玉米可分別提升單項自給率為 0.3%、0.9%、0.6%。

若以最大可節餘水量為目標，則方案一以維持產銷平衡為目標，縮減稻作面積約 16.3% 改種旱作，一期作可減少用水量 47,644 萬噸，二期作可減少 34,962 萬噸，其可節餘水量供水成本為 11.84 元，大豆、小麥、玉米可分別提升單項自給率為 1.1%、2.2%、3.0%。

依據「綜合方案」進行調整，若以 103 年國內稻米生產目標與 101 年國內生產量，稻米生產量約可減少 5%。全台總計建議轉作(大豆、小麥、玉米)16,015 公頃，可節餘水量為 26,106 萬立方公尺，大豆、小麥、玉米分別可提高 7.97、12.28、26.4 千噸產量；提升大豆 0.3%、小麥 0.9%、玉米 0.6% 之單項自給率，供水成本約 11.5 元/噸。

相較現況，由各 GCMs 所估算最大增加用水量分述如下：桃園農田水利會：一期稻作 109 萬立方公尺；二期稻作 2,208 萬立方公尺。石門農田水利會：一期稻作 326 萬立方公尺；二期稻作 2,627 萬立方公尺。彰化農田水利會：一期稻作 1,797 萬立方公尺；二期稻作 1,883 萬立方公尺。雲林農田水利會：一期稻作 876(減少)萬立方公尺；二期稻作 4,204 萬立方公尺。嘉南農田水利會：一期稻作 1,516 萬立方公尺；二期稻作 3,231 萬立方公尺。

面臨未來氣候變遷影響下，北部區域灌區一期作期間，用水量增加大部分集中在 3~4 月份，而 5~6 月份用水量卻呈現減少之趨勢。二期作期間，就總量而言，普遍呈現增加的趨勢，尤其是在 10 月份增加的幅度最大。中部區域灌區，其較無一定之趨勢。一期作期間，彰化農田水利會灌區於 3 月份有較大幅度的用水量變化差異；雲林農田水利會則幾乎呈現減少的趨勢，尤其是在 3~4 月份。二期作期間，彰化農田水利會灌區於 10 月份月上旬有較大幅度的用水量變化差異；雲林農田水利會則幾乎呈現增加的趨勢，特別是在 9 月份以及 10 月份月上旬期間。南部區域灌區，在一期作期間，各 GCMs 計算之水量變異較大，並無一定之趨勢。而在二期作期間，各旬別用水量大多呈現增加的趨勢，特別在 10 月份月上旬，有較大的增加幅度。因此建議將水庫功能下降因素納入考量，一期作調降適當比例為旱作；二期作不予調整。

本計畫透過作物種類與種植面積調整後，確實可達農業用水節水效益，然變更耕作制度實屬不易，建議未來可先於缺水風險較高之區域進行示範區之試辦，有了實際之操作經驗並與農民溝通與意見回饋，才有可能消除農民之疑慮，始可推廣宣導。

目前農田水利會之灌溉計畫用水量與實際用水量間有相當大的差距，其原因包括計畫灌溉面積與實際灌溉面積間不同，加強灌溉管理降低用水量等因素；其中關鍵點之一為實際耕作面積的掌握，如能在插秧後 30 天掌握實際耕作面積，將有利於後續之水量調配，建議未來可進行灌溉用水實態與用水效率分析，據以了解實際耕作面積與用水量的影響因子及用水效率。

目前各水利會單位面積用水量差異甚大，其原因包括灌溉方式、水源條件、土壤質地等因素；但同一水利會灌區，歷年單位面積實際用水量亦有相當程度之差異，其原因可能包括氣候條件、加強灌溉管理等，建議未來可進行不同氣候條件下之農業合理用水量評估，以獲得各灌區農業用水量之上限、建議值與下限。

參考文獻

1. 甘俊二(1979)，「灌溉系統配水技術之分析與研究」，台灣大學農工系。
2. 馬家齊、吳瑞賢(2014)，「氣候變遷下的農業用水科學管理」，農業工程學報第 60 卷第 2 期，民國 103 年。
3. 陳世楷、劉振宇、黃偉哲(1988)，「水田入滲水力特性之試驗研究」，台灣水利，第 46 卷，第 4 期，52-64 頁。
4. 陳亭羽(2012)，「氣候變遷對桃園地區水稻產量及灌溉需水量之影響」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文。
5. 陳毓雯(2009)，「氣候因子影響水稻田灌溉需水量變化之研究」，國立成功大學地球科學系碩士論文。
6. 童慶斌(2013)，「韌性理論應用於氣候變遷對灌溉系統之影響評估」，行政院農業委員會。
7. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2007)，「翡翠及石門水庫共同用水調度機制規劃」，民國 96 年，農業工程研究中心執行。
8. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2007)，「嘉南水利會灌區休耕決策對灌溉用水影響之空間分析研究(1/2)」，民國 96 年。
9. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2008)，「嘉南水利會灌區休耕決策對灌溉用水影響之空間分析研究(2/2)」，民國 97 年。
10. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2008)，「強化區域水資源永續利用與因應氣候變遷之調適能力(2/2)」，民國 97 年。
11. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2009)，「結合國土利用規劃建立嘉南地區缺水風險評估機制之研究」，民國 98 年。
12. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2009)，「桃竹地區灌溉配水與停灌對灌溉用水影響研究(1/2)」，民國 98 年，農業工程研究中心執行。

13. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2010),「桃竹地區灌溉配水與停灌對灌溉用水影響研究(2/2)」,民國 99 年,農業工程研究中心執行。
14. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2010),「強化南部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究(1/2)」,民國 99 年。
15. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2011),「強化南部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究(2/2)」,民國 100 年。
16. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2012),「曾文水庫防洪防淤整體綱要計畫」,民國 101 年。
17. 經濟部水利署北區水資源局(2007),「多元化水資源開發-桃園及新竹地區農業迴歸水調查與可行性評估」,民國 96 年,農業工程研究中心執行。
18. 經濟部水利署北區水資源局(2008),「石門水庫供水區域各標的用水中長期規劃暨區域產業發展探討及推動之研究」,民國 97 年,農業工程研究中心執行。
19. 經濟部水利署北區水資源局(2008),「利用田坵蓄水及稻作調整以豐沛桃竹地區水資源之可行性研究」,民國 97 年,農業工程研究中心執行。
20. 經濟部水利署南區水資源局(2014),「水文環境變遷情境下嘉南地區水源調度運用方案研究-期末報告」,民國 102 年,農業工程研究中心執行。
21. 簡傳彬、吳瑞賢(2003),「逕流再利用系統之回歸水試驗與模擬」,農業工程學報,第 49 卷第 3 期,第 31 至 45 頁,民國 92 年。
22. Allen, R.G., and Pruitt, W.O. (1991), FAO-24 Reference Evapotranspiration Factors, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 117, No. 5, pp.758-773.
23. Kashyap, P.S., and Panda, R.K. (2001), Evaluation of evapotranspiration estimation methods and development of crop coefficients for potato crop in a sub-humid region. Agricultural Water Management, 50:9-25.