

推廣水田生態環境保護及地下水涵養補注

農委會農田水利處薦任技正 / 林國華

台北市七星農田水利研究發展基金會研究員 / 陳世楷

早期我國水資源開發主要為供應水稻灌溉，稻米一直是我國最重要的農作物，稻作產業無論在經濟、社會、政治、文化均有其重要的地位；隨著社經環境之改變，我國工商業逐漸發達，國際貿易頻繁，稻作產業之產值占國民生產毛額逐漸下降，由早期（民國50年）之27.45%降至民國91年之1.86%，又加入世界貿易組織（WTO），進口稻米價位優勢對我國稻作產業將造成衝擊，如稻米之栽植面積將減少、稻農之收益將降低，稻作相關產業之工作機會亦會隨之減少（種稻面積由民國71年659,591公頃降至民國91年306,840公頃）。而我國農業政策自民國73年度起獎勵水稻減產、稻田轉作，自80年度起轉而強調生產、生態、生活三生農業調整方向，顯現稻米政策為因應社經環境之變遷，除致力提高水資源利用效率，提供優質、安全、高產量之稻米外，並著重生態環境保育與資源永續利用，朝向生產、生態、生活三生一體的新農業邁進。

水田三生功能之調查評估與推廣活動

一、計劃緣起

環顧我國歷史，稻作產業無論在經濟、社會、政治、文化均有其重要的地位，國內外各項研究調查亦顯示水田除糧食生產功能外，尚具有涵養地下水源及安定河川流況、調蓄暴雨洪水減低下游排水尖峰流量、淨化水質、調節微氣候、防止土壤沖蝕、洗鹽及提供水鳥庇護、繁殖、覓食場所等生態功能，也具有提供農村良好居住環境及美麗景觀等生活功能（照片一～四）。為減少水田因轉作、休耕對生態環境之衝擊負面影響，並進一步尋求利用休耕水田維持其生態環境功能之方法與必要措施，農委會多年來致力於將水田在生態環境各項功能予以量化評估，瞭解各地區水田在生態功能上之貢獻程度，並就休耕水田如何維持及進一步提高其生態功能之各種方法加以研究、探討，研擬具體措施，並廣泛收集國外相關研究、措施作為推動休耕政策之參考依據。同時透過所舉辦之宣傳活動，將計畫成果廣為推廣，以建立民眾對水田在環境與生態維護角色之正確認知，由於水田所具有之公益功能眾多，本文僅針

對水田蓄洪及補注地下水功能、調節微氣候之功能、休耕水田生態系統維護功能以及推動水田三生教育推廣等進行一般性之介紹。

二、水田蓄洪及補注地下水功能分析

耕作中之水稻田，因田埂圍築具有長期保持湛水之特性，就水收支平衡觀點來看，降雨或灌溉造成田面湛水昇高，多餘水量由田埂缺口溢流，而湛水除提供蒸發散量外，經由田埂垂直滲漏及穿越牛踏層之田間滲漏水

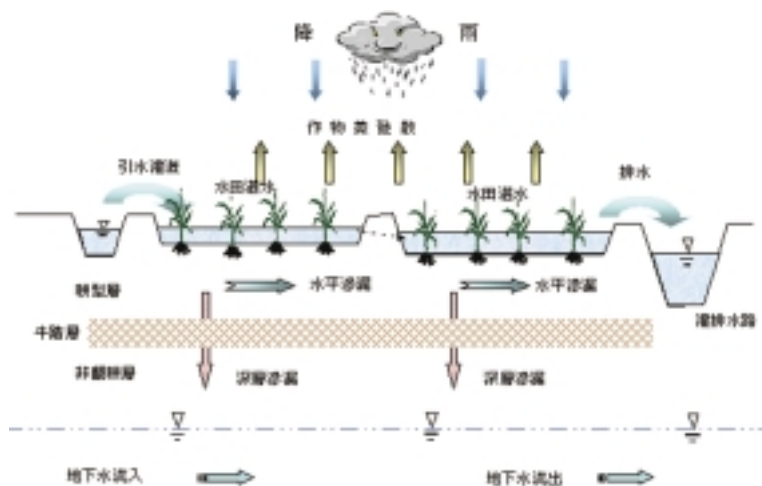


圖1 水田涵養補注地下水示意圖

量，即成為涵養地下水之重要來源（參考圖一），另因田埂圍築可蓄存降雨水量，則有達到蓄洪調洪之功效。在貯蓄洪水機能方面，根據成功大學詹錢登教授及周乃昉教授等之評估（以民國71年第二期水稻田耕作面積34.3萬公頃為基準），其調蓄洪水能力約有5.83億立方公尺，相當於一座曾文水庫之調洪能力（曾文水庫之有效容量為5.8億立方公尺）。如果將水稻田之

田埂高度維持在30公分，相當於每公頃水田約有2,700立方公尺之蓄水能力，則可調蓄洪水量增加為9.26億立方公尺，其蓄洪能力相當於曾文水庫與翡翠水庫之有效容量，可見水田對於區域排水之調蓄與減輕洪災損失有顯著之效果。

就地下水補注效益而言，雖然因牛踏層之阻滯，使入滲率看似偏低（以彰化田中鎮之實驗觀測為例，約在3~5mm/day），但在長期保持湛水之情況下，產生不可忽視之累積入滲水量，實驗觀測亦證實水田區在灌溉期間與停灌期間，淺井水位有明顯之變化，約可達0.9~1.2公尺，此說明水田滲透水為淺層地下水之重要來源。此一地下水流，或伏流迴歸至下游田區，或滲漏至深層之地下水含水層，為更下游之各標的用水使用。在此概念下，一般所習稱之滲漏損失，就不再是水資源的浪費，反而是調節水資源利用之重要方式。台大生工系劉振宇教授以現地試驗配合入滲理論數學模式以及現有灌溉制度推估全省各水利會灌區水田之年地下水總補注量可達17.97億立方公尺（參考表1），約為三座曾文水庫之有效容量，其效益不容忽視。劉振宇教授進一步針對上游地區水稻梯田對地下水補注效益進行評估，各

田埂高度維持在30公分，相當於每公頃水田約有2,700立方公尺之蓄水能力，則可調蓄洪水量增加為9.26億立方公尺，其蓄洪能力相當於曾文水庫與翡翠水庫之有效容量，可見水田對於區域排水之調蓄與減輕洪災損失有顯著之效果。

就地下水補注效益而言，雖然因牛踏層之阻滯，使入滲率看似偏低（以彰化田中鎮之實驗觀測為例，約在3~5mm/day），但在長期保持湛水之情況下，產生不可忽視之累積入滲水量，實驗觀測亦證實水田區在灌溉期間與停灌期間，淺井水位有明顯之變化，約可達0.9~1.2公尺，此說明水田滲透水為淺層地下水之重要來源。此一地下水流，或伏流迴歸至下游田區，或滲漏至深層之地下水含水層，為更下游之各標的用水使用。在此概念下，一般所習稱之滲漏損失，就不再是水資源的浪費，反而是調節水資源利用之重要方式。台大生工系劉振宇教授以現地試驗配合入滲理論數學模式以及現有灌溉制度推估全省各水利會灌區水田之年地下水總補注量可達17.97億立方公尺（參考表1），約為三座曾文水庫之有效容量，其效益不容忽視。劉振宇教授進一步針對上游地區水稻梯田對地下水補注效益進行評估，各

→ 表1 各農田水利會灌溉面積及地下水補注量

農田水利會	總灌溉面積 (公頃)	灌溉需水量 (億立方公尺)	地下水補注量 (億立方公尺)
宜蘭	18,698	6.88	1.43
北基	4,912	2.27	0.17
桃園	24,952	4.90	1.37
石門	11,997	2.03	0.30
新竹	6,543	1.79	0.46
苗栗	10,895	3.08	0.59
台中	31,233	13.08	2.21
南投	13,244	5.49	1.13
彰化	49,820	11.74	3.96
雲林	62,851	12.73	1.50
嘉南	78,422	6.52	2.10
高雄	18,414	4.43	0.40
屏東	25,444	5.43	1.19
台東	13,498	10.36	0.17
花蓮	12,457	12.00	0.99
總計	38,380	102.73	17.97

農田水利會之水稻梯田對地下水補注總量可達3.25億立方公尺（參考表2），約為0.56座曾文水庫之有效容量，部分地區如新竹水利會之補注效益可達灌溉水量之27.1%，顯示出水稻梯田對地下水之涵養補注有明顯之效益。然而，水田補注地下水之效益在轉作旱作或休耕棄耕而不灌水之情況下，將使地下水之補注來源將大為減少，根據吳瑞賢教授以水稻田及早作（以西瓜為例）之回歸水及地下水補注分析加以比較，其結果顯示，短期旱作（以西瓜為例）在水稻田一期作期間，將減少地下水補注量136.8公厘（約21%），回歸水量（含逕流量）降低308.5公厘（約69%），地下水回歸水量降低22.1公厘（約23%）。轉作旱作在一期作期間，將減少地下水補注量及地下水回歸水量。同樣比例之轉作面

積，上游轉作旱作之地下水補注及地下水回歸水量大於下游轉作旱作。由於位於上游地帶之水稻梯田對蓄洪、消洪、防止土壤侵蝕等與災害防治有關之效益尤為顯著，但因國內農村人口老化勞動力不足等後天條件的欠缺，每使水稻梯田較一般平地水田更易有轉作、休耕甚至廢耕的傾向，如何加強水稻梯田保育已成為當前水土資源保育重要課題之一。

三、水田調節微氣候之功能評估

由於溫室效應及土地不當開發等作為，造成全球氣候緩慢的改變，旱災與洪水在世界各地發生的頻率亦見逐年增高，其中又以全球平均氣溫的持續升高，最早為科學家所注意而有全球暖化效應的提出。都市地區受到地面鋪設混凝土或AC等人工鋪面、工

表2 各農田水利會水稻梯田面積及地下水補注量

農田水利會	梯田灌溉 需水量 10 ⁶ (m ³)	梯田面積		水稻梯田	
		水稻 梯田 (Ha)	旱作 梯田 (Ha)	地下水 補注量 10 ⁶ (m ³)	佔梯田灌 溉需水量 %
北基	97.8	2,112	0	11.1	11.4
桃園	29.4	1,572	0	4.8	16.3
石門	180.2	10,632	0	20.5	11.4
新竹	34.6	1,261	0	9.4	27.1
苗栗	80.2	2,832	0	14.7	18.3
台中	860.1	17,065	2,512	104.8	12.2
南投	434.3	8,897	975	55.9	12.9
彰化	59.5	2,169	158	12.5	21.1
雲林	79.1	1,718	2,053	9.5	11.9
嘉南	4.0	170.5	307.5	0.3	7.3
高雄	78.8	2,361	773	7.3	9.2
屏東	25.7	558	567	4.3	16.9
宜蘭	39.5	1,072	0	2.7	6.9
花蓮	1,006	10,976	349	46.0	4.2
台東	541.7	3,421	2,713	22.0	4.1
總計	3,550.9	66,817	10,407.5	325.8	9.2



水田具有完善灌排設施，可確保糧食生產（取自水田生態攝影比賽作品）

廠或家庭排出之廢熱、風場流通受阻及空氣污染等因素影響，溫度升高尤其明顯，已造成生活於其間人類及各物種活動上的不舒適感。水稻田之種植型態需要大量灌溉水，大面積之水田經蒸發散作用，吸收空氣中及地表之熱量，對農村社區或鄰近都市具有溫度緩和的作用。

根據譚智宏博士以遙感探測方法，應用美國新一代大地衛星Landsat-7及高解析度衛星Quick Bird等提供之影像資料，以物理模式推導出水稻田栽培區與鄰近草地、裸露土壤、都市、旱田、森林、水體等不同土地利用之溫度差異，結果顯示水田之平均溫度較都

市低7.8°C，較裸露土壤或道路低約5°C，顯示水田確實在區域性平均溫度較周邊人造土地型態有較低之溫度，而土地利用是影響地表溫度的主要原因，如一地區之水田全數廢耕或改變為人工構造物，將會造成區域溫度顯著的上升，而影響居住生活品質。

吳富春教授以實測資料驗證建立水田生態環境微氣候模式，分析水田調節微氣候之功能，評估各種休耕方案對水田生態環境之影響，結果顯示水田在夏季所具有調節微氣候之功效，以休耕水田蓄水時冷房效果最佳，相當於約每公頃可抵2,600台家用冷氣機（以每台2,250 kcal/hr為基準）之功效；其次是種植水稻時，相當於

表3 不同水田利用狀況模擬方案之熱流比較（夏季）

	方案一 水田種植水稻				方案二 水田休耕蓄水				方案三 水田休耕不蓄水 (土壤濕潤)				方案四 水田休耕不蓄水 (土壤乾燥)			
項目	熱流 (W/m ²)		百分比 (%)		熱流 (W/m ²)		百分比 (%)		熱流 (W/m ²)		百分比 (%)		熱流 (W/m ²)		百分比 (%)	
太陽短波 輻射	841.07		-		841.07		-		841.07		-		841.07		-	
短波短波 輻射輻射 吸收吸收	349.9	491.17	109.3	-	841.07	0	101.7	-	714.87	126.2	102.1	-	588.7	252.3	102.7	-
淨長波 輻射吸收	-29.6		-9.3		-13.97		-1.7		-14.47		-2.1		-15.5		-2.7	
總吸收 輻射量	320.3		100		827.1		100		700.4		100		573.2		100	
深層熱流	96.8		36.5		-25.3		-3.1		611.9		87.4		507.5		88.5	
可感熱流	6.6		2.5		177		21.4		44.4		6.3		47.6		8.3	
蒸發潛熱	161.6		61		675.4		81.7		44.2		6.3		18.1		3.2	
總釋放 熱量	265		100		827.1		100		700.5		100		573.2		100	
每公頃 土地消耗 蒸發潛熱 功率(KW)	1,616				6,754				442				181			
等效家用 冷氣機台	618				2,583				169				69			
一日*節省 冷氣機使 用電力(度)	19,392				81,048				5,304				2,172			
一日*節省 電費(元)	66,864				280,502				18,049				7,196			

*：以一日開機十二小時計算

- 620台家用冷氣機之功效；而水田休耕不蓄水時，土壤濕潤條件相當於170台家用冷氣機，土壤乾燥條件相當於70台家用冷氣機。若以一日開機12小時計算，各方案可節省之電力電費如表1所示。模擬結果亦可看出，水田休耕不蓄水情況下，地面所吸收之熱量大多進入地底，待氣溫降低時以可感熱流方式釋出，將會造成區域性氣溫升高。除了夏季之冷房效果外，水田亦可調節冬季微氣候，模擬結果顯示水田休耕蓄水時，每公頃土地所釋出之可感熱流功率相當於約5,000台電暖爐（以1200W功率為基準）之功效，暖房效果極佳；水田休耕不蓄水時，則僅相當於約1,000台電暖爐之暖房效果。模擬結果可知，水田休耕時，在冬季若能用以蓄水可使區域性氣溫升高，具有保暖之效果。

四、休耕水田生態系統維護功能

休耕水田若能維持湛水並與周遭之水路、池塘、雜木林、草地相互連結，可以成為生物復育棲息之重要基地。以動物相為例，根據賴弘志教授之調查並比較兩種類型休耕水田中的水生動物相變化。其中一個休耕水田位於台北縣淡水鎮，屬於都市周圍之休耕水田，另一個休耕水田位於台北縣貢寮鄉，屬於較不受人為干擾休耕水田。結果在淡水樣區發現水質易受生活廢污水影響，樣區內有大量食蚊魚 (*Gambusia affinis*)、福壽螺 (*Ampullarium insularum*)，以及數量較少的臺灣椎實螺 (*Radix auricularia*



水田可提供水鳥覓食、庇護及繁殖之場所（取自水田生態攝影比賽作品）

swinhoi) 和網蜷 (*Tiara granifera*)。貢寮樣區則水質良好，並發現有野外幾近於絕跡的青魚將魚 (*Oryzias latipes*) 與圓田螺 (*Cipangopaludina chinensis*)，此外，也採集到台灣蜆 (*Cyrenobatisa subsulcata*) 成體與幼苗，顯見許多原生性水生生物可在休耕水田內棲息與繁殖。初步觀察結果發現，減低休耕水田與周圍灌溉水渠的人為干擾有助於原生性水生動物相之建立。

休耕水田如何維持及進一步提高其生態功能近年來廣受稻米生產國家我國及日、韓等國之重視，以日本為例，隨著生物多樣性之概念日益升高，日本全國各地正不斷嚐試以休耕、棄耕水田作為復育生物之棲息地。高知縣中村市之蜻蜓自然公園或埼玉縣寄居町的蜻蜓公園都是巧妙運用休耕田之最佳實例。並由自然保護團體或志工為主導並推廣至全國各地。另一方面，各級政府單位主導的休耕田公園建設計劃也陸續在全國各地展開。1973年千葉縣市川市更將包括休耕田的古津地區規劃成自然觀察



水田是人工溼地之一，除糧食生產功能外，亦具有調洪蓄水、補注地下水功能，並提供水鳥覓食場所（取自水田生態攝影比賽作品）

公園。國家建設計劃中也推動了相同的計劃，建設省主導的國家公園亦嘗試著將公園境內的休耕田建設成生物棲地。其次，新潟縣上川村亦於推動林野廳補助計劃「健康與寬敞的森林建設計劃」時將對象區域內的休耕田闢建成濕生植物園。日本目前推動所謂農村「三次自然」運動，其具體意象是指在一個聚落（舊村）範圍程度內推動農地上之高產能農業目標的高度農地整頓計劃，同時設法在該計劃區域或週邊地區營造一個足以讓原本就棲息在當地的野生生物等自由移動或舒適棲息的水路、農道、田埂、池塘、河畔森林、親水公園等維護、整備、配置生物棲息場所並於該地區範圍內創造一個充滿農地與豐富生態景觀的嶄新農村空間。

五、水田生態環境保護示範與教育宣導

鑑於台灣地區近年來都市化發展迅速，傳統農耕型態已不復見，都會區內原有農地、水田幾已消失殆盡，

基於保存水稻文化傳統、推廣水稻田之生態保育觀念，行政院農委會多年來委託台北市政府執行關渡地區水田生態環境保護示範與教育宣導，使關渡自然公園內之水稻田除傳統生產機能外，並結合生活機能與生態機能，讓本區成為北臺灣之水稻田教學及示範的重要地點。主要之方式有：舉辦水稻田生態研習活動，推廣水稻知識及增強水稻田之生態保育觀念；蒐集水稻田生態資料，提供未來生態復育時參考。此外，並委託七星基金會於台北市東湖七星生態花園規劃設立水田溼地文化生態園區，以水田濕地、雜木林、草地及生態工法施作之圳路系統構成完整之農村生態系統，並配合龍骨水車、舂米之杵臼、石磨及各式農具之展示場之設立，完成一常設之水田三生教育宣導基地，可提供都會區學校師生在交通便利及規劃完整之教育場所下，以寓教於樂之方式於水稻生長期間接受完整之水田三生功能教育。而四健協會以增強民眾認知水稻田藝術之美與水稻田的生態貢獻為主要目標，除了培訓水稻田生態宣導體驗種子營外並於每年巡迴全國各縣市辦理水稻田生態體驗營活動、水稻田成果展以及舉辦水稻田三生攝影比賽、繪畫比賽等活動。並由國家高速網路與計算中心配合四健會之水田三生宣導任務，開發一套「三維水稻田作虛擬實境導覽系統」，讓民眾透過此系統瀏覽三維水稻田虛擬場景，瞭解水田生態保育之相關知識與重要性。 →



◀ 水田與農村生活、文化密不可分（取自水田生態攝影比賽作品）

結語

受到台灣社會經濟轉變之影響，台灣水田種植面積在過去20年間已大幅縮減約1/2，在加入WTO後水稻田栽培面積預期將更為減少，嚴重影響到對地下水補注涵養量及蓄洪、調洪功能。而大面積之休耕、棄耕水田如何規劃賦予更佳之公益功能，成為農政單位乃至全體國民之重要課題。農委會針對各項國內外研究成果及相關措施將持續進行水田在生態環境各項功能之量化評估工作，並就休耕水田如何維持及進一步提高其生態功能之各種方法加以探討、分析，研擬具體措施，以提供政府推動休耕政策之參考依據。本計畫未來工作方向如下：

1. 在生產方面：在水稻田灌溉管理策略上，將水田視為田間蓄水池，在豐水期採取「深水灌溉」方式，配合有機栽培及良質米品種之推廣，不

但可提昇稻米產值亦可收調節水資源之功。

2. 在生活方面：持續進行水田調洪成效、水田地下水涵養補注功能及微氣候調節效果評估，以具體量化之數據向社會大眾闡明水田生產功能之外的其他生活、防災公益功能。

3. 在生態方面：針對全國各地水田生態特性進行調查分析、辦理復育工作；另辦理休耕水田維護生態基流量之評估量化，以利於推估乾旱時期維持合理之農業用水需求。

4. 在經濟方面：以聯合國發展之綠色國民所得帳（將自然資源消耗及環境品質變化等影響從國民所得中扣除，作為衡量國民生活與福利水準、生態平衡及環境發展的指標）對我國水田經濟生產所得加上水田對天然資源的補充及環境品質改善所產生的貢獻等公益效能進行具體定量評估。

5. 在推廣方面：以關渡自然公園水稻園區、七星水田生態文化園區為宣導推廣基地，並透過四健會之全國巡迴活動與現代數位化之視訊配合，使水田三生觀念深植國人心中，並透過網路建置、研討會之舉辦，結合國人智慧加速推動擬定相關水田保護措施。

6. 在現地操作方面：擬定水田種水措施方案及現地操作準則規範，並完成水旱田農業生態用水管理及灌溉計畫調整及評估農地闢為池塘蓄水、涵養水源之可行性，以具體落實推廣水田三生功能之成效。

