

水田休耕對農業用水量影響之研究

Study on the Impact on Agricultural Water Demand from Partial Sabbath of Paddy Farming

國立台灣大學

農業工程學系副教授

蘇 明 道

Ming-Daw Su

國立台灣大學

農業工程學系研究助理

蔡 天 雄

Tsan-Shiung Tsai

國立台灣大學

農業工程學系研究助理

糠 瑞 林

Reuy-Lin Kang

摘 要

台灣地區由於水資源有限，加上經濟蓬勃發展，各標的需水量逐年增加，且台灣河流短急，雨量分配不均，雖然有約 2500 公釐的平均年雨量，在需水量增大及新水源開發不易的情況下，供水漸顯不足經常出現缺水之情況；乾旱發生時，由於農業用水佔總用水量比例較大，其他用水標的常要求釋出農業用水以解決供水之不足，導致農地必須休耕以支援民生工業用水。

本研究運用亂數模擬休耕的情況以研討休耕率與可挪用率之關係，對相同的休耕率以亂數訂出不同的休耕區域並重複模擬一千次，由模擬結果找出休耕率與可挪用率之關係。研究中先行採用六腳前山的一個輪區做驗證，再採用面積較大之白河灌區作為應用的實例，並試著將本休耕模擬程式與地理資訊系統相結合，由地理資訊系統將基本資料送出到本程式，以快速求得可挪用率與休耕率之關係，並找出影響休耕率與可挪用率關係的指標值，最後展示出休耕之區域工作決策參考。

在六腳前山區的小區域之研討中，可挪用率的變動範圍約在 5 % 左右；在白河灌區之研討中，可挪用率的變動範圍稍微擴大且在休耕率為 50 % 時最大達到 7.6 %；研究中並證實休耕輪區的零碎性越大，可挪用率越小；休耕輪區面積之均勻度越大，可挪用率越大。

關鍵詞：休耕，農業用水，水資源，可挪用率。

ABSTRACT

The objective of this study is to find out the relationship between the percentage of land recess and the percentage of released water using a Monte Carlo simulation technique. A simulation model was built for the water management of an irrigation command area. Parcels in the command area were numbered and random numbers were generated for simulation of

land recess. The simulation model was then executed and compute the water that can be released was computed.

it is found that the range of the percentage of releases water is about 5 %. For example, the percentage of released water may be somewhere between 46 % and 53 % if 50 % of the area is recessed. The variation is not very significant because that most of the canal in Taiwan are lined and most of paddy farm are relatively uniformed in soil texture (paddy are grew in fields with less percolation potential).

Keywords : Land recess, Agriculture water demand, Water resources, Water Resource Reallocation.

前 言

由於人口增加及經濟蓬勃發展，台灣的需水量逐年增加，加上河川短急雨量分配不均，所以經常出現缺水之狀況；由於農業用水佔總用水量比例較大，其他用水標的常要求乾旱發生時釋出農業用水以解決用水不足的危機。

在農地休耕後，該休耕部份之農業用水即可釋出供其他標的作為乾旱期間之緊急調度用水，該釋出之農業水量與原該區域總農業用水量之比率稱做可挪用率，而休耕面積與原總耕作面積之比稱作休耕面積率。由於輸配水過程之複雜，若非全面性休耕而僅做部份面積休耕時，休耕面積比與可挪用率比之間並不一定成線性之關係，例如 30 % 之灌區面積休耕後，可挪用出來的水量並不一定是原總用水量之 30 %，有可能超過 30 %，也有可能小於 30 %，有必要瞭解這方面之資訊，以作為農業用水管理以及乾旱時水源調配決策之參考。

文獻回顧

國外因為水資源之規畫較為完善，水權法規亦較健全，關於休耕影響農業用水之研究文獻相當缺乏，文獻中有關休耕之研討大多集中於產量之控制與農業經濟政策上。陳再添 (1990) 提出「稻田休耕之執行與檢討」，以行政政策執行稻田休耕，抒解生產過剩所引起之財政及倉容之沉重負荷。陳明燦 (1993) 在「德國農業政策與農地休耕之探討」提到德國農業休耕方案之主要目標在於使耕地休息並減少其農產量，藉由休耕促進農場流動性，以改善農

業結構，亦未提及可挪用率與休耕率的關係。

林俊男 (1993) 於「地理資訊系統應用於乾旱其安排停灌順序之研究」中首先進行休耕與農業用水之研討，該研究指出影響農田灌溉用水量大小差異之因子，可分為主要之因子與次要之因子兩類，主要因子包括田間滲漏量、田間給水成數、及渠道之損失；次要之因子有坵塊之平均面積（代表坵塊之零碎性）及由下往上灌時小給水路切換之流經時間；計算輪值各輪區由水源地輸送至輪區水門單位面積之輸水相對倍數，結果可發現渠道末端之輪區並不一定先行停止灌溉，砂土之輪區停灌順序相當前面。

由於研討休耕及可挪用率之關係的文獻稀少，本研究擬利用模擬的方法，進行部份灌區休耕時可挪用水量之研討，希望能得到休耕面積率及可挪用率之關係以作為日後相關休耕決策之參考。

影響可挪用水率之相關因子

部份區域休耕後會釋出該休耕面積原使用之水量，供其他標的挪用以為救旱之需，影響休耕面積率與可挪用率之關係之因子相當多，其中主要的有田間用水量、田間滲漏量、田間給水成數、渠道之輸水損失、配水方式、坵塊之平均面積及由下往上灌時小給水路切換之流經時間等。

田間用水量

田間用水量佔水稻總灌溉用水量之絕大部份，所以一般人常認為休耕面積率相當於可挪用率，因此研究中需要將田間用水量考慮進來，

甘俊二等 (1975) 提出坵塊之灌溉時間估算式為：

t = \frac{Ad}{QE} \dots\dots\dots (1)

其中 t：坵塊之灌溉時間 (s)

A：坵塊面積 (m²)

Q：坵塊之灌溉流量 (m³/s)

d：灌溉水深 (m)

E：灌溉效率 (%)

表 1. 土壤質地與需水量、灌溉期距之關係表

土壤質地 及名稱	需水量		灌溉期距 (日)
	mm/日	灌溉率(公頃/(WS)	
粘土、粉質壤土、粉質粘壤土、	7~8	1240~1085	8~7
砂質壤土		1240~965	8~6
粉質壤土	8~12	1085~724	7~5
粉質粘壤土、壤土	8~13	1085~666	7~4
粘土	8~11	1085~788	7~5
砂質壤土	11~15	788~578	5~3
砂質壤土、砂土	15~20	578~432	3~2

資料來源：水稻栽培灌溉排水原理

田間滲漏量

在水稻栽培中田間滲漏量相當可觀，使其兼具地下水補注的機能，爲了模擬實際的滲漏情形，引用“水稻栽培灌溉排水原理”中的灌溉水深，來代表不同土壤的不同滲漏量。施嘉昌等 (1984) 建議有關滲漏量 (percolation) 之測定，可利用田間與滲漏計 (lysimeter) 同時觀測，以估測出滲漏量。

田間給水成數

林俊男 (1993) 指出田間給水成數是影響農田灌溉用水量的主要因子，其中輪區的給水成數爲各坵塊的田間給水成數綜合計算所得，本研究中爲了探討各種變因對可挪用率之影響，並不採用田間給水成數，而是希望根據滲漏理論來推求水量損失。

渠道之損失

甘俊二等 (1975) 提及台灣之灌溉輸水系統大致上可分兩段，即輸水水路系統 (幹、支、分線) 與輪區內之分配水路 (小給及補給水路)。施嘉昌等 (1984) 指出輪區內位於水源附近及末端之不同坵塊，受水源距離不同，輸水損失之變化可相差達 30 %。本研究引用“烏山頭水系配水計畫”中文獻所提到的水足前進函數：

t_0 = \alpha L^\beta \dots\dots\dots (2)

其中 t₀：水足前進時間 (min)

L：水路長 (m)

α、β：常數

並引用“烏山頭水系灌溉配水計畫與農業用水量推估之有關研究”所提到的水路損失模式：

S = \alpha L^b T^c \dots\dots\dots (3)

其中 S：水路輸水損失率 (%)

L：水路長 (m)

T：通水時間 (hr)

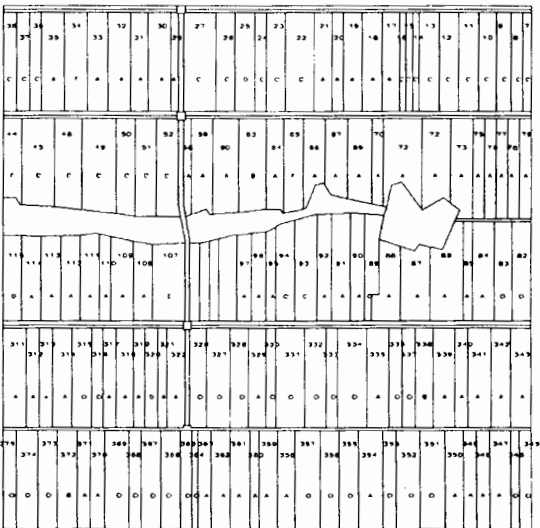
a、b、c：常數

配水方式

在嘉南地區的配水技術大部份臻至完備，所以本研究引用烏山頭的配水模式。甘俊二等 (1975) 提到，水庫之放水與水路間之調配，若比照輪區之配水方式，將支線視爲獨立單位，由支線內各輪區之要求流量，計算出支線總流量，同樣亦可從各支線別之要求流量，計算出幹線及水庫之總放水量。

休耕模擬

在本研究中嘗試運用亂數選取休耕區域來進行模擬以研討可挪用率與休耕率的關係，首先以一輪區爲研討標的，並以坵塊爲休耕單位進行休耕。雖然於灌溉管理之實務上，以坵塊爲休耕計畫之單位時並不合適，執行亦有困難，但爲要先行驗證本研究所建立之模式是否正確可行，本研究先行採用六腳前山輪區作爲小區域的研討，



資料來源：烏山頭水系配水計畫

圖 1. 六腳前山灌區之坵塊及水路圖

並以坵塊為休耕單位，輪區代表整個灌溉區域，並採用了“烏山頭水系配水計畫”文獻資料。六腳前山區之坵塊共有 143 個(如圖 1)，當時的灌溉坵塊共有 93 個，其餘的坵塊沒有耕種或休耕，種植的種類以雜作為主，不同的作物用不同的灌溉水深來代表，並且假設該區的土壤質地相同，配水方式採用由上而下、由左至右。

由於本研究探討各種相關因子對總用水量的關係，包括休耕面積百分比、水路長度、作物種類、土壤質地等，所以在程式撰寫上採用模組化之設計，並利用函數傳遞相關結果，便利以後應用不同模組來替換，增加程式之彈性。本研究引用“烏山頭水系配水計畫”中的水足前進函數(如式 2)，式中之 α 及 β 在六腳地區分別為 0.102 及 1.1。模式中並引用“烏山頭水系灌溉配水計畫與農業用水量推估之有關研究”的水路損失模式(如式 3)，式中之 a 、 b 、 c 在六腳地區分別為 4.624、0.37，及 -0.379。

六腳前山區的水路十分單純，僅有一個取水口，當作是本研究的水源，另外渠道方面僅有一給水路將水引入坵塊灌溉，可以想像成在灌溉系統中之幹線和支線的關係(如圖 1)，坵塊基本資料檔的內容包括坵塊面積，主水路長度、副水路長度、在主水路的左邊或右邊、灌溉效率、灌溉水深等。

本研究採用 Qbasic 語言來撰寫亂數模擬休耕程式，程式分為四個步驟進行模擬。

輸入基本資料檔

基本資料檔包括田間基本資料與模式基本參數資料等，輸入基本資料的同時並計算出模擬區域的總面積。

統計未休耕時之灌溉水量

考慮水足前進模式、渠道輸水損失模式、田間用水模式，計算未休耕時之總灌溉時間及總灌溉用水量，當作比較的基值。

開始模擬休耕

先行決定休耕率，根據休耕率以 Monte Carlo 方式產生亂數來選擇足夠的休耕面積且不可複選，然後將未休耕的區域利用水足前進模式、渠道輸水損失模式、田間用水模式計算灌溉用水量，並計算出可擲用水率。

產生結果檔

將計算得到的可擲用水率輸出，儲存相關之資料，並重複進行每個休耕率(10%~90%)的模擬，六腳前山區有 93 個坵塊，50%休耕時約有 8.07×1012 種組合，這已經是最小的組合情況，而最多(90%休耕或 10%休耕)甚至會產生約 2.91×1026 種組合，無法對所有情況進行模擬，所以在本研究中擬採用 1000 次的程式模擬並將所得的資料進行分析研究。

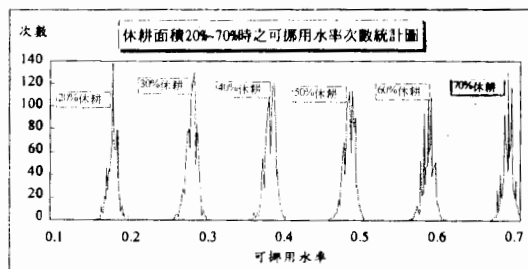


圖 2. 前山區休耕面積 20%~70% 之可擲用水率統計圖

由一千次的亂數休耕模擬結果所產生之可擲用水率與發生次數的圖形，可以約略看出呈現相當之對稱性(如圖 2 及表 2)，可擲用水率的變動範圍在 5% 左右。

表 2. 前山區模擬結果統計分析

省水率	單值	平均值	低分位	中分位	高分位
10%	0.093	0.092	0.089	0.092	0.094
20%	0.187	0.190	0.186	0.188	0.193
30%	0.287	0.289	0.283	0.286	0.291
40%	0.386	0.387	0.382	0.385	0.390
50%	0.490	0.486	0.480	0.485	0.488
60%	0.587	0.585	0.579	0.583	0.587
70%	0.685	0.684	0.679	0.683	0.687
80%	0.782	0.783	0.778	0.781	0.786
90%	0.884	0.883	0.879	0.882	0.884

前述影響可擲用水率之各項變數(如土壤質地、輸水損失等等)在較大之區域變化範圍會加大，影響也較廣，為探討在較大之灌區的休耕而積率與可擲用水率之變化情形，本研究選擇嘉南水利會白河灌區當作研討地點，以輪區為休耕的單位進行休耕模擬。白河灌區面積 400 公頃，具有完整而獨立之水源及輸配水系統，相關之圖層及屬性資料大都已建檔完成，且採用地理資訊系統(ARC/INFO)的檔案格式，本研究乃採用白河灌區作為研討的區域，嘗試將休耕模擬程式與地理資訊系統相結合，由地理資訊系統將基本資料傳送

到模擬程式，快速求得可挪用率與休耕率之關係，並可利用 GIS 在圖面上展示出休耕區域。

由於白河灌區有 103 個需要灌溉的輪區單元，加上渠道、給水處的基本資料，且同一輪區內有可能有數種的土壤性質，基本資料相當龐大，計算過程中乃應用 GIS 中圖層套疊 (overlay) 的分析技術，例同一個輪區中由於不同的土壤質地，會具有不同的灌溉水深，而總灌溉需求量的計算需要將輪區中各種土壤的灌溉水深乘以各種土壤的面積，這時就需要將土系圖與輪區邊界圖套疊，分別計算出每一個土質的面積。

輪區

輪區的基本資料包含了土壤質地、輪區面積等。不同的土壤質地代表不同的灌溉水深 (如表 1)，輪區的灌溉水量可以用各種不同的土壤質地所代表的灌溉水深乘以面積得出。台灣省農業試驗所已完成農地上系圖圖層之建立，利用 PC ARC/INFO 中所提供的 identity 指令，可以完成套疊分析的工作，套疊後的多邊形圖層包含了各個多邊形的面積、土壤質地以及歸屬的輪區等屬性資料，根據這些資料即可以面積加權計算出該輪區之平均灌溉水深。雖然 GIS 可以輕易的由圖層中計算面積，但因為目前 GIS 之圖層均已概略化，以 GIS 之面積計算功能所求得之面積會包括田埂、小農路等，因此暫不採用，改採用地籍台帳內的坵塊面積資料，就不同輪區分別進行加總計算出輪區面積，乘以平均灌溉水深計算出灌溉水量。

渠道

渠道的基本資料包含了水路長度及編號、溯源編號、水路損失等基本資料。輸配水渠道系統是一個相當複雜的網路，為了儲存各水路之間的關係作為後續分析之依據，每段渠道都必須給予一個溯源編號，表示該段渠道由何處取得供水，用來溯源估算從取水口到輪區之總距離之輸水損失。

根據實地訪查的結果，白河灌區的平均水路損失為每條水路 25%，所以在本研究計算的方式為：

$$S = 0.25 \times \left(\frac{A_1}{A} + \frac{B_1}{B} + \frac{C_1}{C} + \dots \right) \quad (4)$$

其中 S：水路總損失率 (%)

A₁, B₁, C₁：每小段的水路長度 (m)

A, B, C：編號 A, B, C... 的水路總長度 (m)

在本研究中透過 GIS 的輔助，將輪區渠道圖層、分水門圖層、土壤質地圖層、輪區邊界圖層等加以整合並輸出其位相關係，整理地理資訊系統輸出資料產生模擬休耕的基本資料，根據這些資料進行亂數休耕模擬，產生可挪用率與休耕的關係。程式進行模擬的步驟仍如前述分為四個步驟進行。

在前山區之研計中是以坵塊為個別之休耕單位，水路系統的水源來自水門，因其範圍小，整個系統的變異不大，土壤的差異性極小，又輸水系統的構造均一，所以假設水路損失模式中的三個係數為定值，即式(3)中之 a, b, c 值不隨不同渠道而改變；又因為水路系統完全是上渠的小給水路，水路的損失量較其他有內面工的渠道大，如果渠道內的流量太小，會有灌溉不到末端之虞，所以假設入流量固定而且一次只灌溉一個坵塊，在計算出應灌溉多少時間後，乘以入流量即可得到一次的總灌溉水量，若部份田區休耕則整個灌溉時間會縮短，由其時間之差異即可推求出可挪用率與休耕率的關係。但白河灌溉區之面積約為六腳地區的 700 倍，系統內土壤的變異性亦擴大，休耕的單位是輪區，所以上述的假設必須做修正，土壤差異性影響到灌溉水深或灌溉率，由於幹、支、分線大都已興建內面工，所以水路損失採用單位長度損失的百分率，因此需要更換基本資料中的灌溉水深與水路損失模式。

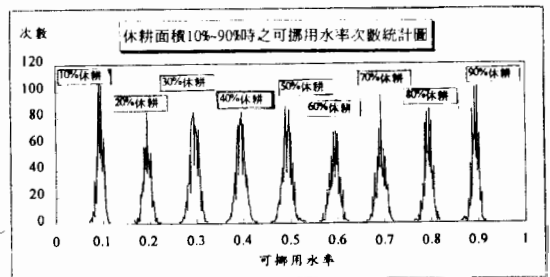


圖 3. 白河區休耕面積 10%~90% 之可挪用水率統計圖

訊相當有效之工具。地理資訊系統可以合併相鄰的休耕區域成爲一個團塊，並且可以求出各團塊的面積、取水口至輪區的距離以及休耕的實際面積大小等，本研究嘗試根據這些參數值找出影響可挪用用水率之空間指標，以做爲日後休耕決策之參考。

由於每個休耕率百分比都有 1000 組的相關資料，內容包含了各組的休耕區域、可挪用用水率、各種損失量等，資料相當龐雜，本研究乃利用隨機抽樣方式，由每個休耕百分率各抽出 10 組資料，資料的取法是按照最大可挪用用水率、最小可挪用用水率、中分位、低四分位以及高四分位隨機各取 2 組來作統計分析。將抽樣所得的資料利用統計軟體 STATGRAPHICS 推求相關統計結果。研究中嘗試了渠道長度、團塊數目、團塊數目除以總耕種面積、輪區面積範圍、與團塊範圍等與可挪用用水率的關係，希望由這些相關的資料找出影響可挪用用水率的指標函數。

在本研究中篩選出與可挪用用水率最有相關性的因子，以團塊數除以輪區數之比值與休耕輪區面積範圍除以總面積這兩個因子最具有相關性，運用這兩個變數，當作自變數，以可挪用用水率爲因變數，統計出來的結果詳見表 4，表中 AR 代表休耕輪區範圍除以總面積，P 代表休耕團塊數除以休耕輪區數，表示休耕區域的零碎性。由表中發現 AR 與可挪用用水率成正相關，P 與可挪用用水率成負相關，決定係數爲 0.8339，模式可解釋的變異性爲 83.77%，且 P 的影響大於 AR。在“地理資訊系統應用於乾旱期安排停頓順序之研究”提到影響休耕順序的次要因子有休耕區域的零碎性，在本研究中，藉由結合模擬休耕、地理資訊系統及統計學，加以驗證，越零碎的休耕，可挪用用水率越小。

結果與討論

在白河灌區的模擬中，可挪用用水率的變動範圍在休耕率爲 50 % 時最大；休耕面積範圍越大，可挪用用水率的變動範圍也越大，白河灌區所模擬出來的結果顯示，平均約有 4.5 % ~ 7.6 % 的變動範圍，由八十三年度“台灣地區之水資源”統計資料顯示民生用水佔總用水量的 14.2 %，而農業

用水佔總用水量的 77.1 % 左右，農業用水的 6 % 就代表了 4.63 % 的台灣地區的總水量，換言之就是可以供應區域內民生用水三分之一的水量，而我們僅做了不同休耕地點的安排，就有如此大的影響，由本研究可知，休耕的區域越集中可以得到越大的可挪用用水率。有關空間指標之研究中並顯示團塊數除以輪區數的值越大，可挪用用水率越小，團塊數除以輪區數的指標值代表休耕區域的零碎性，其值越大則休耕區域越零散，可挪用用水量越小，越浪費水資源，呈現出負相關；而休耕輪區面積範圍值越大，可挪用用水率越大，影響次之，呈現出正相關。

相關文獻指出土壤質地 (林俊男 1993) 對灌溉用水量的影響頗大，渠道水工構造 (甘俊二 1975) 對輸水損失的影響頗具，所以在本研究著手進行研討初期推測可挪用用水率應該會有相當大的變動範圍，但成果並不如預期的理想，白河灌區的可挪用用水率變動範圍最大爲 7.6 %，探討其原因得知現今的水稻田大多是自古留下的良田，土壤質地多爲壤土滲透量不大而且變異性不高；白河灌區的輸水渠道皆爲有內面工，不但控制了輸水損失，而且各輪區輸配水的差異性也降低了不少；如果假設白河灌區的灌溉渠道爲土渠，並引用式 (2)、(3)，可以得到表 5，可挪用用水率加入輸水損失的變異性後，可挪用用水率的變動範圍最大值達到 18.4 %，最小也有 9.7 %，如果再加入土壤質地的影響，可挪用用水率的變動範圍勢必更大。

在白河灌區以及六腳前山區的模擬結果顯示某些差異性，說明了影響可挪用用水率的因素具有

表 5. 白河灌區可挪用用水率變動範圍表 (土渠)

休耕率	可挪用用水率		
	Max	Min	差值
10%	0.152	0.054	0.098
20%	0.278	0.128	0.150
30%	0.373	0.228	0.145
40%	0.468	0.307	0.161
50%	0.569	0.418	0.151
60%	0.673	0.506	0.167
70%	0.776	0.592	0.184
80%	0.853	0.732	0.121
90%	0.936	0.839	0.097

(文轉第 12 頁)