

以地理資訊系統建立區域灌溉用水推估模式

Application of Geographic Information on the Estimation of Regional Irrigation Water Demand

溫 在 弘

ZAI-HUNG WEN

國立台灣大學農業工程學系碩士

林 俊 宏

CHUN-HUNG LIN

國立台灣大學農業工程學系碩士

蘇 明 道

MING-DAW SU

國立台灣大學農業工程學系教授

陳 增 壽

TZEN-SHOW CHEN

國立台灣大學農業工程學系助理教授

摘 要

台灣地區水資源之調配與管理長期以來均為水利研討重要課題之一，尤其在當前面臨社會產業經濟轉型之際，各種用水標的之水權合理分配，一直是各方爭論之議題；但各標的合理用水量的估算，卻相當困難且不易取得各標的間一致之共識。其中農業灌溉用水量佔各標的總用水量約80%，但是由於農業區域廣大，作物種類繁多，土壤物理特性掌握不易，加上輸水渠道錯綜複雜，營運管理相當不易。農業灌溉用水之有效推估常涉及大量空間分佈之地理資料，很適合利用地理資訊系統來加以整合，但目前之地理資訊系統(GIS)軟體著重於空間資料庫之建立與管理，在相關之模式應用能力相當薄弱，需要自行撰寫程式或介面來整合GIS與應用模式。本文即透過地理資訊系統與農業用水推估模式之整合，評估利用地理資訊系統推估區域句別灌溉用水量之可行性，經與灌區之計畫用水相比較，證實利用地理資訊可更快速準確的估算區域灌溉用水量；研究中亦發現由GIS建立之區域灌溉水量推估模式，可以快速反應如作物制度改變之土地利用變更對區域灌溉用水之衝擊，十分適合作為未來發展區域用水規畫決策支援系統之工具。

關鍵詞：灌溉用水，地理資訊系統，農業水資源。

ABSTRACT

The water supply becomes a scarce resource from the rapid growth of water demand in Taiwan. Agricultural sector holds about 80% of the water right, and other water use sectors such as municipal and industrial need to get water supply from agricultural sector during the drought. There is a need for water right reallocation among water use sectors. But the demand estimations for each of the water use sectors are very difficult and controversial. The estimation of regional irrigation water demand involves tremendous information such as soil, crop, climatic factors, water distribution system, and management zoning. Most of these information are spatially distributed and will be more efficiently managed using Geographic information System (GIS) than traditional database. This paper proposed a combination of GIS and irrigation demand model for efficient and

dynamic regional irrigation water demand estimation. A small command area about 4000 ha. of the ChiaNan Irrigation Association in Southern Taiwan was used as pilot study area. The algorithm are verified to be practical. Through the help of geographic database, the impact to irrigation demand from changing the cropping patterns can be evaluated with little effort. This combination of GIS and application model was found to be an efficient tool in building decision support system for regional water resource planning.

Keywords: Irrigation demand, Geographic information system (GIS), Agricultural water demand.

一、前言

台灣地區平均年降雨量雖達 2500 公厘，但因爲在空間與時間上分佈不均，且區域內存在農業、工業與民生用水標的間資源競爭之問題，故有效合理之水資源調配與管理一直是水利研討之重要目標。在當前面臨社會及產業經濟轉型之際，各種用水標的之合理用水分配，一直是各方爭論之議題；但各標的合理用水量之估算，卻相當不容易；其中農業用水佔總標的的用水近 80%，因此對於合理農業灌溉用水量之推估亦成爲區域水資源管理之重要議題。

由於農業區分佈面積廣大，作物種類繁多，土壤物理特性掌握不易，加上輸水渠道錯綜複雜，爲能有效對於農業灌溉用水進行估算，必須蒐集大量相關之地理資料，如地籍、土壤、作物、水源、氣象及輸水網路等等，這些資料大都具有空間分佈的特性，地圖是處理這類形資料最有效的工具，但傳統的紙製地圖在收藏、管理、使用及更新上不易，無法滿足當前農業灌溉用水管理之需要；以往由於無法詳細考慮各種空間分佈資料之變異性，各標的用水之推估方法均較爲粗放，農業用水亦不例外，一般是以灌溉管理的經驗，推估每單位流量可灌溉之面積數，常被外界質疑灌溉用水量之合理性。目前地理資訊系統 (Geographic Information System, GIS) 之技術日趨成熟，本文擬利用地理資訊系統之特性整合龐雜的空間資料，並結合灌溉用水推估模式，進行區域灌溉用水量之推估。

文中將以嘉南農田水利會白河水庫管理所轄內約四千公頃之灌區爲研討對象，以水利小組爲最小灌溉用水管理單位，配合土系圖、渠道系統圖、耕作制度分佈圖與各種作物需水量等相關基本資料，以地理資訊系統軟體 Arc/Info 及 ArcView 建立空間地理資料庫，結合物件導向程式語言 Visual

Basic 所發展之農業用水推估模式，建立區域農業灌溉用水推估模式。模式中因 GIS 之引進而能充分掌握灌區內相關空間資料之變異性，將使區域灌溉用水量之推估更爲準確合理。

本研究主要在進行大面積區域性農業用水推估，而非細部之系統運轉管理，一般水利會之管理運作是以輪區爲單位，但本文所建立之模式是以水利小組爲灌溉用水管理之單元，其主要原因是考慮系統模式之操作上如果要以輪區爲單位，在訂定作物制度時，勢必要求使用者逐區選定作物，操作手續相當繁瑣，因此以水利小組爲管理操作單位，當某一小組被並設定爲三年一作時，系統則將該小組之三分之一面積定作水稻，並將其餘三分之二設爲雜作。

二、文獻回顧

有關農業用水推估之相關研究文獻相當多，主要目的多在利用合理之方式推估實際農業灌溉用水量，以供水利會作爲供水管理與水資源整體調配之依據。以往有關農業用水之研討，著重探討於需水量與面積之關係，透過現地試驗與經驗公式來推估大面積之區域灌溉需水量，但是因無法充分掌握區域內空間分布資訊之變異，常未考慮區域間如土壤質地或作物制度等的變異實況，而以概括式之資訊取代；再者，由於農業用水之推估公式繁多且複雜，何者爲最合理之推估方法，迄今亦無定論，若想變更推估公式則必須重新撰寫程式，降低農業用水規劃決策之效能與效率。隨著電腦技術及地理資訊系統之發展，如土壤、作物等空間分布資料之利用逐漸可行，地理資訊系統與水資源及農業用水管理結合之研究日益受到重視。

在國內外近年有關 GIS 與水資源之相關研討

中，李煌隆(1992)利用地理資訊系統軟體 Arc/Info 之巨集指令 (SML) 發展使用者查詢顯示介面並以中文建立功能選單。孫志鴻等(1992)以 Arc/Info 與 EXSYS 專家系統建立土地適宜性分析之決策支援系統雛形並研討未來發展之潛力與方向。Axel Thomas (1992) 以中國雲南省為研究區，利用 Arc/Info 來計算高程與土壤性質，考慮土壤入滲、溫度以及蒸發散量等因素，以農業水平衡之觀點評估該區域栽培稻米與玉米之生長潛力。蘇明道等(1993)應用 Arc/Info 建立灌區相關資訊之資料庫，以 Arc/Info 所提供之巨集指令 (SML) 發展下拉式選單供使用者查詢展示之用，並以坵塊為單位對灌區建立一地理資訊管理雛形之模式。農業工程研究中心(1993)研討應用 Arc/Info 建立水利會經營管理相關地理資料庫之可行性，並對龐大之水利會地理資料庫做明確適當之規劃，建立完整之系統與屬性項目需求等，但並未實際進行系統之建立。經濟部水資會(1993)建立水資源地理資料庫，其主題圖分為灌溉、人口、工業面積、工業用水、生活用水及水庫（總容量、有效容量及放水量）等項目。Girstmair 與 Nachtnebel (1993) 探討利用地理資訊系統與決策支援系統之概念，建立地下水管理之架構，並且討論兩個正在發展中之系統雛形，包括以 Arc/Info 建立之向量式系統 ARCGW 及以 GRASS 建立之網格式系統 LGW (Logical Ground-water Workstation)。Frysinger 與 Thomas (1993) 整合水文模式與地理資訊系統，在 UNIX 平台上建立環境決策支援模式 SEDSS (the Sandia Environmental Decision Support System)，以 GRASS GIS 開發應用系統，作為輔助監測水井網路設計之決策。張玉送、孫志鴻(1994)以淡水河流域為研討區，模擬區域流域性各時程之水資源供需分配、缺水及水庫存蓄水量之狀況。張邵賢(1996)以嘉南農田水利會白河水庫灌區為研討區域，初步完成灌區基本圖的建立並建立灌區管理查詢展示系統。

地理資訊系統在農業用水管理之應用日益增多，但是地理資訊系統之發展往往使用一套獨立之商業軟體，而非開放式之開發環境。從上述之文獻中發現，早期對於地理資訊系統之應用大多僅止於空間資料之查詢展示，近期之研究方向雖已開始致力於整合地理資訊系統套裝軟體與應用模式（例如：水文、地下水或水質模式），但因軟體間之整

合受到許多作業軟體上之限制，成果均不甚理想。本文即嘗試結合地理資訊系統軟體 ArcView 與農業用水推估模式，建立開放式農業用水量推估系統，提供使用者變更推估公式或相關係數之功能，以增加農業用水推估之彈性並達到利用空間分佈資料進行決策支援之目的。

三、研究區域

白河水庫灌區位於台南縣北端與嘉義縣交界處，其灌溉區域依其天然地勢分為頭前溪、白水溪、糞箕湖與東山灌區，灌溉系統由頭前溪、白水溪、糞箕湖與東山等四條幹線所構成。糞箕湖幹線由水庫左岸引水，尾接東山幹線，輸送糞箕湖與東山兩灌區。東山幹線另由六重溪補助水源引水，與糞箕湖幹線相連，輸送東山灌區用水。白水溪幹線由水庫右岸引水，輸送白水溪灌區，及補充頭前溪灌區用水。在作物制度方面，糞箕湖與東山兩灌區以第二期水稻及第一期雜作為主，白水溪灌區則雙期水稻作，而頭前期灌區以第二期水稻為主。

白河管理所包括嘉南農田水利會白河工作站與東山工作站；白河工作站包含白河、五汴頭、大排竹、頂秀祐、埤子頭、三間厝、海豐厝、南海豐厝、外枋子林、土溝、南土溝、馬稠後、蓮埤、詔安厝等 15 個水利小組，部份小組由頭前溪取水；東山工作站包括東山、虎山、大林、河東、北馬、鳳尾厝、科里、枋子林等 8 個水利小組，總灌溉面積約為 4000 公頃，灌區內之水源主要取自白河水庫，灌溉系統獨立且結構完整，幾可視為一迷你型之水利會，十分適合做為區域用水管理及 GIS 研討之區域。

四、灌溉用水模式

以往對於灌溉用水量之推估，傳統上以灌溉率配合灌溉面積推估而得，但對於大區域之灌溉用水量推估，由於土壤性質、作物種類、離水源遠近等空間因素之影響，用水量與單位面積並不一定呈單純的線性關係。農業水資源系統之組成如圖 1 所示，影響實際灌溉用水量之因子，包括作物需水量、土壤滲漏量、灌溉效率、整田用水、有效雨量與輸水損失等等。這些因子大多具有空間分布之特

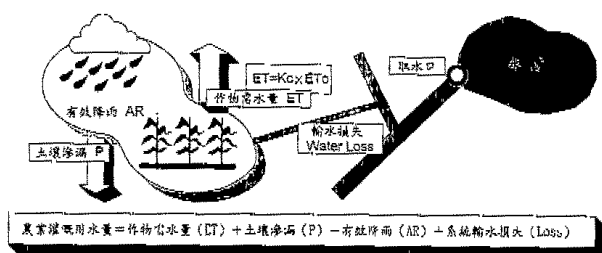


圖1 農業水資源系統示意圖

性，不同的土壤質地、氣候、灌溉渠道系統等等，均會造成明顯之灌溉用水差異。

台灣之灌溉用水量可分為水田用水與旱作用水兩大類。旱作物則包括玉米、大豆、高粱、花生、茶葉、果樹等等，灌溉系統內各點之用水量的推估方式如表1所示。

表1 灌溉系統用水量之計算方式

用水量	加總因子
輪區用水量	田間灌溉用水加上給水路之輸水損失
支線用水量	輪區分水門之流量加上支線輸水損失
系統用水量	各支線水門流量加上幹渠輸水損失

資料來源：台灣農田灌溉用水之研究(1974)

田間用水量估算是以能使作物充分發揮生產潛力所需之用水量為基礎，灌溉用水推估之流程如圖2所示，台灣之灌溉作物以水稻為主，水田灌溉用水量受作物需水量、滲漏量、輸水損失、有效雨量及整田用水量之影響。旱作用水量一般較水田用水量為小，影響因子則包括作物需水量、地下水補給量、有效雨量、灌溉效率等等。耕作制度為影響農

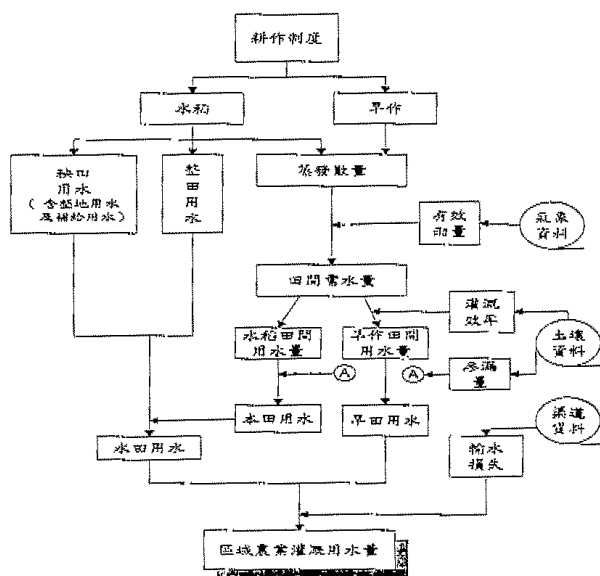


圖2 灌溉用水量推估流程

業區域灌溉用水一個相當重要之人為因子，耕作制度決定了作物別及期作別，對於用水量增加或減少產生明顯之變化。以下分別就耕作制度、水田用水及旱田用水三部份探討農業灌溉用水之影響因子。

4-1 耕作制度

台灣之主要作物是水稻，並搭配各種旱作物之栽培形成不同之耕作制度(如表2)，影響作物制度之主要原因是水源之充裕與否。水稻及主要旱作物之栽培時間如表3所示。

在本文所建立之系統中有關地理資料庫之建立，是以小組為單位，系統將各小組之耕作制度以屬性之方式加以記錄，供作後續灌溉用水推估之基礎。

4-2 水田用水

表2 主要耕作制度

耕作制度	說明
兩期作	年種植第一期及第二期水稻各一作
單期前作	年種植第一期水稻一作
單期後作	年種植第二期水稻一作
三年兩作	三年間，各年有兩輪區種植第二期作水稻，第三輪區種植旱作
三年一作	三年間，各年有一輪區種植第二期作水稻，第三輪區種植旱作
休耕	停止種植任何作物

表3 主要雜作之栽培時間

旱作作物	栽培時間
水稻	一期作 二月上旬至五月下旬 二期作 六月下旬至十月中旬
大豆	春作 三月上旬至六月下旬 秋作 八月下旬至十一月下旬
高粱	春作 二月下旬至五月下旬 秋作 六月下旬至九月下旬
玉米	春作 三月上旬至六月下旬 秋作 九月上旬至十二月下旬
花生	春作 三月上旬至六月下旬 秋作 九月上旬至十二月下旬

資料來源：台灣之水稻灌溉(1970)，雜作灌溉手冊(1980)

秧田用水

秧田之生育日數依照各地氣候、播種日期、及栽培管理而異，依水利會之灌溉計畫，秧田面積約為本田面積之1/25。由於秧田面積不大，因此不考慮有效雨量；但因現今之秧田栽培作業已大部分由育苗中心取代，因此本研究並未考慮秧田用水。

整田用水

在水稻於插秧之前必須將田面予以翻土、碎土、平土，並供給充分水分使田區之土壤由乾田轉為飽和之水田狀態，同時於田面保持一湛水深，以利秧苗生長及插秧作業順利進行，在此過程中需要消耗大量的用水，常高達120~200 mm，稱之為整田用水或整地用水。影響整田用水量的因子眾多，如土壤物理性質（如孔隙率）、整田之方式、前作土壤水分含量等等。一般整田用水量以式(1)估算，而本研究則參考水利會整田用水量標準（如表4）建立整田用水資料庫。

表4 台灣地區各水利會整田用水量標準

水利會	土壤別	用水量(mm)	水利會	土壤別	用水量(mm)
桃園	砂土	180	嘉南	砂土	137
	壤土	180		壤土	117
	粘土	180		粘土	107
台中	粘土	180	高雄	粘土	150
彰化	砂土	180	宜蘭	砂土	180
	壤土	180		粘土	180
	粘土	180			
雲林	砂土	149	花蓮	砂土	180
	壤土	120	台東	砂土	200
	粘土	107		壤土	150

資料來源：台灣之水稻灌溉(1970)

$$D_s = \frac{(n - P_v)D}{100} + H \quad (1)$$

其中 D_s ：整田需水量(mm)

n ：土壤孔隙率(%)

P_v ：灌溉前土壤含水量(%) (體積比)

D ：飽和土壤深度(mm)

H ：田面覆蓋水深(mm)

蒸發散量

蒸發散量之推估方法一般可分為直接觀測法與間接推估法，直接觀測法之結果雖較為準確，但必須耗費較多之人力、時間及經費；間接推估法是利用如Penman、Blaney-Criddle、Radiation或蒸發皿推求法等公式推求參考作物需水量，再乘上作物係數，即可推算各生育期之作物需水量，如式(2)所示。

$$ET_{crop} = ET_0 \times K_c \quad (2)$$

其中 ET_{crop} ：各生育期之作物需水量

ET_0 ：參考作物需水量

K_c ：作物係數

一般稻作生長從插秧至收成，約為120天，若以15天為單位，可分成八個不同之生育階段，包括插秧成活期、分蘗初期、分蘗末期、開花初期、開花末期、成熟初期、成熟中期與成熟末期。各階段耗水量多寡各有不同，系統中預設之水稻作物係數如表5所示。

表5 台灣地區水稻之 K_c 值

生育天數	生育期	一期作	二期作
1~15	插秧期	0.5	0.96
16~30	分蘗初期	0.8	1.2
31~45	分蘗末期	1.2	1.5
46~60	開花初期	1.3	1.6
61~75	開花末期	1.3	1.5
76~90	成熟初期	1.2	1.3
91~105	成熟中期	1.0	1.0
106~120	成熟末期	0.7	0.6

資料來源：施嘉昌等(1984)

本研究所建立之系統中，預設以Blaney-Criddle方法作為參考作物需水量之依據，進行作物需水量推估，如式(3)所示。並可依使用者之需要更改為Penman或其他使用者自訂之推估模式，有關系統中作物需水量之推估將於下文中說明（圖12）。

$$C.U. = \sum K_c \times p \times (0.46T + 8) \quad (3)$$

其中 $C.U.$ ：全生育期作物需水量(mm)

K_c ：作物係數

p ：不同緯度平均日溫時間所佔之百分比

T ：平均日溫度(°C)

滲漏量

滲漏量為水於田間垂直下滲與橫向滲漏之和，由於入滲的過程十分複雜，且滲漏量之大小受土壤質地、田區內之湛水深、地下水位高低、作物根系發展等等影響因子而有所差異。本系統乃以水利會之現有土壤質地資料，配合台灣省水利局之現地試驗結果推估滲漏量(如式4及式5)。研究中配合所建立之地理資料庫，以水利小組為單位，由各小組之土壤質地中之粘粒百分比資料，計算每一小組之滲漏量。

$$P = \frac{240}{C \times T} \quad (4)$$

$$I = -0.000296759 \times C^2 + 0.0362642 \times C + 0.932039 \quad (5)$$

其中 P ：滲漏量(mm/day)

C ：粘粒百分比(%)

有效雨量

有效降雨係指能為作物所利用之降雨量，其影響因子眾多，如地表覆蓋、土壤性質及降雨臨前狀態、降雨形態、灌溉管理等等；有效雨量本質上是統計上的隨機變數，其估算方法甚為複雜，各水利會均有依其經驗建立推估方式。本研究中預設之有效雨量推估則是根據『台灣之水稻灌溉』所提供之計算方法：

- (1)將台灣地區分成八個區域，按月雨量記錄估算有效雨量。
- (2)此所述月有效雨量乃指水稻而言，並按照月平均雨量之60%計算，但以不超過180 mm為限。
- (3)台灣各地區之有效雨量之推估，如表6所示。

輸水損失

農業灌溉用水損失中，渠道輸水損失佔極大的比例，是影響灌溉用水推估的重要因子之一。渠道系統大致可分為兩段，即包括幹支分線之輸水系統與由輪區內中小補給水路構成之配水渠道，兩者以給水斗門作為分界。雖然台灣之水路系統大部分皆

表6 台灣地區水稻栽培之有效降雨推估值

	台北	宜蘭	新竹	台中	嘉南	高屏	台東	花蓮
1月	53	83	28	19	10	10	21	46
2月	83	81	58	31	17	14	23	49
3月	103	72	64	54	25	12	32	60
4月	100	70	95	62	39	25	43	67
5月	128	120	112	125	98	86	87	115
6月	178	127	147	176	180	180	172	139
7月	149	87	110	143	180	180	172	139
8月	169	117	142	142	180	180	163	137
9月	139	150	96	80	97	159	166	180
10月	71	180	15	16	19	69	83	146
11月	41	180	16	8	10	31	46	82
12月	44	146	20	14	10	10	24	44

資料來源：台灣之水稻灌溉(1970)

已完成內面工鋪設，但由於灌區廣大、水路綿長管理不易，以嘉南水利會烏山頭水庫系統為例，其輸水損失在幹支分渠道系統仍達34.2%，輸水損失量相當可觀。

影響輸水損失之因子很多，包括水路構造、水路長度、輸水時間、水面蒸發、土壤質地、管理及盜水等等，有關輸水損失之推估可分為輸水路與給水路兩部份來討論。

- (1)幹支分線之水路損失：在通水時間內沿著水路上下游選定兩點，各設施量水設備，從流量記錄推求兩點間之輸水損失量，則單位長度之輸水損失率可用式(6)來估算。

$$S_1 = \frac{(Q_{in} - Q_{out}) / Q_{in}}{L} \times 100\% \quad (6)$$

其中， S_1 ：單位長度之輸水損失率(%)

Q_{in} ：水路上游測點之流量(cms)

Q_{out} ：水路下游測點之流量(cms)

L ：水路長度(Km)

- (2)給水路之輸水損失：一般小、補給水路多為土渠，因土壤入滲率隨著時間加長而遞減，故水路損失亦隨通水時間之增長而逐漸減少，最後趨於穩定，故水路損失與通水時間成反比，且與水路長度成正比，可以式(式7)表示：

$$S = a \times L^b \times T^c \quad (7)$$

其中， S ：水路輸水損失(%)

L ：水路長度(Km)

T ：通水時間(hr)

a, b, c ：係數

本研究所建立之系統中，有關研究區域白河灌區內渠道之輸水損失，是採用嘉南水利會之現地輸水耗損率資料建立，如表7所示。

表7 白河灌區灌溉系統輸水損失率

渠道系統	輸水損失率	渠道系統	輸水損失率
白水溪幹線	0.050	上茄苳支線	0.098
白河支線	0.090	糞箕湖幹線	0.090
本協支線	0.056	糞箕湖支線	0.065
大排竹支線	0.065	東山幹線	0.049
頭前溪幹線	0.145	第一支線	0.436
詔安厝支線	0.025	第二支線	0.147
南土溝支線	0.149	第三支線	0.213

資料來源：白河水庫管理(1998)

4-3 旱田用水

影響旱作用水量估算之因子除了蒸發散量、灌溉效率與有效雨量外，其餘大致與水田用水相同。

蒸發散量

本研究考慮大豆、玉米、高粱、花生四種主要雜作之作物需水量，參考『雜作灌溉手冊』中所建議旱作之栽培日程(表3)，並以聯合國糧農組織(FAO)所建議之作物係數(如表8)為依據。系統中預設採用 Blaney-Criddle 方法作為參考作物需水量之方法，並提供使用者選擇其他推估公式(如 Penman)之選項，或由使用者自訂其認可之推估公式，以福實際操作之需求。

灌溉效率

灌溉效率是指灌溉作業中有效供應作物消耗的部份佔總施灌水量之比例，一般以百分率表示。由於田區內土壤性質分布不均，依施灌之方法不同，灌入田間之水份有一部份會滲入深層土壤，無法供作物使用而損失。影響旱作灌溉效率之因素涉及地下水位、土壤質地、作物根系發展、灌溉方式等等諸多因子。台灣之雜作灌溉多採地表畦溝灌溉，灌溉效率約為50%至60%(施嘉昌等, 1984)。對於大區域之地表灌溉，本研究假設灌溉效率隨土壤之質地改變，系統內之預設值為：砂土50%，中質土55%，黏土為60%。

有效雨量

旱作有效雨量之計算一般最常採用逐年記帳法，一般假設土壤初始水分為田間容水量，長時間追蹤土壤水分之變化以計算有效雨量。有效雨量之多寡是受雨量、雨型、土壤、灌溉管理等相關因素之影響。本研究採用中興工程顧問社經由統計分析建立之旱作有效降雨之推估方式(表9)，由月蒸發散量與月雨量資料估算常有效雨量，供作系統預設

表9 常月有效雨量推算表

月雨量 (mm)	月平均蒸發散量(mm)					
	25	50	75	100	125	150
	常月有效雨量(mm)					
25	15	17	18	18	19	20
50	25	33	36	37	40	41
75	25	47	51	54	56	58
100	25	50	65	69	73	75
125	25	50	75	83	89	91

資料來源：Wong (1990)

表8 國際糧農組織建議之作物係數值

作物別	作物生育期					
	初始期	發展期	中期	末期	收穫期	生長期
大豆	0.3-0.4	0.7-0.8	1.0-1.15	0.7-0.8	0.4-0.5	0.75-0.9
高粱	0.3-0.4	0.7-0.75	1.0-1.15	0.77-0.8	0.5-0.55	0.75-0.85
玉米	0.4-0.5	0.7-0.85	1.05-1.2	0.8-0.95	0.55-0.6	0.75-0.9
花生	0.4-0.5	0.7-0.8	0.95-1.1	0.75-0.85	0.55-0.6	0.75-0.8

資料來源：施嘉昌等(1984)

值使用。

五、地理資料庫之建立

在地理資訊應用系統發展過程中，建立地理資料庫為其最基礎亦最繁瑣之步驟，圖層之建立需考慮計畫需求及與現有資料之整合，考慮圖層將採用之座標系統、精度、資料格式、屬性資料等，做最有效的規劃分析，避免資料重複建置與時間人力之浪費，以下說明灌溉用水推估模式相關之地理資料庫之建立。

灌溉管理區域邊界圖

嘉南水利會之管理區域劃分由小而大分別為坵塊、輪區、小組、工作站及管理處等，本研究考慮水利會管理運作上之限制，作灌溉決策時是以水利小組為單位，在系統內建立坵塊、輪區、小組及工作站之圖層供做系統運作之依據。其中比例尺 1/5000 之坵塊圖由糧食局以相片基本圖為底圖進行數化而成(如圖3)，其餘包括工作站、小組、輪區等之圖層的比例尺為 1/2400，由農業工程研究中心取得後並經與水利會現地人員合作比對並修正其中錯誤後完成。(如圖4)

在地理資料庫之應用及建置上，屬性資料庫之建立與圖層資料之建立具有同等之重要性。圖層數化後，必須依照圖徵類別給予不同之屬性資料。本研究以水利小組為計算用水量之基本單位，所建立之屬性資料包括：管理處別、工作站別、小組別、輪區別、期作別、引水系統別(包括所屬之幹、支、分線)、土壤別、滲漏量及施灌面積等。

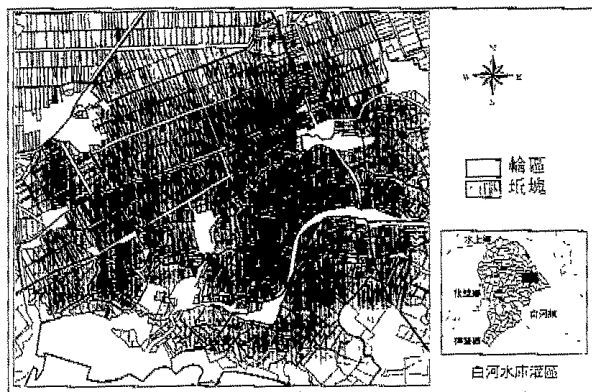


圖3 坵塊圖

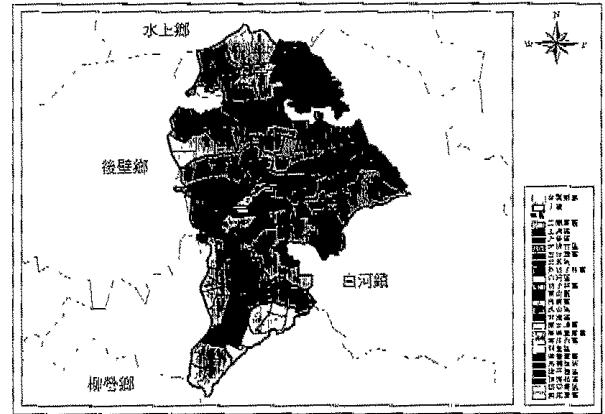


圖4 輪區及小組圖

土系圖及土壤入滲率圖

土壤性質之變化可以土系圖(圖5)來表示，由於土系圖之邊界為自然性質分佈之邊界，與人為訂定之管理邊界(如坵塊、輪區等)並不相符，為配合灌溉用水推估應用建立輪區之相關土壤屬性，本研究由灌區土系圖與區域邊界圖套疊分析後，依台灣省水利局經驗公式計算該地區之入滲率(如圖6)；並依各區域的面積大小作為加權平均，計算每一區域之入滲率以建立每一坵塊之土壤屬性資料。

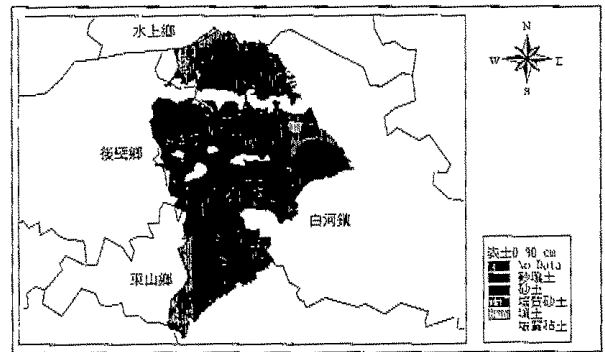


圖5 土系圖

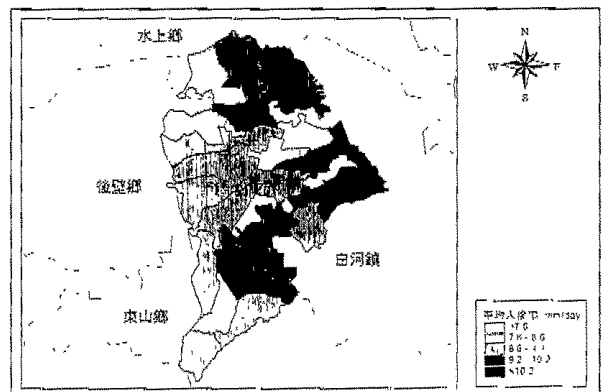


圖6 土壤入滲率分級圖

渠道系統圖

本研究所用之渠道系統圖係由嘉南農田水利會所提供 1/2400 比例之灌溉區域圖，配合農工中心已數化之部份渠道，以坵塊圖為背景圖層，進行渠道系統之增加與編修後完成，包括幹、支、分線、中小給水路及控制水門等水工構造物(如圖7)。建立渠道系統圖之目的主要為評估灌溉小組離水源取水口之遠近距離，以估算其輸水損失。其屬性資料欄位包括渠道長度、連結代碼、系統代碼、所屬幹線、所屬支線、所屬分線、渠道型態、渠道名稱、水路損失、上游連結代碼等。

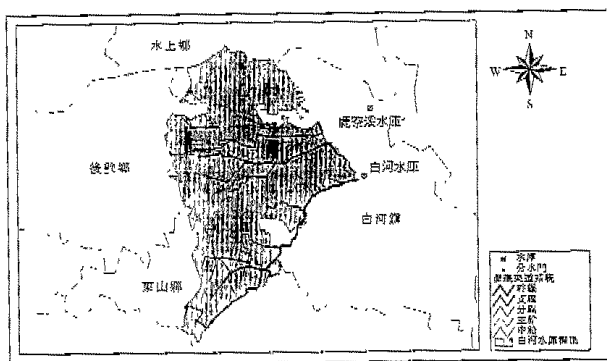


圖7 白河水庫灌區灌溉渠道系統

六、整合地理資訊與農業用水模式

由於灌溉區域相關資料龐雜，以往對於農業用水之推估，往往多假設數百公頃範圍內之土壤、作物呈均質分佈，推估方式過於粗放，因此對於農業灌溉用水量之正確性易被外界質疑。地理資訊系統之重要特性之一即可處理空間分布之變異，可將以往假設屬性均質之大區域分散成為數個不同屬性分布之小區域，有效保留該區域之實際狀況。以土壤性質為例，將以往以上千公頃之工作站為計算單位之聚合式(lumped model)模式變成以輪區或坵塊為計算單位之分散式(dis-aggregated model)模式，各個小區域均可有其不同之土壤、作物、離水源距離等屬性，充分保留其空間變異之特性，使推估出來之灌溉用水量，更接近實際之狀況。

本文採用物件導向式程式語言 Visual Basic 5.0 進行灌溉用水推估模式之建立，所建立之用水模式透過與地理資訊系統之結合，可從地理資料庫中讀取耕作制度分布、土壤滲漏、灌溉小組面積與

輸水損失等等屬性，再整合系統資料庫內如作物需水量、有效雨量、整田用水等之用水參數，進行農業用水之推估計算，推估系統架構如圖8所示。

本文以白河水庫灌區為農業用水推估之初期研討區域，根據『白河水庫工程施工報告』及實地到嘉南水利會實地勘查之結果，白河水庫灌區之作物制度以白水溪灌區為兩期作水稻，其餘灌區以第二期水稻為主，如圖9所示。以本研究所建立之系統推估所得之結果與民國八十六年白河水庫灌區之計畫用水量比較，如圖10所示，由圖中可以看出本系統確能掌握實際之用水趨勢。

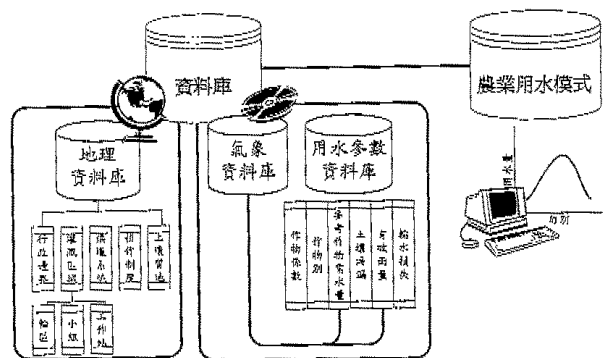


圖8 地理資訊系統與灌溉用水推估模式整合之架構

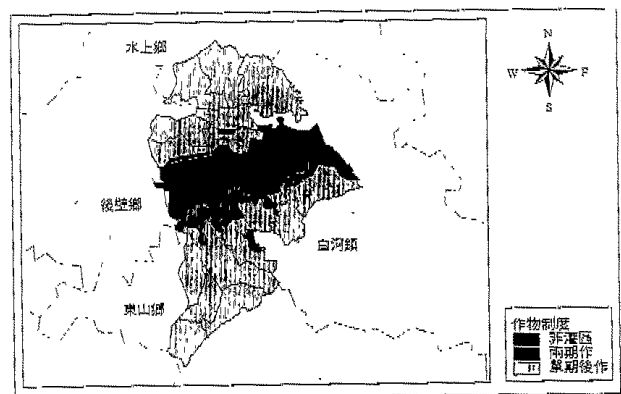


圖9 白河水庫灌區之作物制度分佈

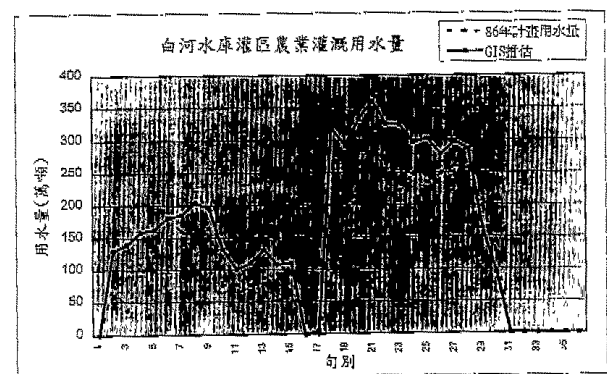


圖10 灌溉用水量推估之比較

灌溉用水資料庫

灌溉用水資料庫除了上述空間地理資料之外，亦包括灌溉用水推估模式所需之輸入資料，包括作物需水量、作物別、土壤滲漏、有效降雨、輸水損失等參數(如圖 11)，由於這些參數在各區域之正確值尙無定論，故本系統除採用文獻中之建議值作為系統之預設值外，亦提供使用者界面(圖 12)，讓決策者能依照其認可之參數值修正系統參數，以符合其區域性現地實際之需要。

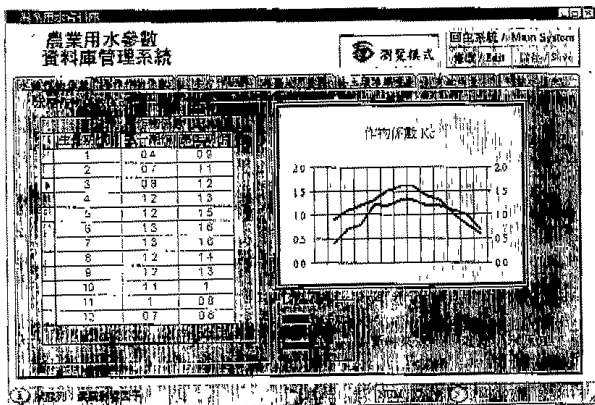


圖 11 灌溉用水推估參數資料庫

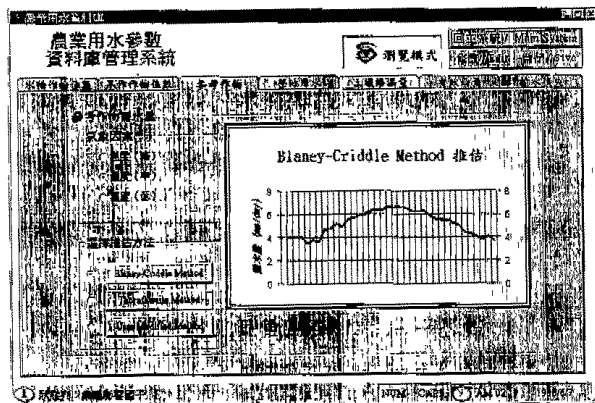


圖 12 蒸發散量推估模式

區域灌溉用水量展示系統

灌溉用水推估模式分別讀取空間資料與用水參數以進行用水量推估，計算完成之後並以所建立之 GIS 圖層展示各句之灌溉需水狀況。以本研究所用之白河灌區為例，白河灌溉系統是由白水溪、頭前溪、箕箕湖、東山四條幹線所構成，因此系統內除可檢視白河灌區總用水量(圖 13)，並可分別進入各別幹線系統內檢視各幹線之用水資訊(圖 14)。

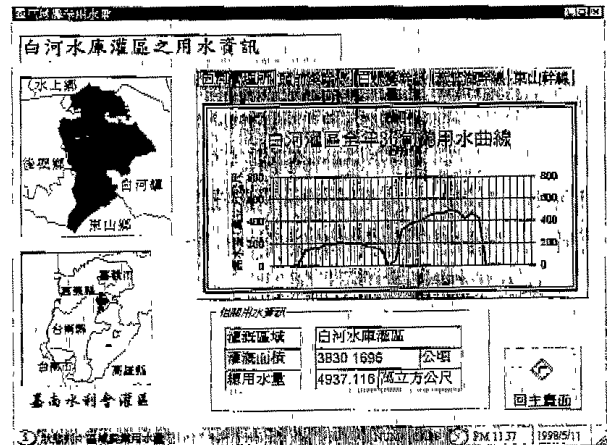


圖 13 模擬後白河水庫灌區之總灌溉用水資訊

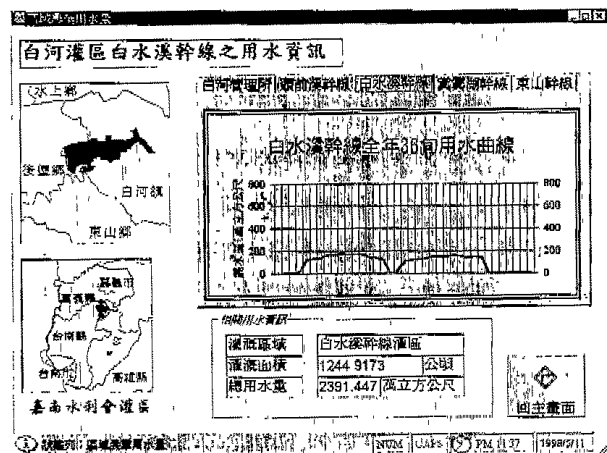


圖 14 模擬後白水溪幹線灌區之用水資訊

六、結論與建議

地理資訊系統為近年來蓬勃發展之空間資料處理電腦技術，本研究在視窗作業平台上建立以地理資訊為基礎之農業用水推估模式，將每一區域之作物別、土壤別等相關資料完整保存，使其所推估之用水量將可更能模擬實際之用水型態。利用地理資訊來推估灌溉用水量與傳統之推估方式比較有下列之優點：

1. 傳統之農業需水量推估方法為簡化處理程序，常忽略相關資料之空間變異性，例如假設某個大區域內之土壤、作物呈均質分布，屬於粗放的聚合式(lumped model)模式，但透過 GIS 處理空間資料的能力，可以完整的保留此一空間變異性，可以用分散式(dis-aggregated model)模式來進行區域用水推估，各個小區域均可有其不同之土壤、作物、離水源距離等屬性，充分保留其空間變異之特性，使推估出來之灌溉用水量，更接近實際之狀

況。

2. 利用 GIS 來整合用水推估模式之價值在於後續之作物制度之模擬。透過地理資訊系統之空間資訊，使用者可以對於灌區輪區、小組等進行變更作物制度之模擬，以便於了解作物制度變更與灌溉用水量之關係；如此在轉作與休耕之區域選定上，可有效提供決策輔助。

目前已有許多單位開始利用地理資訊系統輔助處理其相關業務，空間決策支援系統之觀念亦逐漸萌芽，但大部分均止於圖層資料庫之建立及地理資料之查詢展示。本研究透過與農業用水推估模式之整合，證實以地理資料庫為基礎發展農業用水規劃決策支援系統之可行性；區域水資源調配之問題相當複雜，完整之水資源系統除農業用水外，尚包括供水層面以及其他標的之用水，但是若要加上供水層面，則必須考慮供水系統優選化之問題，因此，未來須以地理資訊系統結合線性規劃軟體（如 LINGO 等）或空間統計軟體（如 S-Plus 等）為研討方向，以提供水資源決策單位在水源開發上或是需求面之管理調配之輔助工具，更能提高決策之效能。

謝 誌

本研究承行政院農業委員會編號 87-科技-1.7-林-01-(5) 計畫經費補助，始得以順利進行，研究期間台大地理系孫教授志鴻提供有關地理資訊系統之相關建議，嘉南水利會管理組楊明風組長、許勝雄股長、管理師周榮堂、顏瑞法、謝勝賢等諸位先生提供寶貴之現地經驗及資料，旱作灌溉研究群中農委會林技正衛濤、台大農工系甘教授俊二與施教授嘉昌、嘉義技術學院陳清田老師等提供研究建議，台大農工系水管理與 GIS 研究室工作群糠瑞林、鄭國誠、洪培浩等協助整理資料與建立資料庫，使研究得以完成，謹致謝忱。

參 考 文 獻

1. 中國農村復興聯合委員會，「台灣之水稻灌溉」，1970 年。
2. 中國農村復興聯合委員會，水資源經濟研究叢刊之十五附冊之一，「台灣農田灌溉用水之研究」，100pp.，1974。
3. 台灣省水利局，雜作灌溉手冊，395pp.，1980。
4. 台大農工系，地理資訊系統應用於水資源規畫管理先驅研究，1994。
5. 李煌隆，「地理資訊系統在灌溉管理上之應用」，台灣大學農業工程研究所，碩士論文，1992 年。
6. 李宗儒、陳泰宏，「農業土地應用決策支援系統之研究--以彰化縣蓬萊米產量推估為例」，臺灣經濟，p:120-130，1997。
7. 周天穎、陳惠燕，「農業土地使用決策支援系統建立之研究-以台中市稻作生產為例」，逢甲大學土地管理所，91pp.，1995。
8. 孫志鴻(1992)，土地適宜性分析決策支援系統之先驅研究，台大地理系地理學報，15: 15-23，1992。
9. 張玉送，「地理資訊及決策支援系統輔助水資源管理模擬研究。」
10. 國立台灣大學地理學研究所，博士論文，334pp.，1994。
11. 陳慶和，「水管理決策支援系統之研究與發展」，淡江大學水資源與環境工程研究所，碩士論文，225pp.，1993。
12. 農業工程研究中心，高雄水利會地理資訊系統整體規畫報告，1993。
13. 農業委員會，水稻田生態環境保護規畫及示範計畫成果報告，p.51，1996。
14. 經濟部水資源局，「研擬合理農業灌溉用水標準及農業用水調配之可行性方案研究」，中國農業工程學會，240pp.，1997。
15. 施嘉昌、徐玉標、曹以松、甘俊二，「灌溉排水原理」，中央圖書出版社，531pp.，1984。
16. 張紹賢，「灌區管理地理資訊系統架構建立之研討」，國立台灣大學農業工程研究所，民國八十五年六月。
17. 蘇明道，「地理資訊系統在水利會業務管理應用之研究」，台灣水利，41(4): 40-51，1993。
18. 蘇明道，「地理資訊系統中地理資料庫輸入技術之研討」，中國農業工程學報 39(4): 31-37，1993。
19. 蘇明道，「氣象資料管理系統之建立」，台灣水利 42(4): 31-42，1994。
20. 蘇明道、蔡天雄、糠瑞林，「水田休耕對農業用水影響之研究」，中國農業工程學報(42)4: 41-49，1996。
21. Axel Thomas, Agricultural Water Balance of Yunnan Province, P. R. China, Agricultural Water Management, 1992.
22. DeVantier, Bruce A., and A. D. Feldman, "Review of GIS Applications in Hydrologic Modeling", Journal of Water Resources Planning and Management, 119(2): 246-261, 1993.
23. Djokic, Dean, and D. R. Maidment, "Application of GIS Network Routine for Water Flow and Transport.", Journal of Water Resources Planning and Management, 119(2): 229-245, 1993.
24. ESRI, ARC/INFO User's Guide, 1992.
25. ESRI, ArcView User's Guide, 1995.
26. ESRI, Customizing ArcView with Avenue, 1995.

27. ESRI, Understanding GIS - The ARC/INFO Method, 1992.
28. Girstmair, Nachtnebel, Application of GIS in Decision Support Systems for Groundwater Management, HydroGIS, 1993.
29. Hutchinson, Scott, and Larry Daniel, "INSIDE ArcView", OnWord Press, 329pp., 1995.
30. Laura, Miguel, and Jesus, "A Planning Model for the Fuerte-Carrizo Irrigation System", Mexico, 1996.
31. Leipnik, Mark R., K. K. Kemp, and H. A. Loaiciga, "Implementation of GIS for Water Resource Planning and Management", Journal of Water Resources Planning and Management, 119(2): 184-205, 1993.
32. Meyer, Steffen P., Tarek H. Salem, John W. Labadie, "Geographic Information System in Urban Storm-Water Management", Journal of Water Resources Planning and Management, 119(2): 206-228, 1993.
33. Shea Conor, Walter Grayman, Douglas Darden, Richard M. Males, Peter Sushinsky, Integrated GIS and Hydrologic Modeling for Countywide Drainage Study", Journal of Water Resources Planning and Management, 119(2): 113-128, 1993.
34. Wong, Chin-Sou, Design of Medium & Small Irrigation Structures Vol I & II, 1990 中興工程顧問社。

收稿日期：民國 87 年 8 月 11 日

修正日期：民國 87 年 10 月 7 日

接受日期：民國 87 年 10 月 20 日