

農業水資源有效利用之研究
— 以新竹水利會竹東圳灌區為例

**Study on Effective Use of Agricultural Water
Resources — Apply in the Irrigation Area
of Chu-tung Canal in Hsin-chu**

國立台灣大學生物環境系統
工程學系教授

甘俊二

Chun-E. Kan

國立台灣大學生物環境系統
工程學系博士班研究生

陳鈞華

Jen-Hwua Chen

國立台灣大學農業工程學系
碩士

吳國銘

Kuo-Ming Wu

摘 要

台灣年平均降雨量約為 2,510 公厘，就世界之平均降雨標準而言，屬於降雨豐沛地區，但由於降雨分佈不均及地形陡峻之影響，使得水資源利用率極低，其中約有 79% 的年逕流量流入海中，因此如何有效的利用有限的水資源以提供各標地之用水為一重大之課題。

本文針對以完全依靠河川引灌的新竹水利會，取其一供應各標的的竹東圳導水路為研究對象，此導水路早期之使用標的僅限於農業用水及民生用水，因而由竹東圳引水的寶山水庫在規劃之初，即以民生用水為供水標的之設計，而現隨著社會型態的變遷，在新竹地區都市發展快速：如新竹科學園區、六家高鐵、新竹縣治一、二期遷建、斗崙重劃區等等，由於聚居生活方式的改變，相對也影響供水標的。以主要由寶山水庫供水的新竹科學園區為例，每天近十萬噸的供水量，已嚴重影響到正常農業用水的使用。因此本文之目的為對竹東圳導水路之灌溉區域對其灌區之農業用水作合理之推估，使得灌溉用水量之訂定較為準確且合理，同時建立一套可隨供給量之增減而對應之配水計畫，大致可分為豐水期及枯水時期二個階段，於豐水期中可實施超量灌溉或正常灌溉；於枯水期中則可適時實施採取輪灌措施，以因應不同標的之用水需求。

關鍵詞：農業水資源，灌溉用水。

ABSTRACT

In recent years, the average rainfall in Taiwan is about 2,510 mm. To compare with

the whole world rainfall standard, Taiwan is belonged to abundant rainfall area. However, the rainfall distribution in Taiwan is disproportionate and the landform is high and precipitous, so it causes the utilization of water resources rarely low. It will be nearly 79 percent of runoff flowing into the sea directly. For this reason, how to effectively use water resources to satisfy water requirements of each purpose is a important topic.

The main purpose of the study aims at the Hsin-chu irrigation association which entirely rely on run-of-the-river system, and select the Chu-tung canal aqueduct of providing all-purpose water utilization, and it's utilization purpose early stages have only agricultural and the people's livelihood use, so the first plan of Posana reservoir which take water from Chu-tung canal aqueduct is designed only for the people's livelihood supply. Now follow the change of social type; For example the Hsin-chu science industry area、Liu-jia high-speed railway、Hsin-chu county jurisdiction first and second phase move、Dou-lun readjustment area etc..Due to the life style's change relatively influence the purpose of water supply. For example Hsin-chu science industry area which mainly get water from Posana reservoir which close to one hundred thousand tons of water supply every day have effected seriously normal use of agricultural use.

The main idea of this study is to reasonably estimate the agricultural water requirement in the irrigation area of Chu-tung canal aqueduct, to try to make irrigation water requirement more exactly and reasonably, and to set up a distribution project with the various amount of the water supply for the water demand of in any case at the same time.

Keywords: Agricultural water resources, Irrigation water requirement.

一、前 言

灌溉的目的乃為維持作物正常生長之水量補充作業，其重要性完全依作物對水分之需求而定，而配水則需考慮水源與田間供需平衡，在不影響農業生產產量之情形下將灌溉水量公平合理的分配至各灌溉單元，以符合灌溉用水的目的。

一般灌溉用水量的供給可分為河川供水、水庫埤池供水、地下水抽取及地面水抽取四種，其中以河川供水及水庫埤池供水佔大多數，以水庫為供水其流量較為穩定；若是河川式供給方式則較為不穩定。因此由水庫供給流量之配水計畫，較不受水量變化的影響，在實施上容易執行；而較易受氣象因素影響之河川供給方式，其流量為不穩定現象，常因河川流量的變化，使得可供給量改變，因此必須改變原先訂定之灌溉計畫採行

配水方式，而配水計畫必須依河川供給之實際狀況重新修訂計畫，故不定流量的灌溉較為不易。

一般而言在河川上游地區較無水源缺乏之考量，然而由於現今工商業發展快速、人口快速增加，導致需水量大增，因此亦可能產生水資源不足之情況，以竹東圳灌區而言，雖然其位於河川上游地區因較無缺水之困擾，但由於其他標的需水量增加，已嚴重威脅到農業用水之正常使用。

本文之目的在於可供水量不足以各標的用水量時，如何在不影響農業產量的情況下，建立一套可隨供給量增減而對應之配水計畫，即為適時採取輪灌措施，以因應不同標的之用水需求。

二、相關研究回顧

農業水資源的有效利用首先必須合理的估算農業用水，而在以往的有關農業用水的推估研

究中，對於影響灌溉用水量之因子，如作物需水量、有效雨量、輸水損失、蒸發散等，包含實驗所得及經驗公式推估，相關研究極多，而主要都是為了提供更合理、準確的灌溉用水量推估，進而利於提供水資源管理者作整體水資源規劃之參考。

2.1 作物需水量

1. 陳清田（1991）以 Blaney-Criddle、Thornthwaite、Van Bavel、A-pan、Jensen-Haise、Hargreave 及修正之 Penman 等諸估算公式，對嘉義地區進行推估，其結果推薦嘉義地區使用修正 Penman 式。

2. 張煜權（1995）以民國 60~69、70~79 十年平均的氣象資料與民國 79-82 各年的氣象資料，利用 1984 年國際糧農組織 FAO 所推薦之 Modify Penman、Modify Blaney-Criddle、輻射法、蒸發皿等四法，並以統計頻率分析方法加以估算台灣各地區之水稻需水量，其估算結果以修正 Penman 及輻射法較具一致性與穩定性，因此建議未來作物需水量之推估因可考慮上述二法。

3. 甘俊二、陳清田、陳焜耀(1996)以台灣地區（宜蘭、基隆、台北、新竹、台中、嘉義、台南、高雄、恆春、花蓮等十地區）採民國 50 年至 79 年共 40 年間之氣象資料，利用 FAO 於 1984 年所建議之推估式配合以 Van Bavel、Priestley-Taylor、Jensen-Haise、Hargreave、Shih 及 Penman-Monteith 等估算式，推求各地區不同時期旱作之參考作物需水量。其中在估算高粱作需水量之諸估算式中，以 Penman-Monteith 為最佳。

2.2 滲漏與輸水損失

1. 鄭健民（1981 年）於台灣大學農工系實驗田以滲漏筒進行水田滲漏量之觀測試驗，結果為利用迴歸分析之方法，可求得滲漏量與其影響因子（土壤質地、地下水位及降雨量）之關係式。

2. 本省對於水田滲漏量之估算，一般採用台灣省水利局「設計規範」所載之經驗公式，然而根據粘粒含量估計若屬可靠，則使用上無疑甚為便利，但實際上常與田間所觀測之值有出入，故

此一方法僅能作為設計之參考。

渠道輸水損失之研究有：

1. 邱得恭（1984）調查高雄水利會獅子頭圳幹線、支線及小給水路不同層次操作營運，由總損耗水量中推求渠道輸水損失之人為操作損失，其結果指出加強灌溉系統之管理，幹線可以降低 8~22% 的損失、支線系統約可降低 8~18% 的損失、輪區系統約可降低 8~15% 的損失。

2. 林建興（1996）針對台灣農田灌溉輸水各級水路之輸水損失分析，建立依輸水損失影響因子為基準之「並聯模式」，進一步估算灌溉系統中各類別因子所造成之損失率，並藉由各水利會於不同改善方案下之最大可改善彈性量，以提供灌溉管理者之參考。

2.3 有效雨量

1. 水資會（1988）對根據水稻灌溉試驗田之灌溉用水分析估算之有效雨量，水田之有效雨量約為平均雨量之 60%，但以不超過該旬需水量之 50% 為限。

2. 陳順和（1990 年）於「稻作灌區變動流量條件下配水技術之研究」中，對於有效雨量之估算根據水稻灌溉試驗田之灌溉用水分析，即水田之有效雨量約為平均雨量之 60%，但以不超過該旬需水量之 50% 為限。

2.4 配水作業

1. 劉豐壽（1984）提出整田期之整田面積及流量作業之標準模式，並就輪流灌溉之觀念將整田期之整田用水量、本田用水量依其比例作為灌溉時間分配之依據，進行整田期之灌溉配水作業。

2. 陳順和（1990）考慮輪區內之各項損失及系統水路輸水損失，推算進水口之灌溉用水量，並於配水時採用均勻遞減水量法及灌區分組輪灌法，其中均勻遞減法主要以輪區係數之觀念，為對不同面積之輪區公平合理的分配水量；而灌區分組輪灌法主要是以集中有限之供水量施灌，藉以提高灌溉效率，並遵守輪灌原則以達到公平配水的目的。

3. 林國華 (1992) 對於配水計算方式加以修正, 提出由輪區面積大小與土壤質地對配水效率之相關性, 決定一合理配水效率估算式, 其中對輪區損失係數作修正, 與以往只考慮面積大小有所差異, 其加上輪區內水路土壤質地因素, 進而加以決定輪區之損失係數。缺水時期採用係數法及分組輪灌法進行配水計畫之製作。

三、用水計畫

用水計畫之制定是在作物種植之前以田間需求面之觀點, 即就灌溉用水特性及相關影響因子分別討論並加以計算, 在不考慮水源之情況及水路幹支分線之狀況下, 推估研究區域內之田間需水量, 其亦為農民之主要目標, 即在確保田間作物正常生長, 因此只要確保田間作物正常所需水分, 則可達到灌溉工作的目的。而在求得田間灌溉需水量後, 必須加以考慮各輪區的面積、輪區內之水量損失及幹支分線輸水損失, 如此才能考量水源不穩定之供應, 進而訂定一套由水源供應至田間需求之灌溉用水計畫。

3.1 灌溉用水特性及相關因子探討

水稻田之合理田間灌溉需水量推估, 採用由荷蘭土地開墾與發展研究所(ILPI)對田間灌溉水量的推估方法, 除了考慮水稻之蒸發散量外, 尚須考慮的因子有土壤之滲漏量與天然降雨對水田之補給量, 故可表示如下式;

$$IR = ET + P - ER \dots\dots\dots (3-1)$$

式中: IR : 灌溉需水量(mm /day)

ET : 蒸發散量(mm /day)

P : 滲漏量(mm /day)

ER : 有效雨量(mm /day)

有關田間灌溉需水量因子的求法, 分述如下:

3.1.1 蒸發散量 (Evapotranspiration, ET)

作物之蒸發散量其估算方法一般分為直接測定法、間接測定法二種, 直接測定法雖可求得較實際之作物蒸發散量, 但在估算於不同區域之作物蒸發散量上, 適用性較差。而間接測定法其

估算之方式以各地區的區域特性, 紀錄作物其間各種主要氣象之影響因子, 以物理學的基礎所歸納而成的經驗公式, 雖然在計算上較為複雜, 然而卻較有理論之根據。

目前世界各地區對於應用間接方式估算蒸發散量時, 多採用國際糧農組織(FAO, 1984)所推薦之方法, 其分為三個步驟。

1. 求參考作物需水量 (ET_0), 估算方法分別為下列 4 種:

(1) Blaney-Criddle Method (B-C 法): Blaney-Criddle (1945, 1950, 1970) 該經驗式主要假定日照時間與溫度為影響作物需水量之最主要因素。在各種氣象資料當中, 溫度記錄為最易獲得之項目, 而日照強度雖不易獲得, 但亦可以日常時間代替應用之, 該估算式在世界各地乾燥氣候地區使用相當普遍。

$$ET_0 = c [p(0.46t + 8)] \dots\dots\dots (3-2)$$

式中:

ET_0 : 參考作物之蒸發散量(mm/day)

p : 日照率

t : 溫度($^{\circ}C$)

c : 校正因子, 視最小相對濕度、日照時數、日間風速而定

(2) Radiation Method (輻射法): Makkink (1957) 其假定溫度、日照及太陽輻射為主要影響因子, 其估算式如下:

$$ET_0 = C(W \times R_s) \dots\dots\dots (3-3)$$

$$R_s = R_n (0.25 + 0.50 \frac{n}{N}) \dots\dots\dots (3-4)$$

式中:

ET_0 : 參考作物之蒸發散量(mm/day)

R_s : 太陽輻射之蒸發當量(mm/day)

W : 加權依溫度緯度而定

C : 校正因子依平均濕度與日間風速而定

R_n : 不同緯度所接受之總輻射蒸發當量

$\frac{n}{N}$: 實際日照時間與最大可能日照時間之比

(3)Penman Method (片曼氏法) Penman (1948)

結合了能量平衡理論與空氣動力學之方法來模擬表面之蒸發散量，此法假定土壤為保持濕潤狀態且地表有完全覆蓋時，其蒸發散作用係由環境條件所調節，可用氣象資料估計。其應用範圍可從一月、一天而縮短至小時為基準，因此在世界各地受到廣泛的應用與極佳之評價，其估算式如下：

$$ET_0 = c[W \times (R_n - S) + (1 - W) \times f(u) \times (e_a - e_d)] \dots\dots\dots (3-5)$$

式中：

ET_0 ：參考作物之蒸發散量(mm/day)

W ：加權因子依溫度緯度而定

R_n ：淨輻射之蒸發當量(mm/day)

S ：土壤熱通量(mm/day)

$f(u)$ ：風速函數

e_a ：平均溫度時之飽和蒸汽壓(mb)

e_d ：露點溫度時之蒸汽壓(mb)

c ：校正因子，調整因夜間氣象條件所引起之差異

(4)蒸發皿蒸發量法(Pan Evaporation Method):

蒸發皿蒸發量為氣象因子之綜合指標，其以一個特定的開放水面以整合輻射、風、溫度、濕度等各種氣象因素的影響，同時作物也是在相同氣候條件下受到這些因素的影響。然而蒸發皿的蒸發量與作物的水分散失有些差異，而原因來自溫度變化、濕度變化及周遭環境等。因此在用蒸發皿蒸發量推估參考作物需水量時，必須以蒸發皿係數來調整二者間之差異，其估算式如下式(3-6)。

$$ET_o = K_p \times E_{pan} \dots\dots\dots (3-6)$$

2. 考慮作物生長階段、生長週期、耕作型態及種植時間決定作物係數(Crop coefficient, Kc)值，同時作物蒸發散量值即可由下式(3-7)求得。

$$ET_{crop} = K_c \times ET_0 \dots\dots\dots (3-7)$$

式中：

ET_{crop} ：作物蒸發散量(mm/day)

K_c ：作物係數

ET_0 ：蒸發散勢(mm/day)

作物係數(Kc)乃是作物實際蒸發散量與參考蒸發散量之比值。而所謂參考作物之蒸發散量，即為該作物之實際蒸發散量達到潛能蒸發散量，與當地之蒸發量相近。作物係數(Kc)是代表各種作物生長期間之耗水指標，一般可從滲漏計或溫室栽培觀測求得，其依栽種季節、作物之類別、生長階段等條件而異，即不同地區各種作物及其生長階段，均有不同的作物係數。

3. 考慮包括地域特性與灌溉方式之不同來調整作物需水量。

3.1.2 滲漏量(Percolation)

滲漏量之估算方法，在台灣一般使用省水利局所建議採用之滲漏量推估。

$$p = \frac{86,400 \times 1,000}{Clay\% \times I \times 36 \times 10,000} = \frac{240}{Clay\% \times I} \dots\dots\dots (3-8)$$

式中：

p ：滲漏水量以 mm/day 計

Clay%：土壤內含 0.005mm 以下 Clay 重量百分數

I ：係數，是 Clay%大小而定

3.1.3 有效雨量(Effective Rainfall, ER)

有效雨量之估算方法甚為複雜，就灌溉管理者而言，能減少灌溉供給水量之降雨量即可視為有效雨量，然而因降雨本身屬無法加以控制之變因，因此至目前尚無一定之制訂標準。根據以往水稻灌溉試驗田之灌溉用水分析，水田之有效雨量為月平均雨量之 60%，但以不超過該月需水量之 41.2%為限，列式如下（灌溉配水及管理營運技術研討會資料集，農工中心及台大農工系，民國 76 年）：

$$ER = \min[0.6 \times R_n / T, 0.412 \times (ET + P)] \dots\dots (3-9)$$

式中：

R_n ：觀測期間總降雨量(mm)；

T ：觀測期間 (day)；降雨量(mm/day)

ET ：蒸發量(mm/day)

P ：滲漏量(mm/day)

3.1.4 整地用水量

整地乃田區土壤水分自乾田轉換為飽和水田狀態，短暫之時間內田間一次灌溉水深往往高達 120~200mm，此用水量相當於本田用水量之 12~25 倍，因此為稻作用水之尖峰時段。目前之水路容量設計無法同時供應輪區內所有坵塊之整地用水量，必須錯開整地期距，分批整地，以降低尖峰水量，來符合水路輸水容量。

理論上田間整地用水量可分為二個部分，一為將土壤由灌溉前之未飽和狀態轉換為水田飽和狀態，另一個為利於插秧之冠水深，其關係式如下：

$$d_s = \frac{S_a - M_c}{100 \times E} \times A_s \times D \dots\dots\dots (3-10)$$

$$d_2 = d_s d_1 \dots\dots\dots (3-11)$$

$$EP = \left[d_2 + (E_0 + P) \times \frac{N-1}{2} \right] / N \dots\dots\dots (3-12)$$

表 3-1 台灣各水利會整地用水量

單位：mm

區域別	水利會	土類類別	整地用水量	
北	桃園水利會	砂土	180	
	石門水利會	壤質土	180	
		粘質土	180	
部	新竹水利會	壤土	200	
		砂質壤土	200	
中	台中水利會	----	180	
		彰化水利會	砂土	180
	部	雲林水利會	壤土	180
			粘質土	180
			砂質土	149
			壤質土	120
南	嘉南水利會	粘質土	107	
		砂質土	137	
		壤質土	117	
	部	高雄水利會	粘質土	107
			----	150
東北	宜蘭水利會	砂質土	180	
東	花蓮水利會	粘質土	180	
		砂質土	200	
		砂質土	200	
南	台東水利會	粘質土	150	

資料來源：〔18〕

目前台灣所採用之整地用水量標準，依照各水利會之營運經驗以及水路設施條件，其訂定之標準如表(3-1)。

四、灌溉配水模式

目前各水利會所制訂採用之配水計畫方式，雖然有其實用性，但若面對水源供應不足或不穩定時，有其限制存在。在早期之灌溉配水作業中，對於灌溉用水量的推估，係以灌溉率之方法，因此若訂定整體灌溉配水計畫，大部分仍以單一之灌溉率為依據，即為全輪區不論作物之生長階段、任何時期皆採用相同之灌溉標準，實有其不合理之處，因而近年來台灣各地水利會在考量灌溉率之同時，考慮了氣象、土壤、作物等因子，並同時考慮各時期之蒸發散量、滲漏量及降雨量等因子，使其更符合實際田間之狀態。

4.1 配水模式之建立

4.1.1 輪區損失係數 (Tertiary Loss Coefficient)

輪區(小組)進水口流量之計算，需考慮田間灌溉需水量外，尚須考慮輪區內中小給水路損失及水路管理之損失等，其輪區內中小給水路實際準確之損失量無法精確求得。一般通用之輸水損失，表示方式為 $Q_{in} = Q_{out} / (1-S)$ ，由於 S 值介於 0 與 1 之間，經過轉換我們可將其變成 $Q_{in} = (1+S') Q_{out}$ 之形式，則 S' 會相等於 $S / (1-S)$ ，此一 S' 值即為輸水損失水量所佔灌區之灌溉需水量之比例，而 $(1+S')$ 稱之為損失係數 (Factor Loss)。

損失係數其主要使用水收支平衡觀念，將輪區進水口流量與田間灌溉需水量之比值，稱為輪區損失係數，其在完全無輸水損失時，其損失係數為 1，此時流入 $Q =$ 流出 Q ，即 $Q_{in} = Q_{out}$ ，當輸水損失為 10% ($S=10\%$) 時，損失係數即為 1.11；當輸水損失為 15% ($S=15\%$)，損失係數為 1.18，此數值所代表之意義為當計算田間灌溉需水量後得知需要 1 單位之水量時，則在輪區(小組)取水口必須供給與損失係數 1.11、1.18 相同個單位之水量才能滿足輪區內田間所需之水量。

過去台灣地區在農地重劃時，對於輪區之設計一般採用 50 公頃為標準，依照過去台灣各地水利會長期管理觀測之結果，其發現輪區之平均損失係數約為 1.15~1.25 間，然而其所指的是輪區群之平均值，若對各輪區作推估，必須考量各輪區內不同面積及給水路長所對損失水量產生之影響，因此若想更公平及合理的達到配水效果，必須考慮輪區內實際之面積、水路等條件加以修正。

4.1.2 輪區損失係數之修正

過去學者對於面積大者，認為其損失量大，因此必須對其採用多分配水量方能滿足灌溉之需求，而對於面積較小者應減少其分配之水量，但經上述按面積大小增減給水量後，其總用水量應該保持一定量之觀念。

$$KT = \frac{\sum(T_i \times KT_i)}{\sum T_i} \dots\dots\dots(4.1)$$

$$KT_i = [1 + \frac{TF}{100} \times \frac{\sum(T_i)}{\sum(T_i^2)} \times T_i] \dots\dots\dots(4.2)$$

式中：

- T_i ：輪區之面積(ha)
- KT ：輪區總損失係數
- TF ：輪區平均輸水損失(%)
- KT_i ：各輪區之損失係數

4.1.3 輸水系統損失之計算

由於一般幹支分線因長期處於通水狀態，因此渠道內本身之滲漏損失量趨於一定，今可將其損失水量為定數。一般而言，水路輸水損失量應與水路長度成正比關係，若渠道為土水路，且無內面工，則渠道之滲漏損失量會隨土壤質地之不同而有所改變。然而現今各地水利會之幹線水路幾乎都已鋪設混凝土內面工，因此將幹線之水路損失視為只受水路長度之影響。可利用下式表示。

$$Q_i = \frac{\sum Q_i}{\sum L_i} \times L_i \dots\dots\dots(4.3)$$

$$S_i = \frac{S_2}{\sum L_i} \times L_i \dots\dots\dots(4.4)$$

式中：

- Q_i ：每個分水口分配之損失水量(cms)
- $\sum Q_i$ ：總損失水量(cms)
- S_i ：每個分水口分配之損失百分比(%)
- S_2 ：總損失百分比(%)
- L_i ：每個分水口距水源之距離(km)
- $\sum L_i$ ：水路總長度(km)

輪區(小組)進水口其幹線距離較長者，其損失量越大，因此依照各輪區(小組)進水口其距離水源長度來決定輸水損失之多寡，由此管理者可依此增減水量之分配，但其總損失量保持在一定值。甘俊二氏提出一套新的損失分配方法，以修改過去對損失水量之估計，其分配公式如下：

$$KL = \frac{\sum(L_i \times KL_i)}{\sum L_i} \dots\dots\dots(4.5)$$

$$KL_i = [1 + \frac{LF}{100} \times \frac{\sum(L_i)}{\sum(L_i^2)} \times L_i] \dots\dots\dots(4.6)$$

式中：

- L_i ：分水口距水源之距離(km)
- KL ：分水口總損失係數
- LF ：水路長平均輸水損失(%)
- KL_i ：分水口之損失係數

4.2 機動性配水

對不穩定供水量之配水時，需要建構一套灌溉配水模式，可於水源供水量充足時採取正常之配水，而於水源供應不足時，採取分組輪流灌溉之方式，以因應水源不足之情形。

以水資源觀點而言，配水計畫依水源供水條件之不同，可劃分為四類：⁽⁸⁾

4.2.1 水源充足之配水方法

在渠道輸水容量的範圍內，水源供水量充足之情況下，可遵行正常訂定之配水計畫。

4.2.2 水源稍有不足之配水方法(計畫流量>實際取水量計畫≥流量)

水源在輕微不足之情況下，此時可採用加強人為管理方式配合均勻遞減水量之措施，調整個輪區之分配水量，使用 K 係數法，所謂 K 係數

法乃是指缺水狀態不嚴重時，其所缺少之水量，由各輪區平均分擔，以公平減少輪區需水量方式，共同度過缺水時期。其式如下：

$$K = \frac{Q_a}{Q_p} = \frac{Q_a}{\sum Q_{S\text{-tertiary}}(i)} \dots\dots\dots(4.7)$$

式中：

Q_a ：圳路進水口之流量(cms)

Q_p ：圳路進水口之計畫流量(cms)

$\sum Q_{S\text{-tertiary}}(i)$ ：全部輪區之系統取水口計畫流量(cms)。

當缺水率在 25%以內時，重新分配各輪區水量，經由 K 係數重新分配後之輪區系統水口流量為：

$$Q_{new}(i) = K \times Q_{S\text{-tertiary}}(i) \dots\dots\dots(4.8)$$

式中：

$Q_{new}(i)$ ：重新分配後之輪區取水口流量(cms)

$Q_{S\text{-tertiary}}(i)$ ：原輪區系統取水口計畫流量(cms)

4.2.3 分組輪灌法(75%計畫流量>實際取水量≥25%計畫流量)

當缺水情形嚴重，此時務必採用灌區分組之輪流灌溉方式，集中水量以灌溉其中之部分區域，其餘地區則暫時停止灌溉。採取分組輪灌需遵守幾個原則：

- (1)分組後之配水流量需符合渠道容量之限制。
- (2)分組時，各組需求水量之間差值愈小愈好。
- (3)灌溉以輪區為一單元，不能任意分割，故系統的分組不能將同一輪區內分割成二個以上之不同單元。
- (4)為使得有限的水源得到最高的使用效率，應實施集中灌溉為原則。

有關輪灌組數之決定及輪區分配之流量，可分成下面三個步驟，首先由實際可供給之水量考慮是否分組及分幾組，其次決定分組後之基準流量，最後，對各分組的輪區作設定，若實際供給量大於計畫流量則不用分組且可將多餘之水量提供給其他標的使用。

1. 由實際流量決定分組組數：

首先我們由式(4-7)來求得 K 值之大小，若其範圍在 3/4 與 2/3 之間，則其組數為 3，為分 3 組灌溉 2 組；若範圍在 2/3 與 1/2 之間，則其分組組數為 2，為分 2 組灌 1 組；若範圍在 1/2 與 1/3 之間則其分組組數為 3 組，為分 3 組灌 1 組；若範圍在 1/3 與 1/4 之間，則其分組組數為 4 組，為分 4 組灌 1 組。

2. 重新訂定 K 值

決定分組組數後，計算各組別之輪區數目 n，其方法如下式：

$$\text{若 } \frac{\sum_{i=1}^n Q_{S\text{-tertiary}}(i)}{Q_a} > 1, \text{ 且 } \frac{\sum_{i=1}^{n+1} Q_{S\text{-tertiary}}(i)}{Q_a} < 1 \dots\dots\dots(4.9)$$

則 n 為第一組別之輪區數目，得知 n 值後，將 n 個輪區之系統取水口計畫用水量之總和除以圳路進水口之流量，則可求出新的 K 值，如下式：

$$\text{若 } \frac{\sum_{i=1}^n Q_{S\text{-tertiary}}(i)}{Q_a} = K_{new} \dots\dots\dots(4.10)$$

式中：

$\sum_{i=1}^n Q_{S\text{-tertiary}}(i)$ ：由上而下累加之輪區系統取水口流量(cms)

Q_a ：圳路進水口之流量(cms)

K_{new} ：重新分配之 K 值

3. 分組後之輪區新系統取水口流量

$$\text{若 } Q_{S\text{-tertiary}}(i) \times K_{new} = Q_{new}(i) \dots\dots\dots(4.11)$$

式中：

$Q_{S\text{-tertiary}}(i)$ ：上游至下游累加之輪區系統取水口流量(cms)

K_{new} ：新的 K 值

$Q_{new}(i)$ ：重新分配之輪區系統取水口流量(cms)

4.2.4 水源供給極度缺乏(實際取水量≤25%計畫流量)

此時應由水資源管理者鼓勵農民辦理轉作或休耕，而剩餘水移撥至其他標的用水，以穩定

民生及工業用水，而此時應由政府主持邀集水利會、自來水公司、農民開協調會，達成水量調撥移用及補償制度，以維管理者及農民之基本權利。

五、輪區灌溉用水調配

5.1 模擬研究區域現狀資料

本研究以新竹水利會之竹東圳灌溉區域為模擬區域。竹東圳灌區屬竹東工作站所管轄，其由上坪溪之上坪攔河堰取水經竹東圳灌溉田區，而於竹東圳 3.717 公里處另有樹杞林圳之起始點；且於竹東圳 4.1867 公里處灌溉第二小組後經過樹杞林圳繼續灌溉東豐小組；分別於竹東圳 13.890、14.3619 公里處進水灌溉第五、第六小組後，經由山員山圳灌溉上員山小組。灌區內耕作制度為雙期作水稻，約佔九成以上，少數為檳榔及蔬菜，其原因為竹東灌區位於頭前溪河川之上游地，水量較不虞匱乏，因此此地區為傳統之水稻區。

竹東圳主要水路長為 16.02 公里灌區總共劃分為 14 個小組及 11 個取水門（其中包含寶山水庫之取水口）總灌溉面積約為 638 公頃，最大小組灌溉面積為第十小組為 70 公頃，最小者為東豐小組 12 公頃，平均約為 45.57 公頃，最大之小組面積比最小之小組面積差距甚大。其灌溉水路系統如圖(5-1)。

5.2 模擬研究區域之灌溉需水量計算

由於區域內九成以上耕種作物為水稻，因此今假設灌區內全部種植水稻之條件下，逐一計算各小組內之所需之灌溉用水量。研究區域內之降雨量、蒸發量之氣象資料，是以中央氣象局新竹測站（1971~2000 年）所量測之數據，而相對濕度、平均風速等是以位於竹東工作站之上坪攔河堰導水路管理小組（1997~2000 年）所遙測之數值，雖管理小組亦有降雨量之資料，然而降雨量改變甚大需長期觀測之資料，所以並未採用管理小組之降雨量資料。

系統中各小組之灌溉順序、面積、土壤機械分析資料及水門編號如表(5-1)。

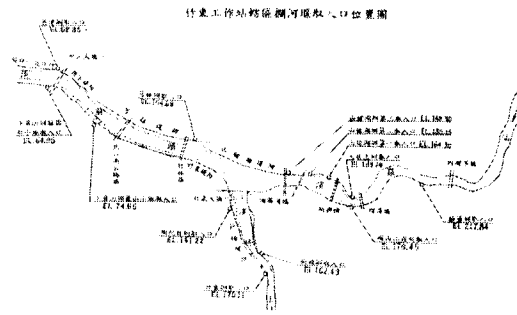


圖 5-1 竹東圳水路位置圖

資料來源：竹東工作站

表 (5-1) 竹東圳灌區各小組面積及土壤質地

灌溉順序	水門編號	小組面積 (ha)	砂粒百分比 (%)	粉粒百分比 (%)	粘粒百分比 (%)
1	T01	37	39.73	31.87	28.40
2	T02	47	34.1	34.5	31.4
3	T03	28	38.17	39.56	22.27
4	T03	12	41.85	31.75	26.40
5	T04	37	50.78	35.82	13.41
6	T05	67	36.60	35.61	27.78
7	T06	46	25.32	31.89	42.79
8	T07	43	38.88	29.77	31.35
9	T06,t07	68	28.35	39.25	32.4
10	T08	44	22.50	38.38	39.12
11	T09	43	41.37	27.43	31.20
12	T10	27	37.99	35.56	26.45
13	T11	70	27.03	41.91	31.05
14	T11	69	18.23	40.74	41.03

5.2.1 灌溉需水量之估算

求得之作物需水量、滲漏量、有效雨量，其中滲漏量分別為修正後及未修正（水利局經驗公式）之值，利用式(3-1)即可求出各小組於不同生育階段中各旬別之灌溉需水量，其結果為代入水利局經驗公式之滲漏量所求得之灌溉需水量，其中小組內坵塊整地錯開日數分別為 10、15、20、30 天。

5.2.2 輪區損失係數與水路輸水損失係數

目前新竹水利會竹東工作站之配水計畫，其輸水損失值是將輪區（小組）內之水路輸水損失

與竹東圳導水路輸水損失併為一起計算，其值約為 20%~25%，然而如此推估並不合理。

(1)輪區損失係數

從實際之灌溉區域狀況發現，各小組之面積最大為 70 公頃，最小者為 12 公頃，若對二者採用相同之損失因子，則將導致違反公平配水之原則，因此應依照小組面積之不同而對輪區（小組）損失係數作合理之修正。就水利會管理工作之實地操作經驗，其認為 50ha 之輪區輸水損失約為 25%，則可換算為單位面積之輸水損失百分比為 0.5%/ha，根據此損失因子換算出各小組之輪區損失係數。

(2)水路輸水損失

雖然目前灌區內中小給水路與竹東圳導水路皆為混凝土內面工，但一般而言輪區內中小給水路輸水損失值較為幹線輸水損失值來的高，因此本研究採用不同之損失值對其損失量作推估，然而竹東圳路之輸水損失並無前人實地實驗之資料，因此依照工作站灌溉計畫，估計竹東圳導水路其平均輸水損失約為 20%。

5.3 理論、計畫需水量與實際用水量之比較

5.3.1 理論需水量

以水稻各生長期之田間灌溉需水量配合各小組面積、輪區中小給水路損失及竹東圳路輸水損失，來估算各小組進水口及系統灌溉需水量，配合當地第一期作之整田日期及本田日期，推估第一期作理論灌溉需水量，而當地每年之耕作日期約略不同，一般來說整地日期為 3 月上旬~4 月上旬、本田日期為 3 月上旬~7 月上旬，今我們採用 3 月上旬為整地日開始且整地錯開日數為 30 天，而本田日期為 3 月上旬~7 月上旬，進行理論灌溉需水量之推估。

以上所估算之理論灌溉需水量，其中滲漏量之值為修正後之值。而今吾亦考慮將滲漏量未修正之值來估算理論灌溉需水量，以便將二者作個比較，其中若一、二期作之整地錯開日期及插秧日期相同，且估算灌溉用水量之相關因子亦相同，唯一不同的是滲漏量之估算採用水利局之經驗公式，則所求出之理論灌溉需水量。今我們將

因滲漏量不同所估算出之理論灌溉用水量作個比較，其中作物種類、耕種制度、土壤類別、氣候環境等條件皆為相同，由圖可看出滲漏量已修正之理論灌溉用水量遠比滲漏量未修正所推估之灌溉用水量來的高。

將因滲漏量不同所估算出之理論灌溉用水量作個比較，其中作物種類、耕種制度、土壤類別、氣候環境等條件皆為相同，可看出滲漏量已修正之理論灌溉用水量遠比滲漏量未修正所推估之灌溉用水量來的高。今我們將因滲漏量不同所估算出之理論灌溉用水量作個比較，其中作物種類、耕種制度、土壤類別、氣候環境等條件皆為相同，由圖可看出滲漏量已修正之理論灌溉用水量遠比滲漏量未修正所推估之灌溉用水量來的高。

5.3.2 灌溉計畫與實際用水量

一般而言，計畫用水量乃是以灌溉需水量為基礎，而灌溉需水量是自水源或斗門來計算，因此計畫用水量可以各斗門之灌溉需水量之和來計算。但是由於實際取水量受水源水量、水源供水之穩定性等諸多因素之影響，導致各水利會往往無法執行既定之灌溉計畫，而以調整灌溉水量之供應，來因應水源不足之情況，如減少灌溉水量與次數等措施，若缺水之情況嚴重，則需採取節水救旱措施，如延長輪灌期距、減少一次灌溉水深、實施間歇灌溉、大區輪灌及休耕等對策。然而如此一來，將導致實際取水量與計畫用水量之差異，主要原因為計畫用水量為一固定值，而實際取水量卻隨時依照可供水量之不同而有所調配。

竹東圳灌區之灌溉計畫用水量由於每年之整地期與插秧期略有些不同，因而每年之計畫用水量略有不同，圖(5-3)中為竹東圳灌區之灌溉計畫用水量，包含 85~89 年，其中 85 年一期作為公告休耕，其原因為由於 84 年下半年起雨量稀少，河川水量銳減，水利會為因應乾旱時期缺水嚴重，足以公告竹東圳灌區停灌休耕，因此工作站雖有擬定 85 年一期作之灌溉計畫，然而卻沒有實際用水量之記錄。

我們將工作站 85 年~89 年灌溉計畫用水量

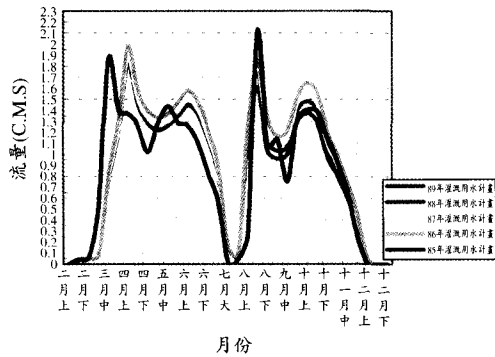


圖 5.3 竹東圳灌區 85-89 年灌溉計畫水量

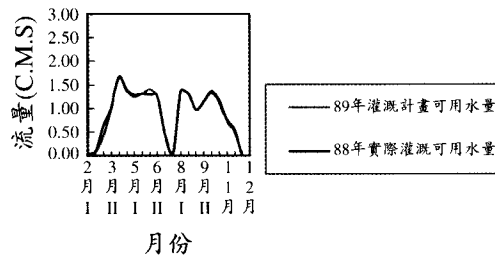


圖 5.4 灌溉計畫用水量與實際用水量之比較(89 年)

與實際用水量作個比較，結果如圖(5.4)、圖(5.5)、圖(5.9)，由於 85 年第一期作公告休耕因此第一期作並無實際用水量記錄。大致而言灌溉計畫用水量與實際之用水量甚為接近。

5.3.3 竹東圳導水路引水量

由於為了建立上坪攔河堰導水路營運管理及維護以發揮水資源多目標運用之預計效能起見，因此由省自來水公司及新竹農田水利會分別派員組成一小組，名為上坪攔河堰導水路管理小組，主要管理上坪攔河堰及導水路（至水庫進水工止）之營運操作，並於攔河堰、水庫進水口設置了應答式自記流量水位觀測站。

因此我們可得知攔河堰及水庫進水口近年（86~89）每年每月之平均流量如表（5.9）、表（5.16），由此將攔河堰進水量超過 2.4cms 之值其有效輸水量為 2.4cms，其原因為上坪攔河堰竹東圳進水口至軟橋發電廠前池部分渠道最大通水量為 4.20cms，作為發電用流量及落差，而通

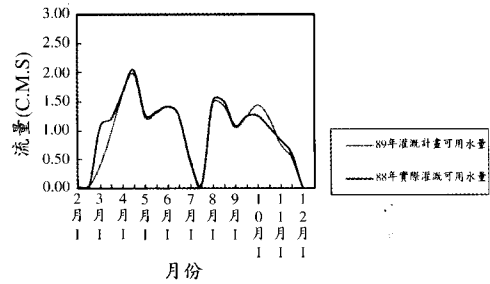


圖 5.5 灌溉計畫用水量與實際用水量之比較(88 年)

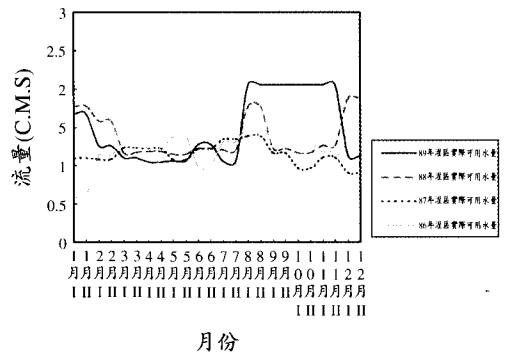


圖 5.9 竹東圳灌區可用水量比較圖(86~89 年)

過發電廠後因渠道僅能輸送水量 2.4cms，多餘之水量則利用溢流方式排放，以保護導水路安全。因此竹東圳導水路最大流量為 2.4cms，今若得知竹東圳導水路通水量，同時扣除寶山水庫取水口進水量，則可算出實際竹東圳灌區可引用水量，其中當然包含輸水損失。

由圖 5.9 可看出 86~89 年竹東灌區可用水量分佈情形，其中 86 年 5~6 月時水量明顯比其他年份來的少；89 年 7~12 月水量明顯比其他年份來的多，但 2 月卻反之，其餘則相當平均。

六、結果與討論

6.1 結果

1. 由圖 5.9 可以看出理論推估之二期作灌溉用水量與水利會所訂定之灌溉計畫用水量相當符合。然而以採用水利局經驗公式之滲漏量所推估之需水量較為接近，而若以工作站觀測之減水深所求出之滲漏量 12mm/day 其有略高之情

表 (5.9) 竹東圳灌區之實際可用水量

89 年	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
攔河堰進水量	2.45	2.44	3.51	3.5	3.38	3.04	3.37	3.15	3.07	2.89	2.83	1.47
竹東圳導水路 通水量	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	1.47
寶山水庫入流 量	0.38	0.79	0.95	1.01	0.99	0.78	1	0	0	0	0	0
員峽淨水廠	0.347	0.347	0.347	0.347	0.347	0.347	0.347	0.347	0.347	0.347	0.347	0.347
灌區實際水量	1.673	1.263	1.103	1.043	1.063	1.273	1.053	2.053	2.053	2.053	2.053	1.123

表 (5.16) 竹東圳灌區之輪灌配水計畫 (K=0.4)

灌溉 順序	小組	面積(ha)	K _{Ti} (無因次)	K _{Li} (無因次)	灌溉需水量 (l/sec/ha)	需水量 (cms)	配水量 (cms)		
							分 3 區灌 第 1 區	分 3 區灌 第 2 區	分 3 區灌 第 3 區
1	1	37	1.145	1.004	1.08	0.147	0.056		
2	雞油林	47	1.241	1.041	0.85	0.051	0.061		
3	2	28	1.141	1.046	0.91	0.030	0.036		
4	東豐	12	1.086	1.046	1.10	0.015	0.017		
5	3	37	1.145	1.092	3.09	0.147	0.180	0.128	
6	4	67	1.391	1.134	1.08	0.109		0.048	
7	5	46	1.241	1.152	0.62	0.040		0.069	
8	6	43	1.227	1.157	0.97	0.058		0.105	
9	上員山	68	1.359	1.157	0.85	0.089			0.050
10	7	44	1.236	1.161	0.62	0.038			0.067
11	8	43	1.223	1.173	0.93	0.057			0.051
12	9	27	1.150	1.176	1.09	0.039			0.091
13	10	70	1.254	1.176	0.63	0.069			0.090
14	11	69	1.245	1.176	0.63	0.068	0.350	0.350	0.350
合計		638				0.857	1.176	1.135	1.254
系統取水量(cms)						0.857		0.350	

形，不論在第一期作還是第二期作皆為如此，因此未來在推估研究區域內之灌溉需水量時，滲漏量建議採用水利局之經驗為準。理論所推估之第一期作灌溉用水量後半段與灌溉計畫有不小之差距，推求其原因為由於 4~6 月為梅雨季節導致在推估有效雨量時其量明顯增加許多，然而水利會所定之灌溉計畫中其對有效雨量明顯低估，因而造成此差距。

2. 本研究利用平均 20 年(1971~2000)之蒸發皿值利用 FAO 所推薦之 Pan Evaporation 方法所求

出之結果為第一期作為 402mm、第二期作 570mm 其值與張氏(張煜權, 1995 年)於「台灣地域性水田灌溉用水量之推估研究」中，利用 FAO 所建議之四種不同間接推估方法，並利用統計方法分析並比較民國 57 年台大滲漏計試驗結果後，推薦新竹地區之水稻作物需水量第一期作為 620mm、第二期作 536mm，由此可以發現第二期作與張氏所建議的值甚為相近，然第一期作本研究中之值明顯偏低，因此未來推估新竹地區第一期作之水稻作物需

水量時，可定其上限為 620mm、下限為 402mm。

3. 目前竹東工作站所訂定之灌溉計畫其中整地用水深為 200mm，而本文所估算整地用水深經過對面積加權之後其平均值約為 176mm，因此目前竹東圳灌區灌溉計畫中之整地用水深有向下修正之空間。
4. 由 5.4 節中之續灌配水，在系統取水量大於灌溉需水量時，可以按照其他標的是否缺水，而決定採用超量灌溉或正常灌溉，若採用後者則可將多餘之水提供給其他標的使用；若採用前者則為其他標的不缺水之情況下。整體來說提高了農業水資源的利用性。
5. 由 5.4 節中之輪灌配水，其與當地農民之耕種習慣略有不同，因為區域內屬河川上游地區，水源水量甚為豐沛，在以往的農民耕種習慣中，並無實施輪灌的必要，然而現今為了供給日益發達的工業而快速增加的用水量，使得若要達到工業用水不虞缺乏的目的，則必須在不影響農業產量的情況下，加強灌溉管理提高配水技術進而節約用水提供其他標的所需，然而其必須由受益單位提供灌溉管理者因加強灌溉管理所耗費之人力及物力而所應得之合理補償，進而達到農工雙贏。

6.2 討論

1. 雖然使用當地減水深所求出之灌溉用水量較實際用水量為大，然而其可能是因為當地為丘陵地形，有許多梯田存在，導致高程較高之農田所滲漏之水橫向滲漏到高程較低之農田具有承上接下的特性，即上田的滲漏水量可重作下田的灌溉水源，因此降低了灌溉用水量。所以由水利局之經驗滲漏量，或許在推估總灌溉用水量時較為適合，然而事實上田間之滲漏量卻大於此值。
2. 由當地之管理人員經驗得知，上坪溪之枯水期在 6~8 月，然而 6、7 月正好為第一期作之末期本田用水，因此為了避開此枯水期，可以在第一期作尚未整田期前，若此時竹東圳導水路之水量充足則可以將整田錯開日數縮短，如此

可以提早本田用水日，近而避開枯水期；若導水路水量不足時則可依照程度之不同而提高整地錯開日數降低用水量或公布休耕。然而 8 月為第二期作整田期，因此此時可以提高整田錯開日數以降低用水量，近而避開枯水期。

3. 控制整田錯開日期之長短必須仰賴工作站人員與農民相當程度之配合，因此若工業用水缺水必須提高整田錯開日數，則移用水單位應合理補償灌溉管理之費用。
4. 本文使用月平均降雨量推估有效雨量實有粗略之嫌，如不同的一箇月中累積降雨量雖為相同，然而因降雨天數、延時與灌溉時機等因素的影響而造成有效雨量有極大之差距，以灌溉時機而言，如降雨在施灌前及施灌後其有效雨量之貢獻有極大之差距，以降雨天數而言，若降雨量相同且降雨天數短，導致雨量大，則超過田間田埂高度所能蓄留之降雨量屬於無效。
5. 不論供水充足與否，皆能利用 K 係數法均勻增加或遞減來分配灌溉用水量，使得灌溉管理單位之配水操作更為簡便。
6. 在分區輪灌配水結果當中，不論分為幾區，其各輪灌群組所分配之水量均為相同，因此可達到配水之公平及合理性。
7. 一般在考慮小區域水資源之有效利用時，將輸水損失視為一種實際之損失，但若以大區域之水收支平衡觀點而言，其並非是浪費或無益的，因為所損失之水量扣掉水面之蒸發外，其餘皆入滲補充地下水，或甚迴歸至河川以供應下游之各標的之用水。

七、結論與建議

7.1 結論

1. 本研究所採用之輸水損失資料，為根據工作站管理人員之經驗資料，然而依此資料所模擬需水量是否能符合現地之實際狀況，尚未正確或直接之驗證，因此本研究中之數值結果雖未準確，然而亦可提供未來參考之用。
2. 本研究探討提升灌溉水資源有效利用之觀念，主要希望在維持田間之灌溉用水量，且以

維護水土資源永續利用之前提下，提供合理之農業灌溉用水量且如何在河川引水量之變動下，適時提出不同之管理方案（整地錯開日數）以配合攔河堰之不同可引水量來調配田間整地期之用水，避免多餘水資源之流失。

3. 本研究主要討論研究區域內農業灌溉用水之合理性，所節餘之水量以盡量提供水庫水量為前提，並未考慮水庫之蓄水問題，因此未來應該考慮寶山水庫之營運操作以能更精確的調配水資源。
4. 合理水田灌溉用水量之擬定，應建立在確保作物之正常生長及地力得以永續利用為考量之基礎上，因此本文即以此為基礎，建立不同小組區域內、不同期作及不同耕種時間下水田之灌溉需水量，以便在推求灌溉需水量時更加合理。

7.2 建議

1. 目前各水利會所研擬之灌溉用水計畫，僅考慮輸水段、配水段及灌溉需水量。然而事實上，輸水階段包含從水源引水經幹支分線才流至小組（輪區）進水口，再由配水階段即給水路供給各坵塊之灌溉需水量。因此在幹支分線上之輸水損失對水源引水處之影響不盡相同，應分開討論才是。因此建議水利會未來在研擬灌溉計畫用水量時應予以考慮。
2. 目前政府提倡「三生」之觀念，即於河川之豐水期時，使用超量灌溉將多餘之水量引入水田，以強化田間調蓄之功能同時增加地下水補助量，創造出親水的環境，並節省灌溉管理之費用，如此可以達到生產、生活及維持生態環境之目的，因此可以建議灌溉管理者未來於河川豐水期在調配灌溉用水量時，能採用此法。
3. 樹杞林小組、上員山小組及雞油林小組其平常灌溉需水量由竹東圳引入，然而依工作站管理人員之實地管理操作，於上坪溪枯水期時，由工作站之管理人員於樹杞林圳及上員山圳之頭前溪取水口設置臨時攔河堰引水灌溉三組所需之水量，因此如水庫急需用水時，可實施此法以降低竹東圳之田間灌溉取水量，同時提

高寶山水庫導水路之水量，然而前提必須由水庫（移用者）負擔因實施此法而提高灌溉管理之費用，實為雙贏之方法，不僅水庫能多增加水量且水利會也能因此增加收入。

謝 誌

本論文感謝新竹水利會黃會長炳煌於台大農工所之演講所啟蒙，竹東工作站陳站長華山及工作站同仁之幫忙協助，才能得以順利採集研究區域之土樣及相關資料的取得，感謝台大農工所灌溉排水研究室全體人員努力，完成本篇之論文。

八、參考文獻

1. 水利局：「台灣省各農田水利會灌溉調查報告」，53年。
2. 農復會：「台灣水稻之灌溉」，台大農工系，1970年1月。
3. 甘俊二：「灌溉系統配水之分析與研究」，台大農工系，68年4月。
4. 劉豐壽：「灌溉渠道系統之容量及配水研究」，國立台灣大學碩士論文，73年6月。
5. 邱得恭：「灌溉用水量及輸水管理損耗之研究」，國立台灣大學碩士論文，73年6月。
6. 台灣大學農業工程學研究所：「稻米轉作合理用水與配水技術之研究」，經濟部水資源統一規劃委員會，77年1月。
7. 林茂佟：「變動水源機動性系統灌溉配水模式之研究」，國立台灣大學碩士論文，77年6月。
8. 李蕙瑩：「水稻旱作混植輪區配水模式之研究」，國立台灣大學碩士論文，77年6月。
9. 陳焜耀：「灌溉系統內地表及地下水間相互調配最佳灌溉配水模式之研究」，中國農業工程學報第三十六卷第二期，79年6月。
10. 陳順和：「稻作灌區變動流量條件下配水技術之研究」，國立台灣大學碩士論文，79年12月。
11. 甘俊二、湯松義、林國華等：「缺水期輪灌區劃分方法及配水技術之研究」，行政院農

- 業發展委員會，81年6月。
12. 林國華：「不確定流量在渠道容量固定下合理配水方法之研究」，國立台灣大學碩士論文，81年6月。
 13. 張煜權：「台灣之地域性水田灌溉用水量之推估研究」，國立台灣大學碩士論文，84年6月。
 14. 農委會：「灌溉節水技術手冊」，農委會水利特刊第八號，84年12月。
 15. 陳清田：「台灣地區旱作物需水量之推估研究」，國立台灣大學碩士論文，85年6月。
 16. 林建興：「台灣農田灌溉輸水損失之研究」，國立台灣大學碩士論文，85年6月。
 17. 行政院農委會：「農田水利會合理灌溉用水量及水源可靠水量調查與評估」，85年6月。
 18. 陳焜耀：「農田永續利用之灌溉配水模式」，國立台灣大學博士論文，86年6月。
 19. 顏志和：「農業灌溉用水量之推估及其實態用水特性之分析研究」，國立台灣大學碩士論文，86年6月。
 20. 甘俊二、陳清田、陳焜耀、張煜權等：「合理灌溉管運用水計畫之研究」，中國農業工程學報第43卷第4期，86年12月。
 21. 行政院農委會：「農業灌溉用水之功能及移用衝擊之因應對策研究」，87年6月。
 22. 陳家豪：「因應水源變化之輔助水源調配模式」，國立台灣大學碩士論文，87年6月。
 23. 經濟部水資源局：「灌溉節餘用水之效率化應用推廣」，88年1月。
 24. Vaughn E. Hansen、Orson W. Israelsen & Glen E. Stringham：「Irrigation Principles and Practices」”1984.
 25. Doorenbos, J. and Pruitt, W.O.:「Guidelines for Predicting Crop Water Requirements」FAO Irrigation and Drainage Paper NO.24 1984.
 26. Kan, Chun-E：「Study on Water Distribution for Tertiary Block in Taiwan」，Nov.18, 1985.

收稿日期：民國90年12月14日

修正日期：民國91年2月1日

接受日期：民國91年2月20日