

越域引水對其下游農業灌溉用水影響之探討—以大安溪士林堰為例

王明信⁽¹⁾ 林信輝⁽²⁾ 陳獻⁽³⁾

摘 要

本研究選取大安溪士林堰上游象鼻(3)水文測站之歷史河川日流量資料計算成旬平均日流量，並據以統計分析當旬之超越機率及判斷當旬自然豐枯水文現象。經演算士林堰越域引水前後各七年間(1996~2009，計 504 旬)各不同缺水程度發生之旬數，比較其差異性。結果顯示：士林堰營運後總缺水旬數為營運前 2.06 倍；50~60%缺水率高達 5.75 倍。而在水稻耕作尖峰用水期，越域引水營運前第一期與第二期稻作缺水旬數分別為 7 旬及 5 旬，營運後缺水旬數為 16 旬及 18 旬，而其水稻耕作最需水之本田時段，一期稻作營運前缺水旬數為 12 旬，營運後為 23 旬，二期稻作營運前缺水旬數為 5 旬，營運後為 18 旬。以上數據得知，營運前缺水受自然水文現象影響，主要缺水時段為一期作水稻耕作尖峰用水時間，但營運後，不但未改善營運前之缺水狀況，且原本不太缺水之二期作，也出現頻繁缺水。故士林堰越域引水，確有影響下游農業灌溉。

(**關鍵詞**：超越機率、越域引水、農業灌溉、缺水率)

The effects of cross-basin abstraction on downstream agriculture irrigation water - A case study on Da-an River Shih-Lin Weir

Ming-Hsin Wan⁽¹⁾ *Shin-Hwei Ling*⁽²⁾ *Shinne Chen*⁽³⁾

Master student⁽¹⁾, Professor⁽²⁾, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, R.O.C.
Consultant⁽³⁾, Agricultural Engineering Research center.

Abstract

With the historical data of river daily flow recorded in Hsiang-pi(3) Gauging Station on the upstream of Da-an River Shih-Lin Weir to calculate ten-day average daily flow, the statistics of the

(1)國立中興大學水土保持學系碩專班生(通訊作者 e-mail:whsin99@ms47.hinet.net)

(2)國立中興大學水土保持學系教授

(3)農業工程研究中心顧問

ten-day exceedence probability was analyzed and the ten-day natural hydrological phenomena in flood and dry seasons were determined. Having calculated the number of ten-day periods when various water shortages occurred within 7 years before and after the cross-basin abstraction in Shih-Lin Weir (1996~2009, total 504 ten-day periods), the differences were further compared. The results showed that the total ten-day periods of water shortage was 2.06 times of it before the operation of Shih-Lin Weir and the ratio of water deficiency being 50~60% reached 5.75 times. In the peak period of water requirement for paddy farming, the number of ten-day water shortage in the first phase and the second phase of paddy farming were 7 and 5, respectively, before the operation of cross-basin abstraction, while they increased to 16 and 18, respectively, after the operation. During water requirement periods for paddy farming, the number of ten-day water shortage in the first phase was 12 before the operation and became 23 after the operation, while it was 5 before the operation and increased to 18 after the operation in the second phase. Based on the above data, the water shortage before the operation was affected by natural hydrological phenomena when the major water shortage appeared in the peak water requirement for paddy farming in the first phase. However, the situation of water shortage was not improved after the operation, but it frequently appeared on the farming in the second phase, when water shortage was not common. In this case, the cross-basin abstraction of Shih-Lin Weir could indeed affect the downstream agriculture irrigation.

(Keywords : exceedence probability, cross-basin abstraction, agriculture irrigation, ratio of water deficiency.)

前言

近年來氣候變遷地球暖化，各地澇旱災害頻傳而台灣雖年降雨量高達 2500 公厘，但季節降雨不均造成豐枯懸殊，半年枯水期(11~4 月)雨量約佔年雨量 22%，半年豐水期(5~10 月)雨量約佔年雨量 78%，乾溼季分明，甚至會在同年中發生旱、澇的極端現象。再者因台灣地形坡陡、流急、雨勢集中，致雨水大部分都經由河川迅速流入海洋無法有效蓄存，水文狀況十分不穩定。

水資源短缺問題日益嚴重，各標的用水競爭越趨劇烈，加上新水源開發不易，以致民生及工業用水轉向對缺水忍受度較高的農業用水要求撥用之情形日益頻繁，在水需求

劇增之下，為維持農業發展及糧食足，水資源供應之軟硬體必須加強且有效的統籌與調配始能成功。

大安河流域農業灌溉取水方式原為川流取水，各灌區第一線執行業務人員依天然河川流量豐枯情形予以適時調配，灌溉用水調配尚稱順利且農民用水自由度高。92 年士林堰正式營運後，大部分水源以越域引水方式供給發電與公共用水，灌溉用水則須仰賴士林堰調放，導致缺水情形日趨嚴重，台中農田水利會每年皆投入量人力資源與成本，成立大安溪分水隊，以實施輪灌及動用抽水井等措施因應農業用水不足。事實上因農業用水長期被不同標的用水挪用，水源不足，農民被迫休耕，造成農業經濟損失且環境與生

態失衡，權責單位應針對灌溉用水量、生態基流量、河道輸水損失等因素作適切調整，以解決上述困境。本文以台中農田水利會大安河流域士林堰供水灌區為探討對象區，透過計畫水量與實際取水量等紀錄分析缺水原因，探討越域引水前、後對灌區農業用水影響程度並以現場實際操作經驗試擬解決方案，以作為日後水資源調度參酌。

回顧相關文獻水稻耕作與用水敏感期有(陳等, 2005)研究、(農田水利會聯合會, 1999)農田水利技術人員訓練教材第 12 冊及(行政院農業委員會, 2001)灌溉排水營運管理等對水稻各階段需水及敏感性均有詳細論述，本文依據以上研究成果做為灌溉依據(表 1)並整理出灌溉敏感期(表 2)作為建議灌溉不可缺水期間。而越域引水文獻(汪, 台灣大百科)曾文溪流域之南化水庫自旗山溪越域引水，使南化水庫每日供水量達 80 萬立方公尺。(水利局, 1990)苗栗縣鯉魚潭水庫第二期工程規劃報告，士林堰平均每年引大安溪剩餘流量 3.48 億立方公尺，並建議士林堰引水基準做為下游灌溉用水之放流量，此為本研究拿來比較合理士林堰下游保留流量之參考。(陳等, 2005)受台灣電力公司委託，評估花蓮西寶發電廠設廠在萬里溪同時越域引水自馬鞍溪，結果推定會影響馬鞍溪下游灌溉，必須設法補救。潛水量推估(黃等, 1999)以曾文溪及高屏溪為研究對象，利用已知水文站實測流量資料，以旬流量進行區域化序率水文模式分析，結果顯示區域化序率水文模式分析推估誤差較以往傳統模式(流域面積比)為小。(徐等, 2005)水文流量豐枯研判，一般常以旬流量超越機率曲線中，了解各旬流量分布關係，並進一步可掌握河川旬流量季節性

分布特徵。當流量被取用時超越機率小於 40% 時可評估為豐水狀態。當流量被取用時超越機率介於 40~60% 時，可評估為平水狀態。當流量被取用時超越機率介於 60~80% 時，可評估為枯水狀態。當流量被取用時超越機率大於 80%，可評估為乾旱狀態。本研究以上述方法作為天然水文豐枯水期之基準，並依此判斷缺水原因係受自然枯水影響或士林堰營運影響。缺水分析探討(洪等, 1998)模擬大安溪上游河川平均年水資源改變情形，並以歷史供需資料旬缺水率配合可能河川流量變化，以相同河川流量改變百分率作為原河川流量修正，評定各缺水率情形改變狀況。缺水率之評估方法為供水缺額(缺水量)除以計畫供水量，本研究以此缺水率公式為分析方法並以旬為計算單位。

研究區域概況

一、地理位置

大安溪位於台灣中西部，主流發源於雪山山脈之大壩尖山，於台中市大安區頂安里注入台灣海峽，幹流長約 96 公里，流域面積約 758 平方公里。流域涵蓋苗栗縣泰安、卓蘭、三義、苑裡及台中市和平、東勢、后里、外埔、大甲、大安等區，如圖 1。

二、氣象及水文

(一)降雨量

大安溪流域年平均雨量約 2,400 毫米，每年 10 月至翌年 4 月為枯水期，5 月至 9 月雨量豐沛為豐水期，自山區向沿海遞減。年平均雨量約有 1,200~1,800 公厘雨量集中於夏季佔全年雨量 80% 以上。

(二)溫度

大安河流域，上游冬季年平均溫度 12 度至 18 度之間，夏季約為 20 度至 25 度，而下游冬季平均溫度 16 度至 22 度，夏季則高達 28 度至 32 度間。

(三)濕度

大安河流域內之年平均濕度 75 至 85%；11、12 月最低，5、6 月最高。

(四)流量

歷年平均流量 1467.21 百萬立方公尺/年 (2002 水文年報)，豐水期流量約佔全年總逕流量之 78%。【資料來源:經濟部水利署網站，本文整理。】



圖 1 大安河流域地理位置圖

Figure 1 Da-an River basin geographical position

三、灌溉制度與相關水工構造物

(一)灌溉面積

大安河流域灌區每年計畫供應一期作及二期作水稻用水(含雜作、長年作)屬雙期作區域。大安河流域總灌溉面積 10,733 公頃，其

中 6,151 公頃屬士林堰供水灌區面積。

(二)水稻生育期與用水需求

水稻用水依灌溉用水計畫，可分為秧田用水、整田用水、本田用水等三個階段，水稻用水因生育階段有別，因此所需水分當非完全一致。依水稻種植而言其尖峰用水第一次發生在稻作插秧期之整地期間。而水稻生育期別可分為營養生長期、生殖生長期及生殖結實期，詳如表 1。

若以灌溉水分供給與稻株生產關係程度區分，詳述如下：現行水稻栽培為機器移植，秧苗初建的根系難免遭切斷，成活期湛水狀態有利受傷新根根部促發，幫助其成活且無凋萎之虞，此外，湛水提供熱量積蓄，具有減緩一期作低溫寒害或二期作高溫熱浪危害秧苗的效果，水稻幼株建立後即進入分蘗期，此時期灌溉用水只需提供生長及分蘗用水，因無倒伏顧慮，無需深度湛水。分蘗後期至幼穗形成期之階段，為使有效分蘗達到最大，本時期可用曬田方法，讓多數分蘗成為有效分蘗而提高生產潛能，此時期排水重於灌溉。

稻株在幼穗形成期進行穎花分化，形成胚株、花粉等，在此時期最易受低溫或乾旱危害，因此需水量較高，為稻作最需要灌溉階段，此時期若缺水或乾旱將使穎花分化受阻，幼穗形成困難，減少粒數而降低產量。當稻株進入孕穗期時，需靠根部吸取土壤營養份，因此應予適當輪灌、排水以維持土壤的通透性及稻株生長，此時期需水較低。

抽穗開花期，稻株葉面積為全生育期最大值，蒸散量大所以對水分需求很高，此階

段若缺水將使一穗粒數減少，不利穀粒充實進而影響量產和米質。

乳熟期至糊熟期之間為穀粒充實期，應適量且多次灌溉可減少穀粒不正常避免影響產量。黃熟期及完熟期時，由於蒸散作用減少，可減少灌溉。(陳榮坤等，2005)。

綜觀前述可歸納水稻生長期間對水分敏感時期為整田期、成活期、幼穗形成期、抽穗期等為水稻生育時期最不可缺水的時程，以灌溉管理者之立場，水稻灌溉下列時段為不可缺水之敏感時間，詳如表 2。

(三)相關水工構造物：

大安溪供水系統中主要水工結構物包含鯉魚潭水庫、士林堰、卓蘭發電廠，水路系統依灌區分下列三區其系統相關詳如圖 2。

1.士林堰供水灌區水路系統：卓蘭圳、石壁坑圳、埔尾橫圳、矮山圳、口潭圳、新店圳、七公圳、后里圳、城廓圳、頂店圳。

2.鯉魚潭水庫供水灌區水路系統：鯉魚潭圳、三灌圳(苑裡圳、日南圳、九張犁圳)。

3.公共用水(含工業用水)輸配水系統：發電後由鯉魚潭水庫直接輸送至鯉魚潭淨水場再配送至大台中地區。

表 1 台灣地區水稻各生育期所需天數

Table 1 Days for the growth period of paddy in Taiwan area

期作別	成熟性	整田期	營養生長期				生殖生長期					生殖結實期			
			成活期	分蘗始期	有效分蘗始期	最高分蘗期	幼穗形成期	成穗期	幼穗終期	成穗終期	孕穗期	抽穗期	乳熟期	糊熟期	黃熟期
一期	晚	20	0	18	49	59	55	67	69	83	93	101	111	118	
			10	22	53	60	59	71	82	92	100	110	120	122	
	早	20	0	18	49	53	40	50	52	63	74	83	91	108	
			10	22	53	57	44	54	62	73	82	92	100	112	
二期	晚	20	0	8	29	39	37	47	49	63	73	81	91	98	
			5	12	33	43	41	51	62	72	80	90	100	102	
	早	20	0	8	29	39	26	34	37	44	51	61	71	78	
			5	12	33	41	30	38	43	53	60	70	80	82	

(資料來源:農田水利技術人員訓練教材，1999)

表 2 水稻耕作需水敏感期

Table 2 The sensitive period of water requirement for paddy farming

期作別	一期作				二期作			
敏感期間	整田期	成活期	幼穗形成期	抽穗期	整田期	成活期	幼穗形成期	抽穗期
旬別	6~7	8	12~13	15~16	21~22	23	24~25	27~28

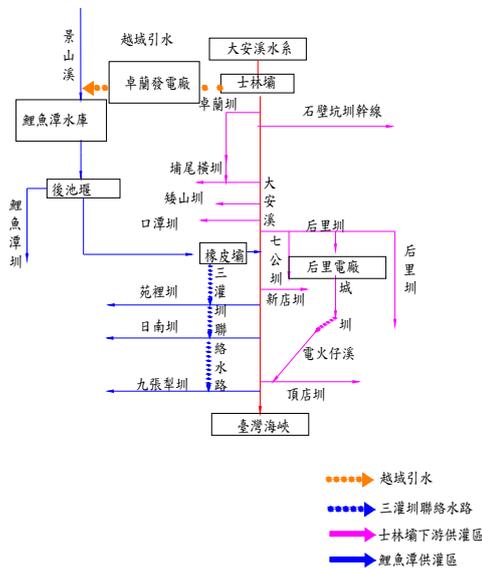


圖 2 大安溪水系灌區系統圖

Figure 2 Da-an River water system irrigation

材料與方法

一、對象地區：大安溪士林堰供水灌區含卓蘭圳、石壁坑圳、埔尾橫圳、矮山圳、口潭圳、新店圳、頂店圳、后里圳、七公圳、城廓圳等圳計 6,151 公頃。

二、資料時間：士林堰營運前(1996~2002)7年;營運後(2003~2009)7年。

三、超越機率分析方法:本研究以大安溪

象鼻(3)流量測站(1991~2009年)日流量紀錄統計成旬流量(即當旬日流量平均值)進行分析,分析各旬流量統計特性,各超越機率所對應流量如 $Pr[Q > QP\%] = P\%$, $QP10 \sim QP40\%$ 為豐水、 $QP41 \sim QP60\%$ 為平水、 $QP61 \sim QP80\%$ 為枯水、 $QP81 \sim QP100\%$ 為乾旱狀態,進而建立旬流量超越機率曲線圖。繪製旬流量超越機率曲線其步驟簡述如下:(一)將 m 筆旬流量觀測資料依大小排序,即 $Q_i=1, Q_i=2, Q_i=3, \dots, Q_i=m$, $Q_i=1 > Q_i=2 > Q_i=3 > \dots > Q_i=m$ 其中 i 為資料序號, m 為資料數目。(二)依 Weibull Method, $P\% = (m/n+1) * 100\%$ 分析第 m 筆流量記錄 $Q_i=m$ 之超越機率百分比。(三)以超越機率發生值為橫軸,流量值為縱軸,將 $Q_i=1, Q_i=2, Q_i=3, \dots, Q_i=m$ 及其對應超越機率 $P(Q_i=1), P(Q_i=2), \dots, P(Q_i=m)$ 點繪於圖上即可得旬流量超越機率曲線。如圖 3。

四、缺水量與缺水率分析:

$S = I_p - R$, $SR = S / I_p$, I_p :灌溉計畫水量, R :實際取水量紀錄, S :缺水量, SR :缺水率

五、影響程度之判斷:

統計士林堰營運前後各七年計 252 旬各不同缺水程度缺水率 25~30%, 31~40%, 41~50%, 51~60%, 61~70%, 71~80%, 81~90%

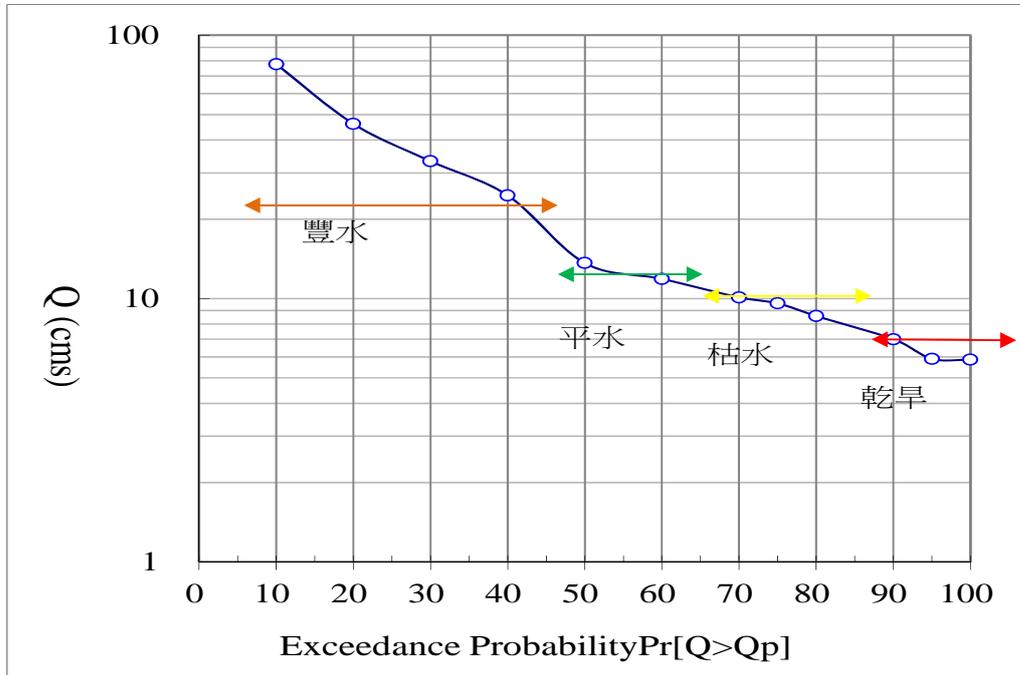


圖 3 旬平均日流量超越機率曲線圖

Figure 3 Exceedance probability curve of ten-day average daily flow

之旬數，並比較前後缺水旬數。

六、分析流程如圖 4。

肆、結果與討論

一、士林堰營運前(1996~2002)及營運後(2003~2009)之各旬天然河川流量 $Q_{p10} \sim Q_{p40\%}$ 為豐水、 Q 介於 $Q_{p41} \sim Q_{p60\%}$ 為平水、 Q 介於 $Q_{p61} \sim Q_{p80\%}$ 為枯水、 Q 介於 $Q_{p81} \sim Q_{p100\%}$ 為乾旱，計算營運前後豐枯狀態之旬數其結果如表 3。

二、士林堰營運前(1996~2002)及營運後(2003~2009)水稻耕作缺水率統計如表 4 及表 5。

三、從表 4 及表 5 得知士林堰營運前後各種比率程度缺水旬數如下表 6，繪成比較圖 5。

四、從表 6 得知營運後缺水總旬數為營運前之 $132/64=2.06$ 倍，尤其缺水率介於 50~60% 間高達 $23/4=5.75$ 倍，故確認士林堰越域引水對下游灌溉影響甚大。

五、水稻尖峯用水期缺水分析本地區水稻尖峯用水期一期作為 6~8 旬，二期作為 21~23 旬，該段期間缺水率大於 25% 統計結果得知士林堰營運前一期作缺水率 25% 者計 7 旬，二期作有 5 旬，而營運後一期作缺水率大於 25% 者計 16 旬，二期作有 18 旬，營運前後在整田尖峯用水時段，二期作缺水旬數增加

為 18/5=3.6 倍而一期作增加為 16/7=2.2 倍。詳見表 7。

六、水稻本田最需水期缺水分析比較

水稻本田最需水時段為幼穗形成期本地區該時段在第一期作為 12~15 旬及 15~16 旬；而第二期作為 24~25 旬及 27~28 旬。就各期作之二段本田最需水時段分析士林堰營運前後缺水率如表 7。從表 8 得知，在一期作之缺水率旬數，營運後為營運前之 23/12=1.92 倍；而二期作更為嚴重，營運後缺水旬數為營運前之 19/5=3.8 倍，但一期作總缺水旬數為 23 旬，高於二期作總缺水旬數之 19 旬，其意義很明顯，二期作係台灣雨季，在士林堰營運前很少缺水(僅出現 5 旬)，但士林堰營運後却出現 19 旬。此實顯士林堰對下游農業用水影響很大。

七、以天然水文超越機率值及營業前後缺水率比較分析營運前後之影響依天然水文超越機率定義枯水狀態及乾旱狀態分析結果(如表 3)，第一期作間 1-18 旬，共有 63 旬：占全期 63/126，第二期作，枯水年及乾旱年計 48 旬，占全期之 48/126；而營運前第一期作缺水有 44 旬，第二期作缺水有 20 旬；營業後第一期缺水 80 旬，第二期作有 52 旬。以上資料列表如表 9。

從表 9 很明顯得知，營運前第一期作枯水及乾旱之旬數占全期之 63/126；而水稻耕作缺水有 44/126，意味著營運前天然流量在枯水及乾旱期，水稻耕作期雖出現缺水，但其缺水旬比例比天然枯水及乾旱旬數少；而營運後水稻耕作期缺水旬比上昇到 80/126，顯示一旦枯乾，水稻耕作期就缺水。而二期作營運前天然枯水乾旱旬比為 48/126，水稻

耕作期缺水旬比例為 20/126，表示河川天然流量枯水乾旱期水稻耕作期不一定會缺水，但營運後期缺水旬數上昇到 52/126，即只要天然枯水乾旱期水稻本田最需水期就一定缺水。該對下游灌溉影響現象與 2005 年農業工程研究中心，受台電公司委託評估花蓮西寶發電廠設廠在萬里溪，同時越域引水自馬鞍溪對馬鞍溪下游灌溉影響結果是相似的。

八、士林堰營運後下游灌區缺水旬數增高原因探討

從上述分析數據得知士林堰營運後對下游灌區影響至巨，促使缺水旬數大大增加，探討原因如下：

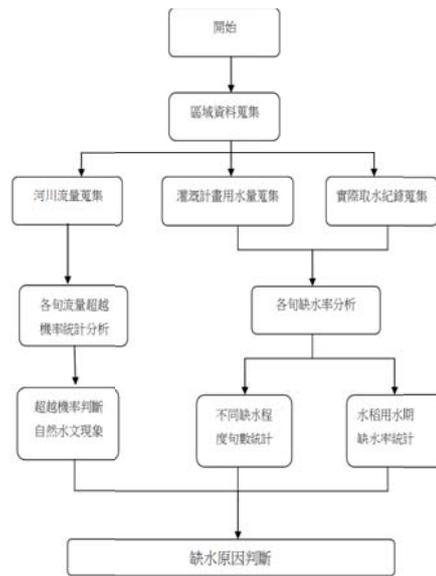


圖 4 分析流程

Figure 4 Analysis flow

(一)士林堰操作者，經常依灌溉計畫 70% 放水，其放水量原本就不足，故在雨季期間，因士林堰下游尚有些河川支流水流入，故能滿足灌溉計畫用水量，如無下雨，則沒有

側向流入，故無法取得計畫用水量。

(二)士林堰操作者，僅依下游灌區各圳計畫用水量總和(或7折)放水，未考慮各圳與士林堰間河川輸水損失(河川滲流及蒸發散量)，尤其在乾旱季節河川輸水損失很大。農田水利會之灌溉計畫用水量係從各圳圳頭之取水量，非遠在士林堰之取水量，故在未降雨時從士林堰放水，其水量遠小於其原來之計畫用水量。

九、改善下游農業用缺水困境對策探討

(一)調整「士林堰供水調度要點」—合理

估算下游保留流量及河道輸水損失(滲漏與蒸發)是絕對存在之自然現象，士林堰下游各圳路口需水量，必須加上自士林堰至圳路口間之距離所需要輸水損失；另從現代生態環境之維護而言，河川生態基流量為絕對必要。無論從河道輸水損失或生態基流量，士林堰下游保留流量均要以農業用水量再加上若比例(或生態基流量)始為合理放水量。該合理下游保留流量本研究推估應為營運前後14年灌溉計畫平均值加台灣電力公司推估河川最小基流量2.7cms(當作河道輸水損失)減士林堰下游側向流入量，該推估值與水

表3 天然河川流量豐枯狀態統計表

Table 3 Statistics of natural hydrological phenomena in flood and dry seasons

營運前後	期作別	一期作(1-18 旬)				二期作(19-36 旬)			
	豐枯年	乾旱旬數	枯水旬數	平水旬數	豐水旬數	乾旱旬數	枯水旬數	平水旬數	豐水旬數
營運前	1996	3	6	5	4	6	3	1	8
	1997	9	4	2	3	1	7	4	6
	1998	1	5	4	8	6	3	1	8
	1999	4	3	6	5	4	4	5	5
	2000	2	5	6	5	2	4	3	9
	2001	1	2	7	8	1	1	4	12
	2002	14	4	0	0	1	5	8	4
	合計	34	29	30	33	21	27	26	52
營運後	2003	8	3	4	3	15	3	0	0
	2004	9	1	0	8	3	3	5	7
	2005	0	5	5	8	2	0	0	16
	2006	0	0	0	18	12	2	0	4
	2007	1	1	7	9	1	1	4	12
	2008	9	5	4	0	9	0	0	9
	2009	4	2	0	12	6	8	2	2
	合計	31	17	20	58	48	17	11	50

表 4 士林堰越域引水前(1996~2002)水稻耕作缺水率統計

Table 4 The ratio of water deficiency for paddy farming before the cross-basin abstraction of Shih-Lin Weir (1996~2002)

年別 旬別	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	小計缺 水旬數
1	42.6	38.5	35.2		32.4			4
2		36						1
3								0
4								0
5								0
6								0
7		26.3		40.5			32.1	3
8		36.8	30.3		40.6			3
9		29.8	25.8		43.1	31.6	57.7	5
10				31.5	29.8		35.3	3
11				31.5	38.3		37.8	3
12				37.3	42	29.5	43.8	4
13				31.4	53.3		53.4	3
14					30.3		41.6	2
15		25.2		29.1	36.3			3
16			57.5	29.5	24.7			3
17		77.2	38.4	28.1	47.8	40.2	27.7	6
18		29.4						1
	小計							44
19		38.9	26.8	38.9	25.7		39.3	5
20								0
21								0
22	89.3			25.3		49.6		3
23		28.9				30.3		2
24		66.4			34.7	36.1		3
25		26.1						1
26						36.3		1
27						71.1		1
28								0
29			45.2					1
30								0
31								0
32								0
33								0
34	26.7							1
35	33.6							1
36		25.4						1
	小計							20
合計缺水旬數	4	13	7	10	13	8	9	64

表 5 士林堰越域引水後(2003~2009) 水稻耕作缺水率統計

Table 5 The ratio of water deficiency for paddy farming after the cross-basin abstraction of Shih-Lin Weir(2003~2009)

年別 旬別	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	小計缺 水旬數
1		25.7		39.5				2
2				39.9				1
3			27.8	38.8				2
4				41.2			40.1	2
5				38.1			32.5	2
6			42	45.2			48.9	3
7	36.1	29.2	31.5	47.6		43.5	51	6
8	57.2	51.3	30.4	64	33.4	61	59.9	7
9	54.2	50.6		46.3	35.5	69	46	6
10	30.5		25.4		40.2	53.5	48	5
11	52.2	35.3	26.3	50.9	29.5	40.4	47.1	7
12	39.3	30.5		50.5		45.3	75	5
13	34.7	30.8	41.4	44.1		41.9	31.8	6
14	27.9	29.5	72.3	40.8		38.6	34.7	6
15	40.4	31.5	37.4	43.7		45.4	27.6	6
16	25.7		32.4	80.4	64	42.8	52.5	6
17	40.3		66.6	61	56	50.8	35.6	6
18					30.2		28	2
小計								52
19		72						1
20				41		32.1		2
21		32.4	51.9	38.6		61		4
22	30.3	34.3	55.7	36.9	38.1	38.4	59.7	7
23	29.5	50.3	31.9	27.9	80.9	35.8	65.3	7
24	29	74	33.9		51.9	30.7	35.5	6
25	28.1	49.8	56.9			31.5	27.1	5
26	25.6	34.8		32	47.5	76		5
27					62	53.7	31.6	3
28	34.5		50.1		53.9	62	35.3	5
29	32				41.3	25.9	29.7	4
30								0
31								0
32								0
33								0
34							29.5	1
35						25.4		1
36			56.9					1
小計								80
合計缺水旬數	18	16	18	21	14	22	23	132

表 6 士林堰營運前後不同程度缺水率之旬數統計

Table 6 The ten-day periods of various water shortages before and after the operation of Shih-Lin Weir

缺水率%	Weir							總計旬數
	25~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~90	
營運前後								
營運前	18	26	11	4	2	2	1	64
營運後	21	44	27	23	10	5	2	132

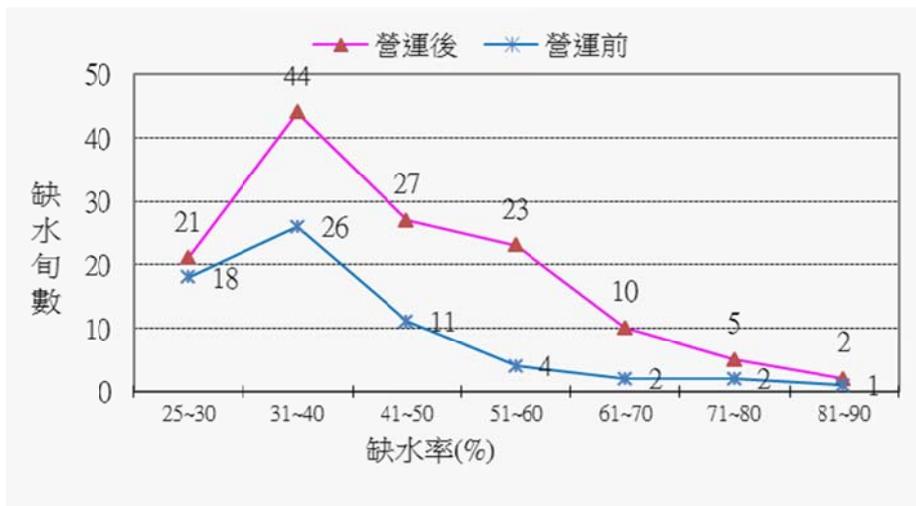


圖 5 士林堰供水灌區缺水率趨勢圖

Figure 5 Shihlin Dam Irrigation Water Shortage Trends

利局 1990 年在「苗栗縣鯉魚潭水庫第二期工程規劃報告」所建議士林堰引水基準頗為吻合，詳如表 10 所列。

(二)開闢平地貯水設施：

從士林堰營運至今所發生缺水紀錄及大台中市合併人口集中及近年產量發展（中科園區之開發）可預知大台中的工業用水會日益增加，而台中地區幾無新水源，可預見大台中地區水資源調度會更加困難。而 2020 年估計

為世界糧荒之開始，故農糧生產也是不容忽視。解決農糧生產用水及公共用水之道；依水稻耕作用水敏感期得知只要在敏感期充分供水，其他期間可允許少供水就以此觀點探討解決之道。如在灌溉系統適當地方建造調整貯水池，在豐水年貯存水量，補充敏感期枯水不足水量，則可降低因敏感期缺水之減產。依上論在渠首工之公有地或利用土地重劃手段在渠首地方規劃調整貯水池應可改善缺水困難。

表 7 士林堰營運前後水稻尖峰用水期缺水率統計表

Table 7 The ratio of water deficiency in the peak water requirement for paddy farming before and after the operation of Shih-Lin Weir

一期作尖峰用水期缺水率						二期作尖峰用水期缺水率					
越域引水前			越域引水後			越域引水前			越域引水後		
年	旬	缺水率%	年	旬	缺水率%	年	旬	缺水率%	年	旬	缺水率%
1996	6		2003	6		1996	21		2003	21	
	7			7	36.1		22	89.3		22	30.3
	8			8	57.2		23			23	29.5
1997	6		2004	6		1997	21		2004	21	32.4
	7	26.3		7	29.2		22			22	34.3
	8	36.8		8	51.3		23	28.9		23	50.3
1998	6		2005	6	42	1998	21		2005	21	51.9
	7			7	31.5		22			22	55.7
	8	30.3		8	30.4		23			23	31.9
1999	6		2006	6	45.2	1999	21		2006	21	38.6
	7	40.5		7	47.6		22	25.3		22	36.9
	8			8	63.5		23			23	27.9
2000	6		2007	6		2000	21		2007	21	
	7			7			22			22	38.1
	8	40.6		8	33.4		23			23	80.9
2001	6		2008	6		2001	21		2008	21	60.9
	7			7	43.5		22	49.6		22	38.4
	8			8	60.5		23	30.3		23	35.8
2002	6		2009	6	48.9	2002	21		2009	21	
	7	32.1		7	51		22			22	59.7
	8	62.7		8	59.9		23			23	65.3
合計缺水率 >25%旬數		7	合計缺水率 >25%旬數		16	合計缺水率 >25%旬數		5	合計缺水率 >25%旬數		18

表 8 士林堰營運前後水稻本田期最需水期缺水率統計表

Table 8 The ratio of water deficiency in the water requirement periods for paddy farming before and after the operation of Shih-Lin Weir

一期作本田期最需水期缺水率						二期作本田期最需水期缺水率					
越域引水前			越域引水後			越域引水前			越域引水後		
年	旬	缺水率%									
1996	12		2003	12	39.3	1996	24		2003	24	29
	13			13	34.7		25			25	28.1
	15			15	40.4		27			27	
	16			16	25.7		28			28	34.5
1997	12		2004	12	30.5	1997	24	66.4	2004	24	74.1
	13			13	30.8		25	26.1		25	49.8
	15	25.2		15	31.5		27			27	
	16			16			28			28	
1998	12		2005	12		1998	24		2005	24	33.9
	13			13	41.4		25			25	56.9
	15			15	37.4		27			27	
	16	57.5		16	32.4		28			28	50.1
1999	12	37.3	2006	12	50.5	1999	24		2006	24	
	13	31.4		13	44.1		25			25	
	15	29.1		15	43.7		27			27	
	16	29.5		16	80.4		28			28	
2000	12	42	2007	12		2000	24	34.7	2007	24	51.9
	13	53.3		13			25			25	
	15	36.3		15			27			27	62.3
	16			16	64.3		28			28	53.9
2001	12	29.5	2008	12	45.3	2001	24	36.1	2008	24	30.7
	13			13	41.9		25			25	31.5
	15			15	45.4		27	71.1		27	53.7
	16			16	42.8		28			28	61.6
2002	12	43.8	2009	12	74.5	2002	24		2009	24	35.5
	13	53.4		13	31.8		25			25	27.1
	15			15	27.6		27			27	31.6
	16			16	52.5		28			28	35.3
合計缺水率 >25%旬數		12	合計缺水率 >25%旬數		23	合計缺水率 >25%旬數		5	合計缺水率 >25%旬數		19

註:表 4、5、7、8 空白表示實際取水量 ≥ 0.75 (計畫用水量)即無缺水現象

表 9 天然水文枯水及乾旱旬數與營業前後缺水旬數比較表

Table 9 The comparisons between the ten-day periods of the natural hydrological phenomena in dry season and drought and the ten-day water shortage before and after the operation

期間	一期作		二期作	
營運前後	天然水文乾旱、枯水旬數	水稻耕作缺水旬數	天然水文乾旱、枯水旬數	水稻耕作缺水旬數
營運前	63/126	44/126	48/126	20/126
營運後		80/126		52/126

表 10 士林堰下游保留流量推估比較表

Table 10 The estimation of downstream reserved flow of Shih-Lin Weir

推估別	原推估下游保留流量(C.M.S)				本研究推估下游保留流量(C.M.S)			
月別	旬別			旬平均	旬別			旬平均
	上旬	中旬	下旬		上旬	中旬	下旬	
1	6.2	6.2	6.2	6.2	6	6	6	6
2	6.2	6.2	6.2	6.2	6	6	7	6.3
3	7	11	11	9.7	10	14	13	12.3
4	11	11	11	11	10	10	13	11.0
5	14	14	14	14	12	9	13	11.3
6	14	14	14	14	10	7	6	7.7
7	6.2	6.2	6.2	6.2	7	5	14	8.7
8	6.2	6.2	6.2	6.2	14	12	14	13.3
9	6.2	6.2	14	8.8	13	9	12	11.3
10	14	14	14	14	14	10	10	11.3
11	11	7	6.2	8.1	7	5	5	5.7
12	6.2	6.2	6.2	6.2	6	6	6	6
年平均				9.21	年平均			9.25

結論與建議

一、結論

(一)從總缺水旬數士林堰營運後為營運前之 $132/64=2.06$ 倍；而在缺水率 50%~60% 間高達 5.75 倍；而在水稻耕作尖峰用水期，士林堰營運後，其缺水旬數為營運前倍數，一期作為 2.2 倍，二期為 3.6 倍；而本田最需水時段之缺水旬倍數，一期為 1.92 倍，二期為 3.8 倍。以上數據很清楚顯示，士林堰營運前缺水受自然水文現象影響，主要缺水時段為一期作水稻耕作尖峰用水時間(整田及成活期)，但士林堰營運後，不但未改善營運前之缺水狀況，甚至使原本不太缺水之二期作，也出現頻繁缺水。故士林堰越域引水，係確有影響下游農業灌溉。

(二)水資源為國家所有為水利法之規定(水利法第 2 條)，故為地區綜合發展，國家調配自然水資源乃理所當然；但水權有先後次序，後者影響前者之利益應當有所補償亦是水利法明文規定(水利法第 20-1 條)，故水資源調配權責機關應正視農民權益及水利法相關規定，謀籌兩全其美之辦法，至少應為雙方皆可接受合理辦法。

二、建議

(一)考慮河川輸水損失、生態基流量及調整士林堰下游保留流量

改善士林堰對下游灌區造成缺水影響，最簡單有效的方法為士林堰放流給下游水量，必須依權溉計畫用水量加河川輸水損失及河川基流量。

(二)建立分區休耕制度並合理補償農民

一期作之缺水，本就是枯水期，縱有調蓄水池也難以解決。如各用水標的均按天然水文缺水比例配水，此為自然缺水，農民當然不能要求任何補償，但若僅農業用水打折配水，其他標的均按計畫用水量配水，此極為不公平，且也不合水資源合理高效率原則，概農業用水勿論係地下滲入或往大氣之蒸發、蒸散，均為無污染可供下游再利用之生產性用水。故不按比例的調配農業用水，使用者必須付費。而要使此一調配順利進行，水資源調配機關宜與農田水利會合作，請水利會事先針對水資源缺水比例，劃分休耕區塊，一旦逢遇乾旱，則可依缺水比例進行計畫性休耕。

(三)增設平地調蓄水池因應水稻灌溉敏感期

解決區域水資源缺乏之根本做法，當然是開源節流，而農業用水有時段性，尤其二期作水稻期間正是台灣雨季，其實在此段期間如有調蓄水池，則很容易改善缺水現象。然調節設施需要用地，為取得農業調蓄水池用地，建議進行農地重劃，而農業用調蓄水池用地價購經費，應由調撥農用水之用水標的者負擔。

參考文獻

1. 台灣省水利局(1990)，台灣省水利局規劃總隊，「苗栗縣鯉魚潭水庫第二期工程規劃報告」，第 107-109 頁。
2. 經濟部水利署(1991-2009)，「水文年報」。
3. 台中農田水利會(1996-2009)，「計畫用

- 水量及實際取水量歷年旬報表」。
4. 洪念民、童慶斌、譚義績(1998)，「氣候變遷對台中水利會大安溪灌渠缺水率之影響」，台灣水利，第 46 卷第 2 期，第 55 頁。
 5. 黃文政、楊富堤(1999)，「區域化序率水文推估模式之研究」，第十屆水利工程研討會論文集。
 6. 農田水利聯合會(1999)，「農田水利技術人員訓練教材」，第 12 冊，第 13-16 頁。
 7. 行政院農業委員會(2001)，「灌溉排水營運管理」，第 3-18 頁。
 8. 農田水利聯合會(2003)，「農田水利會現行相關法規彙編」，第 11-13 頁。
 9. 陳榮坤、楊純明(2005)，「水稻節水栽培之可行性探討(二)灌溉對水稻生產影響」，農業試驗所技術服務季刊，第 61 期，第 1-5 頁。
 10. 經濟部水利署中區水資源局(2005)，「大安溪及大甲溪水資源聯合運用規劃報告」，第 3-17 頁。
 11. 徐元棟、黃振昌(2005)，「休耕農地維持水田農業多樣性機能之探討-以新竹地區為例」，水稻田農業多樣性機能研討會，第 176 頁。
 12. 陳獻、林垂鈺、陳豐文、周鉅峰(2005)，農業工程研究中心，「西寶水力發電廠對萬里溪及馬鞍溪下游農田灌溉及公共用水影響評估及因應對策」。
 13. 陳豐文、陳獻(2007)，「為因應水利會多角化經營加強調整及灌溉管理節約用水規劃」。
 14. 台中農田水利會會誌(2009)，第 653 頁。
 15. 相關網站 <http://www.wra.gov.tw/>
-
- 100 年 06 月 07 日收稿
100 年 06 月 08 日修改
100 年 06 月 13 日接受

水土保持學報43(4) : 411 – 428 (2011)

Journal of Soil and Water Conservation , 43 (4) : 411 - 428 (2011)