

河川流域長期雨量及流量對水資源變化之影響

林文英⁽¹⁾ 林俐玲⁽²⁾

摘要

台灣地區各種用水主要取自河川及水庫，而水源多仰賴降雨量之補注，本研究主要藉由長期雨量及流量資料收集，探討基隆河流域及濁水溪流域的水資源變化情形。根據歷年平均雨量記錄，基隆河流域長期雨量變化顯然有遞減的趨勢，但是流量記錄顯示卻呈現遞增現象；濁水溪流域長期雨量變化雖然有遞增的趨勢，但流量記錄顯示卻呈現上游段流量變化不明顯、中游段流量有遞增趨勢、下游段則呈現遞減現象；綜合本研究分析結果顯示，全省雨量變化是呈現遞減趨勢，而此趨勢表示河川流域長期雨量及流量變化已暗示水資源減少。

(**關鍵詞**：河川流域，雨量，流量，水資源)

The Study of River Basin Long-Term Rainfall and Discharge Effect on Water Resource Variation

W.Y. Lin⁽¹⁾, L.L. Lin⁽²⁾

Candidate⁽¹⁾ and Professor⁽²⁾, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, R.O.C.

Abstract

The water used mainly takes from the river and the reservoir in Taiwan, and the water source was depended on the rainfall supply. The long term rainfall and runoff records were collected to investigate the variation of water resource in Keelung River and Jhuoshuei River. According to historical record, the long-term rainfall decreased obviously, but the runoff increased in Keelung River. The Jhuoshuei River has opposite phenomenon. However, the totally results showed that the rainfall has the tendency of decrease in the whole island, and the weather change influenced the rainfall distribution and amount, which may imply the crisis of water resource shortage.

(**Key words** : river basin , rainfall , runoff , water resource)

⁽¹⁾ 國立中興大學水土保持學系博士候選人

⁽²⁾ 國立中興大學水土保持學系博士教授

一、前言

近年來由於全球氣候變遷因素，導致世界各地季節時序產生暖冬現象，因此氣候異常愈趨明顯。台灣位於亞熱帶地區，屬於多雨之島國，水資源應較豐沛，但由於土地資源為山多平原少且地形陡峭，使得水資源容易流失，故河川在本島則扮演補注水源的重要角色。

台灣地區近十年來幾乎每遇颱風即帶來豐沛水量，但也同時帶來災害，而沒有颱風雨量補充的河川，水源則易蒸發流失。欲探討河川流域降雨量的長期變化可以歷史資料分析，但欲了解雨量是否直接補注於河川流量尚須考慮其它因素。土地利用的改變也會對逕流產生影響，而逕流係數常用於探討集水區產生逕流的潛勢能力評估。

Bosch et al. (1982) 統計全球 94 個集水區實驗發現，森林覆蓋的減少會使逕流量增加。不同植被覆蓋亦有不同的影響，如每減少 10% 的針葉林覆蓋面積，會增加約 40mm 的年逕流深度；每減少 10% 的闊葉林覆蓋面積，會增加約 25 mm 的年逕流深度；而每減少 10% 的灌木或綠地覆蓋，年逕流量深度會增加約 10mm。

Savenije(1996)推求逕流係數與水分循環之關係式，說明在低逕流係數的流域中每個水分子都會被重複再利用。集水區因砍伐森林、農業的發展、都市化的形成，導致蒸發散減少或集水區的逕流量增加，將會使降雨量減少，而集水區內的水循環是直接受到土地利用的影響，特別是在半乾燥或是在乾燥的地區，水

分循環是降雨的重要來源。

另外降雨強度在時間與空間上的變化會影響集水區逕流量的時空變化，當降雨強度大於土壤的入滲率時，部份的降雨會產生地表逕流；反之若降雨強度小於土壤的入滲率時，降雨大都會入滲到土壤而不會形成地表逕流。Wainwright et al. (2002) 在不同坡長的條件下，探討降雨強度的時間變化對逕流係數的可能影響。研究結果證明降雨強度的時間變化是控制逕流係數的主要因素。Rose (1998) 利用假設檢定(hypothesis testing)的方法分析不同臨前降雨條件下對逕流的影響，收集美國喬治亞州海岸平原1948 至1994 年的水文資料，探討在暴雨和乾旱事件後逕流比值的變異，發現從乾旱事件後恢復到正常降雨狀態時的逕流比值需要1-2 年的時間；而在暴雨的狀態下則需要2年以上的時間恢復到正常的逕流比值。

二、材料與方法

本研究選定北部基隆河流域及中部濁水溪流域作為分析比較對象，分析年限則以流域內有記錄的測站起訖年所有資料做為基礎，但為了分析雨量及流量變化情形尚須考量相關影響因子，故藉由水文循環示意圖(如圖 1)說明雨量與流量關係，由圖中可以得知氣候變遷影響的結果會改變水資源的豐枯情形。

1. 資料收集

①測站資料：為了計算兩個流域的年平均雨量，先以徐昇氏多邊形法展繪出基隆河流域及濁水溪流域之測站分佈圖，再進一步求算流域之平均雨量，分析資料如表 1。

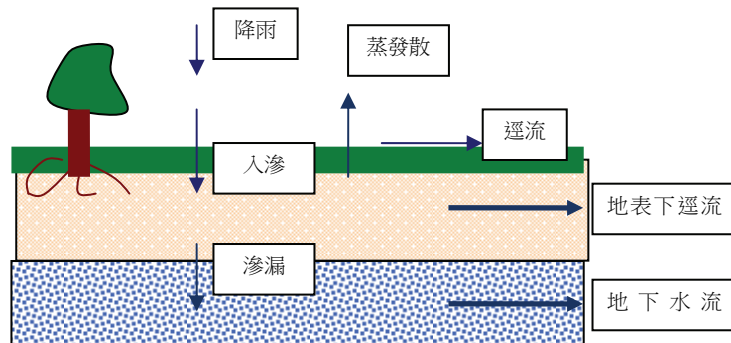


圖 1 水文循環示意圖

Figure 1. The hydrologic cycle chart.

表 1 流域測站年平均雨量資料

Table 1. The basin station annual mean rainfall material

年度	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	平均
全省雨量	1,605	2,630	1,914	2,860	2,183	3,322	2,081	2,332	3,077	1,572	1,689	1,572	---	2,236
基隆河雨量	---	---	---	---	3,040	5,248	2,795	4,354	3,825	2,408	2,190	3,850	4,106	3,535
濁水溪雨量	1,553	2,383	1,784	2,052	2,115	2,762	2,028	2,005	2,283	1,600	1,460	2,379	2,934	2,103

資料來源：中央氣象局、水利署、台灣電力公司

②雨量資料：因為雨量站記錄年限不一，故本研究以克利金法將流域內測站所有記錄值進行分析，並以等雨量線方式展繪年雨量分佈圖

(如圖 2、圖 3)，由此判斷流域內之年雨量分佈。(雨量資料來源主要是透過水利署及中央氣象局網站取得)

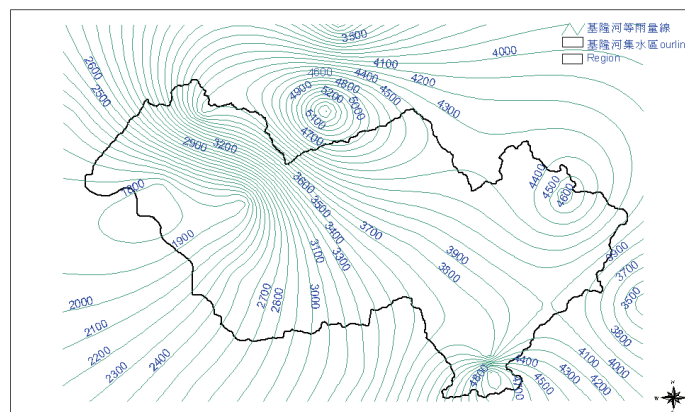


圖 2 基隆河流域等雨量分佈圖

Figure 2. The rainfall distribution chart in Keelung River

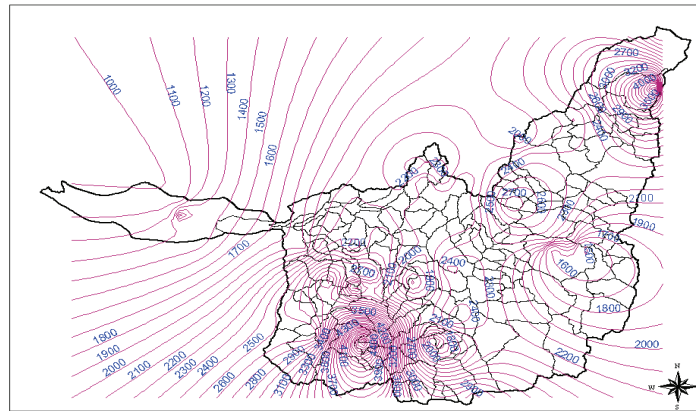


圖 3 濁水溪流流域等雨量分佈圖

Figure 3. The rainfall distribution chart in Jhuoshuei River

③流量資料：本研究收集的流量資料顯示，基隆河流域流量資料僅有介壽橋站(上游)及五堵站(下游)。濁水溪流流域流長較長，為了解全流域流量變化是否一致性，故分別取上游段(武界進水站)、中游段(玉峰橋站)及下游段(彰雲橋站)分析其歷年流量變化。(流量資料來源為水利署「台灣地區河川流量站資料庫」)

④土地利用資料：由於土地利用狀況會直接影響逕流量，進而影響河川基流量，所以本研究

收集水土保持局及內政部之土地利用數化資料，並以ArcView 3.2軟體判釋基隆河流域及濁水溪流流域範圍內各種土地利用分佈，以作為雨量及流量變化分析結果後的驗證資料。

⑤土壤資料：土壤質地會影響降雨入滲率，因此收集土壤資料可以判斷流域內潛在河川基流量的分佈區域。本研究是採用美國農部(USDA)土壤質地劃分方法進行基隆河流域及濁水溪流流域土壤質地的比較(如表 2)。

表 2 基隆河流域與濁水溪流流域土壤質地面積比較表

Table 2. Comparison of soil texture in Keelung River and Jhuoshuei River

質地名稱	基隆河流域		濁水溪流流域	
	分佈面積(m ²)	%	分佈面積(m ²)	%
石礫	0	0	385,513,919	7.12
坩質粘土、砂質粘土	0	0	495,697,573	9.16
坩質壤土、坩土	107,832,505	10.24	508,372,881	9.39
砂質粘壤土	6,252,541	0.59	1,663,265,531	30.72
粗砂土、砂土	31,685,673	3.01	77,399,200	1.43
細砂土、壤質砂土、壤質粗砂土	427,949	0.04	199,948,706	3.69
粘土	86,144,329	8.18	97,639,030	1.80
粘質壤土、坩質粘壤土	133,688,592	12.70	9,796,265	0.18
極細砂土、壤質極細砂土、極細砂質壤土	17,236,580	1.64	386,037,660	7.13
壤土	616,374,718	58.55	1,332,645,238	24.62
壤質細砂土、粗砂質壤土、砂質壤土、細砂質壤土	53,122,022	5.05	257,250,400	4.75
合計	1,052,764,909	100	5,413,566,403	100

2.分析方法

(1)徐昇氏多邊形法(Thiessen polygons method)

流域平均雨量為重要的水文資料之一，而流域內有多個雨量站，為了解長期降雨趨勢演變及流域平均雨量，本研究採用徐昇氏多邊形法計算。此法係將 n 個測站連接形成多個三角形，再做三角形各邊之垂直平分線，三垂直平分線必交於一點即三角形外心，連接各三角形外心即可形成 n 個多邊形網，求出各水文站之控制面積，再由其公式計算流域之平均雨量，公式如下：

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i A_i}{\sum_{i=1}^N A_i}$$

P_i：各水文站之雨量記錄

A_i：各水站控制之多邊形面積

(2)克利金法(Kriging Method)

為了解流域內雨量的空間分佈狀況，本研究以 SURFER 8.0 版中的克利金法求出流域的等雨量線圖，藉此了解流域範圍內的雨量分佈。克利金法因具有最佳線性不偏推估之特性，因此常被使用在地理統計相關之推估應用，以下簡述克利金法之推估公式：

●線性(Linear)：估計值為觀測值之線性組合。

$$Z_0^* = \sum \lambda_{0i} Z_i^n$$

Z_i:隨機變數 Z(x)在 x_i 點上之觀測值，即 Z(x_i)

Z₀^{*}:為 Z(x₀)之推估值，即 Z*(x₀)

λ_{0i}:為對應 Z_i之權重

●不偏估(Unbiased):估計值之期望值等於隨機變數之期望值。

$$E[Z_0^*] = E[Z_0], \text{即 } E[Z_0^* - Z_0] = 0$$

●最佳化(Optimal)：估計值與觀測值差之變異數為最小值。

$$\min \{ \text{Var}[(Z_0^* - Z_0) = E(Z_0^* - Z_0)^2] \}$$

(3)移動平均法(Method of moving average)

長期距雨量變化可以用「移動平均法」來判斷其趨勢，移動平均法可以表示某測站在某特定時期內之記錄與全期記錄之相關性，若移動年限選定為 n 年，則 n 年之移動平均如下：

$$(1/n) (P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n)$$

點於(n+1)/2 年之位置，下一個移動平均如下：

$$(1/n) (P_2 + P_3 + P_4 + \dots + P_{n+1})$$

點於[(n+1)/2]+1 年之位置，以此類推。

本研究為了增加研判河川流域豐枯趨勢的合理性，以五年之移動平均來看變化趨勢，基隆河流域選定上游的瑞芳站及中游的五堵站進行分析；濁水河流域則選定上游的武界進水站、中游的水里站及下游的西螺站進行分析。

三、結果與討論

由本研究所收集的資料經過分析後，基隆河流域及濁水河流域長期雨量及流量變化情形有下列趨勢：

(一)長期雨量變化趨勢

根據表 1 的雨量記錄以徐昇氏法求算流域

平均雨量，結果顯示基隆河流域長期雨量變化呈現遞減趨勢(如圖 4)，其平均年雨量為 3,535mm，高於全省年平均雨量 2,236mm；濁水溪流域長期雨量變化呈現遞增趨勢(如圖 5)，其平均年雨量為 2,103mm，低於全省年平均雨量 2,236mm。由圖 6 所示，全省雨量變化是呈現遞減趨勢，此結果顯示近年氣候變遷已明顯改變台灣地區的降雨量，而且可能致使水資源量減少。

(二)長期流量變化趨勢

基隆河流域流量資料僅收集到介壽橋站(上游)及五堵站(下游)，分析其歷年流量變化趨勢顯然有增加之現象(如圖 7)；濁水溪流域

流長較長，為了解全流域流量變化是否一致性，故分別取上游段(武界進水站)、中游段(玉峰橋站)及下游段(彰雲橋站)分析其歷年流量變化，結果顯示上游段流量變化不明顯；中游段流量有遞增趨勢；下游段則呈現遞減現象(如圖 8)。

(三)河川流域豐枯趨勢

由五年移動平均研判河川流域豐枯情形，基隆河流域以上游的瑞芳站、中游的五堵站及下游的淡水站進行分析，結果如圖 9、圖 10、圖 11；濁水溪流域則選定上游的武界進水站、中游的水里站及下游的西螺站進行分析，結果如圖 12、圖 13、圖 14。

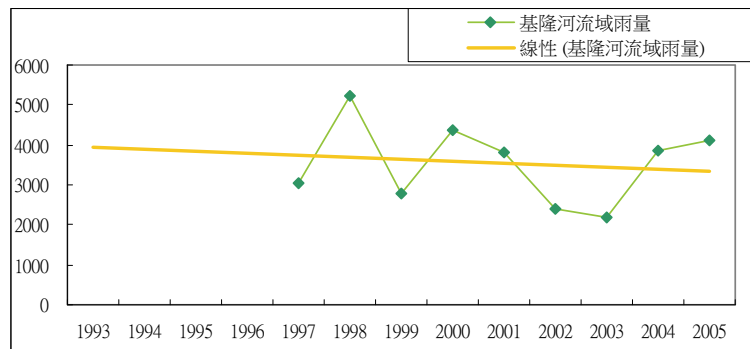


圖 4 基隆河流域平均年雨量趨勢圖

Figure 4. Annual mean rainfall tendency chart in Keelung River

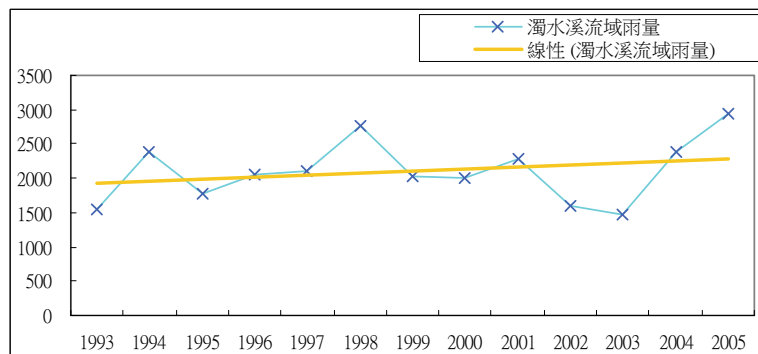


圖 5 濁水溪流域平均年雨量趨勢圖

Figure 5. Annual mean rainfall tendency chart in Jhuoshuei River

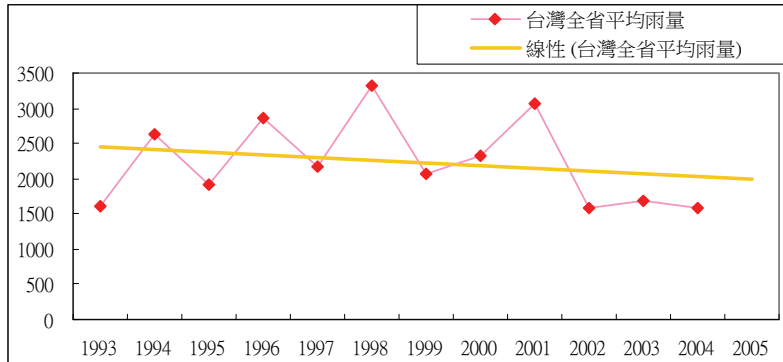


圖 6 全省平均年雨量趨勢圖

Figure 6. Annual mean rainfall tendency chart in Taiwan

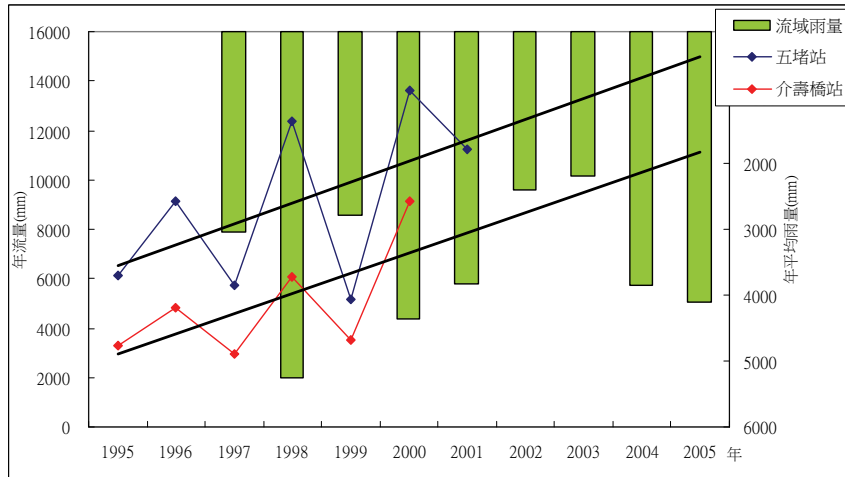


圖 7 基隆河流域流量變化趨勢圖

Figure 7. The discharge change tendency chart in Keelung River

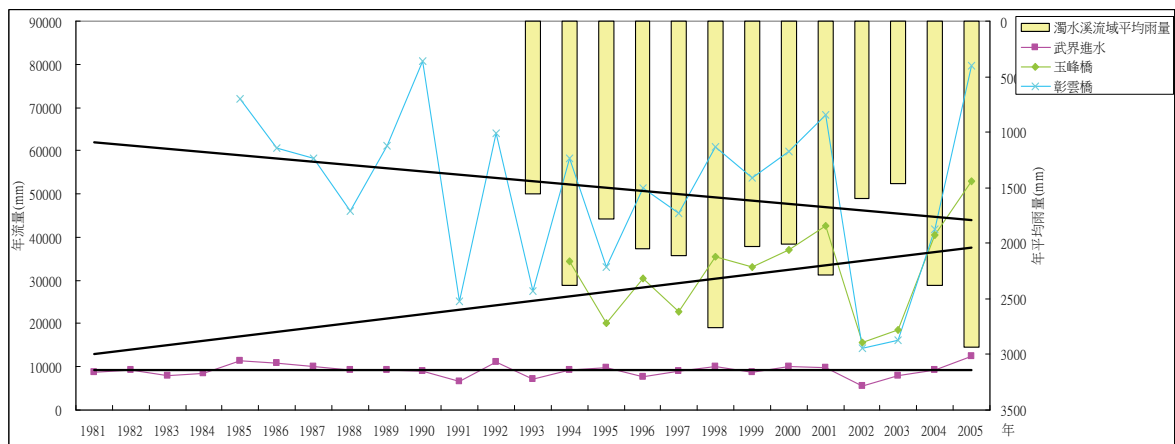


圖 8 濁水溪流域流量變化趨勢圖

Figure 8. The discharge change tendency chart in Jhuoshuei River

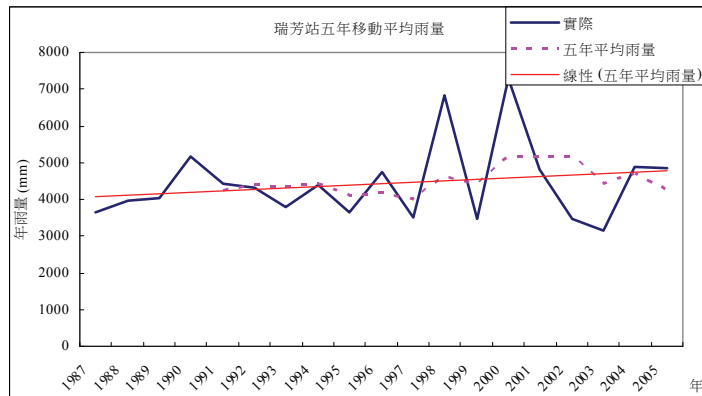


圖 9 瑞芳站五年移動平均雨量變化趨勢圖

Figure 9. Juifeng station 5-year rainfall of moving average tendency chart

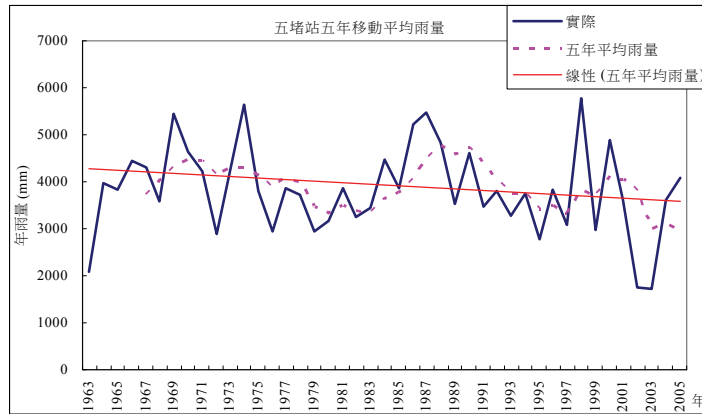


圖 10 五堵站五年移動平均雨量變化趨勢圖

Figure 10. Wu-Tu station 5-year rainfall of moving average tendency chart

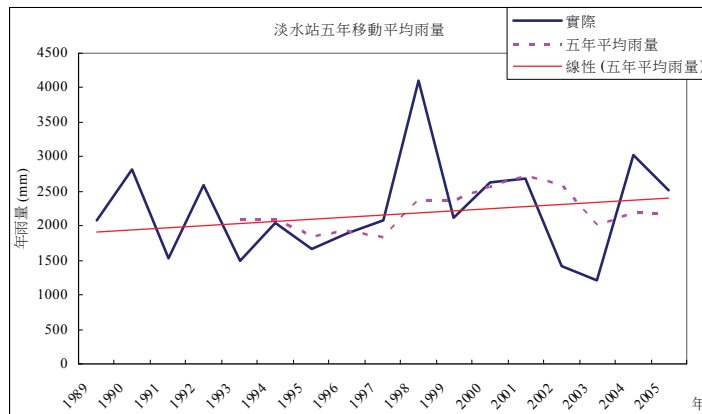


圖 11 淡水站五年移動平均雨量變化趨勢圖

Figure 11. Tanshui station 5-year rainfall of moving average tendency chart

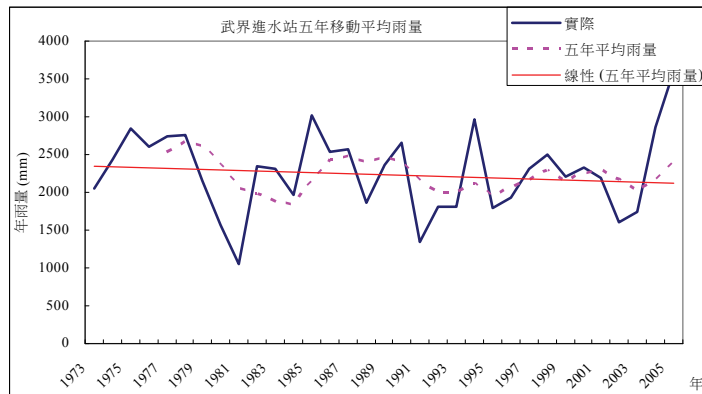


圖 12 武界進水站五年移動平均雨量變化趨勢圖

Figure 12. Wu-Chieh station 5-year rainfall of moving average tendency chart

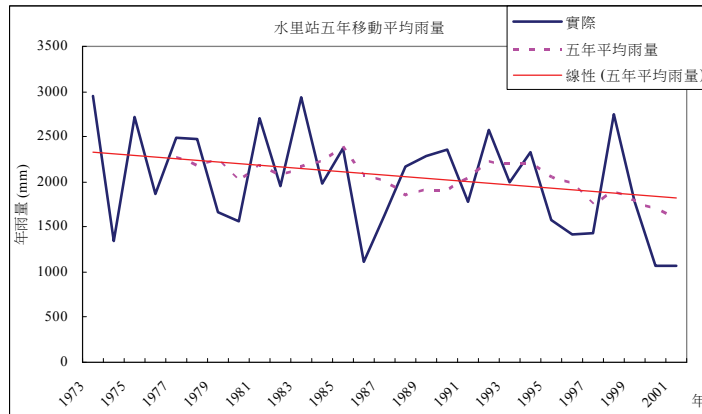


圖 13 水里站五年移動平均雨量變化趨勢圖

Figure 13. Shui-Li station 5-year rainfall of moving average tendency chart

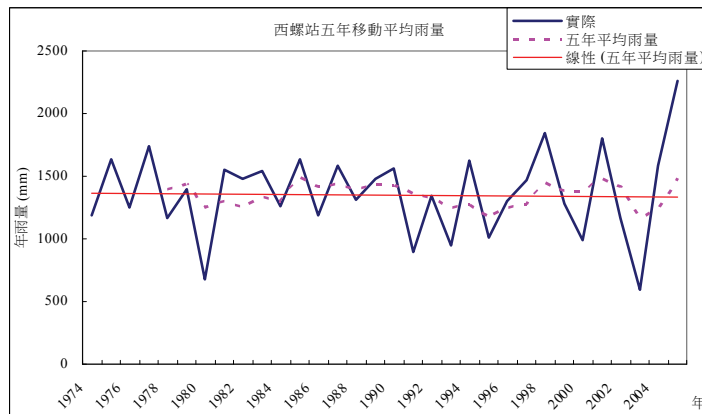


圖 14 西螺站五年移動平均雨量變化趨勢圖

Figure 14. Hsilo station 5-year rainfall of moving average tendency chart

四、結論與建議

(一)根據歷年平均雨量記錄，基隆河流域長期水文變化情形顯然有遞減的趨勢，但流量記錄顯示卻呈現遞增現象，探討此原因可能是土地利用改變導致地表逕流量增加。

(二)根據歷年平均雨量記錄，濁水溪流域長期水文變化情形雖然有遞增的趨勢，但流量記錄顯示卻呈現上游段流量變化不明顯、中游段流量有遞增趨勢、下游段則呈現遞減現象，探討此原因有二種可能，其一是中游段土地利用改變(包括災害造成的土地變遷)導致流量增加；其二是下游段居民大量使用河川引水灌溉作為農業耕作或抽用地下水導致流量遞減。經研究成果顯示，如果欲提升地下水補注量建議可以由下列兩點深入探討：

- 1.例如基隆河流域因都市化較深，但是沿著流域兩側大都為建築用地，其河川流量呈現出極顯著的遞增趨勢(如圖 7)，此現象代表著土地貯水能力不足，而地表逕流皆快速流入河川，因此欲提升地下水貯蓄量建議於上游較未干擾之農業土地設截留設施(如緩衝綠帶或保留平地水田及坡地梯田)，使地表水可以停留時間較久，增加入滲率。
- 2.濁水溪流域面積廣達 3,155 平方公里，雖然農業用地佔大部分土地面積，但也因此農業用水佔用大部分水資源量，加上受地形地質條件影響，上中下游才會有流量變化不一致的情形(如圖 8)。究其原因主要為上游地區因干擾較少，故其流量變化不明顯；中游段因人為開發的農耕地範圍大，加上全段多屬於

山坡地地形，土地貯水條件更不佳，因此大部分的地表逕流皆流入河川；下游地區原為河川流量補注應有較佳的水資源貯蓄機會，但彰雲地區使用河川引水灌溉現象相當普遍，導致下游段流量遞減，因此欲提高水資源貯蓄量建議從改變農業耕作型態或休耕期限，以減少灌溉用水量。

誌謝

本研究計畫由行政院經濟建設委員會委辦計畫(計畫編號：95040105)經費補助，資料收集承蒙工硯工程股份有限公司協助整理，謹此一併誌謝。

參考文獻

- 1.中央氣象局網站，<http://www.cwb.gov.tw/>。
- 2.經濟部水利署水文資訊網整合性服務系統，<http://gweb.wra.gov.tw/hydroinfo/>。
- 3.經濟部水利署(1995~2004)，台灣地區水文年報。
- 4.吳瑞賢，2001，工程水文學，台北：科技圖書股份有限公司。
- 5.王如意、易任，1998，應用水文學，台北：茂昌圖書股份有限公司。
- 6.宋仁良，2004，基隆河上游集水區地表特性與降雨逕流之關係研究，中國文化大學地學研究所碩士論文。
- 7.田維婷，2003，「氣候變遷對台灣地區地表水文量之影響」，國立中央大學水文科學研究所碩士論文。

- 8.余文利, 2005, 「翡翠水庫集水區水文分析」, 國立中央大學水文科學研究所碩士論文。
- 9.蕭政宗, 楊欣怡, 馬家驊, 2002, 「台灣地區降雨特性趨勢分析」, 第十三屆水利工程研討會論文集。
- 10.Allan, J.A. (1999): “Water stress and global mitigation: water food and trade” Arid Lands Newsletter No.45.
- 11.Bosch, J. M. and J. D. Hewlett, 1982, “A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration”, Journal of Hydrology, vol. 55, 3-23.
- 12.Rose. S., 1998, “A statistical method for evaluating the effects of antecedent rainfall upon runoff: applications to the coastal plain of Georgia”, Journal of Hydrology vol. 211, 168-177.
- 13.Wainwright, J. and Anthony J. P., 2002, “The effect of temporal variations in rainfall on scale dependency in runoff coefficients”, Water Resources Research, vol. 38, no. 12, 1271.
- 14.Yu, P. S., T. C. Yang, and C. K. Wu, 2002, “Impact of climate change on water resources in southern Taiwan”, Journal of Hydrology, vol.260, 161-175.
-
- 97年04月15日 收稿
97年04月30日 修改
97年06月12日 接受