

國立臺灣師範大學

地理學系第四十三屆碩士論文

蘭陽溪上游流域降雨量、逕流量、輸砂量
之趨勢分析

指導教授：廖學誠

研 究 生：宋健豪

中華民國一〇三年四月

國立台灣師範大學地理研究所碩士論文摘要

研究所別：地理學系碩士班

論文名稱：蘭陽溪上游流域降雨、逕流量、輸砂量之趨勢分析

指導教授：廖學誠

研 究 生：宋健豪

論文內容：共一冊，文長約兩萬五千餘字，共分四章，以三百餘字扼要說明。

河川為形塑地貌主要營力之一，透過侵蝕、搬運作用塑造大地的面貌，許多研究指出台灣河川的沉積物輸出高於世界之平均值，蘭陽溪為台灣北部主要的河之一，蘭陽溪的流域單位面積輸砂量較世界其他主要河川高，但蘭陽溪河口為目前的砂質海岸侵蝕熱點，而砂質海岸的變化與河川的沉積物輸出特性息息相關。而河川沉積物的運輸與逕流量、雨量關係密切，因此本文主要目的是應用趨勢分析來探討蘭陽溪上游集水區降雨量、逕流量與輸砂量的變化特性。本研究區域位於蘭陽溪上游流域。

本研究主要透過 M-K (Mann-Kendall trend analysis) 趨勢檢定及距平趨勢探討研究區域內降雨量、逕流量、輸砂量的變化趨勢，除此之外，並利用克利金 (Kriging) 空間內插法計算整體流域之平均降雨。

本研究之結果均呈現降雨呈現增加的趨勢；整體流量結果顯示呈現減少的趨勢；輸砂方面整呈現減少的趨勢，而透過單位逕流所產出的輸砂量亦有逐年遞減的變化趨勢。

關鍵字：Mann-Kendall 趨勢分析、距平趨勢分析、蘭陽溪上游、水文變化趨勢

National Taiwan Normal University Graduate School of

Geography Master's Thesis

Thesis Title: The trend analysis of runoff, precipitation and sediment yield of Lanyang River upstream

Thesis Director: Shyue-Cherng Liaw

Thesis Author: Jian-How Sung

Abstract

River is one of major forces for shaping the earth's surface through erosion and sediment transportation. Many studies have pointed out that rivers in Taiwan generate higher sediment than the world average. The Lanyang River is one of major rivers in northern Taiwan. The sediment yield from Lanyang River is more than other main rivers in the world. But the embouchure of Lanyang River is one of the erosional hot spots in Taiwan. The evolution of coastal geomorphology is closely related to river sediment yield. The sediment transportation is also related to river runoff and precipitation. This study aims to detect the trend of river runoff, precipitation and sediment yield of Lanyang river upstream watershed by Mann-Kendall trend analysis. Kriging spatial interpolation is used to calculate the average precipitation of whole study area. The results of this study have shown the trend of precipitation is increasing while the trend of river runoff and sediment yield are decreasing.

Key words: Mann-Kendall trend analysis, Anomaly trend analysis, Lanyang river upstream, Trend of Hydrology

目錄

第一章 緒論	1
第一節 研究動機與研究目的	1
第二節 文獻回顧	3
第三節 研究區域與研究方法	13
第二章 蘭陽溪上游流域之降雨趨勢	20
第一節 年降雨量之變化趨勢	20
第二節 豐水期降雨量之變化趨勢	28
第三節 枯水期降雨量之變化趨勢	36
第四節 最大日降雨量變化趨勢分析	44
第五節 流域整體降雨量變化	52
第六節 小結	57
第三章 流量與輸砂量變化趨勢分析	59
第一節 流量變化分析	59
第二節 逕流量與輸砂量率定曲線分析	65
第三節 輸砂量變化分析	70
第四節 小節	76
第四章 結論與建議.....	77
第一節 結論	77
第二節 建議	79
參考文獻.....	80
壹、 中文文獻.....	80
貳、 外文文獻.....	80

圖目錄

圖 1-1 不同區域之沖積物輸送率與集水區面積關係圖.....	7
圖 1-2 珠江流域流量與輸砂變化圖.....	8
圖 1-3 黃河河口測站推估期、推估值重建、測站紀錄的輸砂量差異圖.....	9
圖 1-4 HydroTrend v. 3.0 推估冰河凍融效應對於義大利波河影響.....	11
圖 1-5 蘭陽溪流域測站位置.....	15
圖 1-6 研究架構圖.....	19
圖 2-1 思源測站年降雨量距平圖.....	21
圖 2-2 思源測站年降雨量折線圖.....	21
圖 2-3 南山（1）測站年降雨量距平圖.....	22
圖 2-4 南山（1）測站年降雨量折線圖.....	22
圖 2-5 南山（2）測站年降雨量距平圖.....	23
圖 2-6 南山（2）測站年降雨量折線圖.....	23
圖 2-7 留茂安測站年降雨量距平圖.....	24
圖 2-8 留茂安測站年降雨量折線圖.....	24
圖 2-9 土場（1）測站年降雨量距平圖.....	25
圖 2-10 土場（1）測站之年降雨量折線圖.....	25
圖 2-11 土場（2）測站年降雨量距平圖.....	26
圖 2-12 土場（2）測站之年降雨量折線圖.....	26
圖 2-13 梵梵測站年降雨量距平圖.....	27
圖 2-14 梵梵測站之年降雨量折線圖.....	27
圖 2-15 思源測站豐水期降雨量距平圖.....	29
圖 2-16 思源測站之豐水期降雨量折線圖.....	29
圖 2-17 南山（1）測站豐水期降雨量距平圖.....	30
圖 2-18 南山（1）測站豐水期降雨量折線圖.....	30
圖 2-19 南山（2）測站豐水期降雨量距平圖.....	31
圖 2 - 20 南山（2）測站豐水期降雨量折線圖.....	31
圖 2-21 留茂安測站豐水期降雨量距平圖.....	32
圖 2-22 留茂安測站豐水期降雨量折線圖.....	32
圖 2-23 土場（1）測站豐水期降雨量距平圖.....	33
圖 2-24 土場（1）測站豐水期降雨量折線圖.....	33
圖 2-25 土場（2）測站豐水期降雨量距平圖.....	34
圖 2-26 土場（2）測站豐水期降雨量折線圖.....	34
圖 2-27 梵梵豐水期降雨量距平圖.....	35
圖 2-28 梵梵測站豐水期降雨量折線圖.....	35
圖 2-29 思源測站枯水期降雨量距平圖.....	37
圖 2-30 思源測站枯水期降雨量折線圖.....	37

圖 2-31 南山（1）測站枯水期降雨量距平圖.....	38
圖 2-32 南山（1）測站枯水期降雨量折線圖.....	38
圖 2-33 南山（2）測站枯水期降雨量距平圖.....	39
圖 2-34 南山（2）測站枯水期降雨量折線圖.....	39
圖 2-35 留茂安測站枯水期降雨量距平圖.....	40
圖 2-36 留茂安測站枯水期降雨量折線圖.....	40
圖 2-37 土場（1）測站枯水期降雨量距平圖.....	41
圖 2-38 土場（1）測站枯水期降雨量折線圖.....	41
圖 2-39 土場（2）測站枯水期降雨量距平圖.....	42
圖 2-40 土場（2）測站枯水期降雨量折線圖.....	42
圖 2-41 梵梵測站枯水期降雨量距平圖.....	43
圖 2-42 梵梵測站枯水期降雨量折線圖.....	43
圖 2-43 思源測站最大日降雨量距平圖.....	45
圖 2-44 思源測站最大日降雨量折線圖.....	45
圖 2-45 南山（1）測站最大日降雨量距平圖.....	46
圖 2-46 南山（1）測站最大日降雨量折線圖.....	46
圖 2-47 南山（2）測站最大日降雨量距平圖.....	47
圖 2-48 南山（2）測站最大日降雨量折線圖.....	47
圖 2-49 留茂安測站最大日降雨量距平圖.....	48
圖 2-50 留茂安測站最大日降雨量折線圖.....	48
圖 2-51 土場（1）測站最大日降雨量距平圖.....	49
圖 2-52 土場（1）測站最大日降雨量折線圖.....	49
圖 2-53 土場（2）測站最大日降雨量距平圖.....	50
圖 2-54 土場（2）測站最大日降雨量折線圖.....	50
圖 2-55 梵梵測站最大日降雨量距平圖.....	51
圖 2-56 梵梵測站最大日降雨量折線圖.....	51
圖 2-57 流域整體年降雨量距平圖.....	53
圖 2-58 流域整體年降雨量折線圖.....	53
圖 2-59 流域整體豐水期降雨量距平圖.....	54
圖 2-60 流域整體豐水期降雨量折線圖.....	54
圖 2-61 流域整體枯水期降雨量距平圖.....	55
圖 2-62 流域整體枯水期降雨量折線圖.....	55
圖 2-63 流域整體最大日降雨量距平圖.....	56
圖 2-64 流域整體最大日降雨量折線圖.....	56
圖 3-1 家源橋測站年逕流量距平圖.....	60
圖 3-2 家源橋測站年逕流量折線圖.....	60
圖 3-3 家源橋測站豐水期逕流量距平圖.....	61
圖 3-4 家源橋測站豐水期逕流量折線圖.....	61

圖 3-5 家源橋測站枯水期逕流量距平圖.....	62
圖 3-6 家源橋測站枯水期逕流量折線圖.....	62
圖 3-7 家源橋測站最大日逕流量距平圖.....	63
圖 3-8 家源橋測站最大日逕流量折線圖.....	63
圖 3-9 家源橋測站最小日逕流量距平圖.....	64
圖 3-10 家源橋測站最小日逕流量折線圖.....	64
圖 3-11 不同時期整體逕流量-輸砂量率定關係圖.....	65
圖 3-12 不同時期豐水期逕流量-輸砂量率定關係圖.....	67
圖 3-13 不同時期枯水期逕流量-輸砂量率定關係圖.....	68
圖 3-14 家源橋測站年輸砂量距平圖.....	71
圖 3-15 家源橋測站年輸砂量折線圖.....	71
圖 3-16 家源橋測站豐水期輸砂量距平趨勢圖.....	72
圖 3-17 家源橋測站豐水期輸砂量折線圖.....	72
圖 3-18 家源橋測站枯水期輸砂量距平趨勢圖.....	73
圖 3-19 家源橋測站枯水期輸砂量折線圖.....	73
圖 3-20 家源橋測站最大日輸砂量距平趨勢圖.....	74
圖 3-21 家源橋測站最大日輸砂量折線圖.....	74
圖 3-22 家源橋測站最小日輸砂量距平圖.....	75
圖 3-23 家源橋測站最小日輸砂量折線圖.....	75

表目錄

表 1-1 世界前 20 大輸砂河流	2
表 1-2 HydroTrend3.0 多河道三角洲入海沉積物、流量的推估值與觀測值比較	10
表 1-3 雨量測站資訊	14
表 2-1 蘭陽溪上游測站年降雨量之 M-K 趨勢檢定結果	20
表 2-2 蘭陽溪上游豐水期降雨量測站之 M-K 趨勢檢定結果	28
表 2-3 蘭陽溪上游枯水期降雨量測站之 M-K 趨勢檢定結果	36
表 2-4 蘭陽溪上游最大日降雨量測站之 M-K 趨勢檢定結果	44
表 2-5 蘭陽溪上游整體降雨量之 M-K 趨勢檢定結果	52
表 3-1 蘭陽溪家源橋測站逕流量之 M-K 趨勢檢定結果	59
表 3-2 不同時期整體的單位逕流輸砂量	66
表 3-3 不同時期豐水期的單位逕流輸砂量	67
表 3-5 蘭陽溪家源橋測站輸砂量之 M-K 趨勢檢定結果	70

第一章 緒論

第一節 研究動機與研究目的

一、研究動機

河川是形塑地表主要的外營力，河流透過侵蝕、搬運作用塑造大地。河川透過「推移 (bed load)」、「懸移 (suspended load)」與「溶解作用 (solute)」這三種機制搬運河床的物質 (何春蓀, 1981)。

台灣自然環境條件特殊，位於板塊活動帶上且多颱風，Milliman *et al.*(1983) 指出，台灣河川砂石輸出量高於世界平均值，全島每年的平方公里輸砂量可高達 10,000 t；Dadson *et al.* (2003) 也發現 1970 至 1999 年期間台灣全島年平均侵蝕速率約為 3.9 mm，台灣地表面積僅佔世界面積的 0.024 %，但河川輸送的沖積物卻可達世界的 1.9 %。由此可知，台灣的河流沖刷能力之高，然而影響台灣河流輸砂的條件是相當複雜的，非常值得深入探究。

河川輸砂特性與環境息息相關，河川的輸砂特性反應了集水區中的各式各樣的人為作用影響以及自然環境變遷。黃伊凡 (2010) 指出，濁水溪由於集集攔河堰造成上游大量的沖積物無法被運送到下游河口，造成泥砂量大幅減少，此為人為活動所造成的變化；李亮廷 (2008) 則是發現，在 1990 年以後因降雨型態改變，造成河川輸砂產生變化，此為自然環境變遷導致。由此可知不管是人為或自然對於環境的影響都會反映在河川的輸砂上。

二、研究目的

林宗儀等 (2011) 指出在蘭陽溪南北兩側等地是目前的沙質海岸侵蝕熱點，而黃于馨 (2011) 則是透過遙測分析宜蘭海岸變化，發現在蘭陽溪河口的東港至清水區域在 2006 至 2011 年也是呈現劇烈的退後，但是在 Chen *et al.*(2004)的研究卻發現蘭陽溪的單位面積輸砂量卻高居世界前 20 大單位面積輸砂河川，如表 1-1 所示。

石再添等（1995）、Liu *et al.*(1998)曾提出河口海岸變化可能與河流輸砂減少有關，而河川以上游流域為侵蝕區，為主要沉積物產出之區域，故本研究目的係針對蘭陽溪上游加以探討：

- （一）蘭陽溪上游集水區之降雨量變化趨勢
- （二）蘭陽溪上游集水區之逕流量變化趨勢
- （三）蘭陽溪上游集水區之輸砂量變化趨勢
- （四）蘭陽溪上游集水區不同時期之逕流量-輸砂量關係比較

表 1-1 世界前 20 大輸砂河流

River	Yield (T/km ² /yr)	Unit-area runoff (10 ³ m ³ /km ² /yr)
Choshui (Taiwan)	20,000 (*3)	1,900
Hoping (Taiwan)	17,500 (5)	2,560
Peinan (Taiwan)	14,800 (7)	2,350
Liwu (Taiwan)	14,193 (8)	2,070
Kaoping (Taiwan)	11,000 (12)	2,700
Aure (New Guinea)	11,000 (12)	-
Lanyang (Taiwan)	8,200 (17)	2,900
Taan (Taiwan)	6,300 (22)	2,000
Tanshui (Taiwan)	4,100 (26)	2,200
Tachia (Taiwan)	2,900 (35)	2,050
Purari (New Guinea)	2,600 (37)	2,500
Fly (New Guinea)	1,500 (45)	1,300
Yellow (China)	1,400 (67)	77
Magdalenc (Columbia)	920	990
Brahmaputra (Bangladesh)	890	630
Irrawaddy (Myana)	620	995
Ganges (Bangladesh)	530	590
Indus (Pakistan)	260	245
Yangtze (China)	250	460
Amazon (Brazil)	190	100

資料來源：Chen *et al.*(2004)

第二節 文獻回顧

氣候、地質、水利設施、集水區面積等等都是與河川輸砂量特性息息相關的重要因子，而本研究欲透過 M-K(Mann-Kendall)趨勢檢定探討蘭陽溪上游之水文及降雨變化趨勢，為了瞭解不同因子對於河川輸砂帶來的影響以及 M-K 檢定之相關應用，故文獻回顧針對相關因子以及 M-K 檢定進行回顧。

一、氣候

在陸域環境中，逕流為形塑地表主要的作用力之一，而降雨型態直接影響逕流，近來由於氣候變遷造成降雨型態逐漸改變，逕流型態則是首當其衝受到影響，林孟龍（2003）、李亮廷（2008）均透過氣候的角度探討流量與輸砂量關係，降雨的多寡、歷時、強度都會影響河川的流量以及夾帶沉積物的能力。

林孟龍（2003）分析了颱風期間蘭陽溪集水區的輸砂特性以及流量與輸砂關係，透過乘幂迴歸方程式分析重建蘭陽溪集水區的輸砂量，分析後發現颱風所造成的輸出量佔觀測期間的 59 %，但颱風時間卻只有總觀測時間的 6.47 %。

李亮廷（2008）分析了陳有蘭溪的流量、輸砂量與降雨特性的關係，透過趨勢分析集水區中的三個氣候測站的降雨資料，發現雨量並無太大的變化，但降雨時數有減，而降雨強度有增加之趨勢，大抵係以 1990 年為分界線，而流量亦係如此，年最大日平均流量與年最大瞬時流量有上升的趨勢，透過率定曲線（乘幂迴歸方程式）分析發現 1990 年後在相同的流量下輸砂量更多，而降雨沖蝕指數也有提高的趨勢，故由此可知 1990 年後因為極端降雨而造成更多的輸砂量。

Wang *et al.*(2012)、Kling *et al.*(2012)、Chang and Jung(2010)、Li(2013)等人皆提出了氣候變遷造成了河川逕流的改變。

首先，Wang *et al.*(2012)以長期的水文、氣象資料，透過主成分分析與線性迴歸，探討 1954 年至 2009 年這段期間，黃河中游流域的頭道拐水文測站以及花園口水文測站之間流域的流量變化，並發現流量持續減少，而氣候因素佔整體流量衰退的 40 %。

接著，Kling *et al.*(2012)指出逕流受氣候條件的強烈控制，並透過Delta-Change Method使用HISTALP資料庫的氣候資料重建1961至1990年多瑙河流域的氣候狀況，並模擬該流域2021至2050年以及2071至2100年的氣候狀況，再以HBV-Model模擬這三個時期的水文情況，透過重建的1961至1990年水文資料與當時實際觀測資料交相比對，並加以校正模型，最後推估之結果顯示多瑙河流域在2071至2100年年逕流會減少15 %以上，而夏季的逕流則會減少40 %，而冬季的逕流則是些微的增加。

此外，Chang and Jung(2010)透過降雨逕流模擬系統（Precipitation—Runoff Modeling System, PRMS）降雨逕流模式結合GCMs(Global climate models, GCMs)重建1973年至2006年之逕流，並模擬2040至2080年俄勒岡州威拉米特河流域的冬、夏兩季節之逕流以及年總逕流，並以1973年至2006年之間的資料作為校正和檢驗，其結果指出，在21世紀末威拉米特河流域的總逕流量的變化幅度為 $\pm 5\%$ ，但夏季之逕流卻會到融冰量的減少而導致逕流下降，而冬季則是受到降雨量增加，造成逕流量亦隨之增加。

最後，Li(2013)透過GCMs推估出未來雅魯藏布江的氣候狀況，再以SIMHYD以及GR4J兩種水文模式重建1962年至2002年並模擬2002至2030年期間雅魯藏布江的逕流變化，並透過納許-史托克利夫效率係數(Nash-Sutcliffe Efficiency Coefficient, NSE)檢定1962年至2002年期間，這兩種水文模式模擬值與實際觀測值之間契合度，結果顯示SIMHYD、GR4J兩種模式模擬結果的NSE值均超過0.8，顯示其模擬值與觀測值非常契合，作者最後指出雅魯藏布江在2030年時年逕流量會增加12 %。

綜合以上所回顧之文獻，可以發現氣候變遷對於河川逕流特性具有一定的影響力，隨著逕流特性的改變，河川之侵蝕、搬運能力勢必也會受到影響，Mouri *et al.*(2013)、Zhu *et al.*(2008)、Gomez *et al.*(2009)等人則是指出氣候變遷具有影響河川輸砂之能力。

首先，Mouri *et al.*(2013)透過MIROC、MRI—GCM兩種模式模擬1990年至

2090年這段期間全日本的氣候資料，並以TOPMODEL模式推估日本1990年至2090年的懸移值的變化量，最後兩個模式皆指出日本懸移值會呈現增加的趨勢，MRI-AGCM模式呈現2090年時日本全島的懸移值會增加8%，而MIROC模式則是呈現24 %的成長，而作者認為以這個增長的幅度會對於未來的日本造成許多水資源方面管理上的問題。

其次，Zhu *et al.*(2008)以1960至1990年此期間的資料作為基礎，透過GCMs的氣候預估模式以及類神經網絡（artificial neural networks）推估25種不同水文-氣候背景下探討氣候變遷與輸砂量變化的關係，結果顯示當溫度不變時，降雨增加會造成輸砂量的成長，而雨量不變時，溫度越高，輸砂量亦會增加，反之亦然，但尚有許多交互因素是作者研究未討論到的。

此外，Gomez *et al.*(2009)透過 TUGS 以及 HydroTrend 模式推估位於紐西蘭的 Waipaoa 河未來 2030 年以及 2080 的流量以及輸砂量，並指出，在 2030 年時 Waipaoa 河的平均流量可能會減少 13 %，而輸砂量變動的幅度會是每年減少 $6.3 \pm 16.1 \times 10^3$ t，2080 年時流量可能會減少 18 %，而輸砂量每年減少的幅度會增加到 $9.4 \pm 20.1 \times 10^3$ t，伴隨著輸砂量的變化，河道的縱剖面也會受到影響，並影響到河岸邊相關的水利設施。

綜合以上所述之相關文獻可以發現，氣候變遷所產生的雨量變化會影響流量、輸砂量，且影響之趨勢不僅只是單純的增加或減少，可能會是季節性的變化但整體不變，這顯示極端事件出現的頻率可能增加，伴隨而來可能是更多災害出現，因此對於氣候變遷所造成流量、輸砂量變化是更需重視的一個大事件。

二、地質

Ma *et al.*(2010)探討了位於陝西省北部的無定河流域的有效流量，無定河流域主要可以分成兩個不同的區域，分別是黃土丘陵區以及風沙區，研究發現，受到地質的影響，這兩者的有效流量有很大的區域性差異，在黃土丘陵之地層主要多為稍有膠結的土石，故有效流量平均為 35 cms，而風砂區，由於沉積物粒度較小，河流的有效流量出現 3 至 6 cms 時，主要受到沉積物的差異所影響，在風砂區的沉積物粒徑較小，而在黃土丘陵區的沉積物粒徑較大，造成不同區域有效流量之差異。

Schmidt and Morche (2006)則是指出流域內不同的地質條件會造成不同的輸砂方式，並導致河川的有效流量也產生差異，此篇研究主要是針對德國境內的兩條河流做比較，分別是 Partnach 流域以及 Lahnenwiesgraben 流域，Partnach 流域由於集水區主要以石灰岩為主，因此河流的溶解質相當高，而在 Lahnenwiesgraben 流域主要以泥岩為主，因此河流輸砂主要以懸移質、推移質為主，Partnach 主要是以溶解質為主而懸移質較少，因此有效流量為 4.5 cms，而在 Lahnenwiesgraben 河則是以推移、懸移質為主，因此其有效流量為 22 至 25 cms，由此可以看出不同河川輸砂方式所造成的有效流量差異。

三、集水區面積

李建堂（1997）討論了集水區面積與沖積物輸送率（sediment delivery ratio, SDR）的關係，SDR 為集水區出水口所量測到的沖蝕量與整個集水區的估算值的比值，在 Robinson(1977)的研究中發現，SDR 基本上係與集水區面積成反比，當集水區越大沖積物在運輸的過程中越有可能滯留，在 Walling(1983)的研究中探討了世界某些集水區的面積與 SDR 的關係，並發現在研究的案例中集水區的面積大致上與 SDR 成反比，集水區面積越大，SDR 就越小，圖 1-1 所示。

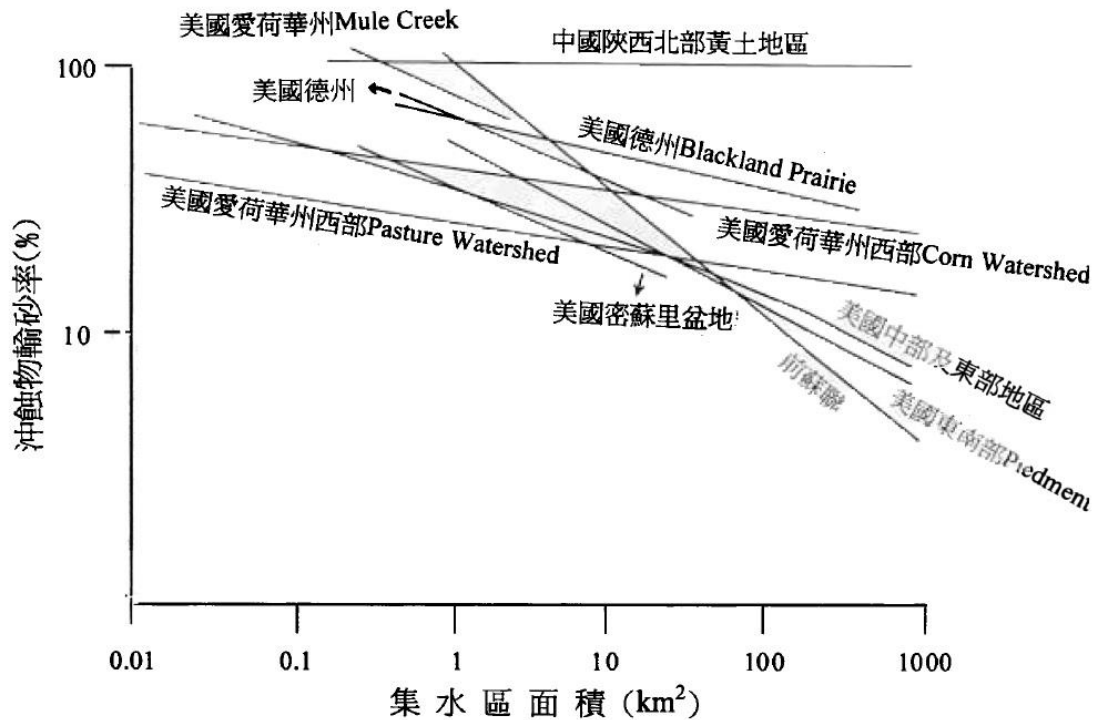


圖 1-1 不同區域之沖積物輸送率與集水區面積關係圖（Walling, 1988）

四、水利設施與土地利用

隨著產業的發展、都市的擴張，勢必反映到民生、經濟用水量急速增長，因此相關大型水利設施勢必成為發展經濟的重要設施之一，且隨著土地越來越稀少，河川下游的河床地、高灘地以及河川中游的坡地勢必成開發的重點，而相關的土地開發、水利設施勢必造成流域環境許多條件的改變，例如土地開發對於土壤沖蝕、雨水下滲的影響，以及對於流量的影響等等，在陳翰霖與張瑞津（2003）、Wu *et al.*(2012)、Zhang *et al.*(2008)、Miao *et al.*(2011)以及黃伊凡（2010）皆提到了土地開發及水利設施對於河川水文型態的改變。

首先，陳翰霖與張瑞津（2003）透過乘冪公式重建曾文溪每日輸砂量，並比較曾文水庫完工啟用前、後不同時期輸砂量與逕流量之變化，結果發現由於烏山頭水庫平均每年自 2009 年引水約 $8.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，造成下游河道流量減少 25 %。同時水庫區也阻截了上游的河道搬運物，累計至 2000 年底止庫底共淤積約達 $1.6 \times 10^8 \text{ t}$ ，年平均淤積 $5.7 \times 10^6 \text{ t}$ ，並造成水壩下游河道輸砂減少。

其次，黃伊凡（2010）則是自氣候變遷、土地利用變遷等角度著手，透過雨量變化、流量輸砂量率定曲線、單位面積輸砂量、含砂量、沖積物加以分析法，發現在濁水溪的中段尚有暫存的沖積物，最後發現因集集攔河堰造成上游大量的沖積物無法被運送到下游河口，造成泥砂量大幅減少。

Kuo and Liu(2002)利用蘭陽溪流域西元 1950 年至 1994 年水文資料探討人為開發對於水文形態的影響，透過流域中兩個測站所重建的資料顯示，大致以西元 1980 年為分界，1980 年以後蘭陽溪流域的極端事件強度越趨增強、頻率增加的變化趨勢，其導因於蘭陽溪上游流域人為開發所致。

接著，Wu *et al.*(2012)透過 M-K 檢定分析珠江流域的流量與輸砂變化，並劃分出三個階段，分別為：1954 至 1983、1984 至 1993 以及 1994 至 2009。在 1954 至 1983 年雖然在集水區有部分開發活動，但土地覆蓋變遷所造成的影響被水庫抵消，因此無顯著的改變；1984 至 1993 年大量開發所造成的影響超過水庫所能負荷的程度，導致河川輸砂快速增加；1994 年至今由於新的水利設施陸續竣工，且開始實施相關水土保持政策，珠江流域的輸砂快速地減少，如圖 1-2 所示。

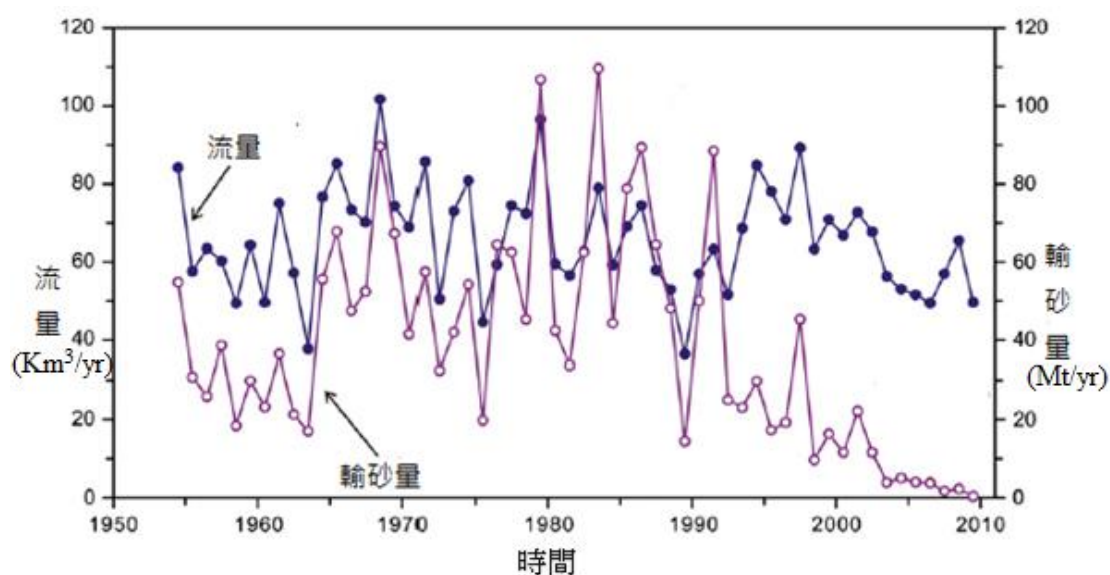


圖 1-2 珠江流域流量與輸砂變化圖(Wu *et al.*, 2012)

此外，Zhang *et al.*(2008)透過Pettitt以及M-K檢定討論珠江流域的變化，並發現在珠江流域內支流的輸砂除柳江外，在1990年至1991年之間都有顯著的驟降趨勢，而在博羅、梧州測站則分別在1987年以及1988年就有顯著的減少趨勢，大體而言輸砂變化的時間剛好是水庫啟用時，因此也是受流域內的水庫設施影響；柳江則受集水區的沙漠化影響而造成輸砂不減反增。

最後Miao *et al.*(2011)透過1950年至1960年的單位降雨產出的流量與輸砂量作為基準，推估1970年至2010年黃河只考慮氣候變化的流量與輸砂量，並與黃河流域內水文測站所實際觀測到的數據做比較，在黃河觀測的變化可以代表人類活動對於黃河水文特性所造成的影響，並發現在20世紀人類活動對於水文的影響遠大於氣候變遷的能力，如圖1-3所示。

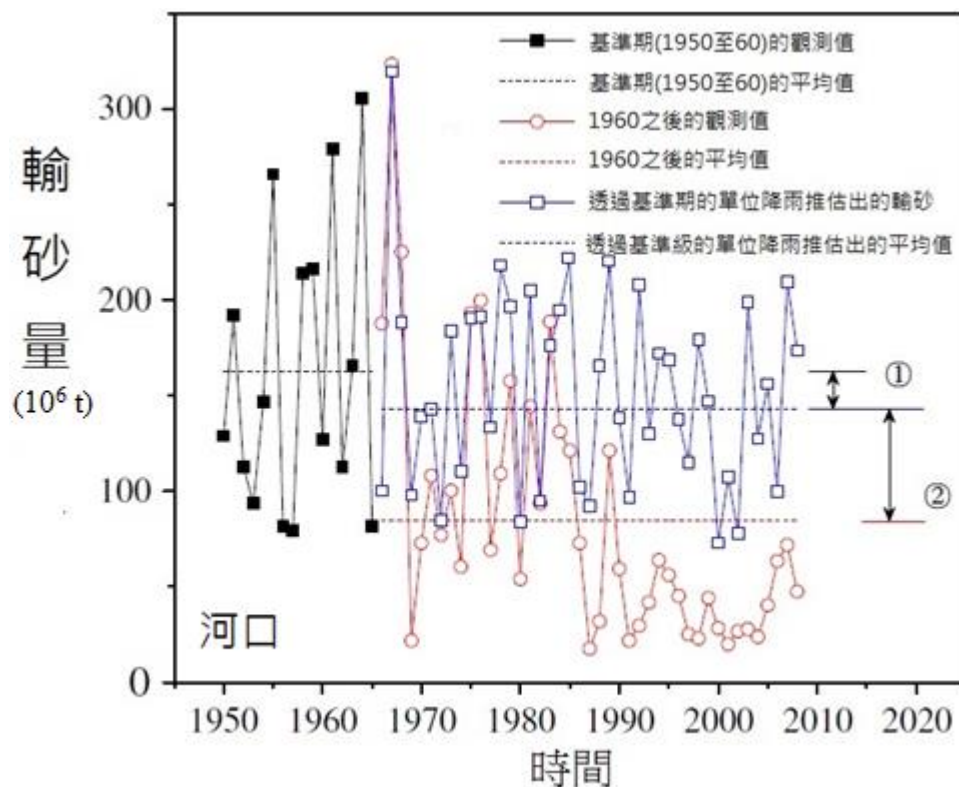


圖 1-3 黃河河口測站推估期、推估值重建、測站紀錄的輸砂量差異圖(Miao *et al.*, 2011)

五、模式預估

Kettner *et al.*(2008)以及Yu *et al.*(2009)皆使用水文推估模式推估流域的水文特性。

Kettner *et al.*(2008)以義大利北部的Po流域以及Metauro流域作為個案研究，透過HydroTrend v3.0水文模式推估這兩條河流的水文特性，HydroTrend v.3.0水文模式相較於以往其它水文推估模式更增加了：（1）根據冰河的凍、融的體積模擬對於河川沉積物運送造成的影響；（2）模擬河口多河道三角洲對於沉積物輸入海中的影響；（3）模擬流域中水庫、湖泊對於河川沉積物運輸所造成的影響；冰河凍、融對於河川輸砂的影響，推估結果如圖1-4，而模擬河口多河道三角洲對於沉積物輸入海中的影響結果如表1-2；而HydroTrend v.3.0推估在水庫啟用後河川不會再出現持續24小時以上的超重流(hyperpycnal flows)，而水庫對於輸砂的捕捉效率為32 %，在測站的實際觀測值中超重流沒有再出現過，而水庫對於沉積物的捕捉效率為20 %至50 %；在Yu *et al.*(2009)中則是透過GeoWEPP推估黃土高原上的柳子東溝與柳子西溝以及柳二溝的流量與輸砂再透過相對誤差(relative errors)、相關係數(correlation coefficients)以及納許-史托克利夫效率係數檢驗推估結果，結果顯示透過GeoWEPP模式推估所得出結果之逕流與輸砂相對誤差小於30 %、相關係數大約為0.9，而納許-史托克利夫效率係數為0.8，由此可知GeoWEPP適用於些流域。

表 1-2 HydroTrend3.0 多河道三角洲入海沉積物、流量的推估值與觀測值比較

Po河海口三角洲河道名稱	Maestra		Pila		Tolle		Gnocca		Goro	
HydroTrend 推估流量 (%)	3.0		61.0		12.0		16.0		8.0	
測站觀測值 1926–1939 (%)	2.1		62.7		15.8		12.6		6.8	
測站觀測值 1958–1959 (%)	3.4		60.6		12.1		16.3		7.6	
HydroTrend 推估輸砂量 (kg/s)	8.4		411		46		66		27	
HydroTrend 推估輸砂量 (%)	1.5		73.4		8.1		11.8		4.9	
測站輸砂量觀測值(kg/s) 1932–1937	10		329		69		72		42	
測站輸砂量觀測值(%)1932–1937	2.0		63.0		13.2		13.7		8.1	
測站輸砂量觀測值(%)1958–1959	1.2		73.6		6.6		10.5		8.2	
HydroTrend 流量推估值/測站觀測值(m/s)	0.7	0.6	1.0	0.9	0.8	0.6	0.9	0.7	0.8	0.8
HydroTrend 河道深度推估值/河到實際深度 (m)	36	32	163	363	72	154	83	125	59	105
HydroTrend 河道寬度推估值/河到實際寬度 (m)	1.9	2.6	6.5	5.0	3.4	3.0	3.8	2.8	2.9	1.5

資料來源：Yu *et al.*(2009)

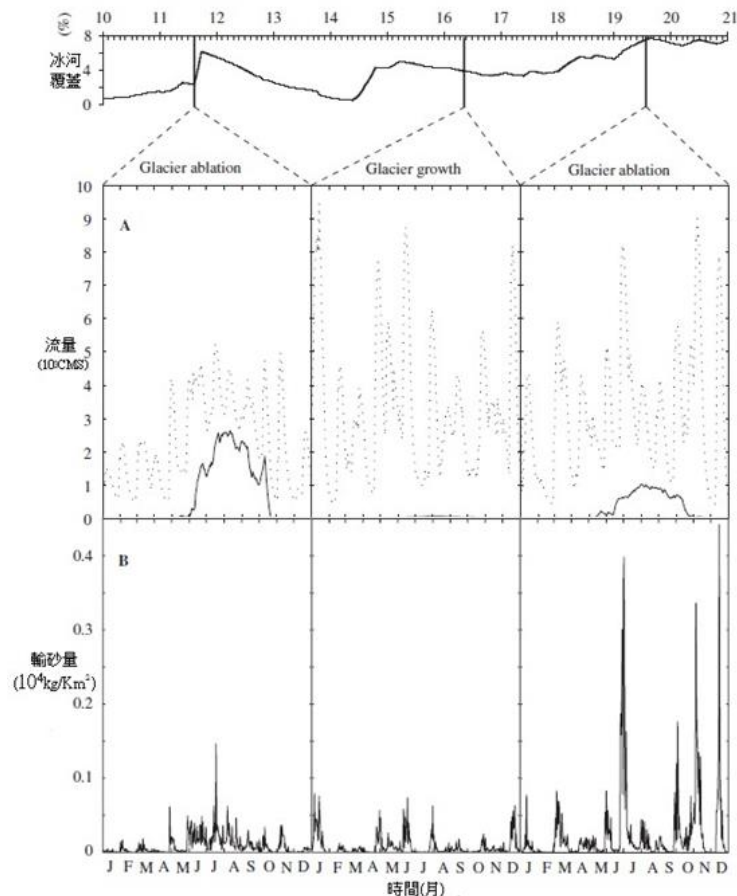


圖 1-4 HydroTrend v.3.0 推估冰河凍融效應對於義大利波河之影響
(Yu et al., 2009)

六、M-K(Mann-Kendall)趨勢檢定

M-K 趨勢檢定屬於無母數趨勢檢定，適用於各種不同時間序列的資料，例如氣溫、雨量、流量、輸砂量、水質等等，而本研究所需分析之雨量、流量、輸砂量資料三項皆有大量的文獻應用 M-K 趨勢檢定分析其變化趨勢，在此僅提出部分文獻加以回顧。

首先為氣候方面，Gocic and Trajkovic(2013)使用 M-K 趨勢檢定探討塞爾維亞共和國境內 11 個氣候測站 7 個氣候指標，分別為：年均溫、年溫差、不同季節的溫度、不同季節的溫差、不同季節的相對濕度、蒸氣壓、不同季節的降雨；Tonkaz and Cetin(2007)透過 M-K 趨勢檢定探討土耳其半乾燥開發區域的年均溫、不同季節溫度、日均溫變化趨勢；透過 Gocic and Trajkovic(2013)與 Tonkaz and Cetin(2007)可以了解 M-K 趨勢檢定適用於分析不同時間尺度氣溫、降雨的變化

趨勢。

其次為流量方面，Sahoo and Smith(2009)使用 M-K 趨勢檢定分析美國聖安東尼奧河周邊 9 個 USGS 水文站和五個 NCDC 氣象站所提供的相關水文資料，分別為：總逕流、最低逕流、最大逕流、總基流、最小基流、最大基流、總暴風雨流量、最大暴雨流量、總降水量；Chen *et al.*(2007)透過 M-K 趨勢檢定分析漢江流域流量、降水量、氣溫的變化趨勢，透過 Sahoo and Smith(2009)與 Chen *et al.*(2007)瞭解 M-K 趨勢檢定可應用於探討不同時間尺度的流量變化趨勢。

最後，在輸砂量方面 Wu *et al.*(2012)、Zhang *et al.*(2008)皆使用 M-K 趨勢檢定探討珠江流域近 50 年來輸砂量的變化；而 Miao *et al.*(2011)皆利用 M-K 趨勢檢定探討長江不同時期輸砂的變化。

綜合以上所回顧之文獻可以瞭解 M-K 趨勢檢定可廣泛的應用在氣候-水文相關資料的趨勢分析上。

第三節 研究區域與研究方法

本研究主要透過聚焦於蘭陽溪上游流域的降雨量、逕流量和輸砂量在不同時期的變化，希望能透過經濟部水利署水文年報、大氣資料庫記載的歷年河川流量、懸移質以及降雨量進行流域內長期特性之研究，以了解蘭陽溪上游流域降雨量、逕流量、輸砂量的變化趨勢。

一、研究區域概況與資料

(一) 研究區域概況

本研究區位於宜蘭縣境內蘭陽溪流域上游流域，發源自宜蘭縣西南方大同鄉，由西南向東北流入蘭陽平原，本研究區流域面積為 273.5 km²（經濟部水利署，2012），研究區內地勢最高為南湖大山北峰標高 3,536 m；研究區集水區出口為家源橋，集水區內地勢陡峭、河道坡度陡峭，富山農場至南湖北山的河道坡度為 219.64 ‰，敦厚橋至家源橋的河道平均坡降為 22.73 ‰（林孟龍，2000），地質主要以四稜砂岩、乾溝層、廬山層為主，牛鬥橋以下則為沖積層（何春蓀，1994）。

本研究區域全年有雨，透過中央氣象局大氣資料庫自動測站：思源、土場（2）、南山（2），以及經濟部水利署之降雨測站：南山（1）、留茂安、土場（1）、梵梵，共 7 測站所觀測之降雨資料加以計算，發現蘭陽溪上游集水區流域之年降雨介於 2,700 至 3,100 mm。

(二) 資料收集

本研究所需之資料主要有三項，分別為：（1）降雨；（2）逕流量；（3）懸移質量。首先，降雨部分資料來自大氣資料庫、經濟部水利署；經濟部水利署雨量測站分別為：土場（1）、南山（1）、留茂安、梵梵，大氣研究資料庫雨量測站分別為：思源、南山（2）、土場（2），共 7 個測站。海拔高度由高至低分別為：思源 2036m、南山（2）1260 m、南山（1）1050 m、留茂安 585 m、土場（1）400 m、土場（2）370 m、梵梵 295 m。觀測年限為，大氣資料庫測站觀測年限

分別為：思源 17 年、南山（2）16 年、土場（2）12 年；水利署之測站觀測年限為：南山（1）57 年、留茂安 57 年、土場（1）63 年、梵梵 51 年，詳細資訊如表 1-3。

其次，逕流、輸砂量部分資料來源為經濟部水利署，家源橋測站標高 366 m，觀測年限為 39 年，本研究擷取 1975 年至 2009 年之間的資料。各測站分布如圖 1-5 所示。

表 1-3 雨量測站資訊

	高度	觀測年限	備註
水利署雨量測站			
南山（1）	1050m	1955-2012（58 年）	
留茂安	585m	1955-2012（58 年）	缺 2003 年
土場（1）	400m	1949-2012（63 年）	缺 1958 年
梵梵	295m	1960-2012（51 年）	缺 2007 年
大氣資料庫自動測站			
思源	2036m	1996-2012（17 年）	缺 2003 年
南山（2）	1260m	1996-2012（16 年）	缺 2008-2012 年
土場（2）	370m	1996-2008（12 年）	

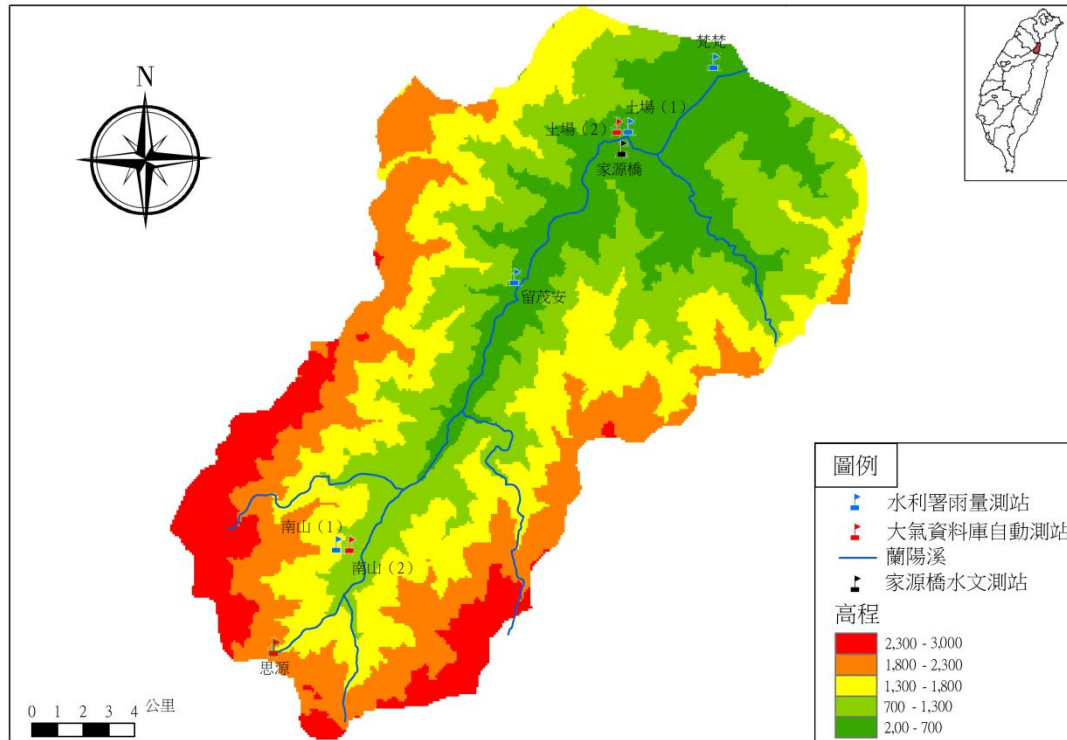


圖 1-5 蘭陽溪流域測站位置

二、研究方法

(一) 率定曲線

本研究希望透過水文年報中紀錄的資料推估每日及年度輸砂量，而目前普遍使用在計算河川輸砂的方法多是透過利用實測流量與實測含砂量或輸砂量對比關係得到的迴歸方程式，作為重建每日、年度輸砂量的經驗公式。

流量與輸砂比對關係之迴歸方程式種類眾多，在張明軒（2005）列出了：

1. 線性（Linear）模式： $Y = \alpha + \beta X$ 模式。
2. 二次曲線（Quadratic）模式：即 $Y = \alpha + \beta X + cX^2$ 模式。
3. 混合（Compound）模式： $Y = \alpha\beta X$ 模式。
4. 成長（Growth）模式： $Y = e^{(\alpha + \beta X)}$ 模式。
5. 對數（Logarithmic）模式： $Y = \alpha + \beta \ln(X)$ 模式。
6. 三次曲線（Cubic）模式： $Y = \alpha + \beta X + cX^2 + dX^3$ 模式。
7. 「S」模式： $Y = e^{(\alpha + B/X)}$ 模式。

8. 指數 (Exponentials) 模式： $Y = \alpha * e^{(\beta X)}$
9. 「Inverse」模式： $Y = \alpha + \beta / X$ 模式。
10. 幕次 (Power) 模式： $Y = \alpha * X^\beta$ 模式。
11. 「Logistic」模式： $Y = l / (1 / U + \alpha * \beta^X)$ 模式。

共 11 種不同計算輸砂量的方程式，而在黃朝恩 (1982)、林孟龍 (2003)、張明軒 (2005)、陳翰霖與張瑞津 (2003)、黃伊凡 (2010) 與闕笙安 (2012) 等多篇探討台灣河流輸砂之文章中皆選擇幕次 (Power) 模式做為重建輸砂量的模式，故本研究亦選用幕次作為推估輸砂量之方程式，幕次方程式如下：

$$S = \alpha \times Q^\beta$$

S 為輸砂量 (公噸/日, T/day); Q 為每次伴隨含砂量測量之流量 (立方公尺/秒, cms); α 與 β 為率定係數。

(二) M-K 趨勢檢定

為了深入瞭解蘭陽溪流域輸砂之變化情形，因此再透過趨勢檢定分析推估之總輸砂量以及單位面積輸砂量，M-K 趨勢檢定為無母數之趨勢檢定法，適用於各種不同的時間序列資料，在 Wu *et al.* (2012)、Zhang *et al.* (2008)、Miao *et al.* (2011) 等多篇文章中皆使用 M-K 趨勢檢定探討輸砂量與逕流量之變化趨勢，而在錢滄海 (2010)、鍾侑達 (2009) 等多篇文章中皆透過 M-K 趨勢檢定探討降雨之變化趨勢，本研究透過 Excel 外掛軟體 XLStat 執行 M-K 趨勢檢定，透過 M-K 趨勢檢定探討不同流域各個時期之輸砂量、流量、雨量的變化趨勢，M-K 趨勢檢定計算方式如下：

假設給定一組數列 $a = \{a_1, a_2, a_3, a_4, \dots, a_n\}$ ，則令：

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{Sgn}(a_j - a_i)$$

其中： $\text{Sgn}(a_j - a_i) = \text{Sgn}(R_j - R_i)$ ， R 為觀測值 a 之排序號（rank）。當 $a_j - a_i$ 之數值大於 0，則令其數值為 1；相減為 0 則不變；相減後數值小於 0，則令其數值為 -1，如下方公式所示：

$$\text{Sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta > 0 \\ 0 & \text{if } \theta = 0 \\ -1 & \text{if } \theta < 0 \end{cases}$$

而觀測時間序練變化趨勢之 M-K 趨勢檢定結果 τ 值可定義如下：

$$\frac{S}{N} = \frac{S}{n(n-1)/2}$$

根據 Mann(1945)與 Kendall(1975)之研究，當 $n \geq 8$ 時，統計量 S 則近似於標準常態分布，並可以透過下方公式之標準常態統計量 Z 計算數值，間接表示樣本序列趨勢在統計上的增加或遞減之趨勢（王家銘，2012）。

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(a_{ij})}} \\ 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(a_{ij})}} \end{cases} \quad \text{if} \quad \begin{cases} S > 1 \\ S = 0 \\ S < 1 \end{cases}$$

其中變異數為 $\sqrt{\text{Var}(a_{ij})} = \left(\frac{1}{18}\right)[(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n Ti(Ti-1)(2Ti+5)]$

n ：樣本數； Ti ：數列中相同數之數量。

當 $|Z| > Z_{\alpha/2}$ 時通過檢定， $Z > 0$ 為漸增， $Z < 0$ 為漸減，本研究之顯著水準訂為 $p \leq 0.05$ 。

三、研究架構

研究架構如圖 1-6 所示。首先透過相關文獻之閱讀建立研究動機以及目的，並開始蒐集相關資料所的資料，並回顧相關研究方法之文獻，接著整理降雨量、逕流量、輸砂量相關資料，並使用 M-K 趨勢檢定、距平趨勢分析探討其變化趨勢，最後總結其變化趨勢。

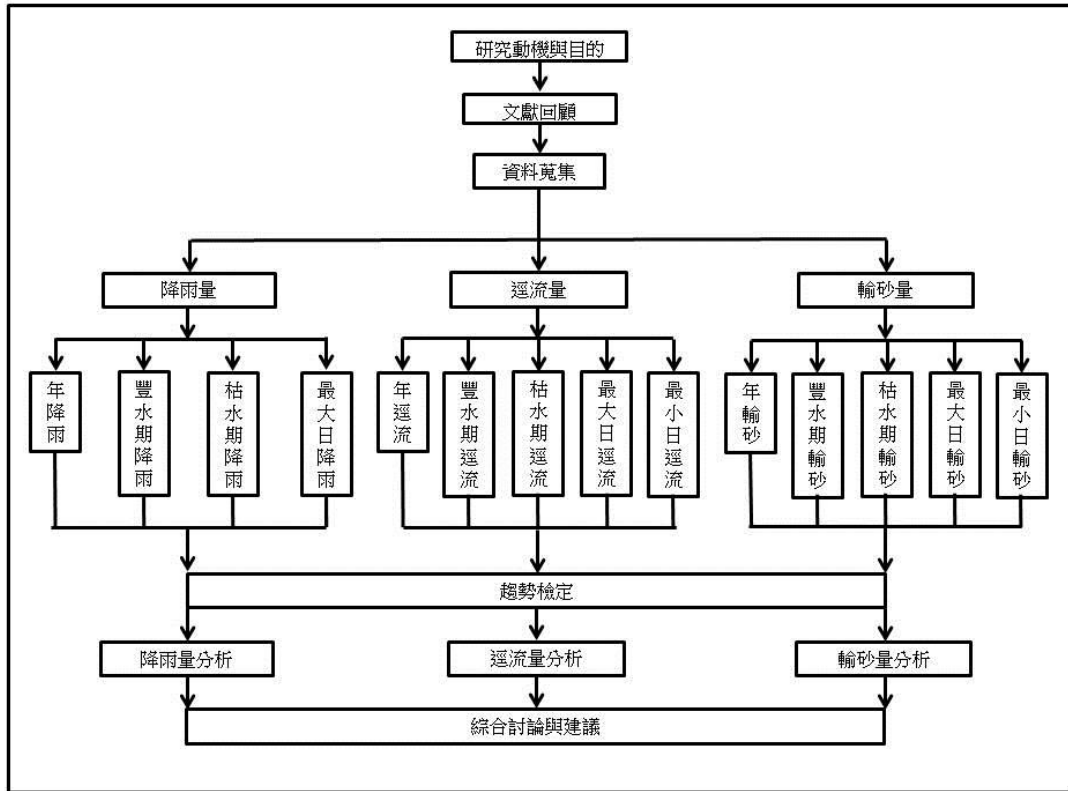


圖 1-6 研究架構圖

第二章 蘭陽溪上游流域之降雨趨勢

第一節 年降雨量之變化趨勢

年降雨量是透過各測站逐日降雨量加總而得，各測站年降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值如表 2-1 所示，若 τ 值為正值即年降雨量的變化呈現上升趨勢，反之 τ 值若為負值時，則變化呈現下降趨勢。在顯著性方面，本研究設定若 p 值小於 0.05 則代表 M-K 趨勢檢定結果具有顯著性。

表 2-1 蘭陽溪上游測站年降雨量之 M-K 趨勢檢定結果

雨量站	資料年數	τ 值	p 值
思源	17	0.017	0.965
南山 (1)	58	0.229	0.012*
南山 (2)	16	-0.105	0.626
留茂安	58	0.084	0.360
土場 (1)	63	0.005	0.956
土場 (2)	13	0.091	0.737
梵梵	52	-0.036	0.710

*為 p 值達顯著水準

一、思源測站

思源測站之年降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為 0.017，顯示思源測站之年降雨量變化呈現上升趨勢，但 p 值為 0.965，大於 0.05，變化趨勢未達顯著水準。圖 2-1 為思源測站年降雨量之距平趨勢，觀測期間共 17 年，透過圖 2-1 可以發現思源測站年降雨量變化呈現上升；而圖 2-2 為思源測站之年降雨量折線圖，年降雨量趨勢線呈現上升，此結果與 M-K 趨勢檢定及距平趨勢分析之結果相同，大致上思源測站之年降雨量變化呈現上升趨勢。

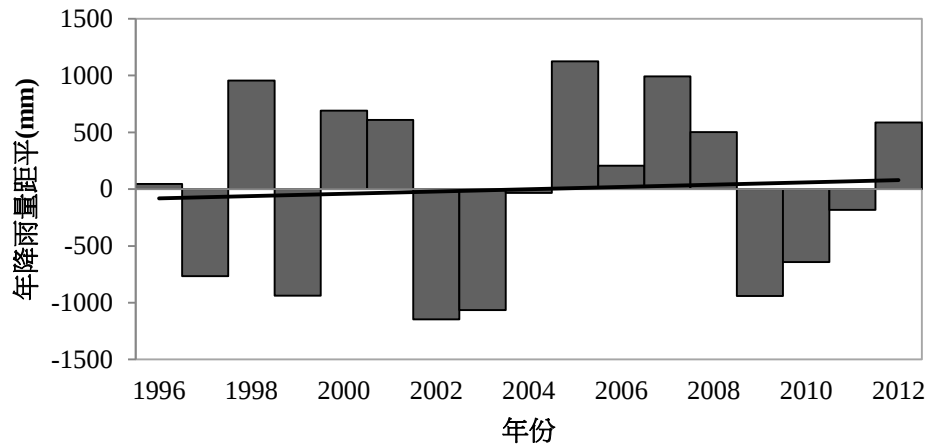


圖 2-1 思源測站年降雨量距平圖

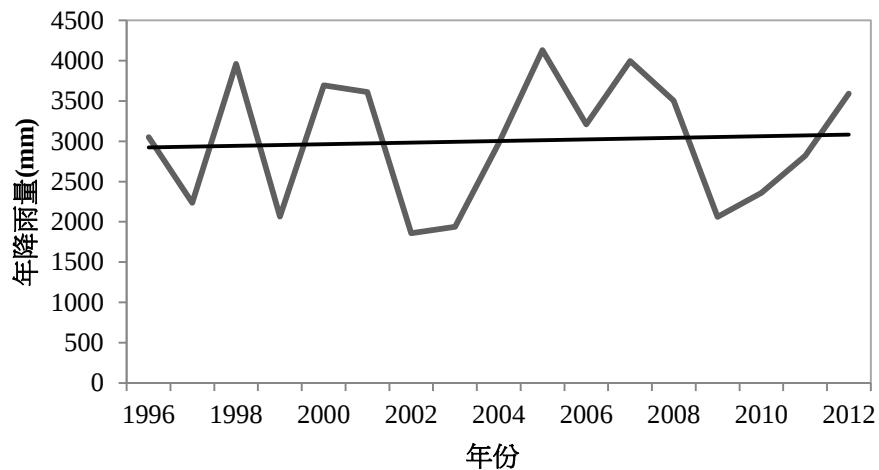


圖 2-2 思源測站年降雨量折線圖

二、南山（1）測站

南山（1）測站之年降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為 0.229，顯示南山（1）測站之年降雨量變化呈現上升趨勢，且 p 值為 0.012，低於 0.05，變化趨勢達顯著水準；圖 2-3 為南山（1）測站年降雨量之距平趨勢，觀測期間共 58 年，透過圖 2-3 可以發現南山（1）測站年降雨量變化呈現上升；而圖 2-4 為南山（1）測站之年降雨量折線圖，年降雨量亦呈現上升趨勢，此結果與距平趨勢分析、M-K 趨勢檢定之結果相同，大體上南山（1）測站的年降雨量變化呈現上升趨勢。

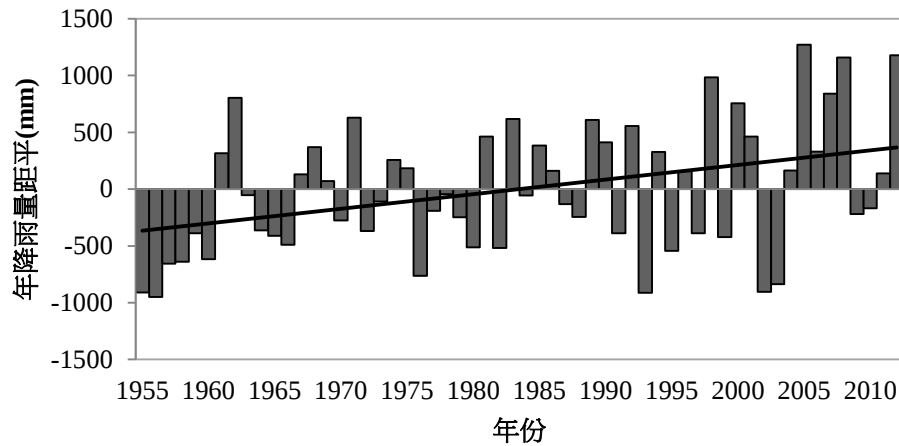


圖 2-3 南山（1）測站年降雨量距平圖

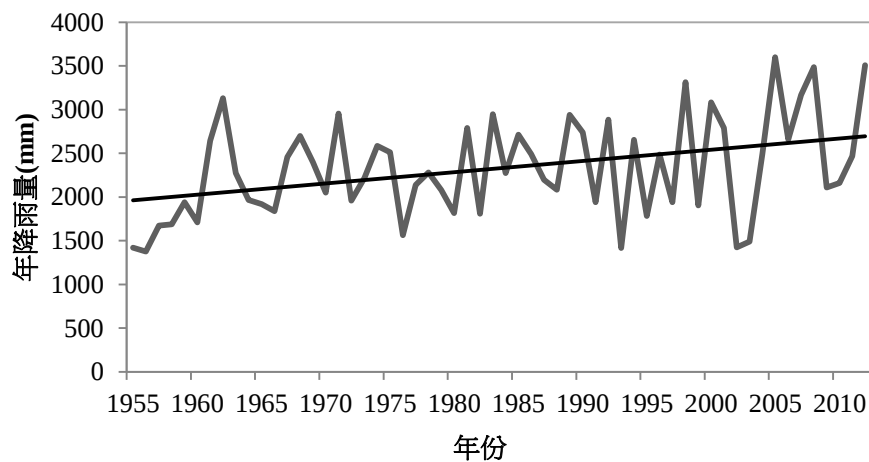


圖 2-4 南山（1）測站年降雨量折線圖

三、南山（2）測站

南山（2）測站之年降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為-0.105，結果顯示南山（2）測站之年降雨量變化呈現下降趨勢，但 p 值 0.626，未低於 0.05，變化趨勢未達顯著水準；圖 2-5 為南山（2）測站年降雨量之距平趨勢，觀測期間共 16 年，透過圖 2-5 可以發現南山（2）測站年降雨量變化呈現下降趨勢；而圖 2-6 為南山（2）測站之年降雨量折線圖，趨勢線亦呈現下降，此結果與距平趨勢分析、M-K 趨勢檢定之結果相同，並指出南山（2）測站的年降雨量變化呈現下降趨勢。

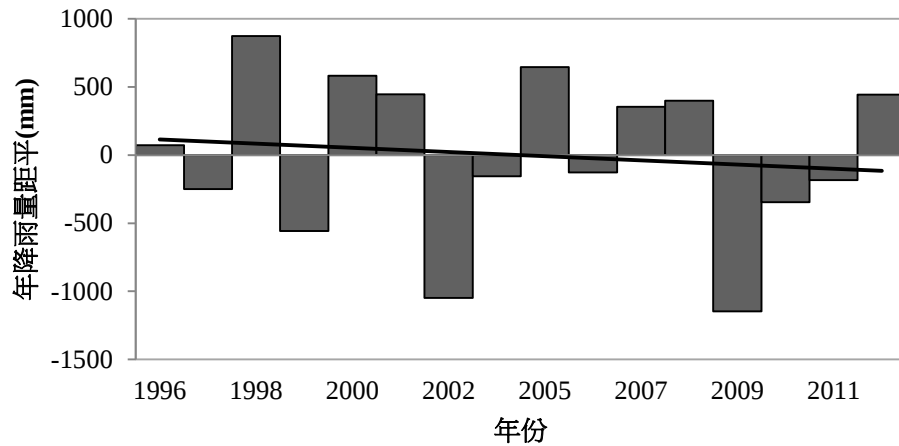


圖 2-5 南山（2）測站年降雨量距平圖

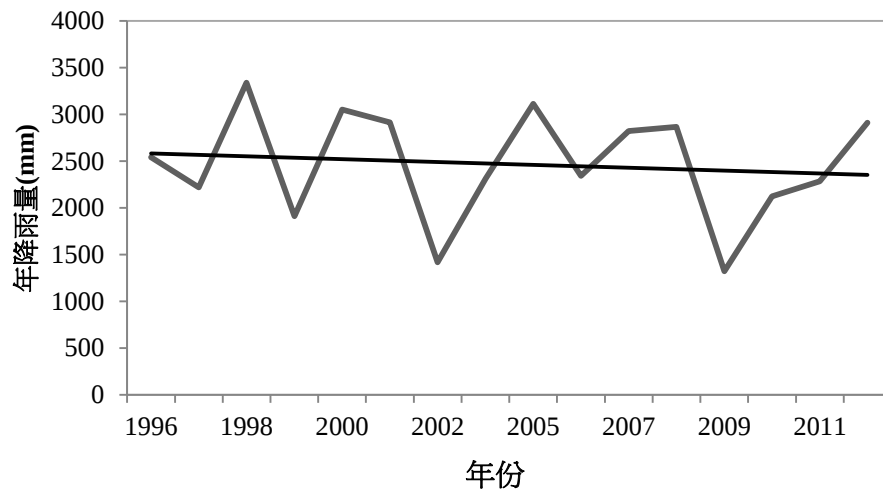


圖 2-6 南山（2）測站年降雨量折線圖

四、留茂安測站

留茂安測站之年降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為 0.084，結果顯示留茂安測站之年降雨量變化呈現上升趨勢，但 p 值 0.36，未低於 0.05，變化趨勢未達顯著水準；圖 2-7 為留茂安測站年降雨量之距平趨勢，觀測期間共 56 年，透過圖 2-7 可以發現留茂安測站年降雨量變化呈現上升趨勢；而圖 2-8 為留茂安測站之年降雨量折線圖，其趨勢線亦呈現上升，此結果與距平趨勢分析、M-K 趨勢檢定之結果相同，大體上留茂安測站的年降雨量變化呈現上升趨勢。

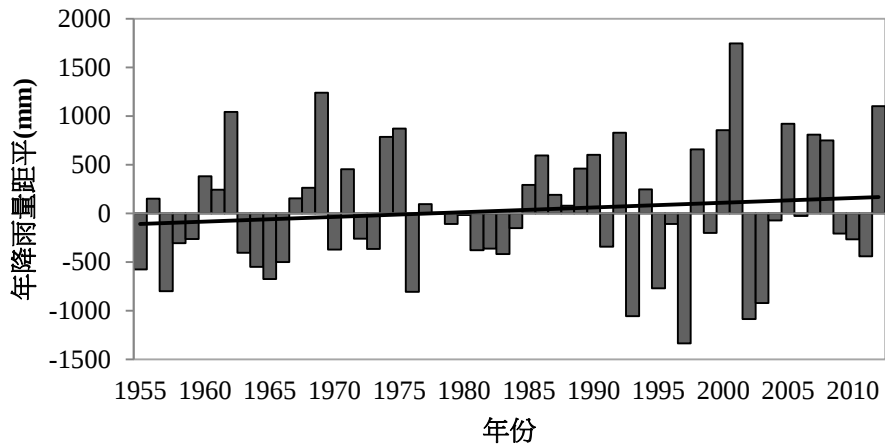


圖 2-7 留茂安測站年降雨量距平圖

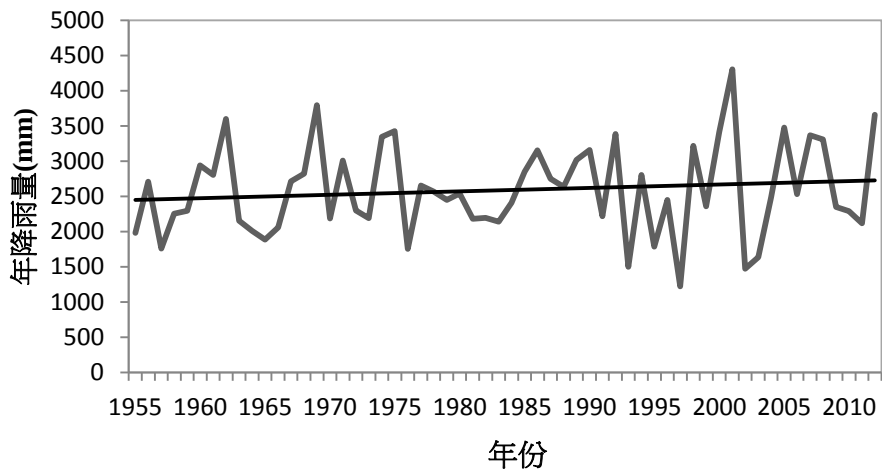


圖 2-8 留茂安測站年降雨量折線圖

五、土場（1）測站

土場（1）測站之年降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為 0.005，結果顯示土場（1）測站之年降雨量變化呈現上升趨勢，但 p 值為 0.956，未低於 0.05，變化趨勢未達顯著水準；圖 2-9 為土場（1）測站年降雨量之距平趨勢，觀測期間共 63 年，透過圖 2-9 可以發現土場（1）測站年降雨量變化呈現微幅上升趨勢；而圖 2-10 為土場（1）測站之年降雨量折線圖，年降雨量趨勢線呈現微幅上升，此結果與距平趨勢分析、M-K 趨勢檢定之結果相同，故土場（1）測站的年降雨量變化呈現上升趨勢。

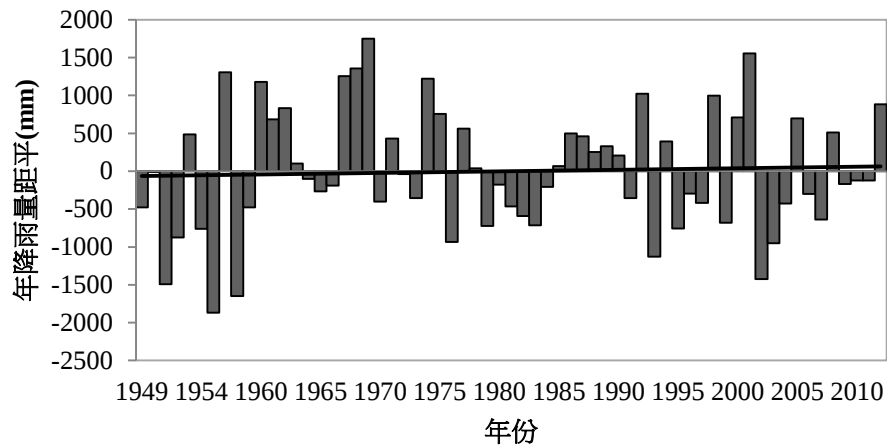


圖 2-9 土場（1）測站年降雨量距平圖

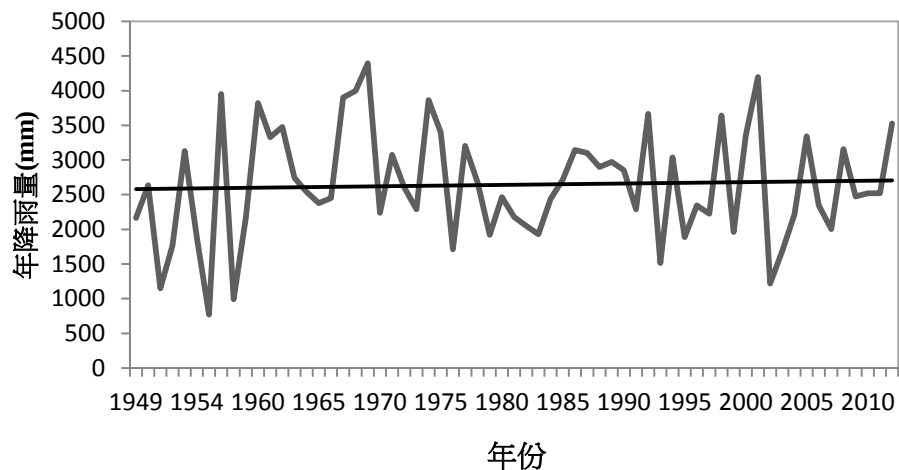


圖 2-10 土場（1）測站之年降雨量折線圖

六、土場（2）測站

土場（2）測站之年降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為 0.091，結果顯示土場（2）測站年降雨量變化呈現上升趨勢，但 p 值 0.737，未低於 0.05，變化趨勢未達顯著水準；圖 2-11 為土場（2）測站年降雨量之距平趨勢，觀測期間共 12 年，透過圖 2-11 可以發現土場（2）測站年降雨變化呈現微幅上升趨勢；而圖 2-12 為土場（2）測站之年降雨量折線圖，年降雨量趨勢線呈現微幅上升，此結果與距平趨勢分析、M-K 趨勢檢定之結果相同，綜合三者之結果土場（2）測站的年降雨量變化呈現上升趨勢。

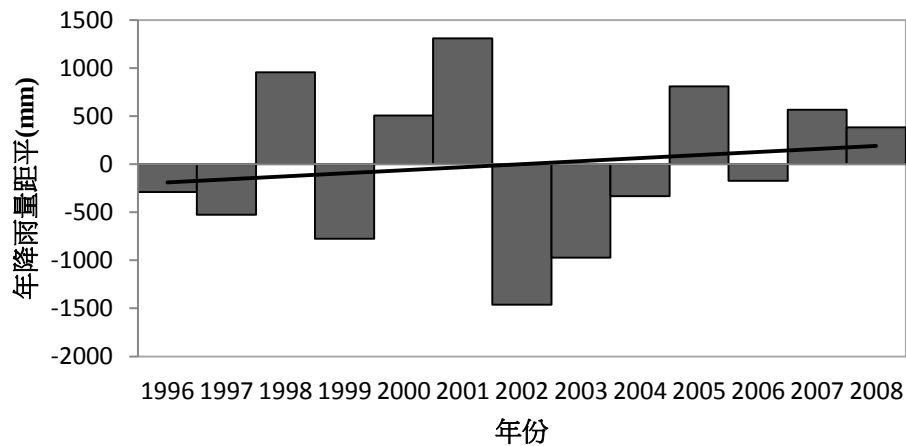


圖 2-11 土場（2）測站年降雨量距平圖

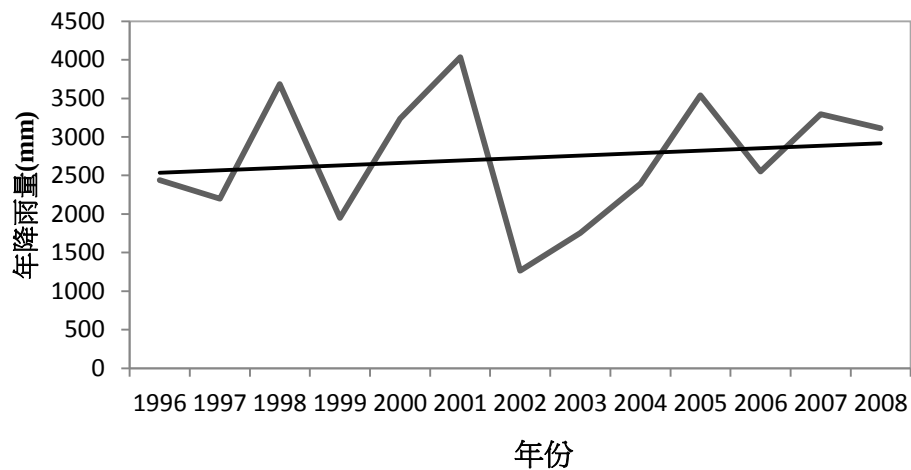


圖 2-12 土場（2）測站之年降雨量折線圖

七、梵梵測站

梵梵測站之年降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為-0.036，結果顯示梵梵測站之年降雨量變化呈現下降趨勢，但 p 值 0.71，未低於 0.05，變化趨勢未達顯著水準；圖 2-13 為梵梵測站年降雨量之距平趨勢，觀測期間共 51 年，透過圖 2-13 可以發現梵梵測站年年降雨量變化呈現下降趨勢；而圖 2-14 為梵梵測站之年降雨量折線圖，趨勢線亦呈現下降，此結果與距平趨勢分析、M-K 趨勢檢定之結果相同，因此，梵梵測站的年降雨量變化呈現下降趨勢。

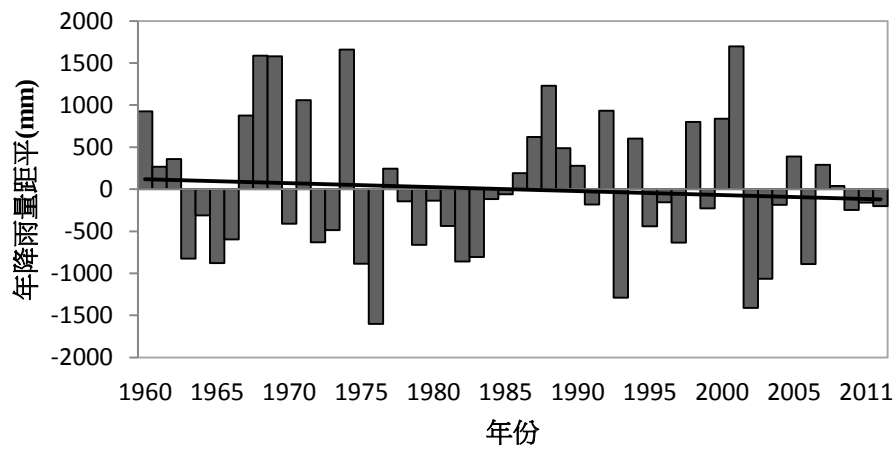


圖 2-13 梵梵測站年降雨量距平圖

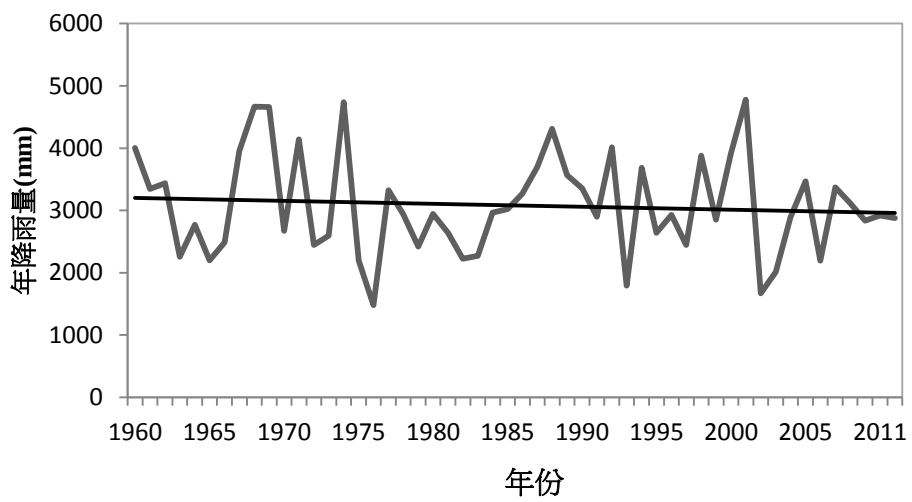


圖 2-14 梵梵測站之年降雨量折線圖

第二節 豐水期降雨量之變化趨勢

豐水期降雨資料是將各測站逐年 5 至 10 月之降雨量累加而得，使用 M-K 趨勢檢定、距平趨勢分析探討各個測站逐年的豐水期降雨量變化的趨勢，M-K 趨勢檢定之 τ 值如下表 2-2，其 τ 值若為正值則變化趨勢為上升，若為負值，則代表下降。在顯著性方面，本研究設定若 p 值小於 0.05 則代表 M-K 趨勢檢定結果具有顯著性。

表 2 - 2 蘭陽溪上游豐水期降雨量測站之 M-K 趨勢檢定結果

雨量站	資料年數	τ 值	p 值
思源	17	0.133	0.506
南山 (1)	56	0.195	0.032*
南山 (2)	16	0.038	0.881
留茂安	58	0.104	0.256
土場 (1)	63	0.076	0.385
土場 (2)	13	0.151	0.545
梵梵	52	0.025	0.794

*為 p 值達顯著水準

一、思源測站

思源測站豐水期降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為 0.085，結果呈現思源測站之豐水期降雨量變化呈現上升趨勢， p 值 0.697，未低於 0.05，變化趨勢未達顯著水準；圖 2-15 為思源測站豐水期降雨量之距平趨勢，觀測期間共 17 年，透過圖 2-15 可以發現思源測站豐水期降雨量變化呈現上升趨勢；而圖 2-16 為思源測站之豐水期降雨量折線圖，趨勢線亦呈現上升，此結果與距平趨勢分析、M-K 趨勢檢定之結果相同，綜合以上，思源測站之豐水期降雨量變化呈現上升趨勢。

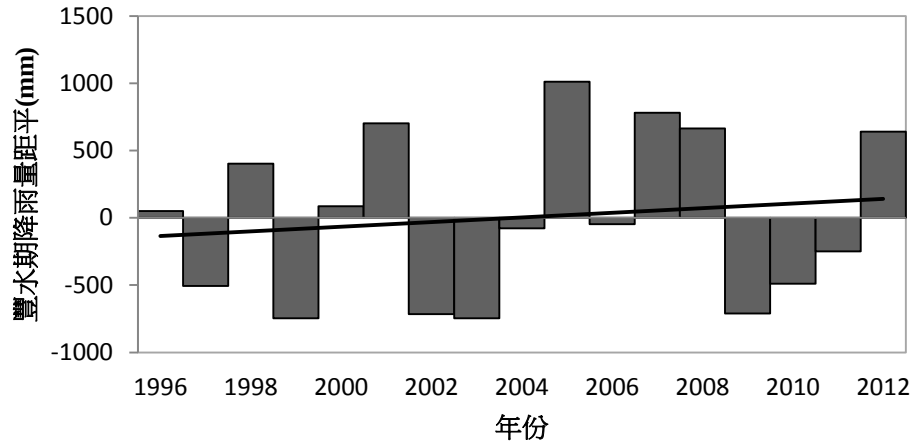


圖 2-15 思源測站豐水期降雨量距平圖

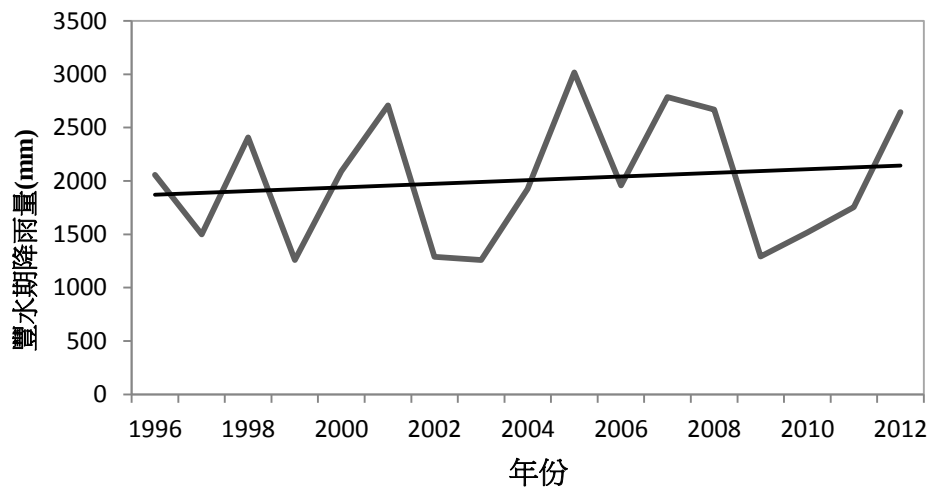


圖 2-16 思源測站之豐水期降雨量折線圖

二、南山（1）測站

南山(1)測站豐水期降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為 0.195，結果顯示南山(1)測站之豐水期降雨量變化呈現上升趨勢， p 值 0.032，低於 0.05，變化趨勢達顯著水準；圖 2-17 為南山(1)測站豐水期降雨量之距平趨勢，觀測期間共 58 年，透過圖 2-17 可以發現南山(1)測站豐水期降雨量變化呈現上升趨勢；而圖 2-18 為南山(1)測站之豐水期降雨量折線圖，趨勢線亦呈現上升，此結果與距平趨勢分析、M-K 趨勢檢定之結果相同，因此，南山(1)測站之豐水期降雨量變化呈現上升趨勢。

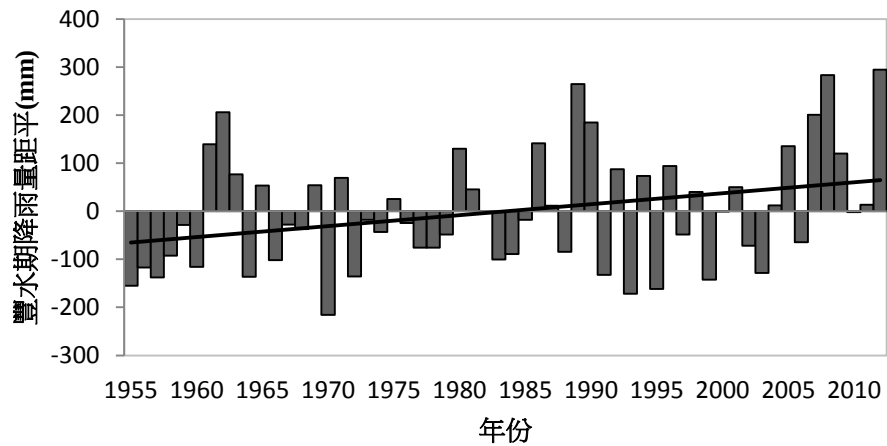


圖 2-17 南山（1）測站豐水期降雨量距平圖

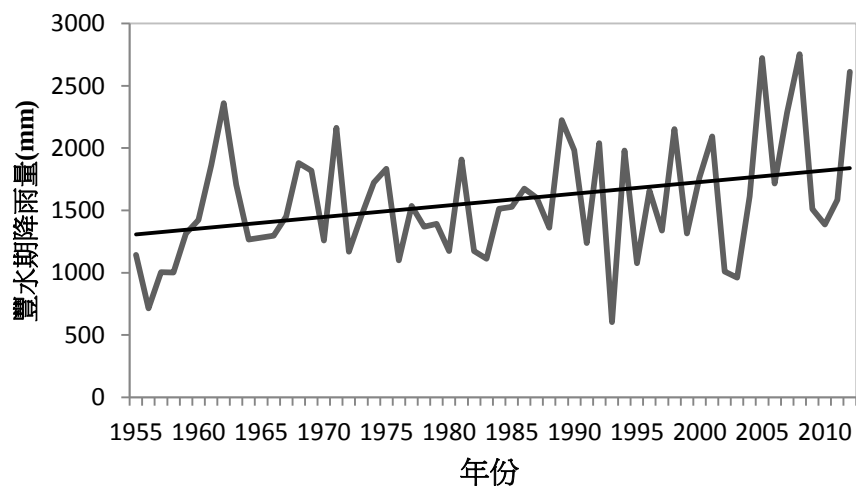


圖 2-18 南山（1）測站豐水期降雨量折線圖

三、南山（2）測站

南山（2）測站豐水期降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為 0.038，結果顯示南山（2）測站之豐水期降雨量變化趨勢呈現上升，但 p 值 0.881 未低於 0.05，故變化趨勢未達顯著水準；圖 2-19 為南山（2）測站豐水期降雨量之距平趨勢，觀測期間共 16 年，透過圖 2-19 可以發現南山（2）測站之豐水期降雨量變化呈現下降趨勢；而圖 2-20 為南山（2）測站之豐水期降雨量折線圖，趨勢線亦呈現下降，此結果與距平趨勢分析相同，但與 M-K 趨勢檢定之結果不相同，但 M-K 趨勢結果未達顯著水準，因此，綜合以上結果，南山（2）測站之豐水期降雨量變化呈現下降

趨勢。

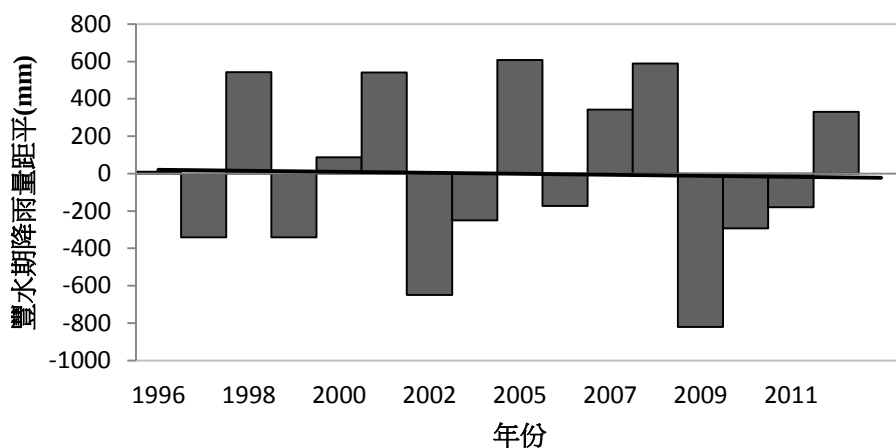


圖 2-19 南山（2）測站豐水期降雨量距平圖

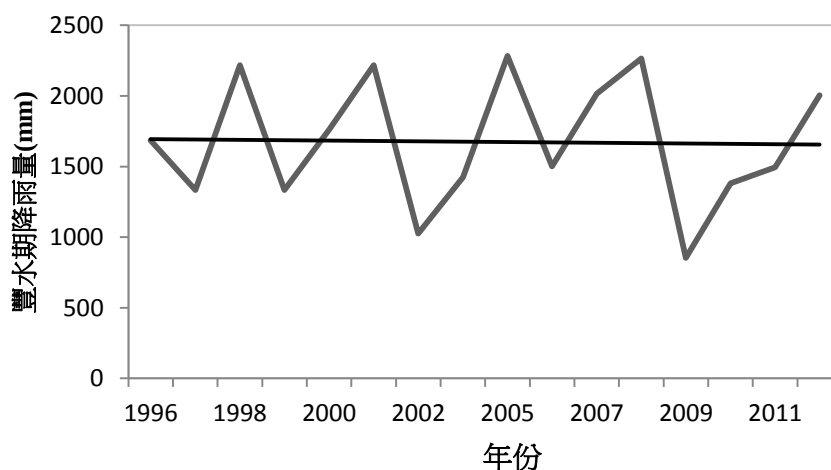


圖 2 - 20 南山（2）測站豐水期降雨量折線圖

四、留茂安測站

留茂安測站豐水期降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為 0.104 結果顯示留茂安測站之豐水期降雨量變化呈現上升趨勢，但 p 值 0.256 未低於 0.05，故變化趨勢未達顯著水準；圖 2-21 為留茂安測站豐水期降雨量之距平趨勢，觀測期間共 57 年，透過圖 2-21 可以發現留茂安測站豐水期降雨量變化呈現上升趨勢；而圖 2-22 為留茂安測站之豐水期降雨量折線圖，趨勢線亦呈現上升，此結果與距平趨勢分析、M-K 趨勢檢定結果相同，大體上留茂安測站的豐水期降雨量變化呈現上升趨勢。

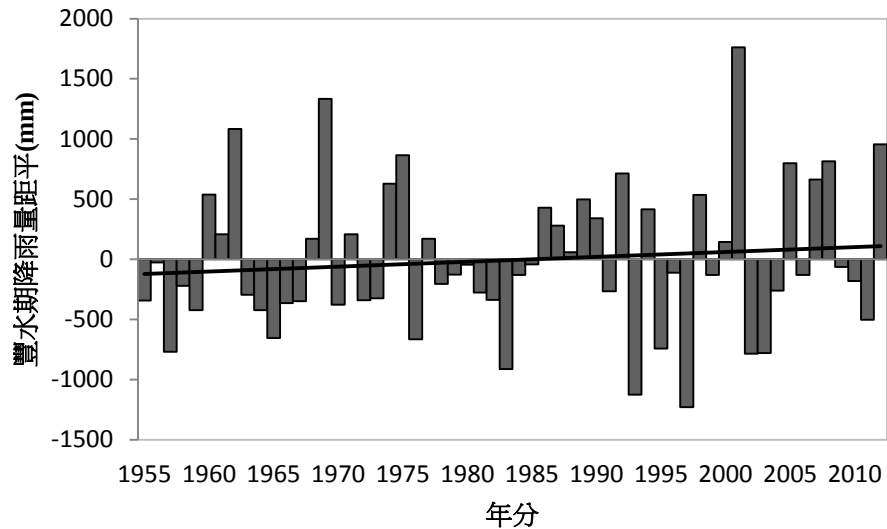


圖 2-21 留茂安測站豐水期降雨量距平圖

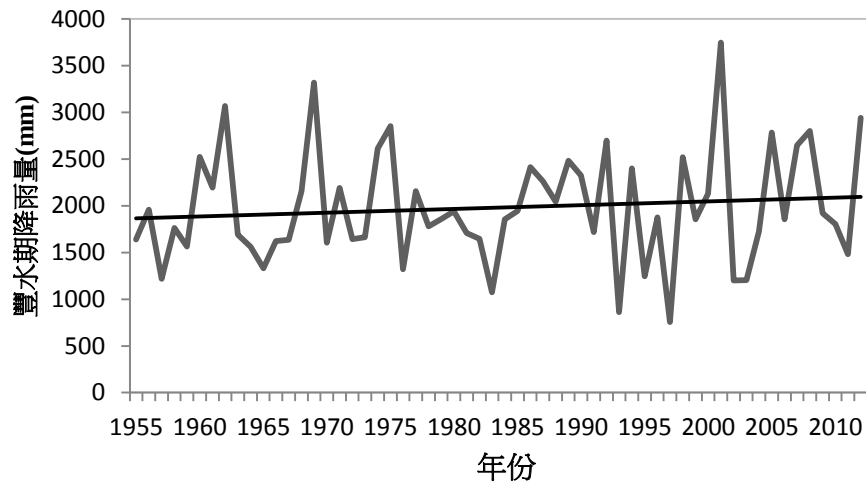


圖 2-22 留茂安測站豐水期降雨量折線圖

五、土場（1）測站

土場（1）測站豐水期降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為 0.076，結果顯示土場（1）測站豐水期降雨量變化呈現上升趨勢，但 p 值 0.385，未低於 0.05，故變化趨勢未達顯著水準；圖 2-23 為土場（1）測站豐水期降雨量之距平趨勢，觀測期間共 63 年，透過圖 2-23 可以發現土場（1）測站豐水期降雨量變化呈現上升趨勢；而圖 2-24 為土場（1）測站之豐水期降雨量折線圖，豐水期降雨量趨勢線呈現微幅上升，此結果與距平趨勢分析、M-K 趨勢檢定之結果相同，故土場（1）測站的豐水期降雨量變化呈現上升趨勢。

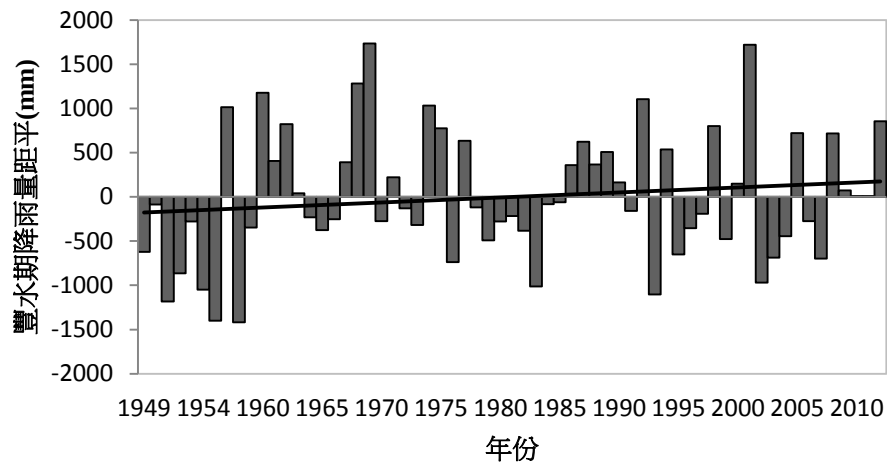


圖 2-23 土場（1）測站豐水期降雨量距平圖

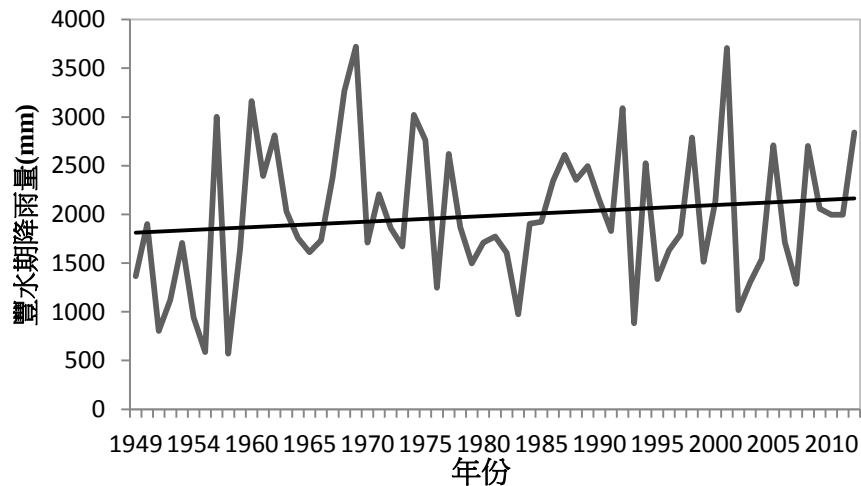


圖 2-24 土場（1）測站豐水期降雨量折線圖

六、土場（2）測站

土場（2）測站之豐水期降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為 0.151，結果顯示土場（2）測站之豐水期降雨量變化呈現上升趨勢，但 p 值 0.545，未低於 0.05，故變化趨勢未達顯著水準；圖 2-25 為土場（2）測站豐水期降雨量之距平趨勢，觀測期間共 12 年，透過圖 2-25 土場（2）測站豐水期降雨量變化呈現微幅上升趨勢；而圖 2-26 為土場（2）測站之豐水期降雨量折線圖，豐水期降雨量趨勢線呈現微幅上升，此結果與距平趨勢分析、M-K 趨勢檢定之結果相同，綜合三者之結果，土場（2）測站的豐水期降雨量變化呈現上升趨勢。

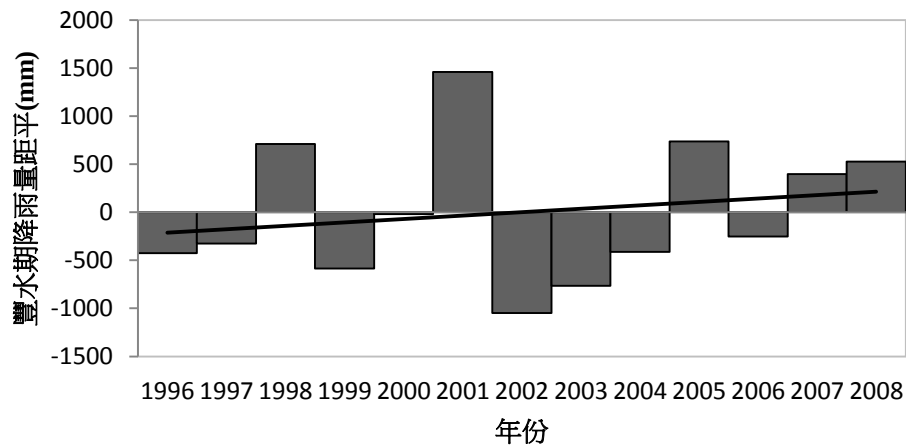


圖 2-25 土場（2）測站豐水期降雨量距平圖

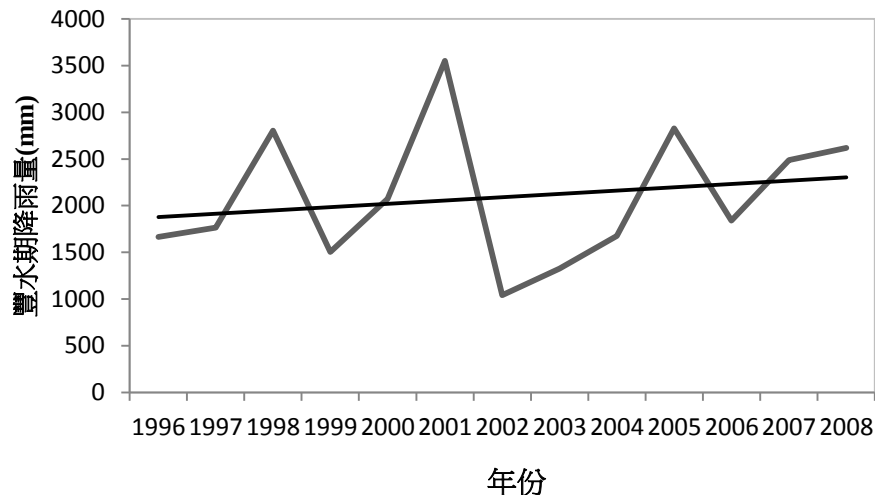


圖 2-26 土場（2）測站豐水期降雨量折線圖

七、梵梵測站

梵梵測站之豐水期降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為 0.025，結果顯示梵梵測站之豐水期降雨量變化呈現上升趨勢，但 p 值 0.794，未低於 0.05，故變化趨勢未達顯著水準；圖 2-27 為梵梵測站豐水期降雨量之距平趨勢，觀測期間共 51 年，透過圖 2-27 可以發現梵梵測站豐水期降雨量變化呈現下降趨勢；而圖 2-28 為梵梵測站之豐水期降雨量折線圖，趨勢線亦呈現下降，此結果與距平趨勢分析相同，但與 M-K 趨勢檢定之結果不同，M-K 趨勢結果未達顯著值，因此，梵梵測站之豐水期降雨變化呈現下降趨勢。

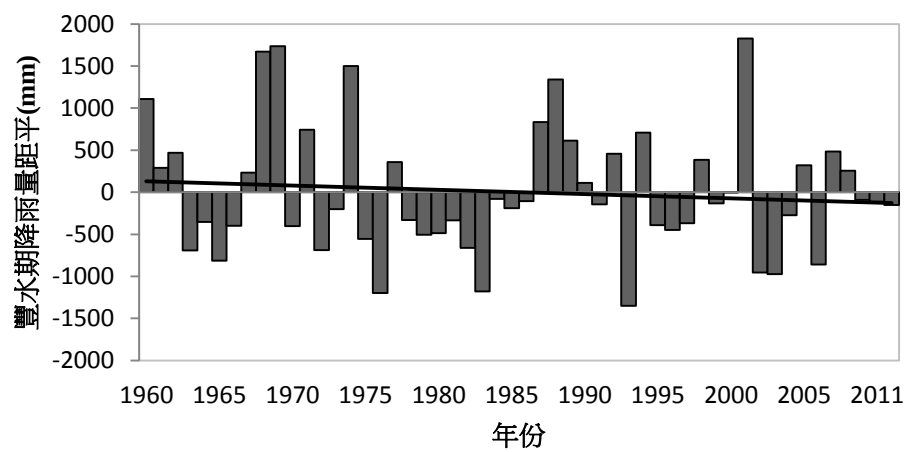


圖 2-27 梵梵豐水期降雨量距平圖

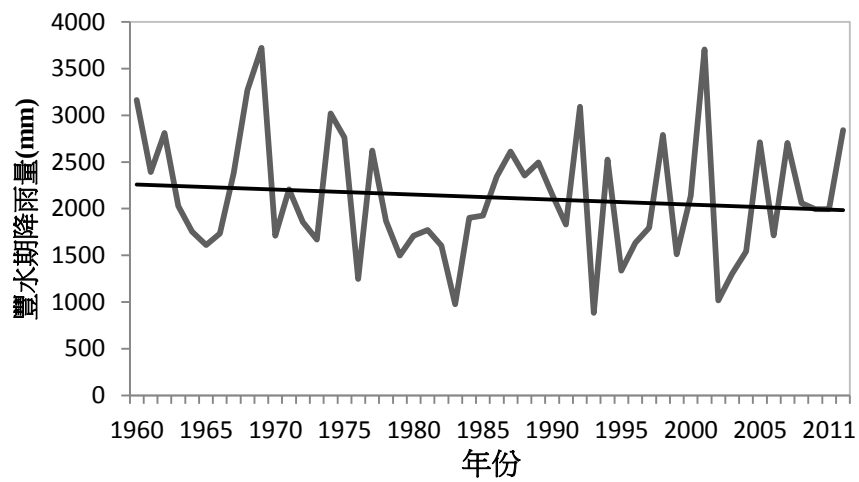


圖 2-28 梵梵測站豐水期降雨量折線圖

第三節 枯水期降雨量之變化趨勢

枯水期降雨資料是將各測站逐年 1 至 4 月以及 11、12 月之降雨量累加而得，透過 M-K 趨勢檢定和距平趨勢法分析不同測站的枯水期降雨量的變化趨勢，M-K 趨勢檢定之 τ 值如下表 2-3， τ 值若為正值即降雨量趨勢為上升，反之則為下降趨勢。在顯著性方面，本研究設定若 p 值小於 0.05 則代表 M-K 趨勢檢定結果具有顯著性。

表 2 - 3 蘭陽溪上游枯水期降雨量測站之 M-K 趨勢檢定結果

雨量站	資料年數	τ 值	p 值
思源	16	0.050	0.825
南山 (1)	57	0.182	0.047*
南山 (2)	16	-0.143	0.495
留茂安	58	0.019	0.842
土場 (1)	63	-0.195	0.026*
土場 (2)	13	0.121	0.638
梵梵	52	-0.005	0.968

*為 p 值達顯著水準

一、思源測站

思源測站之枯水期降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為 0.05，結果顯示思源測站之變化呈現上升趨勢，但 p 值 0.825，未低於 0.05，故變化趨勢未達顯著水準；圖 2-29 為思源測站枯水期降雨量之距平趨勢，觀測期間共 16 年，透過圖 2-29 可以發現思源測站枯水期降雨量變化呈現下降趨勢；而圖 2-30 為思源測站之枯水期降雨量折線圖，趨勢線亦呈現下降，此結果與距平趨勢分析相同，但與 M-K 趨勢檢定之結果不同，由於 M-K 檢定之 p 值未達顯著水準，綜合以上，思源測站之枯水期降雨量變化呈現下降趨勢。

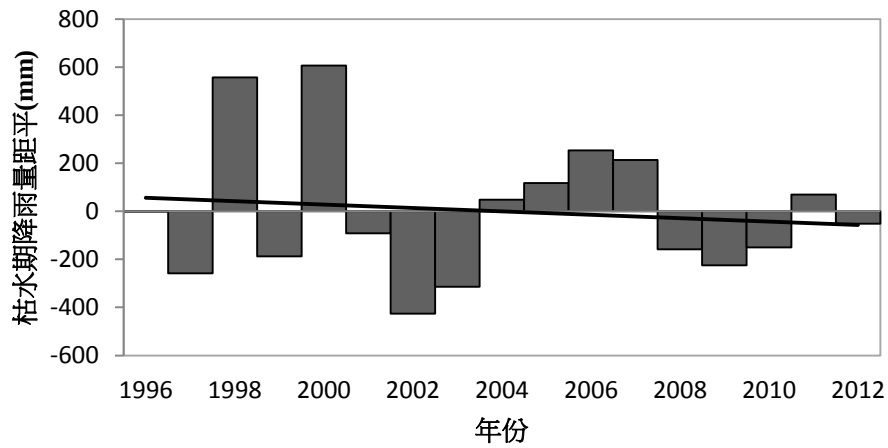


圖 2-29 思源測站枯水期降雨量距平圖

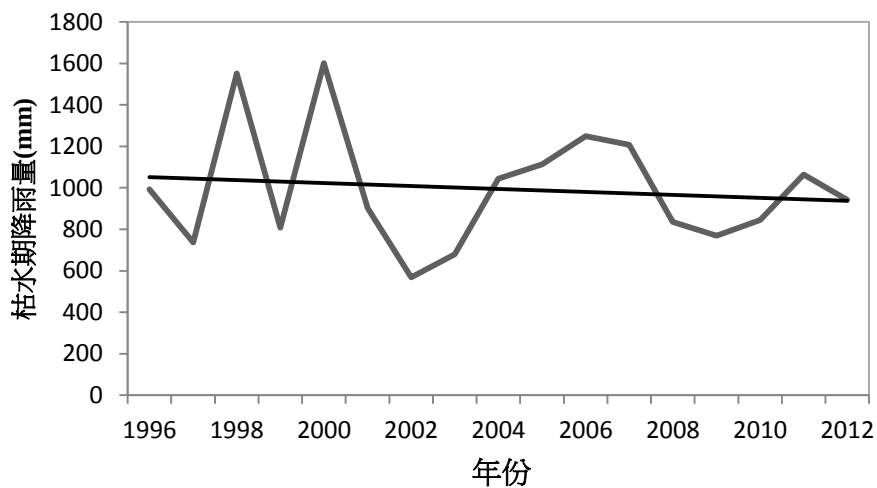


圖 2-30 思源測站枯水期降雨量折線圖

二、南山（1）測站

南山（1）測站之枯水期降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為 0.182，結果顯示南山（1）測站之變化呈現上升趨勢， p 值 0.047，低於 0.05，故變化趨勢達顯著水準；圖 2-31 為南山（1）測站枯水期降雨量之距平趨勢，觀測期間共 58 年，透過圖 2-31 可以發現南山（1）測站枯水期降雨量變化呈現上升趨勢；而圖 2-32 為南山（1）測站之枯水期降雨量折線圖，趨勢線亦呈現上升，此結果與距平趨勢分析、

M-K 趨勢檢定之結果相同，因此，南山（1）測站之枯水期降雨量變化呈現上升趨勢。

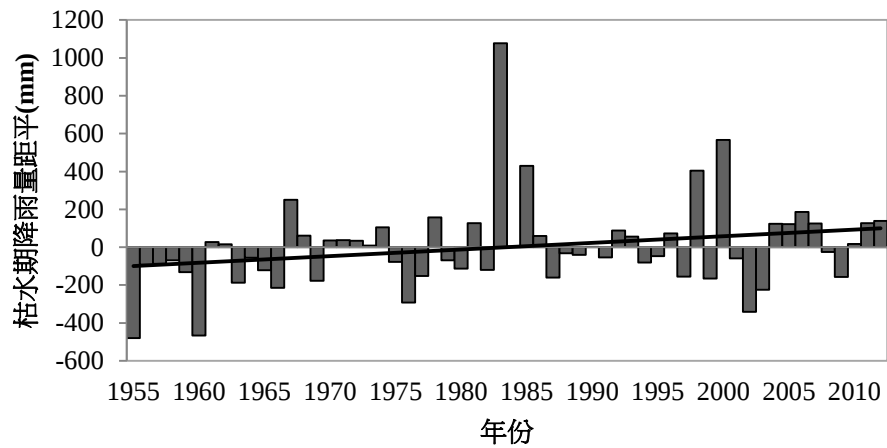


圖 2-31 南山（1）測站枯水期降雨量距平圖

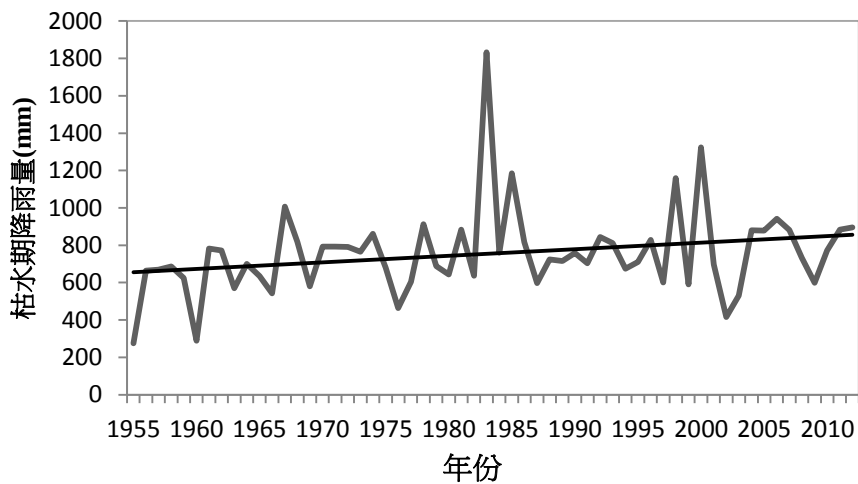


圖 2-32 南山（1）測站枯水期降雨量折線圖

三、南山（2）測站

南山（2）測站之枯水期降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為-0.143，結果顯示南山（2）測站之枯水期降雨量變化呈現下降趨勢，但 p 值 0.495，未低於 0.05，故變化趨勢未達顯著水準；圖 2-33 為南山（2）測站枯水期降雨量之距平趨勢，觀測期間共 16 年，透過圖 2-33 可以發現南山（2）測站枯水期降雨量變化呈現下降

趨勢；而圖 2-34 為南山（2）測站之枯水期降雨量折線圖，趨勢線亦呈現下降，此結果與距平趨勢分析、M-K 趨勢檢定之結果相同，故南山（2）測站的枯水期降雨量變化呈現下降趨勢。

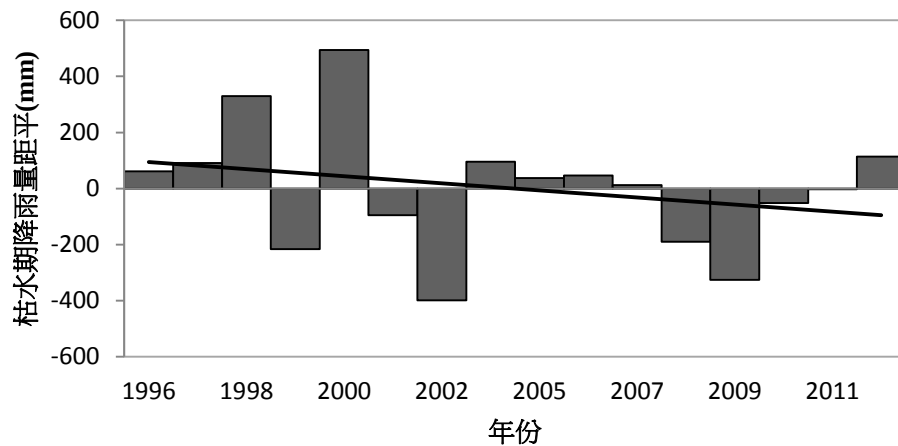


圖 2-33 南山（2）測站枯水期降雨量距平圖

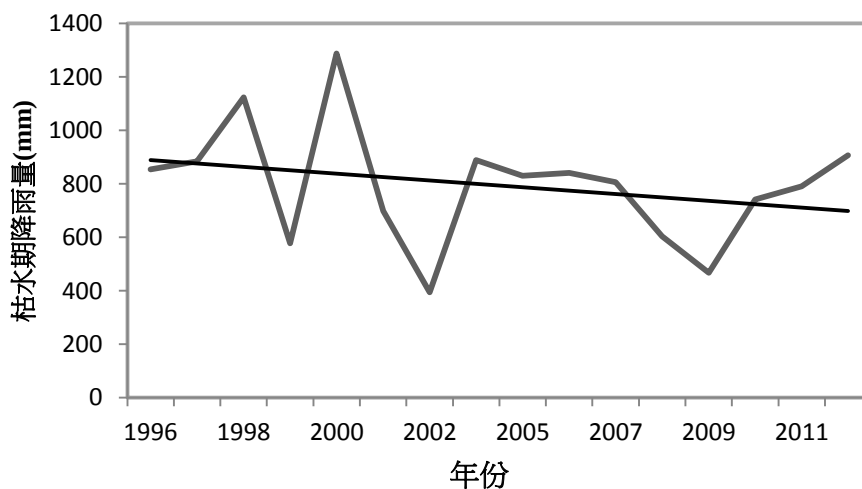


圖 2-34 南山（2）測站枯水期降雨量折線圖

四、留茂安測站

留茂安測站之枯水期降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為 0.019，結果顯示留茂安測站之枯水期降雨量變化呈現上升趨勢，但 p 值 0.842，未低於 0.05，故變化趨勢未達顯著水準；圖 2-35 為留茂安測站枯水期降雨量之距平趨勢，觀測期間共 57

年，透過圖 2-35 可以發現留茂安測站枯水期降雨量變化呈現上升趨勢；而圖 2-36 為留茂安測站之枯水期降雨量折線圖，其趨勢線亦呈現上升，此結果與距平趨勢分析、M-K 趨勢檢定之結果相同，大體上留茂安測站的枯水期降雨量變化呈現上升趨勢。

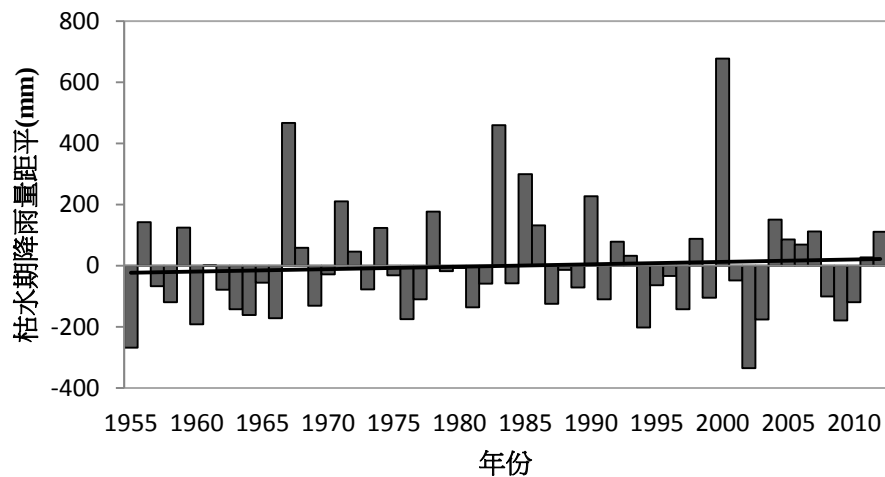


圖 2-35 留茂安測站枯水期降雨量距平圖

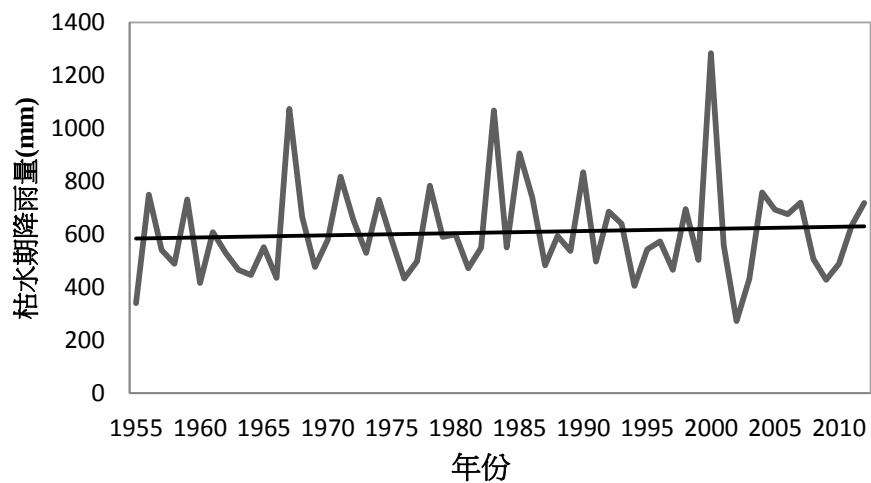


圖 2-36 留茂安測站枯水期降雨量折線圖

五、土場（1）測站

土場（1）測站之枯水期降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為-0.195，結果顯示土場（1）測站之枯水期降雨量變化呈現下降趨勢，且 p 值 0.026，低於 0.05，故變化

趨勢達顯著水準；圖 2-37 為土場（1）測站枯水期降雨量之距平趨勢，觀測期間共 63 年，透過圖 2-37 可以發現土場（1）測站枯水期降雨量變化呈現下降趨勢；而圖 2-38 為土場（1）測站之枯水期降雨量折線圖，枯水期降雨量趨勢線呈現下降，此結果與距平趨勢分析、M-K 趨勢檢定之結果相同，故土場（1）測站的枯水期降雨量變化呈現下降趨勢。

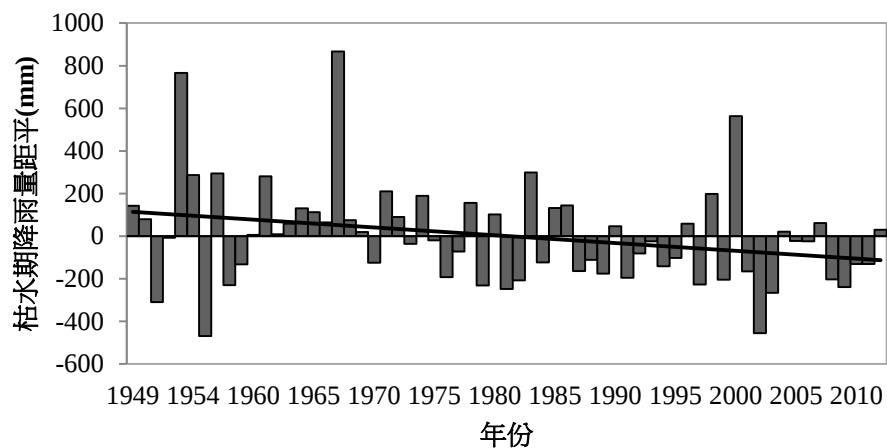


圖 2-37 土場（1）測站枯水期降雨量距平圖

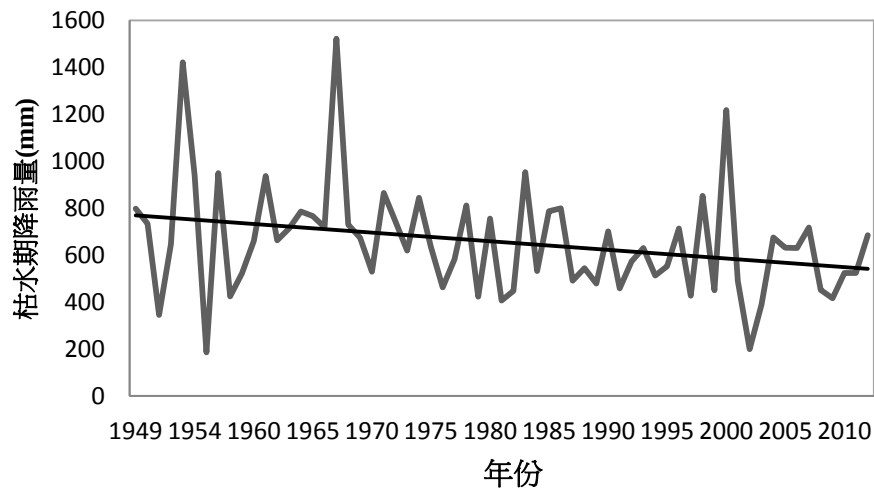


圖 2-38 土場（1）測站枯水期降雨量折線圖

六、土場（2）測站

土場（2）測站之枯水期降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為 0.121，結果顯示土場

(2) 測站之枯水期降雨量變化呈現上升趨勢，但 p 值 0.638，未低於 0.05，故變化趨勢未達顯著水準；圖 2-39 為土場（2）測站枯水期降雨量之距平趨勢，觀測期間共 12 年，透過圖 2-39 可以發現土場（2）測站枯水期降雨量變化呈現下降趨勢；而圖 2-40 為土場（2）測站之枯水期降雨量折線圖，枯水期降雨量趨勢線呈現下降，此結果與距平趨勢分析相同，但和 M-K 趨勢檢定之結果不同，由於 M-K 趨勢之 p 值未達顯著水準，故綜合三者後可得知土場（2）測站的枯水期降雨量變化呈現下降趨勢。

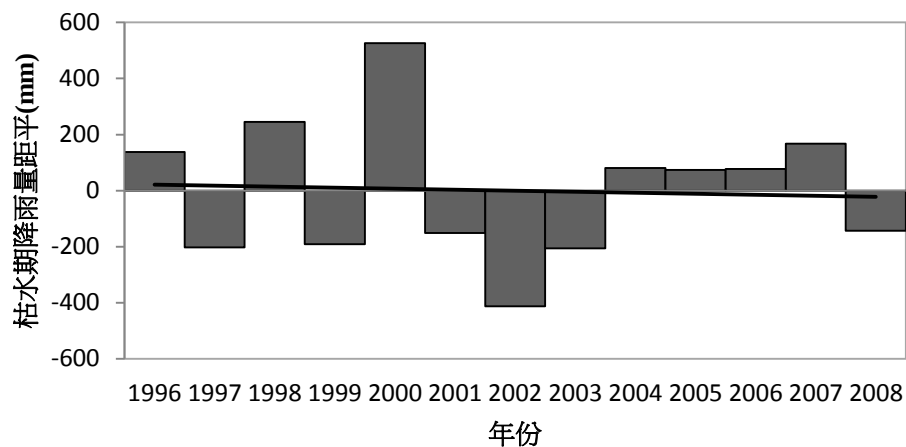


圖 2-39 土場（2）測站枯水期降雨量距平圖

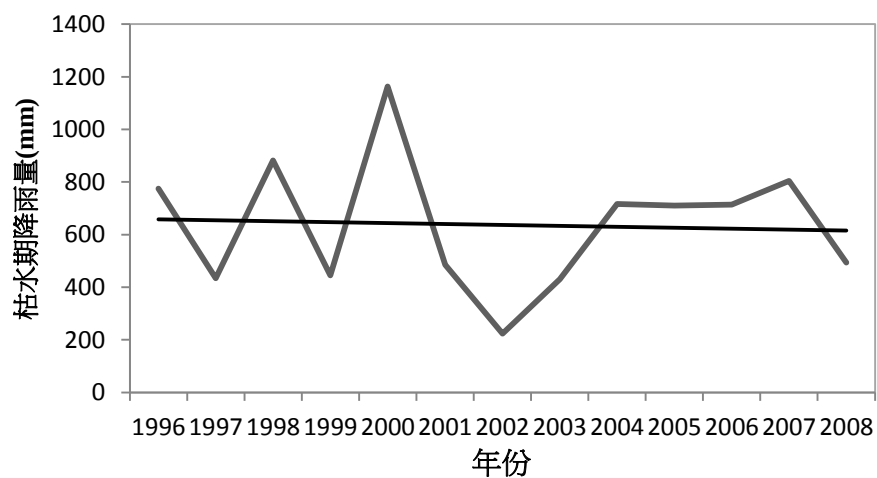


圖 2-40 土場（2）測站枯水期降雨量折線圖

七、梵梵測站

梵梵測站之枯水期降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為-0.005，結果顯示梵梵測站之枯水期降雨量變化呈現下降趨勢，但 p 值 0.968，未低於 0.05，故變化趨勢未達顯著水準；圖 2-41 為梵梵測站枯水期降雨量之距平趨勢，觀測期間共 51 年，透過圖 2-41 可以發現梵梵測站枯水期降雨量變化呈現上升趨勢；而圖 2-42 為梵梵測站之枯水期降雨量折線圖，趨勢線亦呈現上升，此結果與距平趨勢分析相同，但與 M-K 趨勢檢定之結果不同，因此梵梵測站之枯水期降雨量變化呈現上升趨勢。

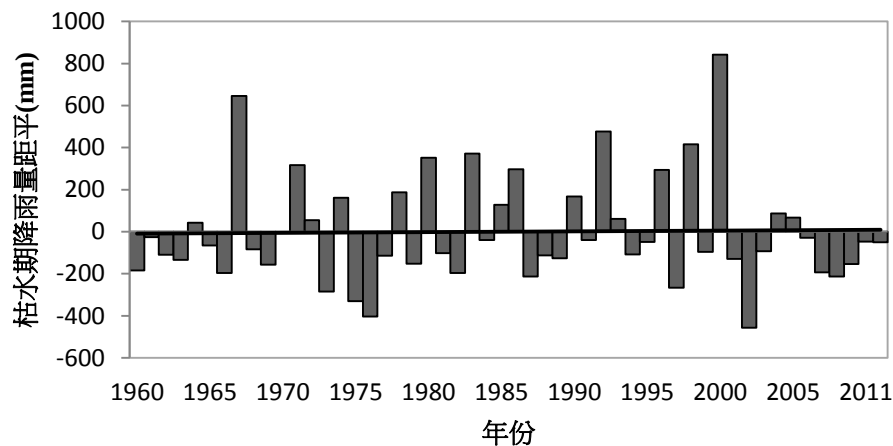


圖 2-41 梵梵測站枯水期降雨量距平圖

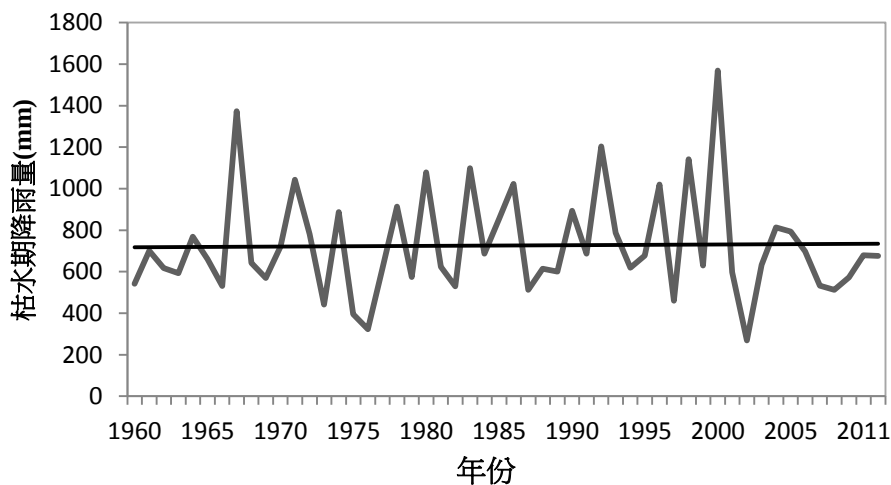


圖 2-42 梵梵測站枯水期降雨量折線圖

第四節 最大日降雨量變化趨勢分析

最大日雨量是選出逐年單一日累積降雨量最高，再以 M-K 趨勢檢定和距平趨勢法分析不同測站觀測期間的最大日降雨量變化趨勢，M-K 趨勢檢定 τ 值如下表 2-4， τ 值若為正值即最大日降雨量變化呈現上升趨勢，反則為下降。在顯著性方面，本研究設定若 p 值小於 0.05 則代表 M-K 趨勢檢定結果具有顯著性。

表 2 - 4 蘭陽溪上游最大日降雨量測站之 M-K 趨勢檢定結果

雨量站	資料年數	τ 值	p 值
思源	16	0.117	0.564
南山 (1)	57	0.192	0.036*
南山 (2)	16	0.257	0.202
留茂安	58	0.043	0.640
土場 (1)	63	0.242	0.006*
土場 (2)	13	0.121	0.638
梵梵	52	-0.024	0.807

*為 p 值達顯著水準

一、思源測站

思源測站之最大日降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為 0.117，結果顯示思源測站之變化呈現上升趨勢，但 p 值 0.564 未低於 0.05，故變化趨勢未達顯著水準；圖 2-43 為思源測站最大日降雨量之距平趨勢，觀測期間共 16 年，透過圖 2-43 可以發現思源測站最大日降雨量變化呈現上升趨勢；而圖 2-44 為思源測站之最大日降雨量折線圖，趨勢線亦呈現上升，此結果與距平趨勢分析、M-K 趨勢檢定之結果相同，綜合以上，思源測站之最大日降雨量變化呈現上升趨勢。

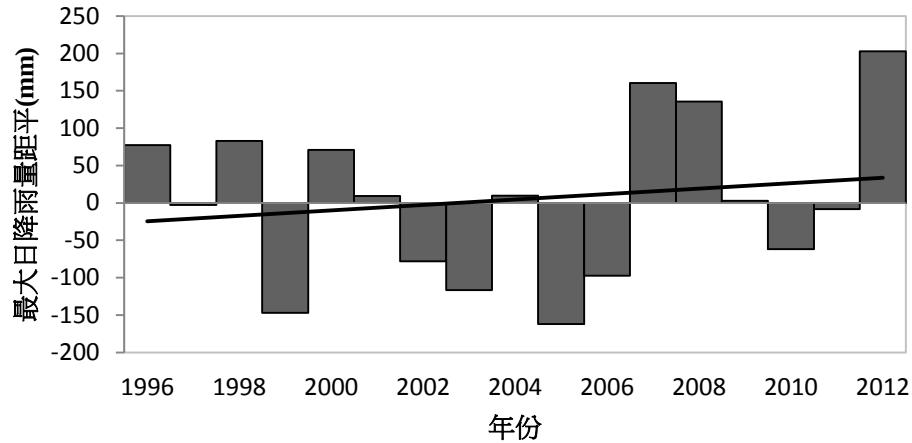


圖 2-43 思源測站最大日降雨量距平圖

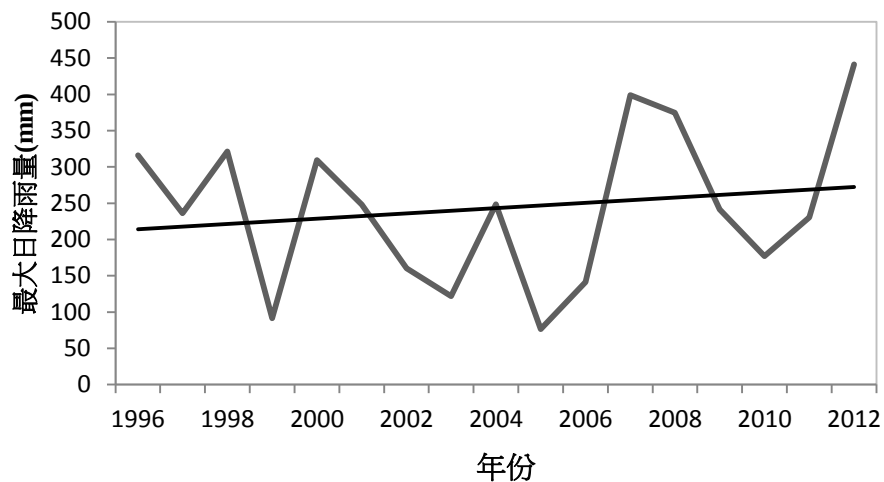


圖 2-44 思源測站最大日降雨量折線圖

二、南山（1）測站

南山（1）測站之最大日降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為 0.192，M-K 趨勢檢定結果呈現南山（1）測站之變化呈現上升趨勢，且 p 值 0.036，低於 0.05，故變化趨勢達顯著水準；圖 2-45 為南山（1）測站最大日降雨量之距平趨勢，觀測期間共 58 年，透過圖 2-45 可以發現南山（1）測站最大日降雨量變化呈現上升趨勢；而圖 2-46 為南山（1）測站之最大日降雨量折線圖，趨勢線亦呈現上升，此結果與距平趨勢分析、M-K 趨勢檢定之結果相同，因此，南山（1）測站之最大日降雨量變化呈現上升趨勢。

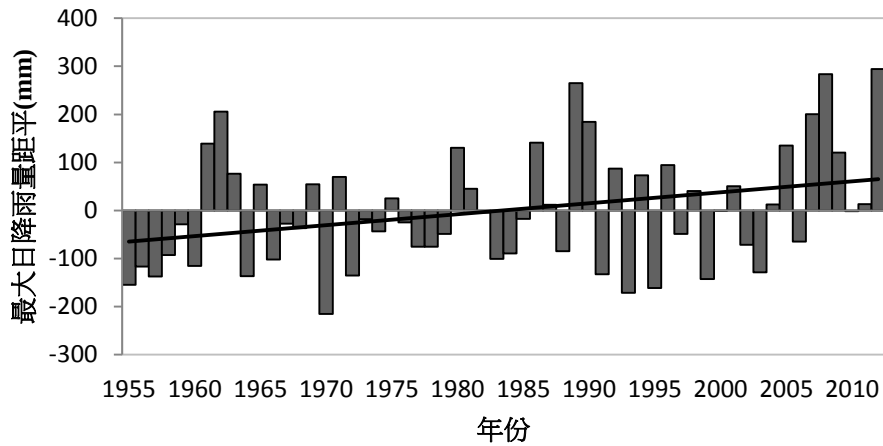


圖 2-45 南山（1）測站最大日降雨量距平圖

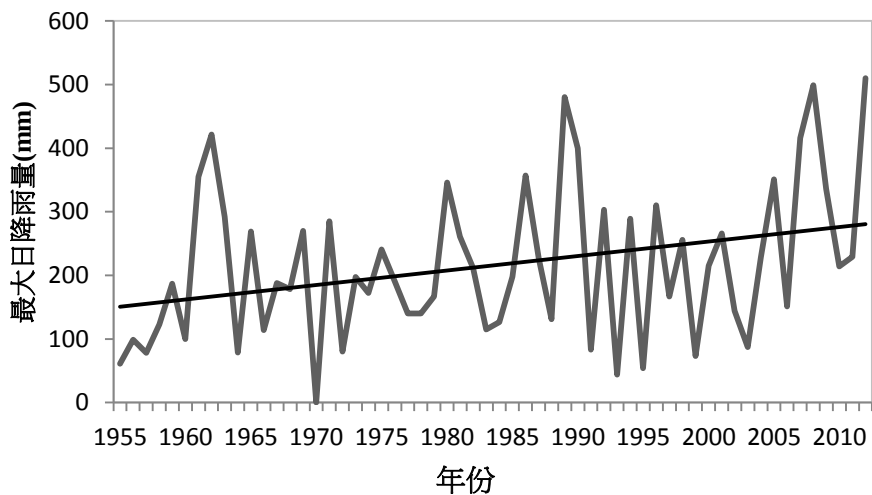


圖 2-46 南山（1）測站最大日降雨量折線圖

三、南山（2）測站

南山（2）測站之最大日降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為 0.257，結果顯示南山（2）測站之最大日降雨量變化呈現上升趨勢，但 p 值 0.202，未低於 0.05，故變化趨勢未達顯著水準；圖 2-47 為南山（2）測站最大日降雨量之距平趨勢，觀測期間共 16 年，透過圖 2-47 可以發現為南山（2）測站最大日降雨量變化呈現上升；而圖 2-48 為南山（2）測站之最大日降雨量折線圖，趨勢線亦呈現上升，此結果與距平趨勢分析、M-K 趨勢檢定之結果相同，故南山（2）測站的最大日降

雨量變化呈現上升趨勢。

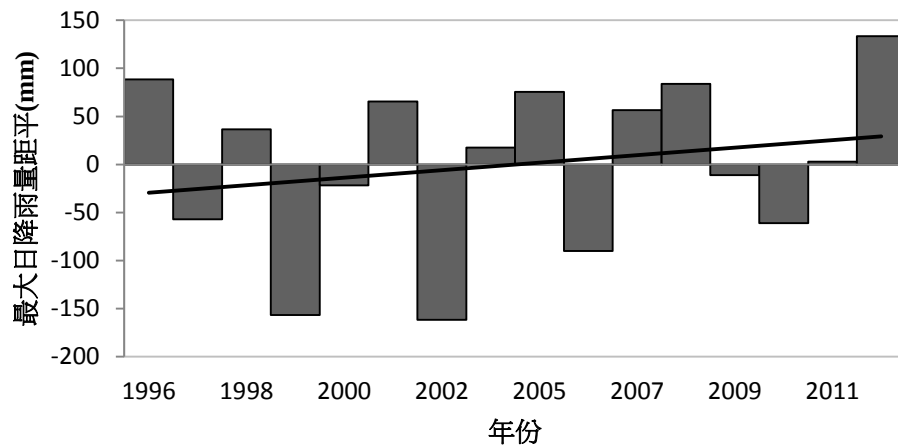


圖 2-47 南山（2）測站最大日降雨量距平圖

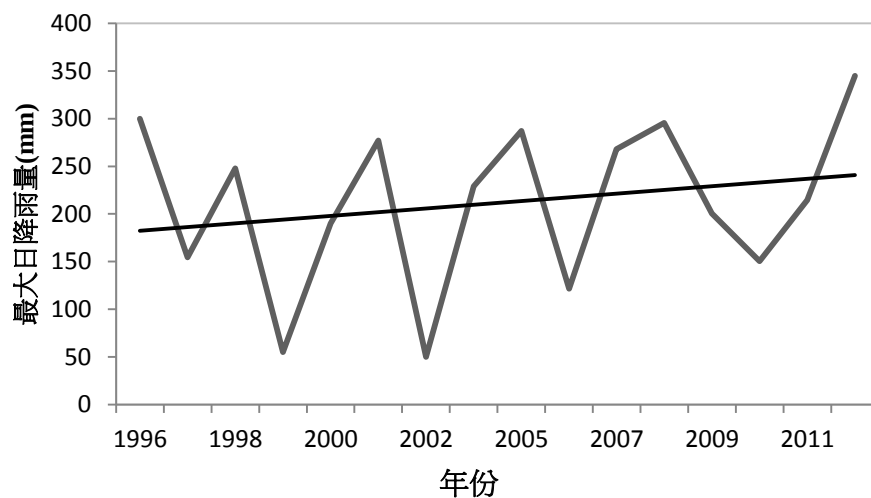


圖 2-48 南山（2）測站最大日降雨量折線圖

四、留茂安測站

留茂安測站之最大日降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為 0.043，結果顯示留茂安測站之最大日降雨量變化呈現上升趨勢，但 p 值 0.64，未低於 0.05，故變化趨勢未達顯著水準；圖 2-49 為留茂安測站最大日降雨量之距平趨勢，觀測期間共 57 年，透過圖 2-49 可以發現留茂安測站最大日降雨量變化呈現上升趨勢；而圖 2-50 為留茂安測站之最大日降雨量折線圖，其趨勢線亦呈現上升，此結果與距平趨勢分

析、M-K 趨勢檢定之結果相同，大體上留茂安測站的最大日降雨量變化呈現上升趨勢。

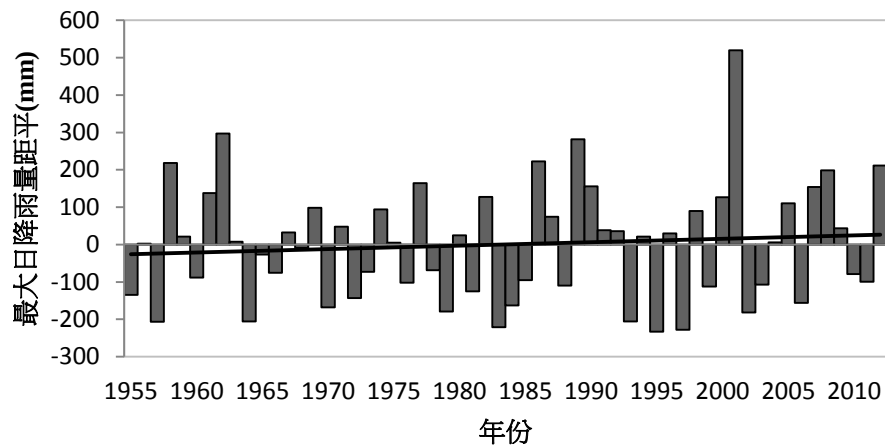


圖 2-49 留茂安測站最大日降雨量距平圖

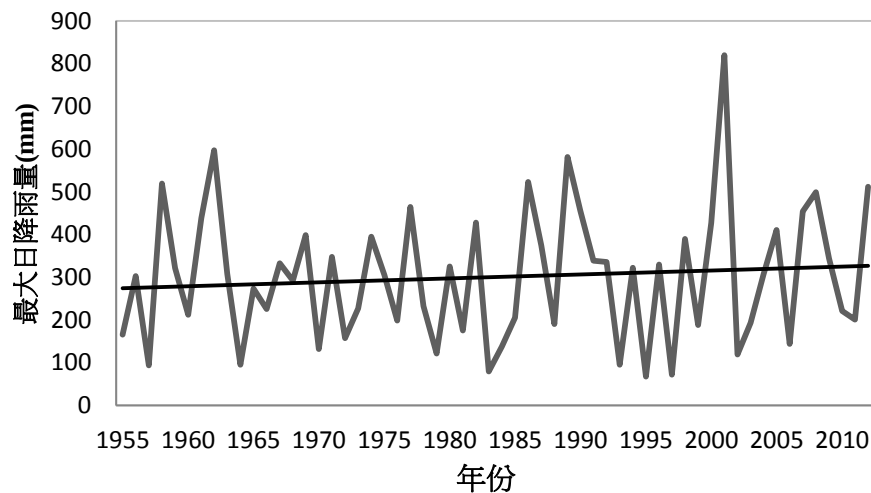


圖 2-50 留茂安測站最大日降雨量折線圖

五、土場（1）測站

土場（1）測站之最大日降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為 0.242，結果顯示土場（1）測站之最大日降雨量變化呈現下降趨勢，且 p 值 0.006，低於 0.05，變化趨勢達顯著水準；圖 2-51 為土場（1）測站最大日降雨量之距平趨勢，觀測期間共 63 年，透過圖 2-51 可以發現土場（1）測站最大日降雨量變化呈現上升趨勢；

而圖 2-52 為土場（1）測站之最大日降雨量折線圖，最大日降雨量趨勢線呈現上升，此結果與距平趨勢分析、M-K 趨勢檢定之結果相同，故土場（1）測站的最大日降雨量變化呈現上升趨勢。

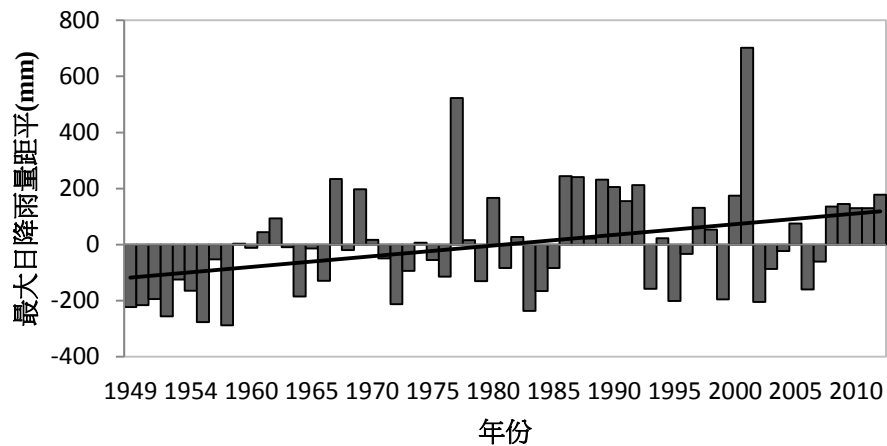


圖 2-51 土場（1）測站最大日降雨量距平圖

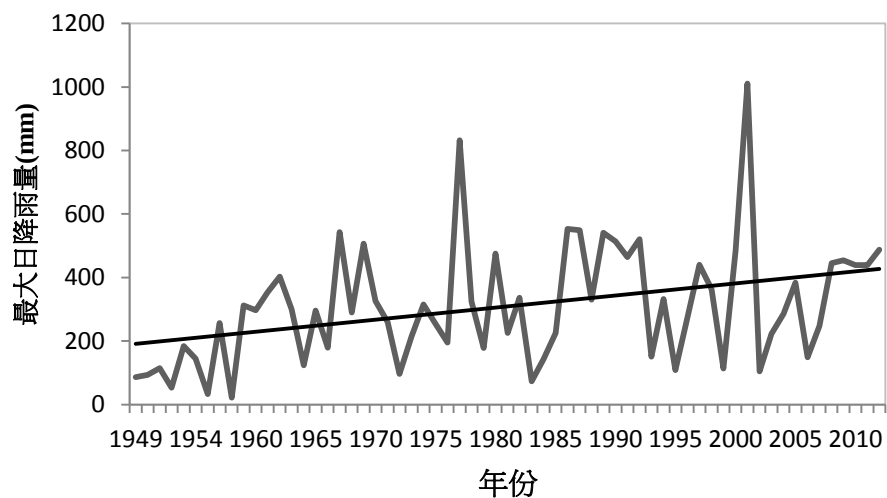


圖 2-52 土場（1）測站最大日降雨量折線圖

六、土場（2）測站

土場（2）測站之最大日降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為 0.121，結果顯示土場（2）測站之最大日降雨量變化呈現上升趨勢，但 p 值 0.638，未低於 0.05，故變化趨勢未達顯著水準；圖 2-53 為土場（2）測站最大日降雨量之距平趨勢，觀測

期間共 12 年，透過圖 2-53 可以發現土場（2）測站最大日降雨量變化呈現下降趨勢；而圖 2-54 為土場（2）測站之最大日降雨量折線圖，最大日降雨量趨勢線呈現下降，此結果與距平趨勢分析相同，但與 M-K 趨勢檢定結果不同，而 M-K 趨勢之 p 值未達顯著水準，因此，綜合三者之結果土場（2）測站的最大日降雨量變化呈現下降趨勢。

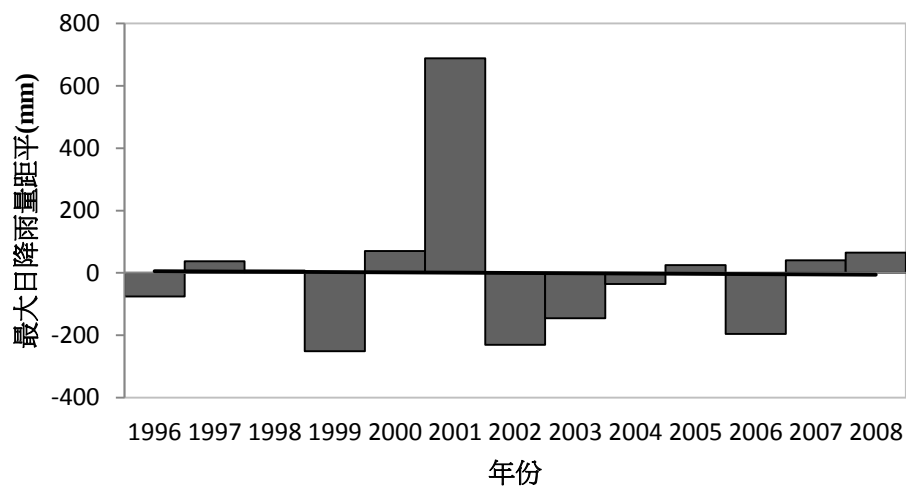


圖 2-53 土場（2）測站最大日降雨量距平圖

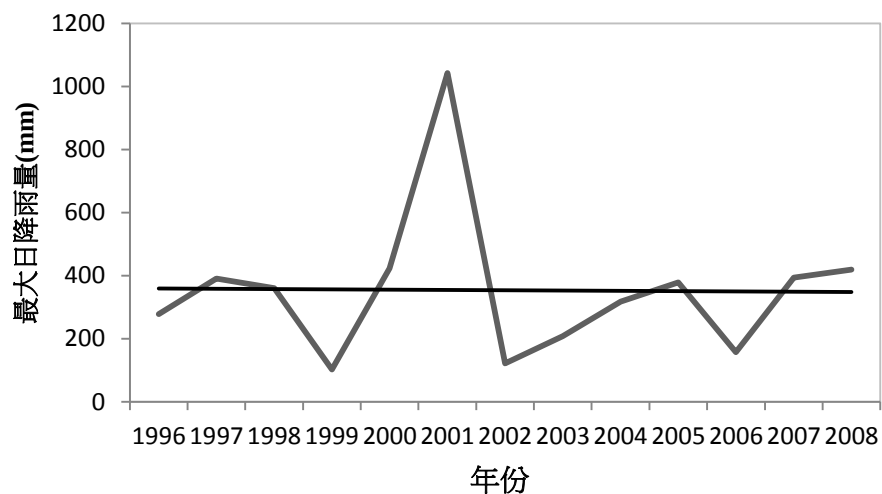


圖 2-54 土場（2）測站最大日降雨量折線圖

七、梵梵測站

梵梵測站之最大日降雨量 M-K 趨勢檢定 τ 值為-0.024，結果顯示現梵梵測站之最大日降雨量變化呈現下降趨勢，但 p 值 0.807 未低於 0.05，故變化趨勢未達顯著水準；圖 2-55 為梵梵測站最大日降雨量之距平趨勢，觀測期間共 51 年，透過圖 2-55 可以發現梵梵測站最大日降雨量變化呈現下降趨勢；而圖 2-56 為梵梵測站之最大日降雨量折線圖，趨勢線亦呈現下降，此結果與距平趨勢分析、M-K 趨勢檢定之結果相同，因此梵梵測站之最大日降雨量呈現下降趨勢。

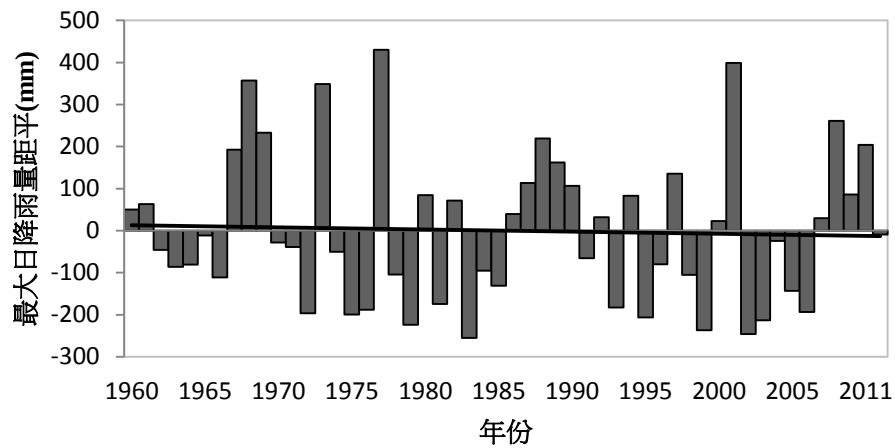


圖 2-55 梵梵測站最大日降雨量距平圖

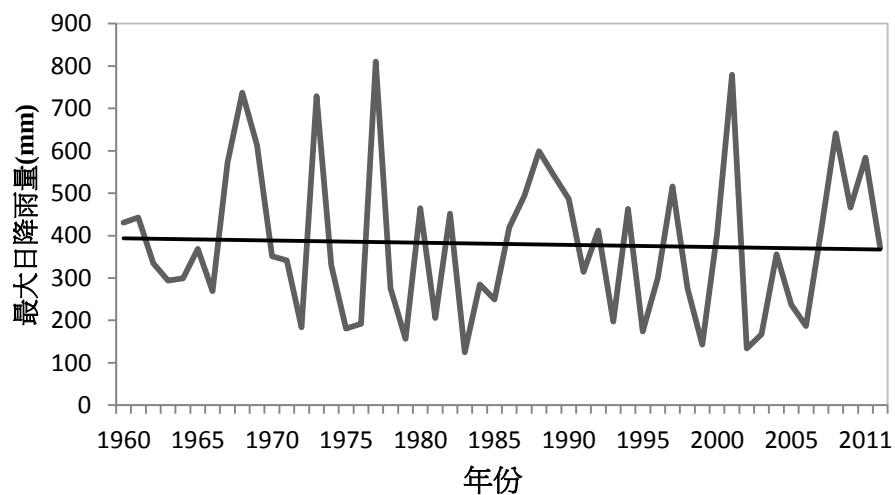


圖 2-56 梵梵測站最大日降雨量折線圖

第五節 流域整體降雨量變化

流域整體之降雨量透過克利金 (Kriging) 空間內插法配合流域內各雨量站之降雨資料推估而得，推估項目為：年降雨量、豐水期降雨量、枯水期降雨量、最大日降雨量，觀測年限選取 1960 至 2012 共 53 年。使用 M-K 趨勢檢定以及距平趨勢法分析整體流域之降雨量變化情形，表 2-5 為蘭陽溪上游整體降雨量之 M-K 趨勢檢定 τ 值。在顯著性方面，本研究設定若 p 值小於 0.05 則代表 M-K 趨勢檢定結果具有顯著性。

表 2 - 5 蘭陽溪上游整體降雨量之 M-K 趨勢檢定結果

推估項目	τ 值	p 值
年降雨量	0.039	0.687
豐水期降雨量	0.045	0.641
枯水期降雨量	0.012	0.906
最大日降雨量	0.062	0.523

*為 p 值達顯著水準

透過表 2-5 可以發現整體的 τ 值皆呈現正值，代表變化皆呈現上升趨勢，但其 p 值皆大於 0.05，均未達顯著水準，故需參考距平趨勢檢定法之果，距平趨勢檢定法主要分為四個部分：年降雨量、豐水期降雨量、枯水期降雨量、最大日降雨量。首先，流域整體年降雨量，圖 2-57 為流域整體年降雨量之距平趨勢圖，透過圖 2-57 可以發現其距平趨勢並無明顯的變化趨勢，而圖 2-58 之趨勢線亦無明顯之變化。

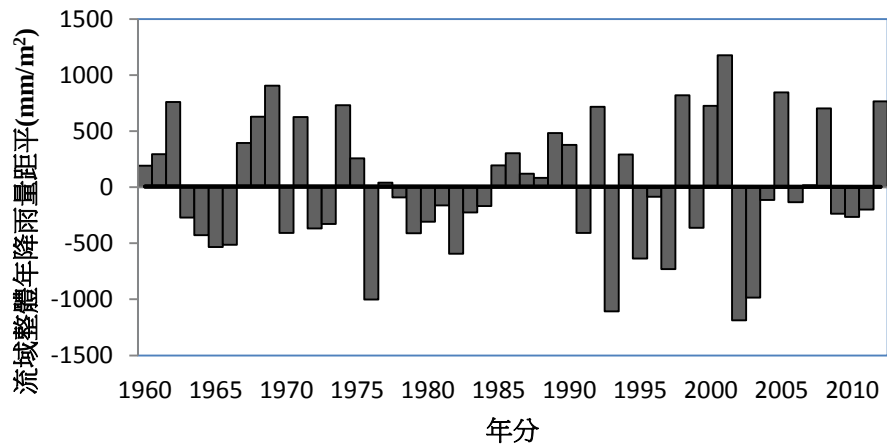


圖 2-57 流域整體年降雨量距平圖

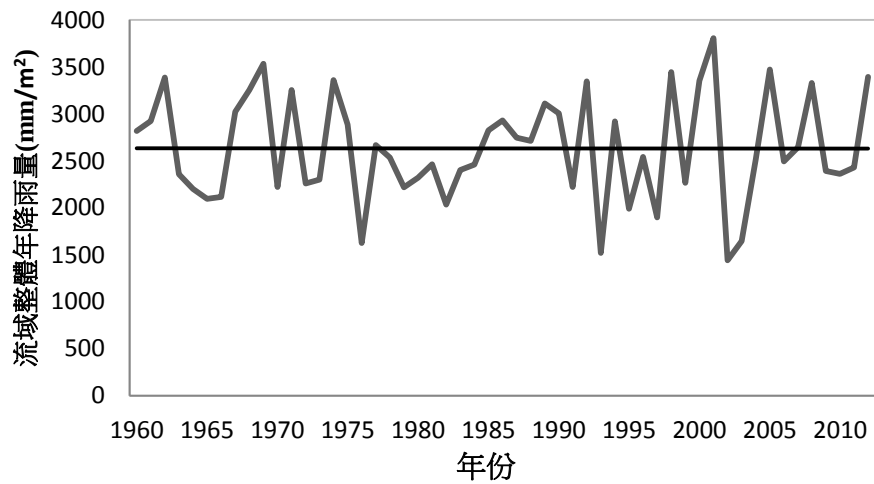


圖 2-58 流域整體年降雨量折線圖

其次，流域整體豐水期降雨量，圖 2-59 為流域整體豐水期降雨量之距平趨勢圖，透過圖 2-59 之趨勢線可以發現豐水期降雨量之變化為上升趨勢，與 M-K 趨勢檢定之結果相同，而圖 2-60 為豐水期降雨量之折線圖，其趨勢線亦呈現上升的變化趨勢。

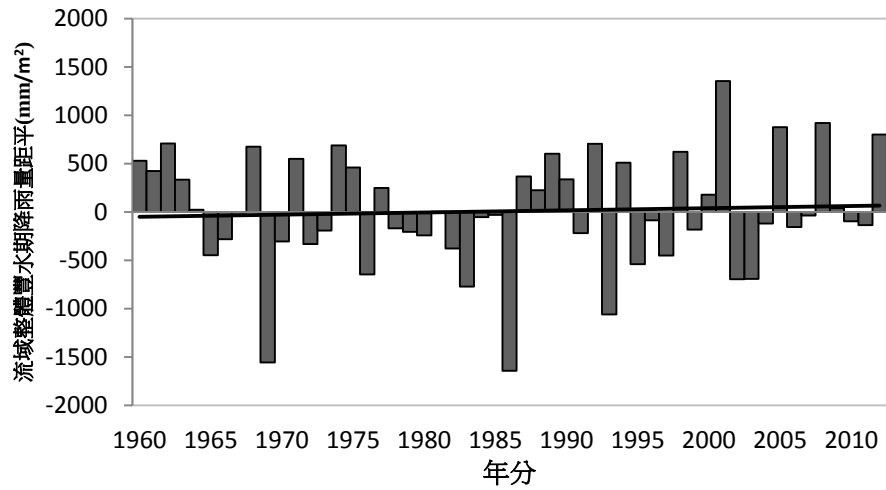


圖 2-59 流域整體豐水期降雨量距平圖

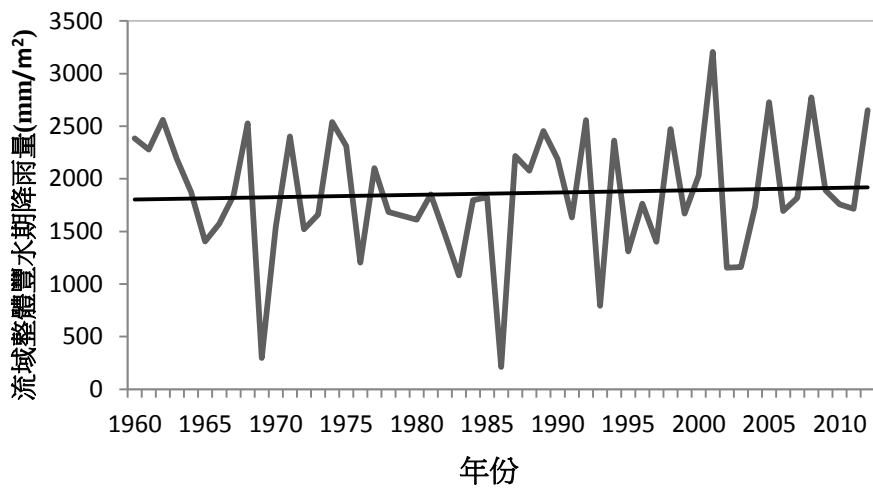


圖 2-60 流域整體豐水期降雨量折線圖

第三，流域整體枯水期降雨量，圖 2-61 為流域整體枯水期降雨量之距平圖，透過趨勢線可以發現其降雨量變化呈現上升趨勢，與 M-K 趨勢檢定之結果相同，圖 2-62 為流域整體之枯水期降雨量折線圖，趨勢線亦呈現上升的趨勢。

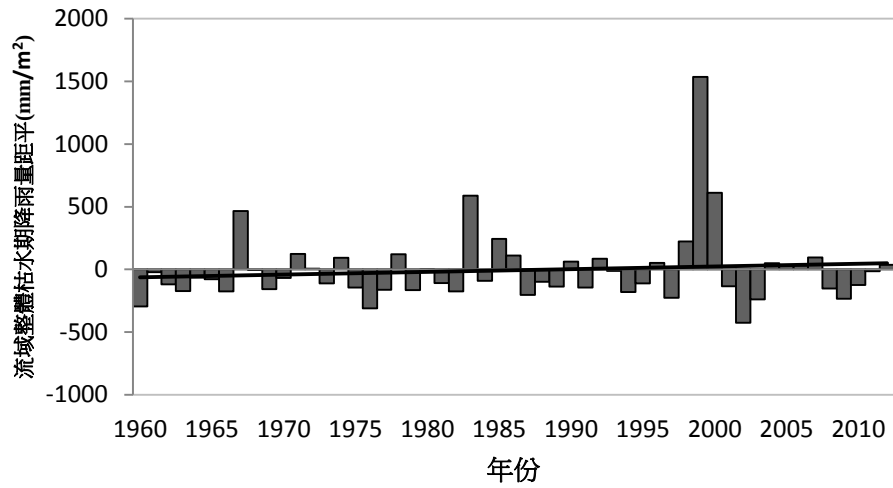


圖 2-61 流域整體枯水期降雨量距平圖

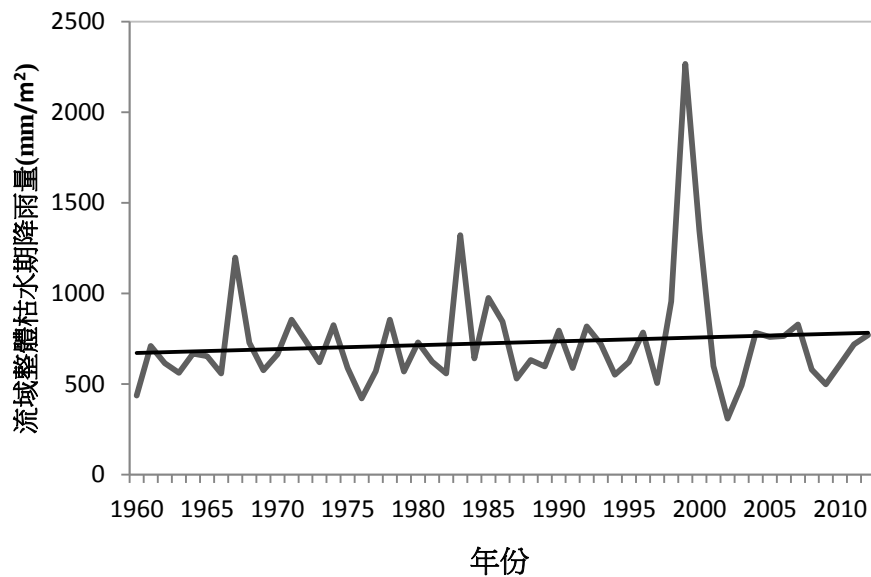


圖 2-62 流域整體枯水期降雨量折線圖

最後，流域整體之最大日降雨量，圖 2-63 為流域整體最大日降雨量距平圖，圖 2-63 之趨勢線呈現上升趨勢，與 M-K 趨勢檢定之結果相同。圖 2-64 為流域整體最大日降雨量折線圖，其趨勢線亦呈現上升。

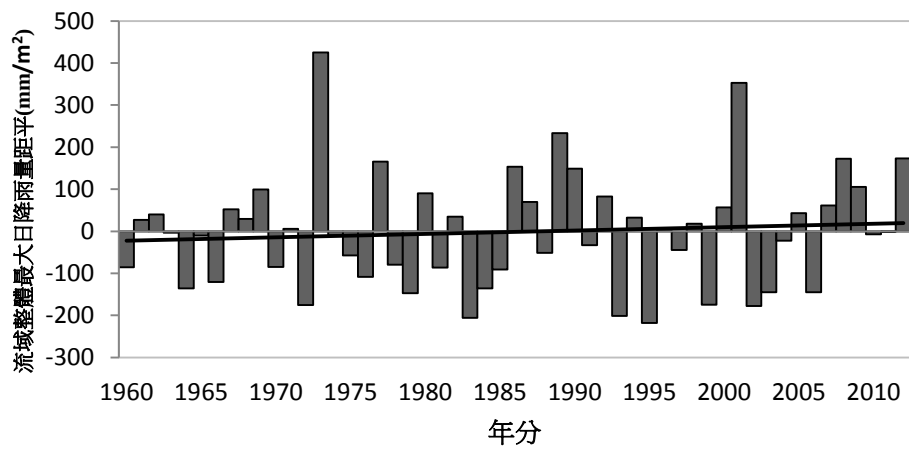


圖 2-63 流域整體最大日降雨量距平圖

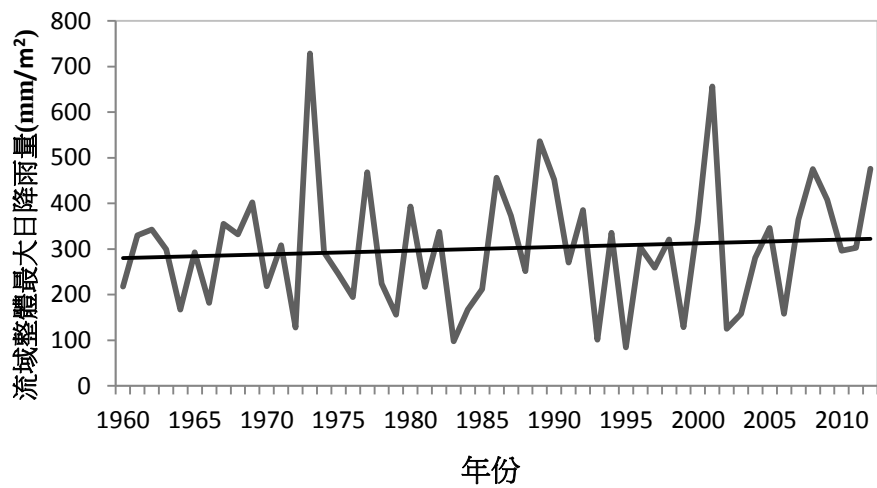


圖 2-64 流域整體最大日降雨量折線圖

第六節 小結

本章主要探討家源橋以上集水區內之降雨量測站在不同時間尺度下的降雨量變化趨勢，分別為：年降雨量、豐水期降雨量、枯水期降雨量、最大日降雨量，共四項。

首先，第一節為年降雨量變化趨勢分析，透過 M-K 趨勢檢定、距平趨勢分析發現，首先，在年降雨量方面，在梵梵、南山（2）測站的 M-K 趨勢檢定呈現負值，代表降雨量變化呈現下降趨勢，p 值未達顯著性，但結果與距平趨勢法之結果相同，故呈現下降趨勢；而在思源、南山（1）、留茂安、土場（1）、土場（2）五個測站之 M-K 趨勢檢定以及距平趨勢法之結果皆呈現上升的趨勢。

其次，豐水期降雨量方面，在整體測站之 M-K 趨勢檢定皆為正值，代表增上升趨勢，但僅南山（1）之 p 值達顯著水準，因此其餘測站需參考距平趨勢法之結果，而在距平趨勢法方面，南山（2）、梵梵之距平趨勢呈現少，而其餘之測站思源、南山（1）、留茂安、土場（1）、土場（2）皆呈現上升趨勢。

第三，在枯水期降雨量方面，M-K 趨勢檢定結果為，思源、南山（1）、留茂安、土場（2）測站之 M-K 結果皆顯示上升趨勢，其餘南山（2）、土場（1）、梵梵之 M-K 結果皆呈現下降趨勢，但僅有土場（1）、南山（1）的 p 值達顯著水準，故需參考距平趨勢之結果，而在距平趨勢方面，則是有三個測站呈現上升趨勢分別為南山（1）、留茂安、梵梵，其餘四測站皆呈現下降趨勢。

第四，在最大日降雨量方面，M-K 趨勢檢定結果顯示，除了梵梵測站外，其餘測站 M-K 結果皆呈現上升，而梵梵測站呈現下降趨勢，但僅有南山（1）、土場（1）之 p 值達顯著水準，故需參考距平趨勢法，而在距平趨勢法方面，思源、南山（1）、南山（2）、留茂安、土場（1）測站均呈現上升之趨勢，而在土場（2）與梵梵測站之距平則呈現下降趨勢，故土場（2）與梵梵測站之最大日降雨量呈現下降趨勢。

最後，透過克利金空間內插計算流域整體之年降雨量、豐水期降雨量、枯水期降雨量、最大日降雨量，並結合 M-K 趨勢檢定法以及距平趨勢法探討整個流

域的降雨量變化趨勢，結果發現 M-K 趨勢檢定之結果呈現 4 個項目之 τ 值均呈現正值，代表其變化均呈現上升趨勢，但 p 值皆未達顯著水準，故需參考距平趨勢檢定法；距平趨勢檢定法之結果顯示，除年降雨無明顯變化外，其餘 3 個項目：豐水期降雨量、枯水期降雨量、最大日降雨量皆呈現上升的變化趨勢。

綜合以上之結果可以發現，最大日降雨量、年降雨量多呈現上升趨勢，而思源、土場（1）、土場（2）三測站有豐枯水期降雨量差異變大之趨勢。

第三章 流量與輸砂量變化趨勢分析

第一節 流量變化分析

本節主要分析家源橋水文測站之年逕流量、豐水期逕流量、枯水期逕流量、最大日逕流量以及最小日逕流量之變化趨勢，主要透過 M-K 趨勢檢定、距平趨勢探討不同項目之變化趨勢，下表 3-1 為蘭陽溪家源橋測站流量之 M-K 趨勢檢定 τ 值，若 τ 值呈現正值，則代表變化呈現上升，反之則為下降。在顯著性方面，本研究設定若 p 值小於 0.05 則代表 M-K 趨勢檢定結果具有顯著性。

表 3 - 1 蘭陽溪家源橋測站逕流量之 M-K 趨勢檢定結果

流量	τ 值	p 值
年逕流量	-0.034	1.000
豐水期逕流量	-0.064	1.000
枯水期逕流量	0.041	0.747
最大日逕流量	-0.123	0.321
最小日逕流量	-0.004	0.988

*為 p 值達顯著水準

一、年逕流量

家源橋測站之年逕流量是逐日逕流量加總所得，家源橋測站年逕流量 M-K 趨勢檢定 τ 值為-0.034，結果顯示年逕流量變化呈現下降趨勢，其 p 值為 1.000，未小於 0.05，未達到顯著水準；圖 3-1 為家源橋測站年逕流量距平圖，結果顯示年逕流量變化呈現下降趨勢；而圖 3-2 為家源橋測站之年逕流量折線圖，年逕流量趨勢線呈現下降，此結果與距平趨勢分析、M-K 趨勢檢定之結果相同，整體來看，家源橋測站之年逕流量變化呈現下降趨勢。

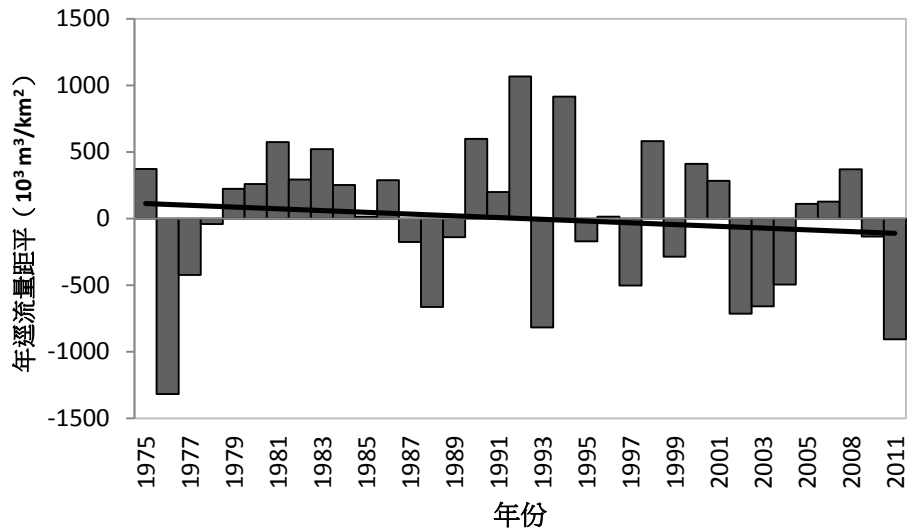


圖 3-1 家源橋測站年逕流量距平圖

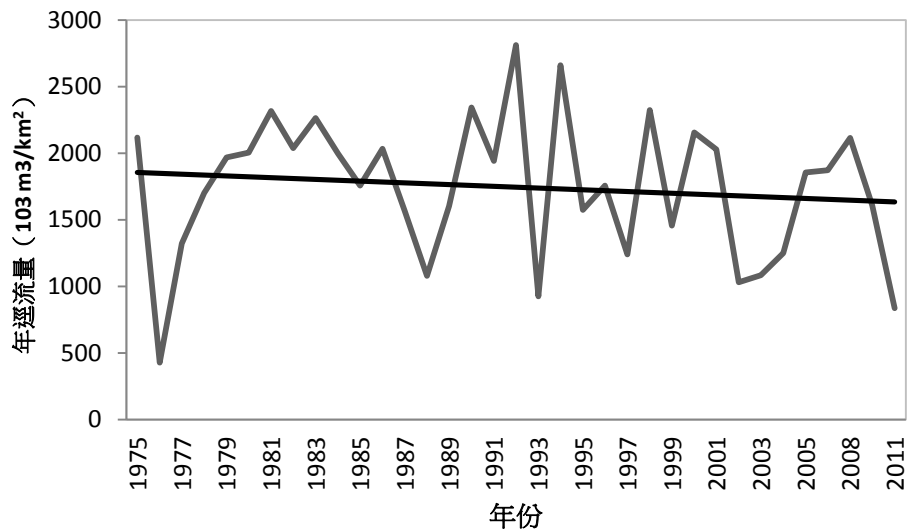


圖 3-2 家源橋測站年逕流量折線圖

二、豐水期逕流量

家源橋測站之豐水期逕流量是將每年 5 月至 10 月逕流量加總所得，其 M-K 趨勢檢定 τ 值為-0.064，結果顯示豐水期逕流量變化呈顯下降趨勢， p 值為 1.000，未小於 0.05，故未達到顯著水準；圖 3-3 為家源橋測站豐水期逕流量距平圖，結果顯示豐水期逕流量變化呈現下降趨勢；而圖 3-4 為家源橋測站之豐水期逕流量折線圖，趨勢線呈現下降，此結果與距平趨勢分析、M-K 趨勢檢定之結果相同，大致上家源橋測站之豐水期逕流量變化呈現下降趨勢。

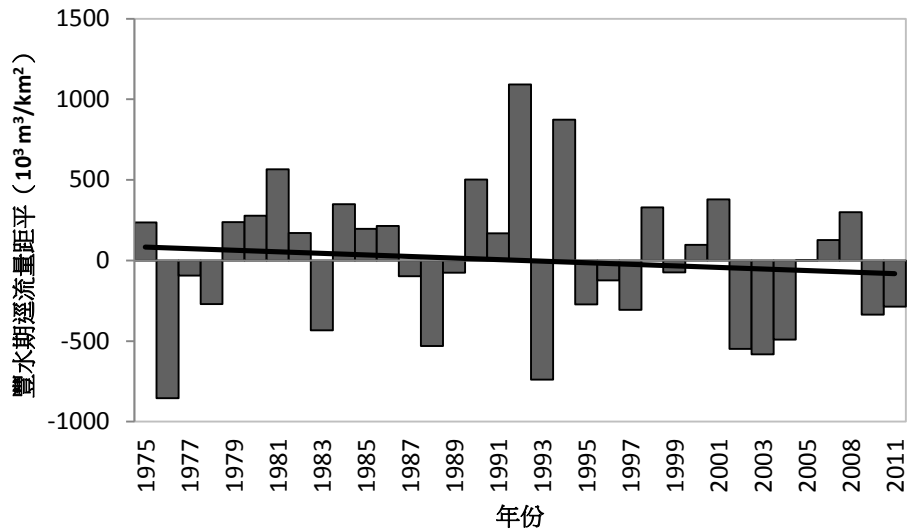


圖 3-3 家源橋測站豐水期逕流量距平圖

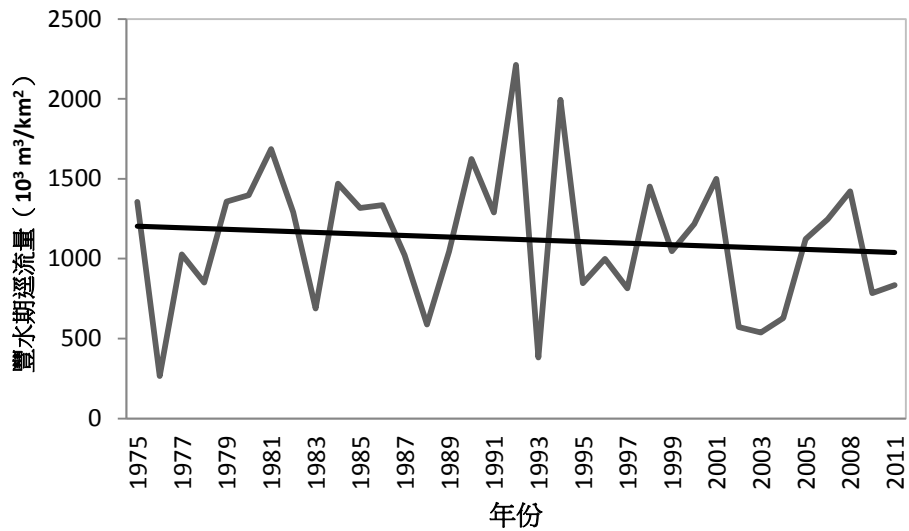


圖 3-4 家源橋測站豐水期逕流量折線圖

三、枯水期逕流量

家源橋測站之枯水期逕流量是將每年 1 月至 4 月以及 11、12 月逕流量加總所得，M-K 趨勢檢定 τ 值為 0.052，結果顯示枯水期逕流量變化呈現上升趨勢， p 值為 0.681，未小於 0.05，故未達到顯著水準；圖 3-5 為家源橋測站枯水期逕流量的距平圖，結果顯示枯水期逕流量變化呈現下降趨勢；而圖 3-6 為家源橋測站之枯水期逕流量折線圖，趨勢線呈現下降，此結果與距平趨勢分析相同，但與 M-K 趨勢檢定之結果相反，但由於 M-K 趨勢之 p 值未達顯著水準，因此，整體

來看家源橋測站之枯水期逕流量變化趨勢呈現減少。

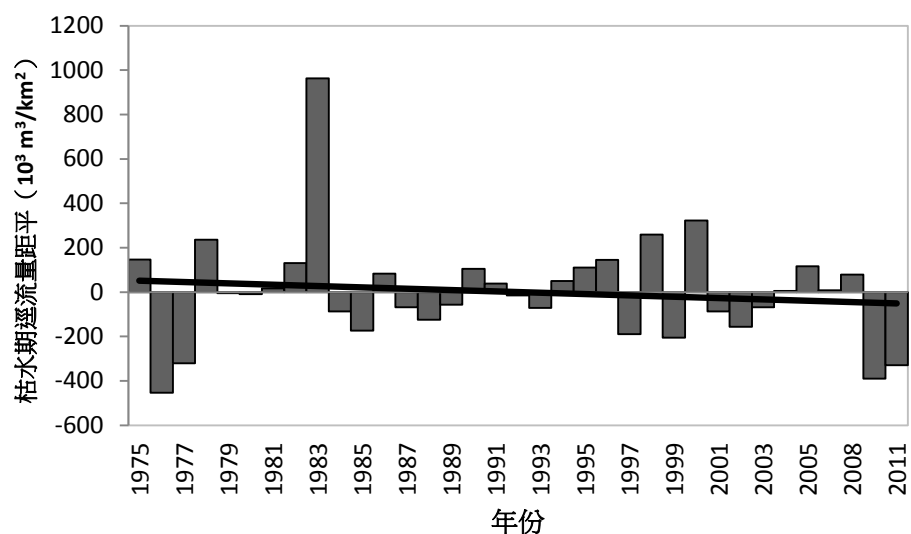


圖 3-5 家源橋測站枯水期逕流量距平圖

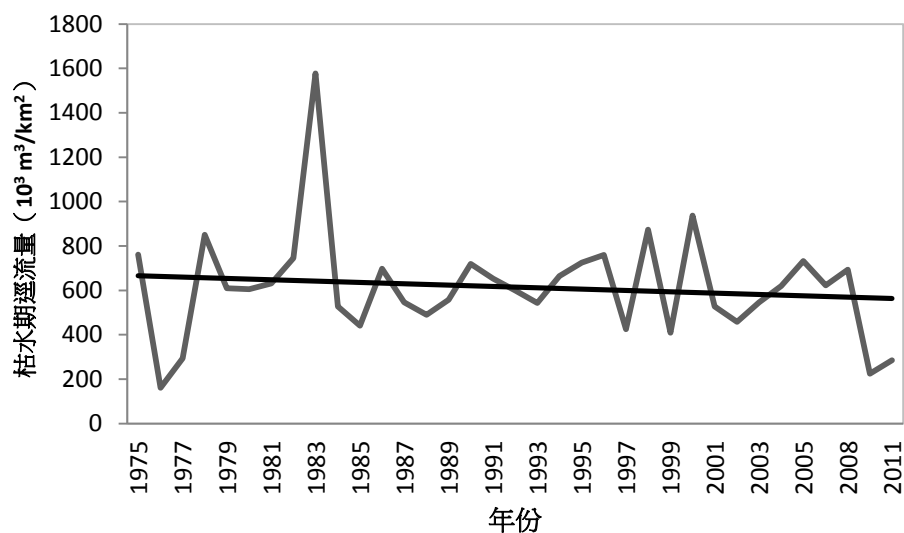


圖 3-6 家源橋測站枯水期逕流量折線圖

四、最大日逕流量

家源橋測站最大日逕流量為每年日逕流量最高者，其 M-K 趨勢檢定 τ 值為 -0.123，結果顯示最大日逕流量變化呈現下降趨勢， p 值為 0.321，未小於 0.05，故未達到顯著水準；圖 3-7 為家源橋測站最大日逕流量的距平圖，結果顯示最大日逕流量變化呈現下降趨勢；而圖 3-8 為家源橋測站之最大日逕流量折線圖，趨勢線也呈現下降，此結果和距平趨勢分析以及 M-K 趨勢檢定之結果相同，綜合

以上分析法之結果，家源橋測站之最大日逕流量變化呈現下降趨勢。

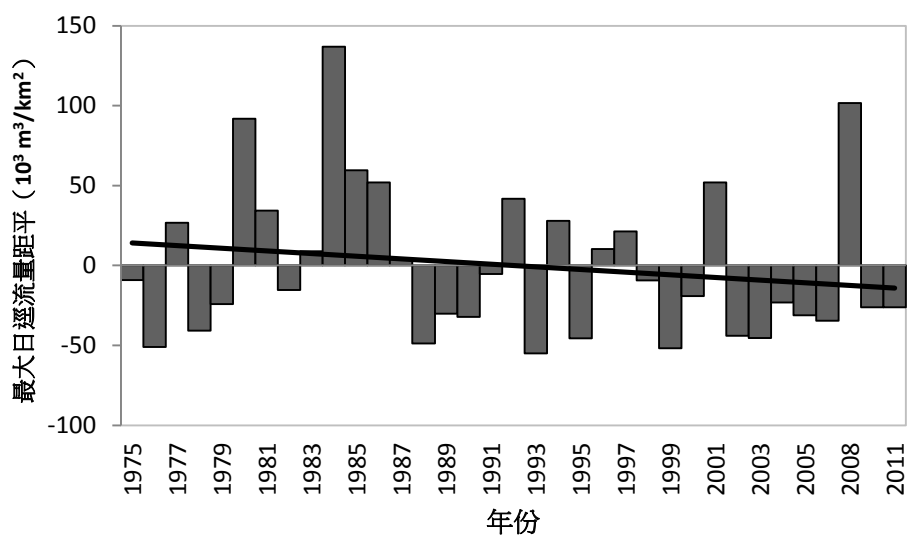


圖 3-7 家源橋測站最大日逕流量距平圖

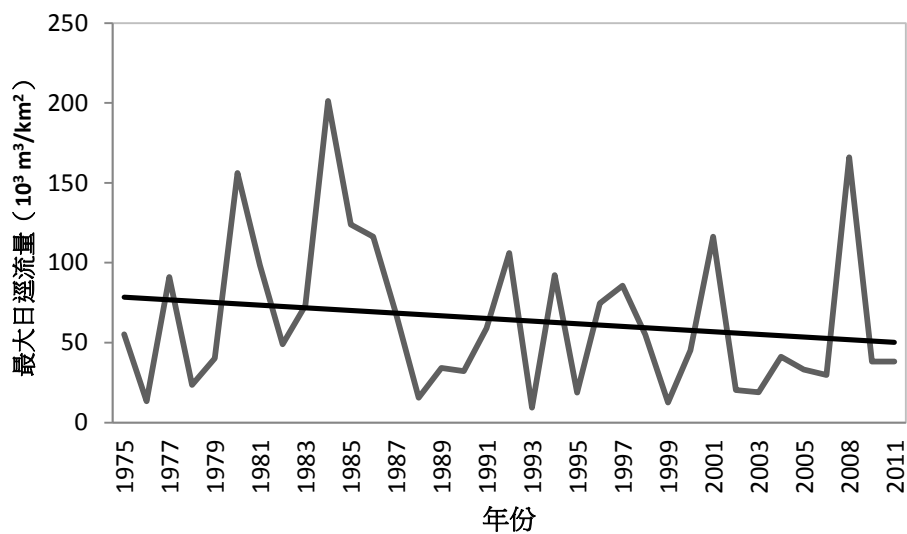


圖 3-8 家源橋測站最大日逕流量折線圖

五、最小日逕流量

家源橋測站最小日逕流量為每年日逕流量最低者，其 M-K 趨勢檢定 τ 值為 -0.004，結果最大日逕流量變化趨勢呈現減少，但其 p 值為 0.988，未小於 0.05，因此未達顯著水準；圖 3-9 為家源橋測站最小日逕流量的距平圖，結果顯示最小

日逕流量變化呈現下降趨勢；而圖 3-10 為家源橋測站之最小日逕流量折線圖，趨勢線也呈現下降，此結果和距平趨勢分析以及 M-K 趨勢檢定之結果相同，綜合以上結果，家源橋測站之最小日逕流量變化呈現下降趨勢。

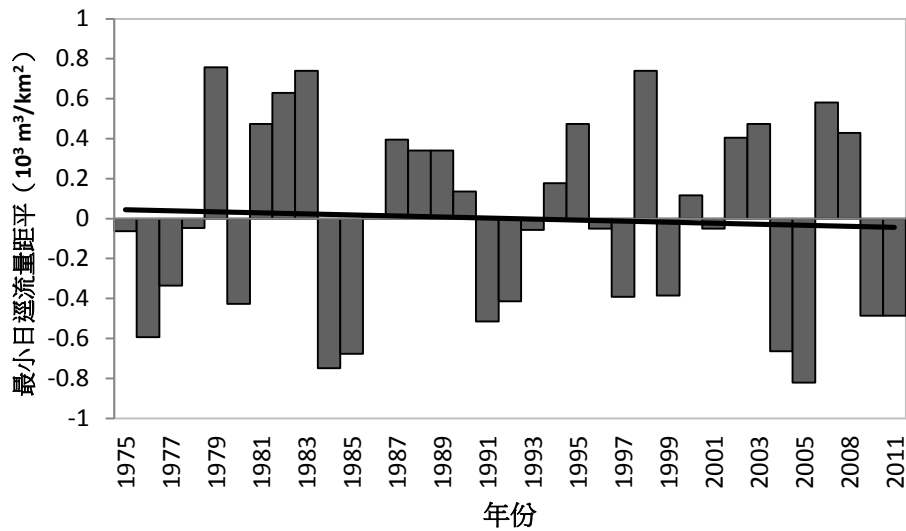


圖 3-9 家源橋測站最小日逕流量距平圖

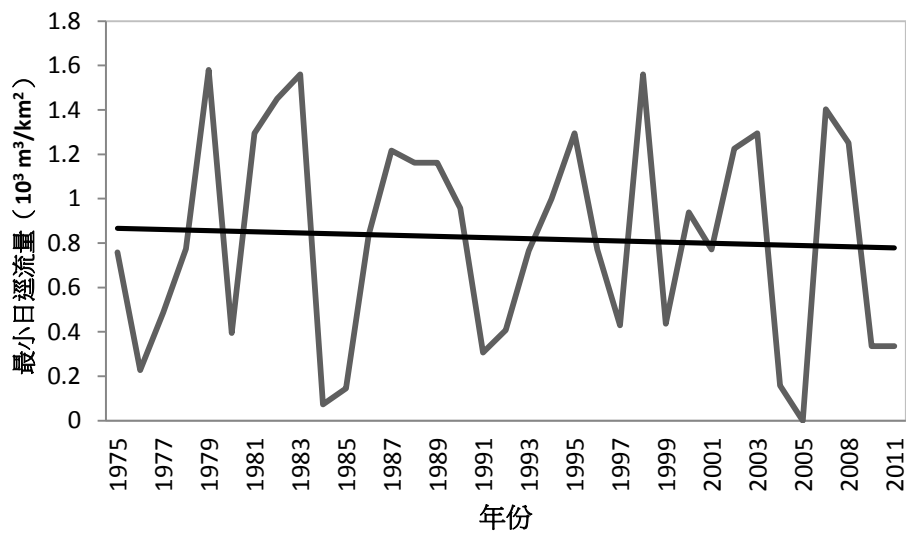


圖 3-10 家源橋測站最小日逕流量折線圖

第二節 逕流量與輸砂率定曲線分析

圖 3-11、3-12、3-13 分別為不同時期整體逕流量-輸砂量率定關係圖、不同時期豐水期逕流量-輸砂量率定關係圖、不同時期枯水期逕流量-輸砂量率定關係圖；表 3-2、3-3、3-4 分別為不同時期整體的單位逕流輸砂量、不同時期豐水期的單位逕流輸砂量、不同時期枯水期的單位逕流輸砂量；透過這三張圖、表可以更仔細的了解不同時期不同狀況時的逕流量-輸砂量關係。

一、不同時期整體逕流量-輸砂量率定關係

首先，在不同時期整體逕流量-輸砂量率定關係，透過圖 3-11 可以發現在 1980 年至 1989 年這段時期最高，接著在 1990 年至 1999 年這段期間次之，而 2000 年至 2009 年的最低，這顯示在 1980 年至 1989 年這段期間的單位逕流輸砂量較其他兩個時期來的高，而 1990 年至 1999 年為次多，2000 年至 2009 年最少，透過表 3-2 可以更清楚不同時期單位逕流量下所產出的輸砂量，1980 年至 1989 年的單位逕流輸砂量會在逕流量大於 15 cms 時超過 1990 年至 1999 年。

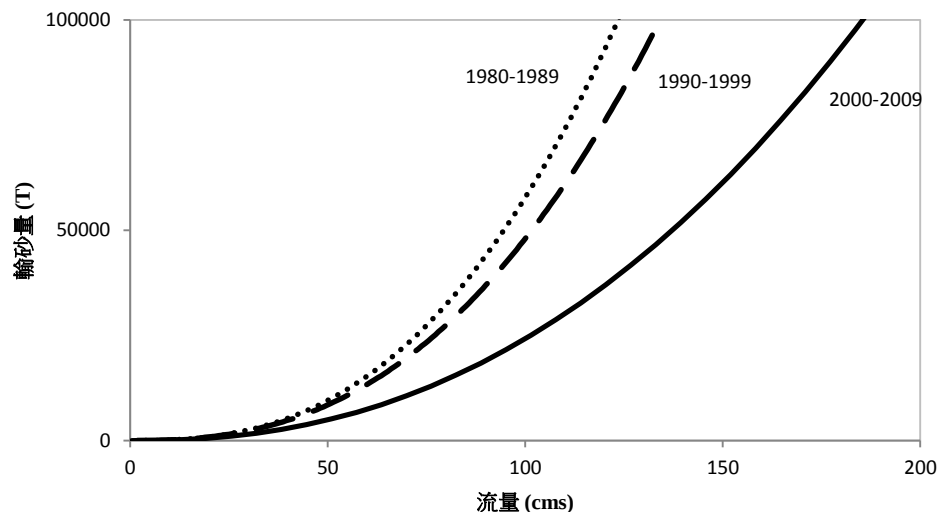


圖 3-11 不同時期整體逕流量-輸砂量率定關係圖

表 3-2 不同時期整體的單位逕流輸砂量

時期	1980-1989	1990-1999	2000-2009
乘冪公式	$Y=0.3678x^{2.5980}$	$Y=0.4783x^{2.5008}$	$Y=0.6151x^{2.2973}$
逕流量(cms)	輸砂量 (t)	輸砂量 (t)	輸砂量 (t)
5	24.07	26.77	24.81
10	145.75	151.53	121.96
11	186.70	192.31	151.82
12	234.06	239.06	185.41
13	288.16	292.04	222.84
14	349.34	351.50	264.20
15	417.92	417.70	309.58
20	882.44	857.66	599.51

二、不同時期豐水期逕流量-輸砂量率定關係

接著，在不同時期豐水期逕流量-輸砂量率定關係方面，如圖 3-12 與表 3-3 所示，透過圖 3-12 可以發現，1980 年至 1989 年這段期間的率定曲線較其他兩時期來的陡峭，1990 年至 1999 年次之，2000 年至 2009 年最緩，此現象顯示單位逕流輸砂量以 1980 年至 1989 年這段期間最高，1990 年至 1999 年次之，2000 年至 2009 年最少，接著透過表 3-3 可以發現，1980 年至 1989 年期間豐水期單位逕流輸砂量在逕流量超過 16 cms 時輸砂量最高。

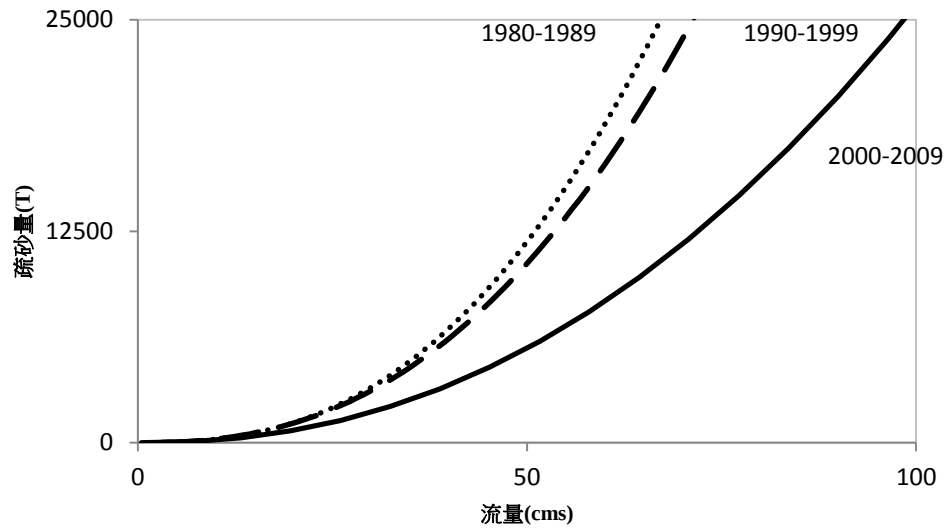


圖 3-12 不同時期豐水期逕流量-輸砂量率定關係圖

表 3-3 不同時期豐水期的單位逕流輸砂量

時期	1980-1989	1990-1999	2000-2009
乘冪公式	$Y=0.6169x^{2.5220}$	$Y=0.8239x^{2.4186}$	$Y=0.9952x^{2.2076}$
逕流量(cms)	輸砂量 (t)	輸砂量 (t)	輸砂量 (t)
5	35.72	40.40	34.75
10	205.21	216.01	160.51
15	570.58	575.92	392.87
16	729.67	673.22	453.02
17	851.76	779.53	517.90
18	985.53	895.11	587.55
19	1131.34	1020.15	662.04
20	1178.72	1154.90	741.41

三、不同時期枯水期逕流量-輸砂量率定關係

最後，在不同時期的枯水期逕流量與輸砂量之關係可以透過圖 3-13 與表 3-4 加以瞭解，圖 3-13 中以 1990 年至 1999 年這段期間的率定曲線最為陡峭，2000 年至 2009 年次之，1980 年至 1989 年最緩，此現象顯示 1990 年至 1999 年這段期間的單位逕流輸砂量最多，2000 年至 2009 年次之，1980 年至 1989 年最少，接著透過表 3-4 可以發現當逕流量超過 13 cms 後 1990 年至 1999 年這段期間的單位逕流量的輸砂量超過其他兩個時期。綜合以上所有的數據可以發現，單位逕流量所產出的輸砂量變化呈現減少的趨勢。

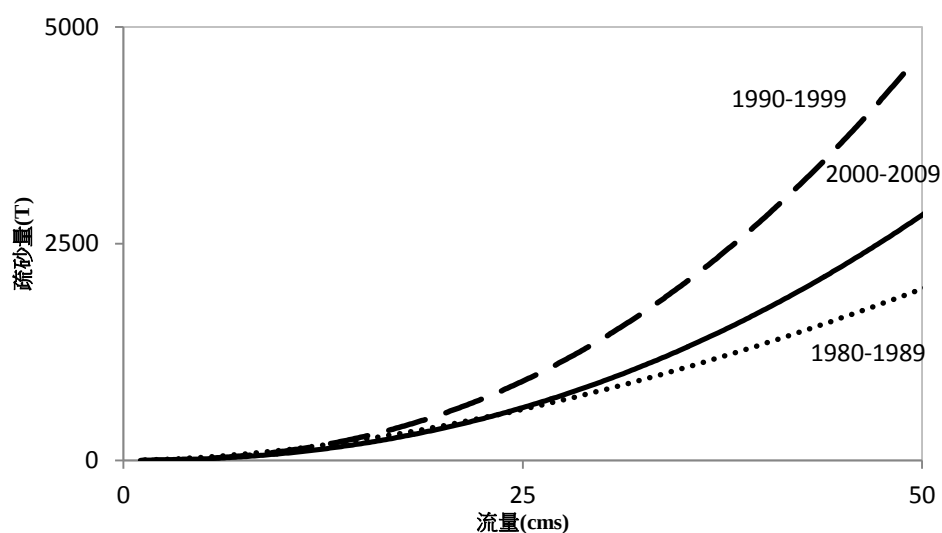


圖 3-13 不同時期枯水期逕流量-輸砂量率定關係圖

不同時期枯水期的單位逕流量產出的輸砂量

時期	1980-1989	1990-1999	2000-2009
乘幂公式	$y = 2.1059x^{1.7501}$ $y = 0.4474x^{2.3679}$ $y = 0.4834x^{2.2176}$		
逕流量(cms)	輸砂量 (t)	輸砂量 (t)	輸砂量 (t)
1	2.10	0.44	0.48
10	118.45	104.37	79.78
11	139.95	130.80	98.55
12	162.97	160.72	119.53
13	187.47	194.26	142.75
14	213.44	231.53	168.25
15	240.83	272.62	196.06
20	398.44	538.77	371.08

第三節 輸砂量變化分析

本節為分析家源橋測站之年輸砂總量、豐水期輸砂量、枯水期輸砂量、最大日輸砂量、最小日輸砂量之變化趨勢，表 3-2 為家源橋測站輸砂量之 M-K 趨勢檢定 τ 值，若 τ 值為正，代表其變化呈現上升趨勢，反之則為下降。在顯著性方面，本研究設定若 p 值小於 0.05 則代表 M-K 趨勢檢定結果具有顯著性。

表 3-4 蘭陽溪家源橋測站輸砂量之 M-K 趨勢檢定結果

輸砂量	τ 值	p 值
年輸砂量	-0.098	1.000
豐水期輸砂量	-0.080	1.000
枯水期輸砂量	0.155	0.212
最大日輸砂量	-0.119	0.337
最小日輸砂量	0.061	0.631

*為 p 值達顯著水準

一、年輸砂量

家源橋測站之年輸砂量為逐日輸砂量加總所得出，家源橋測站之年輸砂量 M-K 趨勢檢定 τ 值為 -0.098，結果顯示年輸砂量變化呈現下降趨勢，其 p 值為 1.000，未小於 0.05，故未達到顯著水準；圖 3-11 為家源橋測站年輸砂量距平圖，結果顯示年輸砂量變化呈現下降趨勢；圖 3-12 為家源橋測站之年輸砂量折線圖，年輸砂量趨勢線呈現下降，此結果與距平趨勢分析、M-K 趨勢檢定之結果相同，整體來看，家源橋測站之年輸砂量變化呈現下降趨勢。

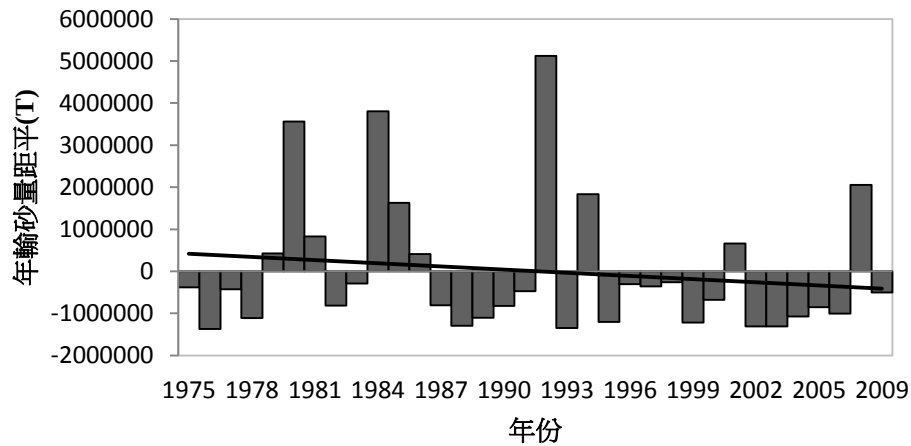


圖 3-14 家源橋測站年輸砂量距平圖

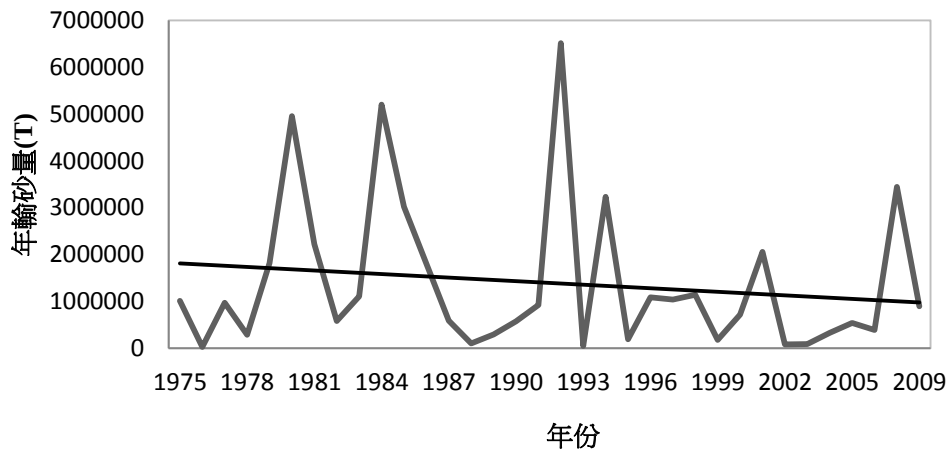


圖 3-15 家源橋測站年輸砂量折線圖

二、豐水期輸砂量

家源橋測站之豐水期輸砂量是每年 5 月至 10 月輸砂量加總所得，其 M-K 趨勢檢定 τ 值為 -0.080，結果顯示豐水期輸砂量變化呈現下降趨勢，其 p 值為 1.000，未小於 0.05，故未達到顯著水準；圖 3-13 為家源橋測站豐水期輸砂量的距平圖，結果顯示豐水期輸砂量變化呈現下降趨勢；圖 3-14 為家源橋測站之豐水期輸砂量折線圖，趨勢線呈現下降，此結果與距平趨勢分析、M-K 趨勢檢定之結果相同，大致上家源橋測站之豐水期輸砂量變化呈現下降趨勢。

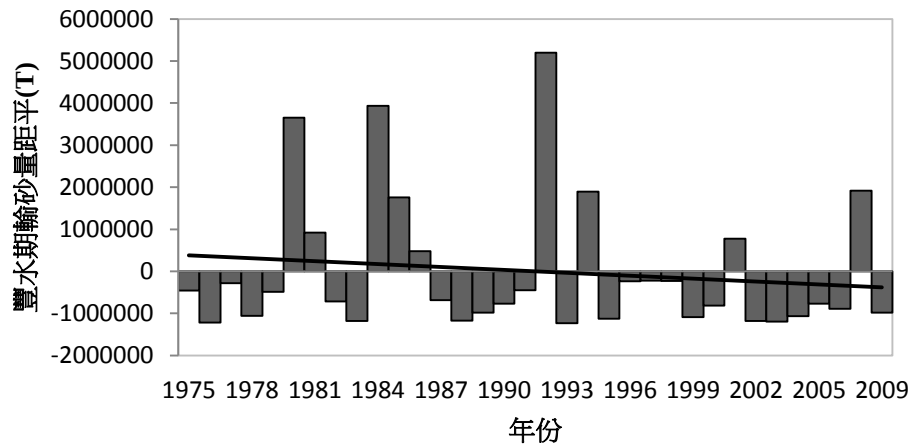


圖 3-16 家源橋測站豐水期輸砂量距平趨勢圖

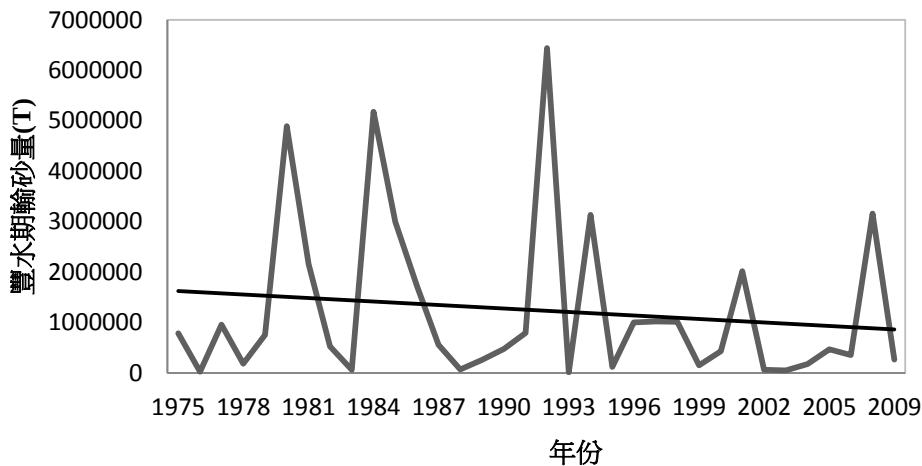


圖 3-17 家源橋測站豐水期輸砂量折線圖

三、枯水期輸砂量

家源橋測站之枯水期輸砂量是每年 1 月至 4 月以及 11、12 月輸砂量加總所得，其 M-K 趨勢檢定結果 τ 值為 0.155，結果顯示枯水期輸砂量變化呈現上升趨勢， p 值為 0.212，未小於 0.05，故未達到顯著水準；圖 3-15 為家源橋測站枯水期輸砂量的距平圖，結果顯示枯水期輸砂量變化呈現下降趨勢；而圖 3-16 為家源橋測站之枯水期輸砂量折線圖，趨勢線呈現下降，此結果與距平趨勢分析相同，但與 M-K 趨勢檢定之結果相反，但因 M-K 趨勢之 p 值未達顯著水準，故家源橋測站之枯水期輸砂量變化呈現下降趨勢。

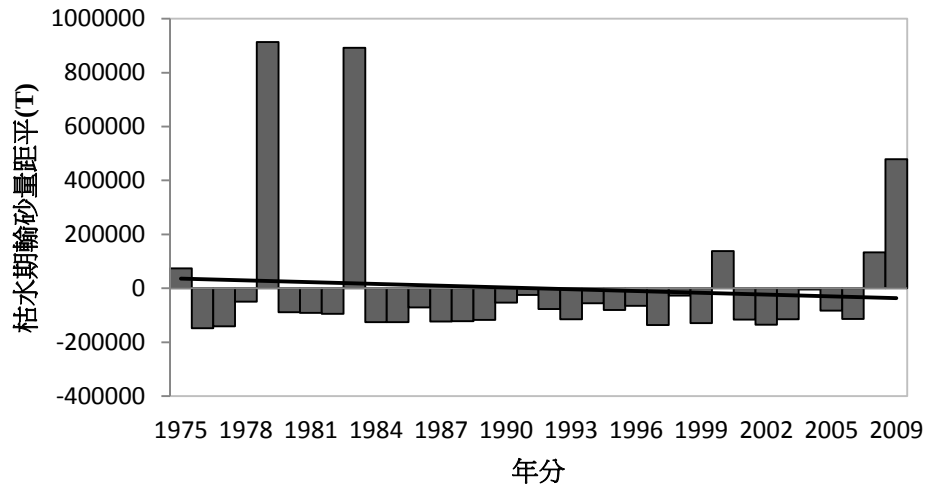


圖 3-18 家源橋測站枯水期輸砂量距平趨勢圖

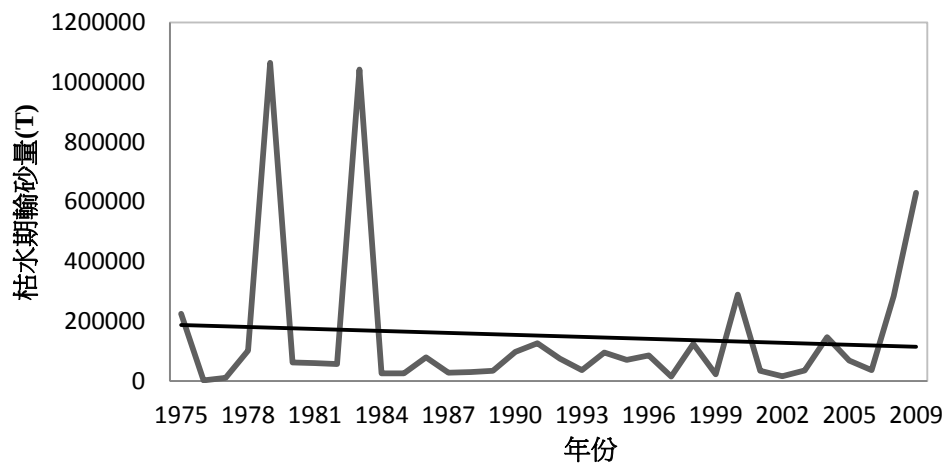


圖 3-19 家源橋測站枯水期輸砂量折線圖

四、最大日輸砂量

家源橋測站之最大日輸砂量為日輸砂量值最大者，其 M-K 趨勢檢定結果 τ 值為-0.119，結果顯示最大日輸砂量變化呈現下降趨勢， p 值為 0.337，未小於 0.05，故未達到顯著水準；圖 3-17 為家源橋測站最大日輸砂量的距平圖，結果顯示最大日輸砂量變化呈現下降趨勢；而圖 3-18 為家源橋測站之最大日輸砂量折線圖，趨勢線也呈現下降，此結果和距平趨勢分析以及 M-K 趨勢檢定之結果相同，綜合以上分析法之結果，家源橋測站之最大日輸砂量變化呈現下降趨勢。

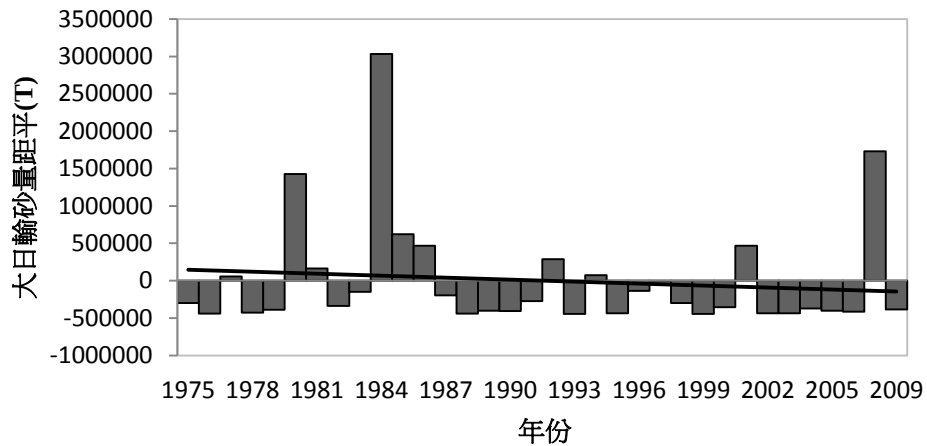


圖 3-20 家源橋測站最大日輸砂量距平趨勢圖

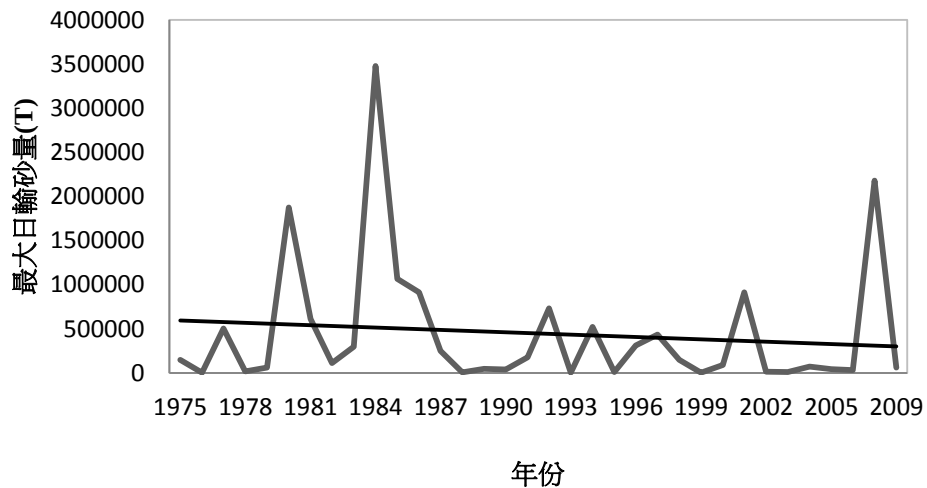


圖 3-21 家源橋測站最大日輸砂量折線圖

五、最小日輸砂量

家源橋測站之最小日輸砂量為日輸砂量值最低者，其 M-K 趨勢檢定結果 τ 值為 0.061，結果顯示最小日輸砂量變化呈現上升趨勢， p 值為 0.631，未小於 0.05，故未達顯著水準；圖 3-19 為家源橋測站最大日輸砂量的距平圖，結果顯示最小日輸砂量變化呈現上升趨勢；而圖 3-20 為家源橋測站之最大日輸砂量折線圖，趨勢線也呈現上升，此結果和距平趨勢分析以及 M-K 趨勢檢定之結果相同，綜合以上結果，家源橋測站之最大日輸砂量變化呈現上升趨勢。

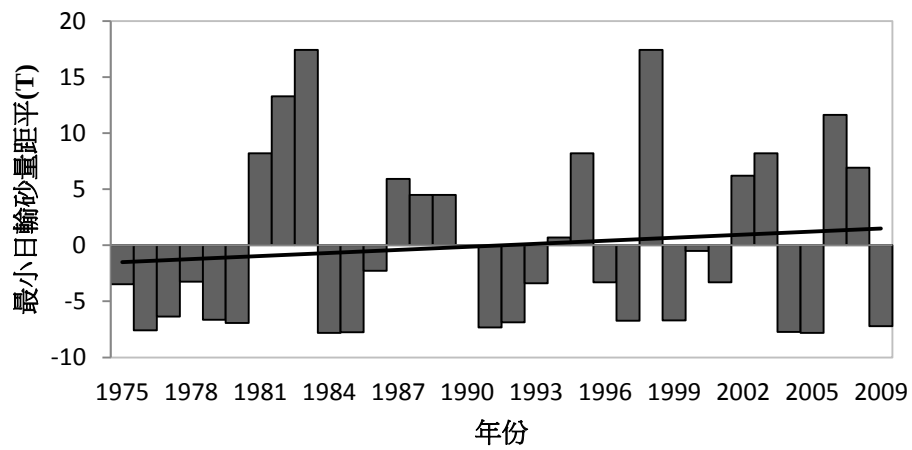


圖 3-22 家源橋測站最小日輸砂量距平圖

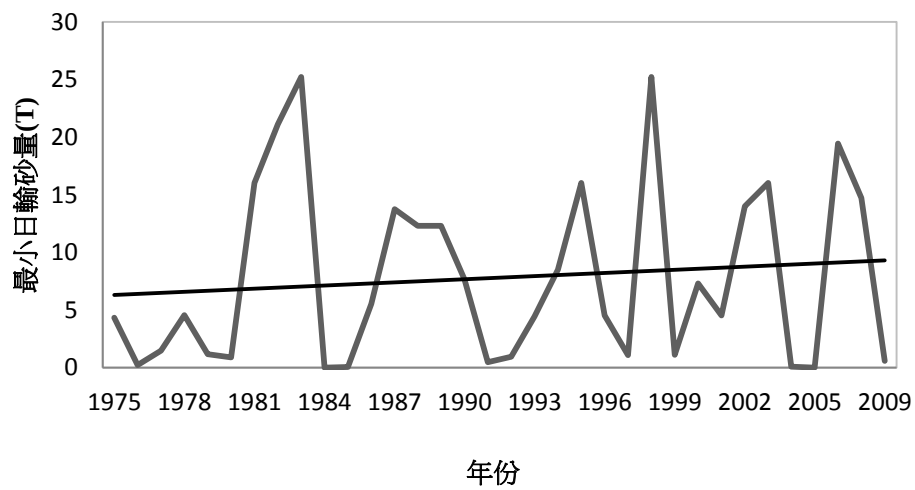


圖 3-23 家源橋測站最小日輸砂量折線圖

第四節 小節

本章節主要透過 M-K 趨勢檢定、距平趨勢法分析蘭陽溪家源橋水文測站不同時間尺度的流量、輸砂量變化趨勢。

在第一節方面，探討的主題為流量變化趨勢，首先，在年逕流量方面，透過本章節所示之圖、表以及數據可以發現，其 M-K 趨勢檢定、距平趨勢分析結果皆顯示流量變化呈現下降趨勢；其次，在豐水期逕流量方面，結果呈現下降趨勢；接著，在枯水期逕流量方面，M-K 趨勢檢定 τ 值顯示流量變化呈現上升趨勢，但由於結果未達顯著水準，而距平趨勢之結果呈現下降趨勢，因此採納後者之結果；第四，在最大日逕流量方面，結果顯示最大日逕流量變化呈現下降趨勢；最後，在最小日逕流量方面，結果指出最小日逕流量變化呈現下降趨勢；大體上來看，整體的逕流量係呈現減少之趨勢。

第二節探討流量與輸砂量之間的關係，首先，整體流量-輸砂量率定關係；其次為，豐水期流量-輸砂量率定關係；最後，枯水期流量-輸砂量率定關係；發現在整體流量-輸砂量率定關係、豐水期流量-輸砂量率定關係，這兩者的率定曲線有逐年下降的趨勢，代表單位逕流輸砂量有減少的趨勢；而枯水期之流量-輸砂量關係，則是以 1990 年至 1999 年之單位流量產出之輸砂量最高，其次為 1980 年至 1989 年，2000 年至 2009 年最少。綜合以上所述可以發現，整體單位流量產出的輸砂量有減少的趨勢。

第三節所探討之主題為輸砂量之變化趨勢，首先，在年輸砂量方面，結果顯示年輸砂量的變化呈現下降趨勢；其次，在豐水期輸砂量方面，結果皆顯示豐水期輸砂量的變化呈現下降趨勢；第三，在枯水期輸砂量方面，M-K 趨勢檢定 τ 值顯示變化上升趨勢，但未達顯著性，而在距平趨勢顯示其趨勢為減少，因此採納後者之結果，枯水期輸砂量之變化趨勢為減少；接著，在最大日輸砂量方面，結果顯示最大日輸砂量之變化呈現下降趨勢；最後，在最小日輸砂量方面，結果顯示其變化呈現上升趨勢。綜合以上之結果，除最小日輸砂量呈現增加以外，整體上的輸砂量呈現減少的。

第四章 結論與建議

第一節 結論

本章節將對於前兩章所分析的降雨量、逕流量、輸砂量變化趨勢加以總結，以下幾點為本研究發現之蘭陽溪上游集水區相關特性。

一、降雨量

首先，在年降雨量方面在 M-K 趨勢檢定 τ 值分別為 0.017、0.229、-0.105、0.084、0.005、0.091、-0.036，但僅有南山（1）測站 p 值達顯著水準；而距平趨勢之結果顯示南山（2）、梵梵呈現下降，思源、南山（1）、留茂安、土場（1）、土場（2）接呈現增加之趨勢。

接著，枯水期降雨之變化趨勢，M-K 趨勢檢定 τ 值分別為 0.050、0.182、-0.143、0.019、-0.195、0.121、-0.005，但僅有土場（1）、南山（1）的 p 值達顯著水準；而在趨勢距平法方面，則是有三個測站呈現增加分別為南山（1）、留茂安、梵梵，其餘測站皆呈現減少之趨勢。

最後，在最大日降雨方面，M-K 趨勢檢定 τ 值分別為 0.117、0.192、0.257、0.043、0.242、0.121、-0.024，但僅有南山（1）、土場（1）的 p 值達顯著水準；而在距平趨勢法方面，思源、南山（1）、南山（2）、留茂安、土場（1）測站均呈現增加之趨勢，而在土場（2）與梵梵測站之距平則呈現減少。

透過克利金空間內插法所計算出的整體流域降雨量之 M-K 趨勢檢定 τ 值分別為，年降雨量 0.039、豐水期降雨量 0.045、枯水期降雨量 0.012、最大日降雨量 0.062， p 值皆未達到顯著水準，而距平趨勢結果顯示四個項目都是呈現上升趨勢。

綜合以上之結果可以發現，年降雨、豐水期降雨、最大日降雨三個項目中多呈現增加的趨勢，而在思源、土場（1）、土場（2）測站有豐水期降雨增加，枯水降雨減少之趨勢，豐、枯水期之間降雨差異變大之趨勢，但整體流域之降雨量有呈現上升的趨勢。

二、逕流量

在逕流量方面，主要可以分為：年逕流量、豐水期逕流量、枯水期逕流量、最大日逕流量以及最小日逕流量，其 τ 值分別為-0.034、-0.064、0.041、-0.123、-0.004，除了枯水期逕流量呈現上升趨勢，其餘變化均呈現下降之趨勢， p 值皆未達顯著水準；整體變化皆呈現下降之趨勢，綜合以上之結果逕流方面整體呈現減少之趨勢。

三、流量-輸砂率定關係分析

將觀測之數據以 10 年為一組共 3 組，由於 1980 年以前的數據不足 10 年，因此不納入討論中，比較項目分別為：不同時期整體逕流量-輸砂量率定關係、不同時期豐水期逕流量-輸砂量率定關係、不同時期枯水期逕流量-輸砂量率定關係。

結果顯示，不同時期整體逕流量-輸砂量率定關係、不同時期豐水期逕流量-輸砂量率定關係，兩個項目所呈現的結果都是 1980 年至 1989 年單位逕流輸砂量最高，1990 至 1999 年次之，2000 至 2009 年之最少，枯水期方面則是 1990 年至 1999 年單位逕流輸砂量最高，2000 年至 2009 年次之，1980 年至 1989 年最少。

四、輸砂量變化趨勢

在輸砂量方面，主要可以分為：年輸砂量、豐水期輸砂量、枯水期輸砂量、最大日輸砂量、最小日輸砂量，其 τ 值分別為-0.098、-0.080、0.155、-0.119、0.061， p 值皆未達顯著水準；距平趨勢之結果僅有最小日輸砂量變化呈現上升趨勢，其餘項目變化均呈現下降趨勢。

綜合以上之變化趨勢，降雨方面的變化趨勢呈現增加，但並無反映到逕流量方面，而隨著逕流量之減少，輸砂量亦呈現減少之趨勢，由此可知蘭陽溪上游之水文循環產生了變化，降雨量-逕流轉換之間的關係值得深入探討。

第二節 建議

蘭陽溪上游流域有許多的農業活動，種植相關的高冷蔬菜、蔬果，這些的農業開發對於地文條件、水文循環勢必造成影響，相關之研究值得後續研究探討。

在趨勢分析方面由於水文、氣候觀測相關資料年限時間尺度不一，僅探討了逕流量與輸砂量之關係，降雨如何影響逕流、輸砂這方面的因果關係值得進一步探討，而相關地文條件與土地利用相關之因素如何影響降雨-逕流轉換關係以及土壤沖蝕率亦值得相關研究持續探討。

農業開發活動可能造成環境越來越脆弱，但由於蘭陽溪上游之農業並非宜蘭縣農田水利會之管轄範圍，相關資料取得可能較不容易，這方面為後續研究須注意之相關議題。

參考文獻

壹、中文文獻

- 王家銘 (2012) 石門水庫集水區之水文趨勢研究，中華科技大學土木防災工程學系碩士論文。
- 石再添、張瑞津、林雪美、張政亮、劉明錡、陳政典 (1995)：台灣西南部河口地區之地形學研究，地理研究，23，109-150。
- 何春蓀 (1981) 普通地質學，五南出版社。
- 何春蓀 (1994)，台灣地質概論-台灣地質圖說明書，經濟部中央地質調查所。
- 李亮廷 (2008) 集水區降雨特性、溪流流量及輸砂量變異分析-以陳有蘭溪流域為例，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
- 李建堂 (1997) 土壤沖蝕的量測方法，地理學報，23：89-106。
- 林孟龍、林俊全 (2003) 颱風對於蘭陽溪上游集水區懸移質生產特性的影響，地學報，33：39-53。
- 林宗儀、陳華玟、陳勉銘 (2011) 尋找近期臺灣沙質海岸侵蝕熱點，工程環境會刊，27：77-92。
- 張明軒 (2005) 集水區輸砂量變化與沖積物預算之分析，國立台灣大學地理環境資源學系碩士論文。
- 陳翰霖 (2003) 曾文水庫對流量及輸沙量的影響，地理研究，39：37-54。
- 黃于馨 (2011) 宜蘭海岸線長期變遷之分析研究，國立嘉義大學土木與水資源工程學系碩士論文。
- 黃伊凡 (2010) 濁水溪河川輸砂特性變動之研究，國立彰化師範大學地理系碩士論文。
- 錢滄海、楊孟叡、曹舜評、李汴軍 (2010) 台北測站長時間降雨之趨勢檢定，水土保持學報，42(3)：285-304。
- 鍾侑達、郭峻菖、陳昶憲 (2009) 台灣區域降雨趨勢分析，農業工程學報，55(4)：1-18。
- 關笙安 (2012) 台灣主要河川懸砂的時空變異與收支研究，國立中山大學海洋地質及化學研究所碩士論文。

貳、外文文獻

- Chang, H. and I. Jung (2010) Spatial and temporal changes in runoff caused by climate change in a complex large river basin in Oregon. *Journal of Hydrology* 388 : 186-207.
- Chen, T. A., J.T. Liu and B.J. Tsuang (2004) Island-based catchment—The Taiwan example. *Regional Environmental Change*, 4 (1), 39-48, 2004.
- Chen, H., S. Guo, C. Xu, and V. P. Singh (2007) Historical temporal trends of hydro-climatic variables and runoff response to climate variability and their relevance in water resource management in the Hanjiang basin. *Journal of*

- Hydrology* 344 : 171– 184.
- Dadson, S. J., N. Hovius, H. Chen, W. B. Dade, M. L. Hsieh, S. D. Willett, J. C. Hu, M. J. Horng, M. C. Chen, C. P. Stark, D. Lague, and J. C. Lin (2003) Links between erosion, runoff variability and seismicity in the Taiwan orogeny. *Nature* 426 : 648-651.
- Gocic, M. and S. Trajkovic (2013) Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change* 100 : 172–182.
- Gomez, B., Y. Cui, A.J. Kettner, D.H. Peacock. and J.P.M. Syvitski (2009) Simulating changes to the sediment transport regime of the Waipaoa River, New Zealand, driven by climate change in the twenty-first century. *Global and Planetary Change* 67 : 153–166.
- Kettner, A. J. and J. P. M. Syvitski (2008) HydroTrend v.3.0: A climate-driven hydrological transport model that simulates discharge and sediment load leaving a river system. *Computers & Geosciences* 34 : 1170-1183.
- Kling, H., M. Fuchs and M. Paulin (2012) Runoff conditions in the upper Danube basin under an ensemble of climate change scenarios. *Journal of Hydrology* 424–425 : 264–277.
- Kuo, S. J. and Liu, K. K. (2002) Exacerbation of erosion induced by human perturbation in a typical Oceania watershed: Insight from 45 years of hydrological records from the Lanyang-Hsi River, northeastern Taiwan. *Global Biogeochemical Cycles* 16(1) 1-7.
- Li, F., Y. Zhang, Z. Xu, J. Teng, C. Liu, W. Liu and F. Mpelasoka (2013) The impact of climate change on runoff in the southeastern Tibetan Plateau. *Journal of Hydrology* 505 : 188–201.
- Liu, J. T., Yuan, P. D., and Hung, J. J (1998) The coastal transition at the mouth of a small mountainous river in Taiwan. *Sedimentology*, 45:803-816.
- Ma, Y., H. Q. Huang, J. Xu, G. J. Brierley and Z. Yao (2010) Variability of effective discharge for suspended sediment transport in a large semi-arid river basin. *Journal of Hydrology* 388 : 357-369.
- Miao, C., J. Ni, A. G. L. Borthwick and L. Yang (2011) A preliminary estimate of human and natural contributions to the changes in water discharge and sediment load in the Yellow River. *Global and Planetary Change* 76:196–205.
- Milliman, J. D. and R. H. Meade (1983) World-wide delivery of river sediment to the oceans. *Journal of Geology* 91 : 1-21.
- Mouri, G., V. Golosov., S. Chalov, S. Takizawa, K. Oguma, K. Yoshimura, M. Shiiba, T. Hori, and T. Oki (2013) Assessment of potential suspended sediment yield in Japan in the 21st century with reference to the general circulation model climate

- change scenarios. *Global and Planetary Change* 102 : 1–9.
- Robinson (1977) Relationships between soil erosion and sediment delivery. *Erosion and Solid Matter Transport In Island Water. International Association Of Hydrological Sciences Publication* 122 : 159-167.
- Sahoo, D. and P.K. Smith (2009) Hydroclimatic trend detection in a rapidly urbanizing semi-arid and coastal river basin. *Journal of Hydrology* 367 : 217–227.
- Schmidt, K. H. and D. Morche (2009) Sediment output and effective discharge in two small high mountain catchments in the Bavarian Alps, Germany. *Geomorphology* 80: 131–145.
- Tonkaz, T. and M. Ç etin (2007) Effects of urbanization and land-use type on monthly extreme temperatures in a developing semi-arid region, Turkey. *Journal of Arid Environments* 68 : 143–158.
- Walling, D. E. (1983) Sediment delivery problem. *Journal of Hydrology* 65 : 209-237
- Wang, S., M. Yan, Y. Yan, C. Shi and L. He (2012) Contributions of climate change and human activities to the changes in runoff increment in different sections of the Yellow River. *Quaternary International* 282 : 66-77.
- Wu, C. S., S.L. Yang and Y. Lei (2012) Quantifying the anthropogenic and climatic impacts on water discharge and sediment load in the Pearl River (Zhujiang), China (1954–2009) . *Journal of Hydrology* 452–453 : 190–204.
- Yu, X., X. Zhang and L. Niu (2009) Simulated multi-scale watershed runoff and sediment production based on GeoWEPP model. *International Journal of Sediment Research* 24 : 465-478.
- Zhang, S., X. X. Lu, D. L. Higgitt, C. A. Chen, J. Han and H. Sun (2008) Recent changes of water discharge and sediment load in the Zhujiang (Pearl River) Basin, China. *Global and Planetary Change* 60 : 365–380.
- Zhu, Y. M., X.X. Lu, and Y. Zhou (2008) Sediment flux sensitivity to climate change: A case study in the Longchuanjiang catchment of the upper Yangtze River, China. *Global and Planetary Change* 60 : 429–442.

謝辭：

如夢一場的兩年碩士生涯終於要結束了，回想當初還是個懵懵懂懂、初來乍到的新人，而現在已經準備離校了，要感謝張書維學長，幫我引薦了許多人，幫助我熟悉系上的事物，也幫我找到了一個穩定的工讀機會。感謝廖俊瑋在我毫無頭緒的時候給了我許多意見，多虧了學長的意見與鼓勵我找到了正確的方向。也必須感謝洪承鈞學長在許多方面的幫助，學長充滿智慧的意見與解決問題的方法真的讓我受益良多，尤其是在博士班推甄時幫我解決了棘手的問題。

大學時期，像隻脫了韁的野馬，如果不是談珮華老師，或許不會有現在的我，感謝談老師的當初的教導與包容，也很感謝老師願意撥空出席我的碩士口試，並給我許多細心的意見，也讓我體會到自己還是有許多需要改進的地方。也很感謝黃誌川老師在論文口試時給的許多精闢意見，讓我改進了許多地方。也很感謝韋煙灶老師指出的地質與下滲問題，雖然目前為止還無法處理這些問題，但很希望在當完兵過後有機會繼續與韋老師學習。

在就讀碩士的兩年中，最重要的人莫過於我的指導教授廖老師，廖老師帶我如己出，老師在我的碩士論文下了許多心思，也從實務上給了我許多未來的方向，而在生活的瑣事上跟老師也是無所不談，還記得老師在電話中提醒我要記得吃晚餐以及在討論文章過程中對我語重心長地指出我的問題，永遠記得老師說過的：「自主學習」，希望在當完兵過後還有機會能在博士班繼續當老師的學生。

在生活中所遇到的許多瑣事問題也要很感謝陳舒雯、延欣智與許哲維同學的幫忙與鼎力相助，你們總是能夠給我許多實用並具批判性的意見，在碩士班生涯唯一小小的缺憾大概就是太晚認識涂仁瑋、黃昱森這兩位同學，感謝兩位在我的碩士生涯尾端添上了許多色彩。