

颱風事件對河川水質的影響-以花蓮地區馬太鞍溪與萬里溪為例

Typhoons and Their Effect on River Water Quality: A Case Study of the Ma-an and Wan-li River, Hualien

王志惠^{1,2} 劉瑩三³ 江漢全⁴

Wang, Chi-Hui^{1,2}, Liou, Ying-San³, Chian, Han-Chuan⁴

摘 要

臺灣位於歐亞板塊與菲律賓海板塊的交界縫合帶，隆升、斷層與褶皺構造明顯且發達。由於形成山地地形約占全島面積的三分之二，集水區地勢高峻、河川剖面陡、河流短而急，使得臺灣的河川具有非常高的侵蝕速率及河流輸砂量。近年來，受到全球暖化與極端降雨的影響，導致造成更大、更多集水區崩塌，提高河川物理及化學風化的剝蝕作用，對河川的水體水質造成影響。本研究藉由每日及颱風期間高頻率採樣與分析，以河川水質污染程度指數 (River Pollution Index, RPI) 探討花蓮縣馬太鞍溪及萬里溪的河川水質，並藉由環保署歷年資料與本研究數據進行分析，瞭解颱風事件及降雨等自然因素對河川 RPI 的影響，同時亦針對採樣頻率進行討論。結果顯示，2014 年計有麥德姆及鳳凰颱風影響花蓮，馬太鞍溪 RPI 達嚴重污染的天數分別為 58 天與 20 天，萬里溪 RPI 達嚴重污染的天數則分別為 40 天與 15 天，颱風對馬太鞍溪嚴重污染影響的天數高於萬里溪。另外，河川懸浮固體 (Suspended Solids, SS) 在未降雨情況約 3mg/L，梅雨季節最高約 500 mg/L，颱風季節最高可達 7,000~8,000 mg/L，即降雨過後伴隨 SS 濃度增加，尤其颱風過後造成河川中的 SS 增加，颱風事件對於 RPI 影響達嚴重污染天數至少 15 天，倘後續再降雨其影響的時間會更久。進一步分析兩流域各季節的 SS 之間的關係，颱風期間馬太鞍溪及萬里溪 SS 平均濃度分別為 4,722 及 2,587 mg/L；枯水期平均濃度為 21、18 mg/L；梅雨期間平均濃度為 43、22 mg/L；豐水期平均濃度為 473、230 mg/L，馬太鞍溪 SS 無論是枯水期、豐水期、梅雨季節及颱風期間皆高於萬里溪。分析原因，馬太鞍溪與萬里溪為相鄰之集水區，具有類似之地質及平均坡度與水系密度 (Drainage density, km/km²) 相仿的情況，除了降雨造成之流量因素為 SS 升高的關鍵因素外，河川上游崩塌情形對水質指標亦有重要影響；統計結果亦顯示，馬太鞍溪集水區崩塌地的個數及面積皆大於萬里溪，造成颱風對馬太鞍溪 SS 影響的時間及濃度皆高於萬里溪。另外，河川水質採樣頻率，在平日未降雨情況下，未降雨期間採樣乙次即可，無須每個月採樣，於颱風或暴雨期間兩週採樣乙次，即可掌握河川水質狀況。

關鍵詞：河川水質污染程度指數 (RPI)、河川水質、崩塌地、花蓮。

Abstract

Taiwan is located at the junction of the Eurasian Plate and the Philippine Sea Plate. The uplift, faults, and folds are well developed. Due to the formation mountainous terrain which amounts for

107 年 3 月 1 日收件 107 年 5 月 8 日受理

國立東華大學自然資源與環境學系¹ 博士生³ 教授¹ (PHD Student, ³Professor, Department of Natural Resources and Environmental Studies, National Dong Hwa University)。

² 花蓮縣環境保護局科長 (Chief, Environmental Protection Bureau, Hualien County)。

⁴ 國立宜蘭大學環境工程學系教授 (Professor, Department of Environmental Engineering, National Ilan University)。

about two thirds of the island area, the steep terrain of the catchment area, the steep river profile, and the short and acute rivers make Taiwan's river have a very high erosion rate and high river sediment discharge. In recent years, global warming and extreme rainfall have led to the erosion and collapse of larger and more watershed, denudation of river physical and chemical weathering, which influence the water quality of river. In this study, river quality of the Ma-an River and Wan-li River in Hualien County was explored by high-frequency sampling and analysis during daily and typhoon periods with the river pollution index (RPI). Based on historical data from the Environmental Protection Administration (EPA) and the data of this study are analyzed to understand the impact of typhoon events and rainfall and other natural factors on river RPI. At the same time, the sampling frequency is also discussed. The results show that the number of days of severe pollution by RPI of the Ma-an River were 58 days and 20 days during the period of typhoons Matmo and Fung-wong, respectively, and the days of serious pollution by RPI of the Wan-li River were 40 days and 15 days respectively. It indicates that typhoons have longer impacts on the Ma-an River than the Wan-li River in severe pollution terms. In addition, suspended solids (SS) in the river are about 3mg/L in the case of no rain, about 500 mg/L (maximum) in the rainy season (Plum Rains season), and up to 7,000-8,000 mg/L in the typhoon season, suggesting that rainfall and SS intensity are correlated. In particular, SS concentration increases significantly after the rainfall, especially after the typhoon. Typhoon events have a severe impact on RPI for at least 15 days and will take longer for subsequent rains. Further analysis of the relationship between the SS of the two watersheds in each season show that during the typhoon period, the mean SS concentrations in the Ma-an River and Wan-li River were 4,722 mg/L and 2,587 mg/L, respectively. The average concentrations of SS in dry, Plum Rains, and rainy seasons were 21 mg/L and 18 mg/L, 43 mg/L and 22 mg/L, and 473 mg/L and 230 mg/L, respectively. Regardless of period or season, the SS intensity of the Ma-an River is higher than that of the Wan-li River. Ma-an River and Wan-li River are adjacent catchment areas with similar geology and average slope and analogous density of water system. In addition to the rain-fall-induced flow factors, which are the key factors in the increase of SS, the collapse of the upper reaches of the river also has an important impact on water quality. The statistical results also indicate that number and area of the collapsed land of catchment area in Ma-an River are both greater than that of the Wan-li River, causing the duration and concentration of SS in Ma-an River affected by typhoon both higher than that of the Wan-li River. In terms of river water sampling frequency, in the case of normal no rainfall, sampling once, do not sample every month; during a typhoon or heavy rain, sampling once in two weeks to find out the river water quality.

Key words: river water pollution index (RPI), river water quality, landslide, Hualien.

一、緒 論

臺灣位於歐亞板塊與菲律賓海板塊的交界縫合帶，隆升、斷層與褶皺構造明顯且發達。由於形成山地地形約占全島面積的三分之二，集水區地勢高峻、河川剖面陡、河流短而急，使得臺灣的河川具有非常高的侵蝕速率及河流輸砂量。近年來，全球暖化與極端降雨的現象明顯，這些強降雨大都來自颱風，因此更大、更多集水區崩塌、河川侵蝕等作用，造成物理及化學風化速率對陸地的剝蝕作用，分別反映在河川的懸浮沉積物及溶解物質上，對河川的水體水質造成重大的影響。

行政院環境保護署每年針對臺灣主要河川進行水質監測，以河川「污染程度指數」評估河川水質受污染情況，河川水質污染程度指數（River Pollution Index, RPI）係由溶氧量（Dissolved Oxygen, DO）、生化需氧量（Biochemical Oxygen Demand, BOD）、懸浮固體（Suspended Solids, SS）及氨氮（NH₃-N）等 4 項副指標所組成。經計算河川所屬之污染等級為未（稍）受污染、輕度污染、中度污染及嚴重污染等污染程度，評估河川污染情形，以掌握河川水質狀況，有利於河川流域水質之規劃與管理。然環保署針對河川水質的監測係為了解人為來源的污染，因此避開颱風或暴雨降雨等自然因素對 RPI 的影響，其監測結果自然無法反映河川真實狀況及降雨對河川 4 項污染副指標之影響程度？降雨對河川枯、豐水期對 RPI 的影響？及單一事件颱風或暴雨對 RPI 之影響日數？若要了解人為因素造成的影響，河川水質採樣頻率為何？自然因素採樣頻率為何？

河川水質變化之原因，不僅是人為的污染，也可能來自河川本身所屬的地質、地形影響，亦有可能是氣候所影響。河川污染之型式有下列兩種：1.礦物的含量受季節性及氣候所影響，因此屬於自然污染型式；2.有機物及營養物則屬於人為來源（Vega et al., 1998）。環保署針對人為因素造成的河川污染長期關注與監測，惟自然因素引起河川污染著墨甚少。前人研究顯示，颱風或暴雨對河川指標 SS 濃度影響很大，對 DO、BOD、NH₃-N 等 3 項較無影響（許文昌，2006），豐水期 RPI 的上升與 SS 濃度變化呈顯著性正相關，河川水質與雨量變化有顯著的關係（江漢全，2013）；懸浮沉積物的多寡主要取決於颱風所帶來的大量豪雨，颱風造成懸浮沉積物量產生主要決定於降雨和流量（林孟龍，2000；謝文哲，2004）；颱風期間對於河川流域集水區造成的侵蝕速率高於於平均侵蝕速率甚多（Hartshorn et al., 2002；謝文哲，2004）；降雨量多容易將崩塌碎屑帶入河道系統中，造成懸浮沉積物生產量增加之現象，而懸浮沉積物之多寡直接影響集水區之剝蝕速率。分析颱風事件對河川全年懸浮沉積物貢獻量，Hartshorn et al. (2002) 研究 2000 年強烈颱風碧利斯侵臺短短 3 天中，對立霧溪高海拔河道侵蝕超過 10mm；林孟龍與林俊全（2003）分析蘭陽溪上游集水區的輸砂量，發現主要由颱風期間降雨事件所搬運，颱風期間懸浮沉積物的運輸量占整個觀測期間 59%；謝文哲（2004）以馬太鞍溪及萬里溪為範圍，研究期間自 1998 年 7 月 16 日至 2000 年 1 月 8 日止，該區域之懸浮沉積物生產量受瑞伯颱風影響，颱風期間對馬太鞍溪及萬里河流域之懸浮微粒般運量分別占 1.5 年中的 55% 及 54%；呂名翔（2007）認為輸砂量主要由颱風暴雨事件所供應，單一事件輸砂量約占全年輸砂量 6.6~25.3%；陳冠樺（2014）屏東縣林邊溪颱風事件的研究中發現，颱風事件的輸砂量平均占全年輸砂量的 39.02 %。懸浮沉積物產生量受控於大規模崩塌與降雨事件所影響，高強度降水大大提高懸浮沉積物的產生量（Hovius et al., 2000；謝文哲，2004）。Hovius et al. (2000) 認為水中懸浮沉積物荷重改變除了受水流量（或降雨量）的影響外，上游集水區中崩場地是提供懸浮沉積物的主要來源之一。許多學者認為豪雨過後邊坡的不穩定現象與土壤孔隙水壓的上升有相當密切的關係（Pierson, 1977; Dietrich, et al., 1986）；Sitar et al. (1992) 指出土體內孔隙水壓突然產生是土石流形成的主要主因；Fuchu 等人（1999）的野外實際調查證實，降雨事件後不穩定邊坡確實多發生在山凹地區；林美聆（1999）提到迎風面占總集水區面積的比例也會影響集水區所承受的雨量，因此坡向可能也與暴雨引發的崩場地分布有關；李三畏（1984）根據 1964-1977 年對臺灣集水區上游的崩場地調查認為，多量的降雨及集中性豪雨是崩塌的主因；簡碧梧（1995）根據「臺灣過去 20 年重大崩山災害」的資料統計崩塌與每年的颱風次數成正比；發生土石流的必要條件包括高降雨強度，以及足夠長降雨延時（Wieczorek et al., 2000；林辰翰，2013）；張瑞津（2001）等針對陳有蘭溪中游的 4 個小流域進行山崩與土石流發生頻率之研究，歸納出在內茅埔、龍神橋等雨量測站測量累積降雨量超過 200mm 時，豐丘溪及白不仔河流域會開始發生山崩。綜上，颱風期間的高強度降雨及短時間累積高雨量，造成集水區邊坡不穩定與土壤孔隙水壓的上升引發崩塌，而颱風強降雨及集水區崩場地面積有連動關係與彼此相互影響，造成河川懸浮沉積物生產量增加的主要原因。

前人利用河川下游測得流量與沉積物荷重，來推估集水區之剝蝕率，以了解河川懸浮沉積物產生量，Li (1976) 對全臺灣 64 個重要流域測得平均剝蝕率為 5.5mm/yr、Hovius et al. (2000) 對花蓮溪流域測得的剝蝕率為 7.7mm/yr、林孟龍等 (2000) 對蘭陽溪流域在 1974-1996 年間測得的剝蝕率為 1.10mm/yr、楊鈞沂 (2001) 對高屏溪流域在 1999-2000 年之研究測得的剝蝕率為 2.4mm/yr、Dadson et al. (2003) 臺灣地區重要河川在 1970-1999 年間的剝蝕速率為 3.9 mm/yr (東部 3~6 mm/yr)、謝文哲 (2004) 在一次颱風事件對集水區內崩塌地之影響與剝蝕速率為 1.34 mm/yr、Malliaman and Sylvitski (1992) 指出世界島嶼河流之平均剝蝕速率為 1.2mm/yr。前人的研究結果顯示臺灣地區河川剝蝕率高於世界平均值，反映臺灣各河川平均懸浮沉積物數值很高，高數值的河川懸浮沉積物來自於暴雨或颱風事件所帶來的影響，環保署河川水質採樣避開暴雨或颱風的監測方式，實無法反映河川真實 RPI 狀況。

臺灣氣候高溫、多雨之特性，且降雨時間與空間分布不均，降雨量呈現明顯的季節變化，乾、濕季變化明顯，豐、枯水期之雨量變化差異大，大部分降雨集中在 5-10 月，枯水期為 11 至隔年 4 月，降雨量最高出現在夏、秋兩季。臺灣除了降雨量呈現明顯的季節性變化，年與年之間降雨量的差異變化頗大，不同年間颱風侵襲的時間與強度有所不同。謝文哲 (2004) 研究颱風通常在夏、秋兩季，颱風以臺灣東部地區一帶 60% 以上最多，花蓮為全省颱風登陸次數最多地帶，根據氣象局 1990-2000 年間資料，共有 58 個颱風在臺灣登陸，其中在花蓮縣登陸計有 7 次，占全臺約八分之一。

二、研究方法

為了解自然因素對河川水質的影響，本研究選擇不受人為因素干擾的花蓮縣萬里溪及馬太鞍溪做為研究區域 (圖 1)。依江漢全 (2013) 引用內政部國土測繪中心有關兩流域土地利用情形資料顯示，集水區內各種土地利用比例，就萬里溪而言，土地利用以森林用地最高，占 93.2%，建築及農業用地兩項占 1.5%，其他用地約占 4.5%；馬太鞍溪的土地利用以森林用地 91.0% 最高，農業用地及建築用地為 1.8%，其他用地約占 5.7%，顯示兩流域之人為開發少，有利於本研究排除人為活動的因素，分析颱風事件對河川水質及河川污染指標 (RPI) 的影響。土地利用情形如圖 2。



圖 1、萬里溪及馬太鞍河流域示意圖 (資料來源：江漢全，2013)。

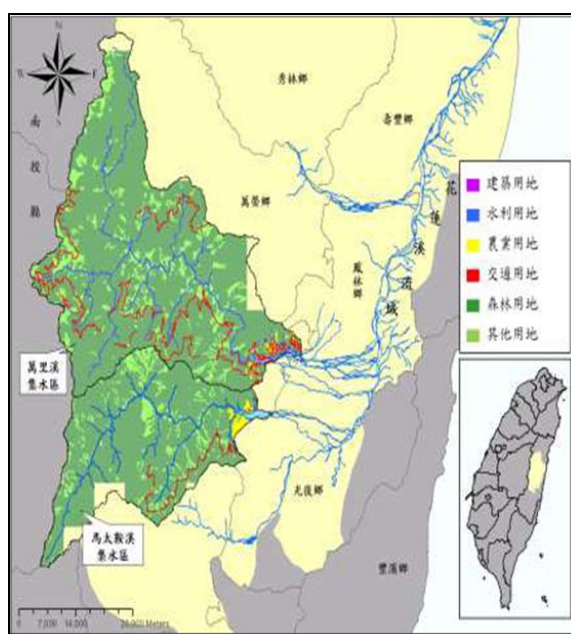


圖 2、馬太鞍溪及萬里溪土地利用圖 (資料來源：江漢全，2013)。

本研究於萬里溪及馬太鞍溪兩流域進行監測，監測位置分別位於兩溪流與花蓮溪匯流前的萬里溪橋及馬太鞍溪橋，與經濟部水利署所設置的水文監測站位置相同，方便引用水利署水文資料進行統計分析。監測期間自 2012 年 11 月起至 2013 年 12 月每月進行兩溪流流水質監測，檢測項目包括 DO、NH₃-N、SS、COD 等，了解河川各月份 RPI 之變化；2014 年 4-11 月進行 SS 每日採樣與分析，了解 SS 季節性變化及對 RPI 的影響。另外，亦針對颱風事件期間進行連續採樣，了解颱風事件對河川水質 SS 的影響，2014 年共有 2 個颱風影響本區域，分別為 7 月麥德姆 (Matmo) 及 9 月鳳凰颱風 (Fung wong)。本研究於馬太鞍溪及萬里溪進行 SS 採樣與分析，各有 243 組數據，水溫及酸鹼度於採樣現場量測，其餘水樣依照行政院環境保護署公告之標準檢驗方法分析。

三、結果與討論

本研究以箱形圖 (Box plot) 方式分析行政院環境保護署在馬太鞍溪與萬里溪歷年 SS 濃度資料，馬太鞍溪 2004-2014 年共計 44 有筆數據，萬里溪 1987-2014 年共計 239 筆數據。為了解 SS 濃度隨季節的分布及變異等情形。針對本研究針區域於 2014 年 4-11 月每日進行 SS 河川水質採樣、分析與統計，並將 SS 濃度數值依河川污染程度指數換算方式換算成 RPI。

馬太鞍溪及萬里溪 Box plot 水質資料如圖 3、4。在馬太鞍溪方面，統計行政院環境保護署 2004-2014 年河川水質 SS 資料，歷年 SS 濃度僅少數資料超過 100 mg/L，最高濃度也未超過 700 mg/L，以 Box plot 分析 3、6、9、11 等 4 個數據較多月份進行統計，3、11 月代表枯水期，6、9 月代表豐水期。結果顯示枯水期 3、11 月的中位數在 11 mg/L 以下，離度 (spread) 變化較小；另 6、9 月中位數分別為 58、36，離度變化量較大，在無人為因素影響下，枯、豐水期 SS 濃度相差 3~5 倍左右，推測可能是受到颱風、暴雨等降雨的影響。相較本研究所採集的水樣資料，2014 年 7-9 月 SS 的中位數皆超過 100 mg/L，分別為 452、468 及 268 mg/L，其他月份中位數皆低於 20 mg/L，尤其在 4-6 月中位數更在 15 mg/L 以下，10-11 月分別為 60.4、14.4mg/L，顯示降雨對河川 SS 濃度造成直接的影響；在離度變化方面：4 月第 1 分位數 (Q1) 及第 3 分位數 (Q3) 分別為 2.5、4.2mg/L，幾乎沒有變化，5-6 月為 7.2~28.3、4.4~42.2 mg/L 之間、10 月為 35.1~151 mg/L、11 月為 11.1~40 mg/L。離度變化較大為 7、9 月，其 Q1、Q3 分別為 25.8~2,780 與 242~1,200mg/L 之間，而這兩個月皆有颱風事件，其中 7 月 21 日為麥德姆颱風，依採樣分析結果發現 7 月 21 日之前降雨量少，SS 濃度維持在 18~111mg/L，到颱風期間 SS 最高濃度達 7 月 24 日 8,840mg/L，造成 7 月份離度變化很大；9 月份仍為溼季，颱風未來臨之前 SS 濃度介於 81.9~452mg/L 之間，颱風期間 SS 濃度最高為 9 月 20 日的 6,220 mg/L。比較兩個颱風對馬太鞍溪 SS 濃度離度變化影響，7 月的麥德姆颱風影響程度大於 9 月的鳳凰颱風，主要是麥德姆颱風無論是降雨量或降雨強度皆大於 9 月份鳳凰颱風所致。

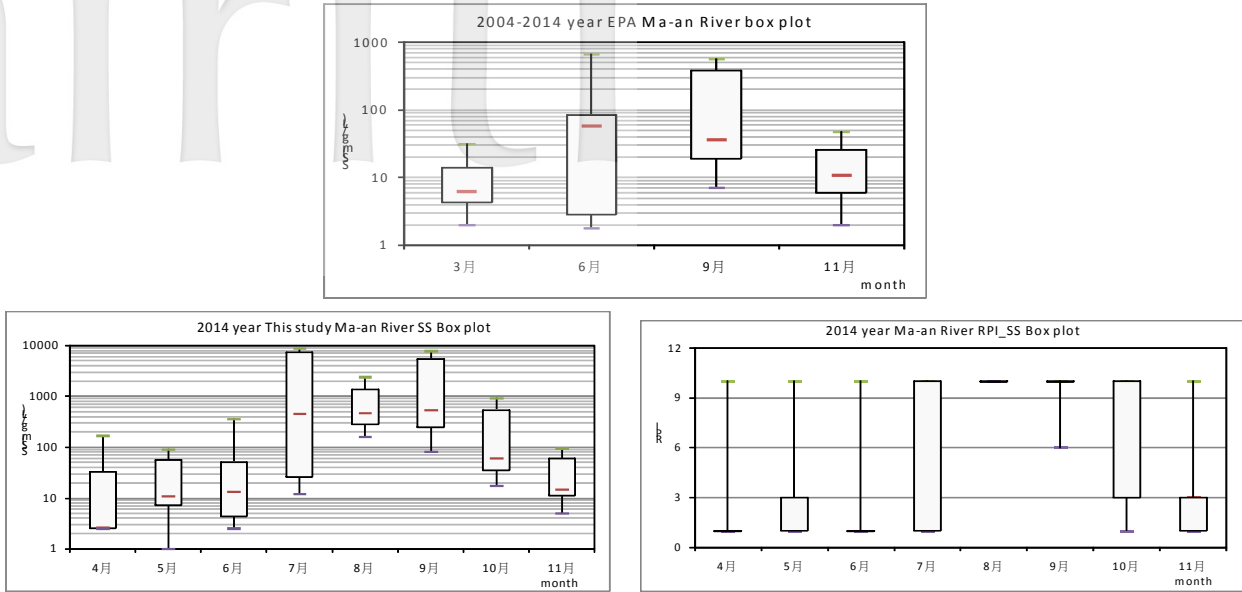


圖 3、馬太鞍溪懸浮固體 (SS) 箱形圖 (Box plot) 之示意圖。

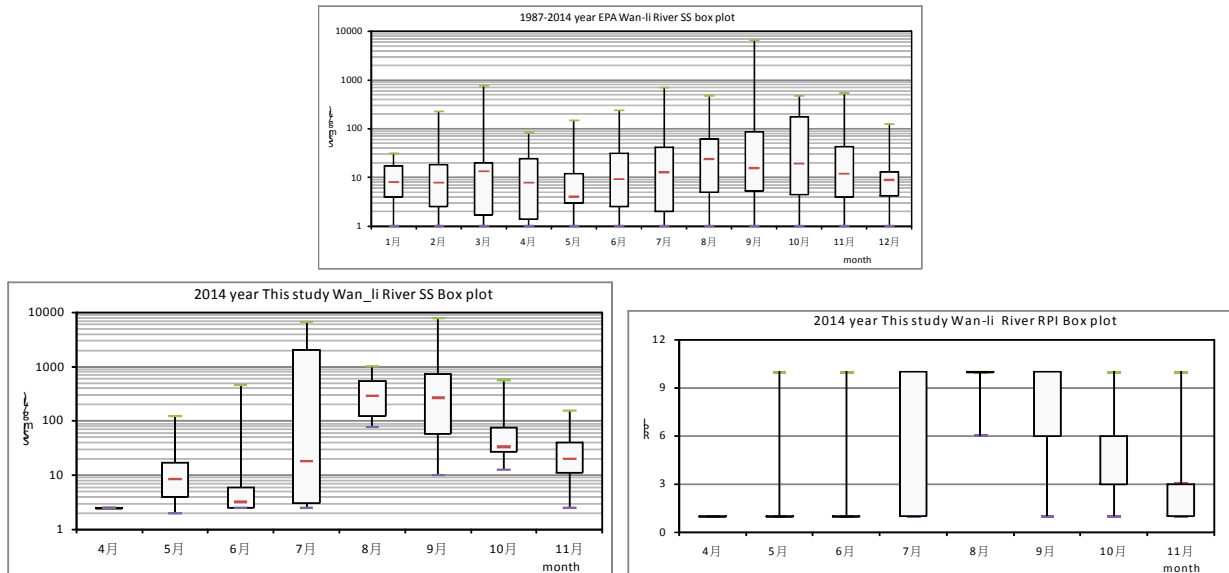


圖 4、萬里溪懸浮固體 (SS) 箱形圖 (Box plot) 之示意圖。

在萬里溪方面，統計行政院環境保護署 1987-2014 年河川水質 SS 資料，在 236 筆數據中有 24 筆數據 SS 濃度超過 100mg/L，其中有兩筆超過 1 萬 mg/L，分別 1,200 及 6,420，以 Box plot 分析的中位數以 8 月份 24 mg/L 最高，其他月分皆低於 20 mg/L 以下；分析各月份的離度，1-5 及 12 月離度變化較小，6-11 月離度變化較大，離度的變化與枯、豐水期降雨量時間分布不平均有非常顯著的關連。本研究除 2014 年 8、9 月 SS 的中位數皆超過 100mg/L，分別為 289、268 mg/L，其他皆低於 35 mg/L 以下，尤其在 4-6 月中位數更在 10 mg/L 以下，顯示降雨對河川 SS 濃度造成直接的影響；在離度變化方面：4 月 Q1、Q3 為 2.5mg/L，5-6 月 Q1、Q3 離度變化皆在 10 mg/L 以下、10 月為 33.2~73.4 mg/L、11 月為 20~40 mg/L。離度變化性較大分別為 7、9 月，其 Q1 及 Q3 分別為 18~2,030 與 268~731mg/L 之間，這兩個月皆有颱風事件，在 7 月 21 日麥德姆颱風之前，降雨量少，SS 濃度維持在 2.5~17.5mg/L，颱風期間 SS 濃度最高達 6,630mg/L，因此造成該月份離度變化大；9 月份仍為溼季，颱風未來臨之前 SS 濃度介於 10~108mg/L 之間，颱風期間 SS 最

高濃度為 7,760 mg/L。比較兩個颱風對萬里溪 SS 濃度離度變化影響，7 月的麥德姆颱風影響程度大於 9 月的鳳凰颱風，主要是麥德姆颱風無論是降雨量或降雨強度皆大於 9 月份鳳凰颱風所致。

本研究期間共兩個颱風影響，分別為 2014 年 7 月 21-23 日的麥德姆颱風及 9 月 19-22 日的鳳凰颱風，環保署歷年 SS 統計及 2014 年 SS、流量與降雨量關係如圖 5、6。本研究在 2014 年 7 月 1-20 日的每日降雨量皆在 40mm 以下，SS 濃度皆為未受污染情況，在 7 月 21 日麥德姆颱風，兩日內降雨量為 504mm（7 月 21、22 日），SS 濃度由 7 月 21 日的 14.2mg/L，升高到 7 月 24 日 8,440mg/L，於 7 月 30 日仍有 2,780mg/L，持續影響到 9 月 18 日仍有 152 mg/L。結果顯示一個颱風事件影響河川的 SS 濃度非常明顯，若將 SS 副指標換算成 RPI，麥德姆颱風從 7 月 22 日-9 月 18 日將進 2 個月 RPI 皆為嚴重度污染；另外，鳳凰颱風累積降雨量 404mm，SS 濃度由 9 月 20 日 7,510 mg/L 持續影響至 10 月 9 日 135 mg/L，SS 副指標換算成 RPI，計有 20 天屬嚴重度污染。以萬里溪而言，7 月 1-21 日的每日降雨量皆在 20mm 以下，SS 濃度皆在未受污染情況，然 7 月 22 日因麥德姆颱風過境，萬里溪中游大觀雨量站測得連續 2 天累積降雨量為 444mm，致 SS 濃度由 7 月 22 日的 6,630 mg/L，持續影響到 8 月 30 日仍有 122 mg/L，在 9 月 15 日仍有 50.7 mg/L。將 SS 副指標換算成 RPI，麥德姆颱風從 7 月 22 日至 8 月 30 日將近 1 個半月 RPI 皆為嚴重度污染。鳳凰颱風累積降雨量 208mm，SS 濃度由 9 月 21 日 7,760 mg/L 持續影響至 10 月 6 日 103 mg/L，SS 副指標換算成 RPI 屬嚴重度污染有 15 天。

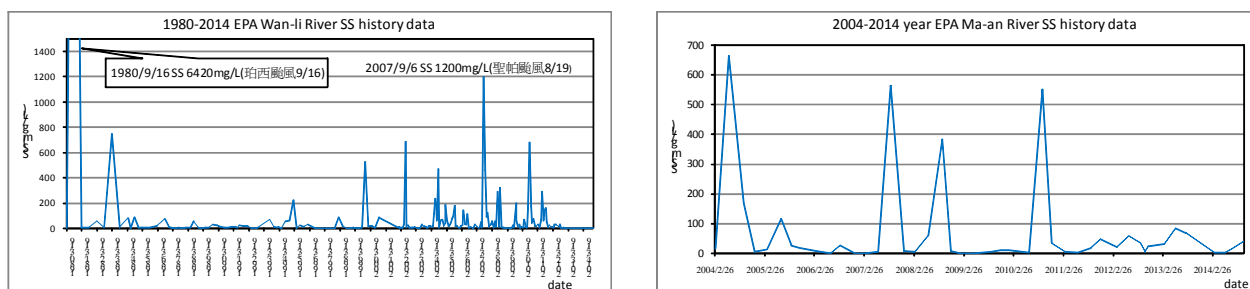


圖 5、環保署馬太鞍溪及萬里溪歷年懸浮固體（SS）趨勢圖。

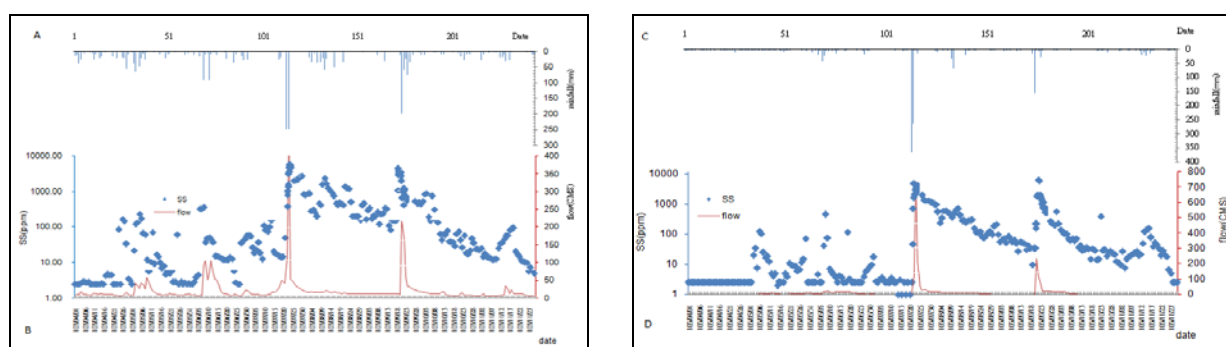


圖 6、2014/04/01-11/30 馬太鞍溪及萬里溪懸浮固體（SS）、流量與降雨量關係趨勢圖。

（一）枯、豐水期對河川水質及 RPI 的影響

2014 年兩溪流 7-9 月離度變化較其他月份高，分析這幾個月降雨情形發現，7、9 月分別有麥德姆及鳳凰颱風，SS 濃度達 100mg/L 屬嚴重污染情形，在馬太鞍溪為 58、20 天，萬里溪為 40、15 天，應該是颱風的強降雨造成雨水沖刷，導致河川 SS 濃度離度變化量大。比較馬太鞍溪歷史資料及本研究結果發現，枯水期 SS 水質變化不大，但

豐水期中位數平均分別為 42、257 mg/L，萬里溪分別為 14、103 mg/L，顯示環保署歷史資料與本研究有很大的差異，與江漢全（2010）研究馬太鞍溪及萬里溪河川水質特性模擬分析顯示豐水期的污染貢獻量比枯水期間變化大結果相符。另比較馬太鞍溪及萬里溪的中位數，馬太鞍溪在豐水期 SS 濃度中位數無論是歷史資料或本研究皆大於萬里溪，顯示馬太鞍溪在無人為因素影響下，河川水質污染高於萬里溪。可能與馬太鞍溪集水區崩塌面積比萬里溪多有關。

本研究河川採樣為 2014 年 4-11 月，4 月屬枯水期，萬里河流域日降雨量最高為 6mm，SS 皆為 2.5 mg/L，馬太鞍溪未降雨的情況下，SS 在 2.9 mg/L 以下，即表示未降雨的情況下，兩流域 SS 皆低於 3 mg/L，枯水期因降雨量少、颱風少，當天氣持續沒有下雨的情況下 SS 皆很低，其結果與環保署歷年統計資料比較大致相同，然環保署河川監測係避開降雨過後之採樣；在 5-6 月梅雨季節期間，萬里溪日最高降雨量 92 mm，SS 為 456 mg/L，馬太鞍溪日最高降雨量 95mm，SS 為 352 mg/L，即梅雨季節雖有持續降雨，但降雨強度比颱風或暴雨小，SS 雖有升高趨勢，但最高值維持在 500 mg/L 以下，且降雨對 RPI 屬嚴重污染的影響約 1-2 天，與環保署歷年統計資料統計比較，SS 最高值在 800 mg/L 以下相差不大；在豐水期，主要受颱風個數的影響，因颱風的強降雨會造成 SS 偏高，以本研究期間共有 2 個颱風，兩溪流 SS 最高濃度為 8,440 mg/L（約 7,000~8,000 mg/L），達到最高值後隨著時間 SS 的濃度有逐漸下降趨勢，其結果與環保署歷年資料比較，萬里溪僅 1980 年 9 月 16 日帕西颱風當天採樣，SS 為 6,420 mg/L，另 2007 年 9 月 6 日 SS 為 1,200 mg/L，SS 濃度較高皆發生在豐水期颱風期間，顯示颱風期間因強降雨造成河川水質偏高。進一步分析颱風期間、枯水期、梅雨期、豐水期及之間的關係，發現颱風期間馬太鞍溪及萬里溪 SS 平均濃度分別為 4,722、2,587 mg/L；枯水期平均濃度為 21、18 mg/L；梅雨期間平均濃度為 43、22 mg/L；豐水期平均濃度為 473、230 mg/L，馬太鞍溪颱風期間的 SS 平均濃度為枯水期 225 倍、豐水期的 10.0 倍；萬里溪颱風期間的 SS 平均濃度為枯水期 144 倍、豐水期的 11.2 倍，結果顯示馬太鞍溪 SS 無論是枯水期、豐水期、梅雨季節及颱風期間皆高於萬里溪，且颱風期間與平日懸浮沉積物濃度差異極大，驗證颱風期間河川流域輸砂量的主要來源（林孟龍與林俊全，2003；謝文哲，2004；呂名翔，2007；陳冠樺，2014），自然因素是對河川污染指標影響甚鉅。

以 RPI 進行分析，馬太鞍溪及萬里溪 RPI 統計如表 1、圖 7 所示，馬太鞍溪河川水質 SS 屬未受污染有 96 天、稍受污染有 32 天、中度污染有 22 天、嚴重污染有 93 天，分別占 40、13、9 及 38%；萬里溪河川水質 SS 屬未受污染有 123 天、稍受污染有 33 天、中度污染有 25 天、嚴重污染有 65 天，分別占 51、12、10 及 27%，即馬太鞍溪及萬里溪受自然因素影響 RPI 分別為 147、120 天，占 60、49%。馬太鞍溪 PRI 屬嚴重污染的比率為 38%，高於萬里溪 27%，未受污染比率為 40%，低於萬里溪 51%，兩溪流稍受污染及中度污染變化不大；另比較兩溪流的豐水期，馬太鞍溪嚴重污染的比率為 50%，高於萬里溪 34%，未受污染比率為 26%，低於萬里溪 43%。兩溪流最大差別在於未受污染及嚴重污染比率不同，馬太鞍溪嚴重污染比率大於萬里溪，超出約 11%，若以豐水期計算差異 16%。

表 1、馬太鞍溪及萬里溪河川水質污染程度指數 (RPI) 統計一覽表。

溪流	月份	項目	未受污染	稍受污染	中度污染	嚴重污染	合計
萬里溪	4-11	數量	123	30	25	65	243
		比率	0.51	0.12	0.1	0.27	1
	5-10	數量	79	20	22	62	183
		比率	0.43	0.11	0.12	0.34	1
	4、11	數量	44	10	3	3	60
		比率	0.73	0.17	0.05	0.05	1
馬太安溪	4-11	數量	96	32	22	93	243
		比率	0.4	0.13	0.09	0.38	1
	5-10	數量	47	24	20	92	183
		比率	0.26	0.13	0.11	0.50	1
	4、11	數量	49	8	2	1	60
		比率	0.82	0.13	0.03	0.02	1

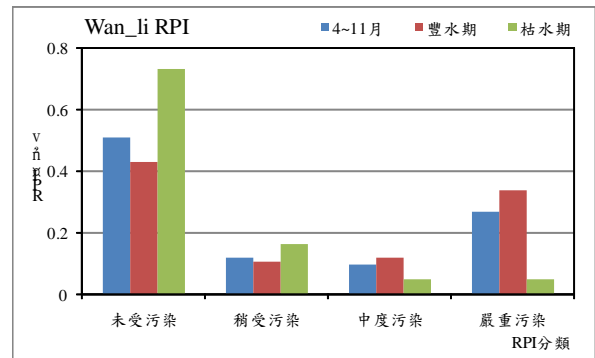
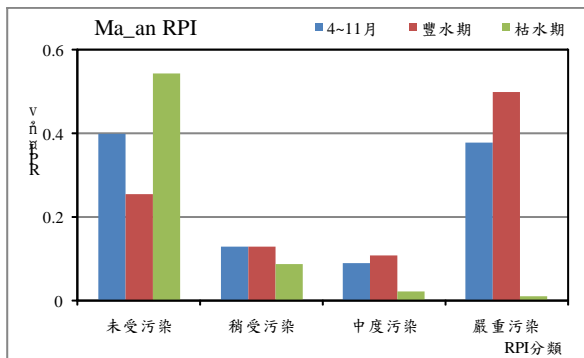


圖 7、馬太鞍溪及萬里溪河川水質污染程度指數 (RPI) 統計示意圖。

(二) 颱風或暴雨對 RPI 之影響

單一事件颱風降雨量愈大，對河川水質 SS 濃度影響時間愈長，惟不同的集水區其影響程度不同，但當年度若颱風事件愈多，其 SS 的影響相對明顯，也影響到全年度的 RPI 值及天數。2014 年共有麥德姆及鳳凰颱風影響花蓮，颱風期間馬太鞍溪累積降雨量分別為 410、404mm，萬里溪累積降雨量分別為 444、208mm，分析兩河川 SS 濃度換算為 RPI 達嚴重污染者，馬太鞍溪影響的天數分別為 58、20 天，萬里溪影響的天數分別為 40、15 天。以麥德姆颱風，馬太鞍溪及萬里溪降雨量分別為 410、444mm，差異不大，但馬太鞍溪嚴重污染影響的天數比萬里溪多 18 天，顯示颱風對馬太鞍溪影響大於萬里溪。

此外，兩溪流係緊鄰的集水區，因自然因素如地質、地形及崩塌率等不同，受影響的程度也有所不同，研究結果發現馬太鞍溪無論在中位數、最大值整體而言皆高於萬里溪，受到颱風或暴雨事件影響程度大於萬里溪，同樣自然因素造成懸浮微粒偏高。除了降雨造成之流量因素為懸浮固體濃度升高的關鍵因素外，河川上游地質條件如崩塌地對水質指標亦有重要影響，馬太鞍溪與萬里溪為相鄰之集水區擁有類似之地質組成，兩者平均坡度及水系密度 (Drainage density, km/km²) 相仿的情形下，運用林務局

2013、2014 年衛星照片，以地理資訊系統軟體進行圖層套疊進行崩塌面積計算，了解馬太鞍溪在颱風或暴雨事件期間河川懸浮固體濃度偏高之成因。結果發現，萬里溪流流域（流域面積 242 平方公里）有 402 個崩塌地，崩塌面積計 225.2 公頃，馬太鞍溪（流域面積 136 平方公里）有 337 個崩塌地，崩塌面積計 227.2 公頃，馬太鞍溪集水區的流域面積比萬里溪小，崩塌的個數及面積皆比萬里溪大，颱風或暴雨帶來豪雨沖蝕崩塌地，將沉積物帶入河川，從上述崩塌地資料的分析，充分解釋馬太鞍溪的懸浮微粒高於萬里溪，兩流域崩塌地如圖 8 所示。

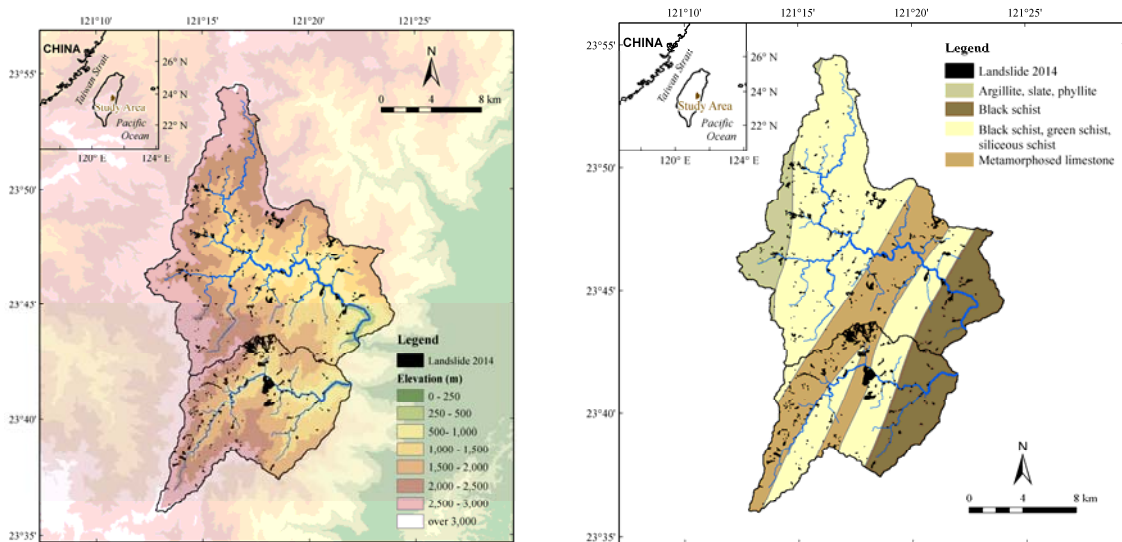


圖 8、2014 年馬太鞍溪及萬里溪流流域區崩塌地示意圖。

(三) 河川水質採樣頻率

行政院環境保護署為了解河川水質狀況，針對臺灣河川水質測站每月進行採樣乙次；經濟部水利署為了解集水區河川侵蝕速率，於枯水期每月採樣 2 次，豐水期每月採樣 3 次，颱風期間視情況增加採樣頻率；Kao et al. (2005) 為驗證經濟部水利署出版的水文年鑑河川含砂量是否為零，於 2003 年 4 月 4 日至 5 月 5 日每日連續採樣，證明含砂量不為零；許文昌（2006）為了解暴雨逕流對立霧溪河川水質的影響，於平日每週採樣乙次，颱風或暴雨期間每週採樣 2 次。綜上，前人研究因不同需求而有不同的採樣頻率，採樣頻率是否具代表性之水樣不得而知。因此，本研究針對馬太鞍溪及萬里溪進行每日連續採樣工作，另於颱風期間提高採樣頻率，確認平日及颱風期間之採樣頻率。

依圖 6 資料顯示，在未受人為因素影響的情況下，河川水質採樣 SS 差異很小，河川 RPI 皆屬未受污染的情形，過往環保署每月進行河川水質採樣方式，建議減少採樣頻率，以該流域降雨做為採樣的依據；另受自然因素影響的河川進行採樣，以本次研究顯示，在颱風來臨最大降雨後，無論馬太鞍溪或萬里溪河川 RPI 屬嚴重污染至少影響 15 天，因此在兩週內採樣 SS 皆達 100 mg/L 以上，倘要了解颱風期間 SS 的通量，於颱風期間提高採樣頻率；兩溪流 SS 從嚴重污染（即 100 mg/L 以上）降至未受污染（即 20 mg/L 以下），所需時間至少兩週。綜上，了解自然因素對 RPI 的影響，平日河川流域未降雨的情況下，未降雨期間採樣乙次即可，於颱風或暴雨期間則需兩週採樣乙次。

四、結 論

- (一) 研究期間，在未降雨情況下河川 SS 約 3 mg/L、梅雨季節最高約 500 mg/L、颱風季節可達 8,000 mg/L。驗證 Kao et al. (2005) 分析經濟部水利署出版的水文年鑑河川含砂量不為零外，也確認未降雨情況下 SS 實際測值為 3 mg/L。另外，研究發現颱風期間 SS 濃度明顯高於江漢全 (2013) 研究豐水期間 SS 濃度最高可達 910mg/L 甚多，但與許文昌 (2006) 顯著降雨發生溪水中懸浮固體物濃度激增至 1,000~10,000mg/L 結果較為接近。
- (二) 颱風期間馬太鞍溪及萬里溪 SS 平均濃度分別為 4,722、2,587 mg/L；枯水期平均濃度為 21、18 mg/L；梅雨期間平均濃度為 43、22 mg/L；豐水期平均濃度為 473、230 mg/L。馬太鞍溪颱風期間的 SS 平均濃度為枯水期 225 倍、豐水期的 10.0 倍；萬里溪颱風期間的 SS 平均濃度為枯水期 144 倍、豐水期的 11.2 倍。馬太鞍溪 SS 無論是枯水期、豐水期、梅雨季節及颱風期間皆高於萬里溪，也顯示颱風期間為河川流域輸砂量的主要來源。
- (三) 單一颱風事件對河川之 RPI 的影響天數至少 15 天，後續連續降雨，其影響時間會更久。進一步分析馬太鞍溪及萬里溪相鄰的兩集水區因降雨對 RPI 之影響，比較兩溪流的豐水期，最大差別在於未受污染及嚴重污染比率不同，馬太鞍溪嚴重污染的比率占豐水期 50%，高於萬里溪 34%；未受污染比率占豐水期 26%，低於萬里溪 43%，馬太鞍溪年平均嚴重污染比率大於萬里溪超出約 11%。
- (四) 河川水質採樣頻率，在平日未降雨情況下採樣乙次即可，無須每個月採樣，於颱風或暴雨期間兩週採樣乙次，即可掌握河川水質狀況，可提供行政院環境保護署對降雨期間 SS 採樣時機之參考。

致謝：本研究的部分資料為花蓮縣環境保護局「103 年度花蓮縣水環境維護管理計畫」提供，謹致由衷謝忱。

參考文獻

- 王志惠、劉瑩三 (2014) 臺灣河川的侵蝕速率：以花蓮溪為例。臺灣地質年會。
- 王志惠、劉瑩三 (2013) 立霧溪、萬里溪及馬太鞍溪集水區河川侵蝕速率。2013 資源與環境學術研討會暨花東空品區細懸浮微粒 (PM_{2.5}) 管制策略研討會。
- 江漢全 (2010) 降雨量對花蓮縣河川 RPI 之影響研究計畫。國立宜蘭大學。
- 江漢全、戴文堅、許麗淑、張晉豪、張靖為 (2009) 降雨對花蓮縣 RPI 指標之影響—以花蓮溪與秀姑巒溪為例。2009 資源與環境學術研討會論文集，35~44 頁。
- 李三畏 (1984) 臺灣崩塌問題研討。地宮技術雜誌，7、43~49 頁。
- 呂名翔 (2007) 新武呂河流域的山崩與輸砂量在地震與颱風事件中的相對關係。國立臺灣大學地質科學研究所碩士論文，113 頁。
- 林辰翰 (2013) 花蓮和平河流域山崩作用與河川化性之相關性。國立臺灣大學地質科學研究所碩士論文。
- 林孟龍、林俊全 (2003) 颱風對於蘭陽溪上游集水區懸物質產生特性的影響。地理學報，33 期，39~53 頁。
- 侯峻棕 (2000) GPS/GIS 應用於南橫公路 (甲仙至啞口段) 邊坡地工環境災害資料庫系統之建立研究。國立屏東科技大學土木工程系研究所碩士論文。

- 許文昌 (2005) 立霧河流域水質特性。國家公園學報，15 卷 2 期，89~103 頁。
- 許文昌 (2006) 暴雨逕流對於立霧河流域溪谷景觀及水質之衝擊。2006 年資源與環境研討會論文集，323~333 頁。
- 張子瑩 (2002) 降雨與地震對形成崩塌地區位之比較研究。國立臺灣大學地理環境資源學研究所碩士論文。
- 陳宏宇 (2003) 臺灣島的侵蝕速率。Nature 科學期刊，426 期。
- 陳冠樺 (2014) 林邊河流域河川化學性質、輸砂量與山崩之關係。國立臺灣大學碩士論文。
- 蔡添成 (2002) 花蓮縣鳳義坑土石流災害調查與分析。國立臺灣大學森林學研究所碩士論文。
- 謝文哲 (2004) 颱風對集水區內崩場地之影響與剝蝕速率之探討—以花蓮地區馬太鞍溪與萬里溪為例。國立花蓮師範學院生態與環境研究所碩士論文。
- 財團法人成大研究發展基金會 (2014) 運用光學衛星影像於全島崩場地判釋與災害分析 (102-103 年) 成果報告。
- 內政部國土測繪中心全球資訊網，<http://www.nlsc.gov.tw/>。
- 交通部中央氣象局。<http://www.cwb.gov.tw/>。
- 全國環境水質監測資訊網。<http://wqshow.epa.gov.tw/>。
- Dadson et al. (2003) Links between erosion, runoff variability and seismicity in the Taiwan orogeny, *Nature*, v.426, p.648-651.
- Dadson et al. (2004) Earthquake-triggered increase in sediment delivery from an active mountain belt, *Geology*, v.32, p.733-736.
- Dietrich, W. E., Wilson, C. J., and Reneau, S. L. (1986) Hollows, colluvium, and landslides in soil-mantled landscapes. In: A. D. Abraham (ed.) *Hillslope Processes*, Allen & Unwin, p.361-388.
- Fuchu, D., Lee, C.F. (2001) Frequency of rainstorm-induced slide-debris flows on natural terrain of Lantau Island, Honk Kong, *Engineering Geology*, v.51, p.279-290.
- Fuller et al. (2003) Erosion rates for Taiwan mountain basins, New determinations from suspended sediment records and a stochastic model of their temporal variation, *Journal of Geology*, v.111, p.71-88.
- Hartshorn, K., Hovius, N., Dade, W.B. and Slingerland, R. L. (2002) Climate-Driven Bedrock Incision in an Active Mountain Belt: *Journal of SCIENCE*, v.297, p.2,036-2,038.
- Hovius, N., Stark, C. P., Chu, H.T. and Lin, J.C. (2000) Supply and removal of sediment in a landslide-dominated mountain belt, Central Range, Taiwan. *Journal of Geology*, v.108, p.73-89.
- Hovius, N., Stark, C.P. (2006) Landslide-Driven Erosion And Topographic Evolution Of Active Mountain Belts, *Landslides from massive rock slope failure*, v.49, p.573-590.
- Kao (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*, v.16, n.1, p.16.1-16.7.
- Li, Y. H. (1976) Denudation of Taiwan island since the Pleistocene epoch, *Geology*, p.105-107.
- Meybeck M. (2003) Global occurrence of major elements in rivers: *Treatise on Geochemistry*, v.5. Oxford, Elsevier-Pergamon, p.207-233.
- Pierson, T. C. (1977) Factors Controlling Debris-Flow Initiation on Forested Hillslopes in the Oregon Coast Range, Ph.D. Dissertation, University of Washington, Seattle, p.166.
- Sitar, N., Anderson, S. A., Johnson, K. A. (1922) Conditions leading to the initiation of rainfall-induced debris flows. *Geotech. Engrg. Div. Specialty Conf.: Stability and Perf. Of slopes and Embankments-11*, ASCE, New York, N. Y., p.834-839.
- Wieczorek, G. F., Morgan, B. A., Campbell, R. H. (2000) Debris-Flow hazards in the Blue Ridge of Central Virginia, *Environmental and Engineering Geoscience*, v.6, p.3-23.