

屏東地區東港溪集水區河川侵蝕速率之研究

The Study of Watershed Stream Denudation Rates at Tung Kang Creek in the Pin Tung Area

國立臺南大學文化與自然資源學系
副教授

沈 少 文*

Shaw-Wen Sheen

摘 要

南臺灣地區時常發生颱風水患，探討當地水文變遷有助於臺灣南部地區環境永續經營與管理，本研究主要目的是分析屏東平原東港溪河川侵蝕速率。本研究使用 1970 年至 2009 年東港溪河川流量—河川含砂量資料，建立迴歸模式以推測東港溪潮州流量測站日平均河川含砂量。本研究計算東港溪潮州流量橋測站河川流量 0.1 秒立方公尺—5,000 秒立方公尺之河川含砂量與其 90%、95%和 99%預測區間。本研究計算東港溪潮州流量測站 1970 年—2009 年月平均河川侵蝕速率，5 月—10 月河川侵蝕速率為 0.2522 mm，佔全年侵蝕速率 96.50%，11 月—4 月河川侵蝕速率為 0.0092 mm，佔全年侵蝕速率 3.50%。本研究計算東港溪潮州流量測站 1970 年—2009 年年平均河川侵蝕速率與其 90%、95%和 99%預測區間。東港溪潮州流量測站 1970 年—2009 年年平均河川侵蝕速率為 0.2613 mm/年，90%預測區間上限是 0.9575 mm/年，下限是 0.0713 mm/年，95%預測區間上限是 1.2277 mm/年，下限是 0.0556 mm/年，99%預測區間上限是 1.9965 mm/年，下限是 0.0342 mm/年，東港溪潮州流量測站 1970 年—1979 年、1980 年—1989 年、1990 年—1999 年及 2000 年—2009 年年平均河川侵蝕速率為 0.3246 mm/年、0.2487 mm/年、0.2557 mm/年及 0.2164 mm/年。本研究分析東港溪潮州流量測站河川流量、河川含砂量、河川輸砂量與河川侵蝕速率，研究結果可供相關單位參考，期望有助於臺灣南部地區水文環境永續經營與管理。

關鍵詞：河川侵蝕速率，預測區間，東港溪。

ABSTRACT

Typhoons and floods often occur in southern Taiwan. Therefore, to examine hydrological changes of this area is helpful to the sustainable development and management

*通訊作者，國立臺南大學文化與自然資源學系副教授，70005 台南市中西區樹林街 2 段 33 號，sheen@mail.nutn.edu.tw

of the southern Taiwan. The aim of this study is to analyze temporal changes in the denudation rates of Tung Kang Creek. This study uses the rating equations to estimate daily average sediment content from daily mean discharge of the Tung Kang Creek in the period of 1970 to 2009. This study estimated the sediment content when the stream discharge ranged from 0.1cms to 5,000cms. The 90%, 95% and 99% prediction intervals were calculated. This study also estimated the monthly stream denudation rates at Chao Chou station. The denudation rate was 0.2522 mm from May to October and 0.0092 mm from November to April. This study estimated the stream denudation rates in the period of 1970 to 2009. The 90%, 95% and 99% prediction intervals were calculated. The annual denudation rate was 0.2613mm at Chao Chou station. The stream denudation rates in the period of 1970 to 1979, 1980 to 1989, 1990 to 1999, and 2000 to 2009 were 0.3246 mm, 0.2487 mm, 0.2557 mm and 0.2164 mm. The results are helpful to the sustainable development and management of the southern Taiwan.

Keywords: Stream denudation rate, Prediction interval, Tung Kang Creek.

一、前言

因為溫室效應的關係，全球氣溫正逐漸上升中，溫度升高會造成氣候系統的變異，進而對水文循環造成影響，如降雨的改變、蒸發散加強、逕流和土壤水分減少等，甚至極端的天氣事件如乾旱、洪水的發生頻率加大，全球勢將面臨極嚴苛的水資源及環境問題，全球暖化也造成平均海水面的上升，臺灣具有特殊之地理位置、地形與氣候，原本就是高淹水潛勢地區，尤其是河川下游沿岸與沿海低窪地帶，而這些地區又是人口聚集地，淹水災情也因此時有所聞，因此，水文與自然環境變遷等研究對臺灣地區未來永續發展之影響非常重要。

近年來國內有許多水文與自然環境變遷相關研究(田維婷，2003；張明軒，2005；李亮廷，2008；沈少文，2010；2011a；2011b；2012)，田維婷(2003)探討氣候變遷對於台灣地區的地表水文量的影響，其研究根據經濟部水利署之水資源分區，計算各分區內之降雨、逕流、蒸發散與地下水入滲等主要水文分量，模擬未來受氣候變遷影響下台灣地區之降雨量、逕流量、蒸發散量和入滲量之可能變化，研究結果發現目前台灣本島年平均降雨量約為 928 億噸，蒸發散量為 314 億

噸，地表逕流量為 414 億噸，地下水入滲量為 200 億噸，大部分情境顯示降雨與逕流有極端化之現象，台灣地區之地下水入滲量以長時間來看有漸減的趨勢。

張明軒(2005)分析水利署高義、霞雲測站的日流量及日輸砂量資料，進行率定曲線的推定，計算出高義、霞雲兩測站於 1965-2002 年間的歷年輸砂量，探討高義、霞雲測站歷年輸砂量的變化趨勢及可能影響其變化的因子，研究結果發現石門水庫集水區的治理，尤其是攔砂壩的興建，的確發揮其功能而使年輸砂量減少，集水區內的崩塌地面積及土地利用中的果園面積的增加，應該會造成下游輸砂量隨之增加，不過實際上下游的輸砂量卻是逐年減少，顯示增加的輸砂量可能貯存在集水區內。

李亮廷(2008)分析 1960 年至 2006 年陳有蘭溪流域鄰近玉山、阿里山以及日月潭氣象測站的雨量資料，探討降雨特性變異對溪流流量與輸砂量所造成的影響，研究結果顯示在降雨特性的趨勢分析上，研究區域內年降雨量並沒有太大的改變，但年降雨日數與年降雨時數有減少的趨勢，年平均日降雨強度與年平均時降雨強度則有增加的情況，而且年最大一日雨量及最大二日雨量在 1990 年以後也有明顯增多的現象，分析陳有

蘭溪下游水利署內茅埔水文站 1972 年至 2005 年資料，流域內歷年之年逕流量變化趨勢是呈現下降的趨勢，而年最大日平均流量以及年最大瞬時流量有上升的趨勢，分析過程中發現各種降雨特性在 1990 年前後有明顯的變異，進行 1990 年前後流量—懸浮載輸砂量之率定曲線的分析，研究結果顯示在相同的流量下，1990 年以後懸浮載輸砂量明顯高於 1990 年以前，當流量範圍介於 10 至 1000cms 時，1990 年以後所推估的懸浮載輸砂量約為 1990 年以前的 3 至 5 倍。

沈少文(2010)研究花蓮地區河川流量與輸砂量，分析花蓮地區花蓮溪與秀姑巒溪水文頻率。花蓮溪花蓮大橋測站百分之一時間日平均流量大於 872 秒立方公尺，花蓮溪仁壽橋測站百分之一時間日平均流量大於 231 秒立方公尺，秀姑巒溪瑞穗大橋測站百分之一時間日平均流量大於 1,085 秒立方公尺，秀姑巒溪立山測站百分之一時間日平均流量大於 185 秒立方公尺。花蓮溪花蓮大橋測站百分之一時間日輸砂量大於 359 公噸/平方公里，花蓮溪仁壽橋測站百分之一時間日輸砂量大於 291 公噸/平方公里，秀姑巒溪瑞穗大橋測站百分之一時間日輸砂量大於 271 公噸/平方公里，秀姑巒溪立山測站百分之一時間日輸砂量大於 172 公噸/平方公里。花蓮溪花蓮大橋測站河川流量累積 10%，河川輸砂量累積達 64%，花蓮溪仁壽橋測站河川流量累積 10%，河川輸砂量累積達 52%，秀姑巒溪瑞穗大橋測站河川流量累積 10%，河川輸砂量累積達 55%，秀姑巒溪立山測站河川流量累積 10%，河川輸砂量累積達 55%。

沈少文(2011a)分析花蓮地區花蓮溪與秀姑巒溪河川輸砂量。使用 1970 年至 2008 年花蓮溪與秀姑巒溪河川流量—河川含砂量資料建立迴歸模式，計算推測 1970 年至 2008 年花蓮溪花蓮大橋測站、花蓮溪仁壽橋測站、秀姑巒溪瑞穗大橋測站與秀姑巒溪立山測站日平均含砂量。花蓮溪花蓮大橋測站年輸砂量為 1,803 萬公噸，花蓮溪仁壽橋測站年輸砂量為 366 萬公噸，秀姑巒溪瑞穗大橋測站年輸砂量為 1,004 萬公噸，秀姑巒溪立山測站年輸砂量為 159 萬公噸。

沈少文(2011b)研究臺灣地區河川最大瞬時

流量，分析臺灣地區水利署北部、中部、南部與東部水資源分區流量測站歷年流量資料，包括年平均流量、最大瞬時流量、最大年平均流量和最大日平均流量，建立年平均流量、最大瞬時流量、最大年平均流量與最大日平均流量迴歸模式，使用迴歸模式計算推測集水面積 50 平方公里—3,000 平方公里之年平均流量、最大瞬時流量、最大年平均流量與最大日平均流量，並計算其 95%和 99%預測區間。集水面積 100 平方公里，年平均流量、最大瞬時流量、最大年平均流量與最大日平均流量是 6.97 秒立方公尺、1,527.57 秒立方公尺、16.00 秒立方公尺與 731.14 秒立方公尺，最大瞬時流量是年平均流量的 219 倍。集水面積 500 平方公里，年平均流量、最大瞬時流量、最大年平均流量與最大日平均流量是 31.98 秒立方公尺、5,438.60 秒立方公尺、64.15 秒立方公尺與 2,848.59 秒立方公尺，最大瞬時流量是年平均流量的 170 倍。

沈少文(2012)研究臺灣地區集水區洪水流量，分析淡水河五堵、後龍溪打鹿坑、高屏溪三地門與卑南溪台東大橋流量測站歷年最大瞬時洪水流量資料，建立最大瞬時洪水流量—重現期距迴歸模式，計算推測重現期距 5 年—100 年之洪水流量與其 95%預測區間，研究發現淡水河五堵測站歷年最大瞬時洪水流量平均值是 882 秒立方公尺，後龍溪打鹿坑測站歷年最大瞬時洪水流量平均值是 1,389 秒立方公尺，高屏溪三地門測站歷年最大瞬時洪水流量平均值是 1,696 秒立方公尺，卑南溪台東大橋測站歷年最大瞬時洪水流量平均值是 4,160 秒立方公尺。研究發現淡水河五堵測站 100 年最大瞬時洪水流量是 2,597 秒立方公尺，其為歷年平均洪水流量 2.95 倍，後龍溪打鹿坑測站 100 年最大瞬時洪水流量是 5,423 秒立方公尺，其為歷年平均洪水流量 3.91 倍，高屏溪三地門測站 100 年最大瞬時洪水流量是 6,084 秒立方公尺，其為歷年平均洪水流量 3.59 倍，卑南溪台東大橋測站 100 年最大瞬時洪水流量是 12,987 秒立方公尺，其為歷年平均洪水流量 3.12 倍。

臺灣南部地區時常發生颱風水患，因此探討

表 1 東港溪河川特性

河流名稱	東港溪
起點	隘寮
起點標高(m)	1,138
出海口	屏東縣東港鎮
主流長度(km)	44.00
流域面積(km ²)	472.20

資料來源：經濟部水利署(2010)

表 2 東港溪潮州測站基本資料

測站名稱	潮州
流域名稱	東港溪
河流名稱	東港溪
站址	屏東縣潮州鎮
集水面積(km ²)	175.30

資料來源：經濟部水利署(2010)

當地水文環境有助於南臺灣地區環境永續經營與管理，本研究主要目的是分析南臺灣地區水文與自然環境變遷，臺灣南部地區河川唯一具有連續 40 年(1970 年至 2009 年)流量與含砂量資料只有東港溪潮州測站，因此本研究只分析屏東地區東港溪潮州測站流量與含砂量資料，另外本研究使用 1970 年至 2009 年水文資料，其目的為分別計算十年平均河川侵蝕速率(1970 年至 1979 年，1980 年至 1989 年，1990 年至 1999 年，2000 年至 2009 年)，將來東港溪潮州測站有更新的水文資料之後，可以再做後續分析工作，說明如下：

1. 分析屏東地區東港溪潮州測站河川流量。
2. 分析屏東地區東港溪潮州測站河川含砂量。
3. 計算屏東地區東港溪潮州測站河川輸砂量。
4. 計算屏東地區東港溪潮州測站河川侵蝕速率。

二、研究方法

2.1 研究地區

東港溪位於屏東平原，東港溪河川特性如表 1 所列，東港溪起點標高 1,138 公尺，主流長度 44 公里，流域面積 472 平方公里，東港溪於屏東縣東港鎮進入臺灣海峽。本研究分析東港溪潮州流量測站水文資料，東港溪集水區範圍如圖 1 所示，

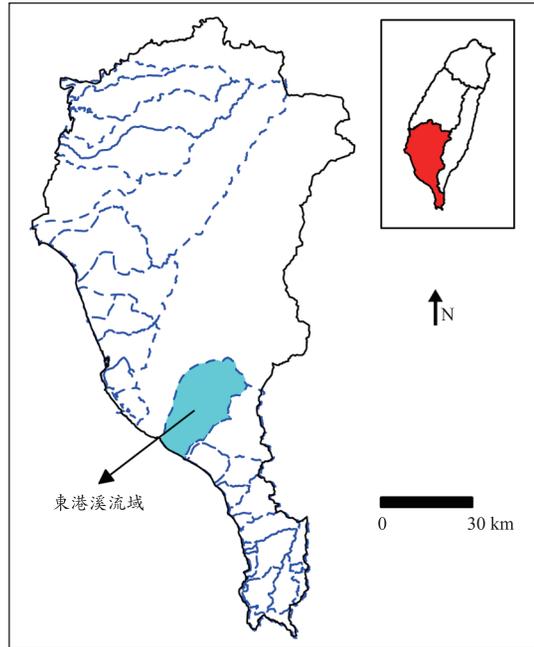


圖 1 東港溪流域地理位置

潮州流量測站基本資料如表 2 所列，潮州流量測站位於屏東縣潮州鎮，集水面積 175 平方公里。

2.2 研究資料

本研究分析下列水文資料，資料來源為經濟部水利署水文年報(2010)：

1. 1970 年至 2009 年東港溪潮州流量測站日平均流量。
2. 1970 年至 2009 年東港溪潮州流量測站河川流量－河川含砂量。

2.3 河川流量－河川含砂量迴歸分析

東港溪潮州流量測站並沒有日平均河川含砂量資料，因此本研究先建立河川流量－河川含砂量迴歸模式，之後本研究使用 1970 年至 2009 年東港溪潮州流量測站日平均河川流量資料去計算推測 1970 年至 2009 年東港溪潮州流量測站日平均河川含砂量。

本研究分析 1970 年至 2009 年東港溪潮州流量測站河川流量－河川含砂量資料以建立東港溪潮州流量測站河川流量－河川含砂量迴歸模

表 3 東港溪潮州測站 1970 年至 2009 年河川流量-河川含砂量迴歸模式

測站名稱	潮州
流域名稱	東港溪
河流名稱	東港溪
迴歸模式	$\text{Log}(\text{含砂量}) = a + b \times \text{log}(\text{流量})$
迴歸係數	$a = 1.434$ $b = 0.505$
r^2	0.436
河川流量-河川含砂量 樣本數	741
河川流量範圍	0.66-1,190 cms
含砂量範圍	1-7,380 ppm
統計年份	1970-2009
統計年數	40

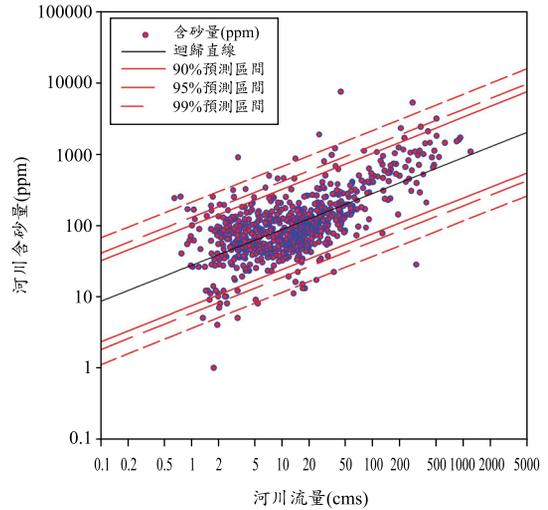


圖 2 東港溪潮州流量測站 1970 年至 2009 年河川流量-河川含砂量迴歸分析

式(Knighton, 1998; Ritter, Kochel, and Miller, 2011), 迴歸模式如下所示：

$$\log C = a + b \times \log Q \dots\dots\dots (1)$$

C：河川含砂量(ppm)

Q：河川流量(秒立方公尺)

本研究分析 1970 年至 2009 年東港溪潮州流量測站之河川流量與河川含砂量(表 3), 河川流量與河川含砂量樣本數為 741 個, r^2 是 0.436, $p < 0.001$, 河川流量範圍從 0.66 秒立方公尺到 1,190 秒立方公尺, 河川含砂量範圍從 1 ppm 到 7,380 ppm, 圖 2 顯示 1970 年至 2009 年東港溪潮州流量測站之河川流量、河川含砂量與迴歸模式。

本研究計算 1970 年至 2009 年東港溪潮州流量測站日平均河川含砂量 90%、95%與 99%預測區間上限與下限(Burt and Barber, 1996), 預測區間公式如下所示：

$$y \pm t_{\alpha/2, n-2} \times S \times \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}} \dots\dots\dots (2)$$

y：log (河川含砂量)

x：log (河川流量)

n：樣本數

2.4 河川輸砂量

本研究計算 1970 年至 2009 年東港溪潮州流量測站日河川輸砂量, 月平均河川輸砂量與年河川輸砂量, 河川輸砂量計算公式如下所示：

$$L = Q \times C \dots\dots\dots (3)$$

L：日河川輸砂量(公噸/日)

Q：日平均河川流量(秒立方公尺)

C：日平均河川含砂量(ppm)

2.5 河川侵蝕速率

本研究計算 1970 年至 2009 年東港溪潮州流量測站日河川侵蝕速率, 月平均河川侵蝕速率與年河川侵蝕速率, 河川侵蝕速率計算公式如下所示：

$$D = \frac{L}{d \times A} \dots\dots\dots (4)$$

D：日河川侵蝕速率(mm/日)

L：日河川輸砂量(公噸/日)

d：岩石密度(2.7 g/cm³),

A：集水面積(平方公里)

表 4 東港溪潮州測站 1970 年至 2009 年月平均河川流量、月平均河川含砂量和月平均河川輸砂量

月份	月平均流量 (cms)	月平均含砂量 (ppm)	月平均輸砂量 (公噸/日)
1 月	4.01	54.03	19.74
2 月	3.24	48.36	14.48
3 月	2.73	43.95	11.48
4 月	2.62	42.50	11.49
5 月	6.47	54.53	107.91
6 月	28.63	117.00	720.53
7 月	33.36	130.33	863.86
8 月	46.90	161.85	1285.67
9 月	32.74	140.60	745.55
10 月	15.02	101.23	174.14
11 月	7.74	74.37	56.86
12 月	5.17	61.14	29.19

量(8 月)是最小月平均流量(4 月)的 17.90 倍。東港溪潮州流量測站月平均河川含砂量範圍從 4 月平均河川含砂量最小 42.50 ppm 到 8 月平均河川含砂量最大 161.85 ppm (表 4)，最大月平均河川含砂量(8 月)是最小月平均河川含砂量(4 月)的 3.81 倍。

月河川輸砂量是各月每日河川輸砂量累加總合，東港溪潮州流量測站月平均河川輸砂量範圍從 3 月河川輸砂量最小每日 11.48 公噸到 8 月河川輸砂量最大每日 1285.67 公噸(表 4)，8 月每日河川輸砂量是 3 月每日河川輸砂量的 111.99 倍。

三、研究結果

3.1 1970 年至 2009 年月平均河川流量、月平均河川含砂量與月平均河川輸砂量

東港溪潮州流量測站月平均河川流量範圍從 4 月平均流量最小 2.62 秒立方公尺到 8 月平均流量最大 46.90 秒立方公尺(表 4)，最大月平均流

3.2 東港溪潮州流量測站河川含砂量 90%、95%與 99%預測區間

本研究計算東港溪潮州流量測站河川流量 0.1 秒立方公尺－5,000 秒立方公尺之河川含砂量與其 90%、95%和 99%預測區間(圖 2)，河川流量 5 秒立方公尺其河川含砂量 61.23 ppm (表 5)，河川含砂量 90%預測區間上限是 223.70 ppm，下限是 16.76 ppm，95%預測區間上限是 286.70 ppm，下限是 13.08 ppm，99%預測區間上限是 465.73 ppm，下限是 8.05 ppm，本研究發現河川含砂量

表 5 東港溪潮州測站 1970 年至 2009 年河川含砂量 90%、95%和 99%預測區間

河川流量 (cms)	河川含砂量 (ppm)	90%預測區間		95%預測區間		99%預測區間	
		河川含砂量 下限 (ppm)	河川含砂量 上限 (ppm)	河川含砂量 下限 (ppm)	河川含砂量 上限 (ppm)	河川含砂量 下限 (ppm)	河川含砂量 上限 (ppm)
0.1	8.49	2.30	31.36	1.79	40.27	1.10	65.67
0.2	12.05	3.27	44.37	2.55	56.95	1.57	92.78
0.5	19.14	5.22	70.25	4.07	90.11	2.50	146.63
1	27.16	7.42	99.51	5.78	127.59	3.56	207.48
2	38.55	10.54	141.01	8.22	180.76	5.06	293.77
5	61.23	16.76	223.70	13.08	286.70	8.05	465.73
10	86.90	23.80	317.33	18.57	406.66	11.43	660.50
20	123.32	33.77	450.35	26.35	577.12	16.22	937.38
50	195.88	53.60	715.86	41.82	917.50	25.74	1,490.65
100	277.97	75.98	1,016.98	59.27	1,303.71	36.46	2,118.97
200	394.48	107.66	1,445.41	83.96	1,853.47	51.63	3,014.23
500	626.58	170.55	2,302.07	132.93	2,953.49	81.66	4,807.97
1,000	889.20	241.41	3,275.23	188.07	4,204.08	115.42	6,850.32
2,000	1,261.89	341.57	4,661.83	265.95	5,987.33	163.04	9,766.92
5,000	2,004.38	540.06	7,439.03	420.13	9,562.62	257.10	15,626.08

90%預測區間上限(223.70 ppm)是河川含砂量(61.23 ppm)的 3.65 倍，河川含砂量 90%預測區間下限(16.76 ppm)是河川含砂量(61.23 ppm)的 27%，河川含砂量 95%預測區間上限(286.70 ppm)是河川含砂量(61.23 ppm)的 4.68 倍，河川含砂量 95%預測區間下限(13.08 ppm)是河川含砂量(61.23 ppm)的 21%，河川含砂量 99%預測區間上限(465.73 ppm)是河川含砂量(61.23 ppm)的 7.61 倍，河川含砂量 99%預測區間下限(8.05 ppm)是河川含砂量(61.23 ppm)的 13%。

河川流量 50 秒立方公尺其河川含砂量 195.88 ppm (表 5)，河川含砂量 90%預測區間上限是 715.86 ppm，下限是 53.60 ppm，95%預測區間上限是 917.50 ppm，下限是 41.82 ppm，99%預測區間上限是 1,490.65 ppm，下限是 25.74 ppm，本研究發現河川含砂量 90%預測區間上限(715.86 ppm)是河川含砂量(195.88 ppm)的 3.65 倍，河川含砂量 90%預測區間下限(53.60ppm)是河川含砂量(195.88 ppm)的 27%，河川含砂量 95%預測區間上限(917.50 ppm)是河川含砂量(195.88 ppm)的 4.68 倍，河川含砂量 95%預測區間下限(41.82 ppm)是河川含砂量(195.88 ppm)的 21%，河川含砂量 99%預測區間上限(1,490.65 ppm)是河川含砂量(195.88 ppm)的 7.61 倍，河川含砂量 99%預測區間下限(25.74 ppm)是河川含砂量(195.88 ppm)的 13%。

河川流量 100 秒立方公尺其河川含砂量 277.97 ppm (表 5)，河川含砂量 90%預測區間上限是 1,016.98 ppm，下限是 75.98 ppm，95%預測區間上限是 1,303.71 ppm，下限是 59.27 ppm，99%預測區間上限是 2,118.97 ppm，下限是 36.46ppm，本研究發現河川含砂量 90%預測區間上限(1,016.98 ppm)是河川含砂量(277.97 ppm)的 3.66 倍，河川含砂量 90%預測區間下限(75.98ppm)是河川含砂量(277.97 ppm)的 27%，河川含砂量 95%預測區間上限(1,303.71 ppm)是河川含砂量(277.97 ppm)的 4.69 倍，河川含砂量 95%預測區間下限(59.27 ppm)是河川含砂量(277.97 ppm)的 21%，河川含砂量 99%預測區間上限(2,118.97 ppm)是河川含砂量(277.97 ppm)的 7.62 倍，河川

表 6 東港溪潮州測站 1970 年至 2009 年月平均河川侵蝕速率

月份	東港溪潮州測站月平均河川侵蝕速率 (mm/月)
1 月	0.0013
2 月	0.0009
3 月	0.0008
4 月	0.0007
5 月	0.0071
6 月	0.0457
7 月	0.0566
8 月	0.0842
9 月	0.0473
10 月	0.0114
11 月	0.0036
12 月	0.0019

含砂量 99%預測區間下限(36.46ppm)是河川含砂量(277.97ppm)的 13%。

本研究發現東港溪潮州流量測站河川流量增加到 200 秒立方公尺，河川含砂量增加到 394.48ppm，河川流量增加到 500 秒立方公尺，河川含砂量增加到 626.58 ppm，河川流量增加到 1,000 秒立方公尺，河川含砂量增加到 889.20 ppm，河川流量增加到 2,000 秒立方公尺，河川含砂量增加到 1,261.89 ppm。

3.3 1970 年至 2009 年月平均河川侵蝕速率

東港溪潮州流量測站月平均河川侵蝕速率範圍從 4 月平均河川侵蝕速率最小 0.0007 mm/月到 8 月平均河川侵蝕速率最大 0.0842 mm/月(表 6)，最大月平均河川侵蝕速率(8 月)是最小月平均河川侵蝕速率(4 月)的 120.29 倍。本研究發現東港溪潮州流量測站年河川侵蝕速率為 0.2613 mm/年，5 月－10 月河川侵蝕速率為 0.2522 mm，佔全年侵蝕速率 96.50%，11 月－4 月河川侵蝕速率為 0.0092 mm，佔全年侵蝕速率 3.50% (圖 3)。

3.4 1970 年至 2009 年年河川侵蝕速率

東港溪潮州流量測站年河川侵蝕速率範圍從 1972 年年河川侵蝕速率最大 0.7635 mm/年到

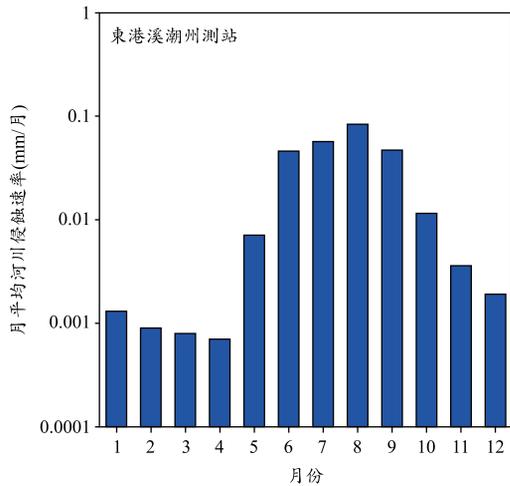


圖 3 東港溪潮州流量測站 1970 年至 2009 年月平均河川侵蝕速率

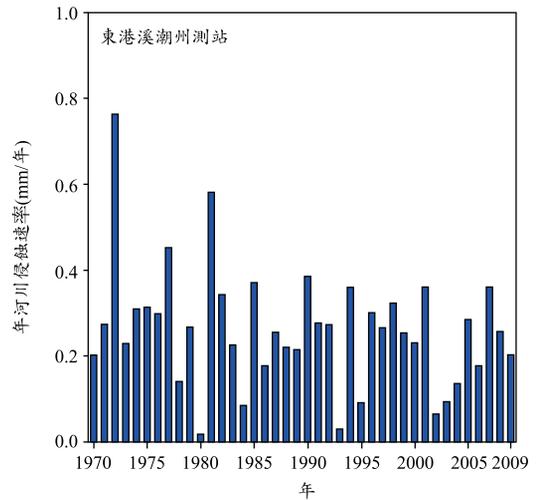


圖 4 東港溪潮州流量測站 1970 年至 2009 年年河川侵蝕速率

表 7 東港溪潮州測站 1970 年至 2009 年年河川侵蝕速率

年份	侵蝕速率 (mm/年)						
1970	0.2007	1980	0.0167	1990	0.3861	2000	0.2310
1971	0.2730	1981	0.5826	1991	0.2763	2001	0.3601
1972	0.7635	1982	0.3427	1992	0.2729	2002	0.0647
1973	0.2292	1983	0.2252	1993	0.0284	2003	0.0923
1974	0.3092	1984	0.0849	1994	0.3586	2004	0.1353
1975	0.3129	1985	0.3700	1995	0.0912	2005	0.2848
1976	0.2974	1986	0.1772	1996	0.3012	2006	0.1774
1977	0.4522	1987	0.2535	1997	0.2662	2007	0.3599
1978	0.1405	1988	0.2196	1998	0.3229	2008	0.2565
1979	0.2672	1989	0.2141	1999	0.2532	2009	0.2021

1980 年年河川侵蝕速率最小 0.0167 mm/年(表 7)，最大年河川侵蝕速率(1972 年)是最小年河川侵蝕速率(1980 年)的 45.81 倍。

本研究發現東港溪潮州流量測站年河川侵蝕速率大於 0.5 mm 共出現 2 次(圖 4)，分別是 0.7635 mm (1972 年)與 0.5826 mm (1981 年)，年河川侵蝕速率小於 0.5 mm 與大於 0.4 mm 出現 1 次(0.4522 mm，1977 年)，年河川侵蝕速率小於 0.4 mm 與大於 0.3 mm 出現 10 次，年河川侵蝕速率小於 0.3 mm 與大於 0.2 mm 出現 17 次，年河川侵蝕速率小於 0.2 mm 與大於 0.1 mm 出現 4

次，年河川侵蝕速率小於 0.1 mm 與大於 0.05 mm 出現 4 次，年河川侵蝕速率小於 0.05 mm 出現 2 次，分別是 0.0284 mm (1993 年)與 0.0167 mm (1980 年)。

東港溪潮州流量測站 1970 年－1979 年、1980 年－1989 年、1990 年－1999 年及 2000 年－2009 年年平均河川侵蝕速率為 0.3246 mm/年、0.2487 mm/年、0.2557 mm/年及 0.2164 mm/年(表 8)，1970 年－2009 年年平均河川侵蝕速率為 0.2613 mm/年。

表 8 東港溪潮州測站 1970 年至 2009 年年平均河川侵蝕速率

年份	東港溪潮州測站年平均河川侵蝕速率 (mm/年)
1970-1979	0.3246
1980-1989	0.2487
1990-1999	0.2557
2000-2009	0.2164
1970-2009	0.2613

3.5 東港溪潮州流量測站年平均河川侵蝕速率 90%、95%與 99%預測區間

本研究計算東港溪潮州流量測站年平均河川侵蝕速率 90%、95%和 99%預測區間(表 9)，1970 年－1979 年年平均河川侵蝕速率 90%預測區間上限是 1.1894 mm/年，下限是 0.0886 mm/年，95%預測區間上限是 1.5252 mm/年，下限是 0.0691 mm/年，99%預測區間上限是 2.4804 mm/年，下限是 0.0425 mm/年。1980 年－1989 年年平均河川侵蝕速率 90%預測區間上限是 0.9114 mm/年，下限是 0.0678 mm/年，95%預測區間上限是 1.1688 mm/年，下限是 0.0529 mm/年，99%預測區間上限是 1.9011 mm/年，下限是 0.0325 mm/年。

1990 年－1999 年年平均河川侵蝕速率 90%預測區間上限是 0.9366 mm/年，下限是 0.0698 mm/年，95%預測區間上限是 1.2010 mm/年，下限是 0.0544 mm/年，99%預測區間上限是 1.9529 mm/年，下限是 0.0335 mm/年。2000 年－2009 年年平均河川侵蝕速率 90%預測區間上限

是 0.7924 mm/年，下限是 0.0591 mm/年，95%預測區間上限是 1.0160 mm/年，下限是 0.0461 mm/年，99%預測區間上限是 1.6518 mm/年，下限是 0.0284 mm/年。

1970 年－2009 年年平均河川侵蝕速率 90%預測區間上限是 0.9575 mm/年，下限是 0.0713 mm/年，95%預測區間上限是 1.2277 mm/年，下限是 0.0556 mm/年，99%預測區間上限是 1.9965 mm/年，下限是 0.0342 mm/年。

沈少文(2011a)分析花蓮地區集水區河川侵蝕速率，其研究分析並未使用預測區間方法，本研究分析屏東地區東港溪集水區河川侵蝕速率，計算河川侵蝕速率 90%、95%與 99%預測區間，其分析結果比較前者為更佳的合理預測。

3.6 河川流量、河川含砂量、河川輸砂量與河川侵蝕速率模式分析

本研究建立東港溪潮州流量測站河川流量、河川含砂量、河川輸砂量與河川侵蝕速率模式，河川含砂量計算模式如下所示：

$$C = 1.434 \times Q^{0.505} \dots\dots\dots (5)$$

C：河川含砂量(ppm)

Q：河川流量(秒立方公尺)

河川輸砂量計算模式如下所示：

$$L = 1.434 \times Q^{1.505} \dots\dots\dots (6)$$

L：日河川輸砂量(公噸/日)

Q：日平均河川流量(秒立方公尺)

表 9 東港溪潮州測站 1970 年至 2009 年年平均河川侵蝕速率 90%、95%和 99%預測區間

年份	東港溪潮州測站年平均河川侵蝕速率					
	90% 預測區間下限 (mm/年)	90% 預測區間上限 (mm/年)	95% 預測區間下限 (mm/年)	95% 預測區間上限 (mm/年)	99% 預測區間下限 (mm/年)	99% 預測區間上限 (mm/年)
1970-1979	0.0886	1.1894	0.0691	1.5252	0.0425	2.4804
1980-1989	0.0678	0.9114	0.0529	1.1688	0.0325	1.9011
1990-1999	0.0698	0.9366	0.0544	1.2010	0.0335	1.9529
2000-2009	0.0591	0.7924	0.0461	1.0160	0.0284	1.6518
1970-2009	0.0713	0.9575	0.0556	1.2277	0.0342	1.9965

河川侵蝕速率計算模式如下所示：

$$D = \frac{1.434 \times Q^{1.505}}{d \times A} \dots\dots\dots(7)$$

- D：日河川侵蝕速率(mm/日)
- Q：日平均河川流量(秒立方公尺)
- d：岩石密度(2.7 g/cm³)，
- A：集水面積(平方公里)

本研究發現河川含砂量為河川流量的 0.505 次方關係，若河川流量增為 5 倍，河川含砂量則增為 2.25 倍，若河川流量增為 10 倍，河川含砂量則增為 3.20 倍。

河川輸砂量為河川流量的 1.505 次方關係，若河川流量增為 5 倍，河川輸砂量則增為 11.27 倍，若河川流量增為 10 倍，河川輸砂量則增為 31.99 倍。河川侵蝕速率為河川流量的 1.505 次方關係，若河川流量增為 5 倍，河川侵蝕速率則增為 11.27 倍，若河川流量增為 10 倍，河川侵蝕速率則增為 31.99 倍。本研究建議未來可以分析比較臺灣其他地區河川流量、河川含砂量、河川輸砂量與河川侵蝕速率變化。

四、結 論

1. 本研究計算東港溪潮州流量測站河川流量 0.1 秒立方公尺—5,000 秒立方公尺之河川含砂量與其 90%、95%和 99%預測區間。

東港溪潮州流量測站河川流量 5 秒立方公尺其河川含砂量 61.23 ppm，河川含砂量 90%預測區間上限是 223.70 ppm，下限是 16.76 ppm，95%預測區間上限是 286.70 ppm，下限是 13.08 ppm，99%預測區間上限是 465.73 ppm，下限是 8.05 ppm。河川流量 50 秒立方公尺其河川含砂量 195.88 ppm，河川含砂量 90%預測區間上限是 715.86 ppm，下限是 53.60 ppm，95%預測區間上限是 917.50 ppm，下限是 41.82 ppm，99%預測區間上限是 1,490.65 ppm，下限是 25.74 ppm。河川流量 100 秒立方公尺其河川含砂量 277.97 ppm，河川含砂量 90%預測區間上限是 1,016.98 ppm，下限是 75.98 ppm，95%預測區間上限是

1,303.71ppm，下限是 59.27 ppm，99%預測區間上限是 2,118.97 ppm，下限是 36.46 ppm。

2. 本研究計算東港溪潮州流量測站各月平均河川侵蝕速率

東港溪潮州流量測站年河川侵蝕速率為 0.2613 mm/年，5 月—10 月河川侵蝕速率 0.2522 mm，佔全年侵蝕速率 96.50%，11 月—4 月河川侵蝕速率為 0.0092 mm，佔全年侵蝕速率 3.50%。

根據河川侵蝕速率為河川流量的 1.505 次方關係，4 月河川流量為 2.62 cm，8 月增為 17.9 倍 (46.90 cms)，河川侵蝕速率應增為 76.83 倍，但是本研究採用計算每日河川輸砂量與每日河川侵蝕速率，之後月河川輸砂量是各月每日河川輸砂量累加總合，月平均河川輸砂量是各月河川輸砂量累加平均，河川侵蝕速率是各月每日河川侵蝕速率累加總合，月平均河川侵蝕速率是各月河川侵蝕速率累加平均，因此最大月平均河川侵蝕速率(8 月)是最小月平均河川侵蝕速率(4 月)的 120.29 倍，而不是 76.83 倍。

3. 本研究計算東港溪潮州流量測站 1970 年—2009 年年平均河川侵蝕速率與其 90%、95%和 99%預測區間

東港溪潮州流量測站年河川侵蝕速率大於 0.5 mm 共出現 2 次，分別是 0.7635 mm (1972 年)與 0.5826 mm (1981 年)，年河川侵蝕速率小於 0.5 mm 與大於 0.4 mm 出現 1 次，年河川侵蝕速率小於 0.4 mm 與大於 0.3 mm 出現 10 次，年河川侵蝕速率小於 0.3 mm 與大於 0.2 mm 出現 17 次，年河川侵蝕速率小於 0.2 mm 與大於 0.1mm 出現 4 次，年河川侵蝕速率小於 0.1 mm 與大於 0.05 mm 出現 4 次，年河川侵蝕速率小於 0.05 mm 出現 2 次，分別是 0.0284 mm (1993 年)與 0.0167 mm (1980 年)。

東港溪潮州流量測站 1970 年—1979 年、1980 年—1989 年、1990 年—1999 年及 2000 年—2009 年年平均河川侵蝕速率為 0.3246 mm/年、0.2487 mm/年、0.2557 mm/年及 0.2164 mm/年。東港溪潮州流量測站 1970 年—2009 年年平均河川侵蝕速率為 0.2613 mm/年，90%預測區間上限是 0.9575 mm/年，下限是 0.0713 mm/年，

95%預測區間上限是 1.2277 mm/年，下限是 0.0556 mm/年，99%預測區間上限是 1.9965 mm/年，下限是 0.0342 mm/年。

4. 本研究建立河川流量－河川含砂量迴歸模式，同時也計算迴歸模式 90%、95%與 99%預測區間上限與下限，河川含砂量 90%預測區間下限為河川含砂量 0.27 倍，河川含砂量 90%預測區間 90%上限為河川含砂量 3.65-3.71 倍，預測區間上限與下限範圍主要受河川含砂量變異程度影響，河川含砂量變異程度越大，則預測區間範圍越大，因此研究者認為不同河川流域，其河川含砂量變異程度應不相同，預測區間範圍也不相同，本研究建議未來可以分析比較臺灣其他地區河川含砂量預測區間範圍變化。
5. 本研究分析屏東地區東港溪潮州流量測站 1970 年—2009 年河川流量、河川含砂量、河川輸砂量與河川侵蝕速率，研究結果可供相關單位參考，期望有助於南臺灣地區水文環境永續經營與管理。

3. 沈少文(2010) 1970-2008 年花蓮地區河川流量與輸砂量之頻率分析，水保技術(3): 152-166。
4. 沈少文(2011a)花蓮地區集水區河川侵蝕速率之分析，農業工程學報 57(4): 14-25。
5. 沈少文(2011b)臺灣地區河川最大瞬時流量之迴歸分析，臺灣水利 59(4): 92-102。
6. 沈少文(2012)臺灣地區集水區洪水流量之頻率分析，水保技術 7(1): 11-21。
7. 張明軒(2005)集水區輸砂量變化與沖積物預算之分析，國立臺灣大學碩士論文。
8. 經濟部水利署(2010)中華民國九十八年臺灣水文年報。
9. Burt, James E. and Barber, Gerald M. (1996) Elementary Statistics for Geographers 2nd ed. Guilford, New York, USA.
10. Knighton, David (1998) Fluvial Forms and Processes. Arnold, London.
11. Ritter, Dale F., Kochel, R. Craig, and Miller, Jerry R. (2011) Process Geomorphology 5th ed. Waveland Press, Illinois, USA.

參考文獻

1. 田維婷(2003)氣候變遷對台灣地區地表水量之影響，國立中央大學碩士論文。
2. 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，國立成功大學碩士論文。

收稿日期：民國 102 年 7 月 15 日

修正日期：民國 102 年 12 月 6 日

接受日期：民國 103 年 1 月 10 日