

降雨對河川 RPI 指標之影響-以花蓮溪與秀姑巒溪為例

江漢全^{1*} 戴文堅² 許麗淑³

- 1 國立宜蘭大學環境工程學系教授
- 2 花蓮縣環境保護局局長
- 3 國立宜蘭大學環境工程學研究所研究生

摘要

河川污染指數 (River pollution index, RPI) 為一廣泛應用之水質指標，其包含溶氧 (DO)、生化需氧量 (BOD)、懸浮固體 (SS) 及氨氮 (NH₃-N) 等四項參數，經計算得 RPI 指數後，將水質分為未 (稍) 受污染、輕度污染、中度污染及嚴重污染等四個污染程度。四項參數之 SS 項，易受自然或人為的污染而有劣化情形，花蓮縣內花蓮溪及秀姑巒溪之水質監測站，擁有長期監測資料，本研究係利用上述資料，探討降雨量對花蓮縣河川 RPI 指標之影響。

本研究利用 2002-2008 年兩河川之月水質及雨量資料，依據豐、枯水期分類，先藉由 Spearman 相關性分析，了解月雨量、SS 及 RPI 三者間之相關性，再由蒙地卡羅模擬，決定機率分佈函數、繪製累積分佈函數曲線。

研究結果顯示，降雨量增加與 SS 升高呈顯著性正相關，而 SS 之升高與 RPI 增加為極顯著性相關。此外，當 SS 高於 100 mg/L 時，RPI 即達中度污染程度，花蓮溪及秀姑巒溪於枯水期，達此污染程度之機率各為 14.90 % 及 9.80 %；豐水期則各為 42.75 % 及 55.38 %。由上述結果可知，降雨量與河川水質變化有顯著關係。因此，建議於豐、枯水期分別訂定 SS 及 RPI 之警戒值，以作為稽查河川人為污染之依據，建立更有效的河川水質管理方式。

關鍵字：河川污染指數、懸浮固體物、降雨量、Spearman 相關性分析、蒙地卡羅模擬

*通訊作者

E-mail: hcchiang@niu.edu.tw

The influence of rainfall on RPI indicator

- Case study on Hualien River and Siouguluan River

Chiang, Hann-Chyuan¹, Dai, Wen-Chien², Syu, Li-Shu³

¹. Professor, Department of Environmental Engineering, National Ilan University

². Director, Environmental Protection Bureau, Hualien County

³. Graduate Student, Graduate Institute of Environmental Engineering, National Ilan University

ABSTACT

The RPI (River pollution index) is extensively applied to the assessment on river water quality. The RPI involves four parameters: DO, BOD, SS and NH₃-N. The overall index is then divided into four pollution levels — unpolluted, light polluted, medium polluted and heavy polluted. The SS is liable to variation because of the effect of natural or artificial pollutions. This study investigated the influence of monthly rainfall on the RPI indicator on Hualien River and Siouguluan River, Hualien County, Taiwan, where water quality monitoring stations have been set for many years, hence have the long-term RPI data.

First, we divide the water quality and monthly rainfall data during 2002-2008 from the two rivers into wet period and dry period. Then we get the correlation between each item's monthly rainfall, the SS and the RPI by Spearman's rank correlation analysis. Finally, we find the probability distribution function and cumulative probability distribution curve of the rainfall, the SS and the RPI by Monte Carlo simulation analysis.

The results showed that the increased of the rainfall is strongly correlated to the SS, and the increased of the SS is significantly correlated to the RPI. Furthermore, while the SS exceeds 100 mg/L, the RPI may reach medium polluted level, whose probabilities are 14.90 % and 9.80 % in dry period, and 42.75 % and 55.38 % in wet period, respectively. Based on the above analysis, we conclude that the influence of rainfall on river water quality in Hualien is obvious. Therefore, it is useful to manage river water quality by setting warning limits for the SS and the RPI in wet period and dry period.

Keywords: RPI, SS, rainfall, Spearman's rank correlation, Monte Carlo simulation analysis

一、 前言

河川污染指數 (River Pollution Index, RPI) 為台灣地區目前最常使用之河川水質指標，這項指數引自日本的河川污染分類法，選擇呈現河川污染情形 4 項最重要的參數，包括溶氧量 (DO)、生化需氧量 (BOD)、懸浮固體 (SS) 及氨氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$) 等，每一參數依其濃度對應 4 個等級點數 (1、3、6 及 10)，而 RPI 即為此 4 項參數換算點數之算術平均值 (Liou *et al.*, 2003；任家弘等，2004；行政院環境保護署網站)。RPI 指標值將河川水質分為未 (稍) 受污染程度 ($\text{RPI} < 2.0$)、輕度污染程度 ($2.0 \leq \text{RPI} \leq 3.0$)、中度污染程度 ($3.0 < \text{RPI} \leq 6.0$) 及嚴重污染程度 ($\text{RPI} > 6.0$) 等 4 個等級，可經由計算河川各河段所屬之污染等級，了解河川污染狀況，便於一河川流域水質之規劃與管理。我國在 1998 年提出的《國家環境保護計畫》及 2005 年提出之《國家環境保護計畫 (修正草案)》中，以未受污染河段長度比 ($\text{RPI} < 2$)、嚴重污染河段長度比 ($\text{RPI} > 6$) 及受輕度以下污染河川長度比例 ($\text{RPI} < 3$) 等 3 項，分別訂定環境品質水質類分項目標，其中 $\text{RPI} < 2$ 及 $\text{RPI} > 6$ 之 2011 年目標值分別為 $> 70\%$ 及 $< 7.9\%$ ，而 $\text{RPI} < 3$ 之 2011、2016 及 2020 年目標值為 76% 、 76.5% 及 77% 。

位於台灣東部的花蓮縣，經濟發展壓力不如西部沉重，故能有幸保有優良的環境品質，而境內河川有兩大主流，即北邊的花蓮溪與南邊的秀姑巒溪，全長各為 57.3 及 81.2 公里，皆屬中央管河川，河川水質狀況大致良好，在 2005-2007 年間，花蓮溪及秀姑巒溪未 (稍) 受污染河段長度各佔 66.6% 及 51.8% ，輕度污染長度各為 14.8% 及 13.2% ，而中度污染長度則各為 18.7% 及 35.1% ，且皆無嚴重污染情況 (行政院環境保護署，2006；2007；2008)。花蓮縣環保局亦配合國家環境保護計畫，於《花蓮縣環境保護計畫 (96 年修訂)》中訂定了未受污染河段長度比 ($\text{RPI} < 2$)、嚴重污染河段長度比 ($\text{RPI} > 6$) 及受輕度以下污染河川長度比例 ($\text{RPI} < 3$) 等 3 項水質類環境品質分項指標，並分別訂立近、中、長程目標值，以利河川水質之管理。

然而，河川污染之型式可能有下列兩種：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)。花東地區雖然水質乾淨，但不論是由於流速湍急或是暴雨逕流對於表土的沖刷作用的自然因素（許文昌，2006），抑或是流域河川疏浚採砂行爲（Garvey *et al.*, 2004）、工業廢水及生活污水等人爲因素，將大量表土泥砂沖刷堆積於溪谷中，都可能導致河川 SS 較高，使得水質呈現不穩定的現象，容易影響 RPI 值，進而影響對河川污染來源之判斷，故降雨對河川 RPI 指標之影響，有必要予以釐清。

本研究之主要目的，係應用花蓮溪及秀姑巒溪流域之水質監測資料，依豐、枯水期分類，予以分析其相關性，以了解自然降雨對河川 SS 及 RPI 指標值變化之影響，並統計出機率分佈函數，評估兩河川流域 SS 及 RPI 值之分佈機率，除可瞭解河川水質變化外，亦可藉由機率值，於豐、枯水期分別訂定 SS 及 RPI 之警戒值，以作為稽查河川人爲污染之依據。

二、 研究方法

本研究之研究方法流程如圖 1 所示，由行政院環保署「全國環境水質監測資訊網」取得 2002 年至 2008 年共 7 年間，花蓮縣花蓮溪之萬里溪橋測站、豐平橋測站及花蓮大橋測站等 3 站，以及秀姑巒溪流域之玉里大橋測站、太平溪橋測站及瑞穗大橋測站等 3 站的每月水質監測資料，並自中央氣象局網站取得近 7 年花蓮地區月雨量資訊，依據豐水期（7~10 月）及枯水期（1~4 月）統計，各為 168 筆及 167 筆數據，觀察雨量對 SS 及 RPI 值變化趨勢之關係，其中秀姑巒溪流域之太平溪橋測站於 2007 年 4 月時，有一大於當年度監測值組距 3 倍（ $> 3(Q_3-Q_1)$ ）之異常值 5290 mg/L，故予以刪除當月監測資料。先觀察月雨量、RPI 及 SS 等 3 者間的變化趨勢，再採用 Spearman 相關分析，了解各參數彼此的相關特性，然後將兩河川流域測站資料進行 K-S (Kolmogorov-Smirnov) 檢定，決定原始數據的機率分佈函數，並利用 Monte Carlo 模擬繪製累積機率分佈函數曲線，獲得月雨量、SS 及 RPI 值所對應之各機率百分數，以評析雨量對河川水質之影響，再考量雨量變化因素，於豐、枯水期分別建置 SS 及 RPI 之警戒值，如圖 2 所示，當河川水質累積機率分佈函數曲線之累積機率达 75% 時（ $C_{75\%}$ ），可作為稽查河川人爲污染之依據，建立更有效的河川水質管理方式。

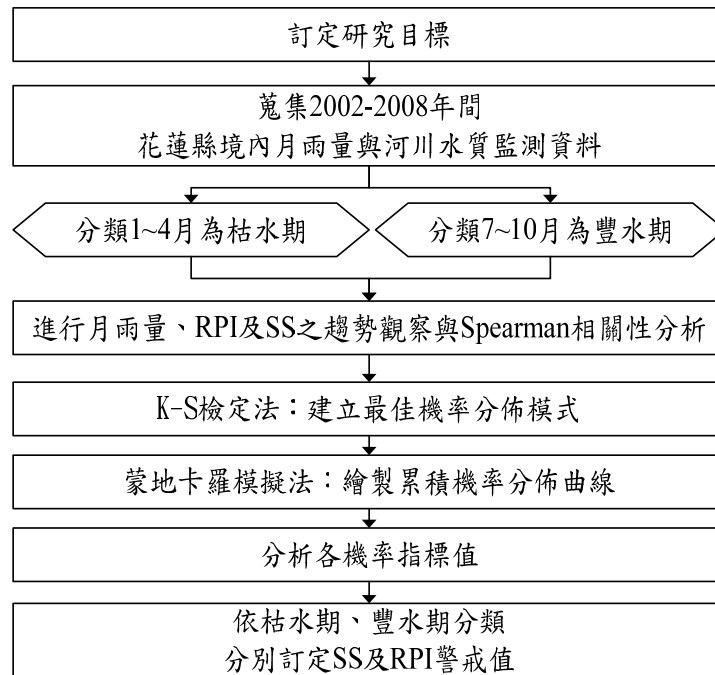


圖 1 研究方法流程圖

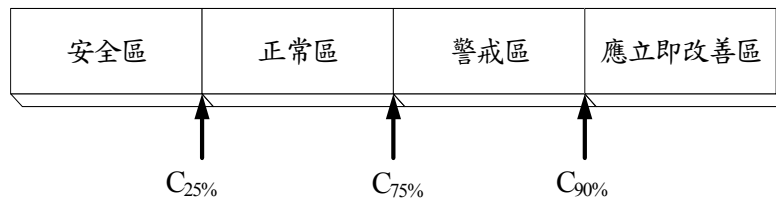


圖 2 河川 SS 及 RPI 管制依據之變化區界劃定示意圖

Spearman 相關分析法是一種敘述兩參數間相關程度的分析方法，需將兩參數之數值，由小到大重新排序後，其依據參數的等級順序進行相關分析，因此其相關係數 (ρ) 範圍在 $-1 \leq \rho \leq 1$ ，當兩者等級順序相同時， $\rho=1$ ，當兩者等級順序相反時，則 $\rho=-1$ 。本研究利用此方法分析雨量、RPI 及 SS 三項參數間是否有相關性 (溫志中等，2009)。

Monte Carlo 模擬為常用之風險評估方法，利用隨機取樣的方式，由現有之數值隨機抽取 1000 次，以產生大量數值，使其模擬結果達 95% 可信度，經由模

擬隨機變數之機率分配，進而取得一些重要參數。經過一系列重複實驗求出風險變數的期望值與標準差，並利用分析建構在模型內任一機率分配模式之隨機抽樣的數學統計方式，創造出數百甚至上千種的結果，是一種較接近現實的風險分析方法（Grigorios *et al.*, 2008）。

本研究利用花蓮縣環境及氣象監測資料，經確認資料特性及其代表性後，將資料的邊界條件納入考量，再與各類型函數參數擬合，利用 K-S 檢定法，來推估最佳之資料分配模式。然後再利用前述數據進行 Monte Carlo 模擬法演算後，得到機率分配函數，而機率分配函數可積分形成累積機率分佈函數；依據此累積機率分佈函數，可求得累積機率之各百分位數所對應之監測或統計值（Yoo *et al.*, 2008；江漢全等，2008）。

三、 結果與討論

本研究首先蒐集花蓮縣每月降雨量、河川 SS 及 RPI 值資料，繪製 3 者變化之關係圖。以 2008 年花蓮溪萬里溪橋測站及秀姑巒溪玉里大橋測站為例，其結果如圖 3 及圖 4 所示，由圖可知，當月雨量攀升時，兩條河川之 SS 濃度亦會於該月或下月份隨之上升，進而影響河川 RPI 指標值，顯示降雨與花蓮縣河川 SS 及 RPI 具有非常密切的關係，當降雨量增加時，河川之 SS 濃度必隨之上升，連帶影響河川之 RPI 值增加。統計花蓮縣其他河川水質監測站之上述 3 項資料，亦有相似之情況。

利用 Spearman 相關分析評估月雨量對花蓮溪及秀姑巒河流域水質之影響，其結果如表 1 及表 2 所示。表 1 為花蓮河流域於豐水及枯水期間 3 項參數之相關分析結果，當豐水期時，月雨量與河川 SS 測項具顯著性相關（ $\alpha=0.015$ ），相關係數（ ρ ）為 0.265，而 SS 與 RPI 值則屬於極顯著相關（ $\alpha<0.01$ ），且相關係數高達 0.851，為高度正相關；然而，枯水期時，月雨量亦與 SS 測項呈顯著性相關（ $\alpha=0.013$ ），相關係數為 0.269，而 SS 與 RPI 值呈極顯著相關（ $\alpha<0.01$ ），相關係數達 0.843，與豐水期同為高度正相關。秀姑巒河流域於豐、枯水期間 3 項參數之相關分析結果如表 2 所示，於豐水期時，月雨量與 SS 測項具有極顯著性相關（ $\alpha<0.01$ ），相關係數為 0.305，屬中度正相關，SS 亦與 RPI 值呈極顯著性

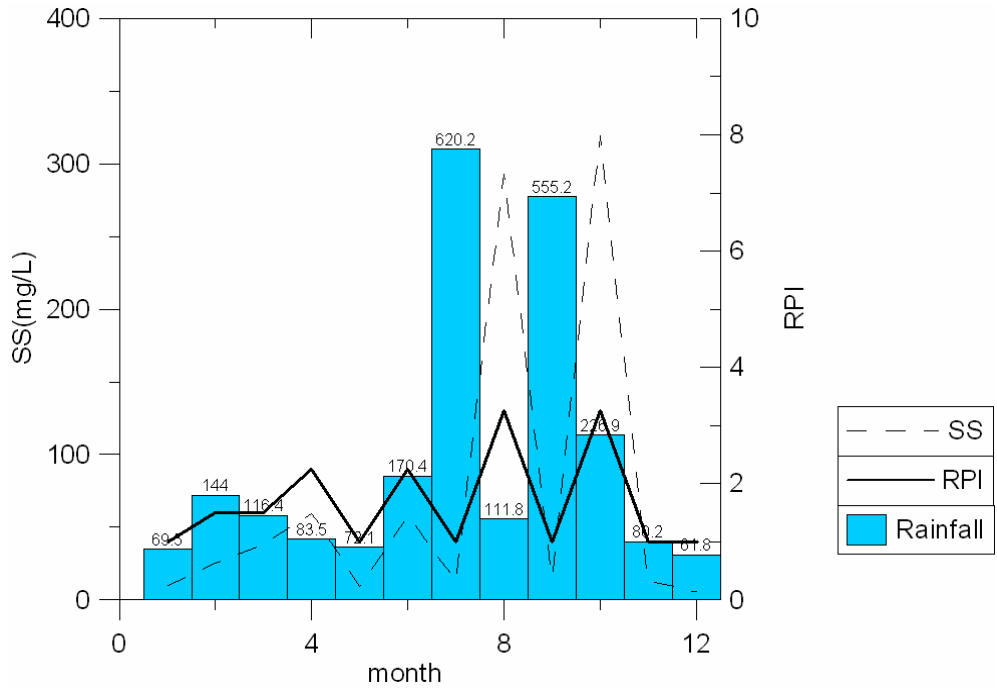


圖 3 2008 年花蓮溪萬里溪橋測站 SS、RPI 及雨量變化

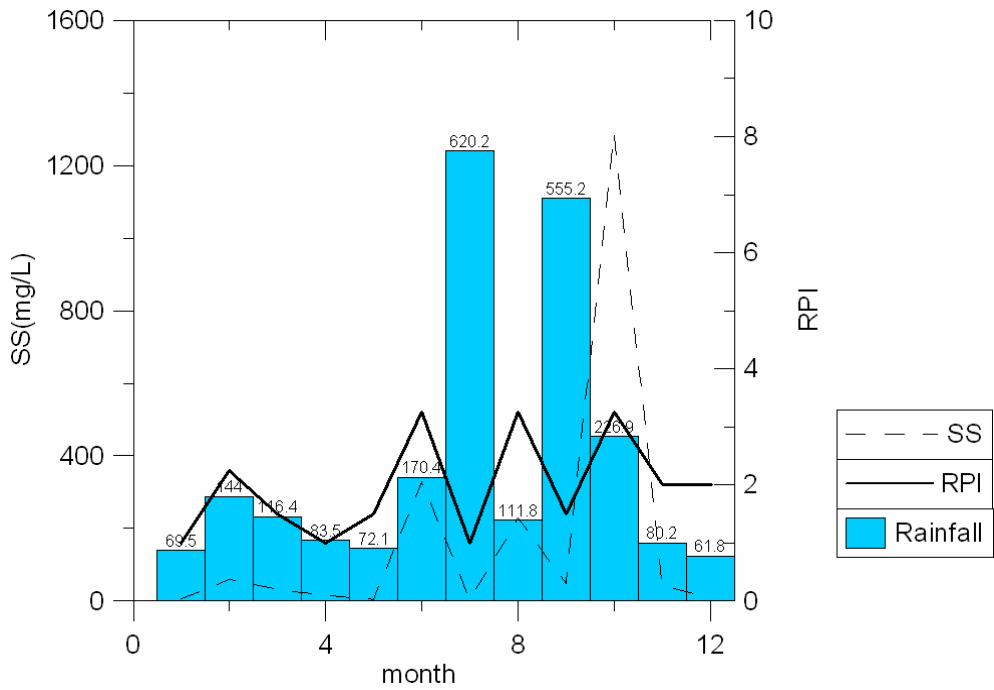


圖 4 2008 年秀姑巒溪玉里大橋測站 SS、RPI 及雨量變化

表 1 花蓮溪流域於豐、枯水期間 3 項參數之 Spearman 相關分析

Spearman相關分析			Rainfall	SS	RPI
豐水期	Rainfall	相關係數 (ρ)	1.000		
		顯著性 (α)	0.		
	SS	相關係數 (ρ)	0.265*	1.000	
		顯著性 (α)	0.015	0.	
	RPI	相關係數 (ρ)	0.095	0.851**	1.000
		顯著性 (α)	0.390	0.000	0.
枯水期	Rainfall	相關係數 (ρ)	1.000		
		顯著性 (α)	.0		
	SS	相關係數 (ρ)	0.269*	1.000	
		顯著性 (α)	0.013	0.	
	RPI	相關係數 (ρ)	0.170	.843**	1.000
		顯著性 (α)	0.122	0.000	0.

*表示相關的顯著水準為 0.05 (雙尾)。

**表示相關的顯著水準為 0.01 (雙尾)。

表 2 秀姑巒溪流域於豐、枯水期間 3 項參數之 Spearman 相關分析

Spearman相關分析			Rainfall	SS	RPI
豐水期	Rainfall	相關係數 (ρ)	1.000		
		顯著性 (α)	0.		
	SS	相關係數 (ρ)	0.305**	1.000	
		顯著性 (α)	0.005	0.	
	RPI	相關係數 (ρ)	0.143	0.799**	1.000
		顯著性 (α)	0.195	0.000	0.
枯水期	Rainfall	相關係數 (ρ)	1.000		
		顯著性 (α)	0.		
	SS	相關係數 (ρ)	0.098	1.000	
		顯著性 (α)	0.379	0.	
	RPI	相關係數 (ρ)	-0.137	0.693**	1.000
		顯著性 (α)	0.215	0.000	0.

*表示相關的顯著水準為 0.05 (雙尾)。

**表示相關的顯著水準為 0.01 (雙尾)。

相關 ($\alpha < 0.01$)，相關係數為 0.799，亦為高度正相關，然而，在枯水期時，月雨量則和 SS 及 RPI 值則無顯著相關，但 SS 測項與 RPI 值仍呈極顯著性相關 ($\alpha < 0.01$)，相關係數為 0.693。由上述結果可知，於豐水期月雨量大時，花蓮縣兩條代表性河川之 SS 隨之增大，且 RPI 值亦隨之上升，經由 Spearman 相關分析顯示降雨增加對 SS 升高有顯著性相關，而 SS 升高對 RPI 之增加則有極顯著相關性，然而，於枯水期時，則不一定有此關聯性。

利用 K-S 檢定，將兩河川流域之降雨量、河川 SS 及 RPI 值等監測數據進行最佳機率分佈模式之擬合，結果如表 3 所示，以 Lognormal 型態之分佈最多，且集中於枯水期，而豐水期則變異較大。進一步應用 Monte Carlo 法計算出兩河川流域 3 項參數之累積分佈曲線，花蓮縣豐水及枯水期雨量分佈曲線如圖 5 所示，而花蓮溪及秀姑巒溪流域各測站之 SS 與 RPI 值累積分佈曲線，則如圖 6 及圖 7 所示。由圖 5 可知，花蓮縣於豐水期時，月雨量有 50 % 的機率可達 259 mm，而枯水期時則僅為 62 mm，相差約 4 倍。而由圖 6 可知，花蓮溪流域於豐水期及枯水期時，SS \leq 20 mg/L 的機率分別為 24.4 % 及 41.8 %，SS \leq 50 mg/L 的機率則為 42.25 % 及 69.25 %，另 SS \leq 100 mg/L 的機率為 75 % 及 85.1 %；此外，RPI 值在 2 以下的機率各為 42.5 % 及 71 %，指標值在 3 以下的機率為 71 % 及 94 %，這些結果顯示，豐水期時，花蓮溪水質有較高的機率處於 RPI 及 SS 偏高之情形，亦即屬受污染之情況，而枯水期的水質狀況則較豐水期良好。圖 7 則顯示，秀姑巒溪流域於豐水期及枯水期時，SS \leq 20 mg/L 的機率分別為 20.85 % 及 49.6 %，而 SS \leq 50 mg/L 的機率為 32.94 % 及 76.79 %，SS \leq 100 mg/L 的機率則為 44.72 % 及 90.20 %；RPI 值部分，在 2 以下的機率各為 27.1 % 及 71 %，在 3 以下的機率為 58.8 % 及 93.6 %，同樣顯示豐水期之 RPI 及 SS 偏高，其水質較差，枯水期則水質較為良好。

綜合上述結果顯示，無論是花蓮溪流域或是秀姑巒溪流域，皆可觀察出，當豐水期雨量較多時，河川水質 SS 及 RPI 偏高，較易被認為有受污染之情況。河川之 SS 如超出 100 mg/L，RPI 即屬中度污染等級，本研究由圖 6 及圖 7 之結果另可得知，花蓮溪及秀姑巒溪流域之 SS 濃度，於枯水期約各有 14.90 % 及 9.80 %

表 3 豐、枯水期之花蓮溪與秀姑巒溪流域 3 項參數最佳分佈模式一覽表

項次	豐水期		枯水期	
	花蓮溪	秀姑巒溪	花蓮溪	秀姑巒溪
月雨量	Weibull Distribution		Beta Distribution	
SS	Lognormal Distribution	Gamma Distribution	Lognormal Distribution	Lognormal Distribution
RPI	Beta Distribution	Beta Distribution	Lognormal Distribution	Lognormal Distribution

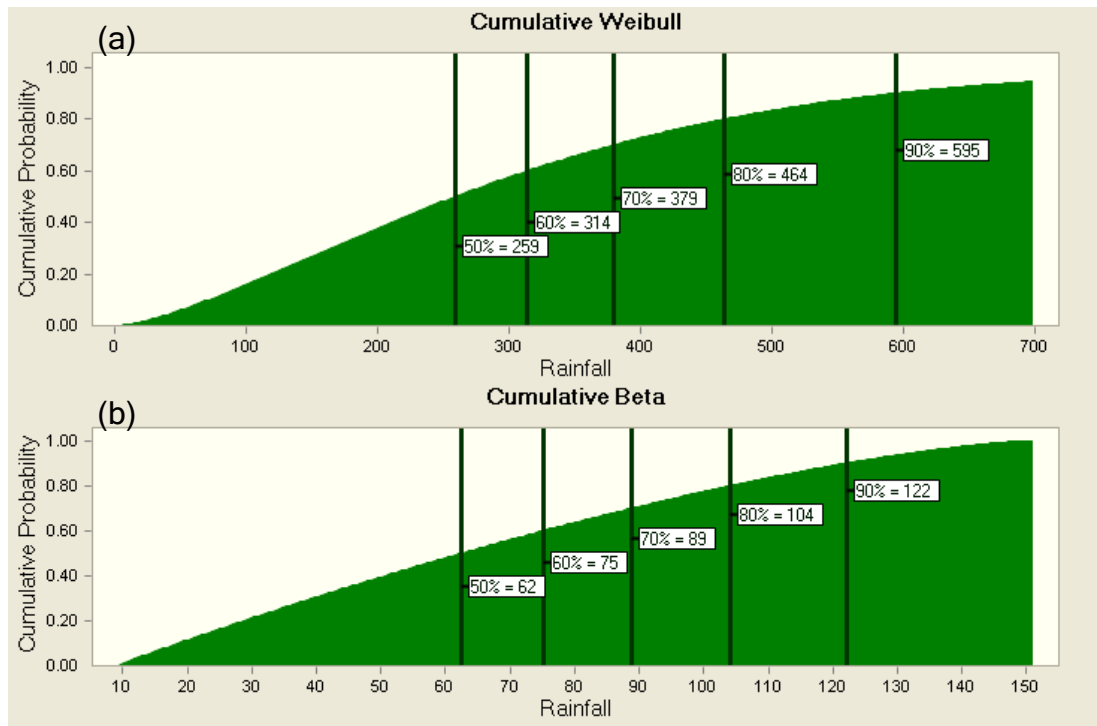


圖 5 花蓮縣豐、枯水期之月雨量累積機率分佈曲線圖(a)豐水期(b)枯水期

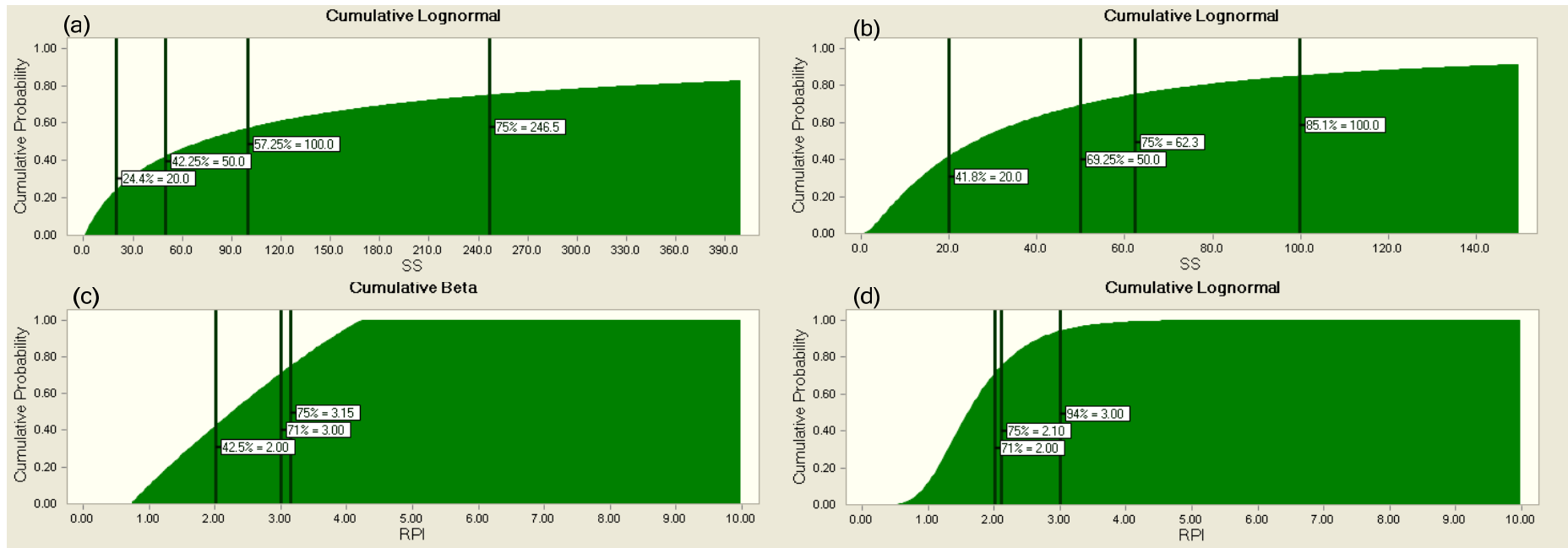


圖 6 花蓮溪流域豐、枯水期之河川 SS 及 RPI 累積機率分佈曲線圖 (a)豐水期 SS；(b)枯水期 SS；(c)豐水期 RPI；(d)枯水期 RPI

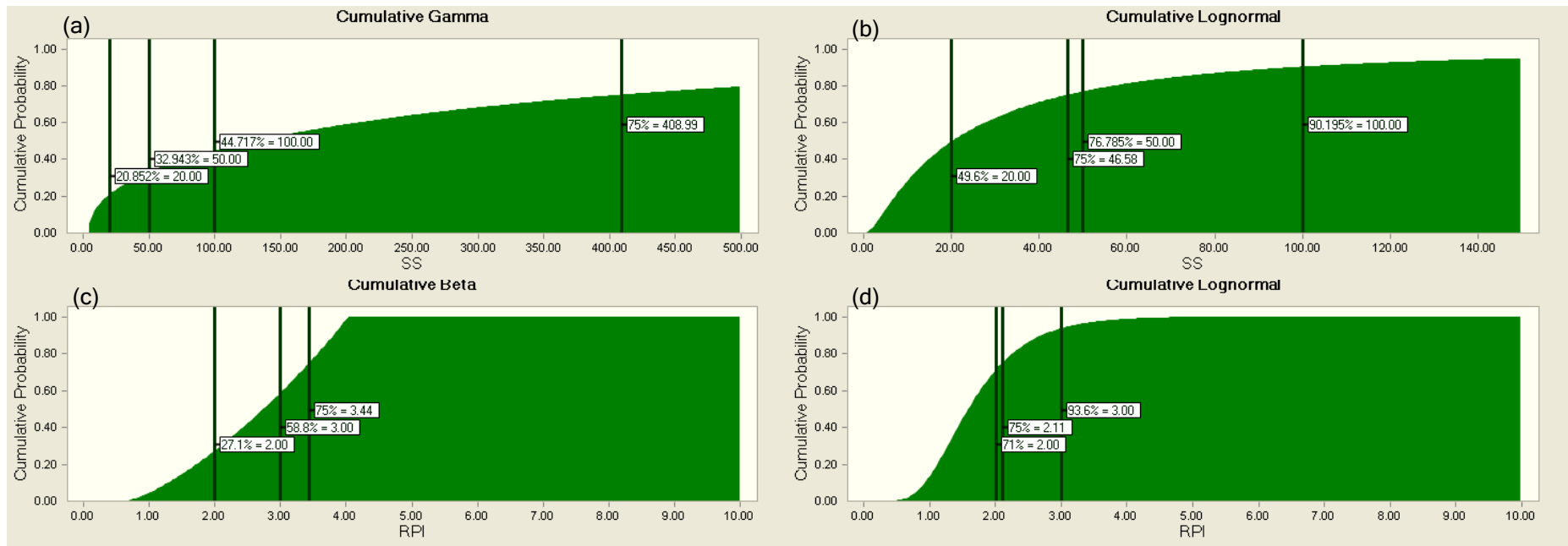


圖 7 秀姑巒溪流域豐、枯水期之河川 SS 及 RPI 累積機率分佈曲線圖 (a)豐水期 SS；(b)枯水期 SS；(c)豐水期 RPI；(d)枯水期 RPI

之機率高於 100 mg/L，豐水期時則各為 42.75 %及 55.38 %，亦即河川水質達到中度污染程度，而枯水期中度污染程度之機率明顯偏低，推測豐水期之河川污染主要原因可能為大量降雨表土沖刷，致使 SS 監測濃度提升，RPI 指標值亦隨之上升，呈現水質劣化現象，屬自然污染原因為主。然而，枯水期如達到中度污染，其原因則可能是人為河川採砂活動，甚或工業或生活污水污染之影響為主，導致河川水質劣化，此時應採取稽查管制行動，以維護河川水質。

依據本研究模擬花蓮縣近 7 年豐、枯水期月雨量與兩河川 SS 與 RPI 值之結果，可說明河川水質與雨量變化有顯著關係，因此，建議環保主管單位能考量雨量變化因素，於豐、枯水期分別訂定 SS 及 RPI 之警戒值，應用累積機率所對應之監測或統計值，若監測或統計值超過警戒值 ($C_{75\%}$)，則顯示 SS 及 RPI 測項值惡化達警戒區，需立即進行稽查河川是否有人為污染，如此，可建立更有效的河川水質管理方式（宜蘭縣環境保護局，2008）。

四、 結論與建議

1. 花蓮溪和秀姑巒河流域近 7 年豐枯水期之月雨量、河川 SS 及 RPI 值，3 者變化趨勢關係密切。當豐水期時，月雨量與 SS 皆有顯著正相關，而 SS 與 RPI 值之間則都具有極顯著正相關，由此可知，月雨量與 SS 變化具有相關性，若月雨量上升，SS 將隨之上升，進而影響 RPI 值，造成河川水質呈現劣化之評等。
2. 經 Monte Carlo 模擬後，無論是花蓮溪或是秀姑巒河流域，皆可觀察出，當豐水期雨量較多時，河川水質易有水質劣化之情況，各有 42.75%及 55.38%的機率達到中度污染程度以上 ($RPI \geq 3.1$)，而枯水期的中度污染程度之發生機率明顯偏低，各為 14.90%及 9.80%。
3. 藉由觀察豐枯水期之月雨量、SS 及 RPI 值變化，推測豐水期之河川污染主要可能受大量降雨表土沖刷，致使 SS 測項上升，呈水質劣化現象，以自然污染原因貢獻量較大，而枯水期之污染主要原因，可能是人為河川採砂活動，甚

或工業或生活污水污染，屬人為污染原因為主。

4. 依據本研究模擬花蓮縣近 7 年豐枯水期月雨量與兩河川 SS 與 RPI 值之結果，可說明河川水質與雨量變化有顯著關係，建議未來環保主管單位能考量雨量變化因素，於豐、枯水期分別訂定 SS 及 RPI 之警戒值 ($C_{75\%}$)，若監測或統計值超過 $C_{75\%}$ ，則顯示 SS 及 RPI 值惡化達警戒區，河川可能有人為污染情形，應立即進行稽查，如此可建立更有效的河川水質管理方式。
5. 由本研究可知，河川水質狀況若因 SS 受降雨影響，導致以 RPI 指標之判讀不佳時，建議可再採用國內學者所提出之 WQI_5 或 WQI_8 值 (Water quality index) 評估水質情形(何志軒等，2005)，並列作為參考，而 WQI 係以水質參數為依據，並給予各水質參數不同的污染權數，因 RPI 指標之 SS 權重為 0.25，而 WQI_5 指標中，SS 權重僅有 0.17， WQI_8 指標中，SS(改以濁度為參數)權重更僅有 0.09，可降低 SS 對河川水質指標呈現之影響。

五、 誌謝

本文內容承花蓮縣環境保護局水污科王志惠科長、楊惠如小姐提供建議，宜蘭大學環境工程學系林佩宜、傅予芹及高育琦等 3 位同學協助蒐集及統計資料，謹致由衷謝忱。

參考文獻

1. 行政院交通部中央氣象局，2009，網址：<http://www.cwb.gov.tw/>
2. 行政院環境保護署，1998，**國家環境保護計畫**。
3. 行政院環境保護署，2005，**國家環境保護計畫（修正草案）**。
4. 行政院環境保護署，2006，**95 年版環境保護統計年報**。
5. 行政院環境保護署，2007，**96 年版環境保護統計年報**。
6. 行政院環境保護署，2008，**97 年版環境保護統計年報**。

7. 行政院環境保護署，2009，網址：<http://www.epa.gov.tw/>
8. 全國環境水質監測資訊網，2009，網址：<http://wqshow.epa.gov.tw>
9. 江漢全、戴文堅、許麗淑、張晉豪、張靖為，2008，”應用機率分佈函數評估花蓮縣各季節 PSI 值”，**2008 資源與環境學術研討會論文集**，第 13-23 頁。
10. 任家弘、林俊全、趙文愷、徐美玲，2004，”高屏河流域環境水資源分布與水質、水污染改遷之研究”，**地理學報**，第 37 期，第 139-160 頁。
11. 何志軒、陳素華、莊舒琪、魏淑芳、江永進、劉嘉德，2005，”花蓮溪河流域不同水質指標比較”，**2005 資源與環境學術研討會論文集**，第 369-378 頁。
12. 花蓮縣環境保護局，2007，**花蓮縣環境保護計畫（96 年修訂）**。
13. 宜蘭縣環境保護局，2008，**宜蘭縣環境保護計畫執行情形及重要環境指標評估計畫**。
14. 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 資源與環境學術研討會論文集**，第 323-333 頁。
15. 溫志中，蔡立宏，楊尙威，2009，”台灣港區大氣見度特性探討-基隆、台中、高雄”，**港灣報導**，第 82 期，第 31-39 頁。
16. Garvey, E., C. Hunt, C. Foster, J. Atmadja and H. Pang, 2004 ”PCBs, Dredging and Resuspension: Setting a Standard for the Hudson River Remediation,”*Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC 2004: Session 1 through Session 10*, pp. 905-934.
17. Grigorios, M., S. Lazarou and E. Pyrgioti, 2008 ”ptimal placement of wind turbines in a wind park using Monte Carlo simulation,” *Renewable Energy*, Vol. 33, pp.1455-1460.
18. Liou, S. M., S. L. Lo and C. Y. Hu, 2003 “Application of two-stage fuzzy set theory to river quality evaluation in Taiwan,” *Water Research*, Vol. 37, pp.1406-1416.
19. Vega, M., R. P. E. Barrado and L. Deban, 1998 “Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis,” *Water Research*, Vol. 32, pp.3581-3592.
20. Yoo, S. H., J. Y. Choi and M. W. Jang, 2008 “Estimation of design water requirement using FAO Penman–Monteith and optimal probability distribution function in South Korea,” *Agricultural Water Management*, Vol. 95, pp.845-853.