

立霧溪流域水質特性

許文昌^{1,2}

(收稿日期：2005 年 11 月 14 日；接受日期：2005 年 12 月 26 日)

摘 要

本研究針對立霧溪流域進行水質監測，監測項目包含水溫、電導度、酸鹼值、溶氧、生化需氧量、懸浮固體物與水溶性離子物種（ F^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等物種），量測結果並以我國環保署使用的河川污染程度指標(River Pollution Index, RPI)評估立霧溪流域水質污染程度。結果顯示在未受暴雨影響的晴天日，立霧溪流域各監測點水質多屬於『未(稍)受污染』程度，當流域內有顯著降雨發生時，溪水中懸浮固體物濃度激增十至數百倍，導致溪水水質呈現『中度污染』程度。暴雨逕流對於表土的沖刷作用為導致立霧溪流域水質惡化的主要因素。立霧溪流域各測點所測得溪水中主要的離子物種仍以與地質條件有密切相關的 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 測值較高， K^+ 、 NO_3^- 、 Cl^- 等與人為活動較有關聯的離子物種濃度較低。暴雨逕流在立霧溪主流溪水中離子物種濃度的變化上，扮演舉足輕重的角色，不但降低地質元素相關離子物種的濃度，同時也造成與表土有關的營養離子物種（ NO_3^- 與 K^+ ）濃度的增高。

關鍵詞：立霧溪，水質，河川污染程度指標，暴雨逕流

一、前 言

因應「永續發展」時代的來臨，加強國家公園區內生物社會資源之調查研究與監測，早日建立「生物多樣性長期生態研究」之資料庫，為太魯閣國家公園經營管理重點努力的方向，為了解生物物種監測結果與非生物環境（水域、空域與陸域環境）品質變化的關聯性，建構長期連續的非生物環境監測基礎資料庫有其重要性與迫切性。回顧太魯閣國家公園區內有關非生物環境監測的歷年相關研究文獻，除了民國 77 年金恆鑣等針對立霧溪峽谷段（文山溫泉以下立霧溪溪流）瀑布及湧泉水質進行過水質調查研究外，至今並無其他相關研究針對園區內水質進行

1. 大漢技術學院環境資源管理系。
2. 通訊作者。

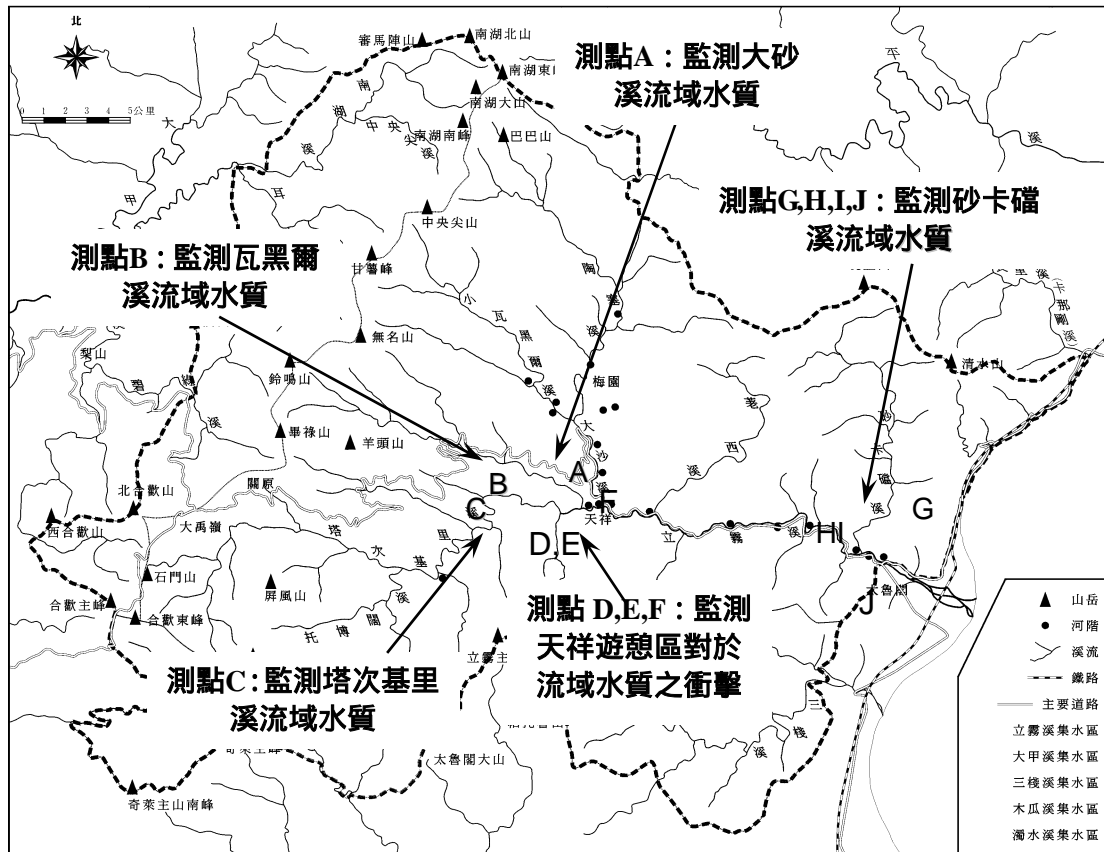
有系統的監測，雖然我國環保署於立霧河流域中的普渡橋（位於天祥附近）與錦文橋有進行例行的水質監測，但由於監測點過少且每月僅有 1 個隨機樣品，無法充分表示立霧河流域水質的時空變化。本研究配合太魯閣國家公園非生物環境監測計畫的執行，針對立霧河流域水質進行監測，並於颱風暴雨過後進行較為密集的採樣，以了解立霧河流域在平常時期與受暴雨影響時水質特性的變化，其成果對於立霧溪基本水質監測資料庫之建立、流域水質是否受到人為活動的影響與暴雨逕流對於流域水質的衝擊，可提供具體的數據資料，對於掌握立霧河流域水質特性將有實質之助益並可作為保育施政的重要參考依據。

二、研究方法

本研究自民國 93 年 1 月至 94 年 9 月於立霧河流域進行水質監測，為了能充分表示立霧河流域水質的空間變化與了解流域水質是否受到人為活動的影響，採樣點規劃蓋分為兩大類：背景測點與污染監測測點。本研究選定的背景測點共有 6 個，分別為位於大砂溪文山溫泉上游的文山測點、位於瓦黑爾溪的瓦黑爾測點、位於塔次基里溪的白楊測點及位於砂卡礑溪的三間屋(93 年 8 月以後新增)、台電攔水壩(94 年 2 月以後新增)、五間屋(93 年 8 月以後新增)、砂卡礑步道觀景平台等測點。鄰近污染源的污染監測測點則有 4 個，包含鄰近天祥遊憩區位於大砂溪的稚暉橋、位於立霧溪的普渡橋與綠水及鄰近砂卡礑步道入口的砂卡礑橋測站，本研究所設置的水質監測點於立霧河流域的位置分布如圖一所示。

採樣規劃分為例行採樣與空間分布採樣兩類。例行採樣選定稚暉橋、普渡橋、綠水及砂卡礑橋等 4 個測點進行每週 1 次的水質監測；空間分布採樣則是於每月選定 1 週進行所有測點(10 個測點)的採樣工作以了解流域水質的空間分布差異。當颱風登陸或外圍環流影響園區夾帶豐沛降雨過後，則於放晴後於綠水進行密集採樣(每週至少 2 次以上)，以了解颱風暴雨對於水質的衝擊。

水質監測的分析項目包含：水溫、酸鹼值、電導度、溶氧、懸浮固體物及水溶性離子物種(包含 F^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等 11 個離子物種)等，其中水溫、酸鹼值、電導度於採樣現場量測，水中溶氧量則於現場固定溶氧後帶回實驗室進行後續分析，水中懸浮固體物及生化需氧量則以採樣瓶採集水樣後帶回實驗室分析，所有水質分析方法均依據環保署公告之標準檢驗方法分析。至於水中離子物種的分析，先將水樣過濾後再以離子層析儀進行分析，陰陽離子的最低偵測極限約 0.02 mg/L。量測結果並以河川污染程度指標評估立霧河流域水質污染程度。河川污染程度指標(River Pollution Index)簡稱「RPI」為目前環保署用於評估河川水質之綜合性指標。RPI 指標係以水中溶氧量(DO)、生化需氧量(BOD)、懸浮固體物(SS)與氨氮(NH_3-N)等四項水質參數之濃度值，來計算所得之指標積分值，並判定河川水質污染程度。RPI 指標之計算及比對基準如表一所示。RPI 指標之計算步驟：(1).首先將水質分析結果由表一對應求出其副指標點數數值(S_i)。(2).RPI 積分值 = (四個副指標數(S_i)值加總)/4。(3).以 RPI 積分值查表一對應出河川污染現狀。



▲：背景監測站； ●：人為活動污染監測站

採樣點名稱：

- A：文山測點(背景監測站，代表大砂溪流域水質)。
- B：瓦黑爾測點(背景監測站，代表瓦黑爾溪流域水質)。
- C：白楊測點(背景監測站，代表塔次基里溪流域水質)。
- D：稚暉橋測點(人為活動污染監測站，代表大砂溪鄰近天祥地區水質)。
- E：普渡橋(人為活動污染監測站，代表立霧溪鄰近天祥地區水質)。
- F：綠水(人為活動污染監測站，代表立霧溪鄰近綠水地區水質)。
- G：三間屋(背景監測站，代表砂卡礑溪上游水質)。
- H：五間屋(背景監測站，代表砂卡礑溪中游水質)。
- I：砂卡礑步道觀景平台(背景監測站，代表砂卡礑溪中游水質)。
- J：砂卡礑橋(人為活動污染監測站，代表砂卡礑溪鄰近步道入口附近水質)。

採樣頻率：背景監測站 1 次/月；人為活動污染監測站 4 次/月。

圖一．本研究所設置的水質監測點於立霧溪流域之位置分布圖

表一. 河川污染程度指數 (RPI) 等級分類表

水質/項目	未(稍)受污染	輕度污染	中度污染	嚴重污染
溶氧量(DO) mg/L	6.5 以上	4.6~6.5	2.0~4.5	2.0 以下
生化需氧量(BOD ₅) mg/L	3.0 以下	3.0~4.9	5.0~15	15 以上
懸浮固體(SS) mg/L	20 以下	20~49	50~100	100 以上
氨氮(NH ₃ -N) mg/L	0.50 以下	0.50~0.99	1.0~3.0	3.0 以上
點數(Si)	1	3	6	10
污染指標積分	2.0 以下	2.0~3.0	3.1~6.0	6.0 以上

三、結 果

本研究自民國 93 年 1 月至 94 年 9 月，於太魯閣國家公園立霧河流域進行水質監測工作，立霧溪主流各測點與砂卡礑溪測點的水質分析結果，分別以月平均值方式展現，以便比較兩者在水質特性上的差異，各項水質分析項目的結果如表二所示，立霧河流域水質特性說明如下。

(一)、立霧河流域溪水水溫、酸鹼值、電導度與溶氧量的量測結果

在國家公園範圍內對於土地使用及相關人為活動多有限制，以確保流域水質能維持在『自然不受污染』的狀態。一般用於表示水體基本物化性質的水質監測項目，以水溫、酸鹼值、電導度與溶氧量等最為常用，以下即針對上述水質監測項目於立霧河流域的監測結果分別說明。

由表二結果顯示，立霧河流域溪水溫度主要仍隨著季節變化，冬季水溫低而夏季水溫較高，最低水溫出現於 1 月，立霧溪主流測得的月平均值約 12.5~13.0 而砂卡礑溪則約為 18.2 ；5~9 月溪水水溫則呈現穩定的高值，主流水溫月平均值在 21.3~21.9 (93 年)與 20.5~22.5 (94 年)間變化，而砂卡礑溪則在 22.7~25.0 間變化。由於主流測點所在位置海拔高程較高，使得水溫測值相對偏低。民國 93 年立霧溪主流溪水水溫年平均值為 17.9 ± 3.5 ，與民國 76~77 年間金恆鑣等監測結果 18.4 ± 2.8 (平常)、 18.2 ± 2.1 (暴雨流)相比，立霧河流域水溫呈現些微下降的現象，基本特性並無有顯著改變。

接著說明立霧河流域溪水中溶氧量的監測結果，一般而言，河川溶氧的主要來源為空氣中氧氣的溶解，根據亨利定律，水中氧氣的飽和溶解量為亨利常數乘以大氣氧氣的分壓。而亨利常數值又為水溫的函數，當水溫越高，亨利常數值越低，則使得水中的飽和溶氧量也越低。由表二中溶氧量的監測結果顯示，立霧河流域水中溶氧量的變化，主要還是隨著季節水溫的改變而變化，呈現冬季水溫低溶氧高 (1 月平均值約 9.1~10.2mg/L) 夏季水溫高溶氧低 (7 月平均值約 7.8mg 上下)的趨勢，水溫較低的主流各測點溪水溶氧量較水溫較高的砂卡礑流域測值為高。民國 93 年立霧溪主流溪水溶氧量的年平均值為 8.8 ± 0.8 mg/L，與民國 76~77 年間金恆鑣等監測結果 8.2 ± 1.2 mg/L (平常)、 7.5 ± 1.0 mg/L (暴雨流)相比，立霧河流域水中溶氧量有些微的增加，應與流域水溫呈現些微下降有關。

表二. 民國 93 年 1 月至 94 年 9 月立霧溪流域水質量測結果月平均值之變動

水質分析項目	水溫				溶氧量, mg/L			
	立霧溪主流測點		砂卡礑溪測點		立霧溪主流測點		砂卡礑溪測點	
	93 年	94 年	93 年	94 年	93 年	94 年	93 年	94 年
1 月	12.5±1.5	13.0±1.7	未採樣	18.2±1.1	10.2±0.6	9.9±0.4	未採樣	9.1±0.4
2 月	13.3±1.8	15.4±2.0	18.6±0.7	18.3±1.7	9.8±0.4	9.4±0.5	9.2±0.1	9.1±0.3
3 月	16.0±2.2	14.3±0.9	19.7±1.0	18.1±1.3	9.2±0.4	9.7±0.3	9.0±0.2	9.1±0.3
4 月	18.0±2.4	19.0±1.6	21.6±1.6	21.5±0.9	8.8±0.4	8.7±0.4	8.7±0.3	8.5±0.3
5 月	21.5±1.6	20.9±1.7	24.0±1.8	24.4±1.2	8.3±0.3	8.3±0.3	8.5±0.2	8.0±0.2
6 月	21.9±0.9	20.9±1.2	24.7±1.0	23.8±0.6	8.0±0.4	8.2±0.2	8.3±0.1	8.0±0.3
7 月	21.5±2.0	22.5±1.5	24.6±1.0	23.5±1.5	7.8±0.5	7.8±0.3	7.7±0.2	8.1±0.3
8 月	21.3±1.1	20.5±1.0	25.0±1.3	23.3±0.9	7.9±0.2	8.1±0.3	7.8±0.2	8.2±0.2
9 月	21.5±1.4	20.5±0.9	24.1±1.1	22.7±1.1	8.0±0.2	8.3±0.5	8.1±0.2	8.5±0.2
10 月	16.6±1.3		22.0±1.4		9.0±0.3		8.6±0.2	
11 月	16.6±1.4		20.5±0.9		9.1±0.3		8.6±0.2	
12 月	14.6±0.7		18.8±0.4		9.6±0.6		9.2±0.2	
水質分析項目	酸鹼值 pH				電導度, $\mu\text{S}/\text{cm}$			
	立霧溪主流測點		砂卡礑溪測點		立霧溪主流測點		砂卡礑溪測點	
	93 年	94 年	93 年	94 年	93 年	94 年	93 年	94 年
1 月	8.5±0.1	8.4±0.1	未採樣	8.3±0.1	489±31	362±31	未採樣	225±13
2 月	8.3±0.1	8.4±0.1	8.2±0.1	8.3±0.1	445±57	404±38	257±11	226±11
3 月	8.3±0.2	8.4±0.1	8.1±0.2	8.3±0.1	459±34	432±37	263±1	244±17
4 月	8.4±0.1	8.4±0.1	8.3±0.1	8.4±0.1	454±44	445±33	265±3	249±9
5 月	8.4±0.1	8.3±0.1	8.3±0.1	8.3±0.1	466±40	424±43	266±2	249±10
6 月	8.4±0.1	8.3±0.1	8.4±0.1	8.3±0.1	436±38	382±104	267±1	228±23
7 月	8.5±0.1	8.2±0.1	8.5±0.2	8.3±0.1	401±39	408±29	248±18	217±22
8 月	8.4±0.1	8.3±0.1	8.3±0.1	8.3±0.0	410±55	376±44	265±16	224±9
9 月	8.4±0.1	8.3±0.1	8.4±0.1	8.3±0.0	402±17	383±37	257±19	211±19
10 月	8.4±0.1		8.4±0.1		381±23		237±23	
11 月	8.4±0.1		8.3±0.0		394±18		231±11	
12 月	8.2±0.1		8.2±0.1		368±29		202±2	
水質分析項目	生化需氧量(BOD), mg/L				懸浮固體物(SS), mg/L			
	立霧溪主流測點		砂卡礑溪測點		立霧溪主流測點		砂卡礑溪測點	
	93 年	94 年	93 年	94 年	93 年	94 年	93 年	94 年
1 月	0.3±0.3	0.5±0.3	未採樣	0.2±0.1	57±100	39±37	未採樣	0.1±0.1
2 月	0.4±0.3	0.3±0.2	0.2±0.1	0.3±0.1	2744±5023	2988±7101	1.5±1.0	0.3±0.3
3 月	0.3±0.2	0.3±0.2	0.2±0.1	0.4±0.1	517±894	3554±9177	0.6±0.4	0.5±0.8
4 月	0.3±0.2	0.3±0.1	0.3±0.1	0.3±0.1	152±272	77±108	0.6±1.0	0.3±0.4
5 月	0.3±0.2	0.4±0.2	0.2±0.1	0.3±0.1	139±330	262±380	0.6±0.6	0.1±0.1
6 月	0.1±0.1	0.3±0.1	0.1±0.1	0.2±0.1	659±799	140±156	0.9±0.9	1.9±1.4
7 月	0.1±0.1	0.3±0.1	0.2±0.1	0.6±0.3	5042±8028	3564±5322	3.8±3.6	26.8±18.9
8 月	0.2±0.1	0.3±0.2	0.1±0.1	0.2±0.1	1326±3143	2813±1805	0.9±1.4	58.6±58.0
9 月	0.3±0.2	0.2±0.2	0.2±0.0	0.2±0.1	656±586	3679±4163	0.8±0.8	48.8±56.6
10 月	0.2±0.1		0.2±0.1		803±1307		0.4±0.4	
11 月	0.1±0.1		0.1±0.1		165±249		0.2±0.2	
12 月	0.3±0.3		0.2±0.1		2037±2908		0.2±0.1	

表二(續). 民國 93 年 1 月至 94 年 9 月立霧河流域水質量測結果月平均值之變動

水質分析項目	F ⁻ , mg/L				Cl ⁻ , mg/L			
	立霧溪主流測點		砂卡礑溪測點		立霧溪主流測點		砂卡礑溪測點	
	93 年	94 年	93 年	94 年	93 年	94 年	93 年	94 年
1 月	0.05±0.04	0.06±0.02	未採樣	0.04±0.02	0.56±0.09	0.55±0.11	未採樣	2.25±0.48
2 月	0.07±0.04	0.07±0.03	0.13±0.07	0.08±0.04	0.49±0.06	0.54±0.10	1.84±0.18	1.69±0.65
3 月	0.08±0.01	0.07±0.02	0.05±0.02	0.08±0.04	0.49±0.06	0.46±0.06	1.89±0.05	1.76±0.49
4 月	0.08±0.02	0.10±0.06	0.05±0.02	0.12±0.05	0.49±0.08	0.53±0.07	1.88±0.06	1.83±0.53
5 月	0.10±0.04	0.07±0.06	0.04±0.01	0.06±0.07	0.56±0.09	0.46±0.09	1.80±0.03	1.68±0.48
6 月	0.09±0.04	0.07±0.01	0.06±0.01	0.07±0.02	0.55±0.14	0.41±0.04	1.95±0.14	1.56±0.39
7 月	0.09±0.02	0.07±0.05	0.07±0.03	0.02±0.01	0.50±0.10	0.46±0.06	2.05±0.41	1.30±0.48
8 月	0.08±0.03	0.11±0.16	0.08±0.04	0.03±0.01	0.50±0.18	0.42±0.08	2.26±0.48	1.18±0.10
9 月	0.06±0.03	0.07±0.03	0.01±0.02	0.03±0.01	0.44±0.06	0.43±0.05	2.37±0.49	1.64±0.15
10 月	0.05±0.03		0.02±0.01		0.54±0.17		1.87±0.54	
11 月	0.04±0.02		0.01±0.02		0.48±0.06		1.76±0.35	
12 月	0.05±0.03		0.03±0.01		0.59±0.07		1.51±0.24	
水質分析項目	NO ₂ ⁻ & PO ₄ ³⁻ , mg/L				NO ₃ ⁻ , mg/L			
	立霧溪主流測點		砂卡礑溪測點		立霧溪主流測點		砂卡礑溪測點	
	93 年	94 年	93 年	94 年	93 年	94 年	93 年	94 年
1 月	< 0.02	< 0.02	未採樣	< 0.02	1.02±0.19	1.13±0.16	未採樣	2.55±0.37
2 月	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	1.89±0.69	1.13±0.41	2.28±0.07	2.08±0.48
3 月	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	1.41±0.19	1.56±0.32	2.30±0.11	2.10±0.35
4 月	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	1.33±0.24	1.27±1.27	2.16±0.06	2.05±0.37
5 月	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	1.17±0.28	1.59±0.35	2.18±0.07	2.09±0.37
6 月	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	1.63±0.23	1.62±0.18	2.44±0.19	2.62±0.10
7 月	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	2.34±0.48	2.02±0.49	3.00±0.11	2.30±0.28
8 月	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	1.62±0.30	2.05±0.22	2.92±0.41	2.16±0.15
9 月	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	1.48±0.21	1.83±0.28	2.80±0.22	1.85±0.11
10 月	< 0.02		< 0.02		1.08±0.37		2.17±0.34	
11 月	< 0.02		< 0.02		0.90±0.13		2.18±0.27	
12 月	< 0.02		< 0.02		1.65±0.39		2.11±0.34	
水質分析項目	SO ₄ ²⁻ , mg/L				Na ⁺ , mg/L			
	立霧溪主流測點		砂卡礑溪測點		立霧溪主流測點		砂卡礑溪測點	
	93 年	94 年	93 年	94 年	93 年	94 年	93 年	94 年
1 月	126±13	119±16	未採樣	23.6±0.8	5.11±0.25	4.37±0.41	未採樣	2.00±0.25
2 月	113±27	125±29	28.4±0.6	25.8±0.9	3.82±1.16	4.29±1.13	1.87±0.19	1.76±0.32
3 月	112±21	95±20	28.0±1.3	25.7±2.5	4.11±0.52	3.19±0.41	1.99±0.04	1.88±0.25
4 月	106±23	105±18	27.8±2.0	26.4±2.3	4.10±0.58	4.02±0.47	2.04±0.06	2.08±0.21
5 月	114±24	93±23	30.0±2.7	27.1±2.0	4.79±0.69	3.44±0.59	2.07±0.05	1.93±0.22
6 月	106±16	97±16	27.2±0.6	23.9±2.3	4.55±0.49	3.60±0.29	2.14±0.08	1.81±0.23
7 月	96±25	96±18	24.6±1.2	20.6±3.4	3.38±0.86	3.46±0.71	1.98±0.30	1.61±0.33
8 月	110±18	83±20	26.2±2.3	22.1±1.3	4.13±0.79	2.92±0.44	2.19±0.29	1.56±0.04
9 月	109±13	81±21	27.7±3.6	18.3±4.8	3.82±0.43	3.07±0.54	2.08±0.25	1.62±0.23
10 月	116±14		25.1±2.2		4.58±0.61		1.97±0.27	
11 月	115±14		25.7±2.4		4.59±0.42		1.84±0.18	
12 月	110±12		23.4±1.9		3.75±0.42		1.59±0.10	

表二(續). 民國 93 年 1 月至 94 年 9 月立霧溪流域水質量測結果月平均值之變動

水質分析項目	NH ₄ ⁺ , mg/L				K ⁺ , mg/L			
	立霧溪主流測點		砂卡礑溪測點		立霧溪主流測點		砂卡礑溪測點	
	93 年	94 年	93 年	94 年	93 年	94 年	93 年	94 年
1 月	< 0.02	< 0.02	未採樣	< 0.02	2.52±0.29	2.43±0.34	未採樣	2.48±0.20
2 月	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	2.47±0.70	2.62±0.59	2.28±0.11	2.09±0.54
3 月	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	2.29±0.38	2.43±0.43	2.31±0.06	2.53±0.26
4 月	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	1.89±0.49	2.42±0.67	2.15±0.20	2.66±0.23
5 月	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	2.16±0.45	2.05±0.39	2.13±0.21	2.56±0.17
6 月	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	2.31±0.39	2.31±0.43	2.40±0.13	2.74±0.21
7 月	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	2.75±0.57	2.55±0.84	2.79±0.07	2.09±0.27
8 月	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	2.59±0.50	3.10±0.81	2.72±0.13	2.64±0.26
9 月	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	2.32±0.28	3.17±0.99	2.53±0.17	2.56±0.23
10 月	< 0.02		< 0.02		2.51±0.37		2.52±0.13	
11 月	< 0.02		< 0.02		2.32±0.29		2.28±0.16	
12 月	< 0.02		< 0.02		2.49±0.44		1.97±0.06	
水質分析項目	Ca ²⁺ , mg/L				Mg ²⁺ , mg/L			
	立霧溪主流測點		砂卡礑溪測點		立霧溪主流測點		砂卡礑溪測點	
	93 年	94 年	93 年	94 年	93 年	94 年	93 年	94 年
1 月	76.5±8.3	77.3±5.9	未採樣	42.6±3.0	12.9±0.6	12.9±0.9	未採樣	5.3±0.2
2 月	69.5±11.9	80.4±9.2	40.9±2.0	48.9±1.5	10.7±1.9	12.2±2.1	5.0±0.3	5.0±0.7
3 月	68.7±9.3	73.7±9.9	44.3±3.9	47.7±3.9	12.3±0.9	11.4±1.2	5.7±0.3	5.0±0.4
4 月	67.6±9.6	73.0±6.6	41.2±1.5	42.5±3.1	12.6±0.9	12.1±0.7	5.7±0.1	5.1±0.6
5 月	69.7±9.5	67.4±8.3	43.9±4.8	41.1±5.0	13.1±1.2	11.4±0.9	5.7±0.1	5.0±0.4
6 月	67.2±10.8	70.6±6.6	42.3±1.5	45.3±3.1	12.0±0.9	11.7±0.7	5.5±0.1	4.2±0.9
7 月	61.4±12.3	66.6±7.4	53.2±21.8	43.2±6.1	11.0±2.0	10.8±1.7	4.9±0.5	3.9±0.8
8 月	64.4±7.3	62.7±10.1	38.9±3.5	41.2±3.4	11.8±1.8	9.6±1.6	5.5±0.2	4.4±0.4
9 月	64.9±6.5	65.6±8.1	38.9±0.8	46.2±12.6	11.1±1.1	9.6±1.6	5.1±0.5	3.8±1.0
10 月	68.6±6.2		38.5±7.0		12.0±1.1		5.1±0.4	
11 月	70.4±7.1		44.1±13.2		12.4±0.7		4.9±0.2	
12 月	74.9±6.9		41.8±4.2		11.7±0.9		4.5±0.5	
水質分析項目	河川污染程度指標(River Pollution Index, RPI), 水質污染程度							
	立霧溪主流測點		砂卡礑溪測點					
	93 年	94 年	93 年	94 年				
1 月	1.6±0.9,未(稍)受污染	1.4±0.6,未(稍)受污染	未採樣	1.0±0.0,未(稍)受污染				
2 月	2.4±1.1, 輕度污染	1.6±1.0,未(稍)受污染	1.0±0.0,未(稍)受污染	1.0±0.0,未(稍)受污染				
3 月	2.4±1.0, 輕度污染	2.5±1.0, 輕度污染	1.0±0.0,未(稍)受污染	1.0±0.0,未(稍)受污染				
4 月	1.9±0.9,未(稍)受污染	1.7±0.8,未(稍)受污染	1.0±0.0,未(稍)受污染	1.0±0.0,未(稍)受污染				
5 月	1.8±0.8,未(稍)受污染	2.1±0.9, 輕度污染	1.0±0.0,未(稍)受污染	1.0±0.0,未(稍)受污染				
6 月	2.5±0.9, 輕度污染	2.1±0.9, 輕度污染	1.0±0.0,未(稍)受污染	1.0±0.0,未(稍)受污染				
7 月	2.9±0.8, 輕度污染	2.6±0.9, 輕度污染	1.0±0.0,未(稍)受污染	1.4±0.4,未(稍)受污染				
8 月	2.0±0.7, 輕度污染	3.1±0.7, 中度污染	1.0±0.0,未(稍)受污染	2.0±1.0,未(稍)受污染				
9 月	2.1±0.7, 輕度污染	3.0±0.5, 輕度污染	1.0±0.0,未(稍)受污染	1.8±1.0,未(稍)受污染				
10 月	1.6±0.9,未(稍)受污染		1.0±0.0,未(稍)受污染					
11 月	2.0±0.9, 輕度污染		1.0±0.0,未(稍)受污染					
12 月	2.8±0.9, 輕度污染		1.1±0.3,未(稍)受污染					

由各測點溪水中的酸鹼值的量測結果，不論是主流或是砂卡礑溪接呈現相對穩定的變化，季節差異不大，pH 值月平均值在 8.1~8.5 間變化，民國 93 年平均值為 8.4±0.1，與金恆鑣等監測結果 8.1±0.4（平常）、8.1±0.3（暴雨流）相比，立霧溪流域水中 pH 有些微增加的現象，由於自然水體中鹼度的來源為 CO_3^{2-} 離子，由溪水中 pH 增加的結果推論，溪中岩石或懸浮固體物溶出的 CO_3^{2-} 離子應有增加的趨勢。

自然水體中電導度的高低與其溶解性固體含量有密切關聯，當溪水對於岩石的溶蝕能力越強時，固體溶解量越高則電導度數值也越高。由立霧溪流域水中電導度的量測結果顯示，立霧溪主流溪水中電導度測值明顯高於砂卡礑溪，民國 93 年立霧溪主流測點所測得水中電導度的年平均值為 425±38 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ；而砂卡礑溪所測得則為 251±20 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ，造成溪水電導度的差異主要為地質特性差異所導致，立霧溪在天祥以上支流如大砂溪、瓦黑爾溪與塔次基里溪多流經較為脆弱破碎的片岩區（包含黑色片岩、綠色片岩、砂質片岩混雜的區域），河川上下游的高程落差大，使得溪水對於岩石的侵蝕能力較大，而砂卡礑溪則流經岩性堅硬的變質石灰岩區，溪水對於岩層的侵蝕能力不若主流顯著，而造成兩者在溪水電導度測值的差異。回顧民國 75~76 年金恆鑣等的同樣針對立霧溪主流電導度的量測結果，其數值為 333±79 $\mu\text{s}/\text{cm}$ （平常）、173±40 $\mu\text{s}/\text{cm}$ （暴雨流）相比，立霧溪流域水中電導度增加接近 30%，推究其原因，可能為歷年颱風暴雨將大量土石沖刷至溪谷中，使得溪谷內溪水與岩石砂礫的接觸面積增大，增加固體的溶解量而造成水中電導度數值的增加。

（二）、與人為活動較為有關的水質監測項目的量測結果

本研究所監測的水質監測項目中，可用於直接評估人為活動對於水質影響程度的項目，包含生化需氧量（BOD）、 NH_4^+ 、 PO_4^{3-} 等，其中生化需氧量表示水中有機物的濃度，其主要污染來源為生活污水，溪水中 NH_4^+ 離子則來自糞尿污水或農業施肥，而水中 PO_4^{3-} 離子則主要來自清潔劑的使用與農業施肥。

由立霧溪流域各水質監測點水中生化需氧量（BOD）的監測結果顯示。其月平均值在 0.1~0.4mg/L 間變動，顯示水中有機污染物濃度低，符合我國陸域地面水體甲類河川 BOD < 1mg/L 的水質標準，同時與民國 76~77 年間金恆鑣等監測結果 1.2mg/L 相比，顯示立霧溪流域水中有機污染物濃度呈現下降趨勢，水質相當優良。至於溪水中 NH_4^+ 與 PO_4^{3-} 離子濃度，幾乎所有樣品皆小於離子層析儀分析極限 0.02mg/L，顯示目前立霧溪流域水質尚未受到人為活動的影響。

（三）、立霧溪流域溪水中水溶性離子物種濃度的量測結果

本研究為了增加對於水質特性的解析能力，增加水中水溶性離子物種的量測。除了前節描述的 NH_4^+ 與 PO_4^{3-} 離子小於 0.02mg/L 外，將各離子物種濃度的量測的平均值分別為：F⁻：0.07±0.02mg/L(主流)、0.05±0.03mg/L(砂卡礑溪)；Cl⁻：0.50±0.05mg/L(主流)、1.80±0.30mg/L(砂卡礑溪)；NO₃⁻：1.51±0.38mg/L(主流)、2.32±0.31mg/L(砂卡礑溪)；SO₄²⁻：106.0±12.4mg/L(主流)、25.4±2.8mg/L(砂卡礑溪)；Na⁺：3.96±0.59mg/L(主流)、1.90±0.19mg/L(砂卡礑溪)；K⁺：2.46±0.30mg/L(主流)、2.42±0.24mg/L(砂卡礑溪)；Ca²⁺：69.6±4.9mg/L(主流)、43.3±3.6mg/L(砂卡礑溪)；Mg²⁺：11.7±0.97mg/L(主流)、4.97±0.55mg/L(砂卡礑溪)。

綜觀立霧河流域水溶性離子物種的特性，『地質特性』仍為影響溪水中離子物種組成的主要影響因子。立霧溪主流自天祥以上流經由黑色片岩、綠色片岩、矽質片岩混雜的區域，其中黑色片岩中的磺鐵礦(主要成份為 FeS)、綠色片岩中的綠泥岩(含有 Mg 的成分)、矽質片岩(含有 Na 成分)，經由物理化學風化與河水的侵蝕，導致主流所測得的 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 離子濃度皆高於砂卡礫流域(主要流經為變質石灰岩區)。溪水中 K^+ 離子濃度的來源，由金恆鑣等研究結論認為主要為雨水淋洗表土有機質所產生，與岩層成分較無關聯，因此主流與砂卡礫溪的測值差異不大，至於表土中經常存在的營養鹽 NO_3^- 離子，砂卡礫溪濃度值大於主流，主流在暴雨期間 NO_3^- 離子則有突增的現象，將於下節詳加說明。

回顧民國 75~76 年金恆鑣等研究結果， Cl^- ：1.9±1.9mg/L(平常)、2.0±2.0mg/L(暴雨)； NO_3^- ：1.8±1.4mg/L(平常)、1.5±0.2mg/L(暴雨)； SO_4^{2-} ：46.6±23.0mg/L(平常)、43.4±7.5mg/L(暴雨)； Na^+ ：4.5±1.7mg/L(平常)、3.7±0.7mg/L(暴雨)； K^+ ：2.4±1.0mg/L(平常)、3.2±1.3mg/L(暴雨)； Ca^{2+} ：60.8±8.7mg/L(平常)、62.1±30.5mg/L(暴雨)； Mg^{2+} ：10.0±3.8mg/L(平常)、11.5±11.0mg/L(暴雨)。與本研究監測結果相比較，以 SO_4^{2-} 離子濃度的增幅最大，其餘離子物種的濃度差異不大，推就其原因，與片岩區物理化學風化加上暴雨沖刷，使得岩層內的含硫成分，被河水溶蝕的機會增加有關。

(四)、暴雨逕流對於立霧河流域溪水水質的影響

由表二水質分析結果顯示，立霧河流域(特別是主流)在暴雨過後，溪水中懸浮固體物濃度與主要離子物種皆有明顯波動的現象，本節將深入探討暴雨逕流對於立霧河流域水質特性的影響。

表三為收集台灣電力公司於立霧河流域，溪畔、綠水、洛韶與合歡啞口等 4 個雨量站的降水量資料、中央氣象局花蓮氣象站降水量資料及影響台灣地區之顯著降雨事件(以發布颱風警報者為主)的彙整表。由表三結果顯示，隨著颱風環流與鋒面通過，立霧河流域的降雨量皆十分顯著，而花蓮站與流域平均降雨量在受到颱風影響時間呈現一致的變化。

為了突顯暴雨發生前後立霧溪水質的變化，特將自 92 年 7 月至 94 年 9 月於立霧溪主流各測點水中懸浮固體物濃度、 SO_4^{2-} 離子濃度(代表與地質相關離子物種)與 NO_3^- 離子濃度(與表土有機質成分相關)的監測結果隨時間的變化，與明顯暴雨事件發生時間作一對照，結果如圖二所示。由圖二可明顯看出，颱風暴雨發生後水中懸浮固體物濃度與 NO_3^- 離子濃度呈現增加的趨勢(K^+ 離子也有相同變化)，而 SO_4^{2-} 離子濃度則呈現顯著下降，呈現『V』字的變化(其他如 Na^+ 、 Mg^{2+} 等與地質相關離子也有相同變化)。為進一步探討暴雨發生對於水質變動的影響機制，吾等將民國 93 年於綠水站所測得的水中懸浮固體物濃度、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 與 NO_3^- 離子濃度，分別與其日平均流量進行迴歸分析，其結果如圖三所示。

由圖三(A)顯示綠水站月平均流量與由流域內雨量站計算的月平均累積雨量呈現高度線性相關， R^2 高達 0.94，說明流域內降水量的變化直接反應在河川流量的變化上。圖三(B)則為綠水站測得水中懸浮固體物濃度與其平均流量的迴歸分析結果，水中懸浮固體物濃度與平均流量兩者呈現高度的線性相關， R^2 高達 0.88，說明伴隨暴雨發生地表逕流夾帶大量表土進入河川，除了導致河川流量的激增，水中懸浮固體物濃度也隨之暴增。至於暴雨逕流對於水中離子物種濃度的影響，由綠水站測得 SO_4^{2-} 離子與 Mg^{2+} 離子濃度與平均流量的迴歸分析結果，兩者呈現乘冪

關係（詳見圖三(C),三(D)），相關係數 R^2 分別為 0.61 及 0.73，乘冪係數計算結果分別為 SO_4^{2-} 離子的-0.2988， Mg^+ 離子的-0.2742，說明暴雨逕流造成河川流量的增加，而對溪水中與地質相關的離子產生顯著的稀釋作用使得其濃度下降，兩者呈現屬於中高程度的負相關。圖三(E),三(F)則各別為綠水站水中 NO_3^- 離子測值與其日平均流量及水中懸浮固體物濃度測值的迴歸分析結果，兩者同樣亦呈現乘冪關係， NO_3^- 離子與河川平均流量相關係數 R^2 為 0.44，而與水中懸浮固體物的濃度相關係數 R^2 為 0.53，呈現中度正相關，水中 NO_3^- 離子應主要來自懸浮固體物（表土），由於表土中 NO_3^- 離子含量分布較不均勻，使得相關係數較低。

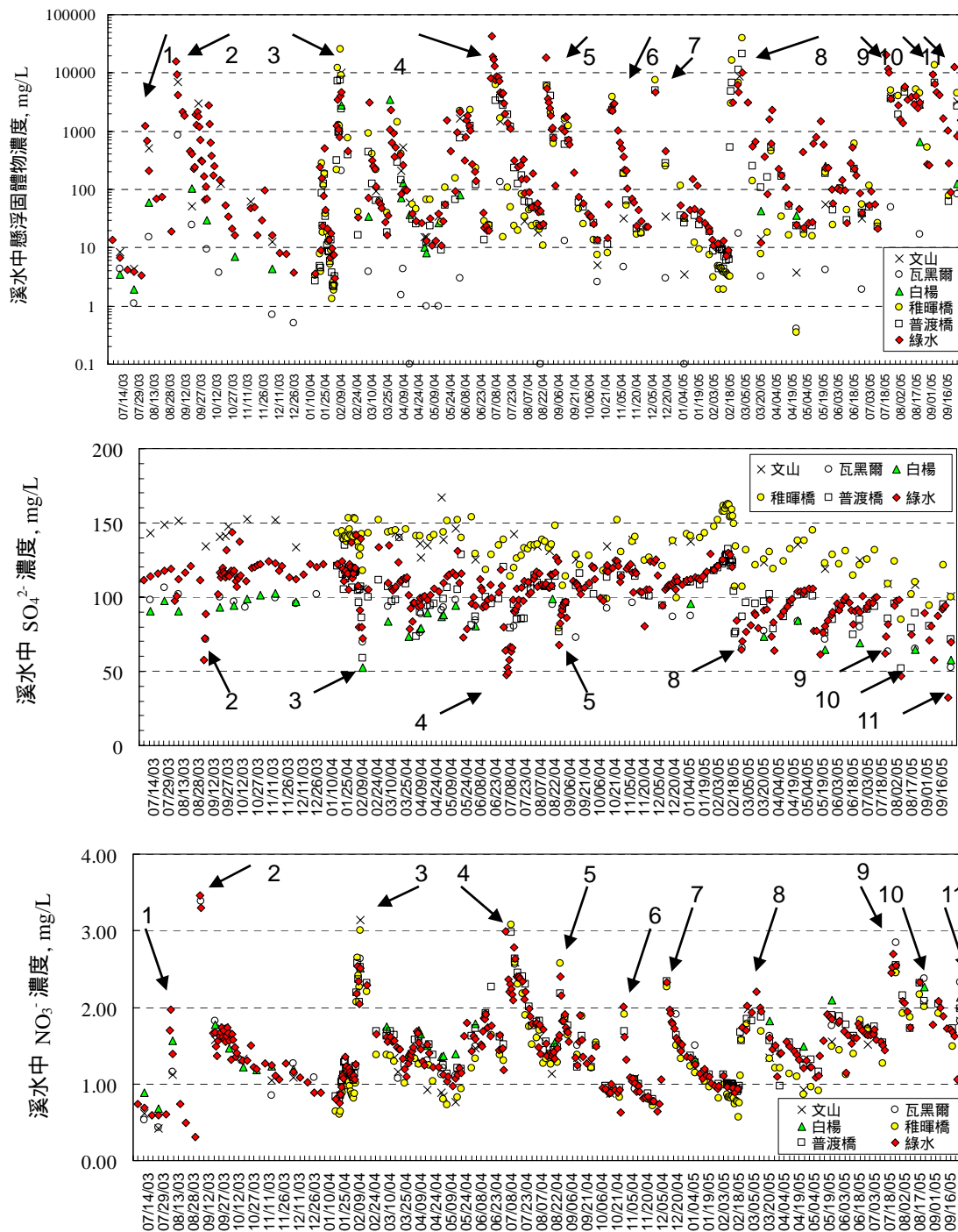
綜合迴歸分析結果，探究暴雨逕流在溪水水質變化中扮演的角色：當流域內有顯著降雨時，暴雨逕流隨之增加造成河川流量激增，在暴雨逕流匯流進入河川的過程，夾帶大量表土進入而造成水中懸浮固體物濃度的暴增，同時也將表土中的營養鹽 NO_3^- 、 K^+ 離子溶解進入溪水造成其濃度的增高；而暴雨逕流造成河川流量激增，對於需要較長時間經由物理化學風化溶蝕的地質相關離子物種，則由於雨水的『稀釋作用』反而使其濃度呈現降低趨勢。

表三. 立霧河流域累積降雨量月平均值及影響台灣地區之顯著降雨事件彙整

時間	降雨量	累積降雨量, 月平均值, mm					顯著降雨事件	
		溪畔	綠水	洛韶	合歡啞口	流域平均		花蓮
民國 93 年	1 月	22.5	38.0	82.0	142.5	71.3	66.0	無
	2 月	76.0	102.5	174.5	342.0	173.8	70.0	春雨鋒面
	3 月	70.0	74.5	132.5	287.0	141.0	84.5	春雨鋒面
	4 月	36.0	49.5	58.5	195.5	84.9	19.5	無
	5 月	103.0	95.5	119.5	331.5	162.4	179.5	納坦颱風
	6 月	48.0	50.5	88.5	69.0	64.0	142.5	康森颱風
	7 月	493.5	486.0	433.0	891.5	576.0	471.0	敏督利、康柏斯颱風
	8 月	94.0	81.5	126.0	264.0	141.4	51.0	無
	9 月	203.0	107.0	102.0	90.0	125.5	347.5	海馬、米雷颱風
	10 月	132.5	97.0	99.0	107.5	109.0	121.0	納坦颱風
	11 月	4.5	4.5	4.0	1.0	3.5	123.5	無
	12 月	582.0	971.5	556.5	268.5	594.6	307.0	南瑪督颱風
民國 94 年	1 月	台電降水量年表尚未統計 尚無資料以供彙整					22.0	無
	2 月						109.0	春雨鋒面
	3 月						116.0	春雨鋒面
	4 月						34.5	無
	5 月						240.0	梅雨鋒面
	6 月						212.0	梅雨鋒面
	7 月						492.2	海棠颱風
	8 月						358.5	馬莎、珊瑚颱風
	9 月						709.0	泰利、丹瑞、卡努颱風

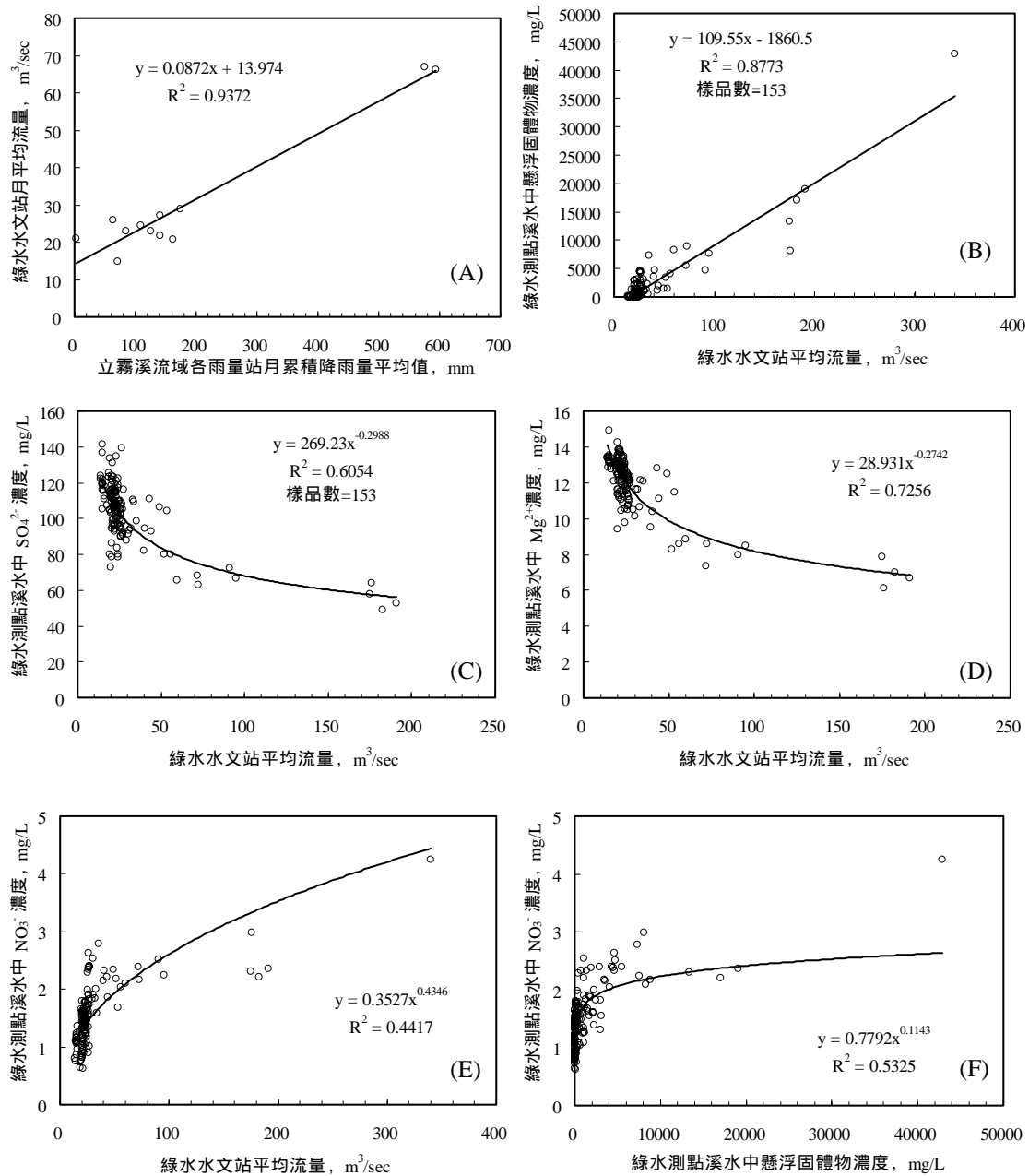
資料來源：1.溪畔、綠水、洛韶及合歡啞口站資料來自台電降水量統計年表。

2.花蓮站雨量資料來自中央氣象局花蓮氣象站。



- 1：莫拉克颱風影響過後；2：杜鵑颱風影響過後；3：春雨鋒面影響過後；
- 4：敏督利颱風影響過後；5：艾莉颱風影響過後；6：海馬颱風影響過後；
- 7：南瑪督颱風影響過後；8：春雨鋒面影響過後；9：海棠颱風影響過後；
- 10：馬莎、珊瑚颱風影響過後；11：泰利颱風影響過後；

圖二. 立霧溪主流各測點測得水中懸浮固體物、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 濃度隨時間變化圖



(A).綠水站所測得河川月平均流量與流域月平均降雨量關係圖
 (B).綠水站所測得水中懸浮固體物濃度與河川平均流量關係圖
 (C).綠水站所測得水中 SO_4^{2-} 濃度與河川平均流量關係圖
 (D).綠水站所測得水中 Mg^{2+} 濃度與河川平均流量關係圖
 (E).綠水站所測得水中 NO_3^- 濃度與河川平均流量關係圖
 (F).綠水站所測得水中 NO_3^- 濃度與水中懸浮固體物濃度關係圖
 資料期間：民國 93 年 1 至 12 月，有效樣品數 153 個

圖三. 立霧溪流域綠水水質測點所測得水中懸浮固體物、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 NO_3^- 濃度與河川平均流量的關係圖

由表二及圖二的結果顯示，暴雨逕流的發生使得立霧溪主流水中懸浮固體物濃度由原先的10~100mg/L 激增至 1000~10000mg/L 以上，增幅達十至數百倍，使得河川污染程度指數 (RPI) 的計算結果，溪水水質由平常的『未(稍)受污染』惡化至『中度污染』程度。暴雨逕流對於表土的沖刷作用為導致立霧溪流域水質惡化的主要因素。

四、結 論

本研究針對立霧溪流域進行水質監測，監測項目包含水溫、電導度、酸鹼值、溶氧、生化需氧量、懸浮固體物與水溶性離子物種 (F、Cl⁻、NO₂⁻、NO₃⁻、PO₄³⁻、SO₄²⁻、Na⁺、NH₄⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺等物種)，量測結果並以河川污染程度指標(River Pollution Index ,RPI)評估立霧溪流域水質污染程度。結果顯示，溪水水溫與溶氧量主要隨著季節穩定變化，酸鹼值則維持在 8.1~8.5 間，生化需氧量量測結果符合我國甲類河川的標準，流域水質優良尚未受到人為活動的影響。由水中電導度、懸浮固體物濃度的監測結果顯示，立霧溪流域各支流以大砂溪流域的數值最高，而砂卡礑溪流域相對呈現較低數值。立霧溪流域各測點所測得水中主要的離子物種中仍以與地質條件有密切相關的 SO₄²⁻、Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺測值較高，K⁺、NO₃⁻、Cl⁻等與人為活動較有關聯的離子物種濃度較低。在未受暴雨影響的晴天日，立霧溪流域各監測點水質多屬於『未(稍)受污染』程度，當流域內有顯著降雨發生時，溪水中懸浮固體物濃度由平常時期的<100mg/L 激增至 1000~10000mg/L 以上，濃度增幅達十至數百倍，導致溪水水質呈現『中度污染』程度。暴雨對於表土的沖刷作用為導致立霧溪流域水質惡化的主要因素。經由迴歸分析驗證，暴雨逕流對於溪水中懸浮固體物濃度的增加呈現高度線性相關 (R²=0.88)，對於立霧溪主流水中與地質元素相關的離子物種有顯著的稀釋作用造成濃度下降，對於與表土有關的營養鹽類(NO₃⁻與 K⁺) 則有淋溶效應造成其濃度的增加。

五、誌 謝

感謝太魯閣國家公園管理處黃文卿處長指導與保育課所有同仁的協助，使得本研究得順利完成，在此一併致謝。

六、引用文獻

- 金恆鏞、陳燕章、程煒兒，1988。“太魯閣國家公園峽谷區的瀑布與湧泉水質調查”內政部營建署太魯閣國家公園管理處研究報告。
- 許文昌，2003。“立霧溪流域水質監測初期研究”研究報告。
- 許文昌、陳孟江、廖崇志、李欣怡、張崇哲、徐立科，2003。“立霧溪流域水中懸浮固體物與離子物種特性分析”2003 資源與環境研討會論文集,271-280 頁，花蓮，台灣。
- 許文昌，2004。“太魯閣國家公園環境監測立霧溪水質監測計畫”，內政部營建署太魯閣國家公園管理處研究報告。

許文昌，2005。“太魯閣國家公園非生物環境監測峽谷段水域及空域間測計畫”，內政部營建署太魯閣國家公園管理處研究報告。

行政院環境保護署網址 <http://www.epa.gov.tw>，環境檢驗所資訊網網址 <http://www.niea.gov.tw>。

中央氣象局全球資訊網，<http://www.cwb.gov.tw/index.htm>。

台灣電力公司 2004 年日降水量年表（溪畔、綠水、洛韶及合歡啞口四站）及綠水站日流量年表。

The water quality characteristics of Liwu river basin

Wen-Chuang Hsu^{1, 2}

(Manuscript received 14 November 2005 ; accepted 26 December 2005)

ABSTRACT : This study monitors the water quality in Liwu river basin. The measured items of water quality monitoring included temperature, conductivity, pH, dissolved oxygen (DO), biochemical oxygen demand (BOD), suspended solid (SS) and water-soluble ion species (F^- , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}). The measured results are expressed by RPI (river pollution index), consisting of DO, SS, NH_3-N , BOD to assess the water quality. The results showed that the condition of the water quality from the monitoring sites in Liwu river basin was 'unpolluted level' on a sunny day which was not under the influence of rainstorms. When remarkable rainstorms occurred in the basin, the concentration of the SS in river water was increased and the range was ten to hundred times comparing to the result on a sunny day. The condition of the water quality was aggravated to 'medium polluted level'. The major factor causing the aggravation of the water quality in Liwu river basin was the erosion caused by storm runoff carried a large amount of surface soil into the river. The major water-soluble ion species measured from the monitoring sites along Liwu River basin were SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , which are extremely interrelated to the elements of geology. The concentration of K^+ , NO_3^- , Cl^- , which are immensely connected with human activities was lower. Storm runoff plays a remarkable role not only on decreasing concentration of geologic ion species (like SO_4^{2-} and Mg^{2+}) in river water, but also on increasing concentration of nutritive ion species (like NO_3^- and K^+) in river water.

KEYWORDS : Liwu river, water quality, river pollution index, storm runoff

1. Department of Environmental Resources Management, Dahan Institute of Technology.
2. Corresponding author.