

台灣北部牡丹溪魚類生物整合指數之建立與應用

林信輝⁽¹⁾ 林鑑澄⁽²⁾ 簡仔貞⁽³⁾

摘要

利用淡水魚類資料做為評估環境品質狀態之生物整合指數，已在世界各國廣為應用，但國內相關之研究卻尚未普及。因此本研究於台北縣雙溪鄉牡丹溪選擇 3 個測站，在 2003-2008 年期間進行 15 次現場魚類調查，共採集魚類 5 科 16 種，將研究調查所得魚類引用 Karr 所制定之 IBI 評估法及 Joy 所制定之 MSRL 評分法進行牡丹溪 IBI 評估標準之建置。由 IBI 之變化發現，牡丹溪會受到人為干擾、豪雨及混凝土構造物影響，導致產生較差的水域棲地品質，其中以豪雨對於水域棲地影響最顯著但時間短暫，而人為干擾及混凝土構造物則對水域棲地有長期之不良影響。

(**關鍵詞**：魚類、生物整合指數、豪雨、水域棲地)

Establishment and Application of Fish Index of Biotic Integrity of Mu-Dan Creek in Northern Taiwan

Shin-Hwei Lin⁽¹⁾

Professor, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C.

Jiann-Cherng Lin⁽²⁾, Yu-Chen Chien⁽²⁾

Graduate Student, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C.

Abstract

The index of biotic integrity, based on fresh water fish data to evaluate environmental qualities, is widely used in many countries; however, the related researches are still few in Taiwan. This study chooses 3 stations from Mu-Dan creek, Swan-Shi Township, Taipei County, where 16 species from 5 families of fish has been found after 15 times of fish investigation proceeded during 2003-2008. IBI

⁽¹⁾ 國立中興大學水土保持學系教授

⁽²⁾ 國立中興大學水土保持學系博士研究生

⁽³⁾ 國立中興大學水土保持學系博士研究生

evaluation method and MSRL grading method, which were developed by Karr and Joy respectively, were introduced to establish IBI evaluation standards for Mu-Dan creek. By tracing the changes of IBI, the study results has indicated that man-made interference, torrential rain and concrete structures will deteriorate aqua-habitat environment of Mu-Dan creek, in which, the torrential rain has the most obvious yet short effect, while man-made interference and concrete structures have long term effect on aqua-habitat environment.

(**Keywords:** fish、index of biotic integrity, torrential rain, aqua-habitat environment)

前言

溪流內含眾多種類的生物，其中魚類是河溪水域生態系的最高級消費者，河溪生態系之生物與環境的變動，最終會反應至魚類的變化與組成，再者，魚類具有自主移動能力，會有遠惡水而移，擇良水而棲的本能，由魚類組成的改變，能一探河溪環境的變動狀態，並可作為評估河溪環境之主要指標。魚類群聚結構被廣泛地用來評價包括人為影響之水質惡化的及水域生態棲地改變問題 (Karr, 1981; Maret *et al.*, 1997; Wolter *et al.*, 2000; Angermeier and Davideanu, 2004; Pirhalla, 2004)，魚類群聚差異不僅與眾金屬含量有關，也可能受食物來源、自然狀況 (流域大小、流量、森林面積、底質及水生植物) 及 pH、溶氧等影響 (Bervoets *et al.*, 2005)。雨量大小及雨量季節性分布差異，直接影響河水流量及枯水期、豐水期的週期，也會影響魚種的生存與生殖；氣候變化對植被的影響會改變其對河川的生物量輸入，浮游生物可能因氣候暖化造成物候改變及數量衰減 (Winder and Schindler, 2004)，而這兩者是河川食物網最主要的能量基礎，直接衝擊魚類可使用的資源。淡水魚類自受到全球經濟發展的影響，近年來除了因水土保持不良、農

藥濫用、家庭及工廠污水排放，以及非法電魚及毒魚的威脅，使其棲地環境惡劣外，外來種的引進，更是原生種魚類減少或瀕臨滅絕的一大因素 (Lodge *et al.*, 1998)。

淡水魚的習性、棲性、食性等生態資料以及耐污染的程度，可以成為良好的水質生物指標，在日本及歐美已被廣為使用 (李明儒, 2004)。魚類生物整合指數 (index of biotic integrity, IBI) 最早是由 Karr (1981) 所發展 (表 1 所示)，主要應用於美國中西部上游溫水系河川，之後被許多生物學家及生態學者廣泛用在美國許多河流中生物之監控，作為環境變化的監控。Schulz *et al.* (1999) 研究發現 IBI 可有效的預測人為因素對湖泊大面積水域之觀測數據及優養化程度的影響；Kesminas and Virbickas (2000) 利用魚類組成、群落結構、魚種食性、豐度與單位面積生物量調查立陶宛 60 條河流，利用 IBI 將河川環境品質進行分級；Joy and Death (2004) 在紐西蘭使用 1980-2002 年全島共 5497 個地點的魚類資料，利用 IBI 評估紐西蘭河溪的環境品質狀態，發現 IBI 能符合實際魚類族群狀態，達到環境品質評估與監測目的；Kovacs *et al.* (2002) 利用指標魚種與 IBI 探討造紙廠紙漿排放物的處理與否對於魚類群聚的影響，結果發現改善處理後之造紙廠流出物，對於魚類群落組成有益。IBI 進一步可根據地形與不同地理

表 1. Karr 制定之 IBI 評分表

Table 1. The IBI assessment metrics established by Karr

評估計量(metrics)	評分等級		
	5	3	1
魚種豐多度與組成	依照溪流之尺度與所在區域給予 1-5 之評值		
1 原生魚類種數			
2 底棲性魚類種數			
3 棲息水層中魚種數			
4 長生命週期魚種數			
5 低容忍性魚類的數量			
6 高容忍性魚類的數量(%)	< 5	5-20	> 20
魚類營養階層(食性)	依溪流之尺度與區位給予評值		
7 雜食性魚種個體的百分比(%)			
8 食蟲性魚種個體的百分比(%)			
9 食魚性魚種(最高階肉食性魚種)個體的百分比(%)			
樣本中魚類個體的數量與狀態	依溪流之尺度與區位給予評值		
10 魚類取樣個體數			
11 外來種或雜交種個體的百分比(%)			
12 生病或畸形個體的百分比(%)	0	0-1	> 1
	0-2	2-5	> 5

資料來源：修改自 Allan(1995), 引自 karr(1991)

區位進行適度的修正，如 Smogor and Angermeier(2001)發現維吉尼亞州海濱平原地區與較高海拔地區之溪流中，其原生魚種具有很大的差異性，因此建議 IBI 評估需依地區差異分別建立不同的評分準則；Langdon(2001)指出 Karr 所發展的 IBI 並不適用於美國佛蒙特州的一些魚類少於 5 種之冷水系溪流，因此作者調查 18 個人為較少擾動與 11 個品質衰頹的冷水系溪流，建立冷水系溪流的 coldwater IBI(CWIBI)評分標準；Joy(2007)鑒於利用目視法去繪製最大種豐度線(maximum species richness line, MSRL)所制定魚類之 IBI 評分標準，會受人為判斷誤差影響產生不一致的評分狀況，因此選擇 Karr 發展的 IBI 利用 MSRL 所得出的六項計量，使用分量迴歸法(quantile regression)計算求得 MSRL 數值化給分方式，可提升 IBI 評估的精度，更能適用於不同地理條件下的溪流。

材料與方法

(一)研究區域

牡丹溪集水區隸屬台北縣雙溪鄉三貂村、牡丹村、三港村與新基村境內，集水區內全區劃屬山坡地，發源於台北縣雙溪鄉與瑞芳鎮交界的牡丹坑十三層，並匯入平林溪，與丁子蘭溪、枋腳溪與遠望坑溪匯集成雙溪流域；集水區面積約為 2600 公頃，河流長度約 14 公里。土地利用型態除屋舍建地之外，多為果園或農地，屬農業低產量地區，作物以水稻、竹、果樹為主，產業道路、社區沿溪構築，並且密集地緊鄰牡丹溪河岸，早期與河爭地情形無法管理，現今已缺乏緩衝帶河岸配置區域；上游地區早期為煤礦及金砂礦採區，現今已無礦業活動，上游沿岸多為裸地、裸岩或自然演生之林地，每遇颱

風豪雨，便有大量土石自上游沖刷而下，經常沖毀護岸及河床。

(二)調查測站

本研究自牡丹溪上游至下游選擇包含最上游端(M1)、政光一號橋(M2)及牡丹火車站(M3)共 3 個測站，進行魚類資料調查採集。牡丹溪各測站之座標及位置如表 2 及圖 1 所示。

(三)調查方法與時間

牡丹溪魚類調查以河道 50 公尺水域長度為採集之單位努力量(catch per unit of effort, CPUE)，沿河道呈 Z 字形路徑調查，使用背負式電魚器(backpack electric shocker)採集(電魚法)為主，配合小型蝦籠 5 個(口徑約為 12 公分)，誘餌為切斷的秋刀魚肉補充採集。魚類調查時間自 2003 年 4 月至 2005 年 10 月，每季調查一次；2006 年受限於經費不足因此中斷調查，延自 2007 年 12 月至 2008 年 9 月期間，再次進行四季補充調查，共計進行 15 次現場調查。本研究雨量資料申購自中央氣象局雙溪自動雨量站之資料，資料日期為 2003 年 1 月至 2008 年 9 月。

(四)生物整合指數

本研究應用魚類生物整合指數(IBM)進行研究分析，作為探討魚類族群變動及水域環境品質狀態評估的應用指數。IBM 主要參考 Karr 於 1981 年所提出之計算方式，並使用紐西蘭學者 Joy 於 2007 年利用分量迴歸法所創立之 MSRL 評分方法進行評分標準之制定，將表 1 所列之第 1-5 項及第 10 項計量，計算求得各項總量 33% 以下評值為 1 分，33%~66% 評值為 3 分，66% 以上評值為 5 分

之 IBM 評分值。其 MSRL 評分標準制定方式如圖 2 所示。

結果與討論

(一)魚類調查結果

牡丹溪自 2003 年 4 月至 2008 年 9 月期間，於 M1-M3 測站總共調查到魚類 5 科 16 種，數量共計 1173 隻，其中台灣鏟頰魚(又稱鰻魚)為最優勢魚種，佔總數量之 21.3%，其次為台灣石斑 佔 20.5%，再者為台灣馬口魚佔 14.9%，粗首鱸佔 12.1%。上述 4 種魚種佔全部調查數量之 68.8%，而台灣特有種魚類則佔全部調查數量之 63.34%。牡丹溪外來種(吉利慈鯛、日本鯽、朱文錦)僅佔全部調查數量之 5.1%，主要原因在於牡丹溪位處郊區，屬於野溪型態之溪流，且緯度及海拔高程較高(位處台灣北端，測站最低高程為海拔 130m)，相對於低海拔及溪流具有水溫低及水質優良之特性，此棲地環境甚為適合台灣特有種魚類棲息與繁衍，而喜歡高溫環境的外來種，僅分布於下游低海拔區域，致使台灣特有種魚類成為牡丹溪優勢魚種。

(二)IBM 評分標準之建立

牡丹溪 IBM 之應用評估，主要依據牡丹溪歷年所調查到的魚類資料，進行魚類鑑定與屬性分類(表 3)，將不同海拔高程(溪流不同海拔高程的評分標準需不同，因為高程越低，河幅越寬，相對的生態資源也會較高海拔地區豐富，但魚類物種卻相較高海拔地區耐污染且生態價值較低)之測站魚類資料加以分類，分成台灣特有魚種數、底棲性魚種數、棲息水層中魚種數、長生命週期魚種數、低

表 2. 牡丹溪魚類調查測站名稱與座標

Table 2. The TM 97 positions of the fish sampling stations in Mu-Dan creek

代碼	主流	調查溪流	測站名稱	高程 (m)	溪序	座標位置(TWD97)	
						X	Y
M1	雙溪	牡丹溪	最上游端	202	1	336123	2774848
M2	雙溪	牡丹溪	政光一號橋	143	2	335870	2773889
M3	雙溪	牡丹溪	牡丹火車站	98	2	335845	2772663

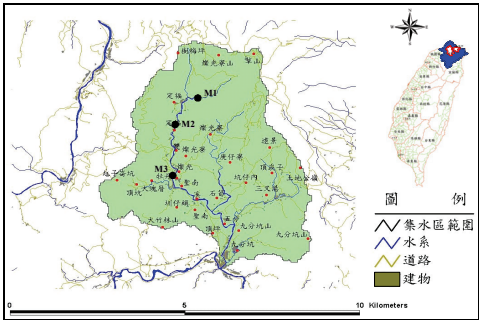


圖 1. 牡丹溪 M1-M3 測站位置圖
Figure 1. The location of stations M1-M3 in Mu-Dan creek.

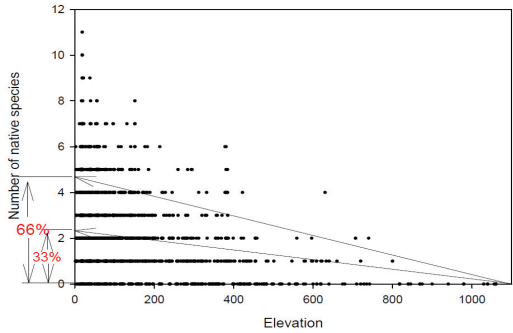


圖 2. 本研究採用之 MSRL 制定標準示意圖
Figure 2. The schematic diagram of score standards based on MSRL
資料來源：Joy (2007)

耐污魚種數及魚類取樣個體數共六項類別，依據 Joy(2007)所制定之 MSRL 繪製法制定此六項類別之評分標準(圖 3)。魚種營養屬性(食性)方面，由於本研究所調查到的魚類有關雜食性與食蟲性的判斷不易分類(食蟲性魚類可歸類於雜食性)，因此刪除 Karr 所制定魚類 IBI 評估項目之食蟲性魚類個體的百分比；魚類個體狀況方面，鑑定魚類是否屬於生病或是畸形狀態，需要將取回魚類樣本進行化驗，本研究基於保持生態完整之理念，因此放棄此項目評估，刪除生病或畸形個體的百分比(參閱表 1)，將魚類 IBI 的評估項目由 12 項減為 10 項，IBI 其他類別項目包含雜食性魚種、食魚性魚種、高容忍性魚種及外來種之個體的百分比之評分標準，則依據筏子溪集水區面積大小與調查所得魚種經分類統計後給予適當的評估值以建立筏子溪 IBI 之評

分標準(表 4)。而 IBI 評分標準採用張明雄等(1999)所簡化之 6 個等級，並依照比例原則，將評值訂為 excellent(45-50)； good(37-44)； fair(28-36)； poor(16-27)； very poor(< 16)及 no fish(表 5)，IBI 計算後最高總分為 50 分，最低分為 10 分。

表 5. 牡丹溪 IBI 評分等級表

Table 5. The IBI grading standards of Mu-Dan creek

IBI 分級標準	數值範圍
優良(excellent)	45-50
好(good)	37-44
尚可(fair)	28-36
差(poor)	16-27
極差(very poor)	< 16
無魚(no fish)	-

(三)IBI 變化探討

牡丹溪依據所調查到的魚種及數量代入表 4 經計算後得出 M1-M3 測站之 IBI 棲地環

表 3. 牡丹溪魚種屬性與食性表

Table 3. The attributes and nutrition composition of fish in Mu-Dan creek

科名	魚名	特有種	外來種	底棲性	水層活 動魚種	長生命 週期	低耐污	高耐污	雜食性	食魚性
鯉科	台灣石	✓			✓	✓	✓		✓	
	台灣馬口魚	✓			✓	✓	✓		✓	
	鯽				✓			✓	✓	
	朱文錦		✓		✓	✓		✓	✓	
	日本鯽		✓		✓	✓		✓	✓	
	鯛魚				✓	✓	✓		✓	
	粗首鱗	✓			✓	✓				✓
	平頰鱗				✓	✓			✓	
鰕虎科	明潭吻鰕虎	✓		✓			✓		✓	
	細斑吻鰕虎	✓		✓			✓		✓	
	大吻鰕虎	✓		✓			✓		✓	
	短吻紅斑吻鰕虎	✓		✓			✓		✓	
	日本禿頭鯊			✓			✓		✓	
平鰭鰍科	台灣纓口鰍	✓		✓			✓		✓	
慈鯛科	吉利慈鯛		✓		✓	✓		✓	✓	
鰻鱺科	鱸鰻			✓		✓		✓		✓

境品質等級如圖 4 所示。牡丹溪各測站之 IBI 值主要介於 20-40(差-好)之間，IBI 評值小於 27(無魚-差)佔 37.8%，而 IBI 值大於 36(好-優良)僅佔 24.4%，顯示牡丹溪棲地環境品質較常處於不良的狀態。探討各測站 IBI 值之變化可以發現，位處於 M1 測站下游之 M2 測站，IBI 值普遍大於 M1 測站，也代表 M2 測站的棲地環境較 M1 測站優良，產生此結果之原因主要在於牡丹溪集水區面積較小，最上游之 M1 測站雖然有較優良的水質，但此河段之洪枯水期明顯(氣候變化對於流量的影響很大)，導致 M1 測站無久居的魚類，致使牡丹溪最上游 M1 測站產生 IBI 評值較 M2 測站低的原因。M3 測

站的 IBI 評分值屬於牡丹溪較差的等級，其原因在於 M3 測站位處鄰近牡丹火車站的區位，周邊環境有較多的建物存在，會受到人為活動干擾及廢污水影響，導致 IBI 值為呈現較低的評分等級。此外，牡丹溪由於位處台灣北部地區，會受到颱風及東北季風影響，在夏季及秋冬季會降下較大的豪雨量，導致 2005 年 1 月產生 IBI 評分值最低，與圖 5 及圖 6 之雙溪雨量站降水量資料比較後發現，牡丹溪在 2004 年 8 月-10 月，日最大降水量皆超過 230mm，累計三個月的降水量 2257 mm，豪雨為導致 IBI 值迅速減少的原因，2007 年 9-11 月也發生日最大降水量連續三個月超過 150mm，累計三個月的降水量 1979.5 mm，但降雨強度較 2004 年 8

表 4. 牡丹溪 IBI 評分標準表
Table 4. The IBI score standards of Mu-Dan creek

Table 1. The ISI score standards of the Dan River					
評估度量(metrics)		海拔高程	評分等級		
			1 分	3 分	5 分
一、種類豐多度與組成					
1	台灣特有魚種數	202	0-1	2-3	>3
		143	0-2	3	>3
		98	0-2	3-4	>4
2	底棲性魚種數	202	0	1	>1
		143	0-1	2	>2
		98	0-1	2	>2
3	棲息水層中魚種數	202	0-1	2	>2
		143	0-2	3	>3
		98	0-3	4	>4
4	長生命週期魚種數	202	0-1	2	>2
		143	0-2	3	>3
		98	0-3	4	>4
5	低耐污魚種數	202	0-2	3	>3
		143	0-2	3-4	>4
		98	0-3	4-5	>5
6	魚類取樣個體數	202	0-15	16-23	>23
		143	0-20	21-28	>28
		98	0-23	24-32	>32
二、魚類營養階層					
7	雜食性魚種個體的百分比		> 65%	35-65%	< 35%
8	食魚性魚種個體的百分比		< 1%	1-5%	> 5%
三、耐污魚種數量					
9	高容忍性魚種個體的百分比		> 20%	5-20%	< 5%
10	外來種個體的百分比		> 1%	0-1%	0%

月-10 月小，因此對於 IBI 值的影響也較小。牡丹溪 M1-M3 測站總共進行 15 次現場調查，共累計 45 筆調查資料，經計算所得之 IBI 評分等級分布如圖 7 所示。位處北部郊區之牡丹溪 IBI 評值主要介於差至好的等級，差的等級明顯高於好之等級，造成牡丹溪棲地環境品質較不良的原因在於牡丹溪位處台灣北部會受到颱風及東北季風的影響產生豪大雨破壞棲地環境，且牡丹溪河道內混凝土化的狀況較為嚴重，溪床受到混凝土影響造成渠道化，破壞生物的棲息地，每

逢豪雨溪水便暴漲順流而下，嚴重威脅水域生物，因此牡丹溪水域生態系常處於不穩定狀態，也導致 IBI 評值較不穩定之原因。

結論與建議

(一)結論

1. 牡丹溪位處北部郊區，屬於野溪型態之溪流，且緯度及海拔高程較高(位處台灣北端，測站最低高程為海拔 130m)，相對於低海拔及溪流具有水溫低及水質優良之特性，此棲地環境甚為適合台

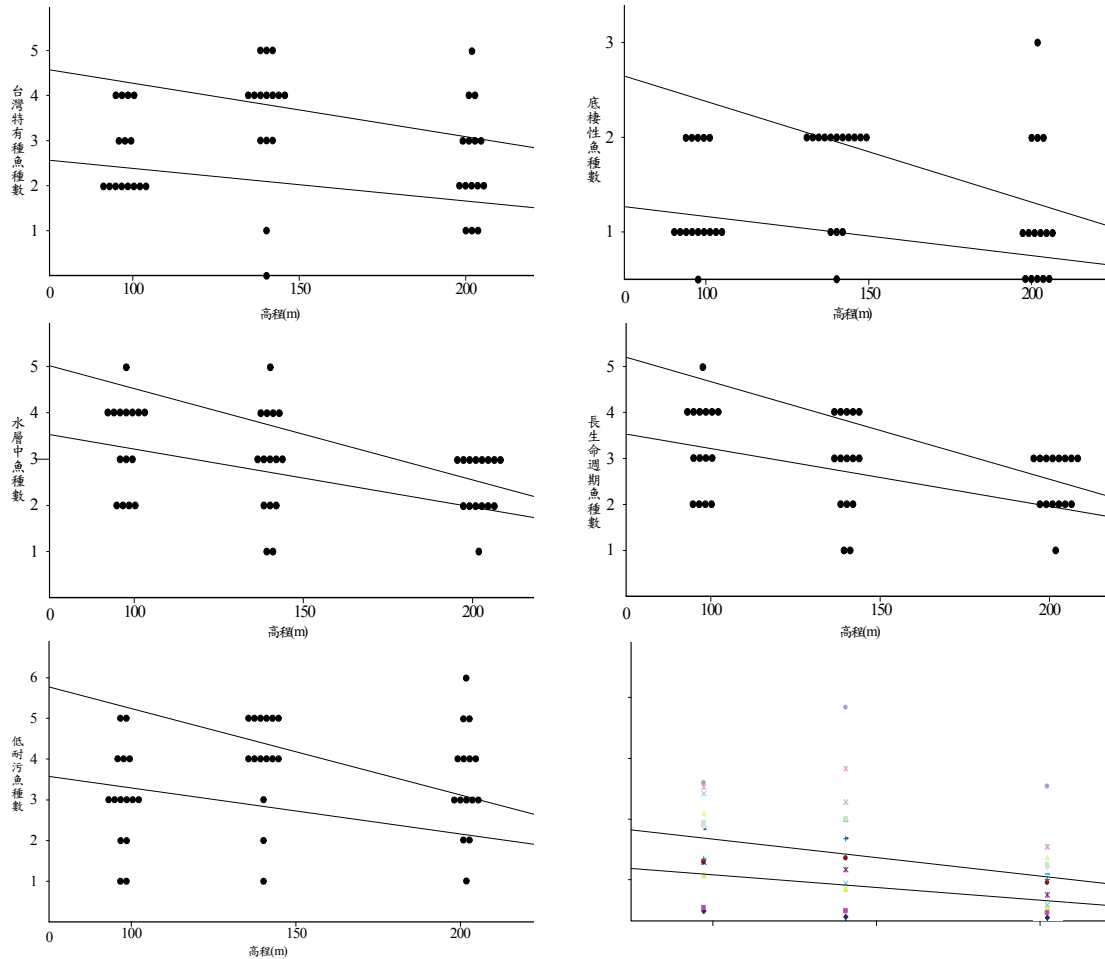


圖 3. 牡丹溪 MSRL 劃定之評分標準圖
Figure 3. The scoring standards of MSRL of Mu-Dan creek

灣特有種魚類棲息與繁衍，致使台灣特有種魚類成為牡丹溪優勢魚種(佔總魚類調查數量之 63.34%)。

2. M1 測站雖然有較優良的水質，但此河段之洪枯水期明顯，導致 M1 測站無久居魚類，致使牡丹溪最上游 M1 測站 IBI 評值較 M2 測站低。M3 測站的 IBI 評分值屬於牡丹溪較差的等級，其原因在於 M3 測站位處鄰近牡丹火車站的區位，周邊環境有較多的建物存在，會受

到人為活動干擾及廢污水影響，導致 IBI 值為呈現較低的評分等級。

3. 牡丹溪在 2004 年 8 月-10 月，日最大降水量皆超過 230mm，豪雨導致 IBI 值迅速減少，2007 年 9-11 月也發生日最大降水量連續三個月超過 150mm，但降雨強度較 2004 年 8 月-10 月小，因此對於 IBI 值的影響也較小。

4. 牡丹溪各測站之 IBI 值主要介於 20-40(差-好)之間，IBI 評值小於 27(無

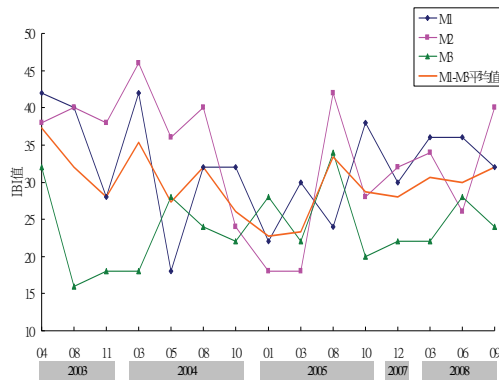


圖 4. 牡丹溪 M1-M3 測站 IBI 變化圖

Figure 4. The diagram of IBI changes of M1-M3 stations in Mu-Dan creek

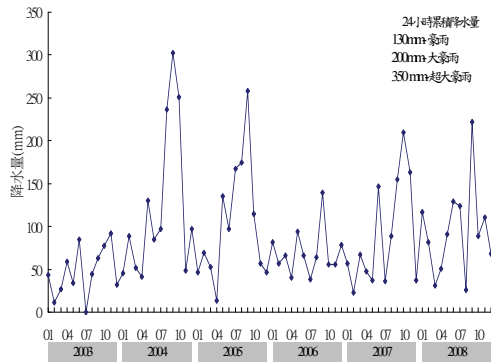


圖 5. 2003-2008 年雙溪雨量站日最大降水量統計圖

Figure 5. Statistic diagram of maximum precipitation of Swan-Shi station during, 2003-2008

魚-差)佔 37.8%，而 IBI 值大於 36(好-優良)僅佔 24.4%，顯示牡丹溪棲地環境品質較常處於不良的狀態，其原因在於牡丹溪位處台灣北部會受到颱風及東北季風的影響產生豪大雨破壞棲地環境，且牡丹溪河道內混凝土化的狀況嚴重，導致水域棲地破壞與河道渠道化，每逢豪雨溪水便暴漲順流而下，嚴重威脅水域生物，致使 IBI 評值產生不良結果。

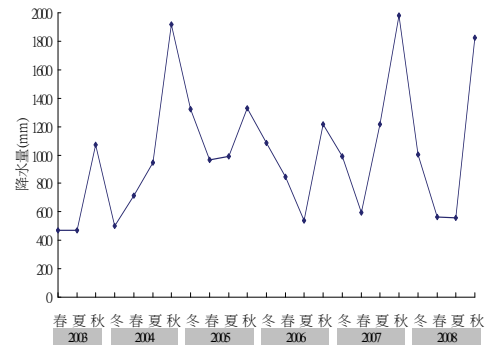


圖 6. 2003-2008 年雙溪雨量站季降水量圖

Figure 6. Statistic diagram of seasonal precipitation of Swan-Shi station during, 2003-2008

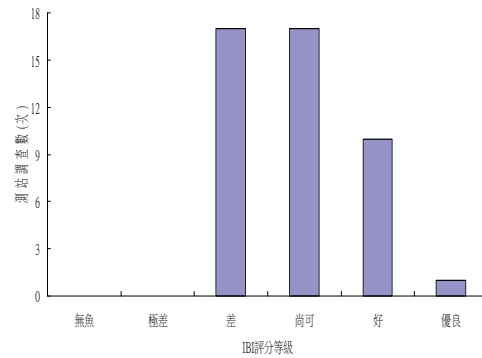


圖 7. 牡丹溪 IBI 評分等級分布圖

Figure 7. Diagram of IBI grading distribution of Mu-Dan creek

(二)建議

1. 國內對於生物種類歸類與鑑定之資料尚未健全，因此生物評估指數之應用上較欠缺完整基礎資料，這部份有待相關政府或學術單位進行生物資料建置，生物指數之應用才能廣泛推廣。
2. IBI 可用於評估河溪水域棲地環境之品質，本研究所制定之 IBI 評估標準，可提供相關研究參考，不同的海拔高程可利用

內插法去求出相對應的評分值，對於牡丹溪水域棲地品質評估提供實質的評估工具。

參考文獻

1. 李明儒(2004)，「頭汴坑溪環境生態評估指數之研究」，國立中興大學水土保持學系博士論文。
2. 張明雄、王慎之、邵廣昭(1999)，「生物整合指標(IBM)在台灣之應用：以後龍溪中上游水體環境為例」，中華民國生物學會-88 年度論文發表會。
3. Allan, J.D.(1995), Stream Ecology Structure and Function of Running Water. Chapman & Hall, New York. 329-330.
4. Angermeier, P. L. and G. Davideanu.(2004), Using fish communities to assess streams in Romania: initial development of an index of biotic integrity. *Hydrobiologia* (511): 65-78.
5. Bervoets, L., G. Knaepkens, M. Eens and R. Blust.(2005), Fish community responses to metal pollution. *Environmental Pollution* (138): 338-349.
6. Joy, M.(2007), A New Fish Index of Biotic Integrity using Quantile Regressions: the Fish QIBI for the Waikato Region, Environment Waikato Technical Report, p.1-10.
7. Joy, M. K. and R. G. Death.(2004), Application of the index of biotic integrity methodology to New Zealand freshwater fish communities. *Environmental Management* (34): 415-428.
8. Karr, J. R.(1981), Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* (6): 21-27.
9. Karr, J. R.(1991), Biological integrity: A long-neglected aspect of water resource management. *Ecological Applications* (1): 66-84.
10. Kesminas, V. and T. Virbickas.(2000), Application of an adapted index of biotic integrity to rivers of Lithuania, *Hydrobiologia* (422): 257-270.
11. Kovacs, T. G., P. H. Martel and R. H. Voss.(2002), Assessing the biological status of fish in a river receiving pulp and paper mill effluents, *Environmental Pollution* 118(1): 123-140.
12. Langdon, R. W.(2001), A preliminary index of biological integrity for fish assemblages of small coldwater streams in Vermont, *Northeastern Naturalist* 8(2): 219-232.
13. Lodge, D. M., R. A. Stein, K. M. Brown, A. P. Covich, C. Bronmark, J. E. Garvey and S. P. Klosiewski.(1998), Predicting impact of freshwater exotic species on native biodiversity: Challenges in spatial scaling.
14. Maret, T. R., C. T. Robinson and G. W. Minshall.(1997), Fish assemblages and environmental correlates in least-disturbed streams of the upper Snake River basin. *Transactions of the American Fisheries Society* (126): 200-216.
15. Pirhalla, D. E.(2004), Evaluating fish-habitat relationships for refining regional indexes of biotic integrity: development of a tolerance index of habitat degradation for Maryland stream fishes.

- Transactions of the American Fisheries Society (133): 144-159.
16. Schulz, E. J., M. V. Hoyer and D. E. Canfield.(1999), An index of biotic integrity: A test with limnological and fish data from sixty Florida lakes. Trans. Am. Fish. Soc. (128):564-577.
17. Smogor, R. A. and P. L. Angermeier.(2001), Determining a regional framework for assessing biotic integrity of Virginia streams, Transactions of the American Fisheries Society 130(1): 18-35.
18. Winder, M. and D. E. Schindler.(2004), Climate change uncouples trophic interactions in an aquatic ecosystem, Ecology (85):2100-2106.
19. Wolter, C., J. Minow, A. Vilcinskas and U. A. Grosch.(2000), Long-term effects of human influence on fish community structure and fisheries in Berlin waters: An urban water system. Fisheries Management and Ecology (7): 97-104.
-

98年06月05日收件

98年06月12日修改

98年06月17日接受