



集水區生態治理新思維

周伯愷／臺北翡翠水庫管理局簡任技正、國立臺北科技大學土木工程系土木與防災博士班

謝政道／臺北翡翠水庫管理局局長

近年來氣候異常極端降雨日益嚴重，水土災害成因日趨複雜，集水區治理之必要性及迫切性與日俱增。為避免集水區之水質、水量、生態因自然及人為破壞而日趨惡劣，必須綜合考量集水區整體特性及採取事先預防之理念，集水區治理方能收得成效。本文介紹二種有關集水區生態治理之新思維，一為集水區土砂保育健康診斷模式及健康指標建立，二為導入「健康流域管理」精神，結合「健康水源」做法，針對「健康水庫」五大評量指標，特別介紹水庫生態指標，並以翡翠水庫集水區為例進行個案探討，將集水區生態治理新思維提供國內其他水庫集水區應用參考。

前言

臺灣位處歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊交界處，同時位於環太平洋地震帶，長期受造山運動影響，地形及地質環境條件不佳而益顯脆弱。加以位處西太平洋颱風路徑上，每年固定約有3至4個颱風侵襲臺灣。有鑒於氣候異常極端降雨日益嚴重，水土災害成因日趨複雜，集水區遇暴雨時易沖刷表土泥砂及造成崩塌進入河川水體，為避免集水區之水質、水量因自然及人為破壞而日趨惡劣，必須對集水區土砂保育各相關問題進行全面性調查，並綜合考量集水區整體特性及採取事先預防之理念，建立集水區土砂保育健康診斷模式及其健康指標，藉以作為集水區治理之參考。

日愈劇烈的氣候變遷與水資源不均的問題，促使人們開始反璞歸真思考根本性的問題。美國環保署根據 Clean Water Act 建立「健康流域倡議 (Healthy Watersheds Initiative, HWI)」計畫，並提出「健康流域」之概念，並於2009年提出「Reservoir Fisheries Habitat Partnership」報告，建議策略性原則以保護水生棲地，並期能落實健康水庫系統 (Healthy Reservoir Systems)。根據美國環保署對於「健康流域」定義，並結合其對水源保護 (Healthy Source Watershed) 建議，可將其應用於定義「健康水庫」：可維持自然動態變化之水文和地表活動的天然地理

狀況；可維持原生水中與河岸生物，且有足夠大小與關連性的棲息地。換言之，「健康水庫」不僅指能提供穩定水質水量的水庫，更需顧及整體流域的生態系統，且能適度承受或調適天然災害或人為損害所造成的變異性。因此，有必要導入「健康流域管理」精神，結合「健康水源」做法，建立「健康水庫」之評量指標。「健康水庫」考量多面向的整合型指標，訂有水庫安全指標、水庫生態指標、水庫影響指標、水庫績效指標與水庫管理指標。其中，水庫生態指標係以用來評估氣候變遷對水環境生態造成之衝擊影響，且惟有以生態環境為首要考慮，維護健康的水環境，遭逢天然災變時，水環境才有調適氣候變遷的涵容能力與恢復力；也惟有擁有水環境生態的健康水庫，才能提供民眾用水安全，進而達到永續的終極目標。

土砂保育健康診斷模式建立

本文以監測 (monitoring)、診斷 (diagnosis)、處理 (treatment) 及追蹤 (tracing) 等四大步驟來建立土砂保育健康診斷模式。監測之第一步為進行集水區特性、河溪特性、災害歷史等分析，以瞭解集水區整體特性並作為健康診斷指標訂定之參考，第二步為由集水區地面水文資料觀測、坡面土砂資料監測及空中航照衛星影像以獲得集水區之相關資料，從而建立逕流率、崩蝕率、綠覆率、懸浮固

體濃度、含砂濃度等健康診斷指標。診斷是指利用健康診斷指標來分析集水區之土壤泥砂流失問題、水文流量問題及水質污染問題，並瞭解其主要原因為何，亦即區分為三種驅力，即地質等內在條件、降雨等外在環境及人為開發等後天影響。處理則是針對不同驅力所造成集水區問題之對應策略，第一步為選定集水區管理目標，包含：確保合適之可用水數量、降低洪水量和洪水危害、降低崩塌之發生率、降低下游之泥砂遞移、確保維持或提高土地生產力、合適之水質等；第二步為以子集水區為單元進行降低洪峰、減少泥砂、水土林資源保育等策略規劃及方案擬定；第三步為經由土砂整治率、綠覆率改善比、水質改善比等效益分析選定適合之策略方案。追蹤是指方案完成後之維護管理情形，利用整治成效追蹤指標來進行定期及不定期追蹤考核，並建立預警制度以監測集水區之健康狀況，模式之架構如圖 1 所示。

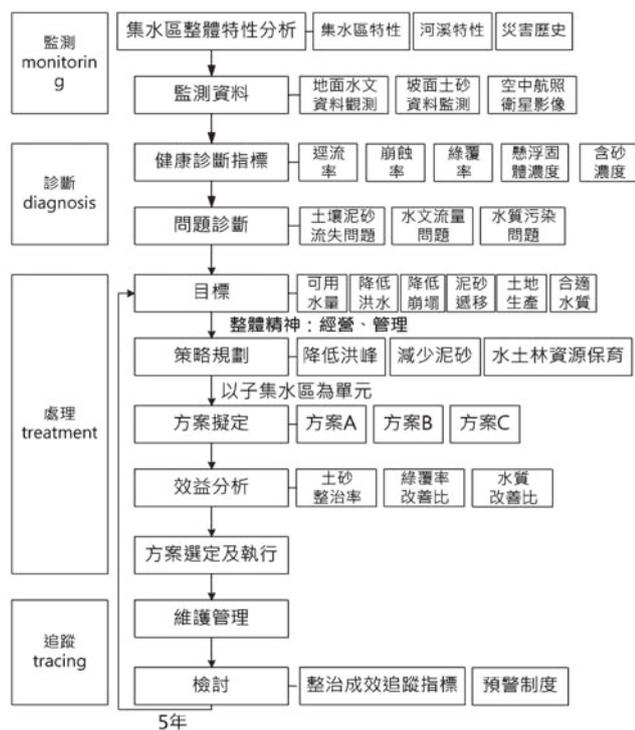


圖 1 土砂保育健康診斷模式

集水區健康指標之選定

在 1970 年代以前，集水區的治理多針對個別局部的問題來擬訂實施治理措施，而未考慮這些措施對整個集水區生態、經濟與社會可能形成之衝擊。1980 年代以後，整體性的集水區治理觀念開始受到重視 (Schramm, 1980)。人們逐漸瞭解集水區內的人為活動或自然事件不僅對局部地區發生衝擊，而且可能擴及集水區內的上游與下游地區。基

此認知，集水區在整治架構上被認為是一個最適當的空間單位。在此架構上，集水區水文、地形、地質、土壤、植被等任一個因素之改變均可能影響其他因素，而對生態環境形成衝擊，因此，在整治上應一併同時考慮。另一方面，整治策略之範疇應由生態環境層面擴至社會與經濟層面，以兼顧人類對集水區資源利用與集水區生態功能完整性之可持續平衡發展 (Heathcote, 2009; Jones et al., 2002)。

水庫集水區在水量、水質及產砂方面的狀況，可利用一組適當的健康指標來診斷。診斷結果可用來擬訂或改進治理計畫。茲將健康指標的選定及診斷方法敘述如下：

健康指標的選定

集水區健康指標 (health indicators) 為一組易於直接量測而且可用來反映集水區健康狀況之集水區特性。進行集水區治理規劃時，這些指標可用來協助擬訂適當的治理措施 (如圖 2)。集水區治理計畫通常包含一組治理目的 (goals)，每一治理目的又包含一個或多個可量測的具體治理目標 (objectives)，而每一個治理目標則可用一組健康指標及他們的目標值 (target values) 來表示。隨著集水區治理之進行，這些指標的量測值可用來與其目標值相比較，以診斷集水區健康狀況之改善結果，並據以調整治理方向。治理的進展情形可用各指標所預定的階段性里程碑 (benchmark) 來反映。優良的健康指標應具備下列特點：

- 指標與治理目的及治理目標之間應具有密切關聯性。
- 指標應易於量測，而且能夠精準的予以量化。
- 指標需能準確反映集水區的健康狀況。
- 指標需能顯示外在因素 (stressor) 與集水區反應的因果關係。
- 指標對外在因素的變化應具有敏感性與高度的信噪比 (signal-to-noise ratio)。

參考值的設定

利用指標來診斷集水區的健康狀況時，必須先設定各指標的參考值，以與指標之實測值相評比，來判斷集水區的健康狀況之改善程度。參考值需考慮集水區之自然因素與健康現況來設定。

目標值的設定

指標之目標值可依診斷的目的來設定，如診斷的目的在於將集水區復育至未受人為活動所干擾之狀況，目標值可取為參考值來進行診斷。如診斷的目的在於將集水區復育至某一理想狀況時，目標值可取為對應於該理想狀況之指標值來進行診斷。

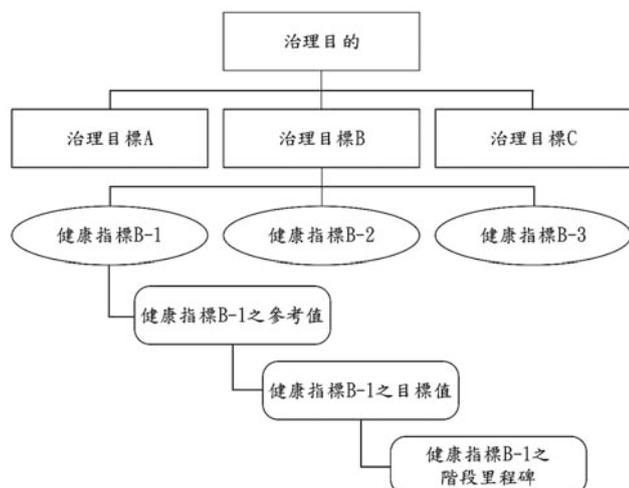


圖 2 訂定健康診斷指標示意圖

階段里程碑的設定

階段里程碑即階段性之目標值，可依預期之治理進展情形來設定。

對比值的設定

當診斷的目的在評估集水區狀況是否趨於改善或惡化時，可將指標過去之實測值設為對比值以供診斷之用。

土砂保育健康診斷指標之建立

集水區治理一般常被關注之問題包含土砂、水量及水質等，造成集水區問題之原因可概分為地文狀況等內在條件、降雨和地震等外在環境、人為開發和維護狀況等後天影響。並藉由不同問題的現象或徵兆來評估集水區是否有相對應之問題。如可由集水區之土壤沖蝕量、崩塌量、崩蝕率、含砂濃度等現象來評估是否有土壤泥砂流失問題；

由集水區之比流量、降雨量、逕流率等現象來評估是否有水文流量問題；由集水區之水質指標、綠覆率來評估是否有水質污染問題。

集水區之治理目的為水資源之永續利用，其中一個治理目標為集水區之土砂保育，而逕流率、崩蝕率、綠覆率、懸浮固體濃度及含砂濃度則是一組健康診斷指標，用來評估整體集水區面臨之土砂問題，由各指標值來評量集水區應著重的問題點，各指標之計算方法如表 1 所示。

「健康水庫」生態評估指標之建立

美國環保署根據 Clean Water Act 建立「健康流域倡議 (Healthy Watersheds Initiative, HWI)」計畫，並提出「健康流域」之概念，並於 2009 年提出「Reservoir Fisheries Habitat Partnership」報告，建議策略性原則以保護水生棲地，並期能落實健康水庫系統 (Healthy Reservoir Systems)。根據美國環保署對於「健康流域」定義，並結合其對水源保護 (Healthy Source Watershed) 建議，可將其應用於定義「健康水庫」：可維持自然動態變化之水文和地表活動的天然地理狀況；可維持原生水中與河岸生物，且有足夠大小與關連性的棲息地。以下導入「健康流域管理」精神，並結合「健康水源」做法，提出「健康水庫」生態評估指標建立步驟：

候選指標

在充分收集國內外相關研究資料的基礎上，結合翡翠水庫的實際情況，建立了「水庫生態」一級評量指標，並綜合考慮了 (1) 生態環境保護投入率、(2) 生態系統完整性評價、(3) 生物多樣性評價、(4) 生態系統健康指數下設二級指標以及三級指標，以備後續篩選使用。

表 1 土砂保育健康診斷指標

指標	逕流率	崩蝕率	綠覆率	水質指標	含砂濃度
目的	評估集水區水源涵養情形	評估集水區年土砂流失情形	評估集水區植生所佔之比例	評估集水區水質之良窳	評估集水區表土流失情形
計算方法	比流量 (mm/日) = 河川流量 / 集水區面積 逕流率 = 比流量 / 降雨量	崩蝕率 (cm) = 年總土砂產量 / 集水區面積	綠覆率 (%) = 集水區植生面積 / 集水區面積	利用水中的透明度 (SD)、葉綠素 a (Chl-a) 及總磷 (TP) 等三項水質參數之濃度值計算卡爾森指數 (CTSI)，以評估水庫水體之水質 利用懸浮固體之濃度或濁度來評估河川水體之水質	利用河川之含砂濃度來評估集水區之表土流失
資料來源	流量監測資料、 降雨監測資料	崩塌量估算、 土壤沖蝕量估算	衛星影像、 土地利用圖	水質監測資料	含砂濃度監測資料
可能問題	水源涵養量減少 坡地逕流量增加 洪峰增加 豐枯流量差異增大	集水區土地退化 土砂災害增多 水庫淤積	植生減少 生態物種減少 環境退化 地表裸露增多	水質渾濁度增高 下游水庫優氧化	集水區表土退化 下游水庫泥砂淤積

德爾菲專家意見

德爾菲法是一種主觀、定性的方法，並且是集合專家意見的集體決策技術。採用不具名發表意見的方式，即專家之間不得互相討論，不發生橫向聯繫，只能與調查人員聯繫，通過調查專家對問卷所勾選的看法，彙總成專家基本一致的看法，作為預測的結果。這種方法具有廣泛的代表性，較為可靠，而且可以廣泛應用於各種評價指標體系的建立和具體指標的確定過程（林佩瑩、廖學誠，2008；郭彥連、李洋寧，2014）。透過「德爾菲法」(Delphi method) 建構「健康水庫生態評估指標」，一級指標下設三個二級指標，二級指標下再細分二個三級指標，透過發送問卷至專家請協助填妥問券後，回收彙整專家意見。以專家勾選極同意 (N1)、同意 (N2)、勉強同意 (N3)、不同意 (N4) 及極不同意 (N5) 的方式，由各指標總積分及百分比統計方法來呈現專家們的共識（郭彥連、李洋寧，2014；林佩瑩、廖學誠，2008）。

總積分統計方法為：極同意 5 分、同意 4 分、免強同意 3 分、不同意 2 分及極不同意 1 分，彙整統計每個三級指標總積分，公式如下：

$$\text{總積分} = N1 \times 5 + N2 \times 4 + N3 \times 3 + N4 \times 2 + N5 \times 1$$

百分比統計方法為：五個勾選欄位除以總問卷數來表示。公式如下（郭彥連、李洋寧，2014；林佩瑩、廖學誠，2008）：

$$\text{百分比} (\%) = (N) / \text{總積分} \times 100$$

一級指標與二級指標其極同意及同意佔百分比為 75% ~ 87.5%，三級指標其極同意及同意佔百分比為 87.5%~100%，表示專家均認同本文所擬定的一、二、三級指標作為評估指標。德爾菲法專家意見調查問卷回收份數共 8 份，彙整如表 2 所示。

「健康水庫」之生態評估指標根據七項篩選原則：(1) 是否符合國際發展趨勢、(2) 符合 Sustainable Development Goal (SDG) 章程、(3) 容易量測及量化、(4) 符合目標管理具體關聯性、(5) 指標定義明確、(6) 具科學性易於預測、(7) 國內資料容易取得及應用。並以上述專家德爾菲問卷調查法 (Delphi)，邀請產、官、學、研等專家進行問卷調查，評定生態指標的重要性。最後，在專家諮詢會議上與產官學研各界代表討論，以確認健康水庫於生態面向的評核基準與評量指標。指標建立的過程如圖 3 所示。

翡翠水庫生態指標試算

本文以翡翠水庫提供的生態指標資料作指標的計算，計算過程如以下各項指標分項。

集水區陸域生境品質

水庫集水區內不同自然類型（草地、森林和濕地）面積 % 與其平均生境品質的乘積之和與期望生境品質總值之比例（總自然類型面積 % 與區內最大生境品質值乘積）。將翡翠水庫的資料：草地面積 (%) = 0.95%、森林面積 (%) = 89.48%、水庫面積 (%) = 3.89 % 與生境品質分，草地 0.72、森林 0.93、水庫 0.33 代入公式得到生境品質分，其公式：【((草地面積 (%) * 0.72 + 森林面積 (%) * 0.93 + 水庫面積 (%) * 0.33) ÷ ((草地面積 (%) + 森林面積 (%) + 水庫面積 (%)) * 0.93) * 100 = 97。總體得分為 97 分，此項評分可以發現翡翠水庫因為森林的覆蓋面積比例高，所以此項生態指標的重點為上游集水區的植被狀況。本項指標在水庫生態指標中，占了很重要的評估地位，因為集水區的土壤如果流失嚴重，相對的水庫的庫容將受到影響。

集水區土壤侵蝕狀況

運用崩塌統計與 SEIM 模式對集水區土壤流失量進行核算，將流失量除以集水區面積得平均流失量並對應分級取值。翡翠水庫資料中，將流失量除以集水區面積得平均流失量可以得到集水區土壤侵蝕狀況。資料中 2002 年土壤侵蝕狀況為 34.3 公噸 / 公頃 - 年，對照侵蝕標準表格可以得到此項得分為 67 分（表 3）。此項得分表是翡翠水庫的土壤侵蝕狀況在中等的等級。

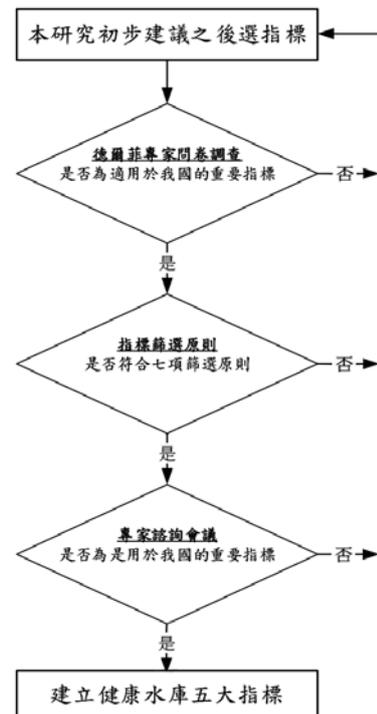


圖 3 健康水庫生態評估指標建立流程

表 2 健康水庫生態評估指標 (Ecology Part)

一級指標分類	編號	二級指標項目	極同意	同意	勉強同意	不同意	極不同意	說明
水庫生態 E (Ecology)	E1	集水區陸域生態	3	3	2	-	-	份數
			15	12	6	-	-	積分
			37.5	37.5	25	-	-	百分比 (%)
	E2	集水區生物系統	4	2	2	-	-	份數
			20	8	6	-	-	積分
			50	25	25	-	-	百分比 (%)
	E3	水庫生物系統	5	2	1	-	-	份數
			25	8	3	-	-	積分
			62.5	25	12.5	-	-	百分比 (%)

一級指標分類	編號	二級指標項目	三級指標細目	三級指標計算方法或公式	極同意	同意	勉強同意	不同意	極不同意	說明	
水庫生態 E (Ecology)	E1	集水區陸域生態	集水區陸域生境品質	水庫集水區內不同自然類型(草地、森林和濕地)面積%與其平均生境品質的乘積之和與期望生境品質總值之比例(總自然類型面積%與區內最大生境品質值乘積)。	4	4	-	-	-	份數	
				20	16	-	-	-	積分		
				50	50	-	-	-	百分比 (%)		
			集水區土壤侵蝕狀況	運用崩塌統計與 SEIM 模式對集水區土壤流失量進行核算,將流失量除以集水區面積得平均流失量並對應分級取值。	4	3	1	-	-	-	份數
				20	12	3	-	-	-	積分	
				50	37.5	12.5	-	-	-	百分比 (%)	
	E2	集水區生物系統	水生動物多樣性和完整性(含豐多度、瀕危或珍稀物種指數、河川魚類 IBI 指標、河川 RBPIII 指標)	水生動物豐多度計算 (RHEEP)	5	2	1	-	-	-	份數
					25	8	3	-	-	積分	
					62.5	25	12.5	-	-	百分比 (%)	
				瀕危或珍稀物種指數 (EPA)	5	2	1	-	-	-	份數
					25	8	3	-	-	積分	
					62.5	25	12.5	-	-	百分比 (%)	
			河川魚類 IBI 指標或者 SERAS 指標 (水利署 2008,2011)	5	3	-	-	-	份數		
				25	12	-	-	-	積分		
				62.5	37.5	-	-	-	百分比 (%)		
			河川 RBPIII 指標 (水利署 2008, 2011)	5	3	-	-	-	份數		
				25	12	-	-	-	積分		
				62.5	37.5	-	-	-	百分比 (%)		
	河溪棲地評估指標	河溪棲地評估指標	5	3	-	-	-	份數			
		25	12	-	-	-	積分				
		62.5	37.5	-	-	-	百分比 (%)				
	E3	水庫生物系統	水庫浮游植物	藻類營養指標 (ATSI): 以水庫中出現之貧養、中養、優養指標藻種的比率為指標 ATSI = (Foligo + Fmeso) / (Feu + Fmeso) ATSI > 1.25 貧養; 1.25 > ATSI > 0.5 輕微優養; ATSI < 0.5 優養	4	4	-	-	-	份數	
				20	16	-	-	-	積分		
				50	50	-	-	-	百分比 (%)		
水庫生態系統健康指數			選取浮游植物生物量 (BA) 作為基準指標, 浮游動物生物量 (BZ)、浮游動物生物量 (BZ) 與浮游植物生物量 (BA) 的比值 (BZ/BA)、能質 (Ex) 和結構能質 (Exst) 作為擴展指標; 再計算 5 個指標的生態系統健康分指數 (EHIi) 及各指標的權重值得到 EHI。 $EHI = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot EHI_i$	3	5	-	-	-	份數		
			15	20	-	-	-	積分			
			37.5	62.5	-	-	-	百分比 (%)			

表 3 土壤侵蝕量與得分對照表

得分	土壤侵蝕量 (公噸/平方公里·年)
100 分	< 1000
80-100 分	1000-2500
60-80 分	2500-5000
40-60 分	5000-8000
20-40 分	8000-15000
0-20 分	> 15000

資料來源: 中華人民共和國水利部批准《土壤侵蝕分類分級標準》(SL190—2007)

水生動物多樣性和完整性

本指標利用幾項國內、外快速的評估原則來建立指標的計算。其中, RHEEP 棲地品質評分: 快速棲地生態評估法中有十個評估項目, 而其分系統參考美國環境保護署之快速生物評估方法 (RBP) 而來, 將各項目的狀況由好到差分為四個等級, 且各等級有清楚量化的評分依據。另外, 並考量一般對分數系統都以 100 分作為滿分較為直覺, 因此, 針對目標河段的現況, 各項評估因子之分數為 1 到 10 分, 而十項評估因子分數的總和, 即為該河段棲地生態系統的整體狀況評估分數, 其滿分為 100 分。

河川 RBPIII 指標 (0-6 分)，翡翠水庫本項得分為 4 分 (Slightly impaired)；水生動物豐多度計算 (RHEEP) (0-10)，翡翠水庫本項得分為 10 分；河川魚類 SERAS 指標 (0-4) 直接等級，經過 2006-2008 年水庫內魚類統計發現翡翠水庫的魚種分布共有 26 種，其中鑑定出 8 種外來種 $8/26 = 0.31$ ，帶入 SERAS 魚類數量組成評估準則中的特徵分 0.31 (表 4)，可以得到等級為 1，得分 1 分。考慮以上三小項的整體得分為 58 分。

表 4 SERAS 魚類數量組成評估準則

分級	特徵	等級
原生種 (含特有種比例)	FGr = 1	4
	$1 > FGr \geq 0.75$	3
	$0.75 > FGr \geq 0.5$	2
	$0.5 > FGr \geq 0.25$	1
	$FGr < 0.25$	0

資料來源：巨廷公司 (2005)

水庫浮游植物

以藻類優養指標 (ATSI) 來評斷水庫的浮游植物，以水庫中出現之貧養 Foligo、中養 Fmeso、優養 Feu 指標藻種的比率為指標，指標公式如下 (吳俊宗，2012)：

$$ATSI = (Foligo + Fmeso) / (Feu + Fmeso)$$

其中，ATSI > 1.25 貧養； $1.25 > ATSI > 0.5$ 輕微優養；ATSI < 0.5 優養，在翡翠水庫的 ATSI 大概是 0.8 (圖 4)，將指標最高值 1.25 來做為基準，得到分數為 $0.8/1.25 * 100 = 64$ 分。

水庫生態系統健康指數

選取浮游植物生物量 (BA) 作為基準指標，浮游動物生物量 (BZ)、浮游動物生物量 (BZ) 與浮游植物生物量 (BA) 的比值 (BZ/BA)、能質 (Ex) 和結構能質 (Exst) 作為擴展指標；再計算 5 個指標的生態系統健康分指數 (EHI_i) 及各指標的權重值得到 EHI。分值在 0-100 之間，指標公式如下 (張紅葉，2012)：

$$EHI = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot EHI_i$$

0 ~ 100 的生態系統健康指數作為定量尺度，然後通過評價指標選擇、各指標生態系統健康分指數計算、各指標權重計算、生態系統健康綜合指數計算，選取浮游植物生物量 (BA) 基準指標，本次翡翠水庫提供的資料顯示 individual 的數量無法推估 BZ，其葉綠素 a 的量乘上 405 可以推估 BA 值，但由於 BZ 的值無法計算，本項結果無法算分。

翡翠水庫指標計算與結果如表 5 所示。

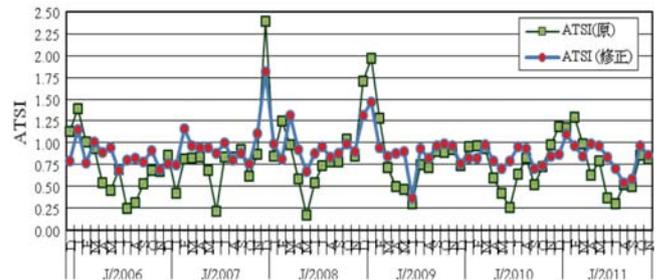


圖 4 翡翠水庫 2006 至 2011 年 ATSI 指標值

表 5 翡翠水庫生態指標試算與說明

一級指標	編號	二級指標	三級指標細目	資料年份	試算結果	備註說明	資料來源 (水庫管理局，網站或文獻)		
							管理局提供	Website	文獻
水庫生態 E (Ecology)	E1	集水區陸域生態	集水區陸域生境品質	2004	97	GIS			翡翠水庫集水區水文分析
			集水區土壤侵蝕狀況	2002	67				水庫集水區土壤沖蝕之研究—以石門、翡翠水庫為例
	E2	集水區生物系統	水生動物多樣性和完整性 (含豐富度、瀕危或珍稀物種指數、河川魚類 IBI 指標、河川 RBPIII 指標)	2006 至 2008	59		√		翡翠水庫水生動物與水質關係監測成果報告書 (2014)
			河溪棲地整體狀況 (RHEEP)	2006 至 2008	100	棲地多樣性高、未受人為干擾	√		
	E3	水庫生物系統	水庫浮游植物	2006 至 2011	64	ATSI (Algal Trophic State Index)	√	中研院 吳俊宗	翡翠水庫藻類與水質關係監測
			水庫生態系統健康指數 (EHI)		na	建議水庫以後增加浮游動物 (plankton) 生物量計算			

結論

氣候異常極端降雨日益嚴重，水土災害成因日趨複雜，集水區治理必須對土砂保育各相關問題進行全面性調查，並綜合考量集水區整體特性及採取事先預防之理念，藉由集水區土砂保育健康診斷模式建立及透過監測資料建立逕流率、崩蝕率、綠覆率、水質指標、泥砂濃度等健康診斷指標，以評估氣候變遷對水量及水質造成之衝擊影響。

「健康水庫」不僅指能提供穩定水質水量的水庫，更需顧及整體流域的生態系統，且能適度承受或調適天然災害或人為損害所造成的變異性。因此，必須導入「健康流域管理」精神，並結合「健康水源」做法，建立「健康水庫」之生態指標，提供做為評估氣候變遷對水環境生態造成之衝擊影響。惟有以生態環境為首要考慮，擁有一水環境生態的健康水庫，才能提供民眾用水安全，進而達到永續的終極目標。

參考文獻

- 台北水源特定區管理委員會 (1994)，「台北水源特定區集水區治理規劃總報告」。
- 行政院農業委員會水土保持局 (2006)，「集水區整體治理調查規劃參考手冊」。
- 汪靜明 (2006)，「集水區水土生態保育的新思維」，水土保持思維與展望研討會論文集，pp. 59-70。
- 郭振泰、陳樹群、黃志彰、謝永能、楊宗翰、葉齡云、仇士愷、林信宏、王士豪、吳岳霖 (2007)，「石門水庫集水區泥砂抑制最佳管理措施規劃」，行政院農業委員會水土保持局。
- 余文利 (2005)，「翡翠水庫集水區水文分析」，碩士論文，國立中央大學水文所。
- 吳俊宗 (2012)，「翡翠水庫藻類與水質關係之監測」，翡翠水庫 25 周年回顧與水資源永續利用學術研討會論文集，臺北翡翠水庫管理局。
- 經濟部水利署臺北水源特定區管理局 (2010)，「台北水源特定區土砂保育健康診斷模式建立及策略分析 (2/2)」，財團法人資源及環境保護服務基金會
- 經濟部水利署臺北水源特定區管理局 (2012)，「台北水源特定區水質預警機制建立之研究」，國立臺北科技大學水環境研究中心。
- 臺北翡翠水庫管理局 (2015)，「建構『健康水庫』與因應水環境變遷研究計畫」，國立台灣大學慶齡工業發展基金會合設工業研究中心
- 中華人民共和國水利部批准《土壤侵蝕分類分級標準》(SL190—2007)。
- 臺北翡翠水庫管理局 (2013)，「氣候變遷對翡翠水庫衝擊與調適方案之研究」研究報告，財團法人成大研究發展基金會。
- 巨廷公司 (2005)，「河溪生態工法參考手冊」，行政院公共工程委員會。
- 汪靜明 (2010)，「石門水庫上游集水區保育治理之生態保育措施評估」，行政院農委會水保局。
- 國家發展委員會 (2014)，「國家氣候變遷調適行動計畫 (102-106) 年」。
- 經濟部水利署 (2008)，「水庫集水區環境棲地管理與治理保育對策之研究 (1/2)」，國立中興大學。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2008)，「水資源最佳化管理於河川生態復育之研究 (3/3)」，國立台灣大學水工試驗所。
- 經濟部水利署北區水資源局 (2009)，「集水區河溪環境保育評估指標」。
- 張紅葉 (2012)，「丹江口水庫生態系統健康綜合評價」。
- 臺北翡翠水庫管理局 (2001)，「日本因應氣候變遷之水庫管理策略」。
- 臺北翡翠水庫管理局 (2012)，「翡翠水庫永續水環境：綠色水庫行動計畫」。
- 蔣本基 (2012)，「建置水庫水質監測、評估、與管理體系」，翡翠水庫 25 周年回顧與水資源永續利用學術研討會論文集，臺北翡翠水庫管理局。
- Center for Watershed Protection (2002), Watershed Vulnerability analysis, Center for Watershed Protection, Ellicott City, MD.
- Chesapeake Bay Program (2007), "Potential Environmental Indicators for Assessing the Health of the Chesapeake Bay Watershed."
- Gippel, C. J., and Stewardson M. J. (1998), "Use of Wetted Perimeter in Defining Minimum Environmental Flows," Regul. Rivers: Res. Mgmt., 14: 53-67.
- Jones, C., et al. (2002), "Watershed Health Monitoring," Lewis Publishers.
- Portland (2005), "2005 Portland Watershed Management Plan – The Framework for Integrated Management of Watershed Health," Environmental Services, City of Portland, Oregon.
- Schramm, G. (1980), "Integrated Rier Basin Planning in a Holistic Universe," Natural Resources Journal, 20: 787-805.
- Shulits, S. (1941), "Rational Equation for River-Bed Profile," Am.Geophys. Union Trans., 22: 630.
- Strahler, A. X. (1957), "Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology," Amer. Geomintute Union Trans., 88: 913-920.
- U.S. Environmental Protection Agency (2008), Principles of Watershed Management, Watershed Academy Web, <http://www.epa.gov/watertrain>.
- U.S. EPA (2002), "Index of Watershed Indicators: An Overview," Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds.
- US Army Corps of Engineers (2000), HEC-GeoHMS user's manual.
- USEPA (1993), Urban Runoff Pollution Prevention and Control Planning, Handbook, Washington DC, EPA625-R-93-004.
- USEPA (1999), Preliminary Data Summary of Urban Strom Water Best Management Practices, Washington DC, EPA-821-R-99-012.
- Partners of the Reservoir Fisheries Habitat Partnership (RFHP)(2009), "A Framework for Strategic Conservation of Fish Habitat in the Reservoir Systems of the United States".
- Minnesota Department of Natural Resources (2010), "Healthy Watersheds throughout Minnesota".
- US EPA (2013), "A Quick Guide to Developing Watershed Plans to Restore and Protect Our Waters", EPA 841-R-13-003.
- US EPA (2008), "Handbook for Developing Watershed Plans to Restore and Protect Our Waters", EPA 841-B-08-002.
- US EPA (2012), "Identifying and Protecting Healthy Watersheds", EPA 841-B-11-00.
- US EPA (2012), "National Water Program 2012 Strategy: Response to Climate Change", EPA 850-K-12-004.
- US EPA (2011), Healthy Watersheds Initiative, National Framework and Action plan-2011, EPA 841-R-11-005, USPEA office of water.
- US EPA, National Water Program Research Strategy, <http://www2.epa.gov/water-research/national-water-program-research-strategy>.