

河流生態系統的特徵和功能

人與自然的共同互動平台

羅慶瑞

水利技師

摘要

河流生態系統具有多種特徵，是人類與環境相互作用的多彩平台，包括無機和有機資源。森林水文學和溪流/河流水力學使生態系統充滿活力。水生生命週期很大程度上取決於水深、河道寬度、流速、河床材料和溪流/河流坡度等流量來輸送養分。水文學家和地質學家總結有關區域背景的相關因素：流域水文、流域地貌、水質、河流和河岸生態顯然是流域管理對決策支撐的要素，以便管理環境中的水資源、河流生態系統的多樣性，並用以解釋流域過程與不同地區干擾的影響，其中包括人類行為所致生的不確定性。不確定性是一種事實，也是修復河流在科學研究與決策上不可避免的特徵。河流修復更與社會和文化方面的不確定性有這不可分的關聯。研究人員可以對不確定性進行調查，在某些情況下對其進行量化，雖然在最終結果時能以明確的術語進行揭示，但不確定性仍然是存在。文中首先闡述河流生態系統的特徵及其可變因素，再者是河流生態系統的功能，最後，經由相關概念之解決策略來強調這個共同互動平台上不確定性的影響機制。

一.內文介紹

水是人類的寶貴資源，為許多生物提供了重要的棲息地。水生棲息地不僅在近河岸區而且在整個流域都受到流動過程的影響。河流生態系統具有許多特徵，河流（或溪流）是具有速度的水體，提供非常重要的作用。河流具有完整的漫灘與相鄰陸地交換有機質和養分，所有河流生態系統在側向、水深方向和縱向上都具有高度連通性。河流科學試圖去了解這些多樣性過程是如何與不同的環境背景以及從最小的源頭溪流到大河的規模間相互的作用。許多河流分類系統已被作為指導管理活動，包括河流健康度的恢復和評估。氣候、水源地、地質地貌對流域和網絡發展均具有特殊的控制作用，在任何生態系統中，養分循環描述了一些養分的吸收，通常是從溶解的無機相中吸收，隨後將其結合到生物組織中，並通過排泄或呼吸作用完成循環。流經渠道的水力特徵是河流系統中水生棲息地演變的重要組成部分，其中水流速度和水流深度在流域內在空間上和時間上每天、季節性和年度變化。淡水生物生命週期的不同階段對流量的要求各不相同。魚類的生命週期已經適應了水流條件的時間變化，經由確定生命

週期階段的時間以利用季節性排放特徵。空間可變性藉由在河流河段內創造各種棲息地來增強物種多樣性。速度通常可能是限制可用棲息地空間的重要因素。Hawkins 等人 (1993) 提及「水池、淺灘、台階、瀑布和平面床等渠道組件為許多生物提供了重要的棲息地。不同河段和河道次單元水力特徵的變化創造出獨特的棲息地特徵，影響水生生物的空間分佈」。河道形態主要是由沉積物和水輸入到河床襯裡的河道形成的由水流速度和深度形成的淺灘、急流和深瀨或瀑布的形狀也隨著時間的推移，產生額外的水力條件變化。Howarth 等人 (1996) 提出「差異分析是對生態系統過程去除或儲存在土壤中的所有養分的估計，這可以被視為衡量生態系統提供的服務及其局限性的指標」。

河流生態系統在許多附加功能方面各不相同。河流可以從森林中傾瀉而下，通過水力作用蜿蜒穿過平緩的山谷，或者在靠近大海時流過寬闊的平原。這個系統仍然具有完整洪氾區河流與相鄰土地交換有機物和養分，所有河流生態系統在橫向縱向上都具有高度連通性。當河流修復的概念首次普及時，許多工程師將生態問題視為一心一意地追求堤壩、渠化和涵洞的障礙。只有當工程師開始面對其他觀點時，他們的工作方式中才會引入「不確定性」。雖然工程師和生態學家之間的衝突在修復項目中持續存在，但總的來說，工程專業已經接受了與地質學家和生態學家有效合作是必要的。

二. 河流生態系統的形成與特色

河道中的水流移動物質，包括有機顆粒和溶解的養分以及河床礦物基質的大顆粒。顆粒或營養物可以被河床中的生物和物理過程吸收，然後釋放回水流中，導致河床和水流之間的顆粒循環以及下游置換。這種耦合垂直循環和下游運輸的模式被稱為「營養（或顆粒）螺旋」。

河流生態系統在河流流量的數量、時間和時間模式方面表現出巨大的可變性，這對其物理、化學和生物狀況產生了深遠的影響。大量淡水被提取以滿足農業、民生和工業需求，但淡水生態系統也需要夠好的水質與適時的水量，以保持生態完整性並且為社會提供具有經濟價值的商品和服務。水文循環描述了水從大氣到地球和海洋，再回到大氣的連續循環。海洋的蒸發量超過陸地，而地球陸地表面的降水量超過蒸發量，植物水分流失成為主要的河流排放或地下水。徑流通過多種途徑傳送，這些途徑受梯度、植被覆蓋、土壤特性和前期水分條件的影響。地表和淺層地下流到達溪流的速度比滲入地下水位作為地下水排放到溪流中的水快得多。因此，隨時間變化的河流流量會伴隨時間的上升和下降對降雨事件表現出強烈或更漸進的影響，這些都取決於土壤、坡度和影響水流路徑的人類活動。

水流表徵對於防洪結構的設計、河道穩定性評估以及確定在適當的時間是否有足夠的水來滿足人類和生態系統的需求具有實際上的應用性。流量分析告訴我們：每條河流都有一個自然流量狀態，其特徵是流量大小及其頻率，以及持續時間、和時間變化率。氣候、植被、地質和地形對自然流態施加了廣泛的限制，以保持流域尺度的生態完整性和條件，使每條河流在某種程度上都是獨一無二的，而廣泛的人類影響乃經由改變流徑和流速來進一步改變水流形態，甚至改變氣候。

如上所述，流動影響河道的幾何形狀，流動邊界；相反地，通道幾何形狀影響流動情況。因此，河流地貌和水流環境顯然是河流生態系統的重要組成部分。

2.1 河流地貌

河流地貌學強調河流和景觀之間的動態相互作用，在河道和排水網絡的塑造過程中，河道、洪氾區、網絡和集水區之間存在聯繫，並通過使用多種方法進行研究，包括地層分析、水槽中沉積物遷移的實驗研究，物理過程建模並與真實地形進行比較，以及複雜的統計方法，以更好地了解河流系統的物理動力學。它有助於理解河流系統中表現出的巨大多樣性，從而了解生物群所經歷的棲息地和環境條件。

對河流特徵之間關係的量化和對潛在過程的分析有助於更深入地了解河流如何響應人類引起的水和沈積物供應變化，這些變化可能導致河流改變其形狀。河道和整個排水網絡的發育，以及在普通水力過程的侵蝕和沈積之間動態平衡的河道形狀中存在各種規則模式。隨著水流深度的增加，近床流速也增加，並且溪流可以移動和運輸儲存在河床。幾乎所有的礫石河道都覆蓋著一層護甲層，此護甲層中較大的顆粒部分地保護了較細的顆粒不被流動驅散，但它們本身更容易被夾帶，因為它們突出於高速流動狀態下。結果，護甲層中的大小顆粒具有幾乎相等的流動性，所以在幾乎相等的排放量下被夾帶而去。

河流功率是流量和坡度的乘積，描述了河流移動和運輸物質的能力。沉積物輸送與河流功率直接相關，與中值顆粒粒徑成反比，這是了解河流如何響應沿其長度或由於人為干擾的沉積物和供水變化的有用關係（見圖 1）也就是 $Q_w S$ 與 $Q_s D_{50}$ 之關係。輸送的泥沙量隨著速度和流量的增加而增加。主要的或有效的流量是泥沙輸送最大的地方，它通常是近岸洪水。人類活動可以增加或減少沉積物產量。

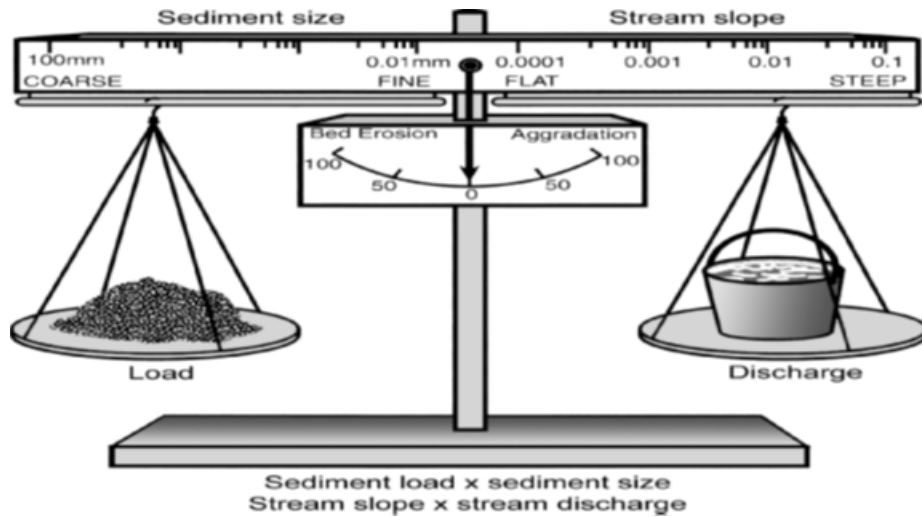


圖 1. 河流功率 $Q_w S$ 與泥沙輸送率 $Q_s D_{50}$ 關係圖

2.2 流動環境

在河流系統中，水流占主導地位，並表現出影響河流環境各個方面的變量。流動強烈影響物理結構和水力，例如河道形狀、在底棲和近床微生物環境中起作用的力、被大部分生物群佔據的基質組成，並且對生態相互作用、能量轉移速率和物質循環很重要。重要的是流速，不僅隨著水文過程線的上升和下降沿河流長度發生巨大變化，而且由於河床摩擦、地形和河床載的顆粒和其所造成的河床粗糙度，在巨觀和微觀的河道內隨處發生巨大變化，是生物體在水流內和基質表面所經歷的直接物理力。垂直速度剖面對於任何考慮流動狀態對生物體的影響都至關重要。近河床流動特性帶來了巨大的測量挑戰，並導致了許多富有想像力的嘗試來估計或直接測量微觀流動環境。表面粗糙度可以直接從顆粒尺寸測量。平均速度、深度和表面粗糙度是簡單的水力學變量，可提供有關流動環境的有用信息（見圖 2）。

運用明渠測量和某些常數可以估計水力變量，包括通道雷諾數(Re)和福祿數(Fr)。

Re 量化了移動流體的慣性力與抵抗混合的流體的粘性特性的比率。它是一個無維參數，可用於區分流動類型和由有機體而所受力之間大小的比值。

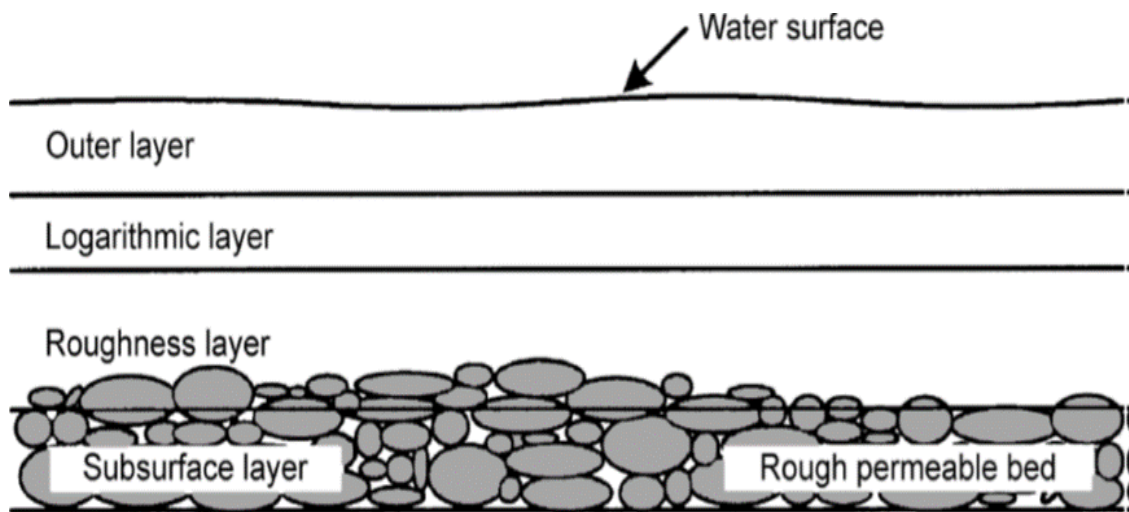


圖 2. 護甲層

Fr 也是無維參數，用以表示動能(速度)與位能(水深)之比，其可用於區分亞臨界流與超臨界流。較低的 Fr 值是水池棲息地的特徵，而較高者用以表示淺灘的棲息地。

使用剪切速度 (u^*) 的估計值，它可以從河床附近的流速剖面得出，並用粗糙度元素的高度代替水深，可以估計粗糙度(邊界)雷諾數 (Re^*)。該變量與剪切速度的平方相關且與粒度成反比的無維剪切應力描述粒子可能被啟動的條件。近床速度和床剪切應力都隨著相對粗糙度和平均速度的增加而增加。

非生物因素包括影響生物體分佈和豐度的所有物理和化學變量。水流、河床基質和溫度通常是河流環境中最重要變量，所有生物都表現出將它們限制在條件子集上的適應性。相關的水力影響河流環境的各個方面，例如河道形狀和底床物質；一個複雜的物理變量，包括無機和有機成分；在底棲和近床微生物環境中運行的物理結構和水力，經由平衡物理阻力過程和食物、營養物質和氣體的輸送以及廢物的清除所帶來的好處，讓生態系達到動態平衡。

三. 生態系最適流量分析初探

棲息地偏好可用棲息地適宜性曲線來表示(見圖 3)。比較各適宜性曲線的峰值，這些峰值代表在特定深度和速度下以給定物種出現率最高之處。這些值被稱為速度參數— P_v 和深度參數— P_d 。 P_v 和 P_d 值來自一組適用性曲線(Zuzana Štefunková 等人, 2020 年)。加權可用面積(WUA)是用來表示棲息地質量相對於一個可變參數，通常是流速或通道形態的變化。WUA 可以展現出棲息地的流量與微棲息地單位面積之間的函數關係。然後通過微棲地面積(S_b)和組合適用性因子(CSF)的乘積：

$$WUA = S_b * CSF \quad (1)$$

$$CSF = f(P_v, P_d, P_a) \quad (2)$$

其中 Pa 是棲息地補充屬性（庇護所和底部基質）的參數，此外尚需要分別評估 Pv、Pd、Pa 的因子權重。圖 3. 斯洛伐克山間溪流的 (a) 水深和 (b) 流速的適宜性曲線。自然流 (N) 用實線表示，調節流 (R) 用虛線表示。

從簡單的公式，如曼寧公式，若要進行探討設置適宜性時，探討變數分別代表速度、水深、河床坡度和河道寬度，每個變數可以有最小和最大兩個值作為上下限，這樣就有總共 16 種組合情況可供計算相應的合適的流量。回顧長期平均流量數據記錄後， Q_F 設計選擇的最佳流量將定義為相應的速度、水深、河道寬度和河床坡度，以形成給定的必要流動環境，或說選擇出棲息生活需要之條件。最後，這個設計最佳流量可以從式 (1) 和式 (2) 中求得。

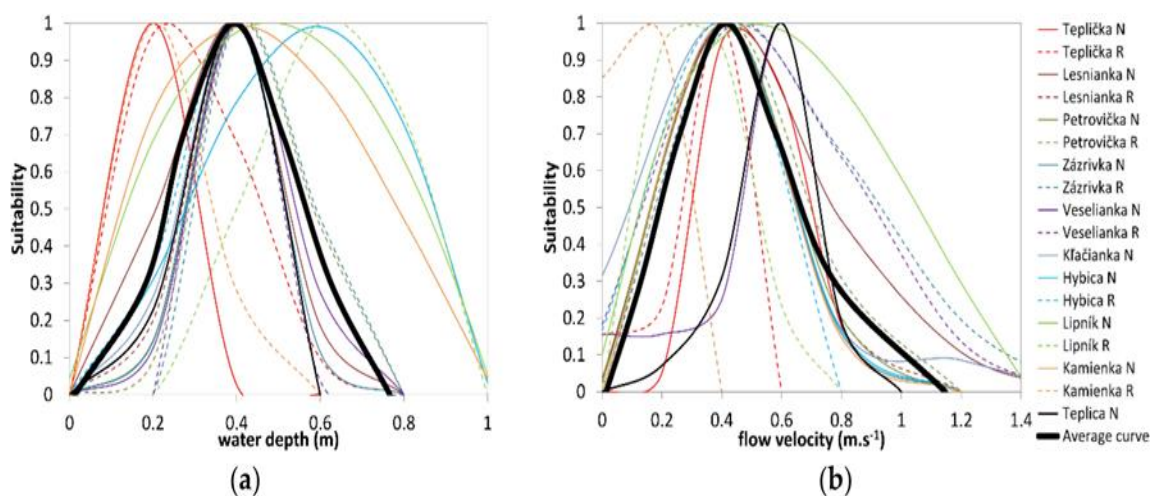


圖 3. 適宜性曲線用粗黑線表示—(資料來源:Štefunková, Z. 等人 2018)

Kidoo Park 等人 (2018) 表示：“棲息地模擬使用棲息地適宜性標準 (HSC) 將有關通道結構、模擬水面水平和速度的信息轉換為包含可用棲息地數量的指數”。該指數稱為加權可用面積 (WUA)，它是給定排放和目標物種的每個單元中可用棲息地的算術總和，以便在河流中保持其功能所需的最低流速，他們說明了由四個步驟組成的流程圖：(1) 使用地表徑流模擬的結果，通過流量-持續時間曲線計算乾旱流量；(2) 使用 Design FLOWS (DFLOW) 4.1 版 (US Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA, 1990) 這是基於水文和生物的設計流量方法所計算出的保守低流量，並通過比較此一低流量來評估乾旱流量的充足性- 流量 (如果缺水非常嚴重，應選擇性地考慮 IWM 的結構措施)；(3) 確定復育之魚類所需之生態河流流量 (Q_D)，經由此一流量與乾旱情況下的流量的相互評估，找到最大流量，作為入流流量；(4) 在缺乏復育之魚類所需之生態河流流量與旱流差異 (即河內水流的流速不足) 的水生生態系統條件下，提出一種河道內水流結構，以改善魚類棲息地。由於魚類的生態棲息

地是生態修復的一個非常重要的要素，我們選擇復育之魚類所需之生態河流流量作為生態流量。因此，河道內流量被確定為乾旱流量和復育之魚類所需之生態河流流量之間的最大值，這取決於特定河流河段的季節性變化。入流流量的評估如公式(3)所示：

$$Q_{IN} = \max(Q_F, Q_D) \quad (3)$$

其中 Q_{IN} 是入流流量， Q_F 是棲息地（魚類）流量， Q_D 是乾旱流量。

四. 不確定性的來源

整體而言，例如 Postel 和 Richter (2003)所言：生態系統方法現在處於環境流量方法論的前沿，它利用水文、水力和棲息地分析以及專家判斷來為管理系統構建合適的流量狀態。這些是越來越複雜和跨學科的工作，允許評估替代方案，旨在保護河流生態系統，同時滿足人類需求。現在我們越來越常看到生態工程方法受到社會和文化問題帶來的不確定性的干擾。換句話說，目前專業人士在各個方面都遇到不確定性的現象，這也可能造成一種想以快速視野和對問題的沒有深入認識而採取相應解決方案的深思指標。儘管目標、價值觀、感知、審美趣味、人口流動的用途和意義有時會發生衝突，不可避免的是「可持續河流恢復的目標越來越需要整合不同的觀點」。從制度上而言，公民團體現在已成為許多恢復工作的一個組成部分，專業人士已經了解到，協作規劃過程可能不會帶來快速的解決方案，但它可能會在政治和社會資本方面提供可觀的長期利益，並可能產生更可持續的恢復項目。

為了在可持續的基礎上取得成功，河流修復必須在技術上合理並得到公眾的大力支持。雖然河流恢復的決策本質上是價值驅動的，但健全的科學是限制可能解決方案範圍和評估可能替代方案的基礎。另一方面，如果沒有強大的公眾支持，技術上合理的修復計劃不太可能得到資助和實施，如果沒有當地的支持，也不太可能可持續。

4.1 從簡單到複雜

流經河道的水力特性是重要的組成部分，在水流速度和水流深度不同的河流系統中進化的魚類棲息地，空間上的流域內和時間上的每日、季節性和每年變化都是要仔細調查的項目。魚類物種的生命週期已適應流量的時間變化並經由對生命週期的各個階段進行計時以利用季節性條件之流量特性來探討物種對一系列流動條件以測量所觀察到的水力特性作為進行耐受性的評估。水是人類的寶貴資源（直接消費、電力、灌溉、工業）並為許多生物提供必要的棲息地，包括高價值的鮭魚等魚類。清潔水對生態系統和社會至關重要全世界。水生棲息地不僅受到近海活動過程的影響河流（河岸）帶（例如，提供遮蔭），但也包括整個流域（例如控制水供應或產生的山坡水文過程山體滑坡）。以評估物種對一系列流動條件的耐受性通過觀測站觀察到的水力特性：魚被在天然溪流中觀察到，它們的補給站被標記，速度、深度和在每個站點測量底物。並

且將這些範圍由頻率定義出各個選擇變量的分佈。例如，利用率（一個指數偏好）的速度和深度因物種而異。

規劃設計可能包括多種渠道維度和特徵，例如，避免依賴單一的嚴格定義的形態，以便如果對原始系統的理解不完全正確最終計畫會有一些彈性。在其他情況下，簡單地為通道分配更多空間可能是明智的設計項目彈性用以適應不可預見的調整，研究人員和決策者增加成功修復河流的概率，以提高環境和社會效益。

4.2 相互尊重:分工/整合與合作/交流

如上所述:河流修復和環境管理是具有不確定性的特性。上述所提出的論點和證據均挑戰了科學確定性的觀點和社會信念的穩定性。基於風險分類我們可將可能導致不可預見和不良後果的不確定性與導致潛在意外的不確定性分開。如果在社會和文化方面存在重大不確定性，則可能應該在著手解決技術不確定性之前先解決這些問題，因為此時關於進行量化流域產量和形態質化可能沒有意義。在社會科學中，我們發現一旦它們的重要性得到認可，並且自發使用及其隱含的社會價值被添加到恢復議程中，可能需要更精確的研究來評估它們。

文化偏好（通常未被承認）在很大程度上影響了恢復目標。建立一個文化偏好的形式（例如一個穩定的、蜿蜒的通道）作為恢復目標是完全合理的，但我們懷疑該領域會受益於明確承認這是動機，而不是用看似科學的通道細節來掩蓋這些項目形態和（通常含糊不清）對改善魚類棲息地的提及。就文化偏好仍未得到承認的程度而言，它們會給修復的計畫項目軌跡帶來更大的不確定性。因此，為了使生態設計真正成功並被廣泛接受，設計師需要找到使河流恢復引人注目的方法，因為設計「生態啟示性設計」的概念表明，通過接納人類進入恢復的生態系統並設計揭示生態過程的項目，我們可以實現生態系統恢復（盡可能在城市地區），同時仍然獲得公眾的認可。

環境管理中越來越多的人認識到倫理和社會層面是主要驅動因素，而科學和技術層面則起次要作用。因此，修復社區面臨的一個新挑戰是將這些維度結合起來「做正確的事情」。在決策領域已經出現了應對不確定性的務實觀點，恢復可能是一項非常昂貴的工作，但管理者通常幾乎沒有基礎來評估他們對給他們提出了可用於測試概念模型之有效性方法應該有多少信心。在某些情況下，減少不確定性的最有效方法是在正在恢復的實際系統中運行試驗程序。即使在這些情況下，模型和不確定性分析也可以為設計試驗提供基礎，以確保它解決模型預測中不確定性的關鍵來源。可以在不考慮恢復項目規劃階段的不確定性的情況下設計監測活動。然而，建議加強監測和建模活動的整合將導致在支持河流恢復的知識方面取得更大的進步。

4.3 策略—概念管理

4.3.1 空間框架管理

河流網絡既是異構的，又是生態學家和地形地貌學家之間的合作新注入的層次結構。從事流水研究的生態學家開發了許多概念模型，其目的是綜合描述水流生態系統在其巨大的自然變化範圍內的結構、功能和過程的經驗資訊。此類模型在將看似獨特的案例研究集合組織成基於統一原則的更廣泛理解方面具有重要價值，並預測新環境中的結果，以解釋不同排放之間所觀察到的差異或發生在不同環境和氣候環境中的差異。森林管理可以通過改變流入河流的沉積物或水量來影響河道形態，從而破壞沉積物輸入和清除的平衡。來自滑坡的粗沉積物的過量輸入可以經由填充水池來平滑通道梯度。從渠道中清除大的木質碎片會減少沉積物的儲存並消除與阻塞相關的局部水力變化。任何一種機制造成的棲息地多樣性喪失都可能減少或改變河流河段中發現的魚類種類。如果變化導致空間減少，人口也可能減少。盡量減少土地管理對河道形態和魚類棲息地影響的策略應包括制定最大限度地減少粗沉積物輸入的增加，並保持河道形態之複雜性。

4.3.2 通過物種資料、棲息地分類和物種相互作用以確定生物棲息地

河流的生物組合不只是由那些能夠到達特定地點並在其提供的棲息地中生存的物種，或者以其他方式，生物群落具有可重複結構的觀點不僅來自環境因素，還來自物種之間的相互作用，包括某些關鍵物種。更喜歡哪一個？環境生態學擁有豐富的概念和模型，可以解決核心問題：「是什麼決定了當地物種的組成和相對豐度」。在許多有爭議的問題中，區域與地方進程的重要性及與建立驅動社區集會的機會與重要性相繼引起人們極大的興趣。河流環境在所有空間和時間尺度上都是異質的。個別棲息地坵塊通常在其環境條件方面是獨特的，包括流量、河床基質、溫度、有機物質積累、生物膜等。許多物種在適應環境梯度特定條件的程度方面會有所不同，並且由於存在多個環境梯度，沿環境梯度分類的物種可能在確定當地豐度方面發揮重要作用。氣候、地質和地形的許多方面都會導致河流固體和溶解載荷的區域變化，而流量的波動是時間變化的主要原因。河流環境也受到相當程度的時間不穩定性的影響，特別是由於水文干擾，因此種群和組合的坵塊居住地通常很短。干擾頻率是影響組合結構的關鍵過程，就像一個關心，偏愛一組生物而不是另一組生物，並通過防止優勢物種取代脆弱物種來促進整體多樣性。河流受環境因素的影響，這些影響因素基本上控制著河流物理外觀的所有方面，且是因地而異，並且可以組織起來。氣候、地形、地質和植被覆蓋是河流無法影響的固定環境變量，並且由於氣候影響往往比地形影響更大。

地質決定了離子的可用性和沈積物的供應，地形決定了坡度和汙染程度，氣候和土壤決定了植被，從而決定了有機質的可用性和遮蔭程度等等。環境生態學研究不同尺度的異質系統中空間格局和生態過程之間的相互作用，強調離散坵塊、交錯帶（坵

塊之間的邊界)和坵塊之間的連通性的重要性。一般來說，生態過程是尺度相關的，因此在較大尺度上運行的因素會影響較小尺度的系統，但反之則不然，這與影響的層次方向性一致。

從統計學的角度來看，對於一個確定的空間尺度和時間段，運用歸納法，使其具有相應的特徵，然後對擴大的空間和時間範圍進行驗證和模擬，以求其有效性和可靠性。當我們發現一些特別或重要的事情時，我們會更新或更新情況以再次運行流程。該程序可以以更高的可信度以擴大適用範圍。

五.不確定性的概念管理模式

許多圍繞生態棲地恢復動機、觀念和方法的不確定性最嚴重地表現為溝通的不確定性。也就是說，由於知識有限，它們不是簡單地表示為不確定性，而是在恢復過程中以一種阻礙透明決策的方式被忽略和誤傳。所提到的大量其他不確定性的重要性在很大程度上取決於具體情況，並且迄今為止尚未探索。審查所處理不確定性的哲學策略，從忽略不確定性的現狀到提倡擁抱不確定性，傳統科學研究只關注一類狹隘的不確定性，並採用了「消除」和「減少」不確定性的理念。有人認為這是假設不確定性微不足道，這其實是不道德的。

現今，環境科學、自然資源、生態學、保護生物學、水資源管理和類似學科通常不被公眾和決策者信任為當前的政策中立科學。在生態和環境政策問題上主張個人或組織立場的科學家已被廣泛容忍為可接受的專業行為，甚至受到一部分科學界的鼓勵。結果，科學事業集體陷入泥淖，有可能將科學對公共政策的貢獻邊緣化。公眾對科學信息在技術上準確、與政策相關且在政治上無偏見的信心對於明智地解決通常抱持懷疑，甚或變成了具有爭議、分裂和訴訟的政策和監管問題。

模型的獨立評審可根據所提供證據的強度類型，做為評估概念模型的不確定性建立簡單的指南；確保計畫總成本的適當百分比用於概念模型的開發；保留一些支撐模型的資訊和數據，並使用這些數據來驗證假設模型；進而將所有數據和資訊傳遞給第三方，無需解釋，以便開發競爭模型。理想情況下，建立模式工作應該在其物理（動力學）和生物元素之間盡可能緊密地耦合，並與改進的現場監測策略密切相關。這些都反映出生態恢復計畫中不確定性的主要來源，必須加以解決以便改進恢復設計的現場和建模考量：數據要求、特徵、耦合、意識和發展。雖然上述每一項仍然都會是不確定性的來源，但它們也代表了研究和干預協議機制快速發展的機會領域。

六. 討 論

決定出哪些是與生態相關的要素，然後再使用假設去檢測生態所假定之相關影響因素，這樣才不會落入主觀甚或偏見的產生，因此建議使用其他統計工具，例如功效分析和決策理論。恢復生態總體上而言“是社會科學和自然科學之間的橋樑。”在恢復生態系統之中是不可能將科學和政策問題相分開的，這本身就給本來可能被視為價值的東西引入了不確定性，中性或「客觀」的科學結論。重要的是要清楚任何區分使用科學方法和工具來理解自然現象與獲取有關恢復問題和政策制定的科學資訊在實踐中，並不總是有明確的界限。為了能有更具說服力的結果，顯然我們還需要對各項可能因素進行更多的工作，以便最終做出更好的預測。這可能需要以適應性的方式專門針對計畫內的相關河流來進行。政策制定者制定議程，確定向科學家提出的問題；科學家們以受限於他們的工具、他們的想像力和學科慣例的方式來製定假設。因此，他們提供給政策制定者的信息是有限的，並且在一定程度上是由社會決定的，因此科學發現與政策制定之間存在複雜的回饋關係。在試圖客觀並專注於了解河流恢復現象的同時，科學家和其他研究人員應該意識到他們工作的政策用途以及他們開展保護環境和人類健康的科學的社會責任。在努力履行這一責任時，需要更多地考慮科學和其他不確定性。

對科學家和其他研究人員所做的一些有價值的決定和判斷的討論並不是批評，相反，之所以討論這個問題，是因為未能認識到科學的價值承載多項變量因子的存在，即使是用於為河流恢復決策提供資訊的最好和最徹底的科學和技術研究也會引發嚴重懷疑。換句話說，除非披露用於推導資訊的科學和技術研究的價值維度與基於關於科學家本身經常有爭議或相互衝突的價值觀，否則政策制定者和決策者的立場在客觀或價值中立的科學推理上似乎是會被合理化。因此，河流生態系科學中不確定性的最終來源還是在於研究人員自己的智慧。而分工結合，相互尊重，不同專業領域的合作才是減少這些衝突和不確定性的有效解決方案。

七. 結 論

河流生態系統，乃是由無機物質和有機生命組成，具有人文、地質、水文、水力、生態等特徵，展現在經濟、社會發展、土地利用、文化多樣性和自然資源競爭等方面，成為人類與自然共同互動的平台。上述所有項目中的較高不確定性，並形成了一個非常複雜的系統。綜合考慮影響因素，選擇適合管理方向的合適模型，運用統計歸納歸納法，可以為我們提供更靈活的策略來指導最優管理平面。我們還有很長的路要走，我們需要在未來的工作中更加努力。

早在七十年代，隨著人們對河流用途的提高，例如：養殖、旅遊及具有藝術價值之美化環境及與這些方面相互對立的運用，例如：防洪、灌溉、水力發電等等，使得以系統方式來闡述河流流量及管理方法及其評估河流長期發展規劃在有效利用水資源之方法上也不斷推陳出新。根據與河道物性及水質有關的無脊椎動物及魚類的容納能力，可以用來確定出最小及最佳的流量，例如：在深度與流速沒有超過臨界值以前，流量增大，無脊椎動物之可用面積會增大，當超過了臨界值則其加權可用面積減少。此外，管理策略仍需考量與水底生物和魚類生存相關之更多的流量需求。例如為了保持清澈之水流等。但是，過大的流量可能是不合適的，因為在某些情況下，變質的水流可能輸送到下游相當遠的地區（限制水流量狀況下之下游河段）。因此，以下四個因素可能成為考量河流流量分配與人類活動相關連性之機制（羅慶瑞 2000）：

- (一)對水流調節引起的河道形態及水文過程之可能變化要有基本之了解；
- (二)發展並改進預測之方法，例如：由河道形狀，流況及其它水力因素之變化對水生生物及遊樂場所造成之變化進行預測；
- (三)提高對管理和運行過程之了解；
- (四)法律與社會習俗之約束；

事實上，發展評估河流之流況，例如：流速及水深為基本要件來得到基本或最佳流量與魚類生態結構相關之分析方法是最值得利用的。此種方法乃是利用幾個不同斷面的水深與流速資料，而每個斷面劃分出 9~20 個斷面部份，來選擇河段的一定流量變化值內的水面坡降。水深、流速及水面寬度與河流用途之最佳條件有關。此外，對於特有種種類以及具有特殊生活週期之生物，便可通過給定的流量計算其加權可用面積，進而可列出流量調節，而且可以用它來估計設計之流量變化與預期河道形態變化之影響與相關性。這種觀念可成為水產生物學家，水力學和水利工程專家間之交流工具。推求河流流量之五個基本步驟可歸納如下：

- (一)河道之物理與化學特性現場測量；
- (二)水深、流速、河床質及覆蓋空間分佈之水力綜合模擬；
- (三)模擬溫度與化學成份隨時間之變化；
- (四)對所研究河段之每一流態和河道條件應用生物不同種類與生活階段之生態環境評估標準定出指標值；

(五)列出可利用之生物棲息區域隨時間之變化；

由(一)~(五)可建立出「選擇曲線」—包括水深、平均流速、溫度及河床質變化。有關十種生態環境評估指標值為：

水流流速；(2)年流量變化；(3)臨界週期流量；(4)夏季最高水溫；(5)河寬；(6)覆蓋物；(7)食料供應量；(8)食料種類豐富程度；(9)硝酸鹽含量；(10)河岸穩定性。

上述五個流量推求基本步驟與 10 個變量為生態指標，作為未來研究方向，期盼拋磚引玉，共襄盛舉，在先進指教提攜及後進共鳴合力下，使多目標水資源運用與管理更上層樓。

參考文獻

Hawkins, C.P., J.L. Kershner, P.A. Bisson, M.D. Bryant, L.M. Decker, S.V.

Gregory, D.A. Mc- Cullough, C.K. Overton, G.H. Reeves, R.J. Steedman, and

M.K. Young, (1993). A hierarchical approach to classifying stream habitat

features. Fisheries 18(6):3–12. Hewlett, J.D., 1982. Principles of forest

hydrology.

Howarth RW, Billen G, Swaney D, Townsend A, Jaworski N, Lajtha K, Downing JD, Elmegren R, Caraco N, Jordan T, Berendse F, Freney J, Kudeyarov V, Murdoch P, Zhao-Liang Z, (1996). Regional nitrogen budgets and riverine N and P fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean: natural and human influences. Biogeochemistry 35:75–139.

Kidoo Park, et al.,(2018). Use of instream structure technique for aquatic habitat formation in ecological stream restoration. doi:10.3390/su10114032. Sustainability.

Štefunková, Z, et al., (2020). Evaluation of the methodology to assess the influence of hydraulic characteristics on habitat quality. doi:10.3390/w12041131, Water 12, 1131;

羅慶瑞 (2000). 河川再生準則-水力規劃、護岸及景觀設計:防洪、保育、利水、親水、美化，台灣省水利技師公會出版。