

## 河流生態學 十三 林雨莊學習筆記

- 第 1 章 河流生態系統概述
- 第 2 章 河水流動
- 第 3 章 河流地貌
- 第 4 章 河流水的化學
- 第 5 章 非生物環境
- 第 6 章 初級生產者
- 第 7 章 碎屑能源
- 第 8 章 營養關係
- 第 9 章 物種的相互作用
- 第 10 章 溪流生態社區
- 第 11 章 營養動能
- 第 12 章 河流生態的代謝
- 第 13 章 河流的人類影響**
- 第 14 章 河流生態學的基礎

Stream Ecology J. David Allan & Maria M.Castillo

## 第十三章 人類影響

儘管除了地球上最難以進入的地區之外，人類的足跡都相當可觀，但淡水生態系統尤其受到多重壓力的影響：取水、工業和家庭廢水、入侵物種的傳播、水文改變、棲息地退化和資源過度捕撈。一半以上的可利用淡水逕流已經用於人類使用，超過10億人無法獲得安全飲用水，世界上60億人中約有一半缺乏基本的衛生服務（Jackson et al. 2001年；Postel et al. 1996）。對淡水資源的需求迫切需要確保為人類福祉提供足夠的淡水，同時盡量減少生物多樣性的下降、淡水生態系統的惡化和生態系統服務的喪失。

淡水生態系統的生物多樣性正在經歷比大多數陸地生態系統更大的下降（Sala et al. 2000年；Dudgeon et al. 2006），如果人類壓力繼續上升，生物多樣性繼續下降，淡水生態系統的前景令人震驚，也許是災難性的。淡水生物群正在經歷生物多樣性危機（Revenga and Kura 2003），這是由多種相互作用的威脅造成的。棲息地退化是普遍的，這是包括大壩、疏浚和渠道化在內的內流改變、沿水邊破壞河岸穩定的有害活動以及影響水文的土地利用變化的結果，對物理過程和生物群產生次要後果。來自擴散源和河道末端源的污染很普遍，在世界許多地區，汙染水對人類或水生生物都不安全。儘管較發達國家在處理廢水和減少點源污染方面取得了重大進展，但由於基礎設施老化和快速發展，污水洩漏繼續發生。入侵物種的偶然和故意傳播，往往通過捕食、競爭、棲息地改變和作為疾病的傳播者對本地物種產生破壞性影響。過度開發並不影響所有物種或地區，但海龜、軟體動物、蝦蟹類和許多魚類已經或正在因不可持續的捕獲率而被迫下降。最後，氣候變化通過改變溫度和逕流模式產生直接影響，並對植物生態系統功能的許多方面產生間接影響。這五類威脅需要單獨或通過其相互作用採取緊急行動，扭轉生物多樣性和生態系統衰退的進程。

河流為人類提供了許多好處，其中一些是不可替代的。這些生態系統服務包括家庭、工業和農業用水供應、可收穫生物、水電、廢物處理、導航、遊憩享受和精神滿足。受損的生態系統可能無法提供這些服務，反而成為腹瀉、蟠尾絲蟲症、血吸蟲病和瘧疾等汙染水傳播疾病的源頭。河流的巨大效用導致各種用途之間的衝突，特別是那些可以很容易地分配經濟價值的用途與歷史上被排除在任何明確估值之外的其他用途之間的衝突。

本章回顧了河流生態系統及其生物群的危險狀態，研究了威脅，並探討了可以幫助我們管理、恢復和保護溪流和河流的科學知識。人們很容易對危害進行分類，也許會帶走一個太黯淡的資訊。科學知識、公民意識和新政策正在迅速發展。

人們希望，在承認人類和環境對淡水需求的框架內進行基於生態系統的管理，將支援改善河流及其生物區系生態條件的新時代。

### 13.1 淡水生物多樣性

淡水生態系統約佔地球表面的0.8%（Gleick 1996），支援至少100,000種已知物種（LeVe.-que et al. 2005，Strayer 2006），約佔180萬種已知物種的6%。（LeVe.que et

al. 2005) 在一項雄心勃勃的努力中，按大陸或主要生態區對所有主要淡水群體中的動物物種數量進行編目，從文獻，網站，博物館和諮詢專家中編製了清單，以獲得最佳估計。

淡水水生植物，藻類和真菌未包括在原始彙編中，這是一項持續的努力。雖然這些數位是暫定的，但簡要說明主要淡水無脊椎動物類群的多樣性是有意義的。目前對真正淡水或依賴淡水的無脊椎動物總數的最新估計是17門約570科約90,000種 (Strayer 2006)。真正的總數，包括目前未描述的物種，可能是這個數字的兩倍。昆蟲、甲殼類、軟體動物和蠕蟲是數量最多的無脊椎動物類群 (圖13.1)。一些主要水生昆蟲類群的物種數量為蜉蝣目，2100種；積翅目(石蠅)，2,000；蜻蛉目(蜻蜓、豆娘)，5,500；毛翅目(石蛾)10,000；雙翅目(蚊蠅、搖蚊)，>20,000；和鞘翅目(水甲蟲)，至少6,000 (LeVe.que et al. 2005)。原生動物、線蟲、蠕蟲和許多小型分類群所包含的物種可能比目前描述的要多得多，而南美洲、非洲和亞洲等主要地理區域的研究不足，因此本彙編無疑是不完整的。

全世界已知約有25,000種魚類，包括至少10,000種淡水物種和大約500種降河產卵魚類 (Berra 2001, LeVe.que et al. 2005, Nelson 2006)。

熱帶淡水的魚類多樣性比溫帶地區高得多，許多物種無疑尚未被描述。在大陸範圍內，非洲至少有3,000種，南美洲有3,500至5,000多種，熱帶亞洲有3,000至3,500種。所有脊椎動物類別都有淡水代表，

儘管對淡水環境的依賴性各不相同，因為所有兩棲動物都包括水生動物相位，沒有鳥類是水生的，但是數千種水鳥類依賴捕掠淡水環境的魚、蟲生存。每年大約有300種新的魚類被描述或從同義詞中復活 (Stiassny 1999)，在過去十年中，幾乎三分之一的已知兩棲動物物種被描述 (Dudgeon et al. 2006)。這證明真實的總數要高得多。

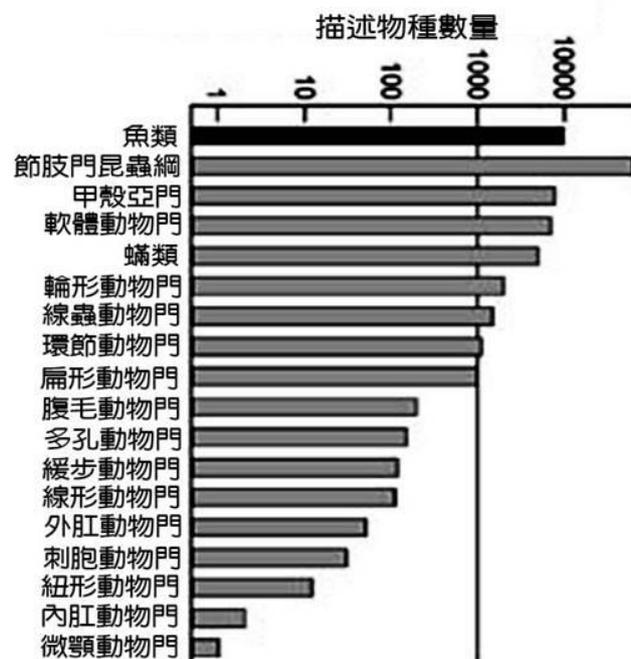


圖13.1 已被科學家研究描述的淡水無脊椎動物種類的數量。黑橫條顯示了所描述的淡水魚類種類以供比較。(摘自Strayer2006。)

### 13.1.1 淡水物種瀕危

瀕危和滅絕的淡水無脊椎動物的數量尚不清楚。世界自然保護聯盟 (IUCN) 紅色名錄包括1,369種物種 (來自所有淡水)，其中77%是軟體動物，十足類動物和卵形動物 (Strayer 2006)。世界上小型、不起眼的無脊椎動物和研究不足的地理區域代表性嚴重不足。

Strayer提供了以下近似值：如果三個研究最好的分類群中有8%處於危險之中，並且全世界可能有150,000種淡水無脊椎動物物種，那麼現在有12,000種淡水無脊椎動物處於危險之中或已經滅絕。

與一般情況一樣，估計的滅絕數量遠遠大於已記錄的數量。自1900年以來，約有123種淡水動物物種被記錄為滅絕，但由於對大部分生物群的分類學和歷史分佈的瞭解不完整，這些數位是保守的。每當專家小組和「紅色瀕危名錄摘要」和大自然保護協會自然遺產中央資料庫估計主要淡水動物群體面臨的危險時，結果都是令人震驚的 (圖13.2)。Ricciardi和Rasmussen (1999) 根據1900年以來已知的滅絕情況，類比了北美陸地和水生動物每十年的物種損失比例，然後根據目前瀕危分類群的數量預測未來的速度。按照這種公認的近似方法，預計淡水未來平均滅絕率比陸地動物高五倍，淡水率與熱帶雨林組合的預測相似。

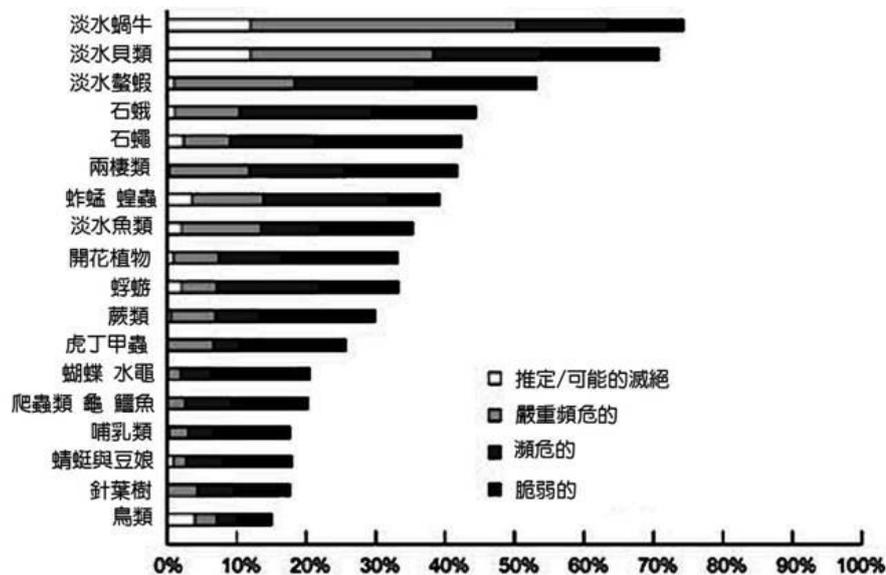


圖13.2 美國主要物種的受威脅程度。受害最大的物種是全部或主要是淡水物種。(Master等人1998年。)

### 13.1.2 主要群體的危害

從歷史上看，淡水生物多樣性的狀況是通過對魚類、軟體動物和甲殼類動物等少數動物群體的瞭解，或通過關注鮭魚等知名物種來評估的。(Williams等人1989) 很好地總結了北美淡水魚類瀕危的程度，他們將103個物種和亞種歸類為瀕危物種，

114個物種和亞種為受威脅物種，147個物種和亞種值得特別關注。

總共364個分類群大約代表了北美魚類的三個物種和亞種中的一個。在加拿大，205種本地淡水魚中有71種被評估為處於危險之中（Dextrase和Mandrak 2006）。加州的115種本地魚類中約有63%已經滅絕或瀕臨滅絕，其中包括8種在該州內滅絕的魚類和15種被州或聯邦承認有滅絕的危險（Moyle 1995）。大多數下降有多種原因，但水專案、入侵物種和棲息地退化被認為是最重要的。由於加州60%的本地魚類是該州特有的（80%是該地區的特有物種），因此加州魚類物種的喪失可能具有全球意義。

雖然對世界不同地區淡水魚狀況的了解參差不齊，但有充分證據表明存在廣泛的危險。Moyle和Leidy（1996）估計，世界上約有20%的淡水魚瀕臨滅絕或已經滅絕，由於未被發現的滅絕，這一估計可能很低（Stiassny 2002）。毫無疑問，某些地區的危險性比其他地區更大，例如馬達加斯加歷史上豐富的地方性魚鱗魚，在一個正在經歷大規模森林砍伐的島嶼上明顯減少（Stiassny 1999）。

世界上的非海洋軟體動物是一個高度多樣化的門的成員，其中包括淡水中估計有7,000種已描述的物種和3,000-10,000種未描述的物種。全世界有708種淡水物種被列入2002年自然保護聯盟瀕危物種紅色名錄（Lydeard et al. 2004）。北美的軟體動物群，特別是美國東南部的軟體動物群，在全球範圍內擁有極其豐富的淡水螺和貽貝和蛤蜊的多樣性。這種動物現在面臨著災難性的滅絕。北美近300種聯合物種中約有三分之二被自然遺產網絡列為滅絕，瀕危或脆弱物種，37種美國物種被推定或可能滅絕（Master et al. 2000）。在美國東南部的莫比爾集水區，曾經是世界上最多樣化的軟體動物群中，由於棲息地和水流改變，三分之一的物種已經消失（表13.1）。

北美擁有全世界最大的小龍蝦多樣性，有308個物種和30個亞種，總共有338個公認的分類群（Taylor et al. 1996）。小龍蝦在水生生態系統中可以成為強大的相互作用者，消耗大量的植被和落葉，並且是鱸魚等流行運動魚類的重要食物資源。野生和養殖種群都是經濟上重要的食物資源，也被收穫作為休閒漁業的誘餌。雖然只有兩個物種被認為可能滅絕，而且根據美國《瀕危物種法》正式列入名單的物種也很少，但近一半的北美小龍蝦值得一定程度的保護（Taylor et al. 1996）。一些物種的範圍有限，加上棲地退化和物種入侵是主要原因。

後者包括積極取代本地物種並正在大大擴展其範圍的北美物種，例如鏞螯蝦 *Orconectes rusticus*。其他脊椎動物群體也受到高度威脅。由於氣候變化、疾病和棲息地喪失等原因，全球兩棲動物的減少威脅著全世界三分之一的物種（Stuart et al. 2004）。Dudgeon等人（2006）總結了鱷魚，海龜和其他爬行動物處於危險狀態的證據，特別是在熱帶河流中。淡水海豚可以說是仍然活著的最瀕危哺乳動物，就長江海豚而言，數量不到100隻。由於最近對該物種的調查未能記錄任何目擊事件，因此它可能最近已經滅絕；如果得到證實，這代表整個 *Lipotidae* 科的消失。

最後，儘管許多注意力理所當然地集中在稀有性和滅絕上，但現代組合中的許多物種相對於其歷史狀況，其範圍經常受到限制，豐富度也減少。（Fagan等人2005）利用歷史記錄確定了科羅拉多河下游集水區原產的25種魚類的原始範圍，發現平均而言，物種範圍相對於其歷史分佈減少了>45%，整整三分之一的物種至少失去了一半的出現。

在這15個物種中，一個已經滅絕（*Cyprinodon arcuatus*），在剩下的14個物種中，八個被認為是瀕危物種，兩個是易危物種，四個是低風險物種。正如這個例子

所說明的，即使大多數原始動物群仍然存活下來，它們的有限和分散的分佈也是功能改變的生物群落的證據。

表 13.1 美國東南部的水生動物的特點是高度多樣性。特有性和滅絕威脅，但保護不足，以阿拉巴馬州州為例。(摘自 Lydeard and Mayden 1995)。

	當地淡水物 種數量	佔北美動物群 的百分比(%)	地方特有的 百分比 a(%)	威脅性 b (%)	美國瀕絕 物種名錄 (%)
魚類	303	38	41	10	40
腹足呼吸蝸牛	147	43	77	65	1
貝類	171	60	34	69	32
海龜	23	52	22	43	20

a.阿拉巴馬州和鄰近州 b.被認為已滅絕，瀕臨滅絕，受到威脅或特別關注

## 13.2 對河流的威脅

許多作者已經審查了現代對河流的威脅（Allan and Flecker 1993， Pringle 2000a， Malmqvist and Rundle 2002， Dudgeon et al. 2006， Strayer 2006）。河流生態系統及其生物群受到威脅的原因多種多樣，下文將在棲地改變、入侵物種、污染、過度開發和氣候變化的標題下討論（表13.2）。最終原因可以在對淡水的的需求衝突、土地用途的變化以及世界各地人口增長和經濟擴張的許多不可持續做法中找到。

大多數危害河流生態系統的人類活動在整個20世紀都呈上升趨勢，儘管近年來污染的某些方面有所改善，但其他壓力，包括物種入侵和氣候變化，預計將惡化。

### 13.2.1 棲地改變

在大多數受人類影響的河流系統中，自然棲息地的改變是對生物多樣性和生態系統功能的最重大威脅。許多負面的後果由於人類對河流的改變。為了討論人類對棲地的影響，人類活動可以分為改變的水流、改變的河道和改變的土地利用。流量受到蓄水、取水和土地利用變化的影響。其影響範圍從強加的恆定性到洪水和乾旱的增強。

河道被拉直、拓寬、重新對齊和穩定以進行流量輸送，去除形成棲息地的木材，並施加堤壩以減少洪水，所有這些都導致棲息地的簡化和同質化。土地利用的變化包括森林採伐、農業集約化和城市地區擴張的各個方面，因此對流量、棲息地和污染物水準產生間接和擴散影響。

表13.2 對河流和河流生態系的主要威脅。(從Malmqvist和Rundle 2002修改。)

	近 因	非生物效應	生物效應
棲息地改變	築壩，取水和改道	自然流失 變異性，棲息地改變，上游與下游聯繫的切斷	減少分散和遷移，水質和組合物組成的變化
	河流渠道化	減少棲息地和河床物質的複雜性，基流量降低	減少有利於高度耐受物種的生物多樣性
	土地利用變化，包括森林砍伐，集約化農業，城市發展	改變能源投入，增加沉積物和污染物的輸送，flashy flows 暴雨逕流	組合物成分的變化，營養動力學的變化可促進入侵
入侵物種	水產養殖，釣魚，寵物貿易，觀賞植物	一些入侵物種會改變棲息地，否則會變少	原生生物群減少，生物均質化可能導致強大的生態系統影響
污染物	農業，城市廢物，大氣沉積物中的營養優養化	氮和磷增加，養分比改變	生產率提高，藻華大量繁殖，組合發生變化
	化石燃料的酸化	pH 降低，Al <sup>+</sup> 增加，重金屬	生理和食物鏈效應
	採礦，工業氣體排放，廢物處置中的有毒金屬	增加痕量金屬濃度(例如，汞，銅，鋅，鉛，鎘)	食物鏈累積放大毒性作用
	有機毒素	多氯聯苯，內分泌干擾物和一些農藥的含量增加	生理和毒性作用
過度開發	食物的商業收成，寵物貿易休閒漁業	通常沒有	組合物成分的變化，營養動力學變化促進入侵
氣候變化	溫度變化	冬季谷冷，蒸散量和流量模式發生了變化	範圍變化符合生理耐受性，提高了生產率
	降水變化	流動方式改變，暴雨逕流更高	更大的干擾作用

### 13. 2. 1. 1 改變的水文

由於水壩和水庫，河流流量的改變和河流連通性的喪失程度是驚人的。據估計，全世界有超過45,000座高於15米高或水庫容量大的大型水壩（圖2.1），也許還有100萬座小型水壩。美國有超過75,000座水壩高於2米高，還有250萬個較小的水控制結構（Hart和Poff 2002）。因此，大多數河流系統受到影響，任何規模的自由流動河段都很少。

在美國48個相鄰的州中，只有42條高品質的河流包含自由流動的河段長度大於200公里（Benke 1990）。北美、歐洲和前蘇聯區的大多數最大的河流系統都受到其

主要河道破碎化的高度或中度影響 (Dynesius and Nilsson 1994)。只有北半球的苔原河流和一些大型熱帶河流，特別是在南美洲，仍然沒有築壩 (Nilsson et al. 2005)。

大壩建設的步伐在整個20世紀持續增長，在1970年至1975年間達到頂峰，在此期間建造了大約5,000座大型水壩，現在已放緩到每十年約2,000座大型水壩 (Gleick 2000)。這種放緩的部分原因是合適地點的數量減少，部分原因是人們越來越認識到由此造成的社會和生態破壞。

大壩的大小，目的和運行方式差異很大，這些差異影響了它們對河流生態系統的影響 (Petts 1984)。大壩在水是從大壩高處排放或靠近底部排放還是兩者都排放方面也有所不同的生態影響。供水水庫需要大量的儲存量來滿足預計的需求並經受乾旱的考驗。為灌溉而建造的水壩必須在雨季儲存盡可能多的水，以便在生長季節釋放。防洪水庫只維護一個小型永久性水潭區，以最大限度地提高存儲容量，並在洪水事件發生後儘快抽取以恢復其容量。航行需要在上游儲存水以抵消季節性低流量條件，並可能輔以水閘和水壩系統。水電大壩儲存水以滿足區域能源需求，這些需求可能隨季節或24小時的變化而變動。Run-of-the-river川流式發電水壩或灌溉用攔河堰以進入水庫的速度釋放水，通常壩體高度較低，被認為對水文幾乎沒有不利影響，但是它們仍然損害河流縱向的連通性。“調峰水電大壩”或“抽蓄發電大壩”只允許水在特定時間流過渦輪機排放，從而滿足能源需求的日常波動。水位變化造成不穩定的棲地條件，水域生物難以適應環境週期，尤其對幼魚的破壞性尤其大，並限制了成魚的產卵機會 (Freeman等人2001, Lin 2010)。最後，水庫也可以用於遊憩目的，包括漁業，但通常情況下，這是多功能設施。

水庫水庫下方的河流環境受到流量、沉積物變化的影響流出的負荷，溫度和水質 (Stanford and Ward 1979)。對通道形狀和基板條件的影響各不相同，可能特別嚴重。釋放非常高流量的大壩可能會導致細小材料的沖刷和河床的裝甲，這是一個表面基材變得緊密壓實的過程。由於河流失去正常的泥沙負荷，由於沉積在水庫的緩慢水域中，大壩正下方的排放物被“沉積物匱乏”。這可能導致大量的河道和河岸侵蝕以及河床的下切，因為河流會適應其運輸的水量和沉積物之間平衡的改變。在有細小沉積物的地方，沒有沖刷流會導致它們在河床內堆積，從而減少無脊椎動物的棲地空間。

水庫蓄水在不同程度上改變了河流的溫度狀況，溫帶河流上設有深放水壩的大型水庫的情況非常明顯，這些水庫全年釋放涼爽且溫度相對恆定的水 (圖13.3)。新的熱機制有助於用冷水魚取代溫水，這些魚種通常在美國西部和東南部引入鱒魚。緩和的熱狀態已被證明會導致高緯度地區大型無脊椎動物多樣性的顯著減少，在高緯度地區，暴露於接近冰點的溫度，然後春季溫度升高是破壞卵滯育所必需的。在加拿大薩斯喀徹溫河，最初包括12目，30科和75種的動物群在建造深放水壩後減少到僅剩下蚊 搖蚊科Chironomidae (Lehmkuhl 1974)。

由於水庫會捕獲沉積物，因此水的透明度通常會在大壩下方增加，導致附著藻類的豐度或植物含量高於河流中的其他地方。例如，水生苔蘚*Fontinalis neo-mexicana*的密集生長在愛達荷河受管制範圍的藜蘚棲息地中發展 (Munn and Brusven 1991)，這反過來似乎是底棲動物群發生重大變化的原因。沉積物負荷通常限制了科羅拉多河底棲藻類的多樣性和豐度，但在葛蘭峽谷大壩下方的尾水中，透明度超

過7米，絲狀綠藻*Cladophora glomerata*豐富。雖然*Cladophora*主要作為碎屑進入食物網，但它為包括端足類微甲殼動物鈎蝦 *lacustris*在內的無脊椎動物提供了附生矽藻和棲息地，因此有助於維持非本地鱒魚的淡水漁業（Shannon et al. 1994，Blinn and Poff 2005）。

緊鄰大壩下方的底棲無脊椎動物群落經常顯示出物種豐富度的減少。在科羅拉多州的甘尼森河（Gunnison River），在不受管制的範圍內發現了數量最多的毛翅目（石蛾）（Hauer et al. 1989）和Plecoptera（Stanford和Ward，1989），物種豐富度最低的是深放水壩下方的尾水。通常，根據對棲地要求的了解，動物區系的變化是相當可預測的。根據對水壩對蜉蝣影響的調查，Brittain和Saltveit（1989）報告說，低流量通常會導致從河流到lentic物種的轉變，如*Cloeon*，*Paraleptophlebia*和*Siphonurus*，而高流量和快速水流有利於其他物種，包括四節蜉蝣(*Baetis*)，*Rhithrogena*和*Epeorus*。

除了個別水壩對蓄水河段和下游（可能延伸數十公里甚至數百公里）的具體和局部規模的影響外，大壩還切斷了作為河流生態系統核心特徵的上下游連通性。

這種連通性喪失的後果對於許多淡水物種來說顯而易見，從蝦到河豚再到洄遊魚類，它們在其生命週期的不同階段使用不同的棲息地，因此需要在上游和下游不受限制地移動。中國長江上的水壩導致鱒魚和白鱒數量減少，阻礙了洄遊魚類的棲地連結。

長江中的中華鱒*Acipenser sinensis*、達氏鱒（*A. dabryanus*）的種群支離破碎，並導致白鱒*Psephurus gladius*的減少（Dudgeon 2000）。許多生活在熱帶島嶼溪流中的水生物種在河流和沿海地區之間遷徙（March et al. 2003）。雖然一些蝦，魚和螺類物種具有令人印象深刻的的能力來克服瀑布等障礙，但沒有溢洪道的大型水壩完全阻止了遷徙，導致可能在源頭發揮重要作用的物種滅絕（Pringle 1996）。從波多黎各溪流上游部分排除淡水蝦的實驗表明，對沉積物、藻類和昆蟲組合以及對凋落物加工有影響（Pringle et al. 1999年；March et al. 2003），這表明消滅蝦可能會產生重大後果。

水壩對北美太平洋西北部洄遊鮭魚的影響可能是對遷徙物種的生物影響最著名但仍然有爭議的例子。

在發育之前，從海洋返回哥倫比亞河產卵的所有種類的鮭魚總數保守估計為620萬條，其中春季和夏季運行的奇努克最為豐富。到20世紀末，自然生產的鮭魚數量下降到發育前豐度的八分之一左右（NRC 1996）。在1930年代至1970年之間建造了大約19個主要水電設施，阻礙並在某些情況下完全阻止了返回的鮭魚的上游洄遊。曾經隨著河流水流迅速通過下游的幼魚現在必須消耗更多的能量在通過鬆弛的水庫游泳，冒著通過溢洪道或渦輪機而受到損害的風險，並應對聚集在大壩下方的捕食性魚類和鳥類的挑戰。儘管有充分的證據表明鮭魚數量下降（圖13.4）和水壩的明顯負面影響，但其他因素，包括孵育溪流棲息地惡化、商業和遊憩捕撈以及海洋條件的變化，都會影響鮭魚的生存（Ruckelshaus et al. 2002）。

由於僅通過消除其中一種威脅，鮭魚將恢復多少尚不確定，而水電提供了太平洋西北地區90%的能源需求，因此破壞哥倫比亞和蛇河大壩以恢復鮭魚未能獲得廣泛

的支援。

在其他情況下，大壩阻止了進入廣闊的鮭魚產卵區，只能產生適度的水力發電，例如在華盛頓州的埃爾瓦河上，大壩破壞的宣導者取得了更大的成功。

洪泛區是大型低地河流的自然特徵，這一事實在北美和歐洲很容易被遺忘，因為建造水壩、堤壩和堤壩來控制洪水並允許農業用途和人類在前洪泛區定居。自然洪泛區是高度危險的生態系統，在歐洲和北美有超過90%的沼澤地正在種植（Tockner和Stanford 2002）。

洪水的生態效益從1990年代中期災難性洪水後對密蘇里河的研究中顯而易見。由於中河有六個主幹水庫以及下游河道的渠化和堤壩建設，密蘇里州是一條部分馴服的河流，歷史上經歷了3月和6月的洪水脈衝，淹沒了廣闊的底地森林、偶爾的大草原、牛軛湖和其活躍的洪泛區淺水、臨時濕地（Galat et al. 1998）。到1990，受管制河流中約有50種動植物受到保護。當1995年和1996年密蘇里河下游發生創紀錄的洪水時，密蘇里河下游與其洪泛區的重新連接使許多物種受益。依靠營養繁殖和適應洪水的新興和浮葉水生植物迅速恢復，觀察到更多不同的魚類物種，特別是在與洪水相連的水體中，海龜物種豐富度也最高。雖然提倡對所有密蘇里州洪泛區進行週期性洪水是不可行的，但這些洪水後的發現證明瞭洪泛區社區的彈性以及在合適地區反覆控制洪水的恢復潛力。

一些大河在很大程度上仍然不受管制，經常淹沒大片森林和濕地，包括亞馬遜河、奧里諾科(Río Orinoco)河和湄公河。湄公河的許多魚類在雨季向上游繁殖洄遊，在淹沒地區產卵（中上層“白魚物種”），或橫向移動到淹沒的森林（底棲“黑魚物種”）（Dudgeon 2000）。由於熱帶河流的魚類產量與洪水泛濫面積呈正相關，並且隨洪峰的大小在年份之間波動（Welcomme 1979），魚類生產和人類生計可能會受到河流調節的損害。最近完工的水電大壩以及湄公河上其他在建的水電大壩預計將減少洞里薩湖周圍的季節性洪水，並且幾乎肯定會減少許多人賴以生存的生產性漁業（Campbell et al. 2006）。

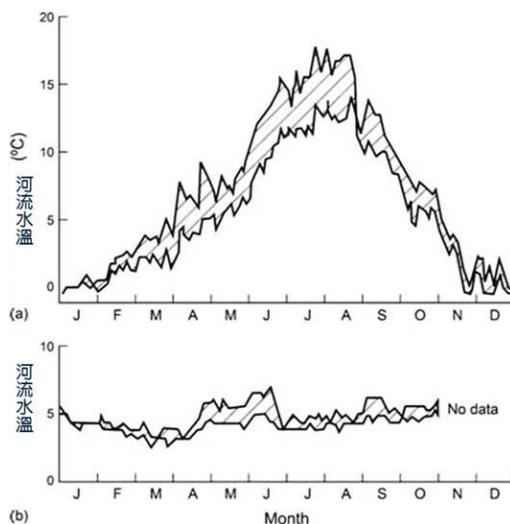


圖13.3 1977年蒙大拿州Flathead河的(a)不受管制的中叉Middle Fork和(b)受管制的南叉South Fork的熱態。陰影區域近似於每日溫度範圍。(Reproduced from Ward and Stanford 1979.)

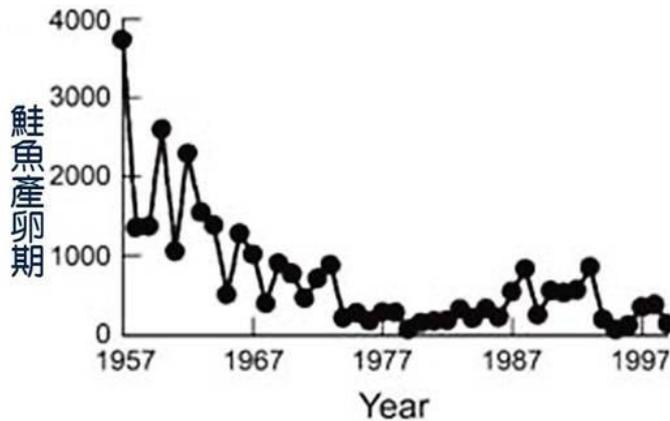


圖13.4 自從在美國西部的蛇河下游建造四個水壩以來，Chinook鮭魚(*Oncorhynchus tshawytscha*)的產卵種群下降(摘自Kareiva et al.1997年)。

### 13.2.1.2 渠道化

從將水返回下游短距離河流的小排水溝，到連接歷史上不同的河流系統的集水區間改道，再到改變大面積排水模式的大型河道計劃，運河和調水對河流產生了可與大壩相媲美的影響。事實上，引水工程通常與水庫和水壩相結合，要麼將水引入水庫以增加水力發電，要麼通過河道和運河輸送水用於灌溉和航行。運河建設和渠道化的程度相當可觀。在美國境內，到1977年已經完成了約26,550公里的渠道化工作，並提議再增加16,090公里(Leopold 1977)。在英國和丹麥進行的調查也記錄了廣泛的渠道化(Brookes 1989)。Quinn (1987)統計了加拿大分佈在九個省的54個流域間改道，如果合併，其總水量將成為加拿大第三大河，僅次於聖勞倫斯河和麥肯齊河。幾乎所有的加拿大改道都歸因於水力開發(Bocking 1987)。

自然溪流的邊岸是植被、岩石、土坡，洪水會淹沒低窪邊灘洪氾區、侵蝕、堆積，野生動物經常在河道與內陸高地間遷徙、覓食、繁殖。渠道化就是緊鄰河道兩側構築硬體護岸、攔河固床、築高堤防、截彎取直、拉直河道、約束水流，阻斷自然溪流與邊岸的互動。小溪流的渠道化很普遍，主要是為了改善農業條件。

丹麥，荷蘭和英國超過90%的低地溪流已經渠道化，主要是在1920年至1970年之間的密集河流改造時期(Pedersen et al. 2006)。這種做法在台灣的農業地區也很普遍。美國五大湖和玉米帶地區的八個州，其土壤在排水時具有很高的生產力，占美國農業產量的近80%(Fausey et al. 1995)，因此經濟效益是無可爭議的。

農田通常被廣泛的地下排水瓦網絡所覆蓋，這有助於排出土壤，但也會導致更快的逕流。因此，必須使河道更寬、更深、更直，以輸送更大的暴雨流。渠道化極大地改變了溪流系統的形狀和尺寸(Brookes 1988)，這些人為渠道化通常通過除草、木材清除和疏浚沉積物來管理，以確保洪水輸送。不出所料，魚類組合(Moyle和Leidy 1996)和高度管理系統的水生植物都被證明受到這些做法的強烈影響。雖然小溪流被拓寬和拉直以進行輸水，但較大的河流通常會被修改為航行、防洪和利用洪氾區土地。1750-1900年標誌著歐洲大多數大河雄心勃勃的監管計劃時代(Petts 1989)；Rhone河道的變化(圖13.5)是典型的。在這個時代，美國的運河建設歷史特別緊湊，因為在1800年之前幾乎沒有實質性的建設，鐵路在60年左右的時間裡基本上超過了駁船交通。然而，在這兩者之間，大約7,000公里的人工水道是手工挖

掘的，只有爆破粉末作為輔助。

在無數河流中，已經消除了障礙物並加深了主要航道，以提高貿易和運輸的通航性。正如Sedell和Froggatt（1984）對俄勒岡州威拉米特河的記錄，由此造成的河道結構損失很大（圖13.6）。障礙物本身為無脊椎動物提供了重要的棲息地，在底部柔軟的河流中，障礙物是二次生產的主要場所（表5.2）。由於航道的改變，河岸線長度是簡化棲地的有用指標。在仍然與洪泛區保持複雜和動態相互作用的河流中，例如義大利的Tagliamento（Tockner和Stanford 2002），原來河岸線長度可以高達每公里河流長度25公里的河岸線。在渠道化後河流中，該值低至每公里河流長度僅有2公里的河岸線。

在更大的空間尺度上，流域間調水補充供水是缺水地區的常見解決方案。加州州水專案將水從該州的北部輸送到南部，以色列國家水運公司從加利利海抽水供應該國南部，萊索托高地專案為南非約翰尼斯堡供水。支援1億多人口的工農業活動的中國黃河正在變得嚴重，在1972-1999年的28年中，有22年沒有出現可測量的流量（He et al. 2005）。乾燥時間從1970年代的平均8天增加到1980年代的11天和1990年代的82天，1997年黃河下游的事件持續了226天。3382座大壩提供了全部儲存年平均91%流量的能力，可用供應的管理可以優化，但補充黃河的調水是不可避免的。

世界上目前規劃的10大調水工程，其中最大的是中國的南北調與多條大河築壩。在北美，人們只需要看看科羅拉多河和加州的水景，就能看到大規模引水的影響。

1913年，洛杉磯這個龐大的大都市建成了一條近400公里長的渡槽系統，將內華達山脈的融雪帶到了洛杉磯市，給山谷的牧場社區帶來了經濟上的破壞。今天，加州大約90%的用水用於灌溉農業，南加州大約一半的水來自州外，從科羅拉多河改道的渡槽和運河。帝王谷現在是西半球最大的灌溉農業，被恰當地命名為科羅拉多沙漠，直到它從科羅拉多河改道和灌溉渠網絡發展起來（加州水地圖集 1979）。只要科羅拉多河的流量隨季節變化，並且允許春季洪水逃逸到大海，這些都不切實際。科羅拉多河流量的監管不僅對水力發電勢在必行，而且對確保全年的引水供應也變得勢在必行。九個主要蓄水庫，以下集水區的米德湖和上集水區的鮑威爾湖為錨定，其集體儲存容量約為長期平均原始流量 $18.5 \times 10^9 \text{ m}^3$ 的四倍。自1961年以來，幾乎沒有水流進入加州灣（圖13.7），今天，強大的科羅拉多州在其自然終點以北225公里的蒂華納的河道中結束，根據一項協定，墨西哥灣最終獲得了少量河流注海的最終份額。

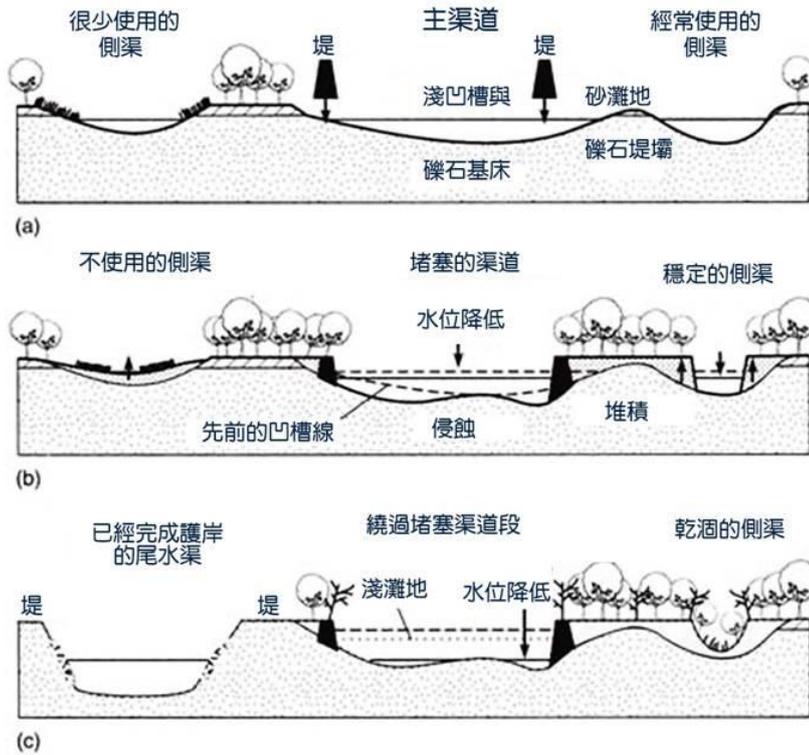


圖13.5 法國隆河(Rhone)的河道變化。從 (a)1870年，天然河道呈蛇行趨勢。始於19世紀中葉的堤防建設和開挖將河水限制在一條單一的深水河道中，從而改善了航行狀況並保護河岸居民免受洪水侵襲。(b)1971年形成槽狀辦狀河床。自1960年代以來，水力發電的發展和渠化已使舊的主幹道大面積脫水，並使舊的副幹道更加干燥。(c)1980年受管制的辦狀河床。網點的地區代表礫石，空白的地區代表淤泥。

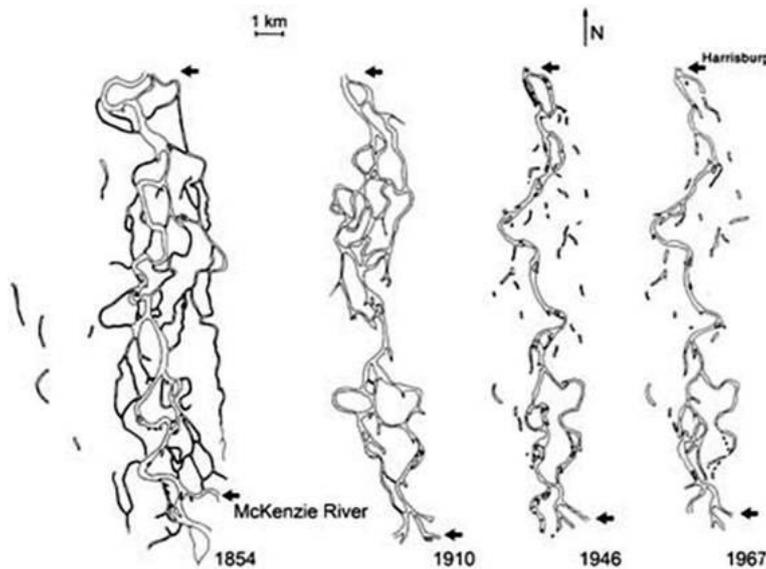


圖13.6俄勒岡州Willamette河的歷史性變化。早期的定居者評論了寬1.5至3公里的洪氾區，濃密的灌木叢和充滿障礙物的多個移動河道。自1868年開始為汽船旅行清除障礙物，隨後在古老的洪氾區擴大農業規模，自1946年以來建造了11個主要水壩，使Willamette河變成了一條與150年前截然不同的河流。25公里長的海岸線估計長度在1854年為250公里，在1910年為120公里，在1946年為82公里，在1967年為64公里。(摘自Sedell和Froggat 1984年。)

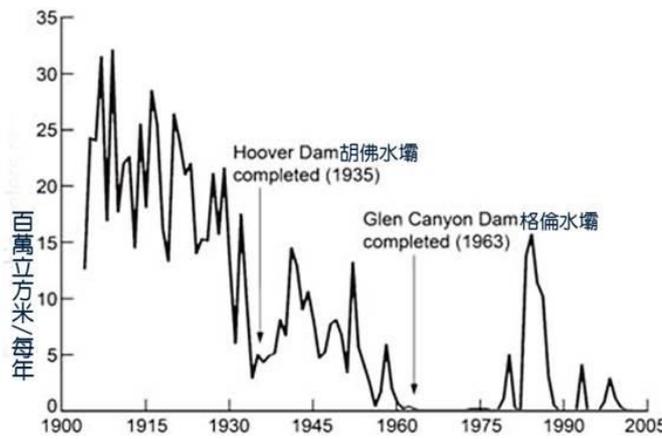


圖13.7 1904 - 2004年，科羅拉多河在所有主要水壩和改道下的流量。

表13.3 土地利用活動影響河流生態系統的主要機制。(摘自Allan2004。)

環境因素	影 響
沉降	新增濁度、沖刷和磨損；削弱附著生物和生物膜產生的基質適應性；降低初級生產力和食品質量，通過食物網造成自下而上的影響；填充間隙棲息地會損害佔據縫隙的無脊椎動物和礫石產卵魚類；覆蓋鰓和呼吸表面；減少了河流深度的不均勻性，導致水體物種減少
營養優養化	增加自養生物量和產量，導致組合物組成發生變化，包括絲狀藻類的繁殖，特別是在光照增加的情況下；加快凋落物分解速度，並可能導致溶解氧減少，並從敏感物種轉變為更具耐受性的物種(通常是非本地物種)
污染物污染	增加懸浮物中與沉積物和組織中的重金屬，合成物和有毒有機物的含量；增加畸形；提高死亡率，以及對無脊椎動物的數量，漂移和出苗的影響；抑制魚類的生長，繁殖，狀況和生存；破壞內分泌系統；身體迴避
水文蝕變	改變地表逕流-蒸散量的平衡，導致洪水幅度和頻率增加，並經常降低基本流量；有助於改變河道動力學，包括增加河道和周圍環境的侵蝕以及不經常發生的氾濫洪水；地表逕流更有效地運輸養分，沉積物和污染物，從而進一步破壞了河內棲息地。城市集水區的不透水表面和雨水輸送以及農業集水區的排水系統和土壤壓實產生了強烈影響
河岸清理/樹冠開放	減少樹陰影，導致溪流溫度升高，光線穿透和植物生長；降低了河岸的穩定性，減少了垃圾和木材的投入，並去除了養分和污染物；減少泥沙淤積，增加河岸和河道侵蝕；改變溶解的有機碳到達物流的數量和特性；由於失去直接輸入和保留結構，降低了底棲有機物的保留；改變營養結構
失去大木頭	減少用於進食，附著和覆蓋的基材；造成沉積物和有機物質存儲的損失；減少能耗；改變水力流動，從而改變棲息地的分佈；降低河岸穩定性；影響無脊椎動物和魚類的多樣性以及社區功能

### 13.2.1.3 土地利用

土地利用變化是許多對河流生態系統產生負面影響的人類活動的整合因素。城市地區的不透水表面和雨水渠、農業地區的渠道化溪流和田間排水網格以及森林採伐、道路建設對河流的流量變化和沉積物輸送受到強烈影響。棲地退化可能表現為水流、河底棲地條件和水岸完整性的變化。在擁有自然植被河岸的地區，植被的存在可以穩定河岸，調節水溫，過濾營養物質和沉積物，並通過影響光的可用性和顆粒有機物的輸入來強烈影響能量途徑（Gregory et al. 1991）。通常，河岸植被的喪失伴隨著河岸侵蝕、淤泥沉積、水溫升高和食物網的改變等，隨著人類的開發逐漸侵蝕河流邊緣，污染物負荷通常會增加（Lowrance et al. 1997, Hickey和Doran 2004）。雖然路徑不太明顯，但土地利用模式和整個集水區的人口存在往往作為河流狀況的良好指標，是人類干擾的一般指標（表13.3）。

世界上大多數定居地區的景觀都發生了廣泛的變化。在紐西蘭，農業擴張之前，超過80%的土地是森林。今天，紐西蘭大部分溪流和河流中下游集水區的主要土地利用是綿羊牧場（Quinn 2000）。農業是美國許多發達流域的主要土地利用，占密西西比河下游、密西西比河上游、南部平原、俄亥俄州、密蘇里州和科羅拉多河流域土地面積的40%以上（Allan 2004）。城市土地利用通常佔總集水面積的較低百分比，對於大集水區，城市土地通常佔集水面積的5%以上。

由於城市壓力源對水生生態系統的影響不成比例（Paul and Meyer 2001），即使在低值的情況下，城市化的影響也可能很重要。當低級序溪流的小集水區成為重點時，土地利用可以從城市、農業或林地的近0-100% 覆蓋率不等。

當比較不同土地利用下排水集水區的溪流時，景觀環境的影響是顯而易見的。Quinn等人（1997）比較了紐西蘭100米長的河段的水質、棲息地和生物群。未開發的自然森林溪流，植物密度高，樹蔭濃密，溪流水溫低，水生昆蟲多樣性高。人為開發成牧場後，排水系統改變水文與地形，溪流接收到更多的光線、更高溫、水質優養化，藻類生物量更高。松樹和牧場溪流在河床中儲存的細小沉積物都比原生溪流多。牧場和原生林的群落組成差異最大，前者更多的蚊蠅和外來種淡水螺很多，自然森林溪流的蜉蝣、石蠅和石蛾更多。

許多研究表明，棲地品質和生物多樣性（通常使用生物完整性指標進行評估，見第13.3.1節）與沿河流走廊或整個河流集水區的各種土地利用措施相關（Allan 2004）。Roy等人（2003）通過對喬治亞州埃托瓦河流域30條溪流的比較發現，分類群的數量和其他生物指數與城市土地覆蓋呈負相關，與林地覆蓋呈正相關。城市土地覆蓋與河床沉積物大小呈負相關，與養分濃度和濁度呈正相關，表明影響生物區系的環境條件反映了土地利用。

對威斯康辛州134個溪流地點進行的類似研究發現，棲息地品質和生物完整性與農業用地數量呈負相關，與林地數量呈正相關（Wang et al. 1997）。

有充分證據表明，森林採伐管理不善導致棲地和魚類種群嚴重退化（Bisson et al. 1992）。河流的變化和沉積物產量的增加是伐木活動最嚴重的後果之一，因為它們對河道和棲地特徵有長期影響。沉積物的主要來源包括森林砍伐斜坡的山體滑坡，伐木道路的地表沖刷，以及由於洪水泛濫而儲存在河岸或河床內的沉積物受到侵蝕

(Scrivener和Brownlee 1989, Bruijnzeel 2004)。隨著更多的集水區被伐木，溪流潭區充滿了沉積物，形成溪流潭區的大木材丟失了，溪流潭區的頻率和大小下降 (Bisson et al. 1992)。一般而言，人們觀察到物種多樣性的減少，歸因於棲息地的簡化，以及由於更大的光穿透和自養生產，現有作物生物量的增加。對於高緯度森林伐木流域和未伐木流域的溪流進行調查發現，無論潛在地質如何，伐木地區的鮭魚物種多樣性較低 (圖13.8)。水生無脊椎動物也受到砍伐木材的不利影響。Corn and Bury (1989) 將未砍伐森林溪流上游中的兩棲動物豐度與14至40年前被砍伐的第二生長森林中的溪流進行了比較。在以前採伐的溪流中，物種豐富度較低，細小沉積物的百分比較高，這表明木材採伐的長期後果。

河岸緩衝帶如何有效地減輕土地利用對水生生態系統的不利影響，以及需要多大的寬度，仍在爭論中。緩衝帶的推薦寬度從小於10米到100米不等，可能取決於保護目標和背景 (Lee et al. 2004)。試圖區分河岸與集水區土地利用對河流條件的重要性以及各種寬度的河岸緩衝區的有效性，結果好壞參半，部分原因是土地覆蓋變數往往是相關的 (Roth et al. 1996)。Jones等人 (2006) 通過選擇森林覆蓋值不相關的地點並開發將緩衝區寬度與河流變數相關聯的模型，證明緩衝區寬度從30米減少到15米會導致河流水溫度升高，喬治亞州河流中的鱒魚數量減少。即使存在河岸緩衝區，其有效性也可能被雨水排水管、農田中的地下排水瓦和侵蝕景觀中的溝壑所抵消，這些溝渠會迅速將水、沉積物和污染物輸送到河道中。

在澳洲墨爾本的城市溪流中，與具有相當不透水面但缺乏直接聯繫的城市地區相比，當雨水渠將逕流直接輸送到溪流中時，無脊椎動物種群受到的影響更大 (Walsh et al. 2005a, b)

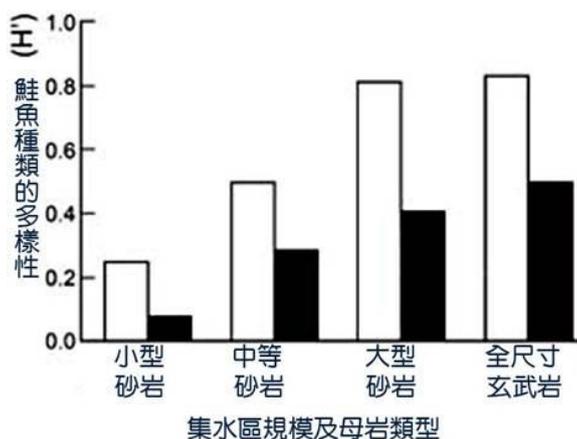


圖13.8 在原木類型不同的俄勒岡沿海溪流中，鮭魚的多樣性。多樣性表示為  $H' (-\sum p_i \log p_i)$ , where  $p_i$  代表頻率。(從Bisson等人1992年轉載。)

### 13.2.2 外來物種

非本土、外來物種是適用於在非自然發生的入侵物種的術語。因為缺乏環境、天敵或食物鏈抑制，在新環境中繁殖異常迅速，被稱為入侵物種。意味著對被入侵社區的傷害。出於若干原因，外來物種令人關切。一旦在新環境中定居，它們通常成為永久居民，並且通常能夠繁殖和分散，遠遠超出原生地。與可以從源頭上消除的

化學污染物或可能恢復的棲息地相比，外來物種的入侵通常不可能逆轉。天敵可能缺乏，由於新生態條件下物種相互作用的性質差異，引入物種在新棲地中的影響是高度不可預測的。

對各種淡水植物、無脊椎動物和魚類的介紹都有很好的記錄。截至1988年，內陸水生物種國際引進彙編記錄了140個國家引進237種動物物種（主要是魚類），1354次為首次引進（Welcomme 1988）。大多數事件的範圍是有限的。大多數物種被引入10個或更少的國家，40%的物種僅來自一個國家。在另一個極端，9個物種已被引入30多個國家，包括三種流行的魚類（虹鱔和溪鱔，大口黑鱸）；大肚魚 *Gambusia affinis*，原來目的用於蚊蟲控制；以及兩種羅非魚（口孵非鯽）和三種鯉魚，用於食用水產養殖和池塘雜草控制，都造成廣泛的災害。非本地物種往往是接收群落的補充，接收群落可能保留其全部或大部分本地物種補充。然而，只要大多數生物量由引進物種組成，食物網結構和生態系統功能的變化就極有可能。至少有72種非本地物種被成功引入科羅拉多河系統，最初擁有49種本地物種（Blinn and Poff 2005），在大峽谷國家公園內，超過85%的個體魚類是非本地物種（Minckley 1991）。

包括水生植物和河岸物種在內的入侵植物也通過減少本地植物的補充和改變生態系統過程和干擾狀態而對水生生態系統造成損害（Gordon 1999）。布袋蓮 *Eichornia crassipes* 最初來自南美洲，並於1800年代後期作為觀賞植物引入美國，被認為是亞熱帶淡水中世界上最糟糕的水草之一。它佔據了北美與東亞的大片水域，其廣泛的浮墊阻礙了流動，消除了本地植物，並降低了氧氣水準（Schmitz et al. 1993）。檉柳 (*Tamarix spp*) 原產於南歐和歐亞大陸，已經在美國西南部廣闊的河岸地區定居，在那裡它取代了本地河岸物種，並由於其高蒸騰速率而增加了水分流失（Cleverly et al. 2006）。

### 13. 2. 2. 1 物種入侵的原因

淡水物種在新環境中有目的地運輸和釋放，以加強遊憩釣魚、水產養殖和作為生物控制措施。事實上，放養非本地魚類仍然是河流管理的重要工作，目的為了提供物種平衡。

在記錄在案的 110 次魚類入侵加州州中，45% 是為了食用或遊憩釣魚而引入的，15% 作為遊憩釣魚的餌料（Moyle 和 Marchetti 2006）。雖然在水產養殖中廣泛使用的物種相對較少（Welcomme 1984），但它們屬於轉移最廣泛的魚類。在 1960 年代，與魚類養殖相關的引進顯著擴大，因為國際發展機構促進水產養殖為迅速擴大的人口提供蛋白質並使當地經濟受益。魚也被引入作為生物控制措施來對抗疾病媒介和有毒水草。蚊子控制一直是一個常見的目標，使用大肚魚 (*Gambusia affinis*) 和孔雀魚 (*Poecilia reticulata*) 等物種吃蚊子幼蟲。控制水草，其中許多本身是外來的，是另一個常見的目標（Shireman 1984），其中羅非魚（吳郭魚）和鯉魚是最常推廣的物種。無意的引入以多種方式發生，包括從養魚場逃脫，水族館寵物店釋放、宗教信仰放生，未被注意到的物種搭便車或原計畫養殖食用引入，以及那些在壓載水中攜帶或通過運河系統分散的物種。在 Fish Base（有鰭魚類生物學百科全書資料庫）中列出的1205條用於水產養殖目的的引進記錄中，據報告約有一半是在野外建立的（Casal 2006）。超過 1200 熱帶水族館物種被運送到世界各地，

以及多達 6000種物種最終可能對整個寵物貿易感興趣 (Welcomme 1984)。大多數熱帶魚的引進發生在1960年，當時魚類活體運輸的技術有了很大的改進。大約10%的外來魚類國際轉移是真正無目的引進的結果，例如意外轉移幼年鯉魚種時包括在內的小鯉魚。最近，貨船壓艙水的引入一直是人們關注的焦點，例如對勞倫五大湖的入侵，即梅花鱸 (*Gymnocephalus cernua*)，斑馬貽貝 (*Dreissena polymorpha*) 和中華毛蟹 (*Eriocheir sinensis*) (Ricciardi和Maclsaac 2000)。集水區間調水促成了南部非洲的物種易位，因為幾乎所有地區的主要河流系統都通過隧道，河道和運河連接 (Bruton and van As 1986)。至少有五種魚類從大魚河入侵奧蘭治河，在它們連接之前，大魚河擁有獨特的動物群和大量的特有物種。

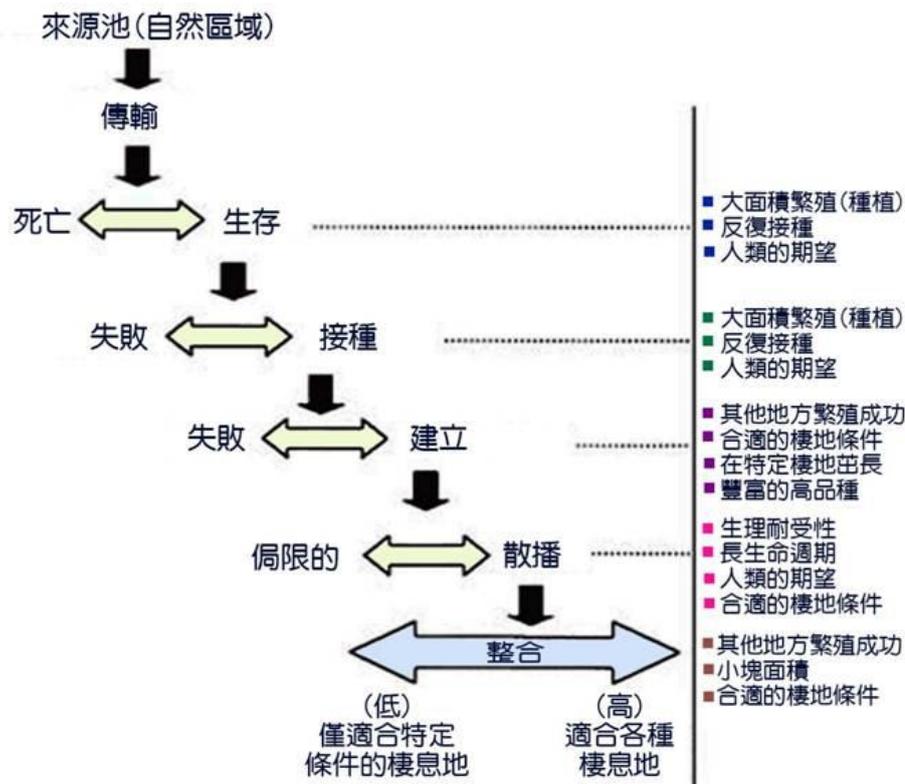


圖13.9 加州魚類所設想的物種入侵過程：在每一步中，入侵的個人遇到的因素限制了部分或全部進入下一步。成功的入侵需要生活在該過程的每個階段。一旦侵入了外來物種，生物和環境因素的組合將決定它是否會傳播並最終整合到現有的物種組合中。

### 13.2.2.2 入侵成功

預計入侵的成功將受到入侵物種的特徵和接收環境特徵的影響，包括“來自入侵群落的环境抵抗力”。

外來物種的成功建立可被視為一系列概率事件，從遷移或擴散開始，然後建立並進一步傳播，直到最終完全融入群落 (圖13.9)。最後，它對本地物種和生態系統過程的影響決定了新物種是否符合滋擾或入侵狀態。

Marchetti等人 (2004a) 對加州淡水魚類的入侵成功進行了詳細分析，加州有68種本地物種和110種記錄在案的非本地入侵。由於這些入侵中有43%是失敗的，因此

可以探索成功的相關性。物種入侵成功的最佳統計預測指標包括成功入侵的過去歷史，廣泛的環境耐受性，在人為改變的環境中茁壯成長的能力，來源和受體環境的相似性以及大繁殖體尺寸（至少100個個體，多次釋放，或兩者兼而有之）。先前的成功是成功與失敗比率的一個特別好的預測指標，對於以前沒有在新環境中成功定居記錄的物種，成功與失敗比率接近1：1，對於在十個或更多國家建立的外來物種，這一比例上升到4：1。獵物魚種和飼料魚種的成功率很高，成功失敗率為2：1。相比之下，無意釋放水族館寵物、在壓艙水中無意攜帶的或通過人工水道的魚以及從養魚場逃脫的成功率為28%。在加州，66%的成功入侵發現了高生理耐受性（Marchetti et al. 2004b），但不能保證成功，因為47%的失敗具有類似的高耐受性。當然，顯而易見的是，當環境條件超過其耐受性時，物種入侵就會失敗，就像溫帶水域的許多熱帶觀賞魚一樣。至少有一些入侵者似乎由於新的特徵而成功，例如以未充分利用的資源為食，高攻擊性或繁殖時間。

具有廣泛原生分佈的物種可能有望成為更成功的殖民者，但據報導，這充其量只是一個弱指標，其他候選特徵，如小體型、快速生命週期和通才營養地位，在加州案例研究中甚至不太成功。在這個時候，我們可以說一些特徵已知會使物種容易成為入侵者，但預測模型有其局限性，因此建議在風險評估中謹慎行事（Moyle和Marchetti 2006）。

與入侵物種原生範圍內發現的環境高度相似的環境有望為成功建立提供最大的機會。彩虹鱒魚是評估可能影響定殖成功的環境因素的極好模型，因為它被廣泛引入（圖13.10），並且經常有良好的引進記錄（Fausch et al. 2001）。它們在阿巴拉契亞山脈南部非常成功，但大多數引入斯堪的納維亞半島，中歐，英國和日本主島都失敗了。在其他地區，包括落磯山脈、安第斯山脈、澳洲和紐西蘭，虹鱒魚的引進取得了一定的成功。Fausch等人（2001）通過對流量記錄的廣泛分析，有力地證明，魚苗出苗的時間與洪水概率低的巧合是其原生環境的特徵，並強烈預測了建立的成功；換句話說，原生棲息地和接收棲息地之間的匹配至關重要。

棲地改變可以通過創造本地物種不能很好地適應的新環境條件來促進物種入侵。當自由流動的河流通過大壩和河流調節轉變為湖泊般的水庫時，本地物種可能會因為這些變化而減少，成功的入侵者可能是最適合改變生態系統的人。對北美125個主要流域的128種引進淡水魚的調查發現，河流潭區多、本地物種較少的大型流域含有最多的引進物種（Gido和Brown，1999）。

Olden等人（2006）對下科羅拉多集水區所有魚類（28種本地，62種非本地）進行了廣泛的形態，行為和生活史特徵，發現快速傳播的入侵物種傾向於佔據“空棲位vacant niches”，特別是在生活史特徵方面，並且流離失所的物種往往不會與成功的入侵者在生活史中重疊。因此，入侵以前未佔用的生態位空間的機會，很可能是由於長期環境變化，特別是在水庫中建立湖泊水庫條件，在科羅拉多河流域建立入侵物種方面發揮了重要作用。

最後，世界上最成功的三種淡水入侵者，鯉魚（*Cyprinus carpio*），虹鱒魚（*Oncorhynchus mykiss*）和羅非魚（*Oreochromis mossambicus*），在入侵物種複製本地物種的生態角色的程度方面提供了有趣的對比，或者為組合增添了新的維度。虹鱒魚（以及褐鱒魚）經常取代另一種鮭魚或鱒魚狀形式。另一方面，鯉魚和羅非魚在入侵物種的生態或生活史特徵似乎與受體組合的所有成員不同的地區都取得了

成功。根據對 澳洲鯉魚物種特徵與豐富的本地魚類的比較，Koehn (2004) 認為鯉魚在資源利用和行為方面明顯不同，因為 澳洲大多數淡水魚類群缺乏碎屑魚。*Oreochromis*的成功歸功於其廣泛的生理耐受性，延長的繁殖季節，保護幼魚苗，允許它們在所有棲息地繁殖的口育離行為，雜食性攝食以及對共存魚類幼魚的捕食 (Canonico et al. 2005)。

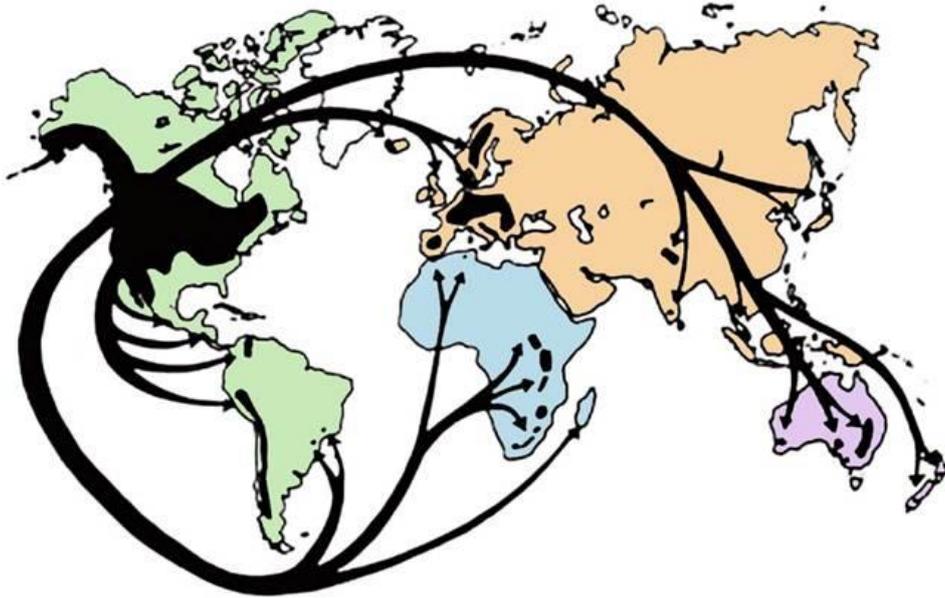


圖13.10 虹鱒(*Oreochromis mykiss*)從其在北美西部(黑色區)的原始範圍轉移到所有大陸(南極洲除外)。(摘自Petersen et al.1987。)

### 13. 2. 2. 3 入侵物種的影響

非本地物種對本地生物群的影響變化很大。迄今為止的證據表明，許多（也許是大多數）入侵物種幾乎沒有影響，不會變得豐富，並且被同化到現有的組合中而不會引起重大變化。

另一方面，一些入侵物種顯然是有害的，它們對淡水物種危險的貢獻可能僅次於棲息地喪失 (Harrison and Stiassny 1999)。在墨西哥大約500種淡水魚中，約有167種被列為處於某種程度的風險之中，其中76種至少部分歸因於入侵物種的影響 (Contreras-Balderas et al. 2002)。對歐洲、北美、澳洲和紐西蘭的31個魚類引入溪流群落的案例研究的調查發現，77%的案例記錄了本地物種隨後的下降 (Ross 1991)。例子包括引入食蚊魚(大肚魚)後美國西南部本地物種的減少，

以及引進褐鱒和虹鱒後本地溪鱒魚的減少。紐西蘭引進外來鱒魚和本土南乳魚是不相容的；以前廣泛分佈的伽拉克西流星雨種群現在被分割成殘餘種群，僅限於鱒魚無法進入的屏障瀑布上方的區域 (Townsend and Crowl 1991)。此外，非本地物種可能通過食物網相互作用引起各種間接影響。在紐西蘭，引進的鱒魚對無脊椎動物的控制比本地的鱒魚更大，導致底棲放牧減少，藻類生物量增加 (Flecker和 Townsend 1994)。

魚類引進後本地物種的減少是通過多種機制發生的，包括物種相互作用、棲地改

變、疾病或寄生蟲的引入、營養改變和雜交。棲息地與食物資源競爭、捕食似乎是外來物種取代本地物種的常見原因。

在Ross (1991) 審查的十項研究中，資源利用情況的檢查顯示，魚類引入後的棲息地變化減少了一半。例如，包括薩克拉門托吸盤、虹鱒魚、加州蟑螂和三刺棘魚在內的各種本地物種在薩克拉門托南瓜魚（一種引入加州鱘魚的捕食性鯉科動物）存在的情況下改變了棲息地的使用模式 (Brown and Moyle 1991)。入侵物種也通過雜交影響本地物種，Miller等人 (1989) 發現這是北美魚類物種滅絕記錄的38%的一個因素。在大多數情況下，其他一些因素顯然導致了最初的下降，而雜交是最後一擊。

許多疾病和寄生蟲與外來物種有關 (Hoffman and Schubert 1984, Bruton and van As 1986)，對被入侵的社區構成了另一個威脅。一種引起小龍蝦瘟疫的真菌寄生蟲在從北美引進抗性小龍蝦物種後，摧毀了整個歐洲的本地小龍蝦 (Reynolds 1988)。起源於中國和遠東的寄生蟲*Bothriocephalus acheilognathi*，並已與草魚一起引入世界各地，有可能影響多種物種 (Bruton and van As 1986)。由腦黏液引起的旋轉病於1950年代從歐洲引入美國，現在影響23個州的野生魚類和魚類孵化場 (Bartholomew and Reno 2002)。

入侵物種在世界範圍內的擴散，加上本地物種的減少或滅絕，導致動物群在各區域之間變得越來越相似，這反過來又降低了當地動物群的獨特性。這就是被稱為生物均質化的現象，淡水魚就是一個很好的例子。

Rahel (2000) 利用美國48個相鄰州的歷史和現在魚類分佈，比較了所有州的魚類區系 (1, 128對組合)，發現動物區系相似性明顯增加。平均而言，一對州比歷史上多了15個共同物種，而最初沒有共同魚類的89個州配對現在平均有25個共同物種。遊憩釣魚和水產養殖的引進是主要原因，滅絕很少，這是魚類引進的常見發現 (Gido and Brown 1999, Moyle和Marchetti, 2006)。

很少有入侵物種能夠與北美斑馬貽貝*Dreissena polymorpha*的影響相媲美，斑馬貽貝在一些河流和湖泊棲息地變得如此豐富，以至於本地物種直接受到威脅，生態系統功能受到很大影響。除了在受感染的湖泊輸出以下的小溪流中很少常見，它們在較大的河流中可以達到非常高的密度 (100-10,000 m<sup>2</sup>)，在那裡它們通過污染它們的貝殼並超越它們的食物而對本地軟體動物產生強烈的負面影響 (Strayer 1999a)。隨著斑馬貽貝的繼續傳播，許多本地貽貝物種的喪失是很有可能。它們對生態系統功能的影響是過濾率非常高的結果，每天在10-100%的水體範圍內，因此斑馬貽貝的攝食而不是下游輸出成為運輸食物顆粒的主要最終結果 (Strayer et al. 1999)。

斑馬貽貝於1991年在哈德遜河首次觀察到，到1992年已擴散到下游河流的所有淡水地區，其生物量超過了淡水潮汐哈德遜河中的所有其他異養生物。浮游植物和小型浮游動物急劇下降，包括本地雙殼類在內的底棲消費者也是如此。然而，大型無脊椎動物種群增加，顯然受益於偽糞便作為食物供應和貽貝本身作為結構性棲息地。由於水體的過濾，光穿透率大大增加，可溶性活性磷 (P) 增加，可能是由於藻類種群的減少。還有證據表明，斑馬貽貝入侵後，水生植物大大增加，這表明生產力從河流轉移到植被淺灘。

這些影響也延伸到魚類群落：斑馬貽貝出沒的河段的開放水域魚類種類減少，而沿海魚類大幅增加（Strayer et al. 2004）。斑馬貽貝和其他一些雙殼類可能是淡水生態系統最有影響力的入侵者之一，將資源從水體轉移到底棲動物和植被邊緣。

### 13.2.3 污染

水質下降是由於工業、或是生活汙水、住宅和農業來源產生各種各樣的污染物。

點源污染來自單一來源，通常通過工業或市政污水處理廠的河道輸送，而非點源（NPS）污染來自分散源，例如肥料逕流和酸雨。前者更容易得到監測和管制，許多發達國家在減少工業和城市廢物方面取得了相當大的進展。當然，並非在所有地方都是如此。據報導，由於中國最近快速的經濟發展，中國80%的河流和飲用水供應受到污染（Wang 2004）。新精神活性物質污染更難管理，在美國被認為是一個更嚴重的問題（美國環保局，2000）。大多數NPS污染由營養物質和沉積物組成，歸因於農業，但木材採伐，道路建設和郊區擴張也都有貢獻。

由於許多不同的污染物造成的水質下降無疑是水生生態系統惡化的一個重要方面。通常影響是局部的，但河道的污染可以像大壩一樣有效地阻止魚類通過。當受影響地區是已經稀少和瀕危種群的重要棲息地時，生物多樣性最有可能受到威脅，例如長江中的一些魚類（Dudgeon et al. 2006），或者當大面積受到污染時，例如淡水酸化和據報導中國、印度等地河流的廣泛污染。

#### 13.2.3.1 點源污染物

許多北美河流雖然逐漸改善，但經歷了一定程度的污染，污染物的類型和來源存在區域差異。在費城附近的德拉瓦河，早在1799年就注意到了嚴重的污染，1915年報告了低水準的溶解氧，第二次世界大戰期間河碼頭的工人抱怨惡臭（Jackson et al. 2005）。康涅狄格河的沉積物中含有複雜的金屬和有機化合物，包括多氯聯苯（PCB）和多環烴（PAHs），因此需要對魚類和貝類進行諮詢；在哈德遜河中游，由於多氯聯苯污染，商業和運動漁業受到限制。

城市地區重要的點源排放來自廢水處理廠（WWTP）和工業（Paul and Meyer 2001）。污水處理廠技術的改進導致許多國家的化學成分大幅減少。然而，在許多古老的城市，雨水和下水道排水溝被組合在一個系統中，因此在高流量期間，水量超過了污水處理廠的容量，迫使它繞過未經處理的廢水直接進入接收水道。

據報告，美國和英國四分之一至三分之一的城市發生下水道聯合溢流，下水道系統老化和滲漏以及郊區化糞池系統的擴散進一步加劇了這一問題。

#### 13.2.3.2 陸地逕流

在城市和農業逕流中運輸的污染物是水道非點污染的主要來源，輸送沉積物、營養物、農業殺蟲劑和除草劑以及各種有害物質（表13.2）。

美國超過三分之一的河流被列為受損或污染，各種類別的新精神活性物質污染被

認為是主要原因（EPA 2002）。農業來源占美國境內水道排放的46%的沉積物，47%的總磷和52%的總氮（N）（Gianessi et al. 1986）。沉積影響魚類的分佈，魚類對淤積條件的耐受性差異很大。由於化肥和動物糞便，農業增加了營養水準，也增加了土壤侵蝕，這尤其影響了磷的運輸。由於城市廢物和肥料，城市地區也可能是重要的營養來源。在鹽叉河（Salt Fork River），伊利諾伊州中東部的一個農業集水區，包括兩個重要的城市地區，在控制河流營養濃度方面，城市化至少與農業一樣重要（Osborne和Wiley 1988）。全年可溶性活性P和半年硝酸鹽氮都是如此。冬春季，農田氮肥是河流集中的主要決定因素。

品質平衡研究（Boyer et al. 2002）和肥料使用方式分析（Goolsby et al. 2001）清楚地表明，肥料的使用是排乾農業景觀的河流中養分濃度的主要驅動因素（第11.4節）。這從河流養分濃度的趨勢（圖13.11）和氮輸入源（圖13.12）中可以明顯看出。密西西比河中的硝酸鹽濃度在1950年代和1980年代之間翻了一番，與同期肥料施用的穩定增長相吻合（Turner和Rabalais 1991）。密西西比州大大增加了硝酸鹽的輸出，這是墨西哥灣內大量低氧地區的原因，這是藻類生產力和腐爛增加的結果（Rabalais et al. 2001），以及由於營養比例改變而改變的食物網結構（Turner et al. 1998）。這種情況發生在一個支持美國25%魚類上岸的地區，因此對區域漁業經濟產生了嚴重後果。由於化肥使用和大氣沉積的增加，河流溶解的無機氮輸出預計將在全世界繼續增加。Kroeze和Seitzinger（1998）預測，到2050年，世界河流90%的DIN負荷將是人為的。

城市化程度的提高對河流生態系統產生了許多影響，包括來自不透水表面和雨水渠的華麗水流，草坪肥料和寵物糞便的營養和有機物富集，改變渠道形態，以及沉積物和各種毒素的輸送增加（Paul and Meyer 2001）。進入溪流的水在通過鋪砌的表面時會顯著變暖，新建築是沉積物的重要來源。由於所謂的「城市溪流綜合症」（Walsh et al. 2005），生物豐富度降低，而寬容物種的優勢更大。河流大型無脊椎動物組合通常表現出多樣性的減少，以應對城市化的加劇，但豐度的變化是可變的，因為適度的營養和有機富集可以增加無脊椎動物的數量，而毒素，溫度變化和淤積通常會導致下降。雖然大型無脊椎動物在有機污染地區可能很豐富，但這種組合通常以搖蚊（*Chironomidae*）和寡毛類（*Oligochaeta*）為主（Wright et al. 1995）。

改進排水設計以抵消連接不透水表面和河道的雨水渠的直接影響，可能是對城市集水區排水的溪流最有效的管理行動之一（Walsh et al. 2005）。

個別大型礦山是點源，但在落磯山脈南部地區，數千個分散的廢棄礦山來自19世紀的銀礦和金礦熱，非常分散，它們更像是NPS輸入。由於重金屬濃度是落磯山脈78個地點大型無脊椎動物群落的最佳預測指標（Clements et al. 2000），歷史上採礦活動的遺產很可能影響整個地區水生無脊椎動物的分佈和豐度。

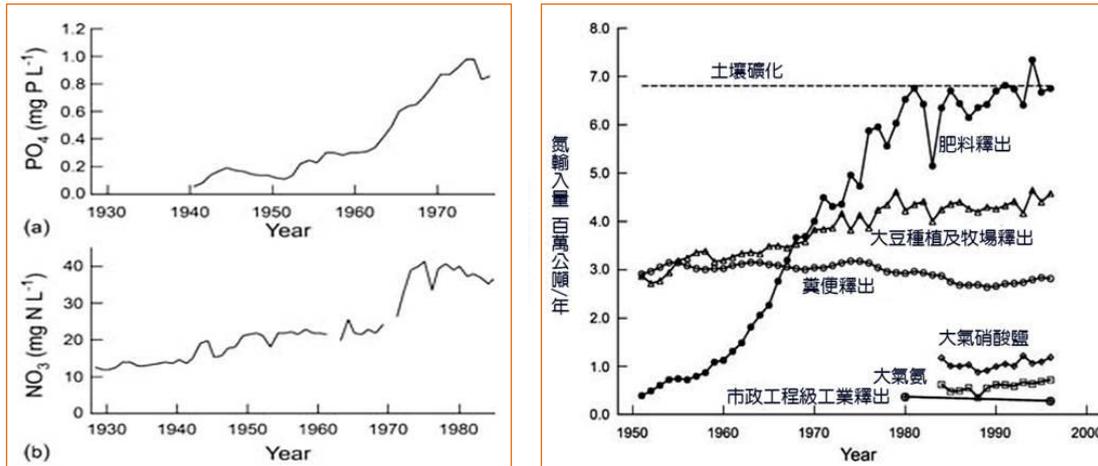


圖 13.11(左上圖) 英國泰晤士河中(a)磷酸鹽和(b)硝酸鹽濃度的歷史趨勢 (Reproduced from Heathwaite et al. 1996.)

圖 13.12(右上圖) 密西西比河至阿恰法拉亞河流域的年氮輸入量，1951-1996 年

### 13.2.3.3 大氣沉降

酸雨和汞沉積對地表水造成廣泛和擴散的污染，即使距離水源很遠。在緩衝能力差的地區，淡水酸化是一個嚴重的威脅，這些地區在大氣中含有高水準的硫和氮氧化物，導致酸雨和酸雪（第4.4.3節）。自1960年代以來，由於化石燃料燃燒加速污染物向大氣輸入，斯堪的納維亞半島、北歐、東北部和美國西部一些地區的河流和湖泊酸化最為明顯。在過去的幾十年中，硫沉積量隨著監管變化而下降

(Driscoll et al. 2001)，但氮沉積量沒有下降 (Stoddard et al. 1999)。溪流的酸化首先影響對酸敏感的物種，但當pH值低於5時，大多數物種都會受到影響（第4.4.3節）。對溪流進行石灰以抵消酸化只取得了有限的效果；不時觀察到酸敏感物種，但無法持續存在 (Bradley and Ormerod 2002)。根據美國清潔空氣立法，減少二氧化硫排放量顯然產生了有益的影響，導致新英格蘭哈伯德布魯克實驗森林的雨水和溪水的pH值穩步增加（圖13.13）。

元素汞作為一種氣體在世界各地有效運輸，因此即使是偏遠地區也會受到來自煤炭燃燒、廢物焚燒和其他工業過程的汞污染 (Morel等, 1998)。

甲基汞 (MeHg) 是有機汞的一種形式，由無機汞通過生物和化學過程生產，主要是由於缺氧水和沉積物中硫酸鹽還原細菌的活性。由於甲基汞在水生食物鏈中是生物濃縮的，因此即使在偏遠地區，其在魚類中的濃度也經常達到或超過被認為可供人類安全食用的水準。甲基汞的生物蓄積性原因很複雜，但涉及其在藻類細胞和脂質中的溶解度以及容易通過魚類腸壁吸收，而不是直接從水中吸收汞。由於無機汞不易進入食物鏈，因此將其轉化為甲基汞對汞的積累至關重要。

水庫的建造導致微生物對無機汞的甲基化增加。與淹沒植被和土壤中儲存的有機碳(C)量相比，甲基汞的產生量有所增加，顯示出初始脈衝，多年來在水中的含量升高 (Hall et al. 2005)。因此，大氣沉降和大壩建設可以協同作用，增加魚類消費的人類健康風險。

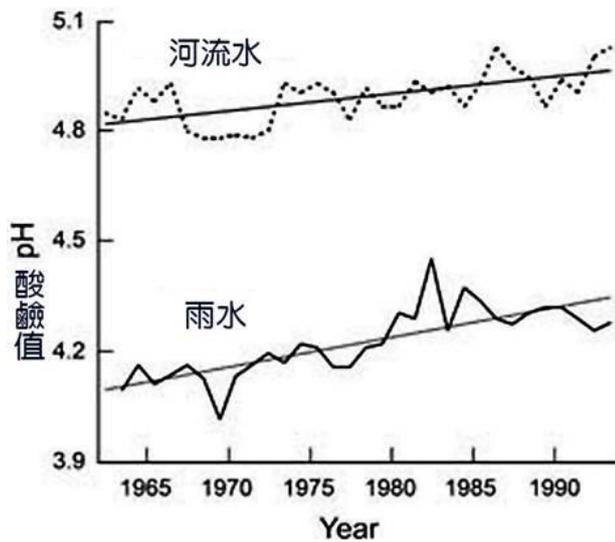


圖13.13 Hubbard Brook實驗林中溪流和雨水pH值的最新趨勢表明，溪流pH值隨著降水pH值的增加而增加。

### 13.2.4 過度捕撈

過度捕撈是魚類和其他一些脊椎動物的主要關注點，包括兩棲動物、海龜、鱈魚和某些與水有關的鳥類和哺乳動物；以及軟體動物和一些十足類甲殼類動物。相對於其他危險原因，它的重要性可能難以評估，部分原因是記錄保存不嚴，部分原因是被開採的種群通常面臨多重威脅，包括大壩、棲息地退化和污染。很少有淡水無脊椎動物因直接捕撈而受到威脅（Strayer 2006）。然而，貽貝自史前時代以來就因其貝殼、珍珠和肉類而受到重視，在歐洲和北美被廣泛捕撈。一些報告描述了今天無法想像的數量，例如1913年從伊利諾伊州水域捕獲的大於1300萬公斤貝殼（Claassen 1994）。這些收穫是針對豐富的物種，但副漁獲物對稀有物種的影響也可能是巨大的（Strayer 2006）。今天，淡水貽貝被收穫為殼，被切成小球體，用作鹹水牡蠣的苗珍珠，用於日本、中國和澳洲的養殖珍珠的開發。受管制的商業捕撈可能是可持續的，但據報導，美國中西部地區有非法捕撈貽貝的報導，因此偷獵構成了額外的風險。

過度捕撈淡水龜是亞洲海龜面臨的最重要威脅，大多數個體被作為食物出售，但大多數物種也作為傳統藥物和寵物出售（Cheung and Dudgeon 2006）。在對世界上最大的海龜消費國華南三個城市的市場調查中，遇到了包括157個物種（包括72種全球瀕危物種）在內的近100萬隻個體。因為有些貿易是隱蔽的，這些可能被低估了。

對大多數亞洲海龜的生態知之甚少，因此很難評估這次收穫的生態後果。柬埔寨洞里薩湖及其周邊地區的所有海龜物種都受到貿易的嚴重威脅，七種水蛇（*Colubridae: Homalapsinae*）也是如此。

市場調查表明，每天有超過8500條水蛇出售，主要用於鱈魚和人類的食物，這可

能是世界上最密集的蛇群 (Campbell et al. 2006)。

商業和休閒漁業都是造成高價值淡水魚類嚴重減少的原因。世界上許多大型、長壽的河魚物種都瀕臨滅絕，過度捕撈是造成這種情況的原因，包括幾種鯉魚、鯰魚、鱒魚、白鱒和亞洲河流的鞭子 (Dudgeon et al. 2006)。隨著秘魯亞馬遜地區的商業漁業在技術上變得更加先進，高捕撈壓力似乎正在推動漁業轉向較小的魚類，並加大努力實現滿負荷捕撈，這是過度捕撈的典型跡象 (De Jesus and Kohler 2004)。休閒性過度捕撈值得更多關注，因為一些國家有大量的人參與其中，當種群接近崩潰水準時，捕撈努力量可能不太可能下降，即使在捕撈和釋放垂釣中，也可能出現釋放後死亡率和對生長和健康的亞致死影響 (Muoneke和Childress 1994, Cooke et al. 2002)。在20世紀的最後幾十年中，加拿大的四個重要的休閒漁業經歷了顯著但基本上未被承認的下降 (Post et al. 2002)。這種“看不見的崩潰”沒有引起更多關注的原因是推測性的，但波斯特及其同事認為，垂釣者的期望越來越低 (“基線變化”)，並通過轉向不同且價值較低的獵物來適應。此外，休閒捕魚和水產養殖是非本地物種傳播的最重要原因，因此對淡水生物群有非常重要但間接的影響 (Cambray 2003, Cowx和Gerdeau, 2004)。

過度捕撈往往是魚類種群面臨一系列歷史威脅中的第一個，隨著時間的推移，污染、棲息地退化、引進物種和氣候變化 (Jackson et al. 2001)。墨累-達令河的墨累鱈魚 *Maccullochella peelii* 的歷史很好地說明瞭這一點，墨累-達令河是澳洲最大 (高達114公斤) 的淡水魚 (Rowland 1989)。根據鐵路貨物和墨爾本市場的記錄，到1860年代，大型漁業已經發展起來，城市市場的銷售額在1900年代初達到頂峰，隨後下降。到1930年代，捕魚變得無利可圖，然後大蕭條和第二次世界大戰可能有助於結束這一過度捕撈時期。漁業的第二次擴張發生在1940年至1955年，隨後在1960年代初第二次下降到低得多的水準。然而，到這個時候，水壩的累積影響，污染的增加，不斷增長的休閒漁業以及歐亞鱈魚對年輕鱈魚的影響共同阻止了現在減少的鱈魚種群的恢復。

將這一歷史序列帶到現在，孵化場放養正在為墨累鱈魚的恢復做出貢獻，儘管過去的巨人不太可能再次出現，但休閒漁業已經受益。

在世界範圍內，自1950年代以來，淡水商業捕撈總量已被記錄，這些數據表明，自1990年代後期以來，淡水商業捕撈總量穩步增長，可能趨於平穩 (圖13.14)。2002年的淡水捕撈量為850萬噸，約佔海洋捕撈量的十分之一，主要由亞洲和非洲主導，由於懷疑少報和漏報，因此是近似值 (Allan et al. 2005年a)。很難知道是否正在發生過度捕撈，因為很少有個別魚種的捕撈數據，而且許多漁業的目標是物種豐富環境中的整個種群，往往使用種類繁多的漁具 (Welcomme 2001)。

被稱為“在食物網中捕魚”的現象 (Pauly et al. 1998)，即首先清除大型個體和物種，然後清除較小的個體，無疑發生在淡水漁業中。然而，內陸水域往往以小規模商業和自給漁業為主，為當地消費提供季節性就業和蛋白質，許多非洲美食中對小魚的偏愛以及亞洲對魚醬和醬汁的使用鼓勵了小魚種的收穫。

因此，淡水漁業可能會經歷各種規模的捕撈和捕撈的混合。漁具的變化是過度捕撈的一個指標，因為較細網的網比較粗的網眼尺寸更耗時、更昂貴，而且漁民只會在必要時採用。在委內瑞拉安第斯山脈的山麓河流中，當地漁民使用撒網捕獲遷徙

的*Prochilodus*，這是南美洲收穫最廣泛的淡水魚家族的成員。網狀物是通過手的幾個手指的寬度來衡量的，在過去的20年中，網狀網已經從“四個手指”下降到“兩個手指”，以適應目標尺寸的減小（Taylor et al. 2006）。

內陸水域的過度捕撈威脅著數千萬依靠這種資源獲得收入和食物的漁民的福祉。由於頂級捕食者和有影響力的物種的喪失，它還威脅到生態系統的健康。

太平洋鮭魚的減少，部分歸因於過度捕撈，表明海洋衍生營養物質的重要性，這些營養物質被這些移民運送到非生產性的淡水環境中，以及依賴這種可預測食物供應的各種消費者，包括鳥類和哺乳動物（Willson and Halupka 1995）。

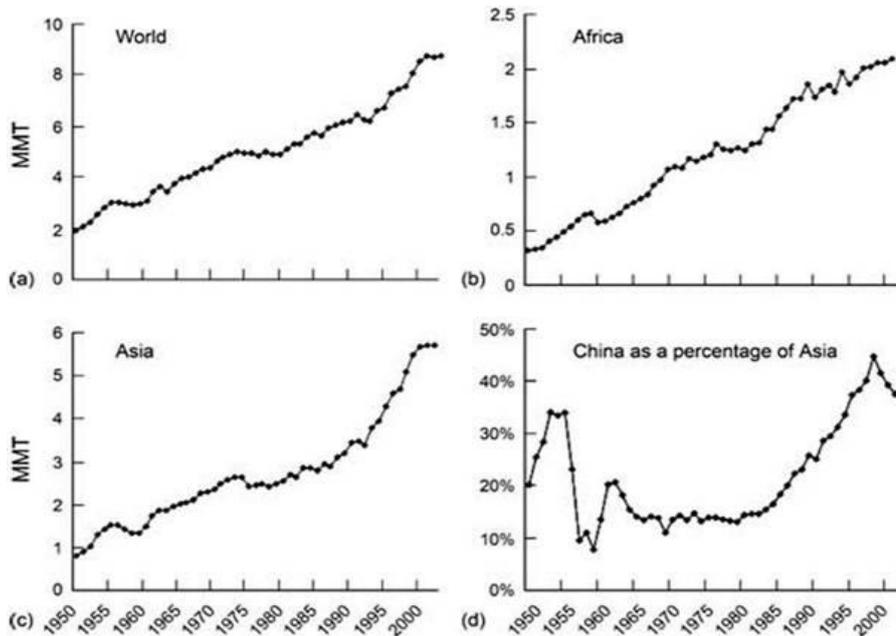


圖13.14 1950-2002年內陸水域的漁業登錄量(百萬噸)：(a)世界，(b)非洲，(c)亞洲，以及(d)中國占亞洲的百分比。

### 13.2.5 氣候變化

人們普遍認為，大氣中二氧化碳（二氧化碳）和其他溫室氣體水準的上升導致過去一個世紀溫度上升了約 $0.6^{\circ}\text{C}$ （IPCC 2001）。預計到2100年，溫室氣體和其他大氣污染物的進一步變化將導致進一步變暖，特別是在緯度 $40^{\circ}\text{C}$ 至 $70^{\circ}\text{C}$ 之間，以及降水的區域和季節變化很大。

氣候變化無疑將對水生生態系統產生重要影響，由於溫度和水流狀況的變化而產生直接影響，由於河岸植被、干擾強度和頻率、水化學和物種相互作用的變化而產生更微妙的影響（Meyer et al. 1999年；Allan et al. 2005年b）。一些未來影響很有可能發生，但仍然存在許多不確定性，部分原因是區域和地方尺度上的未來氣候條件不確定（Stainforth et al. 2005），部分原因是氣候變化通過多種途徑發揮作用的複雜性。此外，氣候變化將與對植物生態系統的其他威脅相互作用，加劇一些區域水資源短缺，有利於物種入侵，並成為生物群的額外壓力源。

大多數淡水生物適應特定的溫度範圍（第5.3.1節），因此在氣候變暖的情況下極地分佈變化的可能性很大。

研究預測，由於3-4°C的變暖，大型無脊椎動物（Sweeney et al. 1992）和魚類（Shuter和Post, 1990）的緯度向北移動約500-600公里。然而，不同分類群的擴散能力各不相同，很少有河流是無障礙的，因此一些物種可能面臨有限的機會。

例如，美國南部大平原和美國西南部沙漠中的魚類無法向北移動，因為這些溪流和河流傾向於向西和向東流動。由於夏季水溫現在接近許多物種的上限，僅僅幾度的變暖就對這些地區的本地魚類構成了滅絕的嚴重風險（Matthews和Zimmerman, 1990）。在山區溪流，生物可以通過移動到更高的海拔來轉移到較低的溫度，但物種範圍將收縮，正如Keleher和Rahel（1996）所說明的那樣，假設在未來38°C的變暖情景下，落磯山脈的鱒魚。因為溪流在源頭最涼爽，小溪流實際上就像山頂一樣，因為一旦這些冷水避難所變暖，被困在那裡的個人或人口就沒有逃生路線。溫度也為斑馬貽貝等有害入侵物種設定了北部範圍限制（Strayer 1991），因此它們向北擴張的可能性很大。

由於蒸散和降水的變化，預計在未來氣候情景下，逕流量的數量和時間將發生重大變化。然而，在區域尺度上很難預測降水或蒸散量的變化是否會更大，從而難以預測地表水位和逕流是增加還是減少。當使用兩個對比的一般環流模型來預測美國18個水資源區域的逕流變化時，只有9個地區的預測方向相同，並且其中方向相似，通常幅度不是（Frederick and Gleick 1999）。然而，一些結局是有相當高品質的。預計冰川餵養的溪流將在數年到數十年內增加流量，隨後隨著冰川冰的枯竭而下降。在以前積雪的地區，氣溫升高將導致逕流提前，或由降雨事件驅動的可變冬季流動狀態轉變（Barnett et al. 2005）。由於冬季積雪是天然儲存庫，因此冬季逕流的大部分將流失到海洋中。由於水文擾動對河流群落的重要影響（第10.3.3節），氣候變化對河流生態系統造成的廣泛而重要的後果可能是洪水的頻率和強度增加。

生態系統對氣候變化最可能的回應是提高生物生產力。環境變溫通常隨著水溫每升高10°C而增加2-4倍的新陳代謝，直到非常接近其上限溫度耐受性（Regier et al. 1990）。因此，雖然物種組成的變化可能是複雜和不可預測的，但系統生產力的總體提高可能是對氣候變暖的共同反應。在未來的氣候下，河岸植被幾乎肯定會發生變化，影響異種輸入的性質、時間和供應，這很可能以複雜的方式影響碎屑的處理和微生物-碎食動物食物網連接的功能。葉子的C/N比改變可能會降低適口性，溫度變化會影響葉片加工速率，洪水可能會在葉子被加工之前輸出葉子物質（Rier and Tuchman 2002, Tuchman et al. 2002）。圖13.15表明，這些相互作用是複雜的，並且可能抵消，使得氣候對這一重要能源供應的總體影響難以預測。**\*C/N比，有機物碳與氮化比值**

溪流生物群擴散到更有利環境的能力因分類群和地點而異。魚類、水生昆蟲和隨風傳播或由鳥類等移動分類群運輸的微生物可能具有使它們能夠跟上氣候變化的步伐。其他分類群，如貽貝可能就沒有那麼幸運了。排水模式和地理的特殊性將決定是否有合適的分散走廊和新的棲息地。在所有生命階段都是水生生物顯然必須沿著溪流走廊分散，因此水壩、荒涼的棲息地和其他潛在的障礙可以限制集水區內的擴散，而集水區邊界可能是絕對的障礙。具有空中成蟲階段的昆蟲能夠更好地分散，儘管它們的大部分運動可能發生在河流走廊上，但也會發生跨流域的傳播（Bilton et al. 2001, Bunn and Hughes 1997）。大多數15N標記的石蠅（*Leuctra ferruginea*）沿

著溪流走廊分散，主要是個體向上游方向移動，但有些分散大於500米穿過森林景觀到相鄰的溪流（MacNeale et al. 2005）。跨集水區擴散表明，隨著新環境的出現，範圍有可能擴大。然而，由於不同地點在擴散機會方面的地理差異，以及物種之間在擴散速度方面的差異，整個組合極不可能一起移動。隨著生態學家努力了解轉型中河流生態系統的新群落，將會有令人興奮的研究機會。

最後，必須指出，氣候變化有可能加劇其他威脅的影響。氣候變暖將加劇河岸清理導致的河道溫度升高，如果水文變化導致夏季流量減少，則變得尤為嚴重。

由於氣候變化，許多地區的洪水可能會變得更加嚴重，但如果森林採伐、濕地喪失和不透水表面也發揮作用，洪水將更加嚴重。如圖13.15所示，一些路徑非常複雜，甚至預測整體變化的方向也非常困難。

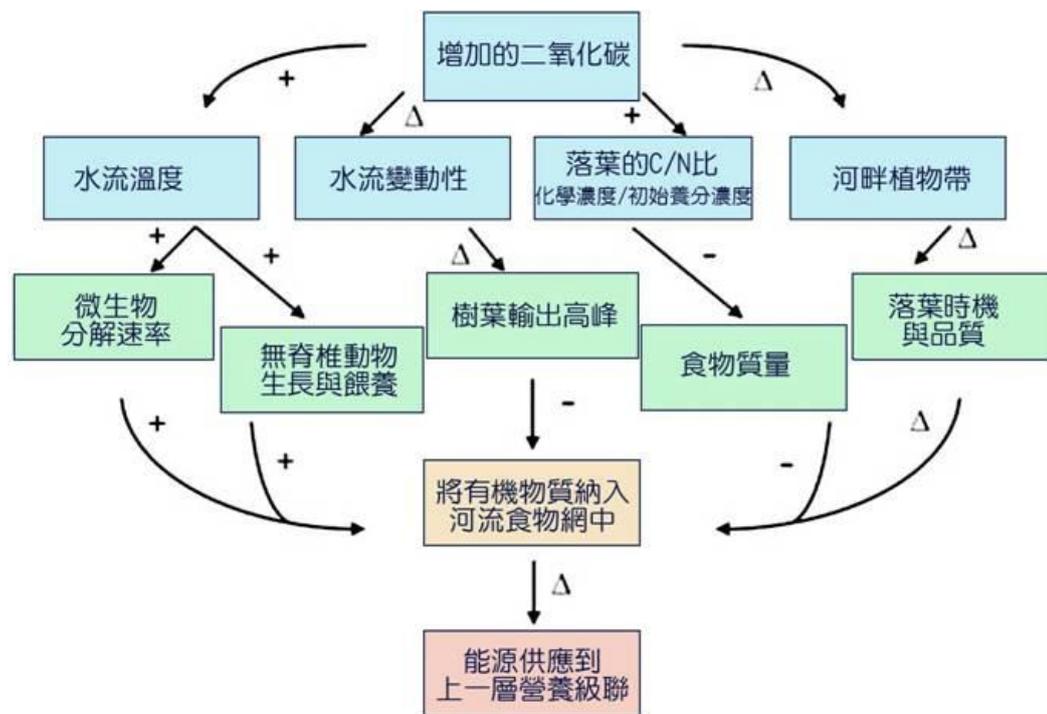


圖13.15 預計大氣中二氧化碳增加會對有機物的輸入產生複雜的影響，尤其是落葉，這是小溪流的主要能源供應。氣候變暖將增加大多數速率過程，增加的水文變異性可能會對保留率產生不利影響，從而對有機物的處理產生不利影響，較高的葉片C/N比預計會降低適口性，並且氣候變化可能導致河岸物種的組成發生變化。+ 積極影響；- 負面影響； $\Delta$ ，變化方向不確定。根據研究Rier和Tuchman(2002)和Tuchman et al.(2002a, b)。(摘自Allan et al.2005b。)

### 13.3 河流管理

毫無疑問，河流面臨著嚴重的威脅，儘管一些壓力因素的影響正在減弱，但其他壓力源繼續有增無減。

雖然存在許多關切，但也有很多理由抱有希望。河流具有巨大的恢復能力，科學進步開始為基於生態系統的整體管理指明道路，公眾意識和關注正在迅速增長。簡

而言之，為了管理、恢復和保護河流生態系統，我們必須瞭解它們是如何運作的，我們需要評估它們隨著時間的推移的狀況，以確定河流健康的現狀和趨勢，我們需要經過測試和驗證的管理實踐，我們需要將良好的意圖付諸行動的意願和組織結構。以下各節將簡要探討其中的一些問題，這些問題為科學家、從業人員和政策專家之間的新夥伴關係提供了許多機會，以開始扭轉上一節中記錄的許多負面趨勢。

### 13.3.1 生物評估

監測淡水生物區系和生態系統的現狀和趨勢對於量化人類影響和評價管理行動的效力至關重要。水質的生物指標已經使用了至少100，最初依賴於使用對有機富集和低氧水準敏感的物種。這些指數被稱為腐殖質合金指數，到1950年代在歐洲廣泛使用（Wright 1995）。在美國，水質指標，如低溶解氧，物種多樣性指標，如香農-韋弗指數，以及一些已知不耐污染的指標物種，是監測1970年代河流狀況的主要工具。1972年對《清潔水法》的修正案要求維護和恢復淡水的生物完整性，這一語言現在反映在廣泛使用的基於生物區系和棲地方面的綜合生態指數中（Karr et al. 1986, Plafkin et al. 1989），包括卡爾斯生物完整性指數（IBI）。這些指數的目標是衡量河流狀況，這越來越多地被稱為「河流健康，從廣義上講，健康的河流是狀況良好的河流（Karr and Chu 1999）。

IBI是一個多指標指數，這意味著它是10-12個單獨指標的總和，包括物種豐富度和組成，當地指示物種，營養成分，魚類豐富度和魚類狀況。因為它基於多個指標，這些指標被認為對不同水準和類型的環境壓力敏感，IBI應該是影響生物組合的多種壓力源的有用整合者（圖13.16）。事實證明，一個區域內的生物完整性在土地使用措施和其他環境條件指標方面存在差異（第13.1.3節）。IBI隨後被改編用於大型無脊椎動物（Kearns和Karr，1994）和附著藻類（Hill et al. 1999）。

生物評估的標準化面臨一些方法上的挑戰。樣本中的物種數量隨著採樣工作和溪流大小的增加而增加，並且由於區域物種庫的差異而因區域而異（第10.1節）。這些都是困難但可以解決的問題，並導致了採樣工作的規定（例如流長度等於其寬度的25倍），基於流大小的指標的不同截止水準（三級序溪流中的最高分可能需要五個達特物種，而一階採樣點需要1-2個物種），以及區域性國際生物指數（包括對溫水和冷水魚類動物的不同評分系統）（Karr and Chu 1999）。

另一種獲得青睞的方法使用統計模型從環境採樣點特徵預測預期的物種集。

它被稱為Rivpacs（河流無脊椎動物預測和分類系統），最初在英國開發（Wright et al. 1984, Moss et al. 1987），以及澳洲在澳洲的應用（Marchant et al. 1997），它使用使用未受干擾的參考地點開發的多變數模型，根據表徵該地點的環境測量來預測那些物種發生的可能性很高。當要評估測試地點時，如果該地點未改變，則使用其環境條件來預測預期的組合，然後將觀察到的組合與預期的組合（O/E）進行比較。O/E預測模型已被證明是澳洲東南部干擾的敏感測量方法（Marchant et al. 1997），並且正在包括美國在內的其他國家（Hawkins 2006）開發中。原則上，這種方法需要大量未受干擾的溪流用作參考點，但在某些地區，所有溪流都可能受到中度或實質性干擾。這導致使用“干擾最少和最佳可用採樣點”進行評分（Stoddard et

al. 2006)，這對於比較區域內的採樣點很有用，但很難比較跨區域的索引值。

基於物種特徵的分析是另一種有望進行生物學評估的方法。在一個例子中，Usseglio-Polaterra等人（2000）收集了盧瓦爾河472種底棲大型無脊椎動物分類群的22個性狀數據，然後採用多變數排序技術來檢查組合的縱向變化。因為他們能夠檢測到與水壩，城市地區和支流輸入相關的變化，而僅通過動物數據無法檢測到，因此他們認為特徵分析可能被證明是一種有用的附加生物評估方法。

雖然生物評估已廣泛和成功地用於確定溪流的損害和是否符合水質標準，但由於缺乏共同的解釋框架，將國家評估納入區域或國家生態完整性評估的能力受到阻礙。為了解決這個問題，Davies和Jackson（2006）提出了一個在六層框架內對環境壓力梯度的生物反應模型，描述了水體與其自然狀態的相似程度（圖13.17）。通過將十種生態屬性對壓力源水準增加的反應的敘述性描述聯繫起來，該模型旨在對水生生態系統的狀況提供更統一和一致的評估。

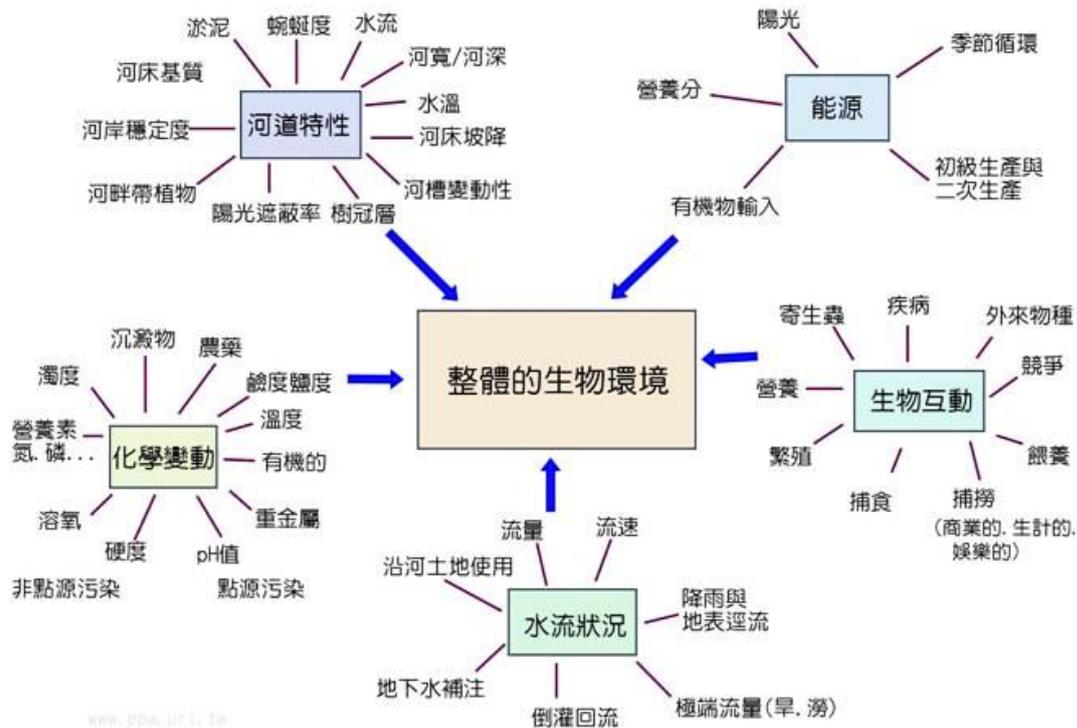


圖13.16 生物完整性指數衡量人類對上述五個主要因素的物理，化學和生物成分的改變後，河流健康的變化。(Reproduced Karr and Chu 2000.)

### 13.3.2 河流生態系統的恢復和恢復

可以管理相對完整的溪流和河流，以維持構成健康系統特徵的物種和生態系統過程的自然範圍，並且可以改善和恢復退化的系統。人們普遍同意，應強調維持和恢復創造健康生態系統和高品質棲地的物理和生物過程，並強調在整個集水區範圍內設計針對具體地點的活動（Roni et al. 2002）。具體活動多種多樣，因流的類型、問題的性質和管理者的目標而異（表13.4）。在太平洋西北部和以鮭魚增殖為主要目

標的其他地區，工作通常側重於通過放置巨石和木材來改善棲息地，通過更換位置不佳的道路涵洞和將河道重新連接到河道外的棲息地（如河狸池塘）來恢復連通性，以及保護河岸區作為陰影來源，覆蓋和異位輸入（Roni et al. 2002）。特別是對於現在缺乏成熟的河岸作為木材來源的河流，在溪流中添加大木材已成為改善全球溪流棲息地的廣泛使用的方法（Reich et al. 2003）。在物理不穩定的系統中，穩定河岸以減少坍塌和沉積物輸入通常是一個主要目標，通過河岸種植，在河岸基腳添加石頭或木材，以及在可行的情況下減少極端流量來實現（Shields et al. 1995）。無論大壩在那裡調節流量，目標都是提供必要的低流量、高流量和沖刷流量，並具有適當的季節性時間，以提供關鍵的棲息地並維持生態系統和地貌功能（圖 13.18）。簡而言之，挑戰在於確定針對特定地點的最佳活動套件，並將其納入整個流域的計劃。

為了評估美國河流恢復的程度，Bernhardt等人（2005b）從政府資料庫、灰色文獻和來自48個州七個地區的聯繫人中收集了37,000多個案例，分為表13.4的13個類別。目標和活動是有區別的，因為很明顯，同一活動可以用於一個以上的目的。四個最常見的目標是改善水質，管理河岸區，改善河流棲息地和穩定河岸，這些通常是相對便宜的小型專案。

Bernhardt等人利用現有成本數據並外推整個數據集，估計自1990年以來支出為140億至150億美元，平均每年為10億美元。此外，他們的估計不包括密蘇里河、哥倫比亞河和科羅拉多河以及佛羅里達州基西米河和大沼澤地的大型專案。顯然，大量的溪流恢復正在進行中。

河流恢復的個別案例研究包括成功和失敗。當在經歷河流變直的奧地利溪流部分添加人工結構時，河潭棲息地的變異性增強，魚類群落在3年內得到顯著改善（Jungwirth et al. 1995）。在印第安那渠道化的溪流中蜿蜒建造導致恢復的範圍內棲息地品質、藻類豐度和大型無脊椎動物密度的改善，儘管大型無脊椎動物多樣性和魚類豐度都沒有受益（Moerke et al. 2004年；莫爾克和蘭伯蒂2003）。芬蘭的溪流被渠化用於木材漂浮，並用巨石壩、導流板和河道重建進行恢復，顯示出苔蘚覆蓋程度、棲息地結構和大額脊椎動物群落的改善（Muotka et al. 2002）。在密西西比州的深切口沙床河道中添加石頭，河岸種植和安裝渠道結構對潭區棲息地和木本植被覆蓋產生了積極影響，導致魚類組合的豐度，大小和多樣性增加（Shields et al. 1995）。

其他恢復專案的效果不太積極，或者被不受管理的壓力源所抵消。在剛剛描述的印第安那州的例子中，整個集水區的持續沉積被認為是恢復的重要障礙（Moerke和Lamberti 2003）。在英國的農業溪流中添加人工導流器和導流器有利於棲息地和流量，但大型無脊椎動物和魚類都沒有改善，作者將其歸因於水質和整體系統華麗的問題（Pretty et al. 2003， Harrison et al. 2004）。對紐西蘭北島河岸緩衝區的比較，在2-24年前被圍欄和種植的河段與未緩衝的控制河段之間發現，在緩衝河段中，視覺水的透明度和通道穩定性有所改善，但營養和糞便污染反應是可變的，大型無脊椎動物群落幾乎沒有變化（Parkyn和Davies-Colley，2003）。

一些修復專案比其他專案效果更好也就不足為奇了，對成功和失敗的研究提供了學習和改進實踐的機會。從一開始，恢復生態學的年輕領域就強調將生態理論付諸實踐的機會，從而在現實世界中測試生態理論（Jordan et al. 1987）。以河流恢復的

名義花費的金額顯然需要更好地了解什麼是成功的恢復，剛才描述的恢復失敗的例子強調了評估恢復專案的迫切需要。Bernhardt等人（2005年b）調查的專案中，只有約10%的專案包括監測，儘管報告不足可能是造成這一低百分比的原因，但該調查強化了許多專業人員的觀點，即從成功和失敗中學習的機會正在被放棄。隨後對317個專案的更詳細調查顯示，監測程度要大得多，也許是因為這些專案可以找到並聯繫經理，因此大多數是機構專業人員（Bernhardt et al. 2007）。然而，在這些情況下，監測很少是在實驗設計的框架內進行的，有精心制定的問題，因此學習機會是否最大化是值得懷疑的。

修復專案的成功可以通過多種標準來判斷：它是否按設計建造並經受住了隨後的洪水，設計是否美觀並導致其使用和享受，是否吸取了實際教訓，也許該專案是否為後續專案建立了熱情。Palmer等人（2005）提出了五個標準來評估恢復項目的生態成功。

這些包括一個地點可能存在的動態健康河流的指導形象，生態條件的可衡量改善，幾乎不需要維護的自我維持結果，重型機械或其他干預措施不會造成持久傷害的實施階段，以及完成評估前和評估後研究並傳播研究結果。Jansson等人（2005）建議增加第六項標準，要求明確具體的假設和機制的概念模型。然而，對所有項目進行監測，甚至對大多數項目進行監測既不現實，也沒有必要。當有理由懷疑可能發生生態危害時，當我們對結果的理解有限時，或者當專案龐大而複雜時，仔細評估恢復是合理的。對於許多常規類型的修復體，最好進行充分的評估以對標準實踐有信心，然後只在監測方面進行少量投資。

未來，溪流恢復面臨的最大挑戰將是瞭解如何最好地沿河流和整個集水區花費有限的資金。目前的做法是“一次恢復一個範圍”的溪流（Bernhardt et al. 2007），儘管Bernhardt等人調查的300多名從業者中，有三分之一以上回答說，個別專案是作為集水區計劃的一部分進行的，但在整個集水區確定優先事項在很大程度上仍然是機會主義的，並且在很大程度上尚未探索監測一些離散專案的累積效益。事實上，從場地擴展到集水區是一個常見問題，也會影響保護規劃，我們現在轉向的主題。

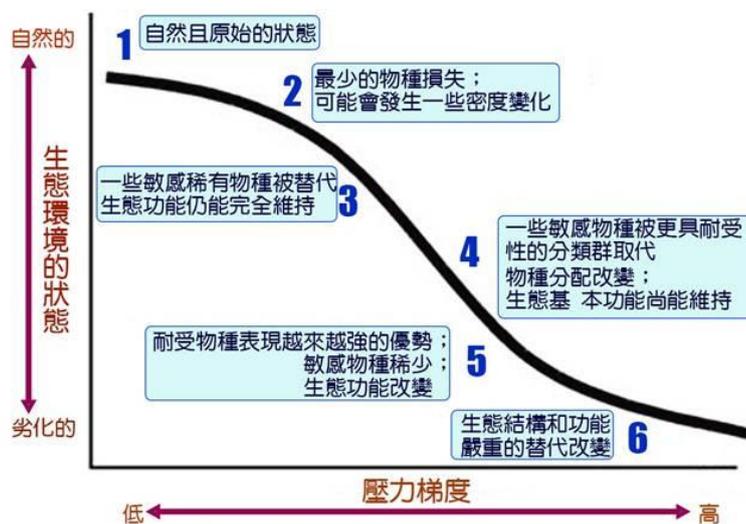


圖13.17 描述了響應於人為壓力梯度增加的河流生物狀況變化的概念模型。數字1到6指的是六級序河道，從完全自然和不變到高度退化。(摘自Davies and Jackson2006。)

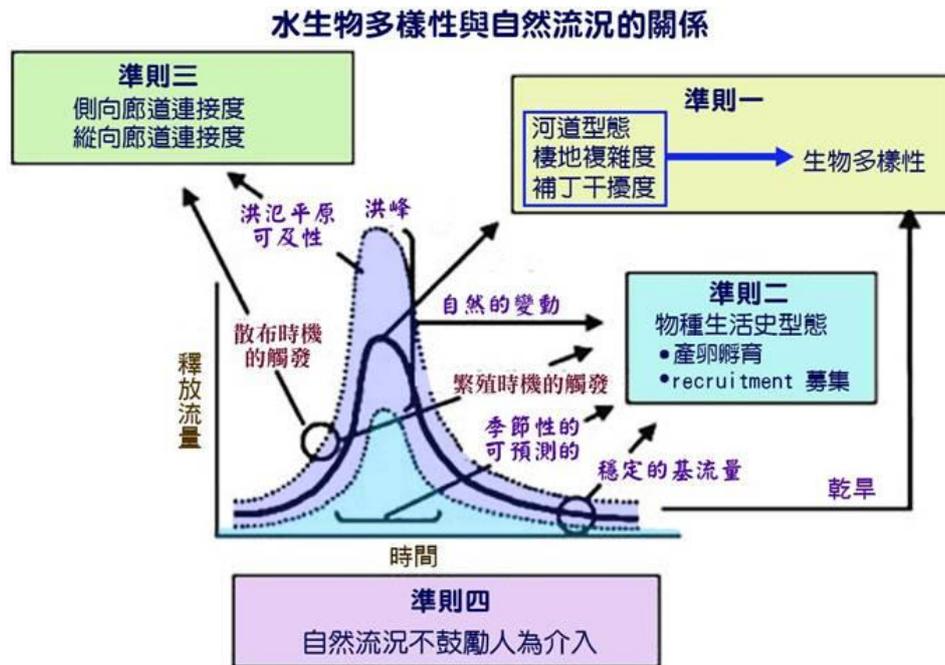


圖13.18 河流自然流量狀態的示意圖，顯示了河流如何通過幾種相互關聯的機制(準則1-4)在不同的時空尺度上運作，如何影響水生生物多樣性。(Reproduced from Dudgeon et al. 2006, after Bunn and Arthington 2002.)

### 13.3.3 保護區

淡水生物多樣性的下降趨勢，加上第13.2節審查的許多威脅，表明需要淡水保護戰略。除了管理和恢復受人類影響的系統外，還必須確定最有潛力保護淡水生物多樣性的地區以及實現這一目標的最佳戰略。迄今為止，在關於保護區的討論中，河流在很大程度上被忽視了 (Abell et al. 2007)。目前無法說出世界上有多少部分河流受到保護，因為它們沒有明確列入世界保護區資料庫。位於公園內的河流經歷了污染物洩漏和入侵物種，即使在公園邊界內也經常受到大壩的影響。通常，這些公園的設計並不以保護生物多樣性為目標，因此它們的邊界是否包括關注的物種可能是偶然的。

在法國，所有大陸的國家公園都位於高海拔地區，而大多數危險的魚類都存在下游 (Keith 2000)。

作者同意流域規模適合淡水保護 (Saunders et al. 2002, Dudgeon et al. 2006)，但在實踐中存在問題，因為所需的面積可能大得不切實際，而且排除人口很少是可行的。雖然可以留出小片地區，將淡水保護作為其唯一優先事項，甚至在偏遠地區也可以完全保護一些較大規模的河流系統，但在大多數情況下，人類對淡水資源的使用將需要得到照顧。當人們考慮需要保護整個上游排水網絡、河岸區和周圍大部分景觀，並避免水壩、污染或其他可能阻止遷徙物種通過的活動時，整個流域保護的挑戰是顯而易見的。

Abell等人 (2007) 認為，解決方案需要超越對單個地點的保護，而是制定一套空

間分佈的保護策略，旨在保護特定種群或目標區域（圖13.19）。淡水重點區域是需要保護的特徵的位置，例如生物多樣性熱點或受威脅物種的產卵區。關鍵管理區是指其管理對重點區域的功能至關重要的區域，例如供移民通過的完整河段或調節極端流量的濕地。集水區管理區是重點區域上游的整個集水區，可能包括大量人類存在，但仍然受基本集水區管理原則的約束。這不必過於嚴格：紐約州阿迪朗達克公園的管理，為下游用戶維持水質將非常適合這種模式。

通過考慮陸地、淡水和沿海海洋（Stoms et al. 2005），以及認識到保護區內和保護區附近的人的存在以及生物跨越保護區邊界的流動，未來的保護區可能會更加綜合。河流和土地保護之間的脫節很明顯，因為觀察到河流經常形成公園邊界，土地保護區的邊界很少與集水區劃分相吻合（Pringle 2000b）。淡水部分的優先次序確定和設計戰略目前遠遠落後於陸地和海洋保護工作，而且由於對生物群，特別是脊椎動物以外的生物區系瞭解不足，以及對生態關係的瞭解不足，都受到阻礙。

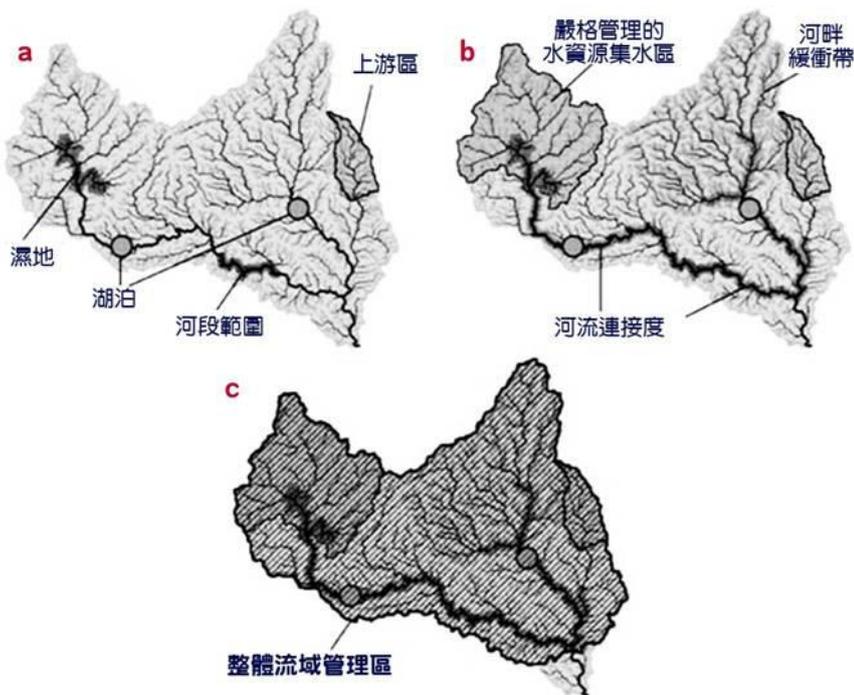


圖13.19圖示了淡水保護區策略，該策略依賴於空間分佈的行動來保護目標區域免受遠程和本地威脅。(a)淡水重點地區，例如支持重點物種，種群或社區的特定河段，湖泊，源頭溪流或濕地；(b)關鍵的管理區，如連接主要棲息地或上游河岸區的河段，其完整性對淡水重點區的功能至關重要；(c)一個集水區管理區，覆蓋最下游淡水重點區域或關鍵管理區上游的整個集水區，並在其中應用綜合集水區管理原則。(摘自Abell等人2007。)

然而，所有領域都不同程度地存在這些缺陷。使用景觀分析來確定受影響輕微的地區，使用眾所周知的分類群來識別多樣性和特有性地區，以及結合我們對物種 - 棲息地關係的瞭解來選擇高品質的地點，可以做很多事情。針對全球代表性河流生態系統的可實現百分比的積極河流保護方法是下一代河流生態學家的一個有價值的目標和挑戰。

最後，我們應該認識到，從一開始就將生態目標納入水開發規劃最有可能實現，而當人類需求納入保護規劃時，保護目標最有可能實現（Richter et al. 2003）。

養護和管理將相輔相成，在保護生物多樣性、維持生態系統功能以及提供人類生計和福祉方面尋求可接受的折衷方案（Moss 2000，Dudgeon et al. 2006）。

**表 13.4 管理和恢復流的共同目標和活動。** BMP 是指最佳管理實踐，LWD 是指大樹幹或巨石倒伏於河道中。中位數成本是主要在美國進行的河流恢復調查的一部分。（摘自 Bernhardt et al.2005 年。）

目標	費用中位數(美元\$)	活動示例
美學/娛樂/教育	63,000	清潔(例如清除垃圾)，植被恢復，農業最佳管理實踐(BMP)，河岸或渠道重塑，環境教育
河岸穩定	42,000	植被恢復，河岸分級，撕裂說唱，添加了大塊木屑(LWD)，偏轉器，塊根
河道重配置	120,000	河岸或渠道整治，植被恢復，河岸緩衝區創建/維護，蜿蜒創建
大壩拆除/ 翻新	98,000	拆除大壩，恢復植被，增強水流狀況
魚梯魚道	30,000	安裝魚梯，拆除 LWD 低流堰，創建湍瀨與水潭，添加跌水瀑
洪氾區重新營造	207,000	堤岸或河道整治，恢復/維護廊道連接，植被恢復，濕地營造，堤岸整治
流程修改	198,000	改善水流狀況，控制/維護水位，重新植被，添加巨石，流量監控
改善河內棲息地	20,000	巨石，環境流量維持，集砂坑，導流，植被
流域物種管理	77,000	重新引入本地物種，重塑河岸或渠道，重新植被，增強流態
徵地	812,000	土地購置，增加河畔帶空間
河岸管理	19,000	畜牧排除，河岸緩衝帶的創建/維護，雜草/非本地植物的根除，植被恢復
雨水管理	180,000	濕地建設，河岸緩衝帶的創建/維護，河岸或河道整形，植被恢復
水質管理	19,000	河岸緩衝區的創建/維護，牲畜排斥，植被恢復，圍欄，農業 BMP

## 13.4 小結

流水是生態和地貌上的動態系統。地球地質和氣候的變化通過對山谷植被以及坡度、水文流道和河道特徵的影響，深刻地影響河流的生物功能。

本書的主要目標是盡我們所能解釋溪流和河流之間與溪流大小、景觀和縱向位置相關的巨大多樣性。不幸的是，今天很少有河流是真正原始的，許多河流已經被各種人類活動嚴重改變了。棲息地改變、入侵物種、污染物、過度開發和氣候變化是當今河流面臨的主要威脅。

淡水生態系統占地球表面的<1%，但至少支援100,000種已知的動物物種，包括10,000多種淡水魚和90,000種無脊椎動物。

沒有可靠的估計受到威脅的部分，但北美主要植物和動物群體的數據提供了證據，表明很大一部分淡水生物群處於危險之中。

即使物種持續存在，最近的調查也經常顯示，與歷史事件相比，豐度減少，分佈受限，這表明剩餘組合的功能發生了深刻的變化。

物理棲息地的改變可能是最重要的威脅，並且是由於影響流量，渠道形態和土地利用的許多不同的人類活動造成的。由於世界各地的水壩建設，大多數河流系統都受到影響，任何規模的自由流動部分都很少。北美，歐洲和前蘇聯的大多數最大的河流系統都受到大壩的高度或中度影響，亞洲河流上的大壩建設越來越受到關注。對河流的影響包括流量、沉積物負荷、溫度和水質的變化，以及上下游和橫向連通性的喪失。

小溪流被拓寬和拉直以輸送水，而較大的河流通常被修改為航行、防洪和利用洪泛區土地；兩者都導致棲息地的嚴重退化和喪失。

改變土地利用，包括森林採伐以及農業和城市地區的擴張，通過改變流量、增加沉積物輸入以及通過改變河岸植被影響能源供應、溫度和河岸穩定性，對河流棲息地產生普遍但分散的影響。

入侵物種通過主導生物量和空間而構成重大風險，導致本地物種減少以及營養結構和生態系統過程發生變化。儘管許多物種是通過偶然或設計引入的，但只有少數物種被確定為組合優勢物種，因此有資格成為入侵或滋擾物種。在另一個極端，9個物種被引入30多個國家，包括3種運動魚，一種用於蚊子控制的物種，以及2種羅非魚和3種鯉魚，用於水產養殖和雜草控制。外來物種的成功建立可被視為一系列概率事件，從遷移或擴散開始，然後建立並進一步傳播，直到最後完全融入群落。入侵成功的最佳預測方式是既往入侵史、廣泛的環境耐受性、在人為改變的環境中茁壯成長的能力、源環境和受體環境的相似性以及大繁殖體尺寸。儘管許多非本地物種似乎對接收者群落影響不大，但鱒魚競爭性地取代了本地物種，斑馬貽貝已經大大改變了生態系統過程，在北美變得豐富。

水質下降是由於污染物在特定地點到達地表水造成的，這通常是工業和城市廢物的情況，或來自擴散來源，如農業和城市土地的逕流或大氣沉降。有害的水質條件在發達國家很普遍，農業中的營養物質和沉積物影響著許多溪流和河流，有毒污染

物的重要性因當今和遺留來源而異。在許多發展中國家，由於污染控制技術使用效率較低，問題可能會更加嚴重。SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>大氣沉降對地表水的酸化影響了斯堪的納維亞半島，北歐，東北部和美國西部一些地區的河流和湖泊。

過度開發是魚類、其他脊椎動物（包括海龜和鱈魚）以及一些軟體動物和十足類甲殼類動物的主要關注點。它相對於其他危險原因的重要性可能難以評估，因為被開採的種群通常面臨多種威脅，包括水壩、棲息地退化和污染。過度捕撈淡水龜是亞洲海龜面臨的最重要威脅，許多熱帶漁業的捕撈量如此之高，以至於其可持續性受到質疑。內陸水域的過度捕撈令人擔憂，不僅因為它威脅到頂級捕食者和有影響力的物種的喪失，而且還威脅到依賴這種資源獲得收入和食物的數千萬漁民的福祉。

氣候變化無疑將對水生生態系統產生重要影響，由於溫度和流態的變化而產生近似影響，由於河岸植被、干擾強度和頻率、水化學和物種相互作用的變化而產生更微妙的影響。物種是否能夠轉移到其生理耐受範圍內的位置取決於機會和地形，因為擴散路線和合適的棲息地可能並不總是可用的。由於預計降水和逕流在未來的氣候下將變得更加極端，因此干擾在構建生物組合中的作用可能會變得越來越重要。

儘管這些威脅很嚴重，但河流具有強大的恢復能力，科學進步開始為基於生態系統的整體管理指明道路，公眾意識和關注正在迅速增長。

生物評估方面的進展為監測淡水生物區系和生態系統提供了工具，以便量化人類影響和評價管理行動的有效性。河流恢復的實踐正在迅速發展，儘管目前尚未得到充分的評估和記錄，但該領域對未來有很大的希望。還必須查明相對未改變的地區或擁有獨特的生物區系，因此最值得保護，並制定適合淡水保護獨特挑戰的適當戰略。最重要的是，需要將水資源開發和保護規劃結合起來，以便將維持生態系統功能以及提供人類生計和福祉作為相互關聯的目標。