

# 武陵地區生態系監測與模式建構規劃

## 中文摘要

雪霸國家公園最重要的功能是自然資源的保護與生物物種的保育，其中之一便是分布只侷限於大甲溪上游武陵地區七家灣流域，但數量已稀少到瀕臨絕種程度的陸封型櫻花鉤吻鮭。保育工作需以宏觀的角度來管理自然資源或棲地，也就是生態系之管理，其基礎建立在園區內各項資源的瞭解與掌握。然而生態系中因子複雜，單就水質環境的變化無法判知是否會影響生物存榮，更無法推測生物間的互動與未來動態。因此有必要以生物為基礎，直接藉由生態系食物網模式的建構，了解該生態系之能量來源、結構與功能。因此本計畫具體之研究內容為：

1. 蒐集與整合分析雪霸國家公園武陵地區七家灣流域過去之調查研究報告與生物相關的資料；
2. 建構該溪流生態系主要組成生物群、能量來源與物質傳輸路徑的概念模式；
3. 評估建構該溪流生態系模式之可行性與目前所仍缺乏之基礎生物或環境資料；
4. 提出未來該溪流生態系模式相關研究計畫項目的規劃參考。

從 120 項相關研究成果中，篩選整合分析過去與武陵地區七家灣溪 43 項相關文獻後發現有以下結論與建議事項：1. 生態系研究與管理在現今全球變遷的環境下對從事生態保育工作是迫切需要的，因為全球變遷的影響並非只會影響單一生物個體；2. 生態系最佳研究方法是嘗試架構生態系模式。從過去定性之文獻資料所架構之武陵地區溪流生態系概念模式，顯示出溪流中主要生物群、其能量與食物可能來源，以及物質在食物網中傳輸路徑等生態功能；3. 武陵地區七家灣溪在雪霸國家公園成立前由農委會所主導之研究主要著重在櫻花鉤吻鮭，國家公園成立後才開始擴大到溪流其他相關生物之自然資源研究調查工作，但資料一直缺乏整合；4. 從水質資料與週遭土地利用情形可以推測營養鹽輸入是武陵地區需優先監測的水質環境項目。因此當務之急應先了解溪流藻類是否會有營養鹽限制情形，以及受限於何種營養鹽；5. 有機碎屑量為水生生物重要食物來源，為未

來水質研究增加重點項目; 6. 藻類生物量與基礎生產量為一個生態系主要之能量與食物來源，不但是發展生態系模式最重要之參數資料，亦是溪流優養化的重要指標生物，因此未來應著重在基礎生產量之測量，及其與營養鹽間關係; 7. 櫻花鉤吻鮭是溪流中所有生物資料最為詳盡的，但是其它生物之生態功能性資料，如生產量、攝食量與食性組成等，是未來從事武陵地區生物與生態相關研究時所亟待彌補之空缺; 8. 整體而言，若能以目前現有文獻資料，再補足現場調查之藻類基礎生產量、有機碎屑量、沿岸落葉量、水棲昆蟲生物量及其食性組成，並配合國外文獻資料之主要生物生產量與攝食量，應該能架構一個武陵地區溪流生態系食物網雛形模式; 9. 未來建構生態系食物網時建議使用 ECOPATH with ECOSIM 軟體系統為工具，從建構 ECOPATH 質量平衡之生態系食物網模式開始，分析該生態系食物網的結構與功能，以及這些生物的食物來源，相互衝擊程度與其交互作用; 10. 最後再將季節性變化資料併入模式中，模擬具時間動態變化之 ECOSIM 模式，以及具空間動態變化之 ECOSPACE 模式，使該模式具有實際預測環境變遷與人為干擾之能力，已提供作用武陵地區溪流生態系管理之決策參考。

關鍵字: 櫻花鉤吻鮭、七家灣溪、食物網、生態系模式

## 英文摘要

One of the missions of Shei-Pa National Park is to conserve the natural resources, especially the Formosan landlocked salmon in the Chichiawan stream basin of Wulin area. In order to understand the dynamics of the Formosan salmon, it is necessary to construct a trophic model to track the food sources and the interaction with other biota in the stream ecosystem.

Therefore, the purposes of this study are: 1. to assemble and analyze the previous literature, 2. to construct a conceptual model of energy and matter flow in the stream, 3. to assess the possibility of construction of the trophic model, and 4. to suggest the research works in the future.

The conceptual model shows the major biological groups, the food sources and the pathways in the food web of the stream. Thus, ECOPATH with ECOSIM software system is recommended for construction of trophic model. According to analyses of the previous literature, it is found that monitoring of water quality and stream morphometry has provided chemical and physical data for the stream. The flux and the pool of organic detritus in the stream are the foci in the future. Primary productivity and the relationships with the nutrients are needed for the food sources of the stream. Finally, data of biota except the Formosan salmon are lacking, especially the secondary production, the consumption, and the diet composition and need further works. It is suggested that the seasonal and spatial changes in biota in the ecosystem shall be incorporated into the ECOPATH model to construct an ECOSIM and ECOSPACE model respectively to predict the behaviors of the ecosystem.

Keywords: Formosan salmon, Chichiawan Creek, Food web, Ecosystem model



內政部營建署雪霸國家公園管理處九十一年度研究報告

武陵地區生態系監測與模式建構規劃

**Planning of model construction and the ecological  
monitoring in stream ecosystems in the Wulin area**

執行單位: 內政部營建署雪霸國家公園管理處

研究機構: 國立中興大學生命科學系

研究主持人: 林幸助

研究人員: 謝莉顥

中華民國九十一年十一月三十日

## 目 錄

目錄 .....	I
表目錄 .....	II
圖目錄 .....	III
中文摘要 .....	1
英文摘要 .....	3
一、前言 .....	4
二、研究方法 .....	8
三、結果與討論 .....	12
四、結論與建議事項 .....	29
五、謝辭 .....	30
六、參考文獻 .....	31

## 表目錄

表 1. 雪霸國家公園武陵地區 1994 年度至 2001 年度之相關文獻資料 .....	15
表 2. 雪霸國家公園成立(1992)前之相關文獻資料 .....	17
表 3. 目前建構七家灣溪溪流生態系模式所需參數之文獻綜合整理分析表...	18
表 4. 雪霸國家公園武陵地區 1986 至 2001 年間沿岸植被相關文獻資料 ...	20
表 5. 雪霸國家公園武陵地區 1986 至 2001 年間植物性浮游生物與底棲藻類相關文獻資料.....	20
表 6. 雪霸國家公園武陵地區 1986 至 2001 年間食植物生物相關文獻資料.	22
表 7. 雪霸國家公園武陵地區 1986 至 2001 年間食細碎屑生物與食粗碎屑生物相關文獻資料 .....	22
表 8. 雪霸國家公園武陵地區 1986 至 2001 年間魚類相關文獻資料.....	24
表 9. 雪霸國家公園武陵地區 1986 至 2001 年間其它掠食生物相關文獻資料.....	26
表 10. 雪霸國家公園武陵地區 1986 至 2001 年間分解生物相關文獻資料..	26
表 11. 雪霸國家公園武陵地區 1986 至 2001 年間水域外掠食生物相關文獻資料.....	28

## 圖目錄

圖 1. 本計畫之研究範圍為雪霸國家公園東邊之武陵地區 .....	5
圖 2. 雪霸國家公園武陵地區七家灣溪流域圖.....	9
圖 3. 武陵地區七家灣溪流生態系概念模式中主要組成生物群、能 量來源與物質傳輸路徑.....	13



## 中文摘要

雪霸國家公園最重要的功能是自然資源的保護與生物物種的保育，其中之一便是分布只侷限於大甲溪上游武陵地區七家灣流域，但數量已稀少到瀕臨絕種程度的陸封型櫻花鉤吻鮭。保育工作需以宏觀的角度來管理自然資源或棲地，也就是生態系之管理，其基礎建立在園區內各項資源的瞭解與掌握。然而生態系中因子複雜，單就水質環境的變化無法判知是否會影響生物存榮，更無法推測生物間的互動與未來動態。因此有必要以生物為基礎，直接藉由生態系食物網模式的建構，了解該生態系之能量來源、結構與功能。因此本計畫具體之研究內容為：

1. 蒐集與整合分析雪霸國家公園武陵地區七家灣流域過去之調查研究報告與生物相關的資料；
2. 建構該溪流生態系主要組成生物群、能量來源與物質傳輸路徑的概念模式；
3. 評估建構該溪流生態系模式之可行性與目前所仍缺乏之基礎生物或環境資料；
4. 提出未來該溪流生態系模式相關研究計畫項目的規劃參考。

從 120 項相關研究成果中，篩選整合分析過去與武陵地區七家灣溪 43 項相關文獻後發現有以下結論與建議事項：1. 生態系研究與管理在現今全球變遷的環境下對從事生態保育工作是迫切需要的，因為全球變遷的影響並非只會影響單一生物個體；2. 生態系最佳研究方法是嘗試架構生態系模式。從過去定性之文獻資料所架構之武陵地區溪流生態系概念模式，顯示出溪流中主要生物群、其能量與食物可能來源，以及物質在食物網中傳輸路徑等生態功能；3. 武陵地區七家灣溪在雪霸國家公園成立前由農委會所主導之研究主要著重在櫻花鉤吻鮭，國家公園成立後才開始擴大到溪流其他相關生物之自然資源研究調查工作，但資料一直缺乏整合；4. 從水質資料與週遭土地利用情形可以推測營養鹽輸入是武陵地區需優先監測的水質環境項目。因此當務之急應先了解溪流藻類是否會有營養鹽限制情形，以及受限於何種營養鹽；5. 有機碎屑量為水生生物重要食物來源，為未來水質研究增加重點項目；6. 藻類生物量與基礎生產量為一個生態系主要之能

量與食物來源，不但是發展生態系模式最重要之參數資料，亦是溪流優養化的重要指標生物，因此未來應著重在基礎生產量之測量，及其與營養鹽間關係; 7. 櫻花鉤吻鮭是溪流中所有生物資料最為詳盡的，但是其它生物之生態功能性資料，如生產量、攝食量與食性組成等，是未來從事武陵地區生物與生態相關研究時所亟待彌補之空缺; 8. 整體而言，若能以目前現有文獻資料，再補足現場調查之藻類基礎生產量、有機碎屑量、沿岸落葉量、水棲昆蟲生物量及其食性組成，並配合國外文獻資料之主要生物生產量與攝食量，應該能架構一個武陵地區溪流生態系食物網雛形模式; 9. 未來建構生態系食物網時建議使用 ECOPATH with ECOSIM 軟體系統為工具，從建構 ECOPATH 質量平衡之生態系食物網模式開始，分析該生態系食物網的結構與功能，以及這些生物的食物來源，相互衝擊程度與其交互作用; 10. 最後再將季節性變化資料併入模式中，模擬具時間動態變化之 ECOSIM 模式，以及具空間動態變化之 ECOSPACE 模式，使該模式具有實際預測環境變遷與人為干擾之能力，已提供作用武陵地區溪流生態系管理之決策參考。

關鍵字: 櫻花鉤吻鮭、七家灣溪、食物網、生態系模式

## 英文摘要

One of the missions of Shei-Pa National Park is to conserve the natural resources, especially the Formosan landlocked salmon in the Chichiawan stream basin of Wulin area. In order to understand the dynamics of the Formosan salmon, it is necessary to construct a trophic model to track the food sources and the interaction with other biota in the stream ecosystem. Therefore, the purposes of this study are: 1. to assemble and analyze the previous literature, 2. to construct a conceptual model of energy and matter flow in the stream, 3. to assess the possibility of construction of the trophic model, and 4. to suggest the research works in the future.

The conceptual model shows the major biological groups, the food sources and the pathways in the food web of the stream. Thus, ECOPATH with ECOSIM software system is recommended for construction of trophic model. According to analyses of the previous literature, it is found that monitoring of water quality and stream morphometry has provided chemical and physical data for the stream. The flux and the pool of organic detritus in the stream are the foci in the future. Primary productivity and the relationships with the nutrients are needed for the food sources of the stream. Finally, data of biota except the Formosan salmon are lacking, especially the secondary production, the consumption, and the diet composition and need further works. It is suggested that the seasonal and spatial changes in biota in the ecosystem shall be incorporated into the ECOPATH model to construct an ECOSIM and ECOSPACE model respectively to predict the behaviors of the ecosystem.

Keywords: Formosan salmon, Chichiawan Creek, Food web, Ecosystem model

## 一、前言

雪霸國家公園位於台灣本島之中北部，自然資源豐富，在民國二十六年之日據時代即有將此區及太魯閣地區合併納入「次高太魯閣國家公園」之芻議。內政部自民國七十六年開始進行本區自然資源之調查、分析與研究後，認為本區具備成立國家公園之價值與必要，乃由行政院核定實施「雪霸國家公園範圍」，研擬「雪霸國家公園計畫」，之後於八十一年七月成立雪霸國家公園管理處。雪霸國家公園（圖 1）範圍以雪山山脈的河谷稜線為界，東起羅葉尾山，西迄東洗水山，南至宇羅尾山，北抵境界山，總面積達 76,850 公頃，涵括了新竹縣五峰鄉和尖石鄉、苗栗縣泰安鄉、台中縣和平鄉，屬於高山型的國家公園。

成立雪霸國家公園最重要的功能之一便是自然資源的保育。因此雪霸國家公園內劃設許多生態保護區與特別景觀區，佔園區總面積達三分之二以上，以便能發揮自然資源保護與生物物種保育之功能。其中最知名的為發現於大甲溪上游武陵地區的陸封型櫻花鉤吻鮭。牠是冰河時期的子遺生物，屬於陸封型的寒帶鮭鱒魚類，但居然能存活於地處熱帶與亞熱帶之季風氣候區之台灣島嶼，是演化學中生物地理學的重大發現（汪，1994）。由於具有重要的學術價值，但魚群數量卻早已稀少到瀕臨絕種的程度，且分布範圍現今只侷限於七家灣溪、高山溪與桃山北溪（曾，2001），因此政府於民國七十三年七月依「文化資產保存法」第 49 條及施行細則第 72 條之規定，指定並公告櫻花鉤吻鮭為珍貴稀有動物，將其列為重要文化資產之一，又稱為「國寶魚」。其現存棲息地的七家灣溪流域，在民國八十八年由行政院農委會依據「野生動物保護法」，公告為野生動物保護區。

保育工作需以宏觀的角度來管理自然資源或棲地，也就是生態系之管理 (ecosystem management)，其基礎建立在園區內各項資源的瞭解與掌握。然而生態系中因子複雜，環境的變化固然可由評估水質或底質等物理化學因子著手，但所得資料並無法藉以判知環境變化是否會影響生物存榮，更無法知道所測得的

變化對生物的影響，包括長期累積效應與衝擊程度，也無法推測生物群體的互動



圖 1. 本計畫之研究範圍為雪霸國家公園東邊之武陵地區。

與未來可能發展動態。因此有必要以生物為基礎，直接藉由生態系中各個生物群之間的交互作用，其中主要為營養階層之食性關係及物質傳輸路徑，配合該生態系統之能量來源與流動路徑（Winterbourn and Townsend, 1991），來對武陵地區溪流生態系的結構與功能進行深入瞭解，並期望能進一步建立生態系監測系統。

生態系監測與模式建構在現今全球變遷的環境下是迫切需要的，因為其影響是全面的，而非只有單一生物個體（Walther *et al.*, 2002）。生態系的特質常無法由單一生物類群顯現，必須將所有生物類群整合分析後才能得知（如 Lin *et al.*, 1999），因此生態系研究是生態學門中最具有挑戰性的。因為物種各有其不同的生活史及習性，經由食物鏈影響後，常使其關係十分複雜而不穩定，故生態系模式之建構遠較海洋物理與化學模式複雜困難。「生態系模式」指的是以摘要的方式來描述一個錯綜複雜的生態系結構與功能（林與楊，2001）。對研究者而言，模式是一種可以幫助我們將科學知識整合、歸納並概念化的工具。在過去三十年中，生態系模式的發展已隨著電腦的精進而日趨完備。在建立生態系模式的過程中，不但可以整合來自不同領域但相關密切之研究成果，亦可以更深一層透視生態系的運作與組成分子間相互關係，鑑別出過去對生態系知識的盲點，以協助確立未來生物與生態研究的優先順序。建立生態系模式後，在學術上不但可以作為驗證生態研究假說的工具，亦可以預測自然環境變遷與人為干擾對整體生態系的衝擊。在生物資源管理方面，模式本身可以作為管理階層者政策制定的主要依據；而在社會教育層面，模式亦可以簡明的圖形表示法讓一般社會大眾瞭解生態系錯綜複雜的交互關係與運作。以上所述都是成立雪霸國家公園的目的。在台灣地區，如七股瀉湖(Lin, *et al.*, 1999; Lin *et al.*, 2001)、大鵬灣、野柳灣(Lin *et al.*，撰寫中)與淡水河口(Lin and Shao，發表中)等地皆已有生態系模式建構成功的例子。

武陵地區七家灣溪在雪霸國家公園成立前由農委會所主導之研究主要著重在櫻花鉤吻鮭。國家公園成立後才開始擴大到溪流其他相關生物之自然資源研究

調查工作，因此與櫻花鉤吻鮭有關之研究計畫至今亦已完成超過 120 項之多，但資料一直缺乏整合（雪霸國家公園，2000）。而生態相關資料的整合與模式建構為雪霸國家公園保育研究的主要目標之一。因此本研究計畫為生態系模式建構的規劃評估研究，其目的在於蒐集與評估雪霸國家公園武陵地區過去的研究調查報告中與生物及環境相關的資料，以生態系食物網為架構，以能量來源與物質傳輸路徑為工具，配合野外的實地觀測與探勘，藉以整合與分析該地區溪流生態系中動物與植物，以及沿岸陸地與水域生物相關資料，並界定生物資源之時空分布類型，以建立基礎背景資料庫，提供政府從事國土開發利用及生態保育規畫的參考。其中最重要的是評估過去生物相關資料所涵蓋的項目，建議未來生態系模式建構與監測時亟待建立與研究之基礎生物與環境資料，作為未來雪霸國家公園武陵地區溪流生態系研究計畫項目規劃之參考。

因此本計畫具體之研究內容及擬解決問題為：

1. 蒐集雪霸國家公園武陵地區七家灣流域過去的研究調查報告中與生物相關的資料。
2. 整合與分析雪霸國家公園武陵地區七家灣流域生物相關資料。
3. 建構雪霸國家公園武陵地區七家灣溪之溪流生態系主要組成生物群、能量來源與物質傳輸路徑的概念模式。
4. 評估建構七家灣溪溪流生態系模式之可行性。
5. 建議未來建構七家灣流域生態系模式在目前仍缺乏之基礎生物或環境資料。
6. 提出未來建構七家灣溪溪流生態系模式相關研究計畫項目的規劃參考。

## 二、研究方法

### (一) 研究區域

研究區域為雪霸國家公園東邊之武陵地區，面積約四十六公頃。行政區上隸屬於台中縣和平鄉，是一個由雪山山脈所圍繞成的山谷（圖 1）。南北走向成葫蘆形的狹長谷地，終年平均氣溫為 15 左右。本計畫所研究之溪流為區內之七家灣溪流域，其中包含五個水域：七家灣溪、桃山溪、高山溪、有勝溪及司界蘭溪，匯集後即成為大甲溪上游，屬於德基水庫集水區（圖 2）。

### (二) 生態系監測

當以生物做為環境監測的材料時，基本上需先瞭解其在該生態系中的地位。在不同環境裡，生物相有所差異，所構成的生態系也相當複雜。各類生物在生態系中的地位，可以就其功能層級（如食物鏈）或棲息環境（如陸域、水域）來區分。此外，在習性上也有游動性或固著性的差別，如魚類多具游動性，而螺貝類則多為固著性。因此為了達到環境監測的目的，需要先廣泛收集這些資料。在研究性質方面，在實驗室所進行的研究比較容易就環境變數加以設計、控制，並且需時較短，通常在數小時至數日之內就可得到實驗的結果，但所得到的資料不足以反應出環境變化對生物體所造成的綜合性影響。野外資料收集所得結果沒有上述缺失，但是所需的時間較長。本計畫中是以整個生態系為著眼點，因此以過去文獻中野外研究資料的收集為主。在材料的層次上，一般在野外實地進行的環境監測有根據單一或少數指標種（indicator species）的族群動態，或群聚結構變化的方式來進行。在本計畫中，我們除了在這兩個層次就相關的理論以及其實際應用加以重新洗鍊之外，並將根據當世學術進展，進一步把監測系統推展到生態系這一層級，突破一般生態監測系統的窠臼。

### (三) 建構生態系模式的方法

在溪流生態系中，生物間最主要的交互作用為食性營養關係，因此本計畫從生態系食物網之角度，以定量之方式來描述生物間直接與間接之物質與能量之交互作用，並據此建立生



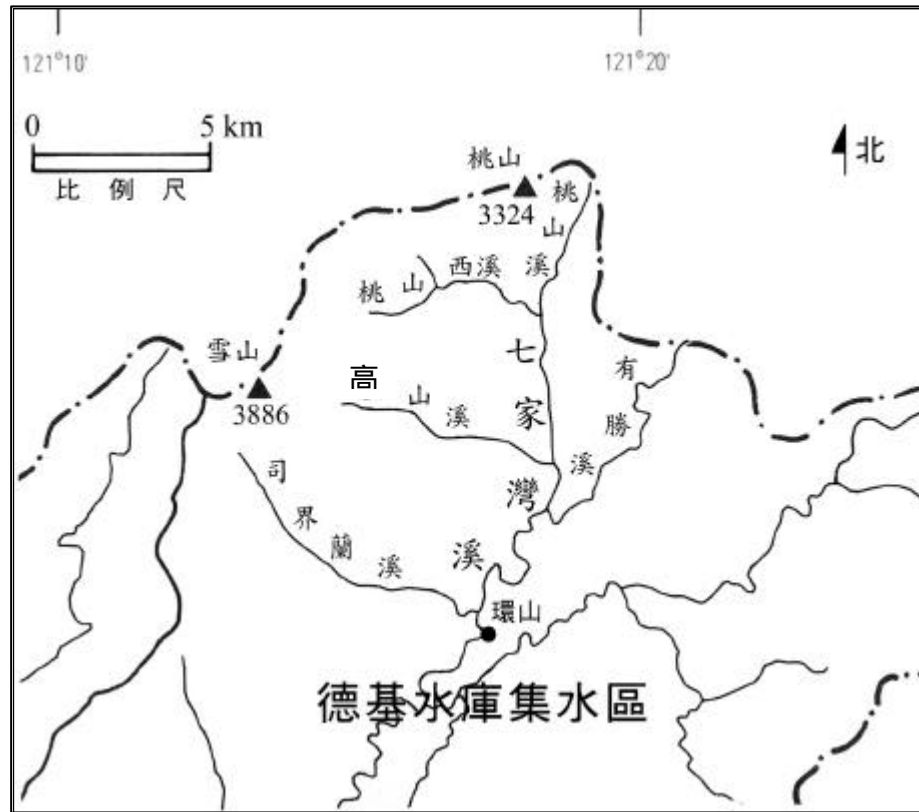


圖 2. 雪霸國家公園武陵地區七家灣溪流域圖。

態系模式。未來建構生態系食物網時建議使用新近由「國際水產生物資源管理中心」(ICLARM)與加拿大英屬哥倫比亞大學(UBC)所合作發展之 ECOPATH with ECOSIM version 5 軟體系統(Christensen *et al.*, 2002)為工具，將各種生物之物質傳輸與生物體之輸出入質量平衡連接起來。其基本假設為：進出食物網中美一個生物或每一個層級的能量會達到質量平衡。因此在生態系食物網中，可將各種生物之物質傳輸與生物體之質量平衡因食性關係而連結起來。因此各生物類群的生產量(production)等於被攝食量(predation)、自然死亡量(non-predation loss)、輸出量(export)與生物累積量(accumulation)的總和：

Production by  $i$  - all predation on  $i$  - non-predation losses of  $i$  - export of  $i$  - accumulation of  $i$  = 0, or

$$P_i - B_i M_{2i} - P_i (1 - E E_i) - E X_i - A C_i = 0, \quad (1)$$

其中  $P_i$  = the production of ( $i$ );  $B_i$  = the biomass of ( $i$ );  $M_{2i}$  = the predation mortality of ( $i$ );  $E E_i$  = the ecotrophic efficiency of ( $i$ ), i.e., the part of production that is either passed up the trophic level or exported;  $1 - E E_i$  = "other mortality";  $E X_i$  = the export of ( $i$ ); and  $A C_i$  = the accumulation of ( $i$ ) during the study period

假設各生物之食性組成於短期之研究期間內維持不變，掠食者與被掠食者可透過攝食 (consumption;  $Q B_j$ ) 相連結。因此，方程式 (1) 可改寫成：

$$B_i P B_i E E_i - S_j B_j Q B_j D C_{ji} - E X_i - A C_i = 0, \quad (2)$$

其中  $P B_i$  is the production/biomass ratio,  $Q B_j$  is the consumption/biomass ratio of predator  $j$ , and  $D C_{ji}$  is the fraction of prey ( $i$ ) in the average diet of predator  $j$ .

食物網中生物被攝食量與掠食生物的攝食率(consumption rate)與食性組成(diet composition)有關，而自然死亡量及輸出量可分別由生態效率(ecotrophic efficiency)以及漁獲量推算。因此由以上之方程式(2)可以知道若發展一個溪流生態系模式所需的參數包括各生物群之生物量(biomass)、單位生產量(PB ratio)、單位攝食量(QB ratio)、生態效率與食性組成。其中生物量(biomass)、單位生產量(PB ratio)、單位攝食量(QB ratio)、生態效率可以容許有一參數值未知，因為結合各生物類群之生物量方程式與食性組成，解聯立方程式後可用以推算許多生態系物質能量傳輸參數與未知之生物類群物質能量收支平衡之參數。通常是以生態

效率為未知數，因為生態效率是生物中最難獲得的參數值。有關生態系食物網模式之架構原理請參見Christensen and Pauly (1992)。

資料整合之後所建構之生態系食物網模式，一則可供全盤瞭解武陵地區七家灣溪溪流生態系，再者可用以作為未來食物網結構與功能之網絡分析(Network analysis)，或進一步發展生態系時間(ECOSIM)與空間(ECOSPACE)動態變化之模擬(Christensen et al., 2002)，藉以預測一旦大規模人為或自然干擾改變後，該溪流生態系可能受到之整體衝擊。其結果亦可與其它地區之生態系模式相互比較，將有助於對武陵地區溪流生態系運作機制的瞭解。

### 三、結果與討論

#### (一) 溪流生態系能量概念模式

武陵地區七家灣溪之溪流生態系中主要生物類群、能量來源與物質傳輸路徑之整體概念模式可如圖 3 所示。整體概念模式包含 3 大部分，其中虛線框格為溪流中水域生態系統，實線為能量與物質傳輸路徑，因此右邊為從溪流生態系統輸出至其它地方，而左邊為由其它地方輸入此溪流生態系統。在流水型態與物理河床棲地(河型、坡降與斷面等，請參見葉，2001)未因外力，如颱風、土石流或築壩等，而有重大改變時，亦即溪流生態系中處於一般平衡狀態時，應存在有 4 大有機物儲藏庫以及 5 大生物類群。4 大有機物儲藏庫包括植物基礎生產者(primary producers)、樹木枝葉等粗顆粒有機碎屑(CPOM, coarse particulate organic matter)、細顆粒有機碎屑(FPOM: fine particulate organic matter)以及溶解態有機物(DOM: dissolved organic matter)。5 大生物類群主要依食性之不同而作功能性區分，包括以活的植物組織為食之食植物生物 (grazer) 以 CPOM 為食之食粗碎屑生物 (shredder) 以 FPOM 為食之食細碎屑生物 (collector) 以其它生物為食之掠食生物 (predator, 如櫻花鉤吻鮭) 以及分解 CPOM 和 FPOM 等有機碎屑或以 DOM 為食之分解生物 (如細菌與真菌等)。因此這些碎屑態或溶解態有機物均為溪流生態系中生物之能量來源，而這些生物類群也會因排泄或死亡後遺體沈降累積而產生大小不等之顆粒態或溶解態有機物 (虛線所示) 圖 3 中標示了 4 大有機物儲藏庫、5 大生物類群、有機物與生物類群間實線之能量與物質傳輸路徑，以及生物類群與有機物間虛線之回饋路徑，構成了武陵地區溪流生態系食物網之結構。

溪流生態系之食物來源，亦即有機物儲藏庫之間會相互轉換而作動態改變(圖 3) CPOM 藉由研磨作用 (abrasion) 轉變成 FPOM。DOM 亦可能藉由絮結作用 (precipitation) 而形成 FPOM。基礎生產者、CPOM 與 FPOM 皆可藉由淋溶作用 (leaching) 而釋放出 DOM。

溪流生態系之物質與能量傳輸並非封閉性的，因為除了基礎生產者 (植物) 之行光合作用合成有機物外，其它有機物來源均需靠外界輸入。其中 CPOM 源自於溪岸植被之枯枝落葉或樹幹之吹落或掉入溪流中，或由上游水流入所輸入。FPOM 則主要由上游水流入所輸入。而 DOM 除由上游水流入輸入外，下雨與地下水滲入亦為主要來源。基礎生產者雖可藉光合

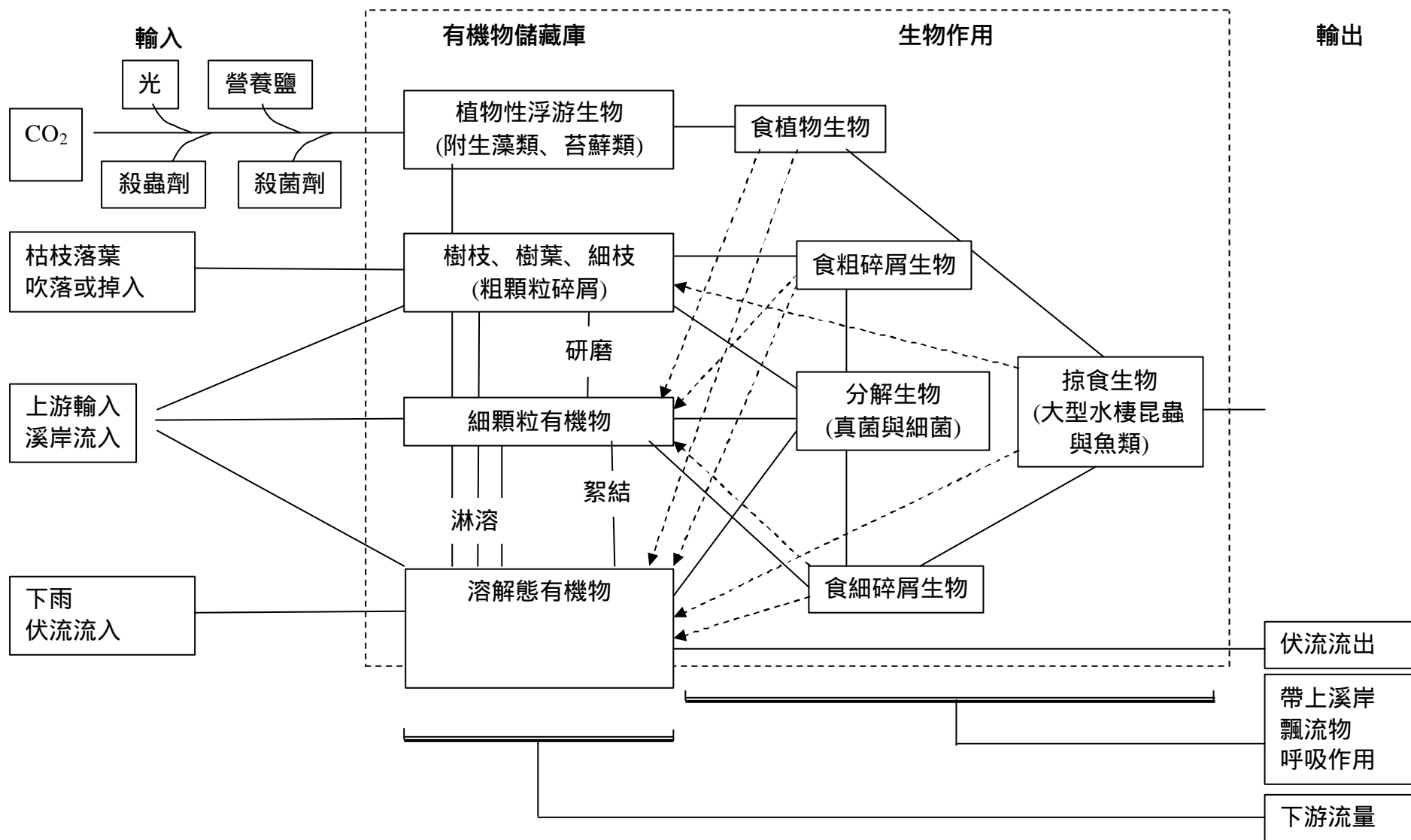


圖3. 武陵地區七家灣溪流生態系概念模式中主要組成生物群、能量來源與物質傳輸路徑。

作用將無機之 CO<sub>2</sub> 合成有機物，但週遭植被的多寡與土地利用的型態會明顯影響到該溪流生態系之基礎生產量。其基礎生產力會受到照光量增加以及週遭農地氮(N)與磷(P)營養鹽流入速率增加而促進，反之亦會受到週遭農地殺蟲劑與殺菌劑流入的抑制。

有機物不但在溪流生態系中會被吃掉，亦會隨著流水輸出此生態系統而流到下游。DOM 亦有可能會隨著地下水滲流出此系統。生物通常會藉由呼吸作用 ( respiration ) 維持自身的生理代謝機能而消耗掉有機物，亦可能以漂流物 ( drift ) 的形式流到下游，或被流水帶上溪岸而離開此溪流生態系統。大型水棲昆蟲或魚類等掠食生物可能因人為的獵捕或溪岸食肉動物及鳥類的掠食而離開此溪流生態系統。

## (二) 文獻蒐集整理與回顧

由圖 3 之武陵地區溪流生態系中主要生物類群、能量來源與物質傳輸路徑之整體概念模式，可以知道建構與發展該溪流生態系模式所需的參數包括各生物類群之生物量、植物基礎生產量、動物單位生產量、動物單位攝食量、動物生物食性組成、動物被捕獲或掠食量、生物隨流而下之輸出量，以及各種型態碎屑量與枯枝落葉輸入量。蒐集雪霸國家公園成立後 ( 1994 年度至 2001 年度 ) 之相關文獻資料，有可能與建構與發展武陵地區七家灣溪溪流生態系模式之參數需求直接相關之保育研究計畫共計有 28 項 ( 表 1 )，以及國家公園成立前由農委會保育科主導相關保育研究工作相關成果計有 14 項(表 2)，綜合整理分析摘要結果如表 3 所述。

### 1. 水域環境

棲地環境的保育與重建是溪流生物與生態保育的重要課題，因此有關水質監測(陳, 1994; 1995; 1998; 1999; 2000; 2002; 陳等, 1996; 陳與楊, 1997) 與河床棲地改善與監測 ( 葉, 1998; 1999; 2000; 2001; 2002; 廖, 2001 ) 之研究計畫多達 13 項，約佔國家公園成立後所有保育研究計畫之 42%。這些研究計畫所獲資料已經為武陵地區七家灣溪流域之水文與化學環境因子提供了詳實的基礎背景資料。但是若從發展七家灣溪溪流生態系能量模式所需參數之角度來看，水質監測的研究中一直忽略了溪流生物重要的食物來源 - 水中顆粒態與溶解態

表 1. 雪霸國家公園武陵地區 1994 年度至 2001 年度之相關文獻資料，與建構武陵地區七家灣溪溪流生態系模式直接相關之保育研究計畫。

年度	計畫名稱	主持人	類別
1996	溪流之水質調查與生物監測之研究--武陵附近地區	陳弘成等	附生藻類、食植物生物、食細碎屑生物、食粗碎屑生物、其它掠食生物、分解生物
1997	武陵地區--溪流之水源水質監測系統之規劃與調查	陳弘成等	附生藻類、食植物生物、食細碎屑生物、食粗碎屑生物、其它掠食生物、分解生物
2000	Community structure and functional organization of aquatic insects in an agricultural mountain stream of Ta iwan: 1985-1986 and 1995-1996	Sen-her Shieh 等	食細碎屑生物、食粗碎屑生物、其它掠食生物
2000	以水棲昆蟲之群聚結構及功能組成監測七家灣溪環境品質	楊平世等	食細碎屑生物、食粗碎屑生物、其它掠食生物
1994	溪流水源水質監測系統之規劃與調查--武陵地區	陳弘成	分解生物
1994	櫻花鉤吻鮭族群調查及觀魚台附近河床之改善研究	曾晴賢	魚類
1995	櫻花鉤吻鮭復育研究	曾晴賢	魚類
1997	水溫對櫻花鉤吻鮭族群的影響	楊正雄	魚類
1997	櫻花鉤吻鮭族群生態調查和育種場位址評估	曾晴賢	魚類
1997	櫻花鉤吻鮭族群生態調查和育種場位址評估	曾晴賢	魚類
2000	七家灣溪櫻花鉤吻鮭族群數量變動的研究	曾晴賢等	魚類
2000	台灣櫻花鉤吻鮭族群數量與生態調查	曾晴賢	魚類
2000	櫻花鉤吻鮭之族群監測與生態研究	曾晴賢等	魚類
2000	櫻花鉤吻鮭族群監測和生態調查（三）	曾晴賢	魚類
2001	櫻花鉤吻鮭族群監測和生態調查（四）	曾晴賢	魚類
2002	台灣櫻花鉤吻鮭的生態與保育	曾晴賢等	魚類
1998	櫻花鉤吻鮭族群監測和生態調查（一）	曾晴賢	魚類、水域外掠食生物

表 1. (續)

年度	計畫名稱	主持人	類別
1995	武陵地區登山步道沿線野生動物景觀資源調查	袁孝維	水域外掠食生物
2000	七家灣溪鴛鴦生態族群調查	孫元勳	水域外掠食生物
2000	七家灣溪鴛鴦生態族群調查(II)	孫元勳	水域外掠食生物
2000	武陵、雪見大型哺乳動物族群與習性之研究	李玲玲	水域外掠食生物
2000	武陵、觀霧地區步道沿線野生動物資源調查	袁孝維等	水域外掠食生物
2001	七家灣溪鴛鴦生態族群調查(III)	孫元勳	水域外掠食生物
1994	櫻花鉤吻鮭保育計畫		沿岸植被
1995	七家灣溪潛在植被之研究	郭城孟	沿岸植被
1999	武陵地區雪山主峰線植群調查與植栽應用之研究	呂金誠	沿岸植被
2000	武陵、觀霧、雪見地區植群調查研究	歐辰雄	沿岸植被
1996	櫻花鉤吻鮭族群數量和生態調查		沿岸植被、魚類
1999	雪霸國家公園登山步道及聯外道路交通系統之規劃研究-以生態旅遊觀點探討之	賴明洲	沿岸植被、魚類、水域外掠食生物



表 2. 雪霸國家公園成立(1992)前之相關文獻資料，與建構武陵地區七家灣溪溪流生態系模式直接相關之保育研究計畫。

年度	計畫名稱	主持人	類別
1987	大甲溪上游浮游生物相及水質之調查	雷淇祥等	植物性浮游生物、食植物生物
1988	大甲溪上游浮游生物相及水質之調查	雷淇祥等	植物性浮游生物、食植物生物
1988	櫻花鉤吻鮭生態之研究(一)魚群分布與環境因子關係之初步研究	林曜松等	沿岸植被、食細碎屑生物、食粗碎屑生物、其它掠食生物、魚類
1987	武陵農場河域之原產種魚類生態之初步研究	呂光洋等	沿岸植被、魚類
1988	櫻花鉤吻鮭生態之研究(二)族群分布與環境因子間關係之研究	林曜松等	沿岸植被、魚類
1987	武陵農場河域蜉蝣目稚蟲之生態研究	楊平世等	食細碎屑生物、食粗碎屑生物、其它掠食生物
1986	武陵農場河域之水棲昆蟲相及生態調查	楊平世等	食細碎屑生物、食粗碎屑生物、其它掠食生物、魚類
1986	櫻花鉤吻鮭 ( <i>Oncorhynchus formosanus</i> Jordan & Oshima) 之食性	楊平世等	魚類
1987	櫻花鉤吻鮭繁養殖試驗	余廷基等	魚類
1989	Environmental quality and fish community ecology in an agricultural mountain stream system of Taiwan	Wang	魚類
1989	有勝溪臺灣纓口秋 ( <i>Crossostoma lacustre</i> ) 之生態學研究	張明雄	魚類
1990	Population and distribution of the formosan landlocked salmon ( <i>Oncorhynchus masou formosanus</i> ) in Chichiawan stream	Yao-sung Lin 等	魚類
1990	臺灣七家灣溪櫻花鉤吻鮭族群生態與保育	林曜松等	魚類
1992	臺灣櫻花鉤吻鮭之族群生態學研究	戴永禎	魚類

表 3. 目前建構七家灣溪溪流生態系模式所需參數之文獻綜合整理分析表。

	種 類	現存 量	輸入 量	生產 量	攝食 量	食性 組成	備註
顆粒態有機碎屑	?	?	?				
溶解態有機碎屑		?	?				
沿岸植被	~	~	?				有種類組成、覆蓋度百分比之資料。
植物性浮游生物	~	~	?	?			營養鹽限制? 有種類組成、總豐度(cells/l)資料。
附生藻類	~	~		?			營養鹽限制? 有種類組成、總豐度(cells/l)資料。
苔蘚類	?	?		?			營養鹽限制?
食植物生物	~	~		?	?	?	有動物性浮游生物の種類組成、總豐度(no./l)資料。
食細碎屑生物	~	?		?	?	?	有相對組成(%)的資料，並有針對攝食功能分群作統計分析。
食粗碎屑生物	~	?		?	?	?	有相對組成(%)的資料，並有針對攝食功能分群作統計分析。
掠食生物	~	~		~	~	~	花鉤吻鮭資料最詳盡，其它生物如? 魚及大型水棲昆蟲資料少。 兩棲類僅有種類資料。
分解生物	?	~?		?	?	?	水質監測中有紀錄總菌數。
水域外掠食生物	~	~			?	?	鳥類之種類及數量。 大型哺乳動物、野生動物及爬蟲類僅有種類資料。

之各項有機物質量，包括 CPOM、FPOM 與 DOM 等，以及在邊界環境之流量 (flux)，亦即這些有機物從上游流入之輸入量及流出此系統到下游之輸出量。另一項亦需要考慮進去的是透過表土下伏流或地下水中各項有機物質量之輸出與輸入量。

## 2. 沿岸植被

沿岸植被為溪流中 CPOM 等各項有機碎屑輸入的主要來源。過去七家灣溪沿岸之植被的研究不少，計有 8 篇之多(表 4)。這些報告主要在紀錄七家灣溪沿岸植群類型、名錄、面積、覆蓋度、胸高直徑及其主要優勢樹種，同時發現沿岸落葉性植物在數量上佔有很高的比例。若從發展七家灣溪溪流生態系能量模式所需參數之角度來看，未來應同時估計在這些植物在單位時間與單位面積下有多少枯枝落葉掉落溪流中而成為溪流生態系之有機碎屑來源。

## 3. 基礎生產者

溪流中基礎生產者包括植物性浮游生物 (phytoplankton) 附生藻類 (periphyton) 與苔蘚類 (moss) 等，雖然是溪流生態系生物的重要食物來源，但是相關的研究常被忽略而併入其它研究計畫中順便執行測量之工作，並沒有單獨一項專作基礎生產者之研究計畫。早期有雷等 (1987; 1988) 在從事大甲溪上游浮游生物相與水質之調查時，曾做過植物性浮游生物相之種類的紀錄與個體數定量工作(表 5)。但是從上游帶入之浮游藻類之輸入量從未有估計資料。在水質監測研究中 (陳, 1994; 1995; 1998; 1999; 2000; 2002; 陳等, 1996; 陳與楊, 1997), 不但有觀察植物性浮游生物細胞數目與藻種組成，同時量測水中葉綠素 *a* 含量，此為衡量植物性浮游生物量的重要指標。他同時有刮取一定面積的附生藻類，計算細胞數目與藻種組成(表 5)。雖然基礎生產量是一個生態系主要之能量與食物來源，可以決定一個生態系可養活多少生物與櫻花鉤吻鮭，為發展生態系模式最重要之參數資料，但是對於這些基礎生產者之基礎生產量則從未有過任何量測，應儘速從事相關研究工作。對於苔蘚類之種類組成與生物量等最基本資料亦完全闕如。

另外有多篇報告 (汪, 1994; 陳, 2000) 都已提到七家灣溪流域之水質因優養化而造成藻類藻華現象，恐會影響櫻花鉤吻鮭幼生覓食與成長之隱憂，水質監測雖有量測水中營養鹽

表 4. 雪霸國家公園武陵地區 1986 至 2001 年間沿岸植被相關文獻資料。

類別	物種分類	定量資料			攝食量	食性組成	掠食者種類	生產量	作者	年代
		%	種個體數	總個體數						
維管束植物、植被類型	-	-	稀有種數量及名錄	數量	-	-	-	-	賴明洲	1999
維管束植物	10 植群、204 種(無明細)	-	-	-	-	-	-	-	歐辰雄	2000
山坡地	5 植群、種	覆蓋度	胸高直徑	樣區面積	-	-	-	-	郭城孟	1995
溪谷地	5 植群、種	覆蓋度	胸高直徑	樣區面積	-	-	-	-	郭城孟	1995
植物型	森林、灌叢、矮灌叢、裸露地	-	-	長度	-	-	-	-	林曜松等	1988
植群	10 植群	-	優勢種之株數及直徑級	-	-	-	-	-	呂金誠	1999
種植面積	果樹、蔬菜、建地、造林	-	公頃	-	-	-	-	-	雪霸國家公園管理處	1994
植物罩蓋度	-	%	-	-	-	-	-	-	呂光洋、汪靜明	1987
植物罩蓋度	-	%	-	-	-	-	-	-	林曜松等	1988

表 5. 雪霸國家公園武陵地區 1986 至 2001 年間植物性浮游生物與底棲藻類相關文獻資料。

類別	物種分類	定量資料			攝食量	食性組成	掠食者種類	生產量	作者	年代
		%	種個體數	總個體數						
浮游植物	3 門、24 種	%	個體數 (分年、站)	個體數	-	-	-	-	雷淇祥等	1987
浮游植物	3 門、29 種	%	個體數 (分年、站)	個體數	-	-	-	-	雷淇祥等	1988
底棲藻類	種	-	-	(相對數量 *, **, ***)	-	-	-	-	陳弘成等	1996
底棲藻類	23 種	%	no./ml	-	-	-	-	-	陳弘成、楊喜男	1997

濃度，但並未估計營養鹽在此溪流生態系中於邊界環境之流量，即氮或磷於單位時間與單位面積之輸出入量。至今對於造成七家灣溪流之藻華現象之機制仍不清楚，因為週遭植被的多寡與土地利用的型態皆會明顯影響到該溪流生態系之基礎生產量。其基礎生產力會因受到照光量增加以及週遭農地氮與磷流入速率增加而促進基礎生產量，反之亦會受到週遭農地殺蟲劑與殺菌劑流入的抑制。雖然一般溪流中，磷常被認為是限制營養鹽，因此磷的過量輸入常是溪流中藻華的主要原因(林，2001)。但是一個生態系中影響的環境因子非常多，且對水域生態系而言，氮或磷是主要限制營養鹽的爭議仍非常多，因此七家灣溪流之藻類是受到氮限制或磷限制仍不得而知，亦應儘速從事相關研究工作。

#### 4. 初級消費者

溪流生態系中之初級消費生物，包括以活的植物組織為食之食植物生物、以 CPOM 為食之食粗碎屑生物，以及以 FPOM 為食之食細碎屑生物等大多屬於動物性浮游生物 (zooplankton) 及水棲昆蟲，在生態系的能量傳輸中扮演了中間關鍵角色，將基礎生產量或有機碎屑向高級消費者如櫻花鉤吻鮭傳輸，但是在過去七家灣溪流流域的文獻資料中相關資料卻非常有限。在食植物生物(表 6)方面，早期雷等 (1987; 1988) 在從事大甲溪上游浮游生物相與水質之調查時，曾做過動物性浮游生物相之種類紀錄。在水質監測研究中(陳，1994; 1995; 1998; 1999; 2000; 2002; 陳等，1996; 陳與楊，1997)，亦有紀錄動物性浮游生物細胞數目與組成。而軟體動物，如螺類之研究(陳等，1996; 陳與楊，1997)亦有附帶於水質計畫中一併進行，但只有相對數量資料。

在食細碎屑生物方面(表 7)，水棲昆蟲的研究相對而言較多，共計有 7 項獨立研究計畫。楊 (1986; 1987) 主要從事水棲昆蟲群聚結構之種類組成，及其與環境因子間的多變值相關分析研究，但其定量資料少，僅有每採樣單位之個體數，而非每單位面積之生物量，或是相對數量。楊與謝(2000)曾將水棲昆蟲依食性類別分成 5 大類，以及各食性類群之相對百分比資料。陳等(1996)以及陳與楊(1997)曾紀錄一種食細碎屑生物之扁形動物(渦蟲)之相對數量。

至於食粗碎屑生物則以水棲昆蟲為主(表 7)，其定量資料與食細碎屑生物一樣，只有目、科或種之相對數量與隻數。不論是動物性浮游生物、水棲昆蟲或渦蟲的資料，除了定量是一

表 6. 雪霸國家公園武陵地區 1986 至 2001 年間食植物生物相關文獻資料。

類別	物種分類	定量資料			攝食量	食性組成	掠食者種類	生產量	作者	年代
		%	種個體數	總個體數						
浮游動物	3 門、54 種	%	個體數 (分年、站)	個體數	-	-	-	-	雷淇祥等	1987
浮游動物	3 門、57 種	%	個體數 (分年、站)	個體數	-	-	-	-	雷淇祥等	1988
軟體動物	-	-	-	(相對數量*, **, ***)	-	-	-	-	陳弘成等	1996
軟體動物	2 種	-	-	(相對數量*, **, ***)	-	-	-	-	陳弘成、楊喜男	1997

表 7. 雪霸國家公園武陵地區 1986 至 2001 年間食細碎屑生物與食粗碎屑生物相關文獻資料。

類別	物種分類	定量資料			攝食量	食性組成	掠食者種類	生產量	作者	年代
		%	種個體數	總個體數						
扁形動物	-	-	-	(相對數量*, **, ***)	-	-	-	-	陳弘成等	1996
扁形動物	1 種 (渦蟲)	-	-	(相對數量*, **, ***)	-	-	-	-	陳弘成、楊喜男	1997
水棲昆蟲	目、科、種	-	-	-	-	-	-	-	楊平世等	1986
水棲昆蟲	6 科 16 種	-	隻數(分月、站)	隻數	-	-	-	-	楊平世等	1987
水棲昆蟲	科、優勢種	科之%	-	-	-	-	-	-	林曜松等	1988
水棲昆蟲	目、種	-	-	(相對數量*, **, ***)	-	-	-	-	陳弘成等	1996
水棲昆蟲	6 目、35 種	-	-	(相對數量*, **, ***)	-	-	-	-	陳弘成、楊喜男	1997
水棲昆蟲	目、種	%	-	個體數	-	predator, shredders, scrapers, collector-filterers, collector-gatherers	-	-	Shieh and Yang	2000
水棲昆蟲	6 目、40 種	%	-	隻數(圖)	-	predator, shredders, scrapers, collector-filterers, collector-gatherers	-	-	楊平世、謝森和	2000

大問題，很難評估單位面積的量外，它們都缺乏生產量、攝食量與食性組成的資料，也就是在生態功能上之定量資料，這也是發展生態系能量模式最迫切需要的重要參數資料。

## 5. 掠食生物

掠食生物或高級消費生物在七家灣流域中包括魚類、兩生爬蟲類與肉食性大型水棲昆蟲。魚類至少有櫻花鉤吻鮭、川蝦虎、台灣產頰魚(固魚)、台灣纓口鰻等共存於七家灣流域中，但是在過去的研究中集中在櫻花鉤吻鮭，其他魚類顯然稍被忽略(表 8)。在雪霸國家公園成立(民國八十二年)前，以及行政院農委會在執行櫻花鉤吻鮭保育計畫時，就已經累積相當豐富的研究報告。李(2000)統計從 1917 年至 1995 年櫻花鉤吻鮭的研究報告共計有 120 篇，內容大致為櫻花鉤吻鮭的基本生物學資料，包括分類、分布、形態、生殖、遺傳變異、食物、棲地需求與族群數量變化等(汪, 1994)。在雪霸國家公園成立後，曾(1995; 1996; 1997; 1998; 1999; 2000; 2001; 2002)持續從事族群數量與分布生態監測，因此是七家灣流域所有生物中資料最為詳盡的，在發展生態系能量模式時應是最沒有問題的生物類群。其他魚類有零星的研究(呂與汪, 1987; Wang, 1989; 楊等 1986; 張, 1989; 戴, 1992)，包括個體相對數量、數量百分比、體常語體種之關係、食性組成等資料，但是其他生物學參數等則完全缺乏。

雖然肉食性大型水棲昆蟲在楊(1986; 1987)的研究中亦有群聚結構之種類組成與個體隻數，及其與環境因子間的多變值相關分析研究(表 9)，但與其他水棲昆蟲所面臨的問題是一樣的，它們都缺乏生產量、攝食量與食性組成資料，也就是在生態功能上之定量資料，這也是發展生態系能量模式最迫切需要的重要參數資料。

## 6. 分解生物

分解生物，包括真菌與細菌等，扮演著分解碎屑與提供水棲昆蟲等食碎屑生物之食物來源的雙重角色，但是在七家灣流域中在水質監測研究中(陳, 1994; 1995; 1998; 1999; 2000; 2002; 陳等, 1996; 陳與楊, 1997)有紀錄細菌細胞數目外，幾乎無相關資料(表 10)。未來應規劃分解生物之相關研究計畫，特別是在生態功能的量測，例如生物量、分解有機碎屑速率、攝食溶解態有機物速率以及其生產量等。

表 8. 雪霸國家公園武陵地區 1986 至 2001 年間魚類相關文獻資料。

類別	定量資料			攝食量	食性組成	掠食者種類	生產量	作者	年代
	%	種個體數	總個體數						
川 虎 ( <i>Rhinogobius brunneus</i> ) (成魚、幼 魚)	-	-	-:0, +:1~99, ++:100~999, +++:1000~9999, ++++:10000	-	-	-	-	呂光洋、 汪靜明	1987
川 虎 ( <i>Rhinogobius brunneus</i> ) (成魚、幼 魚)	-	-	-:0, +:1~99, ++:100~999, +++:1000~9999, ++++:10000	-	-	-	-	呂光洋、 汪靜明	1987
台灣鏟頰魚 ( <i>Varicorhinus barbatulus</i> ) (成魚、幼 魚)	%	-	-	-	algae, insects, detritus, sand	-	-	Wang	1989
臺灣鏟頰魚	-	-	-	-	-	-	-	楊平世 等	1986
台灣鏟頰魚	-	尾數	尾數	-	-	-	-	戴永禎	1992
台灣鏟頰魚(成魚、幼 魚)	-	-	-:0, +:1~99, ++:100~999, +++:1000~9999, ++++:10000	-	-	-	-	呂光洋、 汪靜明	1987
台灣纓口鰈 ( <i>Crossostoma lacustre</i> ) (成魚、幼魚)	-	-	-:0, +:1~99, ++:100~999, +++:1000~9999, ++++:10000	-	-	-	-	呂光洋、 汪靜明	1987
台灣纓口鰈 (成魚)	%	-	-	-	algae, insects, detritus, sand	-	-	Wang	1989
臺灣纓口鰈	-	-	-	-	-	-	-	楊平世 等	1986
臺灣纓口鰈	-	尾數 (分月、 站)	尾數 (不同體全長 與體重之關係)	-	-	-	-	張明雄	1989
櫻花鉤吻鮭 ( <i>Oncorhynchus masou formosanus</i> )	%	單位?	-	%	水棲昆蟲、陸 棲昆蟲、沙 粒、植物碎片	-	-	楊平世、 林曜松	1986
櫻花鉤吻鮭	-	-	-	-	食蟲性魚類	-	-	楊平世 等	1986
櫻花鉤吻鮭 (成魚、幼 魚)	-	-	(不同體長與體重 之關係)	餌料及 攝食率%	-	-	孵化數 量、孵化 %、生存 率%	余廷基 等	1987
櫻花鉤吻鮭 (成魚、幼 魚)	-	-	-:0, +:1~99, ++:100~999, +++:1000~9999, ++++:10000	-	-	-	-	呂光洋、 汪靜明	1987
櫻花鉤吻鮭 (成魚、幼 魚)	-	-	尾數	-	-	-	-	林曜松 等	1988



表 8. 魚類。(續)

類別	定量資料			攝食量	食性組成	掠食者種類	生產量	作者	年代
	%	種個體數	總個體數						
櫻花鉤吻鮭 (成魚、幼魚)	-	體長、尾數	尾數 (不同遮蔽物下之魚尾數)	-	-	天敵種類、空間競爭	-	林曜松等	1988
櫻花鉤吻鮭 (成魚、幼魚)	-	-	尾數	-	-	-	-	Yao-sung Lin, etc.	1990
櫻花鉤吻鮭 (成魚、幼魚)	-	尾數(分年、站)	尾數	-	-	-	-	林曜松、張崑雄	1990
櫻花鉤吻鮭 (成魚、幼魚)	-	尾數	尾數	-	-	-	成長曲線、瞬間總死亡率	戴永禔	1992
櫻花鉤吻鮭 (成魚、幼魚)	-	-	尾數	-	-	-	-	曾晴賢	1994
櫻花鉤吻鮭 (成魚、幼魚)	-	-	尾數	-	-	-	-	曾晴賢	1995
櫻花鉤吻鮭 (成魚、幼魚)	-	-	尾數	-	-	-	-	雪霸國家公園管理處	1996
櫻花鉤吻鮭 (成魚、幼魚)	-	尾數(分年、站)	尾數 (賀伯颱風影響族群數量)	-	-	-	孵化%	曾晴賢	1997
櫻花鉤吻鮭 (成魚、幼魚)	-	-	尾數	-	-	-	-	楊正雄	1997
櫻花鉤吻鮭 (成魚、幼魚)	-	-	尾數(圖)	-	-	-	-	曾晴賢	2000
櫻花鉤吻鮭 (成魚、幼魚)	-	96'W~00'W	尾數 (歷年數量與重大天災關係)	-	-	-	-	曾晴賢	2000
櫻花鉤吻鮭 (成魚、幼魚)	-	尾數 (分年、站)	尾數	-	-	-	-	曾晴賢、楊正雄	2000
櫻花鉤吻鮭 (成魚、幼魚)	-	尾數 (分年、站)	尾數	-	-	-	-	曾晴賢等	2000
櫻花鉤吻鮭 (成魚、幼魚)	-	98'S~01'W	尾數	-	-	-	-	曾晴賢	2001
魚類		%	稀有種數量及名錄	數量				賴明洲	1999

表 9. 雪霸國家公園武陵地區 1986 至 2001 年間其它掠食生物相關文獻資料。

類別	物種分類	定量資料			攝食量	食性組成	掠食者種類	生產量	作者	年代
		%	種個體數	總個體數						
水棲昆蟲	目、科、種	-	-	-	-	-	-	-	楊平世等	1986
水棲昆蟲	6 科 16 種	-	隻數(分月、站)	隻數	-	-	-	-	楊平世等	1987
水棲昆蟲	科、優勢種科之%	-	-	-	-	-	-	-	林曜松等	1988
水棲昆蟲	目、種	-	-	(相對數量*, **, ***)	-	-	-	-	陳弘成等	1996
水棲昆蟲	6 目、35 種	-	-	(相對數量*, **, ***)	-	-	-	-	陳弘成、楊喜男	1997
水棲昆蟲	目、種	%	-	個體數	-	predator, shredders, scrapers, collector-filterers, collector-gatherers	-	-	Shieh and Yang	2000
水棲昆蟲	6 目、40 種	%	-	隻數(圖)	-	predator, shredders, scrapers, collector-filterers, collector-gatherers	-	-	楊平世、謝森和	2000

表 10. 雪霸國家公園武陵地區 1986 至 2001 年間分解生物相關文獻資料。

類別	物種分類	定量資料			攝食量	食性組成	掠食者種類	生產量	作者	年代
		%	種個體數	總個體數						
細菌數	大腸桿菌數、總菌數	-	-	CFU/ml	-	-	-	-	陳弘成	1994
細菌數	大腸桿菌數、總菌數	-	-	CFU/100ml	-	-	-	-	陳弘成等	1996
細菌數	大腸桿菌數、總菌數	-	-	CFU/100ml	-	-	-	-	陳弘成、楊喜男	1997

## 7. 水域外掠食生物

水域外消費者大多為大型掠食生物，過去相關文獻資料不少，包括大型哺乳動物、兩生爬蟲類與鳥類等共有 13 項研究計畫完成(表 11)。對於發展與建構生態系能量模式而言，水域外消費者所扮演的角色是把水生生物，如櫻花鉤吻鮭或水棲昆蟲等從溪流中帶離開生態系統，也就是水生生物因被其它水域外消費者（包括人類）攝食的輸出量。雖然在七家灣溪流域過去的研究中有從事沿岸動物資源（袁，1995）、大型哺乳動物（李，2000）以及鴛鴦（孫，2000; 2001; 2002）等研究計畫，但這些研究大都著重在種類名錄、分布與生殖行為的調查，只有一半的計畫有進行定量方面的研究，如袁(1995)、曾(1998)、孫(2000、2001)，但亦只有隻數資料，若要適用於生態系模式之建構，則還需考量這些生物出現的面積與地方是否在七家灣溪水域，或僅是將水中生物吃掉帶走而已。因此仍缺少建構生態系能量模式所需之生態功能的研究，如單位生物量之攝食量、生產量與食性組成等生物學定量資料的測量，是未來努力方向。

表 11. 雪霸國家公園武陵地區 1986 至 2001 年間水域外掠食生物相關文獻資料。

類別	物種分類	定量資料			攝食量	食性組成	掠食者種類	生產量	作者	年代
		%	種個體數	總個體數						
鴛鴦		-	-	隻數	-	-	-	-	孫元勳	2000
鴛鴦 (雌、雄)		-	-	隻數、體重	-	-	食肉目、猛禽	-	孫元勳	2000
鴛鴦 (雌、雄)		-	-	隻數、體重	-	-	食肉目、猛禽	-	孫元勳	2001
河烏		-	-	隻數	-	-	-	-	曾晴賢	1998
綠蓑鷺		-	-	隻數	-	-	-	-	曾晴賢	1998
鳥類	91 種(無明細)		隻數	隻數	-	-	-	-	袁孝維	1995
鳥類	500 種以上	%	稀有種數量及名錄	數量					賴明洲	1999
鳥類	91 種(無明細)	-	-	-	-	-	-	-	袁孝維、李瑞宗	2000
哺乳類	8 目 20 科 86 種	%	稀有種數量及名錄	數量					賴明洲	1999
大型哺乳動物	長鬃山 羊、黑熊、 山豬、水鹿	-	-	-	-	-	-	-	李玲玲	2000
蛇類	12 種(無明細)	-	-	-	-	-	-	-	袁孝維	1995
蜥蜴	4 種(無明細)	-	-	-	-	-	-	-	袁孝維	1995
兩棲類	5 種 (無明細)	-	-	-	-	-	-	-	袁孝維	1995
兩棲類	2 目 9 屬 30 種	%	稀有種數量及名錄	數量					賴明洲	1999
兩棲類	5 種(無明細)	-	-	-	-	-	-	-	袁孝維、李瑞宗	2000
爬蟲類	45 種	%	稀有種數量及名錄	數量					賴明洲	1999
爬蟲類	16 種(無明細)	-	-	-	-	-	-	-	袁孝維、李瑞宗	2000

#### 四、結論及建議事項

1. 生態系研究與管理在現今全球變遷的環境下對從事生態保育工作是迫切需要的，因為全球變遷的影響是全面相互影響的，而非只會影響單一生物個體之數量變動，如櫻花鉤吻鮭等。
2. 生態系最佳研究方法是嘗試架構生態系模式。從過去定性之文獻資料所架構之武陵地區溪流生態系概念模式，顯示出溪流中主要生物類群、其能量與食物可能來源，以及物質在食物網中傳輸路徑等生態結構與功能。
3. 武陵地區七家灣溪在雪霸國家公園成立前由農委會所主導之研究主要著重在櫻花鉤吻鮭。國家公園成立後才開始擴大到溪流其他相關生物之自然資源研究調查工作，因此與櫻花鉤吻鮭有關之研究計畫至今亦已完成超過 120 項之多，但資料一直缺乏整合。
4. 過去水質監測與河床棲地改善之研究計畫最多，所獲資料已為武陵地區七家灣溪流流域之水文與化學環境因子提供詳實的基礎背景資料。從水質資料與週遭土地利用情形可以推測營養鹽輸入是武陵地區需優先作生態監測的水質環境項目。因此當務之急應先了解溪流藻類是否會有營養鹽限制情形，以及受限於何種營養鹽，才能對週遭特定營養鹽的輸入採取管制措施。
5. 有機碎屑量為水生生物重要食物來源，因此水中顆粒態與溶解態有機物含量，以及其藉由枯枝落葉等輸出入流量，以及是否有季節性變化為未來水質研究增加重點項目。
6. 藻類生物量與基礎生產量為一個生態系主要之能量與食物來源，是發展生態系模式最重要之參數資料，以及溪流優養化的重要指標生物。但是過去在七家灣溪流流域未有任何量測，因此未來應著重在基礎生產量之測量，及其與營養鹽間定性與定量之間的關係。
7. 從建構七家灣溪溪流生態系能量模式的角度來看，櫻花鉤吻鮭是溪流中所有生物資料最為詳盡的，但是其它生物資料卻仍有缺乏，尤其是生態功能性資料，如生產量、攝食量與食性組成等，是未來從事武陵地區生物與生態相關研究時所亟待彌補之空缺。
8. 整體而言，若能以目前現有文獻資料，再補足所缺之藻類基礎生產量、有機碎屑量、沿岸落葉量、水棲昆蟲生物量及其食性組成，並配合國外文獻資料之主要生物生產量與攝食量，應該能架構一個符合實際現況之武陵地區溪流生態系食物網雛形模式。往後再隨著其他生物資料的取得，或資料準確度的提高，逐步提昇該模式的準確程度。
9. 未來建構生態系食物網時建議使用由「國際水產生物資源管理中心」(ICLARM) 與加拿大英屬哥倫比亞大學 (UBC) 所合作發展之 ECOPATH with ECOSIM 軟體系統為工具，

- 從建構 ECOPATH 質量平衡之生態系食物網模式開始，利用網絡分析(Network analysis) 分析該食物網的結構與功能，以及這些生物的食物來源，相互衝擊程度與其交互作用。
10. 往後待生物時間與空間變化之資料更為齊全後，再將季節性變化資料併入模式中，架構具時間動態變化之 ECOSIM 生態系模式，以及將棲地間差異亦考慮進入模式中，架構具空間動態變化之 ECOSPACE 生態系模式，使該模式具有實際預測環境變遷與人為干擾之能力，已提供作用武陵地區溪流生態系管理之決策參考。

## 五、謝辭

本研究計畫承雪霸國家公園管理處的支持，有幸參與台灣高山溪流生態系的保育研究工作，特此致謝。

## 六、參考文獻

- 汪靜明。1994。子遺的國寶 - 臺灣櫻花鉤吻鮭專集。內政部營建署雪霸國家公園管理處。臺中縣。185 頁。
- 呂光洋、汪靜明。1987。武陵農場河域之原產種魚類生態之初步研究。行政院農委會 76 年生態研究第 010 號。86 頁。
- 呂金誠。1999。武陵地區雪山主峰線植群調查與植栽應用之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。90 頁。
- 李培芬。2000。雪霸國家公園保育監測系統之規劃研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。苗栗縣。89 頁。
- 李玲玲。2000。武陵、雪見大型哺乳動物族群與習性之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。苗栗縣。89 頁。
- 余廷基、賴仲義、黃長俊、楊明道。1987。櫻花鉤吻鮭繁養殖試驗。行政院農委會 76 年生態研究第 006 號。41 頁。
- 林幸助。2001。水域優養化及生態監測。生物科學。44(1): 34-42。
- 林幸助、楊小慧。2001。水域生態系模式的建構。中華藻類學會簡訊。5(2):1-6。
- 林曜松、張崑雄。1990。臺灣七家灣溪櫻花鉤吻鮭族群生態與保育。行政院農委會 79 年生態研究第 001 號。40 頁。
- 林曜松、楊平世、梁世雄、曹先紹、莊鈴川。1988。櫻花鉤吻鮭生態之研究（一）魚群分布與環境因子關係之初步研究。行政院農委會 77 年生態研究第 023 號。50 頁。
- 林曜松、曹先紹、張崑雄、楊平世。1988。櫻花鉤吻鮭生態之研究（二）族群分布與環境因子間關係之研究。行政院農委會 77 年生態研究第 012 號。93 頁。
- 孫元勳。2002。七家灣溪鴛鴦生態族群調查（四）。內政部營建署雪霸國家公園管理處。九十一年度研究計畫。
- 孫元勳。2001。七家灣溪鴛鴦生態族群調查（III）。內政部營建署雪霸國家公園管理處。九十年度研究報告。29 頁。

- 孫元勳。2000。七家灣溪鴛鴦生態族群調查(II)。內政部營建署雪霸國家公園管理處。八十九年度研究報告。28 頁。
- 袁孝維。1995。武陵地區登山步道沿線野生動物景觀資源調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處。62 頁。
- 袁孝維、李瑞宗。2000。武陵、觀霧地區步道沿線野生動物資源調查, 10-13 頁。櫻花鉤吻鮭保育研究研討會論文集。特有生物研究保育中心、雪霸國家公園管理處。312 頁。
- 郭城孟。1995。七家灣溪潛在植被之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。45 頁。
- 陳弘成。2002。高山溪拆壩後環境監測及武陵地區水質調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處。九十一年度研究計畫。
- 陳弘成。2000。武陵地區溪流水源水質監測系統之規劃與調查(六)。內政部營建署雪霸國家公園管理處。八十九年度研究報告。106 頁。
- 陳弘成。1999。武陵地區溪流水源水質監測系統之規劃與調查(五)。內政部營建署雪霸國家公園管理處。八十八年度研究報告。78 頁。
- 陳弘成。1998。武陵地區-溪流之水源水質監測系統之規劃與調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處。八十七年度研究報告。85 頁。
- 陳弘成、楊喜男。1997。武陵地區-溪流之水源水質監測系統之規劃與調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處。八十六年度研究報告。88 頁。
- 陳弘成、林培旺、楊喜男。1996。溪流之水質調查與生物監測之研究 - 武陵附近地區。內政部營建署雪霸國家公園管理處。107 頁。
- 陳弘成。1995。武陵地區-溪流水源水質監測系統之規劃與調查。內政部營建署雪霸國家公園管理處。104 頁。
- 陳弘成。1994。溪流水源水質監測系統之規劃與調查 - 武陵地區。內政部營建署雪霸國家公園管理處。73 頁。
- 張明雄。1989。有勝溪臺灣纓口秋 (*Crossostoma lacustre*) 之生態學研究。臺灣師範大學生物研究所碩士論文。73 頁。
- 雪霸國家公園管理處。2000。與國家公園有約保育研究成果展 - 摘要簡冊。內政部營建署雪霸國家公園管理處。89 頁。



- 雪霸國家公園管理處。1994。櫻花鉤吻鮭保育計畫。雪霸國家公園管理處。49 頁。
- 曾晴賢。2002。櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（五）。內政部營建署雪霸國家公園管理處。九十一年度計畫。
- 曾晴賢。2001。櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（四）。內政部營建署雪霸國家公園管理處。九十年年度研究報告。34 頁。
- 曾晴賢。2000。櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查（三）。內政部營建署雪霸國家公園管理處。八十九年度研究報告。58 頁。
- 曾晴賢。1999。櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查(二)。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 曾晴賢。1998。櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查(一)。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 曾晴賢。1997。櫻花鉤吻鮭族群生態調查和育種場位址評估。內政部營建署雪霸國家公園管理處。71 頁。
- 曾晴賢。1996。櫻花鉤吻鮭族群生態之調查研究。中華民國自然與生態攝影學會。內政部營建署雪霸國家公園管理處。39 頁。
- 曾晴賢。1995。櫻花鉤吻鮭復育研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。21 頁。
- 曾晴賢。1994。櫻花鉤吻鮭族群調查及觀魚台附近河床之改善研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。24 頁。
- 曾晴賢、楊正雄。2002。台灣櫻花鉤吻鮭的生態與保育，1-23 頁。櫻花鉤吻鮭保育研究研討會論文集。特有生物研究保育中心、雪霸國家公園管理處。312 頁。
- 曾晴賢、游智閔、楊正雄。2000。七家灣溪櫻花鉤吻鮭族群數量變動的研究。國家公園學報。10(2):190-210.
- 曾晴賢、游智閔、楊正雄。2000。櫻花鉤吻鮭之族群監測與生態研究，115-133 頁。櫻花鉤吻鮭保育研究研討會論文集。特有生物研究保育中心、雪霸國家公園管理處。312 頁。
- 楊平世、林曜松。櫻花鉤吻鮭 (*Oncorhynchus formosanus*, Jordan & Oshima) 之食性，14-20 頁。自然文化景觀保育論文集（二）鮭鱒魚保育專輯。行政院農委會林業特刊第九號。98 頁。
- 楊平世、林曜松、黃國靖、梁世雄、謝森和、曾晴賢。1986。武陵農場河域之水棲昆蟲相及生態調查。行政院農委會。48 頁。

- 楊平世、謝森和。2000。以水棲昆蟲之群聚結構及功能組成監測七家灣溪環境品質，151-177 頁。櫻花鉤吻鮭保育研究研討會論文集。特有生物研究保育中心、雪霸國家公園管理處。312 頁。
- 楊平世、謝森和、黃國靖、林曜松。1987。武陵農場河域蜉蝣目稚蟲之生態研究，57-78 頁。野生動物保育研討會專集--國家公園和自然保留區之野生動物，287 頁。行政院農委會。
- 楊正雄。1997。水溫對櫻花鉤吻鮭族群的影響。清華大學生命科學所碩士論文。76 頁。
- 葉昭憲。2002。七家灣溪河床棲地改善之試驗研究（六）。內政部營建署雪霸國家公園管理處。九十一年度計畫。
- 葉昭憲。2001。七家灣溪河床棲地改善之試驗研究（四）。內政部營建署雪霸國家公園管理處。九十年度研究報告。72 頁。
- 葉昭憲。2000。七家灣溪河床棲地改善之試驗研究（三）。內政部營建署雪霸國家公園管理處。八十九年度研究報告。54 頁。
- 葉昭憲。1999。七家灣溪河床棲地改善之試驗研究(二)。內政部營建署雪霸國家公園管理處。八十八年度研究報告。50 頁。
- 葉昭憲。1998。七家灣溪河床棲地改善之試驗研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 雷淇祥、陳建初、陳昭寬、劉秉忠。1988。大甲溪上游浮游生物相及水質之調查（二）。行政院農業委員會。77 年生態研究第 006 號。79 頁。
- 雷淇祥、陳建初、陳昭寬、劉秉忠。1987。大甲溪上游浮游生物相及水質之調查。行政院農業委員會。76 年生態研究第 008 號。87 頁。
- 廖林彥。2001。高山溪防砂壩改善前後棲地變化之調查研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 歐辰雄。2000。武陵、觀霧、雪見地區植群調查研究，38-41 頁。櫻花鉤吻鮭保育研究研討會論文集。特有生物研究保育中心、雪霸國家公園管理處。312 頁。
- 賴明洲。1999。雪霸國家公園登山步道及聯外道路交通系統之規劃研究--以生態旅遊觀點探討之--。內政部營建署雪霸國家公園管理處。166 頁。
- 戴永禎。1992。臺灣櫻花鉤吻鮭之族群生態學研究。台灣大學動物學研究所博士論文。121 頁。

- Christensen, V. and D. Pauly. 1992. ECOPATH II – a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. *Ecological Modelling* 61:169-185.
- Christensen, V, CJ Walters, D Pauly 2002. Ecopath with Ecosim Version 5, Help system. Univ. of British Columbia, Fisheries Centre, Vancouver, Canada.
- Lin, H.-J., J.-J. Hung, K.-T. Shao and Fancy Kou. 2001. Trophic functioning and nutrient flux in a highly productive tropical lagoon. *Oecologia*, 129(3): 395-406.
- Lin, H. J., K. T. Shao, S. R. Kuo, H. L. Hsieh, S. L. Wong, I. M. Chen, W. T. Lo and J. J. Hung. 1999. A trophic model of a sandy barrier lagoon at Chiku in southwestern Taiwan. *Estuarine Coastal Shelf Science* 48:575-588.
- Lin, H.-J. and K.-T. Shao. A trophic model for the Tanshui River estuary in subtropical Taiwan. Submitted to *Bulletin of Marine Science* for publication.
- Lin, Y. S., S. S. Tsao, and K. H. Chang. 1990. Population and distribution of the formosan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*) in Chichiawan stream. *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica*. Supplement 29(3): 73-85.
- Shieh, S. H. and P. S. Yang. 2000. Community structure and functional organization of aquatic insects in an agricultural mountain stream of Taiwan: 1985-1986 and 1995-1996. *Zoological Studies*. 39(3):191-202.
- Walther, G.-R., E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, T. J. C. Beebee, J.-M. Fromentin, O. Hoegh-Guldberg and F. Bairlein. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*.
- Wang, C. M. J. Environmental quality and fish community ecology in an agricultural mountain stream system of Taiwan. P.h. D. Department of Animal Ecology, Iowa State University. p. 138.
- Winterbourn, M. J. and C. R. Townsend. 1991. Streams and rivers: one-way flow systems. In: Barnes, R. S. K. and K. H. Mann. (2<sup>nd</sup> ed.) *Fundamentals of aquatic ecology*, pp.230-242. Blackwell Science. Oxford. 416:389-395.