

武陵地區環境生態模式可行性研究

內政部營建署雪霸國家公園管理處

委託研究報告

093-301020500G-013

武陵地區環境生態模式可行性研究

受委託者：國立中興大學生命科學系

研究主持人：林幸助

研究人員：廖美齡、鐘豐昌

內政部營建署雪霸國家公園管理處

委託研究報告

中華民國九十三年十二月

目次

表次	IV
圖次	V
摘要	IX
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 趨近方法	3
第二章 研究設計	6
第一節 研究地區	6
第二節 研究尺度	7
第三節 類神經網路	13
第四節 資料採礦技術	20
第五節 生態系模式參數整理	21
第六節 溪流顆粒態有機碎屑	25
第三章 各尺度生態概念模式	28

第一節 應用類神經網路建立櫻花鉤吻鮭的棲地 選擇模式	28
第二節 利用資料採礦技術擬發展的櫻花鉤吻鮭 棲地選擇模型	30
第三節 小尺度溪流食物網模式	31
第四節 溪流粗顆粒有機碎屑收支模式	33
第四章 討論	54
第五章 建議亟需研究之項目	55
第六章 參考文獻	56
附錄一 期末報告審查意見改善表	59
附錄二 期中、期末報告會議記錄	60

表次

表 1 類神經網路在各領域的應用 ·····	16
表 2 生態系模式基本參數表 ·····	22
表 3 各生物類群食性組成表 ·····	22
表 4 生態系模式各生物類群基本參數參考文獻 ·····	23
表 5 各測站間垂直枯落物輸入量 ANOVA 變方分析表 ···	33
表 6 各測站間側向枯落物輸入量 ANOVA 變方分析表 ···	35
表 7 1/30-1/31 日取樣間隔 4 小時各測站河內縱向傳輸量 ANOVA 變方分析表 ·····	37
表 8 比較 1/30、3/20、7/30 連續收集 24 小時各測站間河 內縱向傳輸量 ANOVA 變方分析表 ·····	38

圖次

圖 1 本計劃之研究範圍為雪霸國家公園東邊之武陵地區 ·····	2
圖 2 七家灣溪生態系中主要組成生物群、能量來源與物質 傳輸路徑 ·····	4
圖 3 溪流生態系食物網示意圖 ·····	5
圖 4 各測站相關位置圖 ·····	6
圖 5 溪岸水陸交界地帶物質與能量傳輸模式示意圖 ·····	10
圖 6 武陵地區之集水區溪谷生態系模型示意圖 ·····	12
圖 7 非線性環境因子示意圖 ·····	13
圖 8 櫻花鉤吻鮭棲地選擇隨時間變動示意圖 ·····	14
圖 9 人工智慧 (Artificial Intelligence) 的發展歷史 ·····	15
圖 10 類神經網路模擬單一類神經元構造的訊息轉換示意 圖 ·····	17
圖 11 類神經網路的兩種模式 ·····	18
圖 12 非監督式類神經網路 ·····	19

圖 13 監督式類神經網路架構	19
圖 14 資料採礦技術是結合許多各種學問方法的技術	20
圖 15 溪流生態系統枯落物有機質的輸入、輸出方式示意圖	25
圖 16 各測站粗顆粒有機物質輸入取樣方式示意圖	27
圖 17 應用類神經網路分析環境因子與櫻花鉤吻鮭棲地選擇的關係	28
圖 18 類神經網路和傳統的回歸方法的差別	29
圖 19 應用資料採礦技術架構出櫻花鉤吻鮭棲地選擇模型	30
圖 20 七家灣溪一號壩河段生態系食物網絡圖	32
圖 21 各河段垂直掉落枯落物的日平均輸入量及組成	34
圖 22 各河段側向輸入枯落物的日平均輸入量及組成分析	36
圖 23 各河段 1/30-1/31 每 4 小時河內縱向傳輸枯落物的平均輸入、輸出量	39

圖 24 高山溪 1/30-1/31 每 4 小時河內縱向輸入枯落物的組成分析	40
圖 25 高山溪 1/30-1/31 每 4 小時河內縱向輸出枯落物的組成分析	40
圖 26 桃山西溪 1/30-1/31 每 4 小時河內縱向輸入枯落物的組成分析	41
圖 27 桃山西溪 1/30-1/31 每 4 小時河內縱向輸出枯落物的組成分析	41
圖 28 七家灣溪一號壩 1/30-1/31 每 4 小時河內縱向輸入枯落物的組成分析	42
圖 29 七家灣溪一號壩 1/30-1/31 每 4 小時河內縱向輸出枯落物的組成分析	42
圖 30 新繁殖場 1/30-1/31 每 4 小時河內縱向輸入枯落物的組成分析	43
圖 31 新繁殖場 1/30-1/31 每 4 小時河內縱向輸出枯落物的組成分析	43
圖 32 有勝溪 1/30-1/31 每 4 小時河內縱向輸入枯落物的組成分析	43

組成分析·····	44
圖 33 有勝溪 1/30-1/31 每 4 小時河內縱向輸出枯落物的 組成分析·····	44
圖 34 各採樣季節各河段河內 24 小時縱向傳輸枯落物的平 均輸入、輸出量·····	45-46
圖 35 各採樣季節各測站河段河內每天縱向傳輸枯落物的 組成分析·····	47-50
圖 36 冬季各測站河段粗顆粒有機碎屑總收支示意圖·····	52
圖 37 春季各測站河段粗顆粒有機碎屑總收支示意圖·····	53

摘 要

關鍵詞：櫻花鉤吻鮭、七家灣溪、食物網、生態系管理、有機碎屑

一、研究緣起

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，重點之一便是分布只侷限於大甲溪上游武陵地區七家灣溪流域，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，也就是生態系管理，其基礎建立在園區內各項生物資源的瞭解與掌握。然而大量遊客與農業開墾所產生的干擾常因生態系內錯綜複雜的關係與作用而使得後果變得無法預測，而生態模式已成為一個最好的工具來深入了解生物間關係，了解該生態系之食物來源、結構與功能，並能預測生態系受干擾的後果。

二、研究方法及過程

本計畫建議從四個尺度來建構武陵地區環境生態模式。首先可以應用類神經網路及資料採礦技術建立櫻花鉤吻鮭的棲地選擇模式。因環境因子與櫻花鉤吻鮭之間多是非線性關係，而且環境因子也常是彼此相關，再加上櫻花鉤吻鮭在不同生活期對棲地有不同偏好的動態選擇，因此透過近年來已廣泛的應用在各個領域之類神經網路與人工智慧之資料採礦技術可以整合過去數十年櫻花鉤吻鮭族群數量及棲地環境的相關資料，架構出棲地選擇的模型，來闡明和預測環境因子與櫻花鉤吻鮭棲地選擇的關係。第二階段建議架構小尺度之溪流水域食物網模型，了解水域生態系中的生物組成、結構和各種生物的食性關係與交互作用、模擬生物於時間與空間之動態變化，及其受水域環境改變之影響。初步以 ECOPATH with ECOSIM 所架構之七家灣溪觀魚臺附近一號壩河段之食物網模式，清楚呈現此河營養階層之構造以及各生物類群間能量傳輸情形，並清楚指出各種生物在溪流食物網中所扮演的角色和不同生物類群間的交互關係。

第三階段需探討中尺度之溪流水域與溪岸植被之水陸域生態系之交互作用，了解物質與能量如何經由生物與非生物途徑在水陸域生態系間傳輸與作用。分別於五個測站：有勝溪、高山溪、七家灣溪一號壩、桃山西溪及高山溪與七家灣溪匯流處，量測粗顆粒態有機碎屑的垂直輸入量、側向輸入量以及河內縱向傳輸量及組成。結果顯示高山溪及有勝溪的粗顆粒有機碎屑垂直輸入量皆高於七家灣溪三測站，應為河岸植被物候狀況導致。而粗顆粒有機碎屑側向輸入量則無一致的空間變化趨勢。每日縱向傳輸量一月明顯高於其他月份，測站間也以高山溪最高。七家灣溪一號壩及有勝溪在一月縱向輸出量明顯高於輸入量，應為此季節

藻類組成比例高所致。各測站樣品組成，越往上游葉片組成比例越高，但七月則因颱風帶來暴雨沖刷使每站葉片組成比例皆增高。七家灣溪一號壩與匯流處藻類組成變化極大。估算各測站粗顆粒有機碎屑總收支，武陵地區各溪流系統皆以河中縱向輸入為最主要的碎屑來源，其中又以高山溪的總傳輸量最高，系統內碎屑的留存比例有由上游至下游逐漸遞減的趨勢。最後在第四階段建議建構大尺度之武陵集水區溪谷生態系模型，了解大尺度的氣候與環境因子變遷及大規模人為干擾與土地利用對溪流谷地水域與陸域中生物群聚的影響。最終目的是期望所建構之不同尺度之生態模式具有實際預測環境變遷與人為干擾，以及長期生態監測之能力，提供作為武陵地區溪流生態系管理之決策參考。

三、主要建議事項

欲建構武陵地區各河段食物網模式，所需資料大多可由現行之調查研究案中獲得，但目前仍缺乏動物性浮游生物的單位生產量、攝食量及食性組成的資料。而櫻花鉤吻鮭、台灣鏟頰魚及台灣纓口鰍的單位生產量及攝食量，也亟須實測資料。

英文摘要

One of the missions of Shei-Pa National Park is to conserve the natural resources, especially the Formosan salmon in the mountain streams of Wulin area. In order to determine the effects of agricultural and tourism activities in Wulin area, it is necessary to construct numerical models at different scales to understand the dynamics of stream ecosystems and the interactions between communities and the environment. Therefore, the purpose of this study is to plan approaches for ecosystem modeling in Wulin area at four scales. First, artificial neural network and data mining techniques are recommended for modeling the habitat selection by the Formosan salmon. These techniques will be able to show relationships of nonlinear environmental variables with the distribution patterns of the Formosan salmon at different life stages. Second, ECOPATH with ECOSIM software system is suggested to construct stream trophic models at a small scale. The ECOPATH with ECOSIM model will be able to show the major biological groups, the food sources and the pathways in the stream food web. Third, budget models for biogeochemicals is proposed to track major flows of energy and matter between riparian and aquatic ecosystems in the streams. Previous results of CPOM budget models showed that vertical input were greater in Kaoshang Stream and Yousheng Stream in winter and spring 2004, while lateral inputs have no clear pattern. Fluvial transport was also greatest in Kaoshang Stream, and the amount of January was significant greater than other months. The high CPOM flux in Kaoshang Stream can be attributable to the high canopy cover. Finally, a catchment ecosystem model in Wulin area is suggested to model the effects of land use, typhoons, earthquakes and global changes on the catchment at a large scale. The proposed models would be able to provide more appropriate and scientific strategies for ecosystem management.

Keywords : Formosan salmon, Chichiawan Creek, Artificial neural network, habitat selection model, ECOPATH with ECOSIM, Food web, Ecosystem model, CPOM

第一章、緒論

第一節 研究緣起與背景

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，認為本區距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 76850 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的台灣島嶼，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，再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。

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。國家公園成立之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劃至今亦已完成超過 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，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。

武陵地區環境生態模式可行性研究

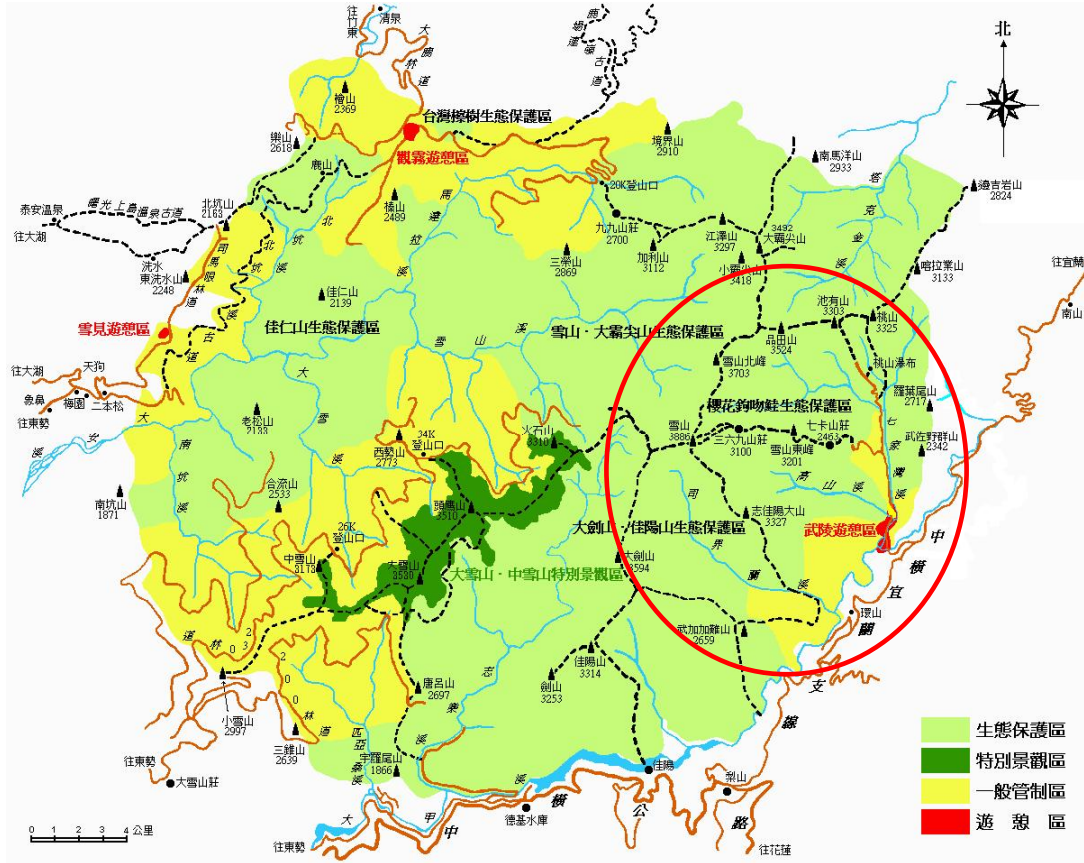


圖 1、本計劃之研究範圍為雪霸國家公園東邊之武陵地區

第二節 趨近方法

首先可以應用類神經網路及資料採礦技術建立櫻花鉤吻鮭的棲地選擇模式。因環境因子與櫻花鉤吻鮭之間多是非線性關係，而且環境因子也常是彼此相關，再加上櫻花鉤吻鮭在不同生活期對棲地有不同偏好的動態選擇，因此透過近年來已廣泛的應用在各個領域之類神經網路與人工智慧之資料採礦技術可以整合過去數十年櫻花鉤吻鮭族群數量及棲地環境的相關資料，並期待將資料(data)轉換成有用的資訊(information)，架構出棲地選擇的模型，來闡明和預測環境因子與櫻花鉤吻鮭棲地選擇的關係。

第二階段以小尺度溪流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。

第三階段需探討中尺度之溪流水域與溪岸植被之水陸域生態系之交互作用，了解物質與能量如何經由生物與非生物途徑在水陸域生態系間傳輸與作用。在評估過去之生物資訊相關研究資料時，林(2002)曾指出過去武陵地區七家灣溪之水質監測研究一直忽略了水中顆粒態有機碎屑量，在研究溪流生態系食物網的能量來源與物質傳輸路徑時，必須考慮溪流中粗顆粒有機物質的輸入，同時也是發展溪流生態系模式所需之重要參數。溪流沿岸植被為溪流中粗顆粒有機物質(coarse particulate organic matters, CPOM)等各項有機碎屑輸入的主要來源。因此第三階段估計這些沿岸植物在單位時間單位面積下有多少枯枝落葉掉落溪流中，成為估算溪流生態系統中能量來源重要的部份，已成為近年來森林與生態學界多所探討的課題(圖2)。陸域來源的有機物輸入溪流後，經微生物分解，部分養份可提供溪流內生物使用，影響其生長，故其輸入量的多寡和品質(碳、氮含量)會影響溪流生態系內動物群聚結構與代謝的動態變化。另外有機物質輸入與輸出的季節性變化，也會影響生物的物候週期與碎屑消費者的族群動態變化(圖3)。所以探討溪流輸入物質之季節性變化與養份含量高低，為了解溪流動物族群組成所不可或缺的重要因子。關於武陵地區溪流生態系的粗顆粒有機物質輸入的研究目前付之闕如，因此本計劃也將測量估算武陵地區溪流生態系的粗顆粒有機物質輸入量列入主要目標之一。

在第四階段建議建構大尺度之武陵集水區溪谷生態系模型，了解大尺度的氣候與環境因子變遷及大規模人為干擾與土地利用對溪流谷地水域與陸域中生物群聚的影響。最終目的是期望所建構之不同尺度之生態模式具有實際預測環境變遷與人為干擾，以及長期生態監測之能力，提供作為武陵地區溪流生態系管理之決策參考。

因此本計畫具體之研究內容及擬解決問題為：

1. 建議未來蒐集、整合與分析雪霸國家公園武陵地區生態資料不同尺度的方法。
2. 嘗試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食物網概念模式。
3. 實地量測及估算武陵七家灣溪流流域中粗顆粒有機物質傳輸量，並分析其時空變化。
4. 建議未來建構武陵地區生態模式目前仍缺乏之基礎生物或環境資料，或亟待研究項目。

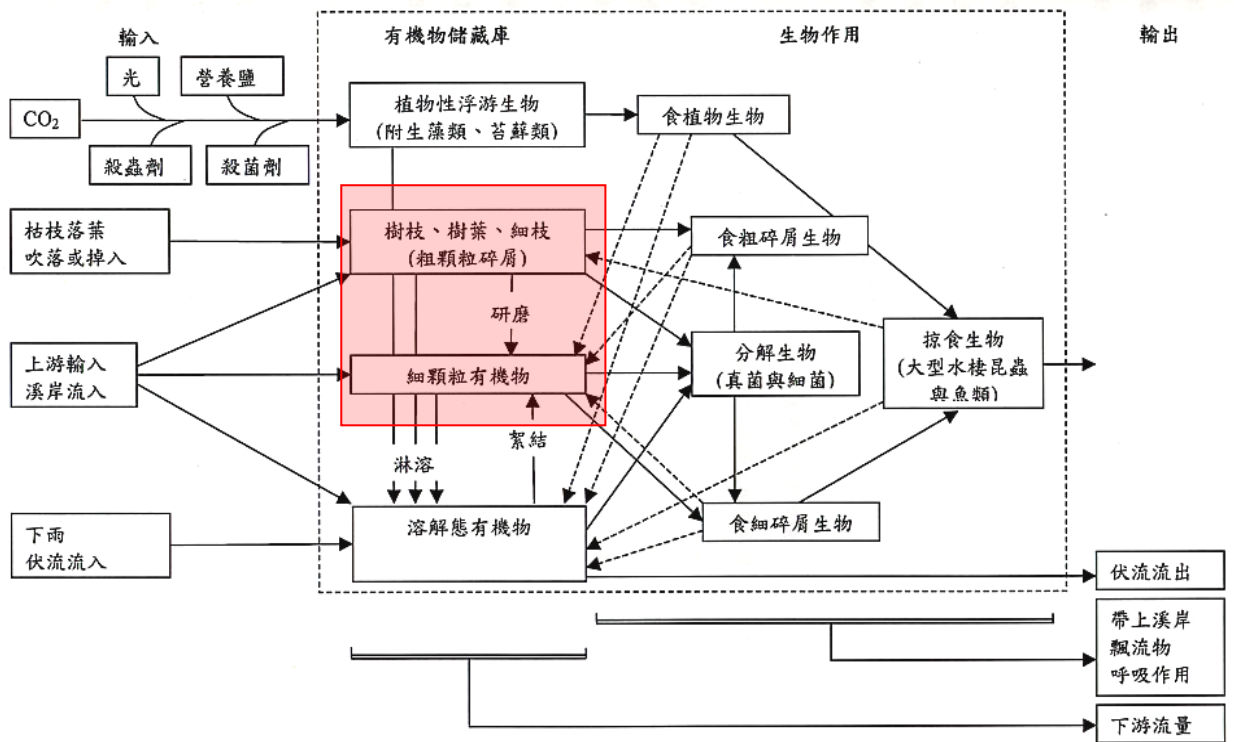


圖 2、七家灣溪生態系中主要組成生物群, 能量來源與物質傳輸路徑 (林, 2002)

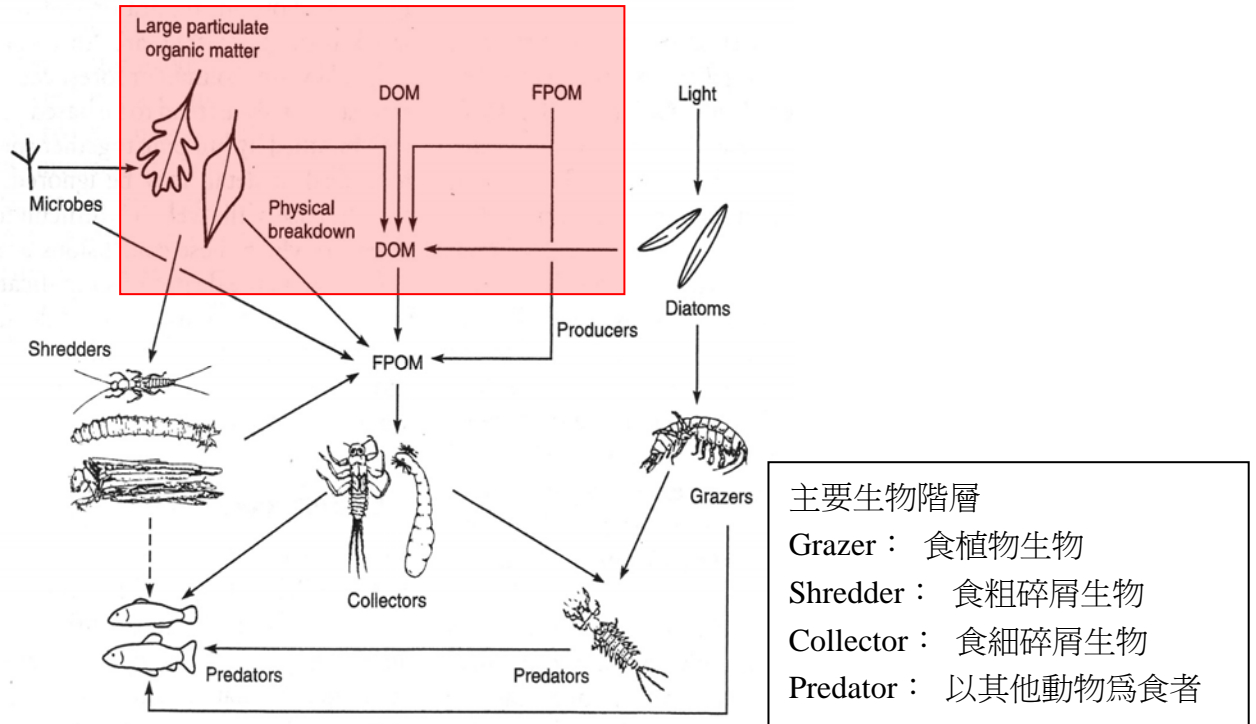


圖 3、溪流生態系食物網示意圖 (修改自 Hildrew *et al.*, 1987)

第二章、研究設計

第一節 研究地區

本計劃研究地區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°C左右。區內包含五個水域：七家灣溪、桃山溪、高山溪、有勝溪，與司界蘭溪匯集後即成為大甲溪上游。武陵地區內桃山溪為七家灣溪上游，高山溪及七家灣溪皆有櫻花鉤吻鮭棲息地，依照沿岸植被分布及水域型態共選定五個測站（圖4），分別為有勝溪下游靠近遊憩區收費站（測站1，簡稱有勝溪），高山溪一號壩（測站2，簡稱高山溪），七家灣溪一號壩（測站3，簡稱一號壩），桃山西溪武陵吊橋上游（測站4，簡稱桃山西溪）及櫻花鉤吻鮭新繁殖場（測站5，簡稱新繁殖場），如此可涵蓋武陵地區內不同溪流，並可做生態環境間之地域性比較。

本研究選定與溪流藻類生產力之限制營養鹽研究相同之五測站，將高山溪視為未受人為影響之測站，有勝溪則為嚴重受人為干擾之環境，藉以對照觀察七家灣溪沿岸受不同程度人為影響之上、中、下游三測站，所呈現不同程度人為影響下的櫻花鉤吻鮭棲地選擇模式、溪流食物網模式以及水陸域生態系之交互作用關係，以研究歸納出氣候與環境因子變遷及大規模人為干擾與土地利用對溪流谷地水域與陸域中生物群聚的影響。

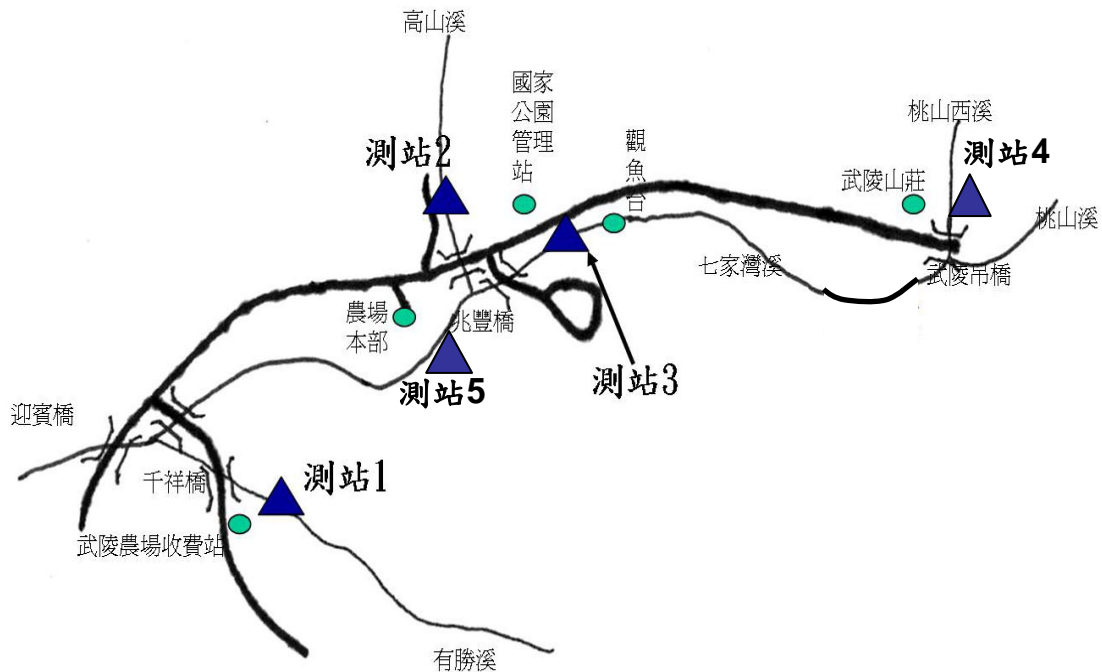


圖4、各測站相關位置圖

第二節 研究尺度

本計畫研究尺度由魚尺度之櫻花鉤吻鮭棲地選擇模式，到小尺度溪流水域食物網模式向外延伸，逐步推演至中尺度水陸交互作用模型，最終及於大尺度集水區溪谷之生態系模式。各尺度研究內容詳述如下：

1. 魚尺度之櫻花鉤吻鮭棲地選擇模式

(1) 目標：

架構櫻花鉤吻鮭不同年齡層之動態棲地選擇模式。

(2) 時間尺度：日~月

(3) 研究對象：

不同年齡層之櫻花鉤吻鮭。

(4) 研究內容：

- a. 估計各年齡層之櫻花鉤吻鮭數量。
- b. 找出影響生物生長及族群大小的水域環境因子。
 - i. 水質（水溫、溶氧量、酸鹼度、營養鹽、混濁度、沉積物、毒物）。
 - ii. 水流型態（流速、流量、季節變化）。
 - iii. 物理性棲地（覆蓋度、底質組成複雜度）。
- c. 生物之棲地選擇，依微棲地型態的不同（淺瀨、深潭、緩流與梯狀潭等）。
- d. 生物與環境因子之季節變化。

2. 小尺度之溪流生態系食物網模型

(1) 目標：

架構溪流水域生態系食物網模型，了解水域生態系中的生物組成、結構和各種生物的食性關係與交互作用、模擬生物於時間與空間之動態變化，及其受水域環境改變之影響。

(2) 時間尺度：季

(3) 研究對象：

溪流水生生物與環境因子（如圖 20），包括生態系統中的各類初級生產者、消費者、分解者以及非生物的有機碎屑等。

(4) 研究內容：

- e. 量測各生物類群的生物量、攝食量、生產量及個體生活史。
- f. 水域生物群聚結構。
- g. 量測作為能量來源之非生物有機碎屑量及其作用過程。
- h. 找出影響生物生長及族群大小的水域環境因子。
 - i. 水質（水溫、溶氧量、酸鹼度、營養鹽、混濁度、沉積物、毒物）。
 - ii. 水流型態（流速、流量、季節變化）。
 - iii. 物理性棲地（覆蓋度、底質組成複雜度）。

武陵地區環境生態模式可行性研究

- i. 生物之棲地選擇，依微棲地型態的不同（淺瀨、深潭、緩流與梯狀潭等）。
- j. 同一地點但不同棲地型態間食物網結構與功能的鏈結
- k. 生物與環境因子之季節變化。
- l. 生物間交互作用（競爭、共生與生態棲位等）與食性關係。

3. 中尺度之溪流與溪岸水陸生態系交互作用模式

(1) 目標：

架構溪流水域與溪岸植被陸域之水陸生態系交互作用模型（如圖 5），了解物質與能量如何經由生物與非生物途徑在水陸域生態系間傳輸與作用。

(2) 時間尺度：年

(3) 研究對象：

- a. 溪岸動物，包括兩生類、爬蟲類、鳥類、陸棲昆蟲、水棲昆蟲之成蟲隨生活史變動而遷移。
- b. 溪岸草澤與木本植物。
- c. 溪岸環境因子。

(4) 研究內容：

- d. 量測各生物類群的生物量、攝食量、生產量及生活史。
- e. 溪岸生物群聚結構與功能，包括植被種類演替、覆蓋度、物候變化等。
- f. 河道型態，包括寬度、深度、曲度、坡度等。
- g. 找出影響生物生長及族群大小的環境因子。
 - i. 肥料與農藥輸入。
 - ii. 土壤化學成分。
 - iii. 河道變遷。
 - iv. 有機碎屑輸入與輸出溪流量。
- h. 同一溪流不同河段間食物網結構與功能的鏈結。
- i. 颱風與洪水期之改變。
- j. 年間變化。
- k. 監測各環境因子的時間變化與空間變化。

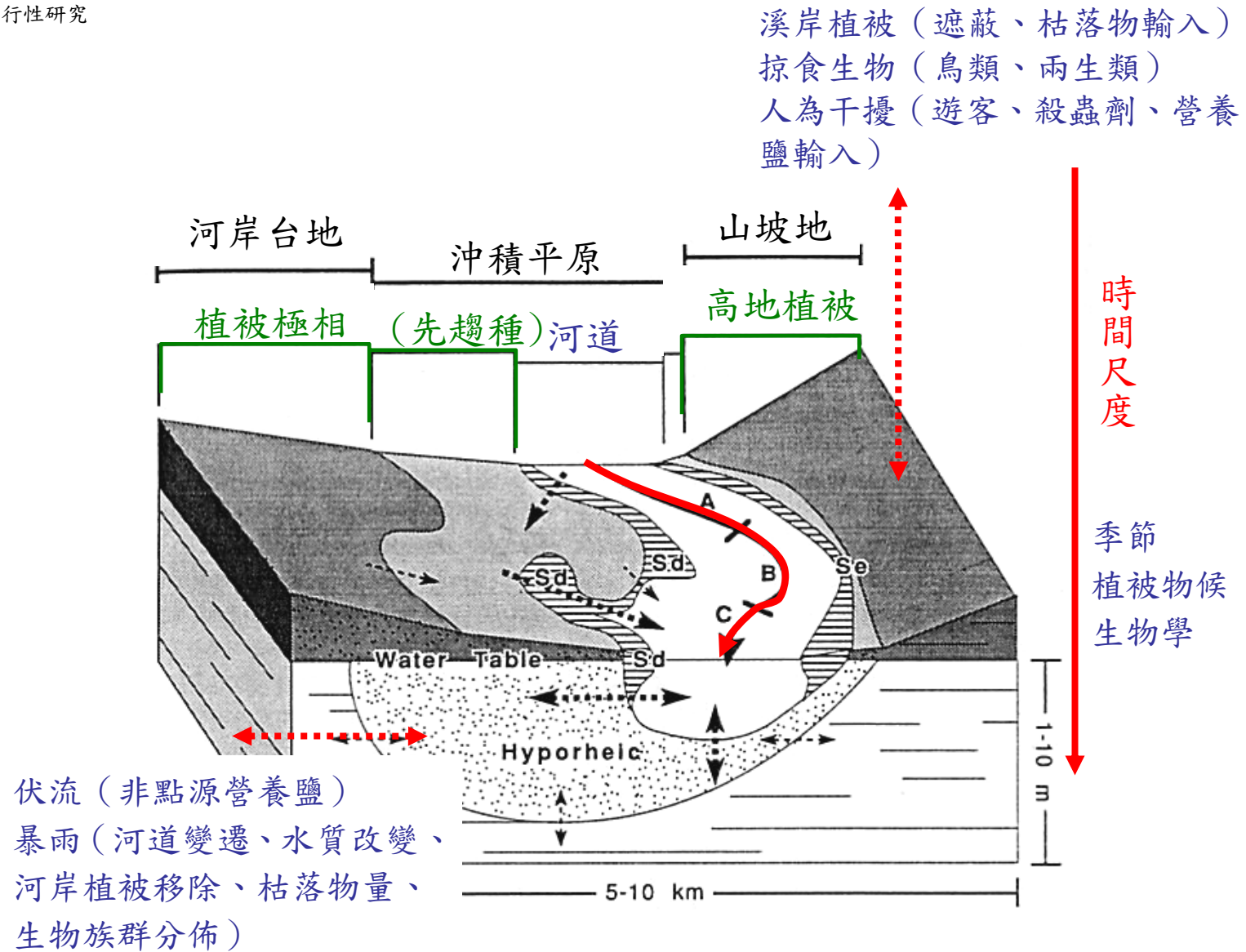


圖 5、溪岸水陸交界地帶物質與能量傳輸模式示意圖(修改自 Stanford, 1996.)

4. 大尺度之武陵集水區溪谷生態系模式

(1) 計劃目標：

架構武陵地區集水區溪谷生態系模型（如圖 6），了解大尺度的氣候與環境因子變遷及大規模干擾對溪流谷地水域與陸域中生物群聚的影響。

(2) 時間尺度：數年

(3) 研究對象：

a. 大尺度環境因子：

- i. 河川等級（影響地文、河道型態、水文、水質、生物分佈、能量來源等）。
- ii. 海拔高度（影響水溫等）。
- iii. 河床坡度（影響流速等）。
- iv. 河床基質（影響棲息空間、生物交互作用等）。
- v. 氣候變遷（影響生物分布與交互作用等）。
- vi. 流量大小（影響河道、河深、流速、水型等）。
- vii. 植被演替（影響遮蔽度、陸生生物棲息空間等）。

b. 干擾：

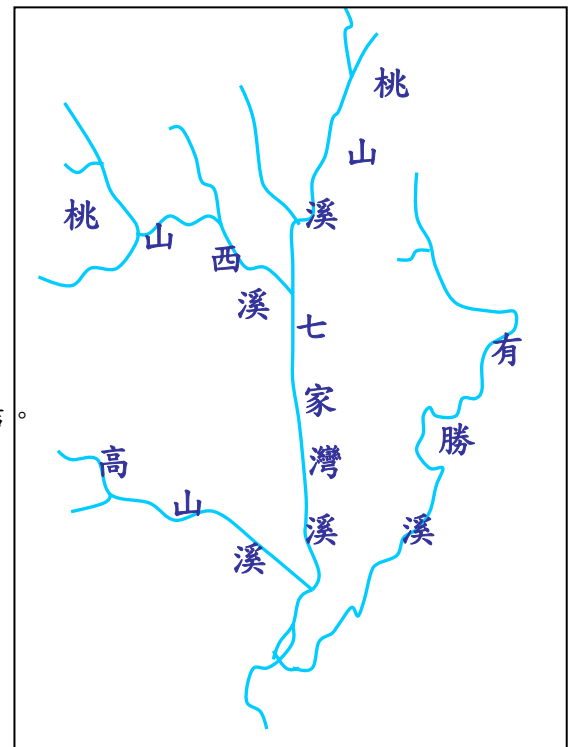
- i. 颱風
- ii. 暴雨
- iii. 火災
- iv. 地震

c. 人為大面積土地利用（影響河道型態、水文、水型、水質、能量來源、生物交互作用等）：

- i. 果園
- ii. 菜園
- iii. 造林
- iv. 伐木

(4) 研究內容：

- d. 大尺度環境因子長期監測。
- e. 干擾前後的生物族群變遷及環境因子變化。
- f. 人為土地利用對生物族群及環境因子的影響。
- g. 同一集水區不同溪流間食物網結構與功能的鏈結。



氣候

元素循環 (CNP)

水文循環

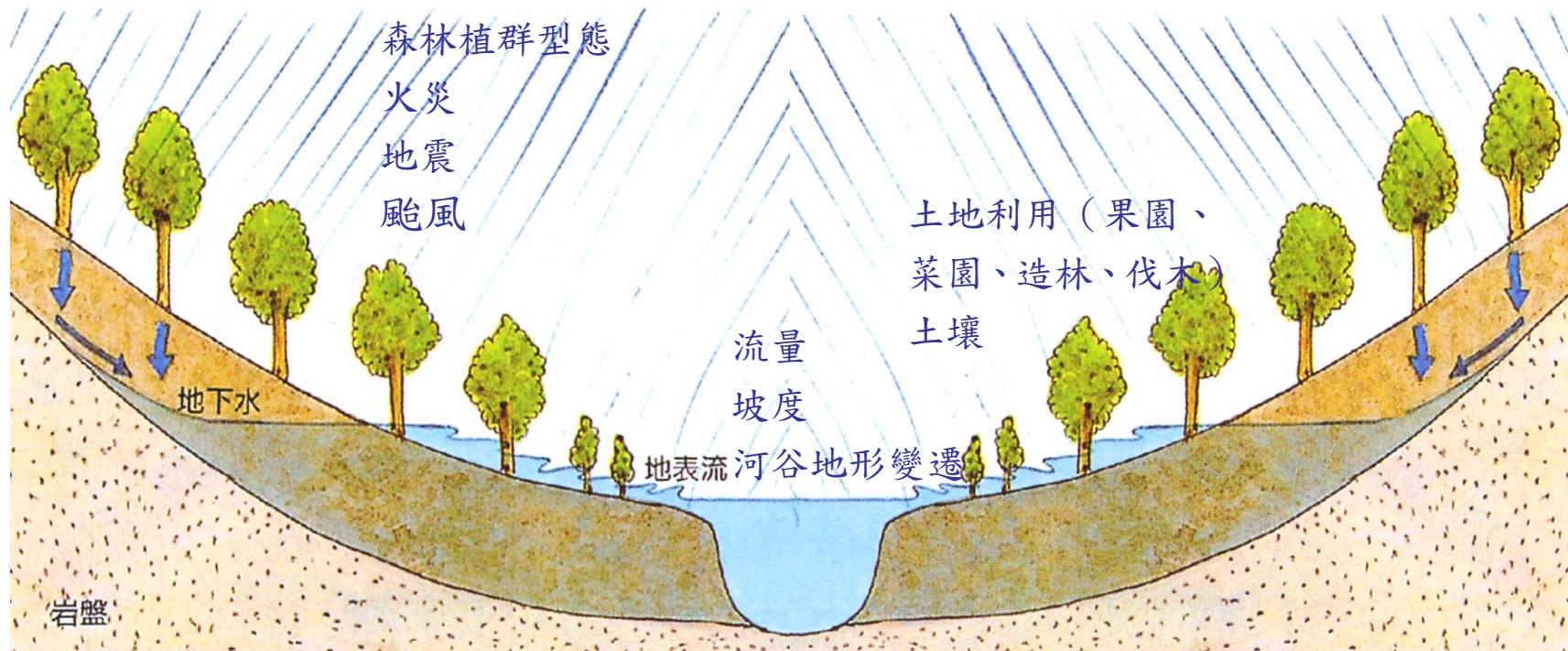


圖 6、武陵地區之集水區溪谷生態系模型示意圖

第三節 類神經網路

1. 棲地的重要

維持任一物種生存的必要條件首重棲地的維護。

2. 環境因子

一般而言與棲地相關的環境因子，可分為定性因子與定量因子，均可再細分為物理、化學和生物因子。其中物理因子包括坡度、底質、流速、水深、流量和水型…等；化學因子包括水溫、容氧量、營養鹽、酸鹼值、混濁度和污染…等；生物因子包括食物來源、競爭者、捕食者…等。但這些環境因子不但大多是非線性關係 (non-linearity)，而且常多是相互依靠的 (independent)，加上就櫻花鉤吻鮭在不同的生活期間對棲地有不同偏好的動態 (dynamic) 選擇。傳統的統計方法 (單變量分析和多變量分析) 為了分析數據的方便，常會假設輸入變項為線性相關、相互獨立 (independent) 和呈常態分配 (normal distribution) …等，這些對櫻花鉤吻鮭棲地選擇非線性的環境因子及動態的棲地偏好而言，除了和實際棲地選擇造成偏頗外，常常無法得到較佳的解釋或令人滿意的結果和預測模型。

因為非線性環境因子和動態的棲地選擇，使得傳統的統計分析方法不易架構出較佳分析和預測的模式，因此我們嘗試利用在非線性系統上已得到不錯分析效能的類神經網路和資料採礦技術，來建立更符合實際環境和棲地關係的模式。

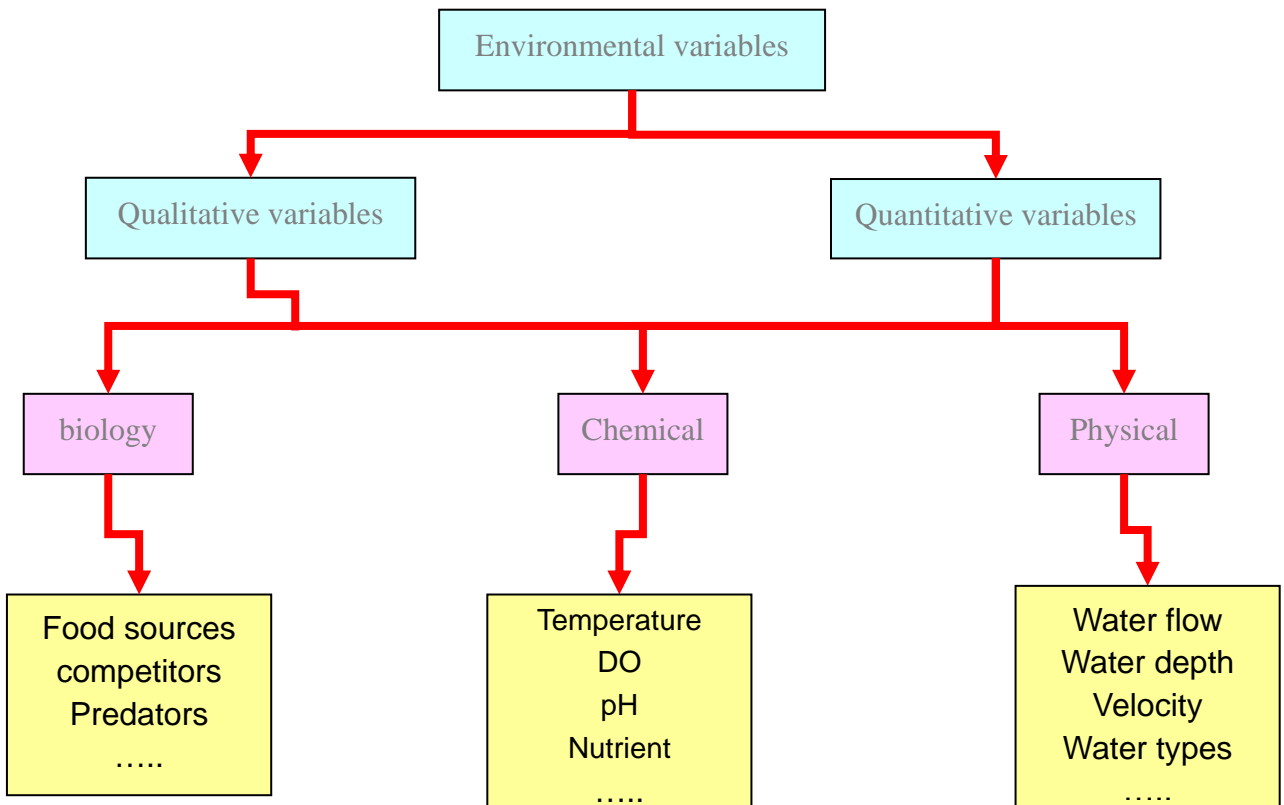


圖 7、非線性環境因子示意圖

對櫻花鉤吻鮭而言，不同時期的鮭魚對棲地選擇的偏好情形是不一樣的，可以說是動態的 (dynamic)——就是在空間(spatial)和時間上(temporal)都會隨時間的改變。另外，時變(time-variant)及非時變(time-Invariant)的觀念也是從系統分析的概念來：

如果系統為非時變，則若 x_1 輸入有 y_1 輸出，則當 x_1 延遲時間 t_0 輸入，則輸出 y_1 也會延遲時間 t_0 輸出。

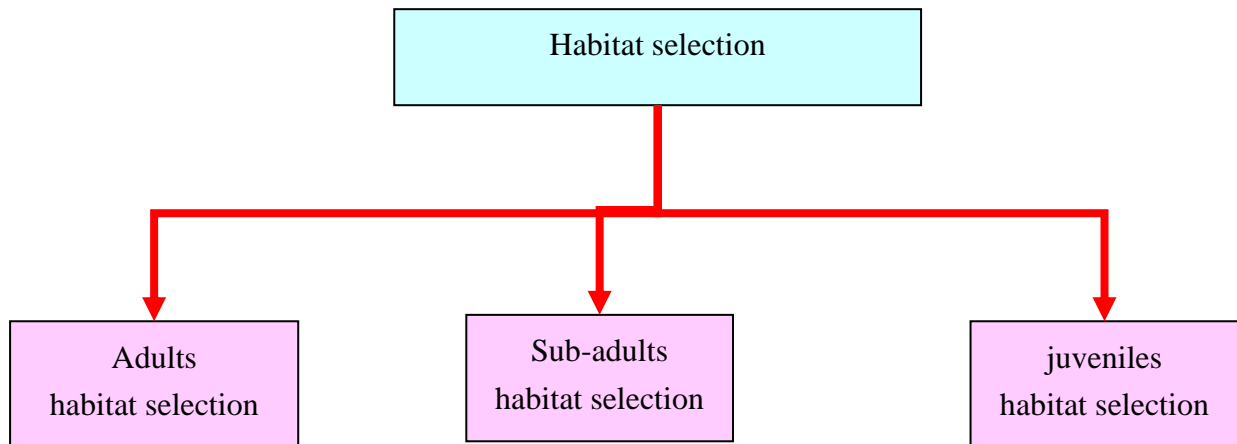


圖 8、櫻花鉤吻鮭棲地選擇隨時間變動示意圖

類神經網路是屬於人工智慧重要的一支，所謂人工智慧(AI)是指一種能夠像人類一樣學習、推理、預測和解決問題的系統。

類神經網路的優點有：

(1) 聯想速度快——待學習完成，即權重值確定後，同樣輸入資料的輸出比對或資料預測的進行，其速度均較傳統模式快得多。

(2) 網路架構容易維持——因硬體效能的提升，加上類神經網路的開放性，隨時可增加或減少輸入變項，調整網路架構，重新學習，來符合要求。

(3) 解決最佳化和非線性系統問題——透過網路架構，只要決定輸入因子，在輔以過去歷史資料，不需找出正確的數學模型，就能建構出輸入/輸出的對應關係。

(4) 具容錯特性——因類神經網路的所有神經元，以分散平行的方式來運算，故當輸入資料混雜些許雜訊干擾時，對網路運作正確性的影響程度仍較低。

(5) 具平行處理能力——仿照生物神經具平行處理的特性。

適合使用 ANN 解決的問題：

(1) 分類/辨識-classification/-recognition：如語音、文字和影像的辨識和分類。

(2) 預測-prediction：如股市、氣象、機械故障、太陽黑子數量變化等資料趨勢的預測問題。

(3) 最佳化-optimization：如售貨員最佳路徑問題、電路佈線最佳化、自來水管路最佳化設計..等。

武陵地區環境生態模式可行性研究

(4) 評估、診斷/決策-diagnosis/decision：如財務危機預警、信用卡盜刷判斷、銀行客戶評估、醫療診斷、石油探勘...等。

(5) 聯想-association：VLSI 的應用、A/D converter 的設計..等。

(6) 近似-approximation：如數學函數近似、河川流量歷線...等。

(7) 歸納推演-generalization:如手寫字的辨識、樣本辨識..等。

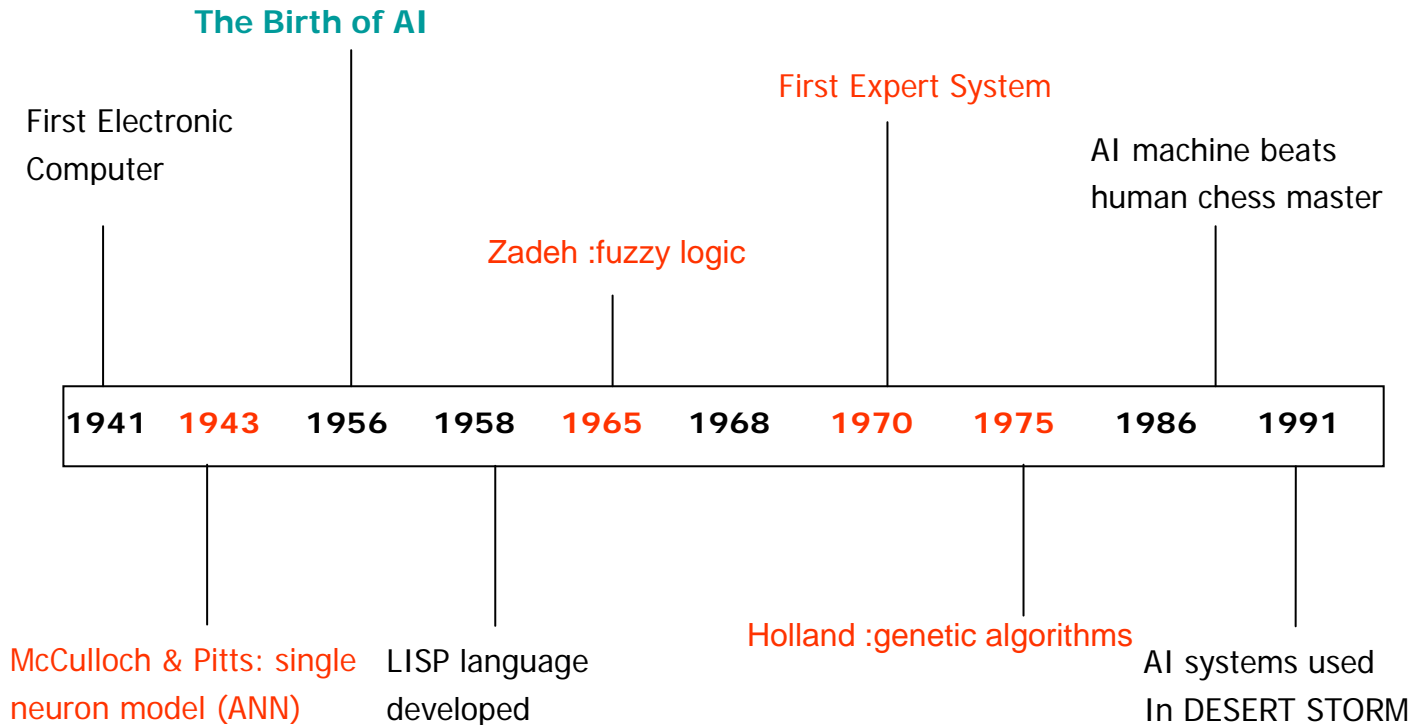


圖 9、人工智慧 (Artificial Intelligence) 的發展歷史

3. 類神經網路在各領域的應用

表 1 說明了類神經網路廣泛的應用在各個領域，其中生態學上應用，目前為止大多是藻華的預測和水域環境因子監測...等。

工業應用	控制器設計、產品品質分析、機電設備診斷、化工程序診斷、實驗數據模型建立、工程分析．．．．
商業應用	股票、債券、期貨．．．等。
管理應用	投資預測分析、商業信用評估．．．等。
資訊應用	策略管理、時程管理、品質管理．．．等。
地球科學	影像、文字、語音等辨識系統，
醫學應用	訊號分類、濾波
生態應用	天文、大氣預測、地震分析、土石流預警、降雨預報、乾旱洪水預報、水質預報

表 1、類神經網路在各領域的應用

4. 類神經網路的基本原理

圖 10 為類神經網路模擬單一類神經元構造的訊息轉換示意圖，圖中 $w_0 = b$ 為 bias； x_1, x_2, \dots, x_n 為輸入訊號； w_1, w_2, \dots, w_n 為一組權重(突觸)，權重為正且越大則表示連結越強。Sigma 符號 (Σ) 代表輸入訊號疊加器(細胞本體)：主要模擬生物神經元受多方刺激時膜電位的總變化量。 $a(*)$ ：Activation Function：為人工神經元的活化函數，用來轉換 v 的數學函數。

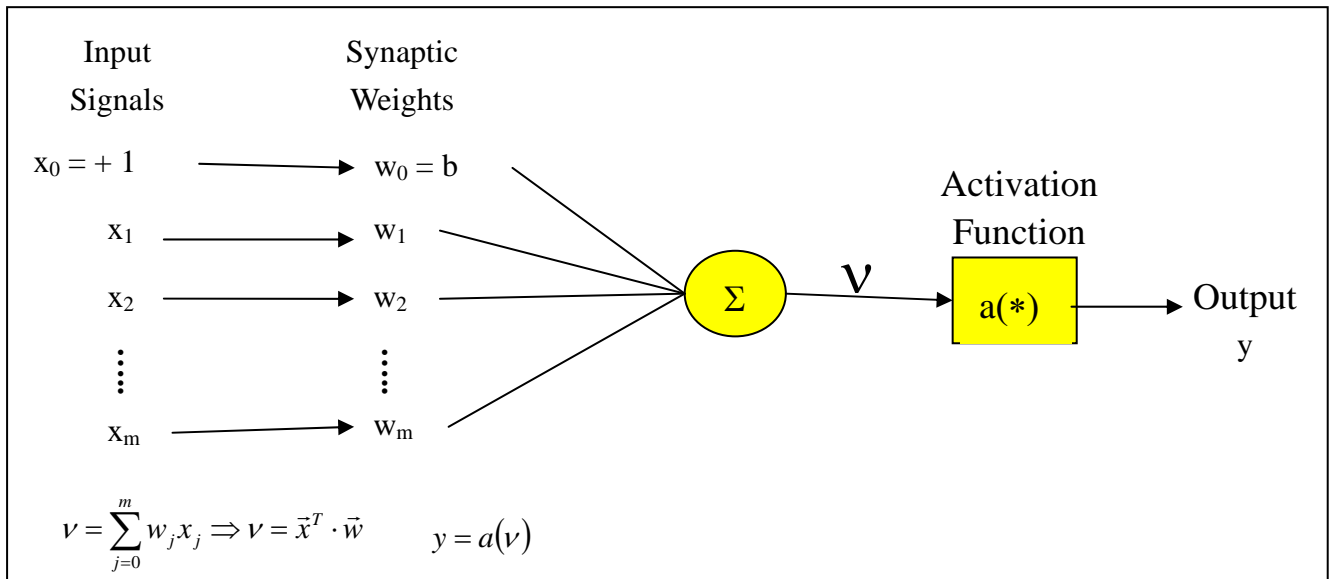


圖 10、類神經網路模擬單一類神經元構造的訊息轉換示意圖

5. 類神經網路的兩種模式

一般而言類神經網路可以分為非監督式和監督式網路，非監督式網路大多應用在樣式分類，監督式則應用在預測上。

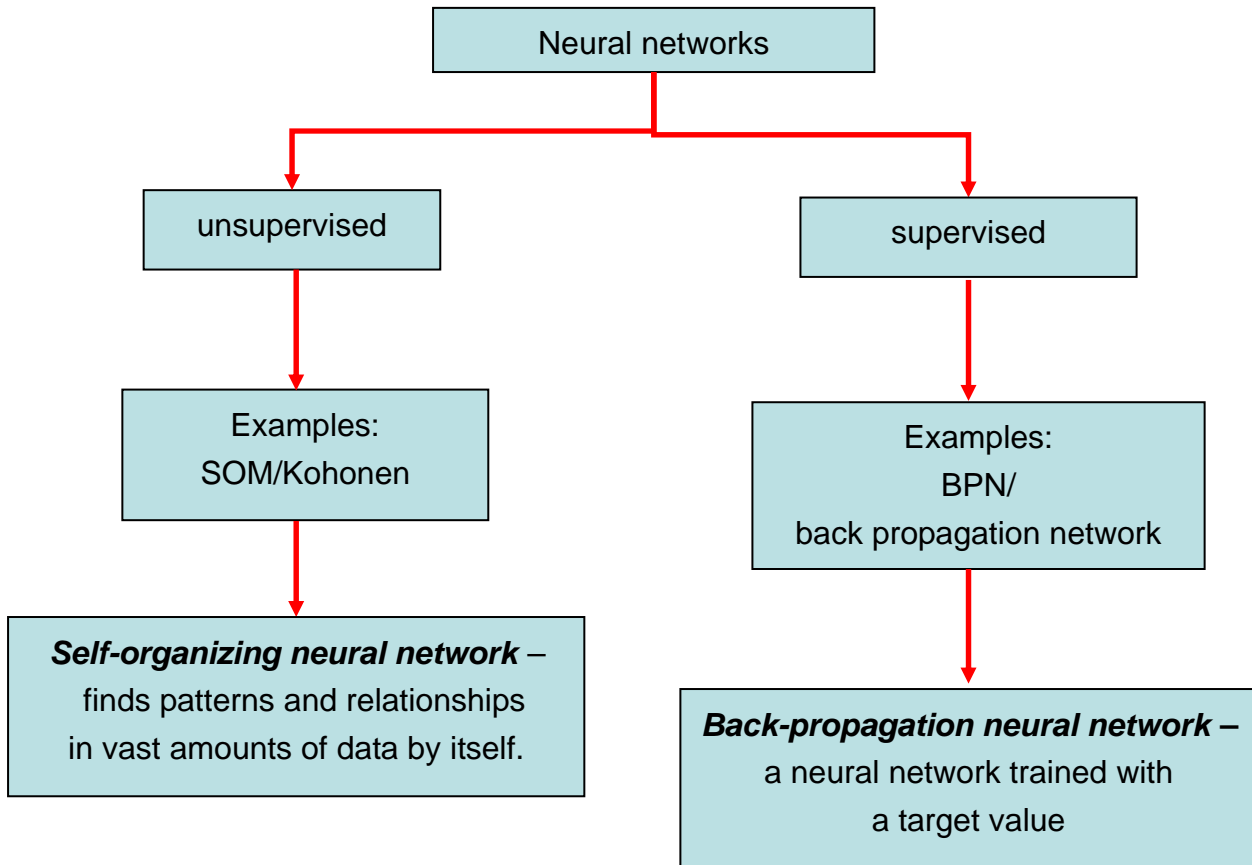


圖 11、類神經網路的兩種模式

圖 12 為非監督式類神經網路——自組織神經網路——模擬大腦皮層對不同的刺激有不同的映射區域。X 為輸入向量、W 為相對應的權重、Output layer 即為對應映射的神經元。

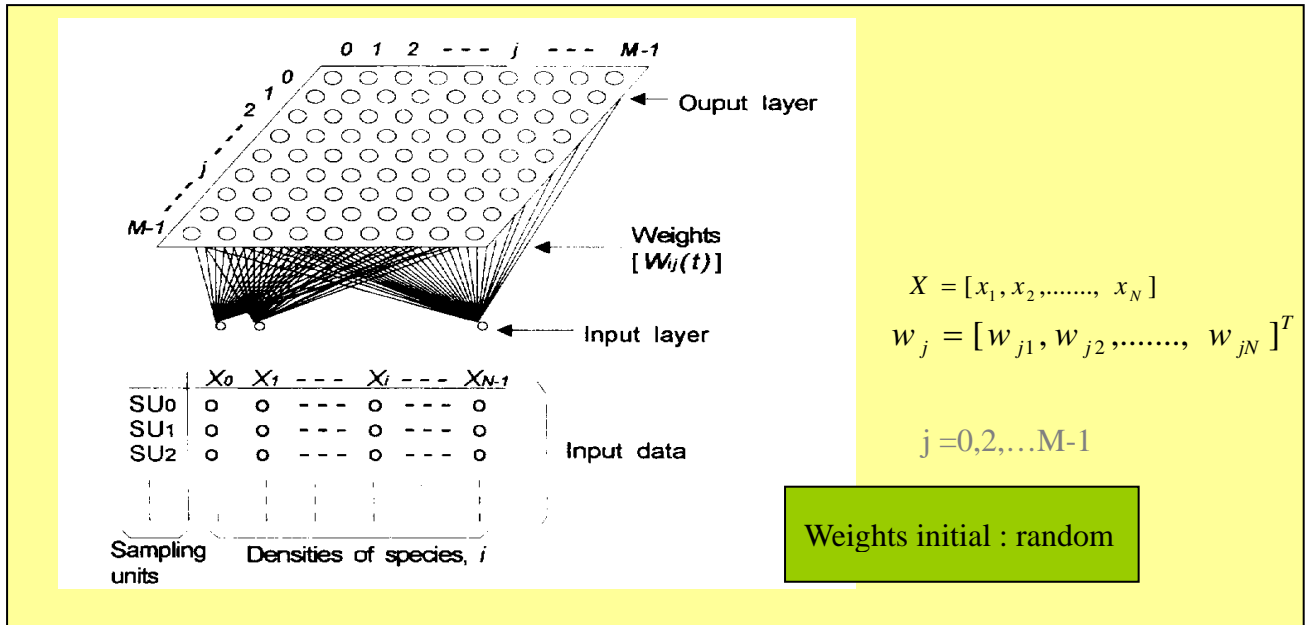


圖 12、非監督式類神經網路訊息處理模式圖

下圖為監督式的類神經網路架構，將資料分成兩部分——input data 和 output data。Input data 供 ANN 訓練學習以得到一估計輸出，Output data 為目標值和網路的估計出比較，然後將誤差送回網路重新學習，一直到可容許的誤差為止。

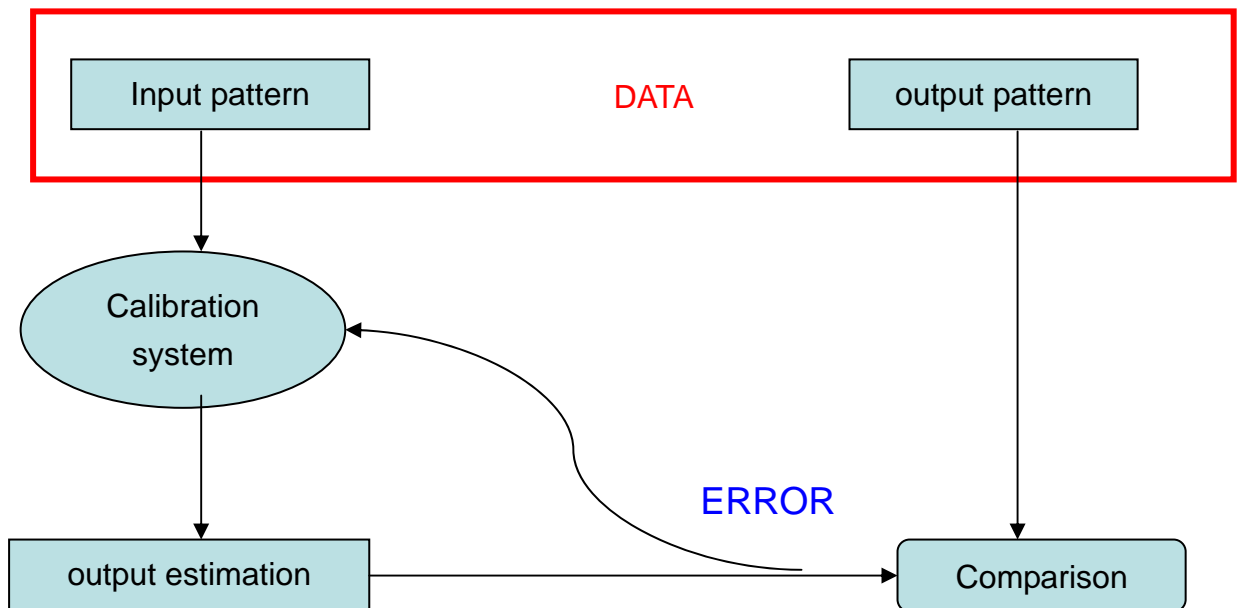


圖 13、監督式的類神經網路架構

第四節 資料採礦技術

另外一項應用在七家灣溪櫻花鉤吻鮭棲地選擇模式的，是一項被 MIT 評為改變未來十大技術之一的資料採礦技術 (Data mining)，它並不是一項新的技術，而是結合許多各種學問方法的技術，包括 statistics、machine learning、database.... 等，主要是運用電腦儲存運算能力及使用統計方法工具。找尋隱藏在資料中的訊息，如趨勢 (Trend)、特徵 (Pattern) 及相關性 (Relationship)。

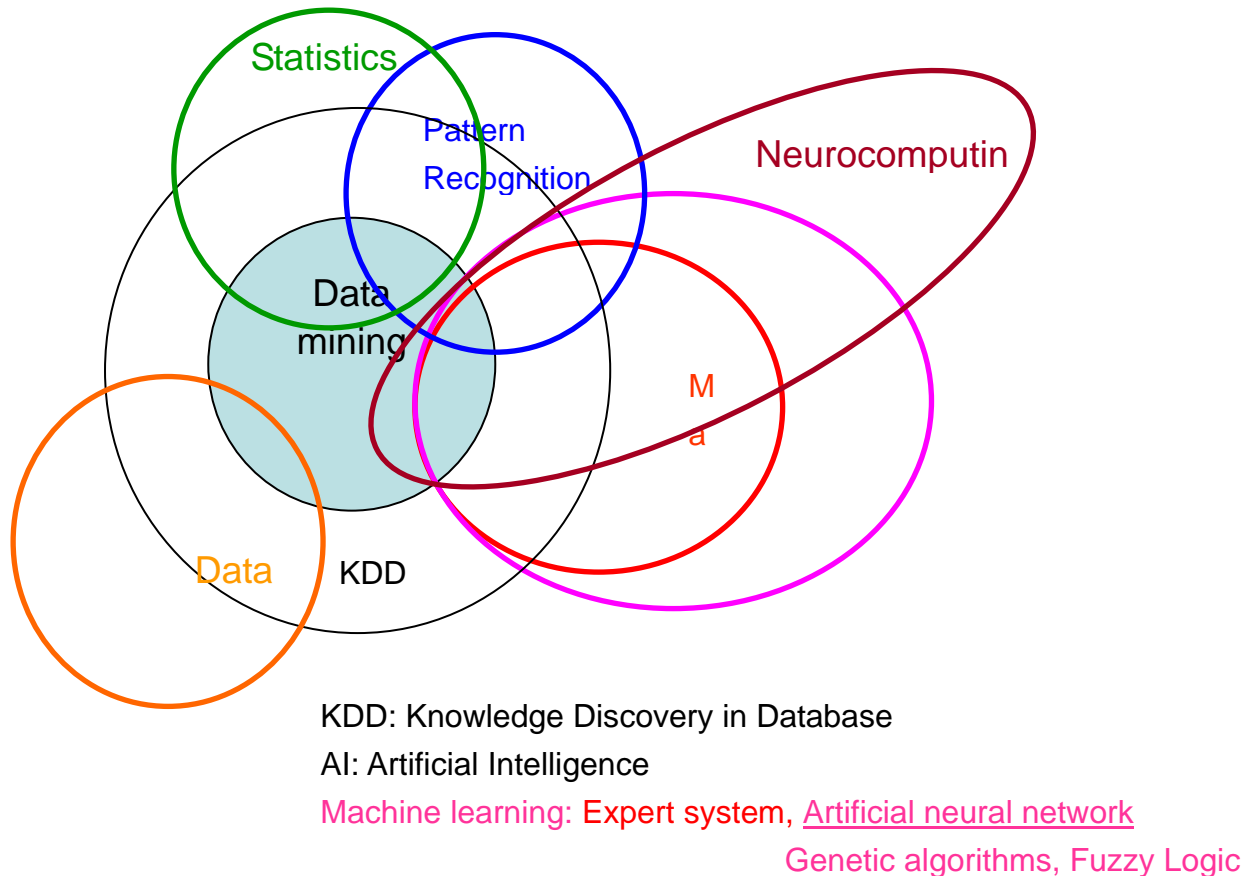


圖 14、資料採礦技術是結合許多各種學問方法的技術

第五節 生態系模式參數整理

在溪流生態系統中，生物間最主要的交互作用為食性營養關係，因此本研究將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，並據此建立生態系模式。本研究使用新近由「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。

(1) 區分生物類群

在陸續蒐集彙整先前的研究計畫報告中的生物相關資料後發現，實際可以在模式中使用的定量資料並不齊全，因此選定七家灣溪主流一號壩上游的測站 3 先進行模式之建構。依照測站 3 溪流生態系統中各生物的食物來源及取食方式的不同，將此地的生物區分為 14 個生物類群：鳥類 (Birds)、櫻花鉤吻鮭 (*Oncorhynchus masou formosanus*)、台灣鏟頰魚 (*Varicorhinus barbatulu*)、台灣纓口鰍 (*Crossostoma lacustre*)、兩生類和爬蟲等其他脊椎動物掠食者 (Other vertebrate predators)、扁蟲和肉食性水棲昆蟲等無脊椎掠食者 (Invertebrate predators)、螺貝類等其他除了水棲昆蟲外的無脊椎草食者 (Grazers)；水棲昆蟲分成取食附生藻類為主的刮食者 (Scrapers)、取食沉降細顆粒有機物的聚集者 (Collector-gatherers)、取食懸浮細顆粒有機物的濾食者 (Collector-filterers)、取食粗顆粒有機碎屑的撕碎者 (Shredders)；附生藻類 (Periphyton)、動物性浮游生物 (Zooplankton)、植物性浮游生物 (Phytoplankton)；及 1 個非生物的可機碎屑群 (Detritus)。

(2) 計算各生物類群所需參數

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 (j) 與被掠食者

(i) 可透過攝食相連結：

$$B_i \cdot (P/B)_i \cdot EE_i = Y_i + \sum_j (B_j \cdot Q/B_j \cdot DC_{ji})$$

其中 B_i : biomass of the group i

P/B_i : production/biomass

EE_i : its ecotrophic efficiency

Y_i : fishery catch

B_j : biomass of its predator j

Q/B_j : food consumption per unit biomass of j

DC_{ji} : fraction of i in the diet of j

由以上方程式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 (EE) 與食性組成 (Diet composition)。其中生物量 (biomass)、單位生產量 (PB ratio)、單位攝食量 (QB ratio)、生態效率 (EE) 可以容許有一個參數未知，通常以生態效率

為未知數。

將測站 3 已知各基本參數和食性組成輸入後總結見表 1、表 2，各參數皆依據現有文獻推算出來，尚未能有參考資料的各項參數則參考國外文獻預估得來；表 3 則歸納各基本參數的參考研究來源或已在進行之研究，表中“-”號則代表目前尚未有任何研究資料可供參考作為取得此基本參數之來源。

表 2、生態系模式基本參數表

	Group name	Trophic level	Habitat area	Biomass in habitat area (t/km ²)	Biomass (t/km ²)	Prod./biom. (/year)	Cons./biom. (/year)	Ecotrophic efficiency	Production / consumption
1	Birds	3.56	1.000	0.0480	0.0480	0.250	10.940	0.000	0.023
2	Oncorhynchus masou formosanus	3.00	1.000	5.261	5.261	0.230	6.200	0.019	0.037
3	Varicorhinus barbatulus	2.72	1.000	2.773	2.773	0.460	17.700	0.149	0.026
4	Crossostoma lacustre	2.66	1.000	0.00172	0.00172	1.030	16.100	0.889	0.064
5	Other vertebrate predators	3.35	1.000	3.000	3.000	0.350	6.200	0.089	0.056
6	Invertebrate predators	3.08	1.000	0.630	0.630	3.200	9.500	0.992	0.337
7	Grazers	2.00	1.000	10.000	10.000	2.000	9.500	0.445	0.211
8	Scrapers	2.02	1.000	4.477	4.477	2.500	12.500	0.987	0.200
9	Collector-gatherers	2.75	1.000	5.545	5.545	1.200	6.400	0.956	0.188
10	Collector-filterers	2.40	1.000	0.673	0.673	1.200	8.000	0.705	0.150
11	Shredders	2.41	1.000	0.136	0.136	0.800	8.000	0.790	0.100
12	Periphyton	1.00	1.000	86.630	86.630	46.440	-	0.029	-
13	Zooplankton	2.00	1.000	43.800	43.800	9.150	60.000	0.152	0.153
14	Phytoplankton	1.00	1.000	0.0450	0.0450	47614.422	-	0.867	-
15	Detritus	1.00	1.000	7022.600	7022.600	-	-	0.162	-

表 3、各生物類群食性組成表

	Prey \ Predator	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
1	Birds												
2	Oncorhynchus masou formosanus	0.043											
3	Varicorhinus barbatulus	0.362											
4	Crossostoma lacustre	0.003											
5	Other vertebrate predators					0.005							
6	Invertebrate predators	0.170	0.015	0.010		0.050							
7	Grazers	0.203	0.203	0.007		0.050	0.150						
8	Scrapers	0.121	0.180	0.060	0.150	0.100	0.050						
9	Collector-gatherers	0.080	0.080	0.020	0.150	0.050	0.300						
10	Collector-filterers	0.010	0.005	0.005	0.100	0.005	0.010						
11	Shredders	0.008	0.001	0.001									
12	Periphyton			0.052	0.050			0.870	0.570			0.005	
13	Zooplankton			0.585	0.100		0.340		0.020	0.750	0.400	0.405	
14	Phytoplankton		0.081	0.055				0.080	0.050	0.050	0.300	0.001	0.700
15	Detritus			0.205	0.450		0.150	0.050	0.360	0.200	0.300	0.589	0.300
16	Import		0.435			0.740							
17	Sum	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

表 4、生態系模式各生物類群基本參數參考文獻

生物類群	中文名	生物量 Biomass(t/km ²)	單位生產量 PB(/year)	單位攝食量 QB(/year)	食性組成
Birds	鳥類	a	a	a	a
<i>Oncorhynchus masou formosanus</i>	櫻花鉤吻鮭	b	c	c	k
<i>Varicorhinus barbatulu</i>	台灣鏟頷魚	b	c	c	j
<i>Crossostoma lacustre</i>	台灣纓口鰍	b	c	c	j
Other vertebrate predators	兩生類、爬蟲等	d	d	d	d
Invertebrate predators	扁蟲、肉食性水棲昆蟲 螺貝類等其	e, g	e, f	e, f	e, f
Grazers	他水棲昆蟲外的草食者	e	e	e	e
Scrapers	刮食者	g	g	g	f
Collector-gatherers	聚集者	g	g	g	f
Collector-filterers	濾食者	g	g	g	f
Shredders	撕碎者	g	g	g	f
Periphyton	附生藻	h	h		
Zooplankton	動物性浮游生物	i	-	-	-
Phytoplankton	植物性浮游生物	h	h		
Detritus	碎屑	本研究			

- a 孫元勳 2003 櫻花鉤吻鮭天敵之研究
 b 曾晴賢 2003 櫻花鉤吻鮭族群生態調查(六)
 c Fish base from <http://www.fishbase.org/search.cfm>
 d 吳聲海 2004 七家灣溪蛙類及蝌蚪族群之研究
 e 盧重成 2004 七家灣溪非昆蟲底棲無脊椎動物之研究
 f 于淑芬 2006 七家灣溪水生昆蟲食性研究

武陵地區環境生態模式可行性研究

- g 郭美華 2003 武陵地區水生昆蟲研究(二)
- h 林幸助 2003 武陵地區溪流藻類之限制營養鹽
- i 雷淇祥等 1989 大甲溪上游浮游生物相及水質之調查
- j Wang, C.M.J. 1989 Environmental quality and fish community ecology in an agricultural mountain stream system of Taiwan.
- K 楊平世、林曜松 1986 櫻花鉤吻鮭 (*Oncorhynchus formosanus*, Jordan & Oshima) 之食性
- 表尚未有任何已進行之研究可得此參數

第六節 溪流顆粒態有機碎屑

根據 Webster 等人(1995)的定義，溪流的枯落物輸入(litter input)包括任何進入溪流的異生性（陸源輸入的）有機質，即葉、枝條、花、果實與昆蟲排遺等。而進入溪流的途徑，可分為垂直掉落(direct litter fall)與側向移動(lateral transport)兩種，如針對某一特定河段，還需考慮上游輸入(transport)的量（圖 5）。側向移動係指枯落物先落於上坡或河道兩旁的非行水區，如邊坡或石塊、倒木上，再藉由其他的營力進入水體，如風力吹落、重力滑落，或是於下次豐水期或氾濫時的高水位將其淹沒。故本研究針對垂直掉落與側向移動輸入及上游輸入的量測量，此外，也測量溪流生態系統輸出到下游的量(transport downstream)。

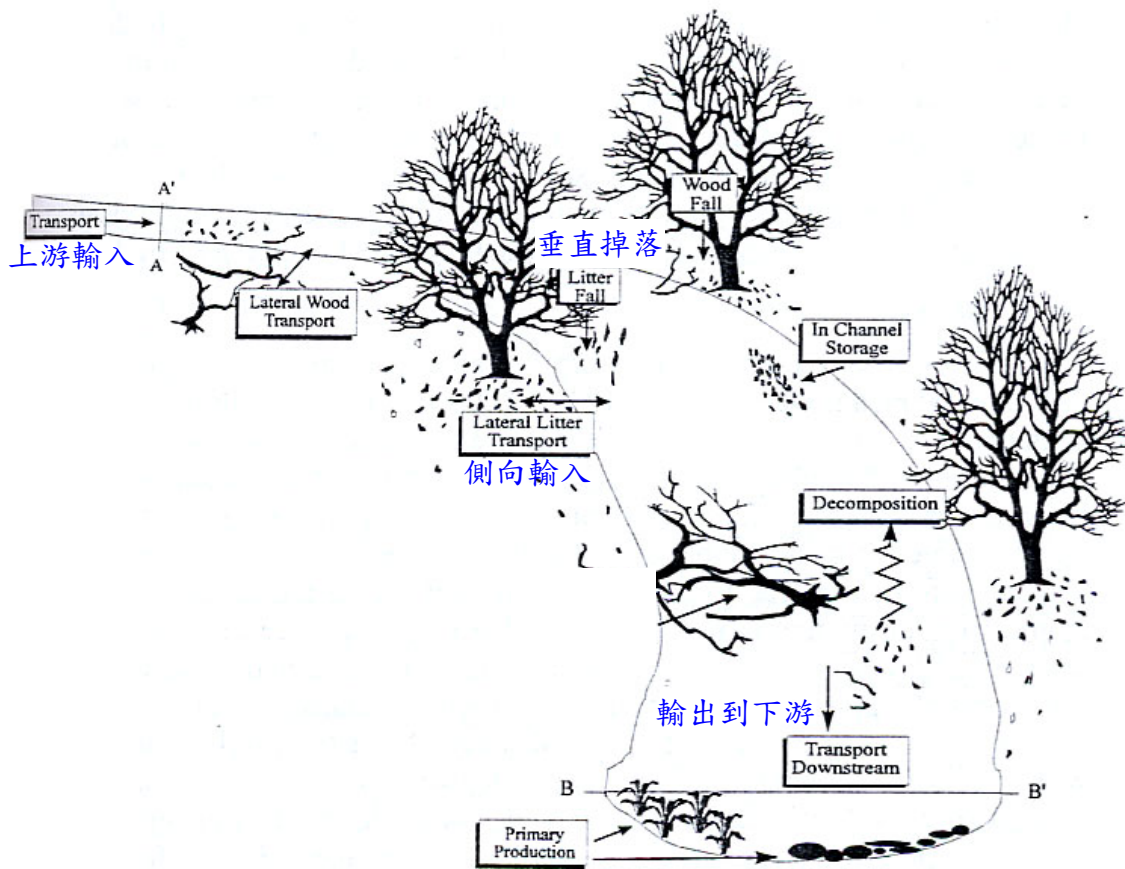


圖 15、溪流生態系統枯落物有機質的輸入、輸出方式示意圖(Minshall, 1996.)

(1) 採樣時間

2004 年一月至十月。

(2) 採樣方法

在每一測站各設置一取樣河段 (47m~128m)，各取樣河段的微棲地環境條件要分別能代表各測站所在的河域狀況 (如圖 5 的 A/A' 斷面到 B/B' 斷面之間河段)，分別依據枯落物進入系統方式的不同設置取樣容器，設置方式如下：

a. 垂直掉落的枯落物 (direct litter fall)

每一個測站的溪流橫斷面放置 4 個開口為直徑 67cm、高度 67cm 的塑膠桶，在溪流橫斷面平均放置 4 個塑膠桶 (圖 6)，每個塑膠桶底部均鑽孔防止積水、底部鋪放大塊鵝卵石，再鋪上一層網目約 1mm 的網子，以直徑 53cm 的竹框將網子箍緊至桶子深度約 1/2 處，網子邊緣以長尾夾固定在塑膠桶邊緣。

取樣間隔平日為 60 天左右，颱風時應較縮短。每次以皮尺測量河道 (行水區、非行水區) 寬度。每次收集得之枯落物樣本，置於塑膠封口袋內攜回實驗室，以 60°C 烘乾至少 12 小時後，分類稱其乾重。

將所得枯落物乾重，換算為單位面積日平均枯落率，乘以該月天數，可得各月份平均值，再乘以可接收枯落物範圍的總面積即可得直接掉落的枯落物總量。

b. 側向輸入的枯落物 (lateral litter transport)

以直徑 8 英吋 (20.32cm)、長 1.2m 的 PVC 水管，縱切鋸開 1/4 作為開口，以錨釘固定在取樣河段沿岸 (圖 6)，分別沿著兩邊河岸各設置 3 個 PVC 水管，縱向開口分別面向兩岸，兩端分別以管帽或扁平大石頭封住。取樣頻率則與垂直掉落枯落物同步。

c. 上游縱向輸入 (transport) 及縱向輸出至下游 (transport downstream) 的有機物

在每一測站的取樣河段上、下游河流橫斷面各放置 3 個攔網 (開口 25cm×25cm、網目 1mm)，以錨釘與繩索平均固定在匯流口河道的橫斷面上 (如圖 6)，於 2004 年 1/30-1/31 間取樣間隔 4 小時一次，連續 24 小時收集攔截到的有機物樣本。每一個攔截點分別以流速計測定水流速度，以皮尺量測河道 (行水區、非行水區) 寬度；在 3/20-3/21、5/29、7/30 則收集連續 24 小時攔截到的有機物樣本進行分析。

每次收集到的有機物質樣本，置於塑膠封口袋內攜回實驗室，先以水將泥沙等非有機質成分洗淨，粗分為是否陸源輸入，再以 60°C 烘乾至少 12 小時後，依下述成分分類原則分類稱其乾重。將每點收集到的有機物乾重換算成單位體積水體的每小時平均有機質量，乘以 24 小時即為日平均值，再估算每日流經此河段的總水體體積，相乘後即可得上游總輸入量及輸出至下游的總有機物量。

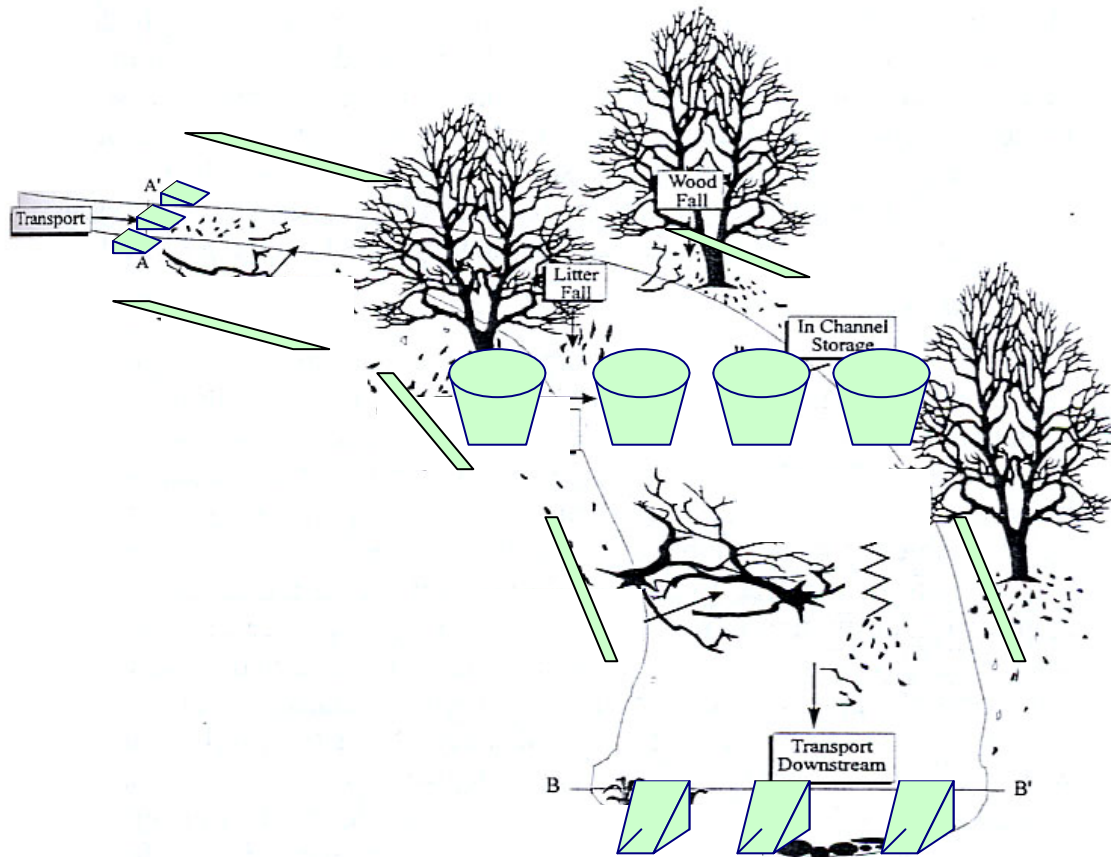


圖 16、各測站粗顆粒有機物質輸入取樣方式示意圖(修改自 Minshall, 1996.)

(3) 樣品處理

為了解有機質之組成成分特性，將枯落物進一步區分為以下三類：

- a. 落葉（包括殘破的葉脈、葉柄，以及著生於葉部之蟲癭）
- b. 枝條（直徑 $<2\text{cm}$ ），以及樹皮、殘幹等木本植物剝落之部位
- c. 其他（包括花、果實、芽苞，蘚苔、地衣等附生植物，動物之排遺，螺類的殼，以及羽毛、獸毛等）
- d. 藻類
- e. 蟲與動物（昆蟲、幼蟲、蛹、繭與他種節肢動物）

(4) 環境因子資料

每次取樣垂直與側向輸入，也量測當時的樹冠罩蓋度、植被離岸距離、風速；每次取樣河內縱向傳輸，也同時測量取樣位置的水流速度。

第三章、各尺度生態概念模式

第一節 應用類神經網路建立櫻花鉤吻鮭的棲地選擇模式

近十幾年來類神經網路已廣泛的應用在各個領域:舉凡工業、商業、管理、資訊、地球科學、醫學和公共衛生...等..都可以看到類神經網路的相關研究。國內這十幾年來與類神經網路相關的碩博士論文也超過三千篇，主要是它具有學習能力及處理非線性問題的優勢，在許多方面都已得到肯定和認同。我們希望透過類神經網路來分析十幾年來辛苦得到關於櫻花鉤吻鮭族群數量及棲地環境的相關資料，以每一個採樣點櫻花鉤吻鮭的族群數量（分成個體數、亞成個體數和幼體個體數）為目標值(target value)，該採樣點的相關環境資料為輸入變項(input variables)，將許多年來的資料分成兩部分，一部分供類神經網路學習(training)，另一部分資料供測試(testing)，架構出棲地選擇的模型，來闡明和預測(predict)許多自然調查資料：環境因子與櫻花鉤吻鮭棲地選擇的關係。

參考 2001 Recknagel 提出利用 BPN 預測藻華的類神經網路模式，我們將 input variables 改變為過去幾年來量測的環境因子，Output 部分為每一個採樣點環境因子所對應的櫻花鉤吻鮭不同時期的族群數量。

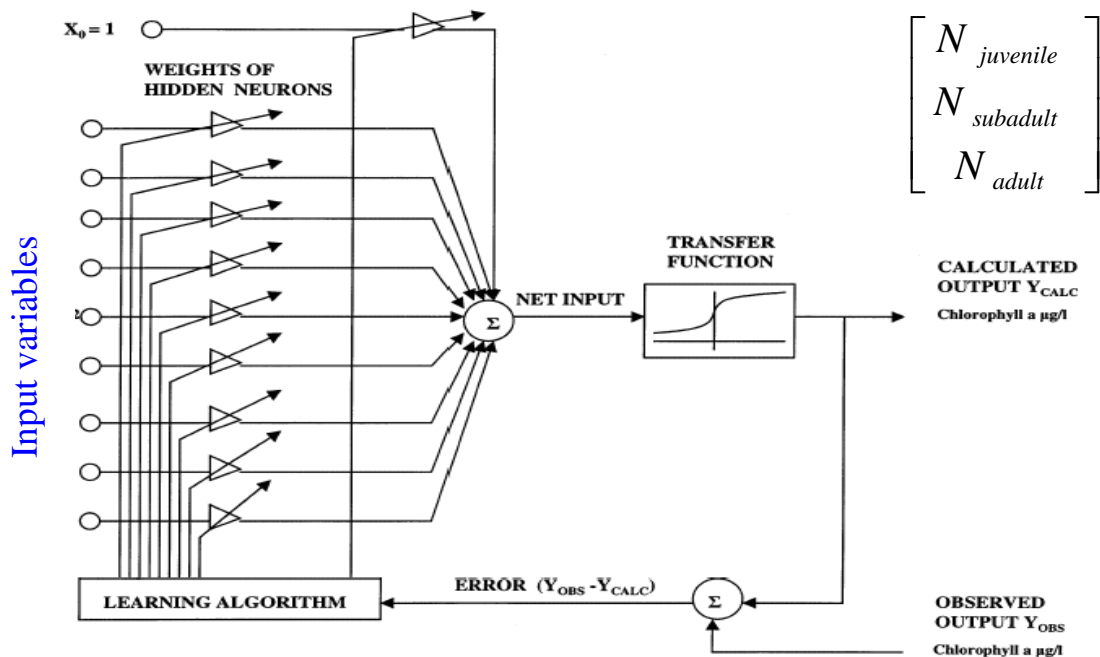


圖 17、應用類神經網路分析環境因子與櫻花鉤吻鮭棲地選擇的關係

進一步看各神經元之間的關係：一般類神經網路架構分為輸入層、隱藏層、輸出層，每一層的神經元個數是需要而定，類神經網路容許多個輸出，這和傳統的回歸方法只有一個輸出，有很大的差別。

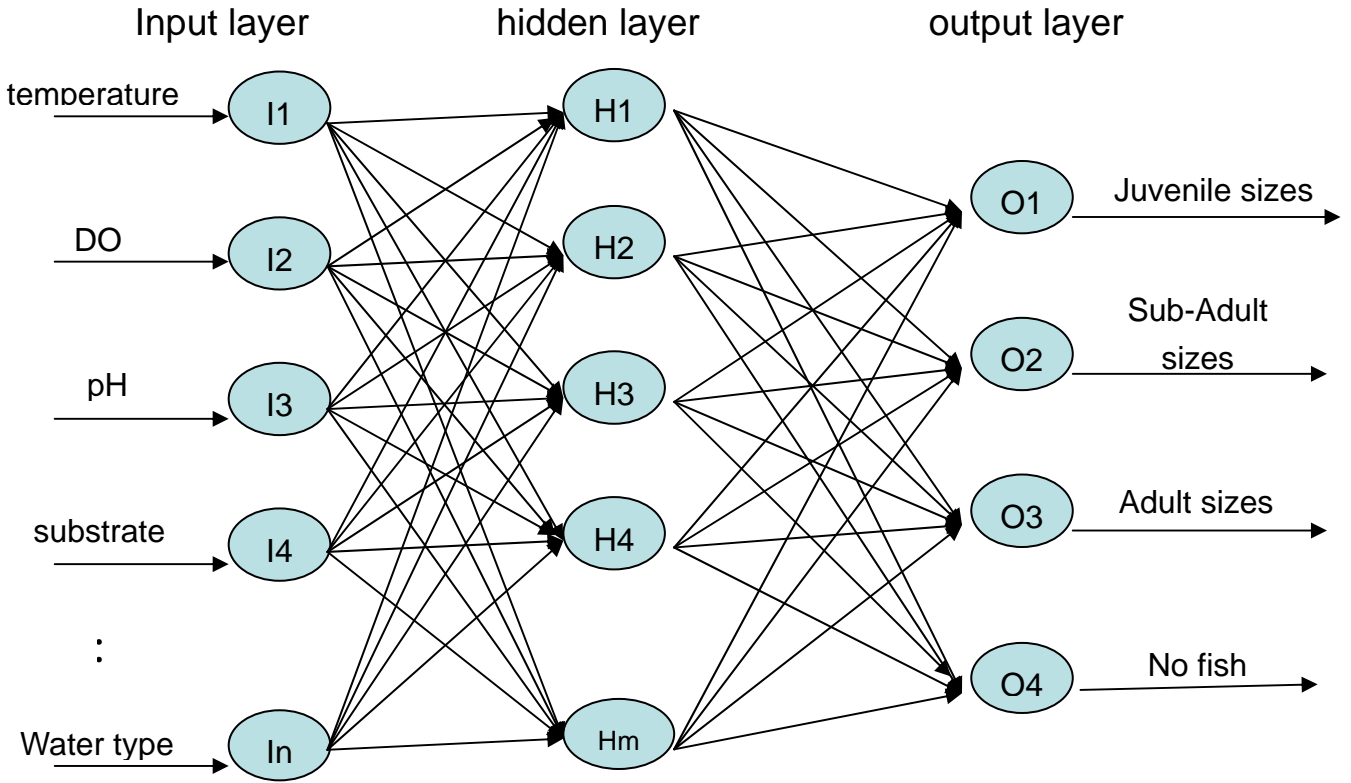


圖 18、類神經網路和傳統的回歸方法的差別

第二節 利用資料採礦技術擬發展的櫻花鉤吻鮭棲地選擇模型

輔以將涵蓋類神經網路的人工智慧納入的資料挖掘技術(麻省理工學院 2002:Technology Review 雜誌:公佈為改變未來十大新興趨勢之一),來探討多年來辛苦所得的資料彼此之間相互影響的關係,以期找出其中的趨勢(trend)和特徵(pattern)及關聯性(association),運用電腦儲存,運算和分析的能力,架構出櫻花鉤吻鮭棲地選擇(habitat selection)可靠的生態模式(ecological model),供相關保育管理措施的參考。

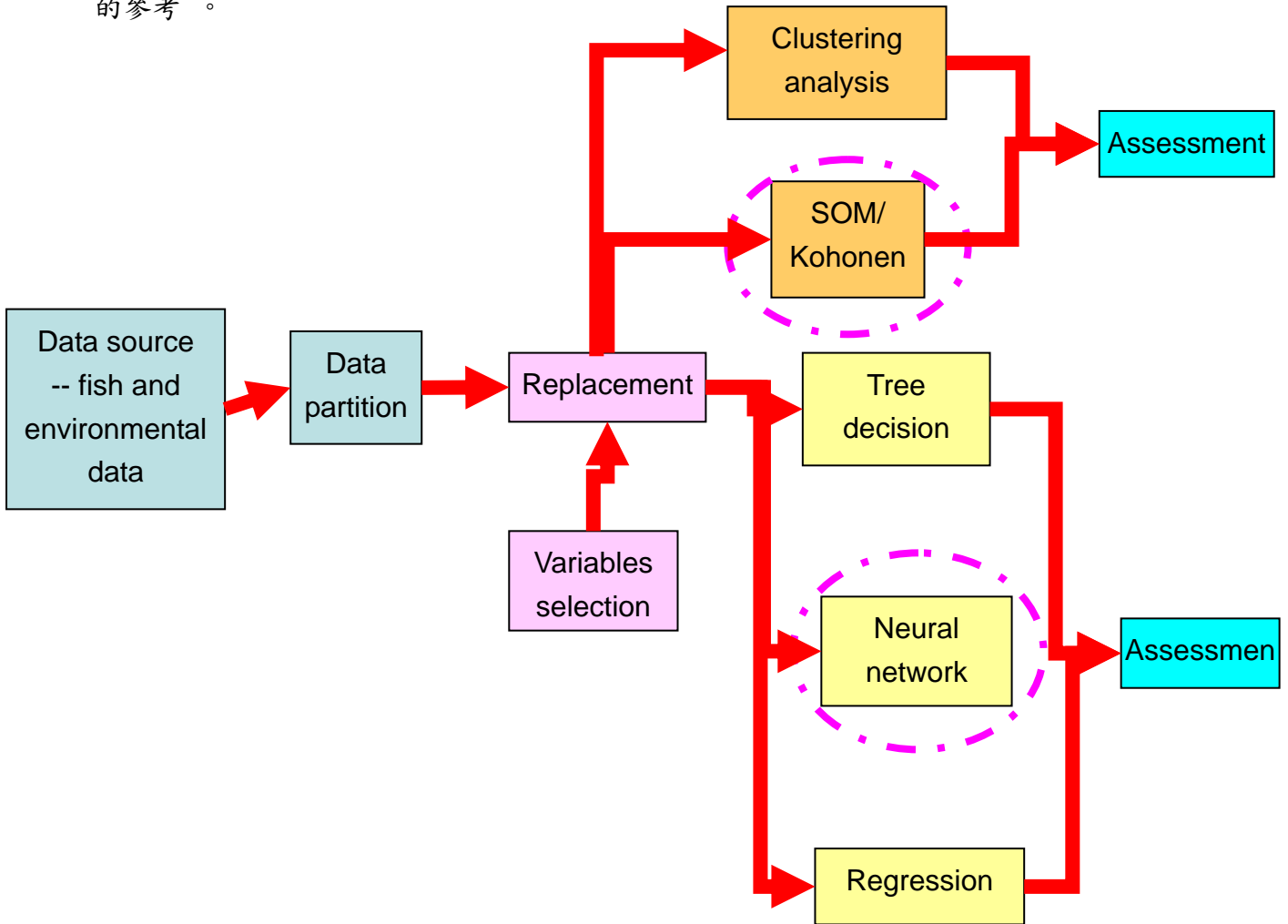


圖 19、應用資料採礦技術架構出櫻花鉤吻鮭棲地選擇模型

第三節 小尺度溪流食物網模式

將所需參數輸入 ECOPATH with ECOSIM version 5 軟體，進行質量平衡得到較合乎生態原理的模式之後，可以軟體繪製七家灣溪一號壩河段生態系食物網絡圖（圖 23），藉由此圖可以了解七家灣溪一號壩河段生態系食性階層之構造以及各生物群之間相互的能量傳輸情形，大致上可以將各生物類群分成 3 個食性階層，由最低階層（Trophic level=1.0）之初級生產者為浮游藻、附生藻及有機碎屑 3 個類群，往上一直到最高食性階層的脊椎動物掠食者（TL=3.35）及鳥類（TL=3.56）。

武陵地區環境生態模式可行性研究

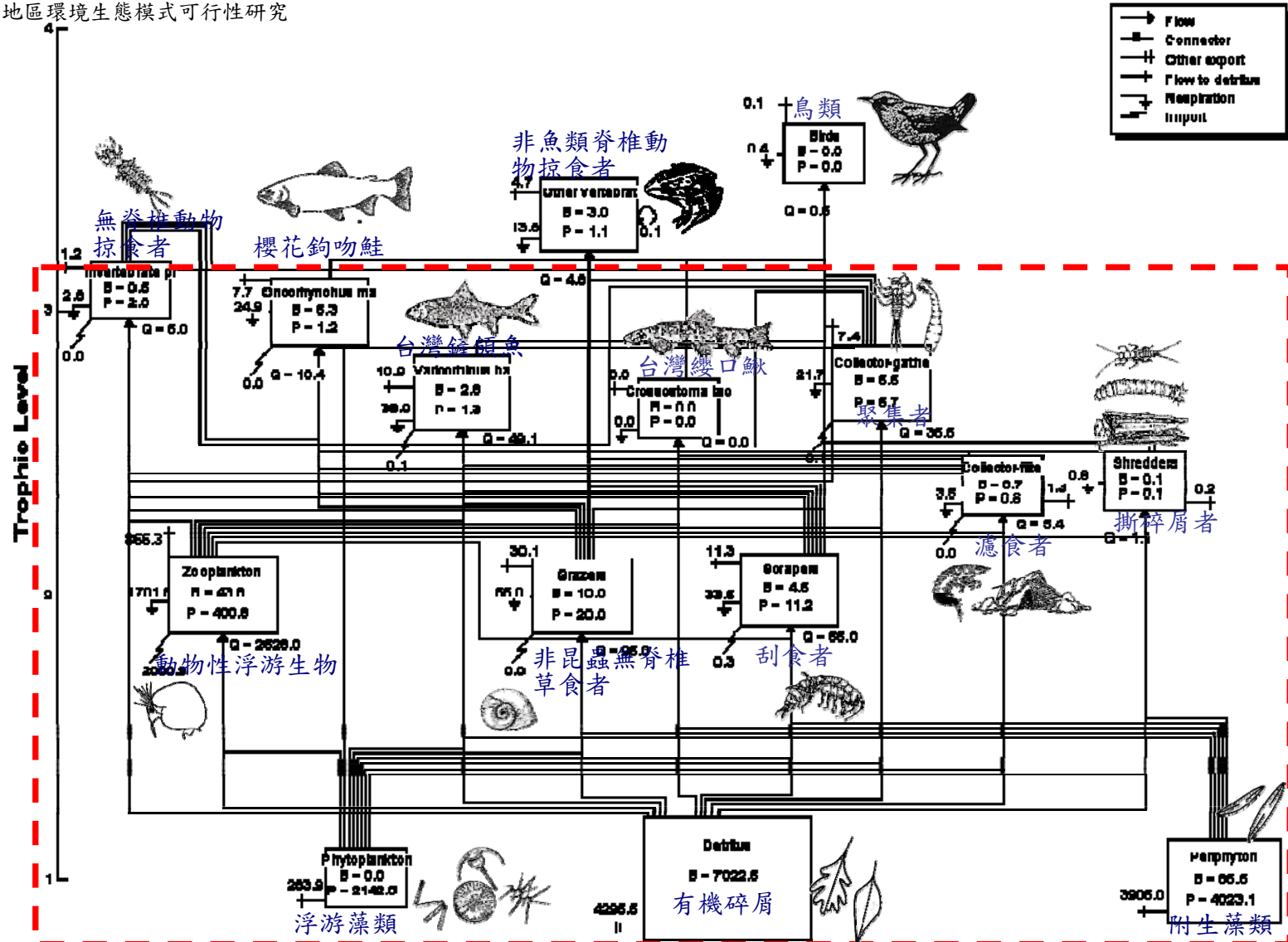


圖 20、七家灣溪一號壩河段生態系食物網絡圖 (圖片來源: Merritt and Cummins, 1996. Giller and Malmqvist, 1998. Cummins and Klug, 1979. http://sherpaguides.com/georgia/barrier_islands/natural_history/ http://clipart.usscouts.org/library/US_Fish_and_Wildlife_Service/Amphibians/)

第四節 溪流粗顆粒有機碎屑收支模式

1. 垂直掉落的枯落物 (direct litter fall)

圖 21 顯示 2004 年冬季與春季垂直輸入溪流生態系統中的枯落物量，冬季以高山溪最高、有勝溪次之，七家灣溪則沿著上游往下游依序遞減，春季時七家灣溪中游一號壩垂直輸入枯落物量明顯增高，但兩季各測站間皆沒有顯著差異（圖 21、表 5）。組成成分也以高山溪枝條所佔比例最高（冬季 63.35%、春季 46.43%）、其次在冬季是有勝溪、春季則是新繁殖場，沿著七家灣溪主流枝條所佔比例則依序遞增，與總量呈現相反趨勢。葉片比例在冬季則依上游至下游次序遞減，春季有勝溪的葉片比例則與七家灣溪下游相當（圖 21）。「其他」包括植物的果實為主，間雜一些花瓣及禾草類的種子，少許在掉落的枝幹上附著生長的地衣，所佔比例則以新繁殖場最高、有勝溪次之，高山溪則最少，「其他」類的比例也有沿著七家灣溪由上至下游逐漸升高的趨勢。

表 5、各測站間垂直枯落物輸入量 ANOVA 變方分析表

	df	F value	P	Separation
冬季測站間	4	2.31	0.2583	ns
春季測站間	4	0.68	0.6260	ns

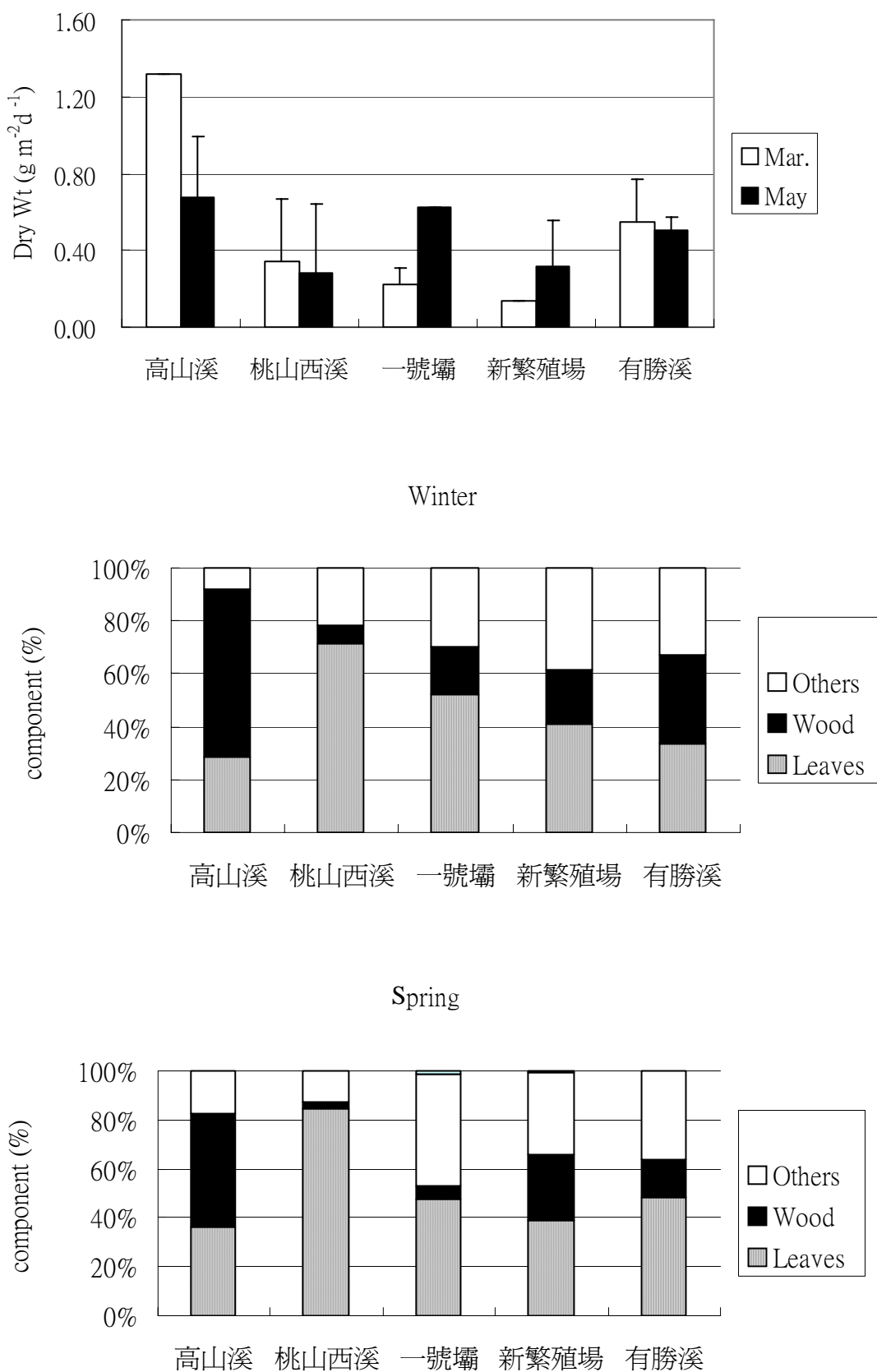


圖 21、各河段垂直掉落枯落物的日平均輸入量及組成

2. 側向輸入的枯落物 (lateral litter transport)

側向輸入溪流生態系統中的枯落物量，冬季以有勝溪最高、高山溪次之，七家灣溪主流則以上游的桃山西溪最高、其次是最下游的新繁殖場，觀魚臺上游的七家灣溪一號壩最低。春季則呈現主流中下游測站高於支流、七家灣溪上游最低，兩季各地點間並無呈現穩定相同的趨勢，各測站間沒有顯著差異（圖 22、表 6）；組成成份在冬季屬支流的有勝溪以禾草葉片為主，葉片比例與七家灣溪的一號壩、新繁殖場相近（圖 22，50.71~54.77%），七家灣溪上游的桃山西溪枝條組成比例與高山溪相近，佔約一半比例（54.27%，47.98%），桃山西溪的葉片組成比例則為各站最少（22.48%）。春季仍以高山溪的枝條比例最高（52.30%），桃山西溪的枝條則明顯比冬季減少，葉片比例則以有勝溪最高（69.82%），七家灣溪上、中游的葉片比例也都佔總量一半以上（53.33%，54.90%），高山溪則與新繁殖場葉片組成比例相近（35.26%，35.97%）；

表 6、各測站間側向枯落物輸入量 ANOVA 變方分析表

	df	F value	P	Separation
冬季測站間	4	0.88	0.5058	ns
春季測站間	4	0.89	0.4960	ns

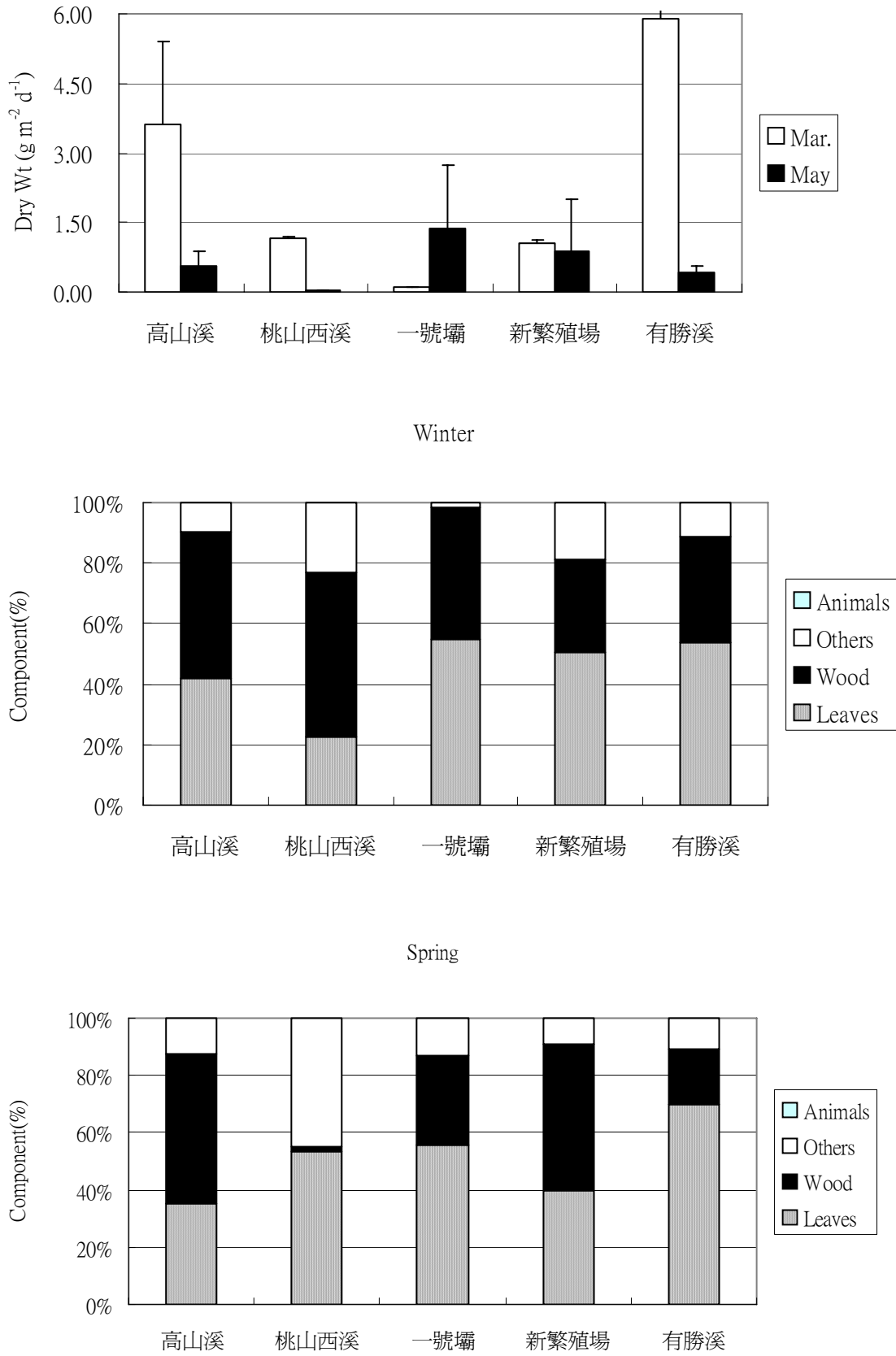


圖 22、各河段側向輸入枯落物的日平均輸入量及組成分析

3. 上游縱向輸入(transport)及縱向輸出至下游(transport downstream)的有機物

在 1/30-1/31 日取樣間隔 4 小時一次，連續 24 小時收集攔截到的有機物樣本，可以反映河內隨著河水縱向傳輸的粗顆粒有機碎屑傳輸量的一日間變化，以及各測站間的空間變異。日間變化高山溪、桃山西溪和新繁殖場的變化趨勢相似，以 1/31 下午的最後一個時段的傳輸量最高，七家灣溪一號壩的輸入輸出量皆無明顯變化，有勝溪的輸入和輸出量的日間變化呈現相反趨勢（圖 23）。縱向輸入量以高山溪最大，其次為七家灣溪一號壩、有勝溪，桃山西溪和新繁殖場的縱向輸入量最小；縱向輸出則以有勝溪最高，其次為高山溪，七家灣溪的一號壩、新繁殖場、桃山西溪縱向輸出量較低（圖 23）。

雙向變方分析的結果顯示縱向輸入的測站和時段兩因子有極顯著交互作用，顯示高山溪在 1/31 下午（時段 6）縱向輸入量顯著高於其他測站在其他時段的縱向輸入量；縱向輸出量則以有勝溪、高山溪顯著高於七家灣溪三測站，各時段間並沒有顯著差異（表 7）。

圖 10~19 顯示 1/30-1/31 日每 4 小時一個時段各測站河段縱向輸入、輸出的樣品組成。有勝溪、七家灣溪一號壩的縱向輸出大於輸入與樣品中包含大量水體中產生的藻類有關（圖 29，圖 33），另外，新繁殖場的縱向傳輸樣品中也包含一部分藻類。

將 1/30-1/31 日間隔 4 小時的取樣結果加總成一天的量，與 3/20-3/21、7/30 連續收集 24 小時攔截到的有機物樣本進行各測站間比較，空間變化上不論是縱向輸入量或輸出量皆以高山溪測站顯著高於其他測站（圖 34，表 8），新繁殖場和有勝溪、桃山西溪、一號壩的縱向輸入量皆相近，輸出量卻隨季節不同各站皆有些許消長變異，時間變化則皆以冬季一月份的縱向傳輸量顯著高於其他測站；圖 35 則顯示各測站在春、夏季 24 小時內攔截到的縱向傳輸樣品組成，與冬季採集的樣品組成明顯不同，在 1/30-1/31 七家灣溪一號壩、新繁殖場樣品中佔相當大比例的藻類，被大量水生的苔類碎屑所取代（3/20 併入「其他」類中、5/29、7/30 則獨立另計）。

縱向傳輸每日平均傳輸量以三月和五月最為接近，七月份因敏督利颱風引進強大西南氣流形成暴雨，導致各測站縱向傳輸總量大，但經較大流量稀釋後在圖 34 中反而看不出與其他月份有顯著差異，但 7/30 各測站的葉片組成比例明顯高於其他月份（輸入 59-77%、輸出 45-84%），樣品中的葉片尺寸也較其他月份大且完整。

表 7、1/30-1/31 日取樣間隔 4 小時各測站河內縱向傳輸量 ANOVA 變方分析表

	df	F value	P	Separation
輸入測站間	4	15.90	<0.0001***	
時段間	5	7.51	<0.0001***	<u>6</u> <u>5123</u>
測站*時段	20	4.91	<0.0001***	<u>交互作用顯著</u>
輸出測站間	4	5.72	0.0006***	<u>有高</u> <u>觀繁桃</u>
時段間	5	1.20	0.3195	
測站*時段	20	0.84	0.6591	

表 8、比較 1/30、3/20、7/30 連續收集 24 小時各測站間河內縱向傳輸量 ANOVA 變方分析表

	df	F value	P	Separation
輸入測站間	4	12.97	<0.0001***	高 繁有一桃
日期間	2	27.07	<0.0001***	<u>1/30</u> <u>3/20</u> <u>7/30</u>
測站*時段	8	7.06	<0.0001***	<u>交互作用顯著</u>
輸出測站間	4	2.88	0.0394*	高有一繁桃
日期間	2	20.89	<0.0001***	<u>1/30</u> <u>3/20</u> <u>7/30</u>
測站*時段	8	2.20	0.0563	

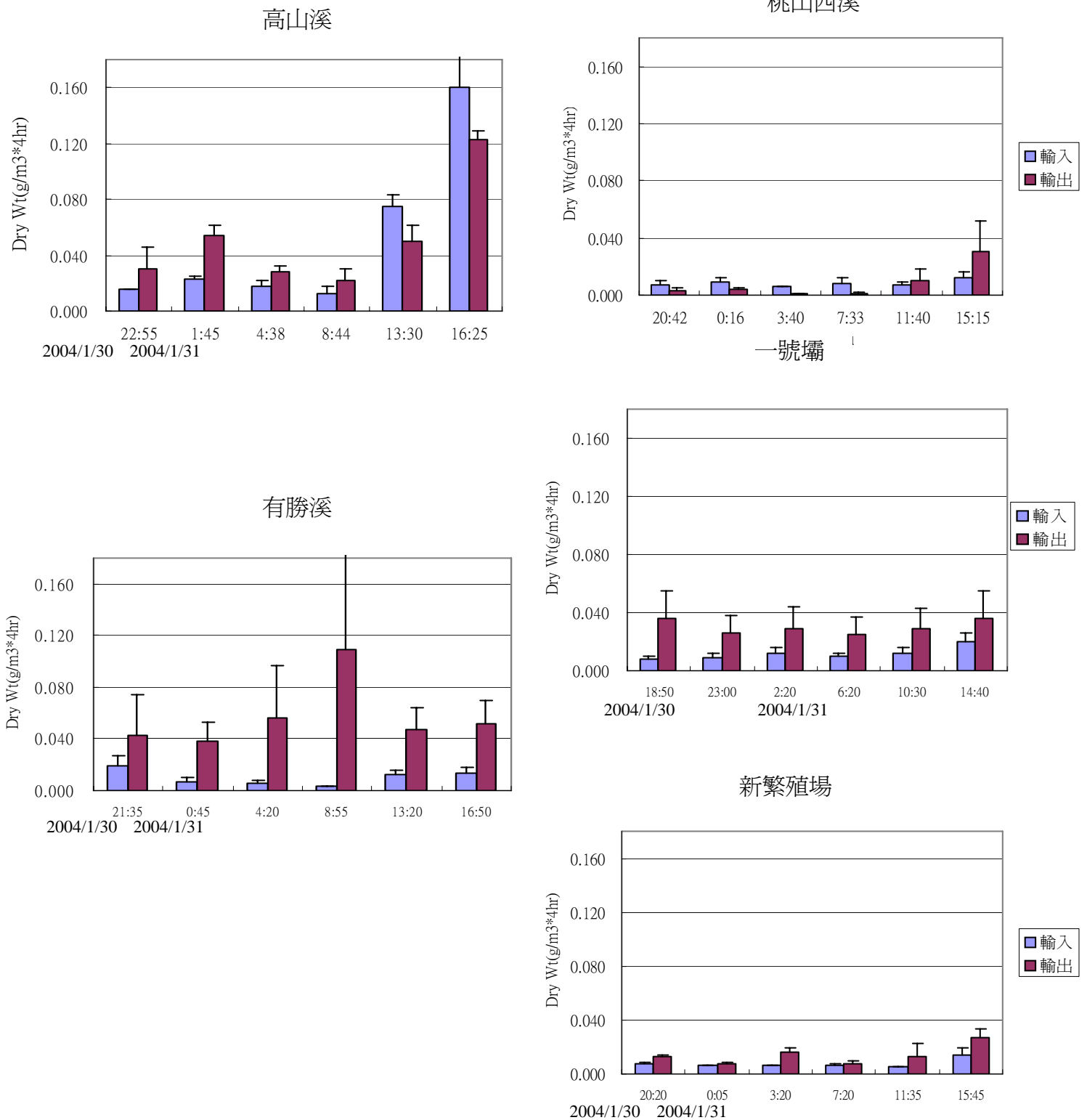


圖 23、各河段 1/30-1/31 每 4 小時河內縱向傳輸枯落物的平均輸入、輸出量

武陵地區環境生態模式可行性研究

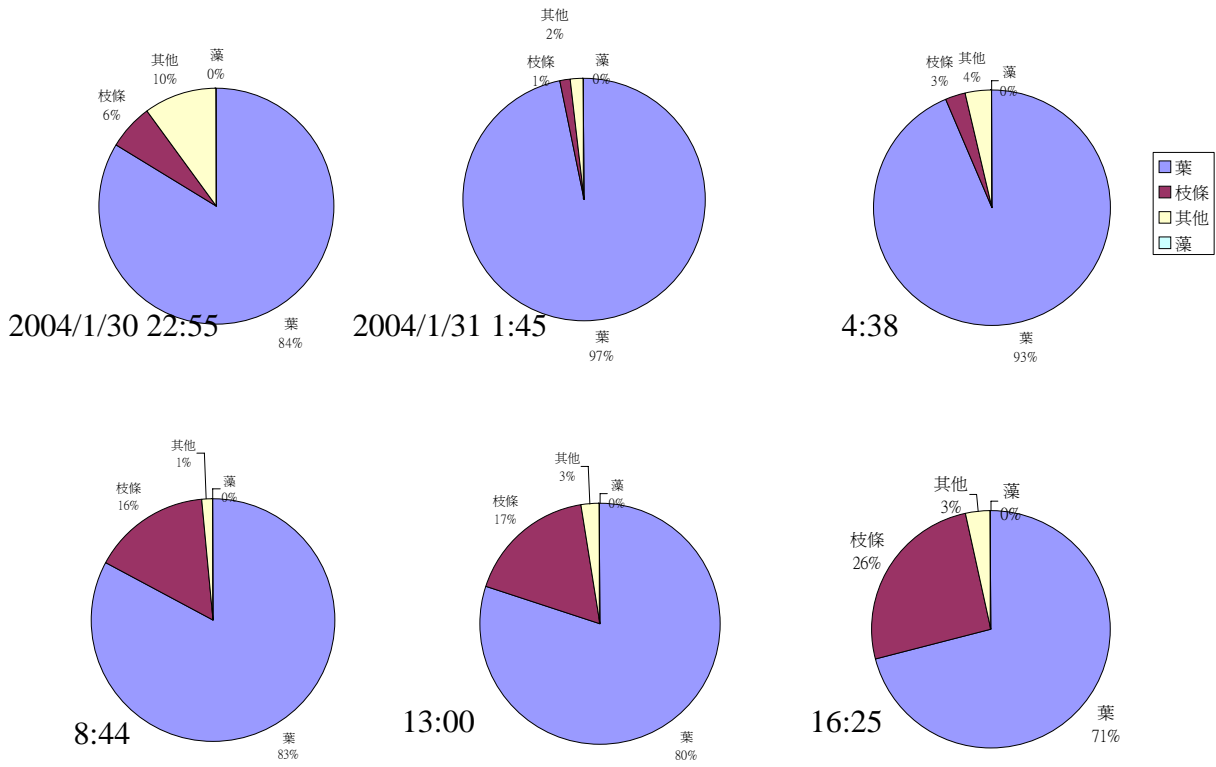


圖 24、高山溪 1/30-1/31 每 4 小時河內縱向輸入枯落物的組成分析

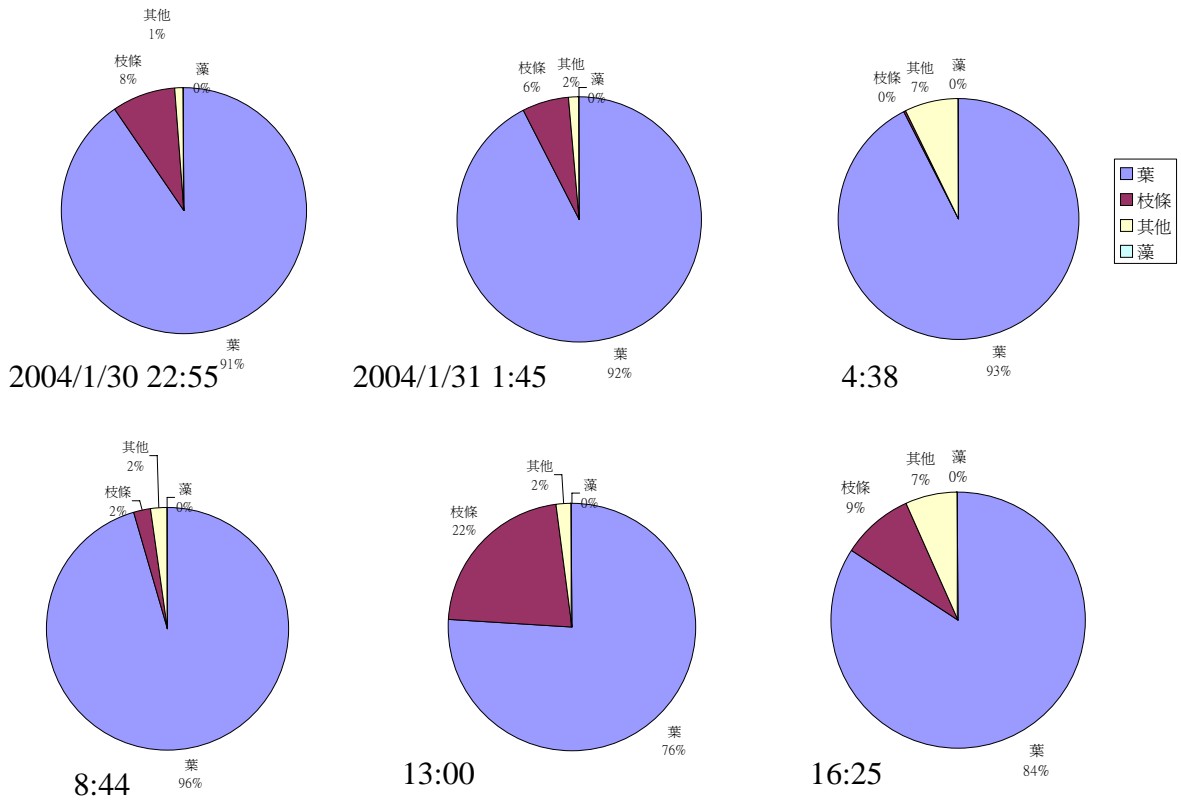


圖 25、高山溪 1/30-1/31 每 4 小時河內縱向輸出枯落物的組成分析

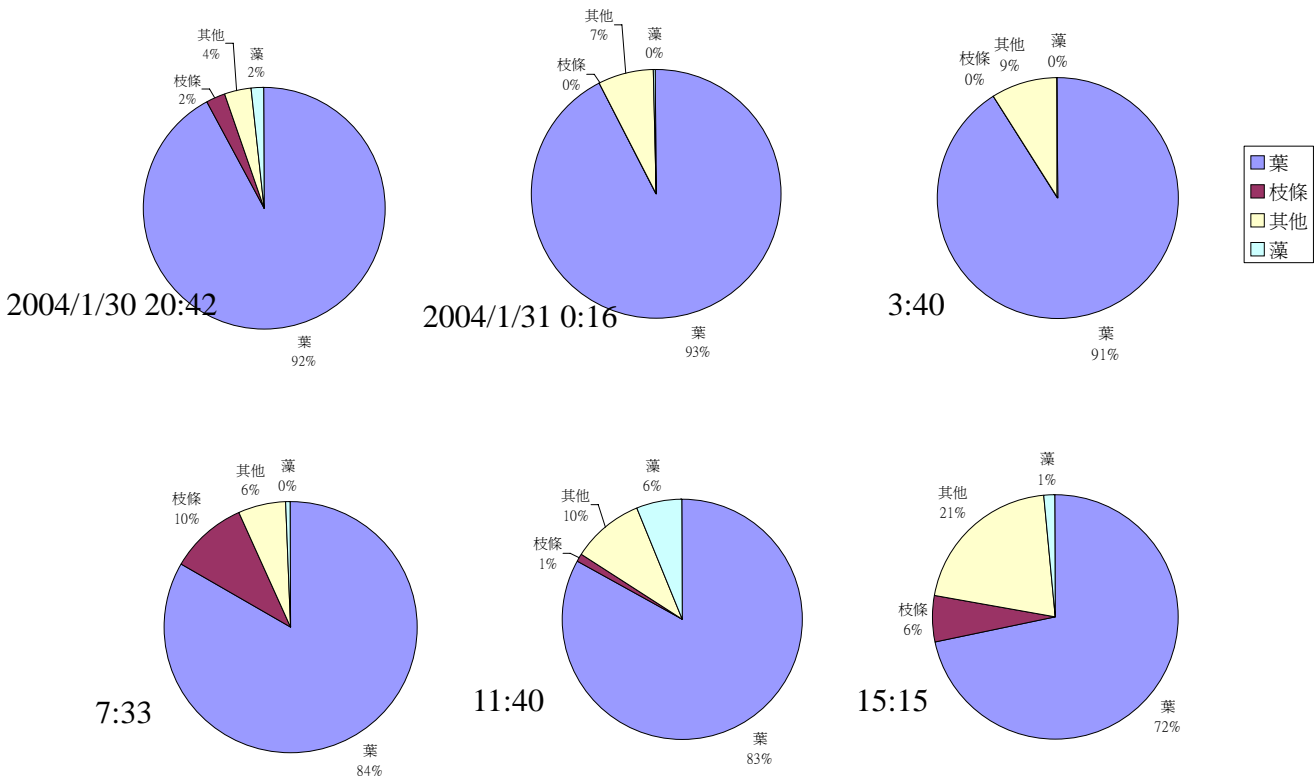


圖 26、桃山西溪 1/30-1/31 每 4 小時河內縱向輸入枯落物的組成分析

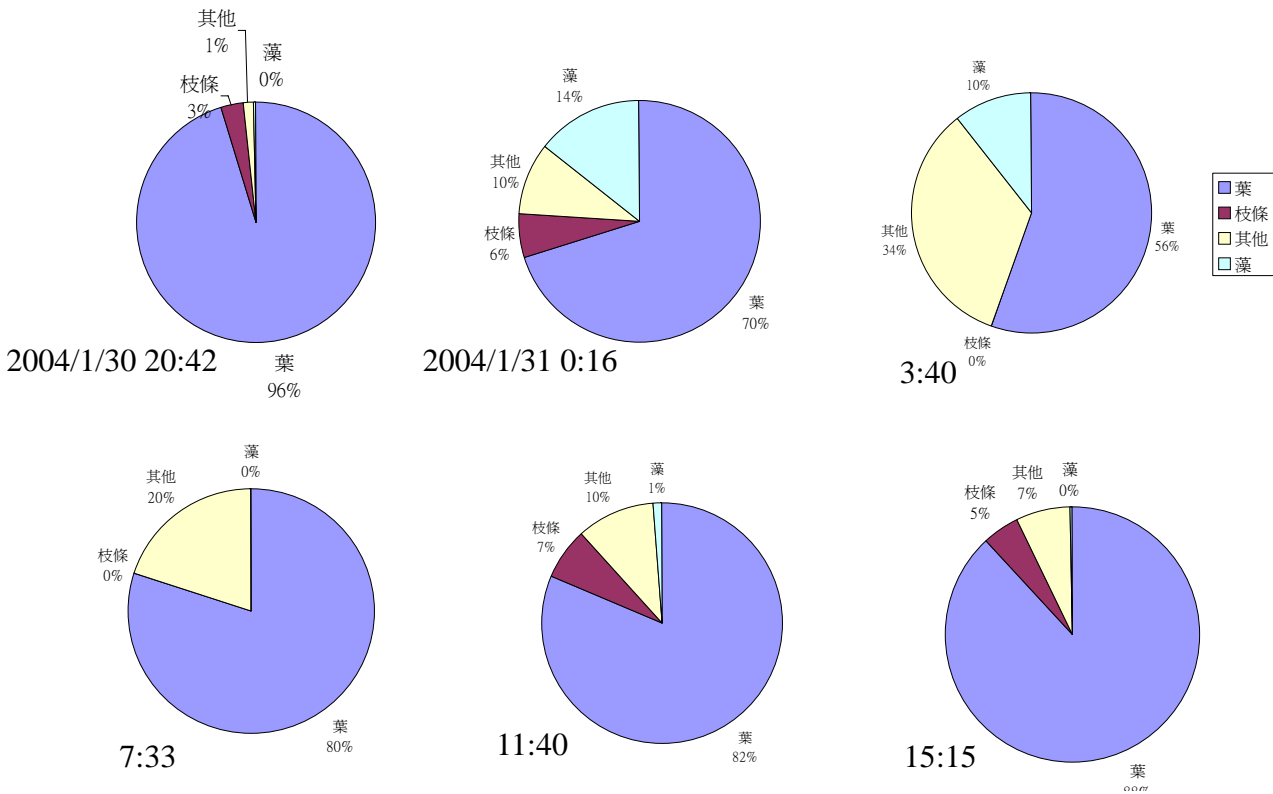


圖 27、桃山西溪 1/30-1/31 每 4 小時河內縱向輸出枯落物的組成分析

武陵地區環境生態模式可行性研究

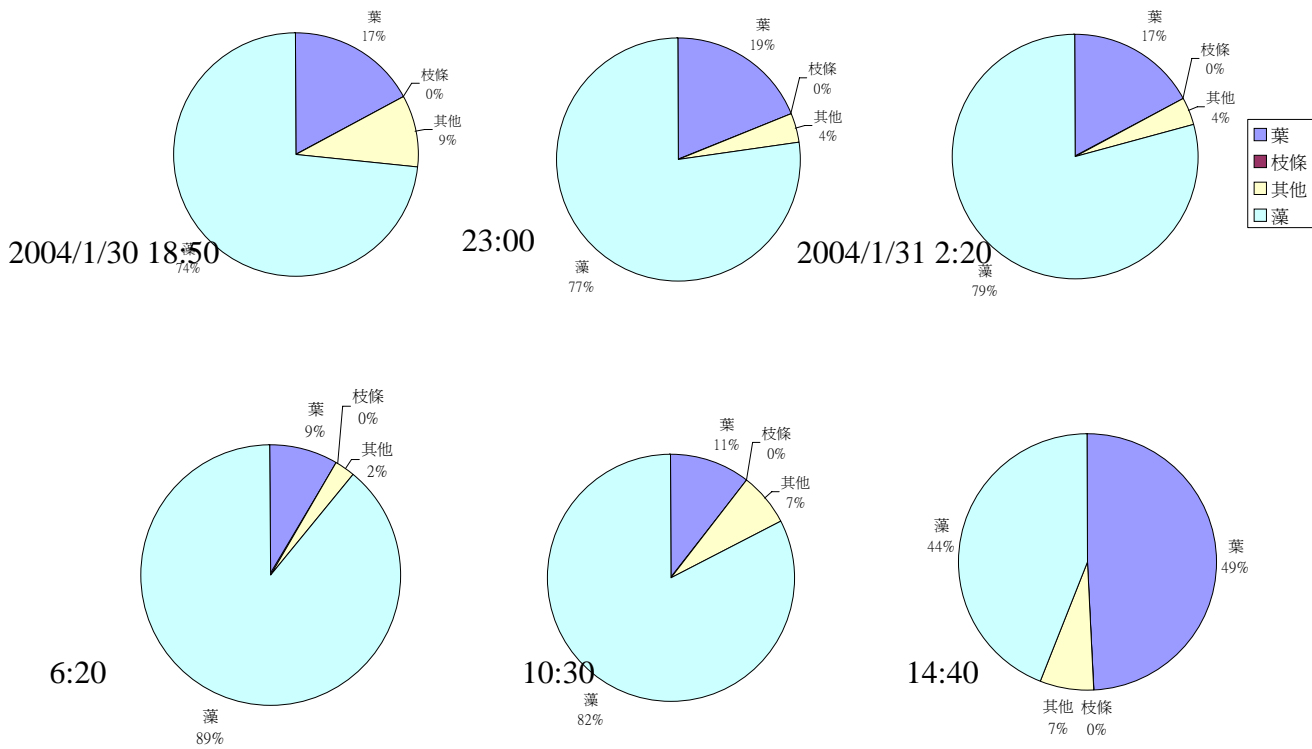


圖 28、七家灣溪一號壩 1/30-1/31 每 4 小時河內縱向輸入枯落物的組成分析

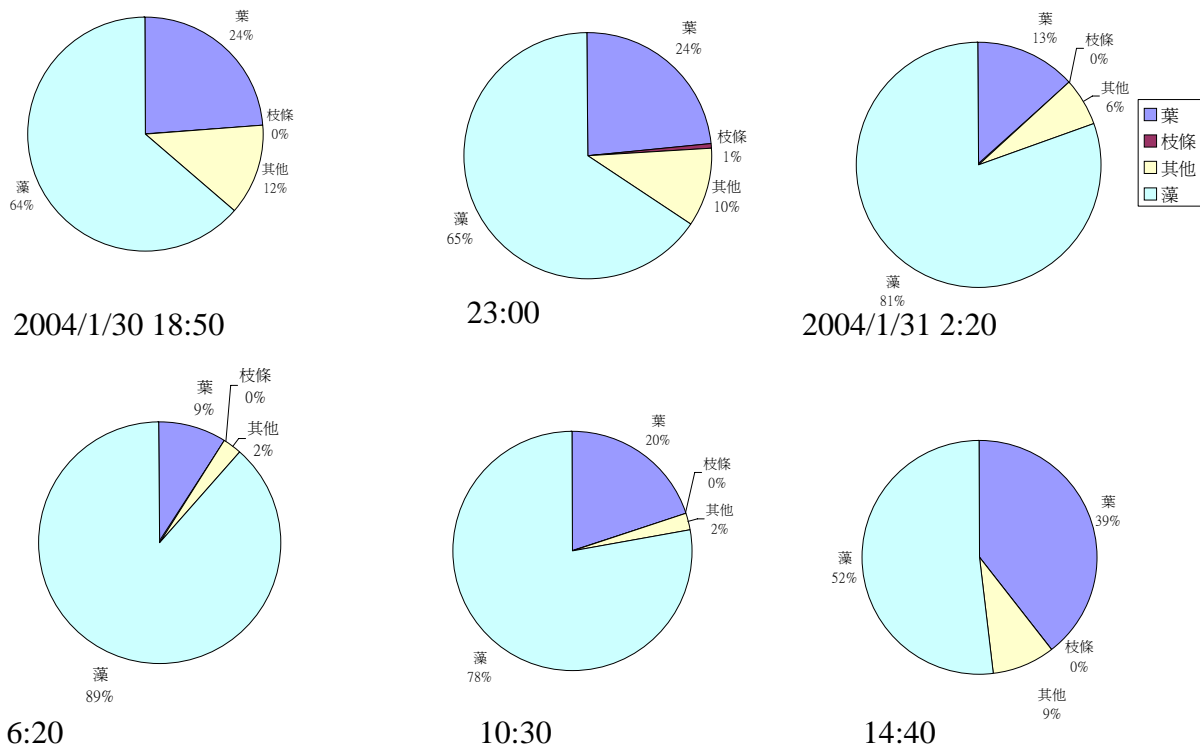


圖 29、七家灣溪一號壩 1/30-1/31 每 4 小時河內縱向輸出枯落物的組成分析

武陵地區環境生態模式可行性研究

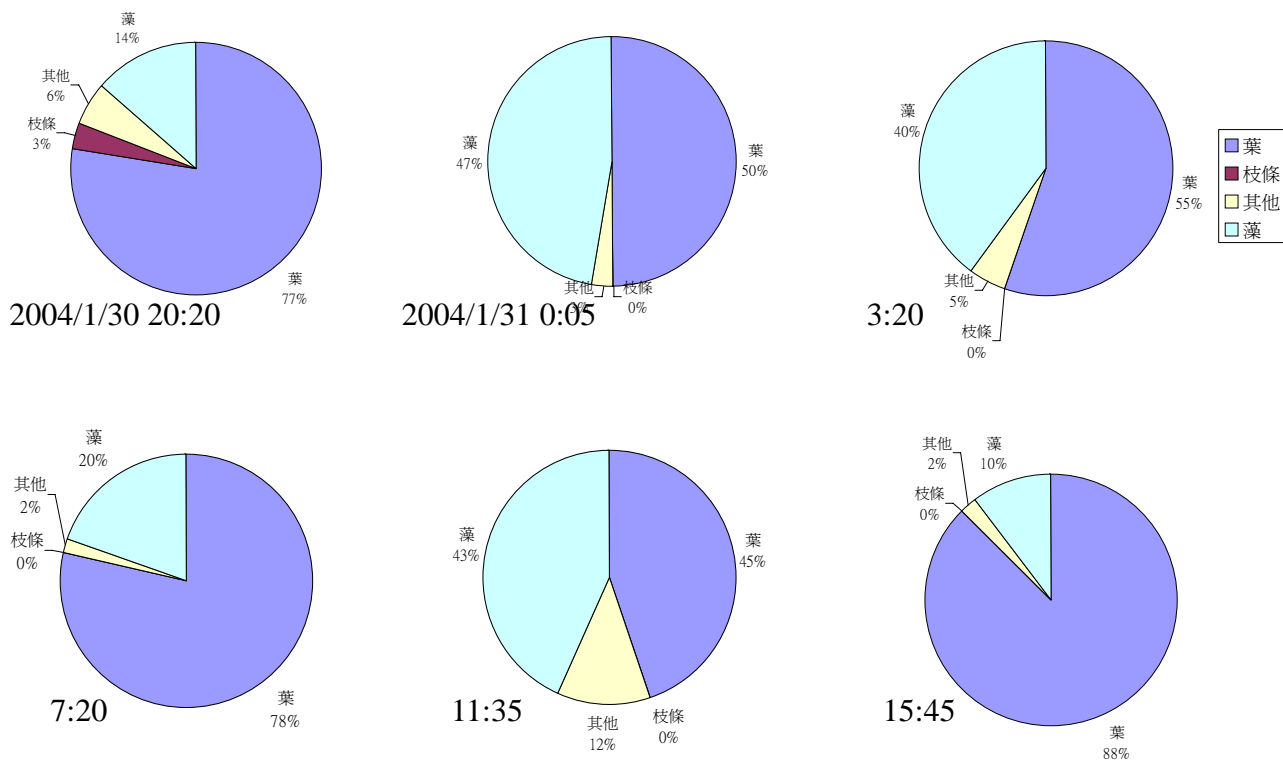


圖 30、新繁殖場 1/30-1/31 每 4 小時河內縱向輸入枯落物的組成分析

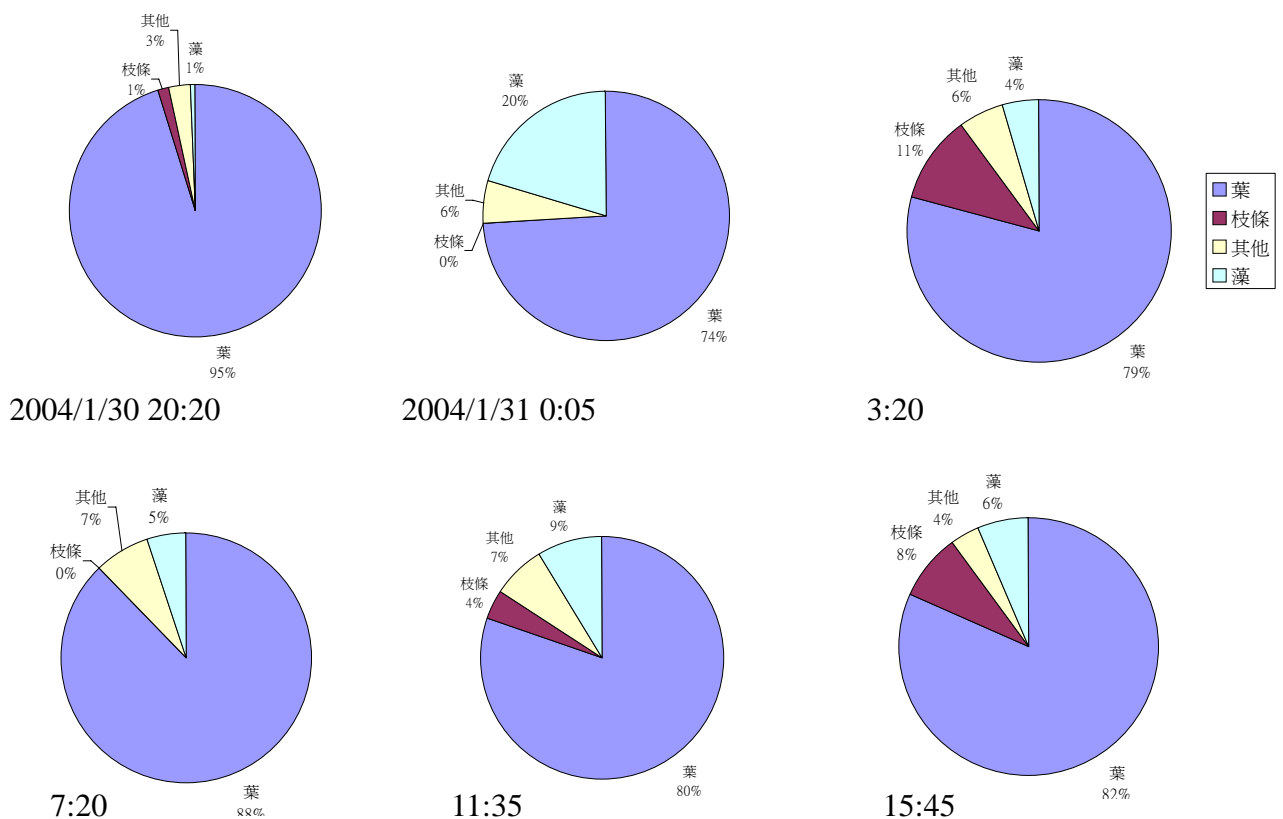


圖 31、新繁殖場 1/30-1/31 每 4 小時河內縱向輸出枯落物的組成分析

武陵地區環境生態模式可行性研究

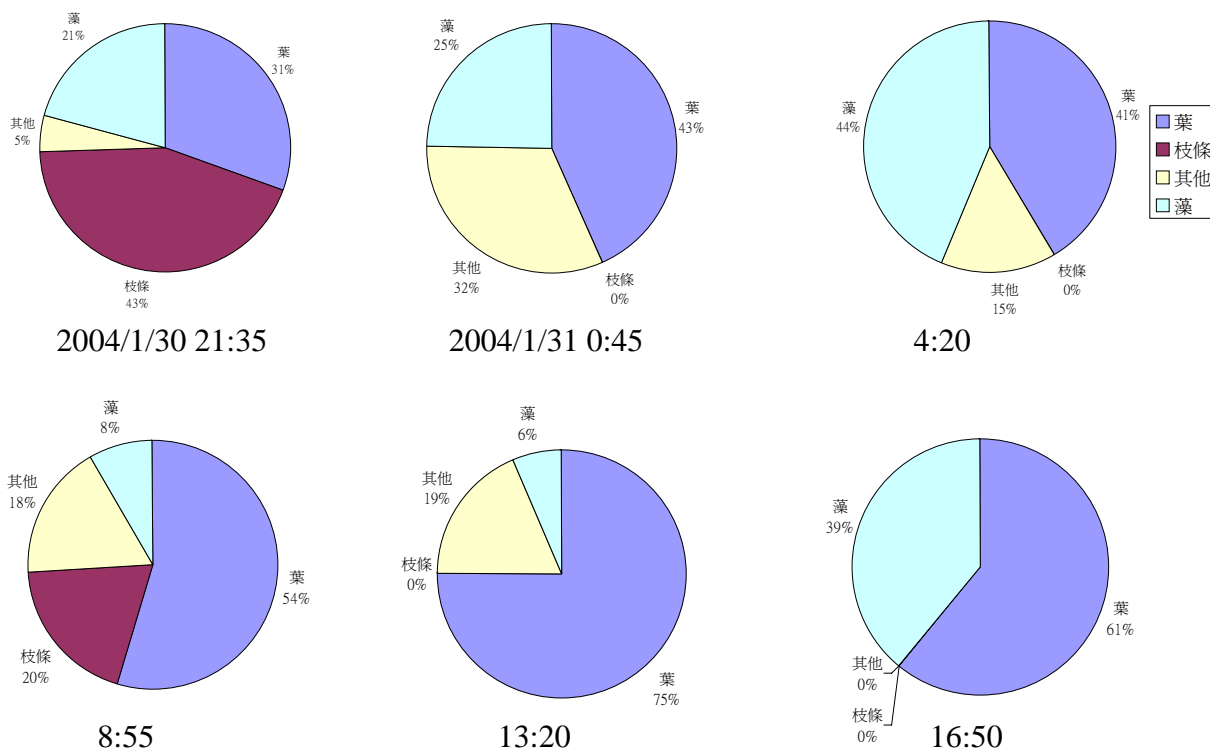


圖 32、有勝溪 1/30-1/31 每 4 小時河內縱向輸入枯落物的組成分析

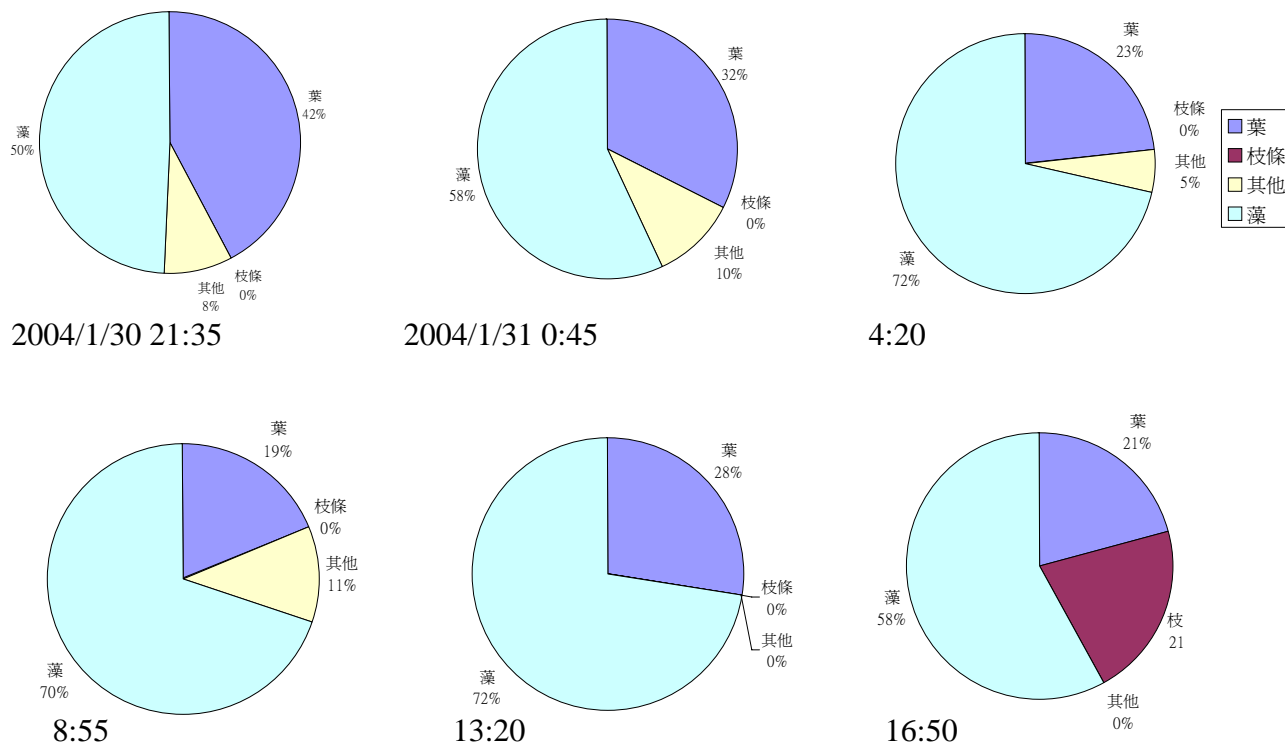
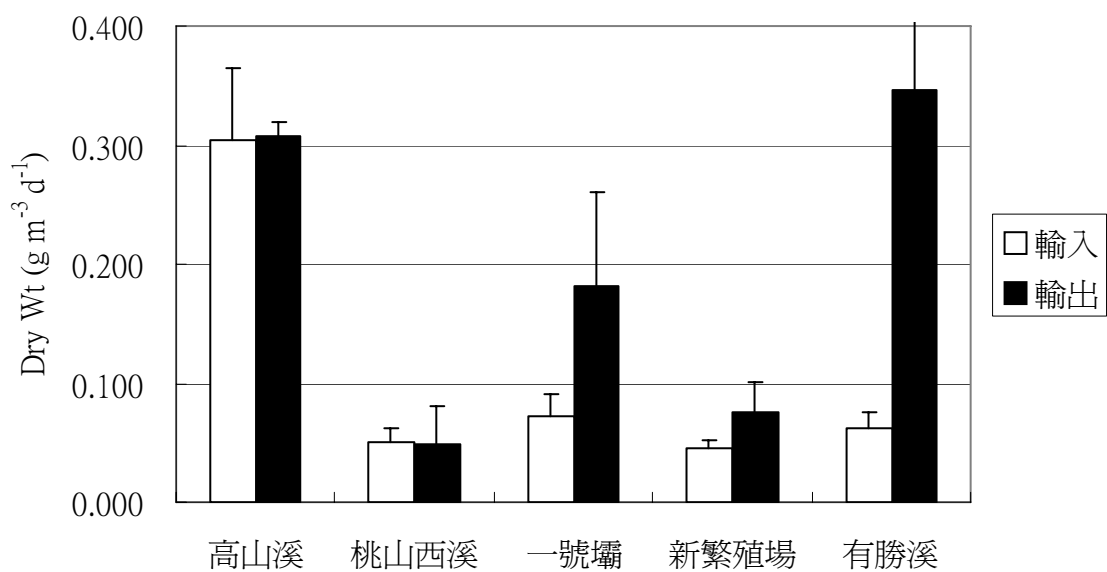
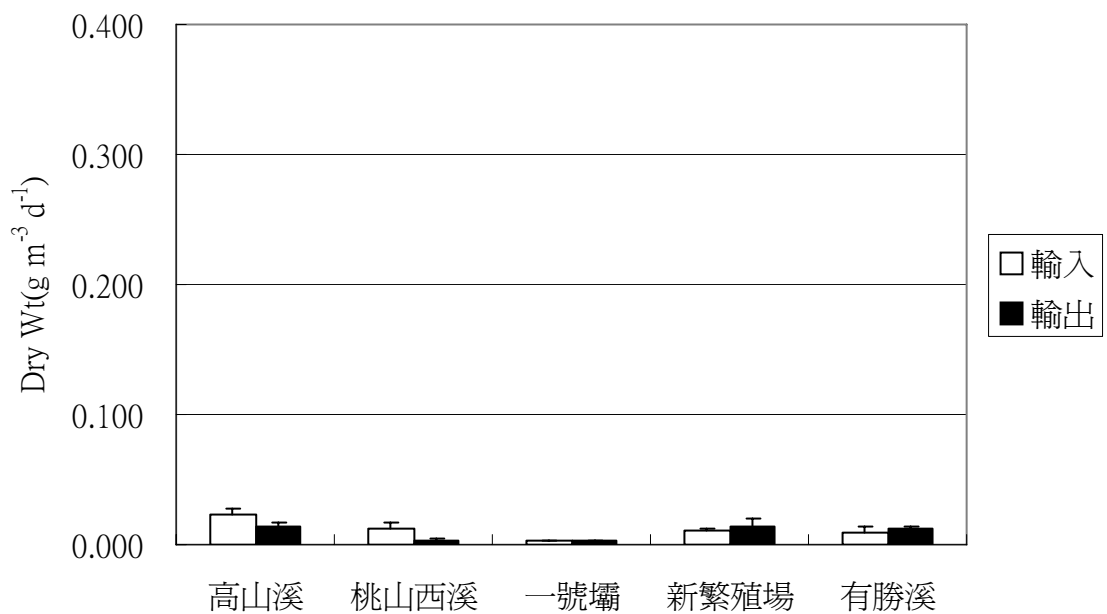


圖 33、有勝溪 1/30-1/31 每 4 小時河內縱向輸出枯落物的組成分析

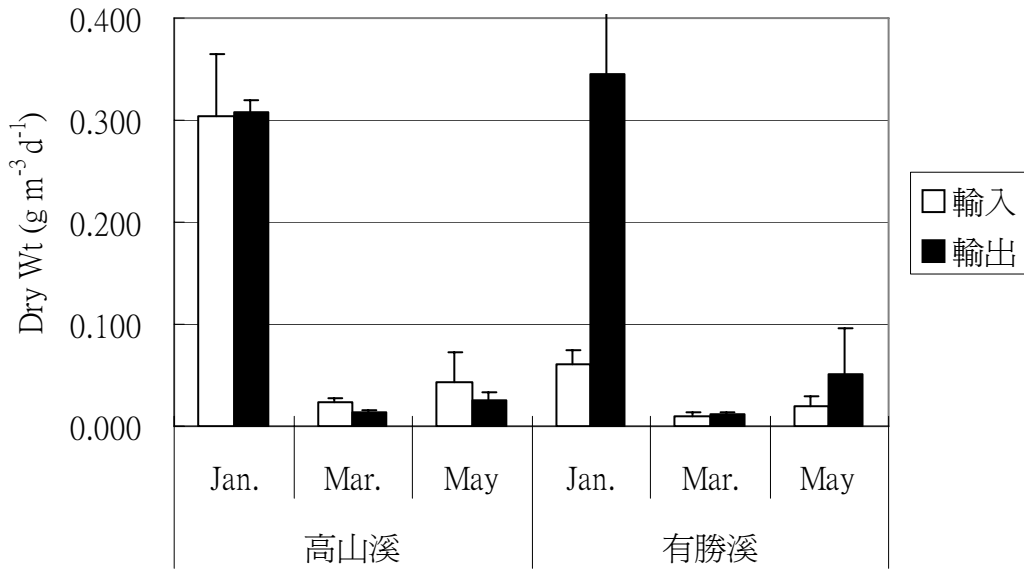
1/31 縱向傳輸



3/20 縱向傳輸



一,三,五月縱向傳輸比較



7/30 縱向輸入

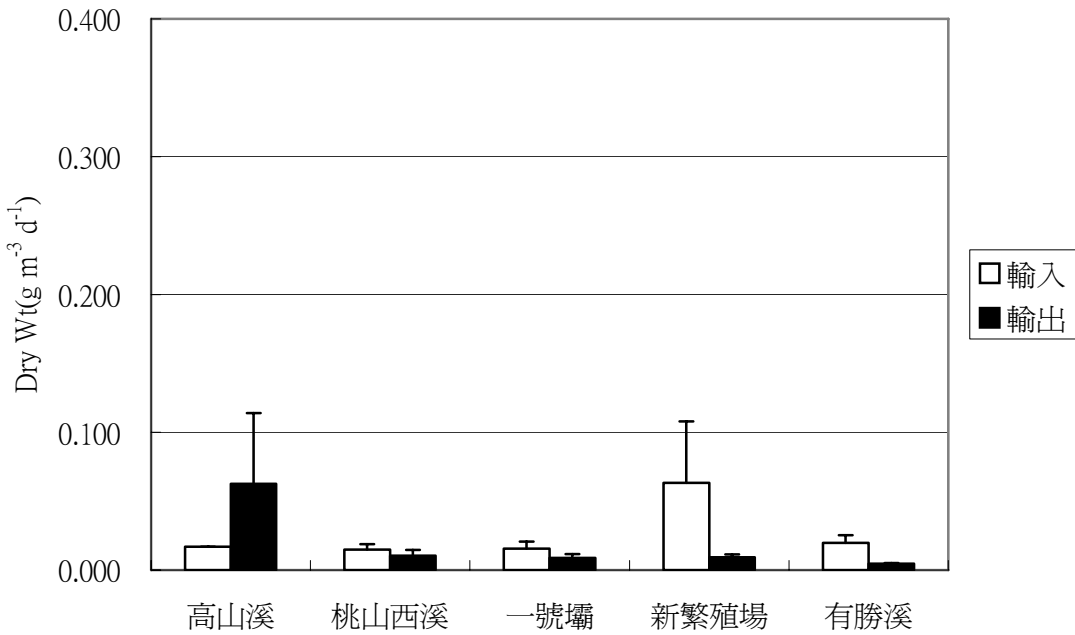
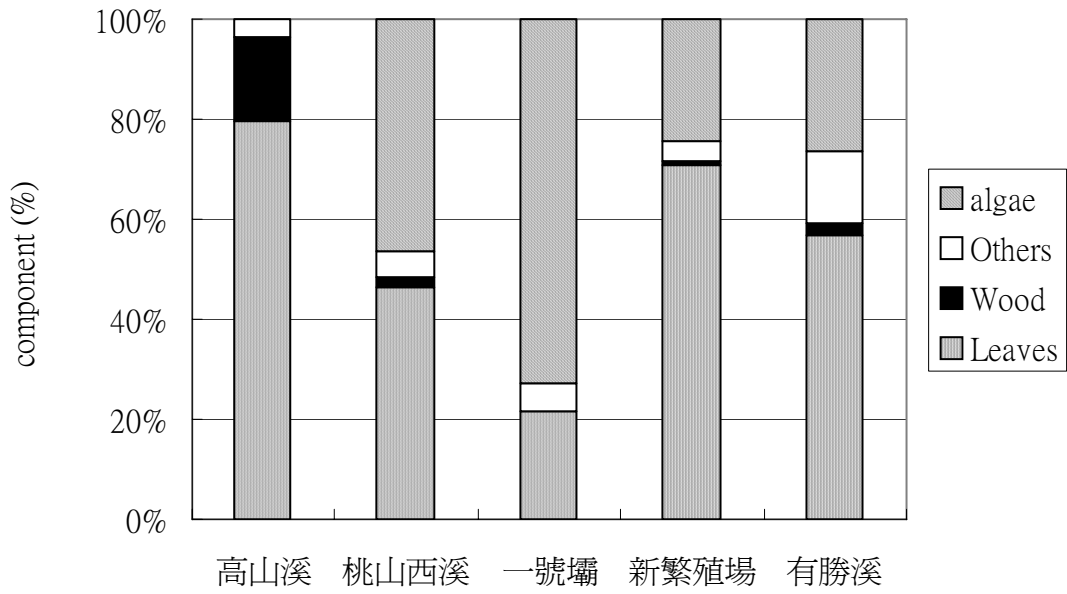
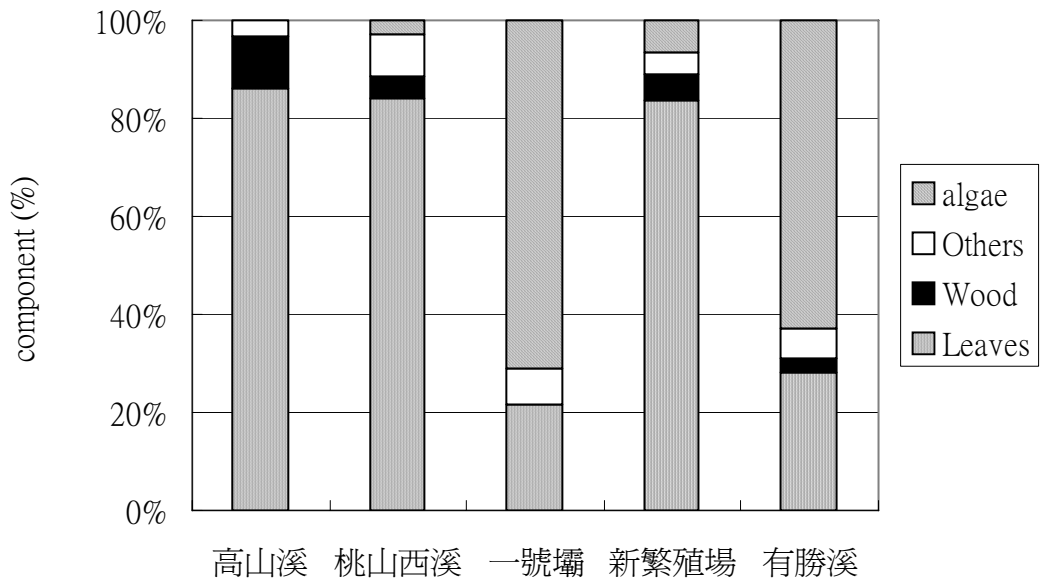


圖 34、各採樣季節各河段河內 24 小時縱向傳輸枯落物的平均輸入、輸出量

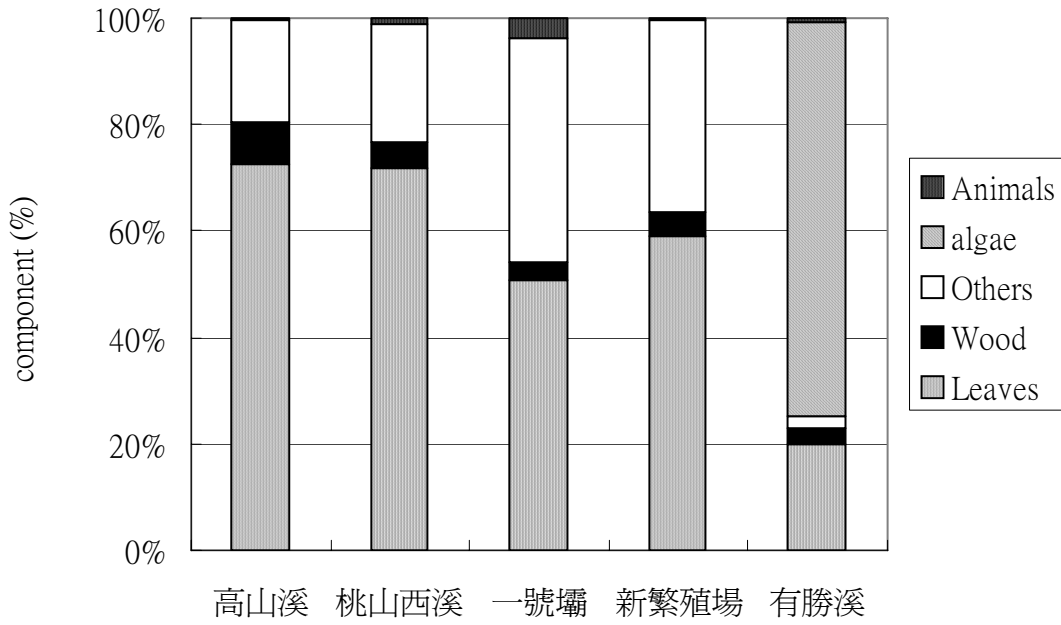
1/30 縱向輸入



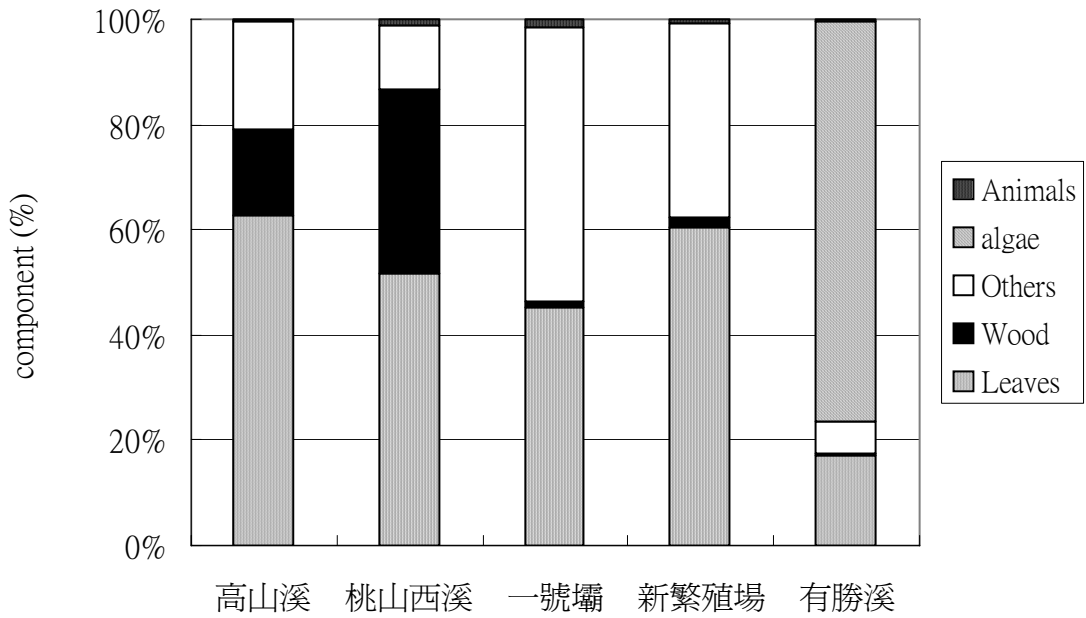
1/30 縱向輸出



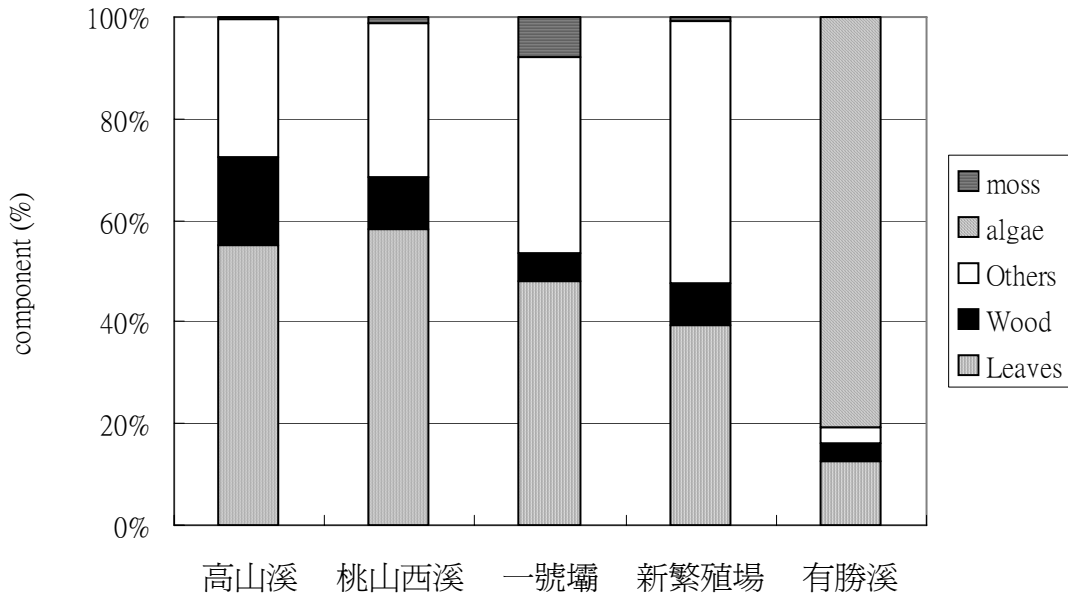
3/20 縱向輸入



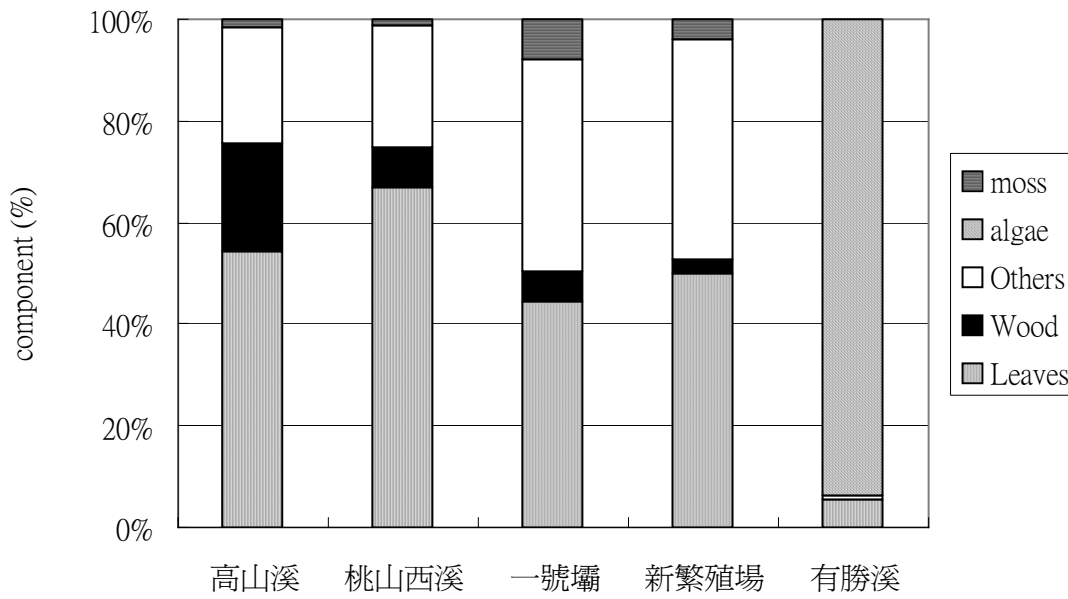
3/20 縱向輸出



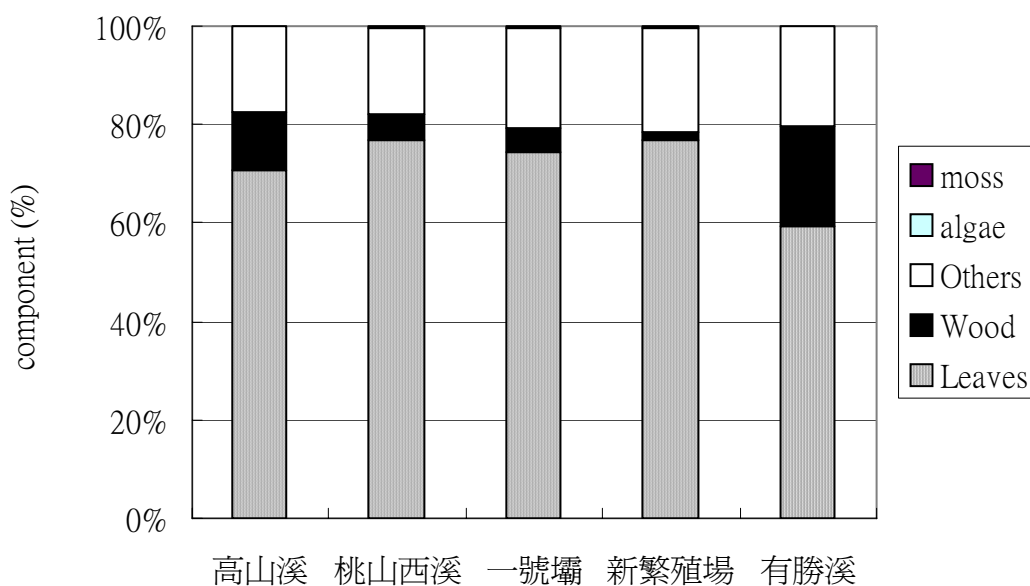
5/29 縱向輸入



5/29 縱向輸出



7/30 縱向輸入



7/30 縱向輸出

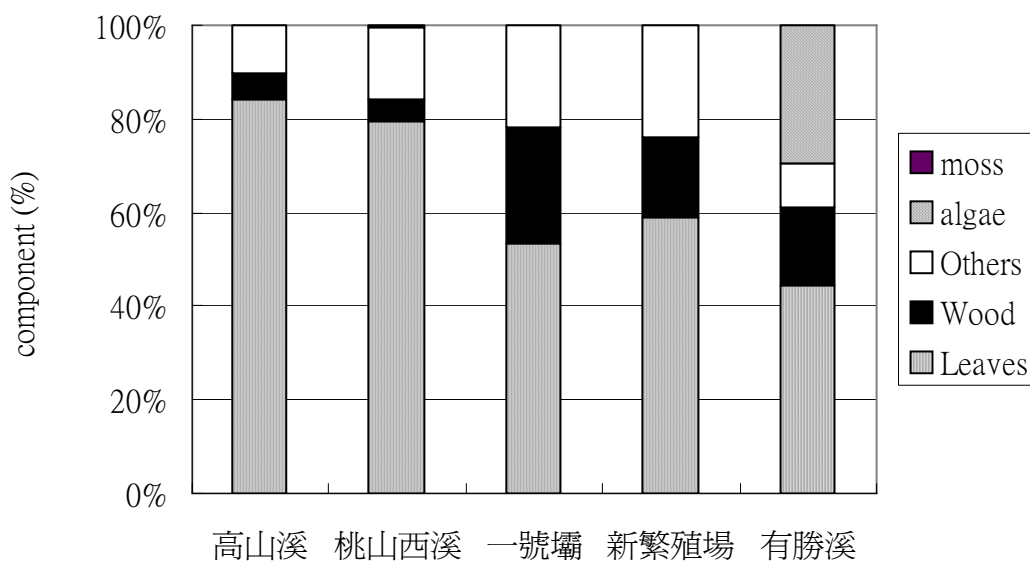
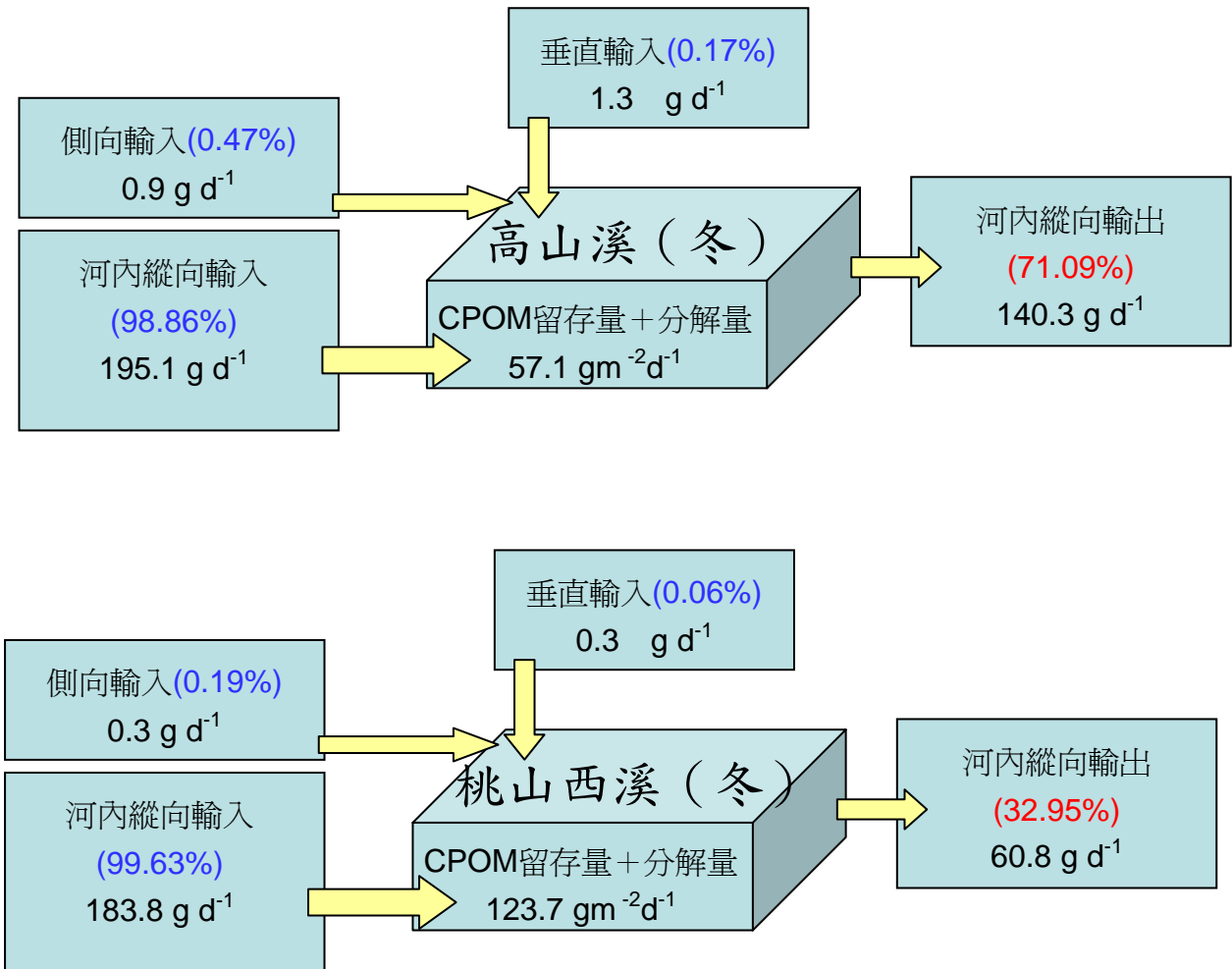


圖 35、各採樣季節各測站河段河內每天縱向傳輸枯落物的組成分析

4. 各測站河段粗顆粒有機碎屑總收支量估算

將 4/5 所採樣得之冬季垂直掉落輸入、側向輸入碎屑量，3/20-3/21 所得之縱向輸入、輸出之碎屑量，以及 5/29 所採集之春季垂直掉落輸入、側向輸入、縱向輸入、輸出之碎屑量分別經過單位面積、單位時間標準化後統一為 $gm^{-2}d^{-1}$ 單位後，假設各別取樣河段為平衡系統（總輸入量等於總輸出量），其標準單位大小為 $1m \times 1m \times$ 平均河深之水體，計算系統總輸入量，減去縱向輸出量可得粗顆粒有機碎屑的留存量加上在系統內的分解量。將其繪成各測站河段粗顆粒有機碎屑總收支示意圖（圖 36、37），分別表示出各溪流系統中垂直輸入、側向輸入及河內縱向輸入佔總輸入量的百分比；100%減去河內縱向輸出佔總輸入量的百分比，即可明白表示出系統內留存和分解量佔總傳輸量的百分比。可得知冬季高山溪粗顆粒有機碎屑的留存和分解量佔總傳輸量的 28.91%、桃山西溪佔 67.05%、七家灣溪一號壩佔 13.84%、新繁殖場佔 10.24%、有勝溪佔 5.03%。春季高山溪粗顆粒有機碎屑的留存和分解量佔總傳輸量的 24.27%、桃山西溪佔 11.65%、新繁殖場佔 29.46%，七家灣溪一號壩和有勝溪總輸出量大於總輸入量，得到碎屑留存量淨輸出佔總傳輸量的 22.75%、36.8%。



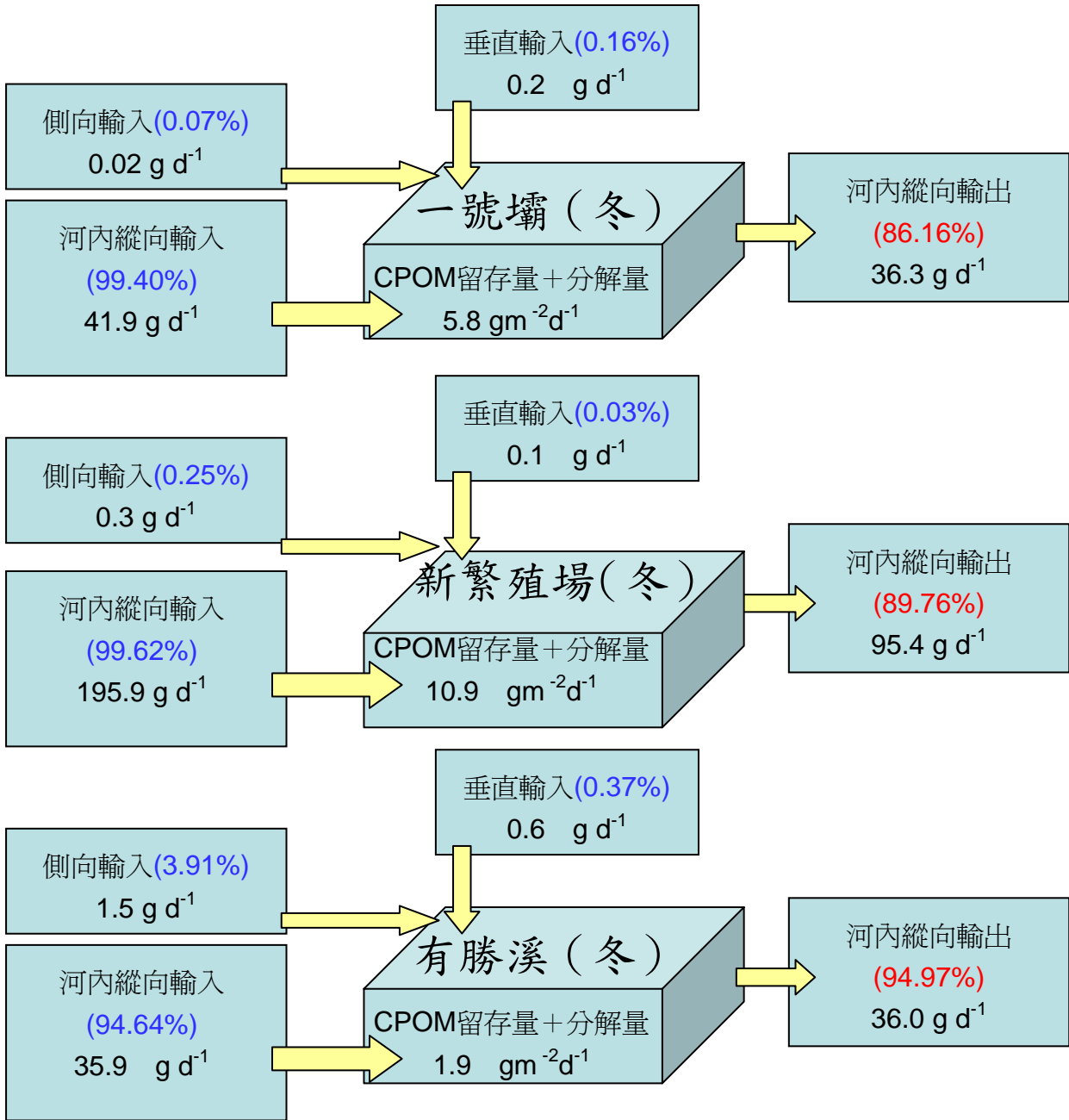
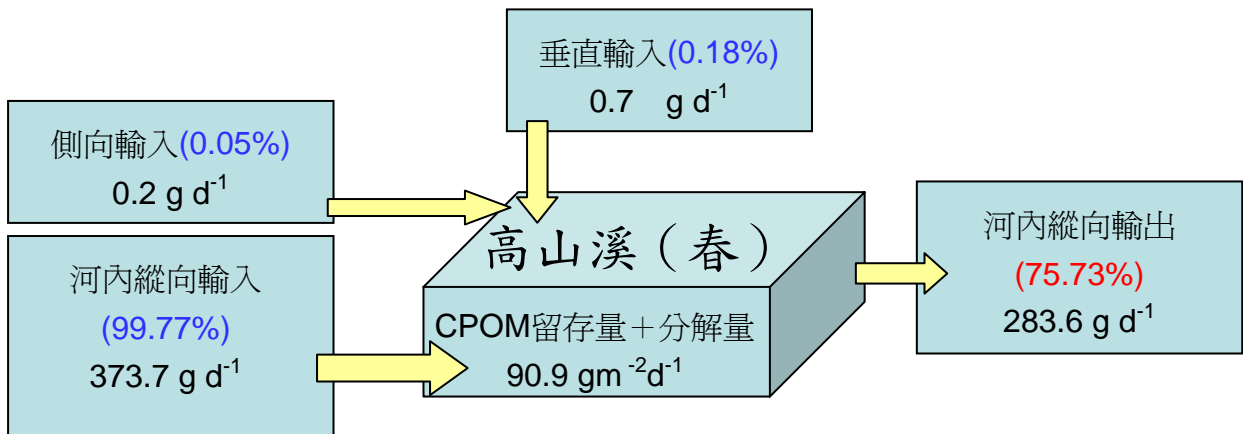


圖 36、冬季各測站河段粗顆粒有機碎屑總收支示意圖



武陵地區環境生態模式可行性研究

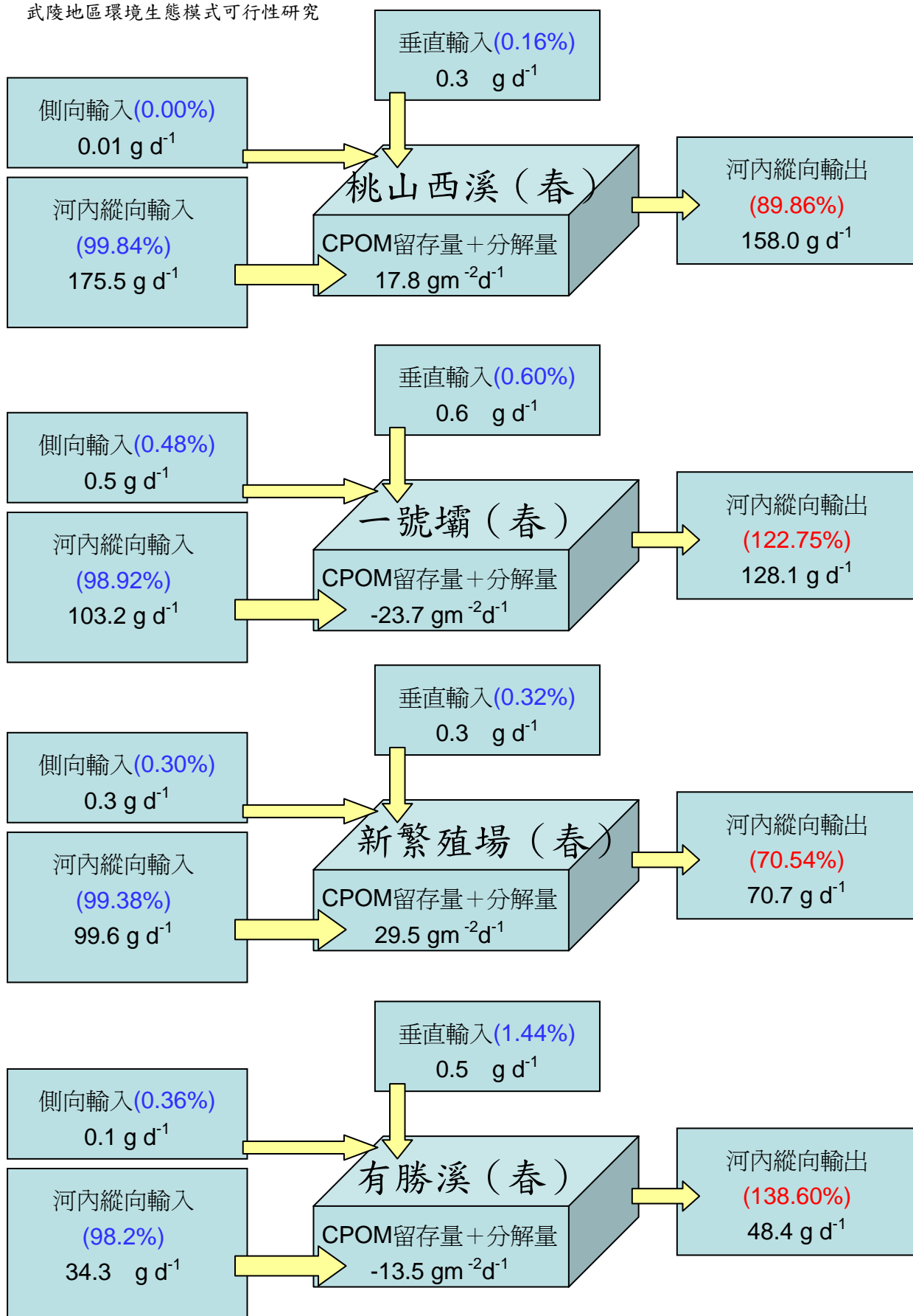


圖 37、春季各測站河段粗顆粒有機碎屑總收支示意圖

第四章、討論

依據生態系模式模擬所得之生態系食物網絡圖（圖 20），可以清楚指出各種生物在溪流食物網中所扮演的角色（利用哪些資源，又被哪些生物所利用？）和不同生物類群之間的交互作用關係。舉例來說，EE 值（Ecotrophic efficiency，生態效率）高的生物類群表示在食物網中被利用的效率較高（表 2），藉此可以將所有生物類群加以整合分析，讓生態系特質由經由考慮到各生物群間複雜的交互作用關係顯現出來，提供管理者具體量化的參考依據。

為了解溪流生態系之能量來源和物質傳輸路徑，本研究量測武陵地區各溪流系統的粗顆粒有機碎屑傳輸量及組成成份，結果顯示武陵地區各溪流系統皆以河中縱向輸入為最主要的碎屑來源（94.64~99.77%，圖 36、37），其中又以高山溪的總傳輸量最高（冬季 $197 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ 、春季 $374.5 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ ），桃山西溪在冬季有最高的系統內留存量及分解量（ $124 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ ），春季則是高山溪最高（ $90.9 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ ），此外，系統內碎屑的留存及分解比例在冬季時有由上游至下游逐漸遞減的趨勢，此趨勢推測可能由一個或多個依上游到下游逐漸變化的環境因子所造成（如沿岸植被覆蓋度、植被種類、流速等等），但此趨勢在春季則不明顯，顯示粗顆粒有機碎屑在溪流生態系的傳輸情形有明顯的季節變化，且不同季節可能同環境因子作用所影響。

將武陵地區各溪流系統的粗顆粒有機碎屑收支情形與福山試驗林之哈盆溪作比較（彭，1999），哈盆溪河段內留存及分解比例為 35.8%，與武陵地區之高山溪的留存分解比例最接近（28.91%），但是每年的總傳輸量（ $763 \text{ gm}^{-2}\text{yr}^{-1}$ ）卻遠低於武陵地區任一河段（ $13840\sim 72040 \text{ gm}^{-2}\text{yr}^{-1}$ ），此結果與武陵地區流域之縱向輸入與輸出量皆遠高於哈盆溪有關，原因可能是針對縱向輸入與輸出的取樣和估測方式不同所致。

採樣期間遭遇兩次風災（七二水災及艾莉颱風），以致缺乏夏季垂直和側向輸入的數據，使得粗顆粒有機碎屑收支平衡缺乏夏季資料，未來將近一步將秋季幾次風災後的縱向傳輸數據和風災前資料做比對，以分析颱風暴雨對粗顆粒有機碎屑收支的影響。

截至目前為止側向輸入的數據變異仍相當大，顯示仍有進一步改良取樣方法的空間。未來將增加監測溪流底層的顆粒態有機碎屑量，與目前的粗顆粒有機碎屑收支資料相互印證，幫助釐清環境因子與顆粒態有機碎屑間的關係。

武陵地區溪流生態系中粗顆粒態有機碎屑的收支情形，可能和陸域生態系統的季節性物候變化、和溪流生態系統本身的各生物群和環境因子的季節性變動有關，這些量化的空間和時間的變異情形，都是將來進一步架構、模擬武陵地區溪流生態系模式時不可或缺的參考資料。

本研究所架構之不同尺度生態系模式，分別適用於解決不同層次的生態問題。欲解決單一物種的問題如針對櫻花鉤吻鮭的棲地選擇，就適用魚尺度生態系模式；如欲探究大規模的人為土地利用對生態系統的影響，就適用大尺度生態系模式。若各層次生態系模式架構完全，將有助於管理者宏觀透視整個生態系統，作為最適當的管理策略參考。

第五章、建議亟需研究項目

1. 建構武陵地區溪流生態系模式，目前仍缺乏動物性浮游生物的單位生產量、攝食量及食性組成的資料。
2. 關於櫻花鉤吻鮭、台灣鏟頰魚及台灣纓口鰍的單位生產量及攝食量的參考數據，初步依據世界魚類資料庫（fish base）中所列的公式換算而來，仍缺乏實測資料；
3. 櫻花鉤吻鮭之食性資料也以引述上野氏在1937年解剖之11尾櫻花鉤吻鮭胃內含物含量資料為主（表4之k），缺乏近年研究資料。

第六章、參考文獻

- 上野益三。1937。台灣大甲溪の鱒の食性と寄生蟲。台灣博物會報 27。153~159 頁。
- 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。台中縣。185 頁。
- 林幸助、謝莉顯。2002。武陵地區生態系監測與模式建構規劃。內政部營建署雪霸國家公園管理處九十一年度研究報告。13、19 頁。
- 孫元勳。2003。櫻花鉤吻鮭天敵之研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處九十二年研究報告。10、11 頁。
- 郭美華。2003。武陵地區水生昆蟲研究(二)。內政部營建署雪霸國家公園管理處九十二年研究報告。21、22 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。
- 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研究報告。34 頁。
- 曾晴賢。2003。櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查(六)。雪霸國家公園九十二年度保育研究計畫期末簡報暨成果發表會摘要集。44、45 頁。
- 彭楨惠。1999。哈盆溪粗顆粒有機物之收支研究。國立台灣大學森林學研究所資源保育組碩士論文。13~20 頁。
- 楊平世、林曜松。1986。櫻花鉤吻鮭 (*Oncorhynchus formosanus*, Jordan & Oshima) 之食性。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。16~18 頁。
- 雷淇祥等。1989。大甲溪上游浮游生物相及水質之調查。中央研究院動物研究所。66、67 頁。
- Brosse, Se'bastien *et al.* 1999. The use of artificial neural networks to assess fish abundance and spatial occupancy in the littoral zone of a mesotrophic lake. *Ecological Modelling* 120. p. 299-311
- Ce're'ghino, R. *et al.* 2001. Spatial analysis of stream invertebrates distribution in the Adour-Garonne drainage basin (France), using Kohonen self organizing maps. *Ecological Modelling* 146. p. 167-180
- Cummis, K. W. and M. J. klug. 1979. Feeding ecology of stream invertebrates. *Annu. Rev. Ecol. Systematics* 10. p. 147-172
- Chon, Tae-Soo *et al.* 1996. patternizing communities by using an artificial neural network. *Ecological Modelling* 90. p.69-78
- Christensen, V., C. J. Walters and D Pauly. 2002. Ecopath with Ecosim Version 5, Help system. University of British Columbia, Fisheries Centre, Vancouver, Canada.
- Deroski, Sago *et al.* 1997. Using machine learning techniques in the construction of

武陵地區環境生態模式可行性研究

- models.II. Data analysis with rule induction. *Ecological Modelling* 95. p.95-111
- Friedrich Recknagel. 2001. Applications of machine learning to ecological modeling. *Ecological Modelling* 146. p. 303–310
- Gevrey, Muriel *et al.* 2003. Review and comparison of methods to study the contribution of variables in artificial neural network models. *Ecological Modelling* 160. p.249-264
- Giller, P. S. and B. Malmqvist. 1998. Life in running waters. in *The biology of stream and rivers*. Oxford University Press. p.100
- Giraudel, J.L. and S. Lek. 2001. A comparison of self-organizing map algorithm and some conventional statistical methods for ecological community ordination. *Ecological Modelling* 146. p.329–339
- Guisan, Antoine and Niklaus E. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135. p. 147–186
- Hildrew, A. G., M. K. Dobson, *et al.* 1987. Flow and retention in the ecology of stream invertebrates. *Verh. Int. Ver. Theor. Ang. Limnol.*24.p.1742-1747
- Ibarra, Alonso Aguilar *et al.* 2003. Modelling the factors that influence fish guilds composition using a back-propagation network: Assessment of metrics for indices of biotic integrity. *Ecological Modelling* 160. p.281-290
- Kampichler, Christian. 2000. Application of machine learning techniques to the analysis of soil ecological data bases: relationships between habitat features and Collembolan community characteristics. *Soil Biology & Biochemistry* 32. p.197-209
- Lae, Raymond *et al.* 1999. Predicting fish yield of African lakes using neural networks. *Ecological Modelling* 120 . p. 325–335
- Lek, Sovan and J.F. Gue´gan. 1999. Artificial neural networks as a tool in ecological modelling, an introduction. *Ecological Modelling* 120. p.65–73
- Lek, Sovan *et al.* 1996. Application of neural networks to modeling non-linear relationships in ecology. *Ecological Modelling* 90. p.39–52
- Lekt, Sovan and Philippe Baran. 1997. ESTIMATIONS OF TROUT DENSITY AND BIOMASS: A NEURAL
- Merritt, R. W. and K. W. Cummins.1996. Trophic relations of macroinvertebrates. In Hauer, F. R. and G. A. Lamberti. *Method in Stream Ecology*. Academic Press, p.466
- Michael D. Jennions and Robert Brooks 2001. A sense of history. *TRENDS in Ecology & Evolution* Vol.16 No.3. p.113-115
- Minshall, G. W. 1996. Organic matter budgets. In Hauer, F. R. and G. A. Lamberti. *Method in Stream Ecology*. Academic Press, p.595
- NETWORKS APPROACH. *NonlinearAnalysis, Theory, Methods & Applications* 30. NO. 8. pp. 4985-4990
- Ozesmi, Stacy L. and Uygur Ozesmi. 1999. An artificial neural network approach to spatial habitat modelling with interspecific interaction. *Ecological Modelling* 116. p.

- Park, Young-Seuk *et al.* 2003. Applications of artificial neural networks for patterning and predicting aquatic macroinvertebrate diversities using artificial neural network. *Water Research* 37. p.1749 – 1758
- Park, Young-Seuk *et al.* 2003. Patterning and predicting aquatic insect species richness in running waters. *Ecological Modelling* 160. p.265-280
- Recknagel, Friedrich. 2003. Simulation of aquatic food web and species interactions by adaptive agents embodied with evolutionary computation: a conceptual framework. *Ecological Modelling* 170. p.291–302
- Reyjol, Yorick *et al.* 2001. Modelling of microhabitat used by fish in natural and regulated flows in the river Garonne (France). *Ecological Modelling* 146. p. 131–142
- Rud, Olivia Parr. 2001. *Data Mining Cookbook--Modeling Data for Marketing, Risk, and Customer Relationship Management*. John Wiley & Sons, Inc. New York
- Schleiter, Ingrid M. *et al.* 1999. Modelling water quality, bioindication and population dynamics in lotic ecosystems using neural networks. *Ecological Modelling* 120. p.271–286
- Stanford, J. A. 1996. Landscapes and catchment basins. In Hauer, F. R. and G. A. Lamberti. *Method in Stream Ecology*. Academic Press, p.6
- Storbeck, Frank and Berent Daan. 2001. Fish species recognition using computer vision and a neural network. *Fisheries Research* 51. p. 11-15
- Wang, C.M.J. 1989. 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
- Webster, J. R., J.B. Wallance and E. F. Benfield. 1995. Organic processes in streams of the eastern United States. In C. E. Cushing, G. W.Minshall, and K. W. Cummins (eds). *River and Stream Ecosystems*. Elsevier, Amsterdam. p. 117-187
- Wijk, M.T. van *et al.* 2002. Comparison of different modelling strategies for simulating gas exchange of a Douglas-fir forest. *Ecological Modelling* 158. p. 63- 81

附錄一、期末報告審查意見改善表

期末報告審查意見改善表

項次	審查意見	改善內容	於報告書之 頁次
1	請提供單純化食物網關係，以作為本處遊客解說之材料。	已在第三章第三節之小尺度溪流食物網模式中溪流食物網絡圖（圖 20）中植入各生物類群代表圖示，可供管理處依此網絡關係重製為解說材料使用。	32
2	建議進行模式敏感度測試。	待各測站參數齊全，小尺度溪流食物網模式建構完成即可進行分析。	
3	請將樣點名稱統一，並敘明樣點選定原因。	樣點名稱已發函各生物群研究計畫負責人加以統一，樣點選定原因則詳見第二章第一節。	6
4	請提出影響武陵地區相關環境因子及變數，以作為本處未來研究及經營管理策略方向。	在第二章第二節研究尺度部分依小、中、大尺度詳列並圖示之。	7-12

武陵地區環境生態模式可行性研究

附錄二、期中、期末報告會議紀錄