

# 武陵地區溪流流量、水溫模式與主要 元素通量研究

委託單位：雪霸國家公園管理處

執行單位：中央研究院環境變遷研究中心

執行期間：民國 98 年 1 月 1 日至 98 年 12 月 31 日

## 目次

表次.....	I
圖次.....	I
摘要.....	1
一、前言(文獻回顧及目的).....	5
二、材料與方法.....	7
2.1 分散式水文模式.....	7
2.2 水溫模式.....	13
三、結果.....	14
3.1 流量模擬.....	14
3.2 集水區物質輸出量.....	15
3.3 集水區內水溫變化.....	16
四、討論.....	17
4.1 人為活動對水質之影響.....	17
4.2 污染傳輸路徑.....	20
4.3 植栽遮蔽效應.....	22
五、結論與建議.....	24
5.1 流量.....	24
5.2 物質通量.....	24
5.3 水溫.....	25
參考書目.....	26
表次	
表.1 子計畫中各類測站資訊一覽表.....	31
表.2 利用 3-layer TOPMODEL 在四季朗、七家灣溪、有勝溪測站的歷年模擬結果.....	32
表.3 2006.12 月到 2009.10 月採集水質樣本之統計值。表格內數據表示濃度之平均值±標準偏差，括號內則為樣本數目。.....	33
表.4 各水質採樣點所圍子集水區內之土地利用所佔百分比.....	36
表.5 各測站日 NO <sub>3</sub> 產出量與日流量之關係.....	37
表.6 各測站計算所得之 NO <sub>3</sub> 產出量.....	38
表.7 不同植栽策略下，在每個月份造成河段平均日最高水溫降溫幅度表.....	39
圖次	
圖.1 3-layer TOPMODEL 的模式結構示意圖.....	40

圖. 2	武陵地區地形圖與氣象、流量測站分佈圖（來源：德基水庫管理委員會）	41
圖. 3	武陵地區土地利用分佈圖（來源：雪霸國家公園管理處）	41
圖. 4	子計畫中設置水質、水溫及氣溫測站之位置（由左至右）	42
圖. 5	2006/11/1~2008/10/31 期間(a)降雨主體圖；模式模擬及觀測流量在 (b)七家灣溪及(c)有勝溪流量測站之結果	43
圖. 6	導電度之空間變異	44
圖. 7	NO <sub>3</sub> 濃度之空間變異	45
圖. 8	採樣期間平均 NO <sub>3</sub> 及 PO <sub>4</sub> 與現有耕作地及回收前耕作地之關係	46
圖. 9	桃山北溪水溫之時間序列圖	47
圖. 10	桃山西溪水溫之時間序列圖	47
圖. 11	一號壩水溫之時間序列圖	48
圖. 12	高山溪水溫之時間序列圖	48
圖. 13	有勝溪水溫之時間序列圖	49
圖. 14	迎賓橋水溫之時間序列圖	49
圖. 15	司界蘭溪上游水溫之時間序列圖	50
圖. 16	司界蘭溪下游水溫之時間序列圖	50
圖. 17	四季朗吊橋水溫之時間序列圖	51
圖. 18	有勝溪上游水溫之時間序列圖	51
圖. 19	桃山瀑布下水溫之時間序列圖	52
圖. 20	有勝溪源頭水溫之時間序列圖	52
圖. 21	桃山西溪(C7)與桃山北溪(T1)水溫之時間序列	53
圖. 22	桃山西溪與桃山北溪於十二月份河段受光百分比隨時間變化之情形	53
圖. 23	桃山西溪與桃山北溪於六月份河段受光百分比隨時間變化之情形	54
圖. 24	桃山西溪與北溪冬天（十二月）及夏天（六月）水溫變化圖	54
圖. 25	水溫隨著不同樹冠層高度之變化情形	55
圖. 26	最優 500 組各種土地利用 NO <sub>3</sub> 產出量模擬之結果	55
圖. 27	高山溪採樣點（K1）水質與端源混合之關係圖	56
圖. 28	有勝溪採樣點（Y1）水質與端源混合之關係圖	56
圖. 29	高山溪採樣點以 S04-C1（左）及 S04-Ca（右）計算各端源流量貢獻 圖	57
圖. 30	有勝溪採樣點以 S04-C1（左）及 S04-Ca（右）計算各端源流量貢獻 圖	57
圖. 31	水溫模式中各河段與太陽位置之關係圖	58
圖. 32	七家灣溪每個河川網格具有之天然地形屏障	58
圖. 33	不同季節植栽策略對於七家灣溪每日最高溫的平均降溫效果	59
圖. 34	植栽策略對於沿七家灣溪河段每日最高溫之影響	59

# 摘要

關鍵詞：流量推估、人為活動影響、遮蔽效應

## 一、研究緣起

台灣國寶魚，櫻花鉤吻鮭，僅分佈於雪霸國家公園內的武陵地區溪流。世界上僅加拿大、日本與台灣所獨有此類陸封鮭魚且台灣所屬緯度最低更顯示出其獨特性。本計畫架構在武陵地區生態模式的整體目標下，以流量、水溫與元素通量為主要的探討議題；這些參數的確定以及模擬能力的精進，不但能提供國家公園未來對資源管理與保育的政策參考也可納入生態模式中進行更完整的評估。

## 二、研究方法及過程

建立七家灣溪水文模式，合理模擬七家灣溪流量。透過空間及時間上密集的水質採樣，瞭解人為活動對水質的影響。監測水溫變化期能找出控制水溫的有效方法。

## 三、重要發現

在流量部分，本研究所建立之七家灣溪分散式水文模式已經能合理模擬武陵地區之流量，對於集水區內現況水文歷程的瞭解，甚至未來氣候變遷對流量影響的評估，提供了一個良好的研究工具；在元素通量方面，發現集水區內水質變化仍與子集水區內過去的農業活動密切相關，儘管部分耕地已經回收進行復育，但廢耕蔬菜園的 NO<sub>3</sub> 產出量，仍高達 5,000 餘 kg/ha/yr，雖然僅為現有蔬菜園的一半，但仍為現有果園產

出量的 8 倍，可見農耕地回收仍需要時間才能在水質上看出顯著成效，而污染傳輸的路徑研究顯示需要更多的現地觀測資料來輔助目前的研究成果；水溫研究上發現，根據河川走向與兩岸植栽會影響河川水溫的物理特性，提供了七家灣溪河岸植栽可考量的優先順序，其中以上游植栽能獲得最好之日最高溫降溫效率。

#### 四、主要建議事項

整理過去三年研究成果，本研究針對提高對於七家灣溪生態環境瞭解及保育，提出下列具體建議。以下分別從立即可行的建議、及長期性建議加以列舉。

立即可行之建議—增設流速計。

主辦機關：台灣電力公司

協辦機關：經濟部水利署

流速的量測資料尤其在高流量時間，對於率定曲線的改進會有顯著的效果。

長期性建議—持續環境監測

主辦機關：雪霸國家公園

協辦機關：各研究單位

持續水質監測，並增加土壤調查項目，因過去過渡的施肥可能導致殘餘的肥料累積於土壤中，推論仍會在農業活動停止後慢慢稀出；水溫為影響國寶魚之關鍵性因子，持續監測以及早因應水溫的變異。

## ABSTRACT

Keywords: flow discharge estimation, human impacts, stream temperature reduce

Flow discharge records, water quality and stream temperature in Wu-Ling area are three main topics in this project. For discharge part, a distributed discharge simulation model has been well established and verified although it is found that uncertainty exists while using rating curve (water level- flow discharge relationship) to estimate flow discharge, particularly seriously for high-flow events. Besides water level monitoring, flow velocity measurement in the high-flow events would supplement discharge estimation. For water quality, it is surprising that inactive vegetative farms still have as many as 8-fold NO<sub>3</sub> yield (kg/ha/yr) in the orchard farm although NO<sub>3</sub> yield in the inactive farms have reduced half compared to current active vegetative farms. Past fertilization might results in residual fertilizer remaining in the soil, and might still be gradually leached to the river after farming activities are ceased. For stream temperature, because riparian vegetation is an efficient way to prevent the river from being exposed to solar radiation, several virtual planting strategies along ChiChiaWan Creek had been evaluated in terms of reduction of highest daily stream temperature. Results showed upstream planting has the best performance rather than east-side, west-side, and downstream planting. Besides, vegetative shading angles should be more than 50°.

This project comes to the immediate and long-term strategies.

For immediate strategies: install flow velocity measurement instrument

Flow velocity monitoring is suggested. Flow discharge estimation can be hence significantly improved.

For long-term strategies: Long-term water quality and stream temperature monitoring is suggested.

Past fertilization might results in residual fertilizer remaining in the soil, and

might still be gradually leached to the river after farming activities are ceased. The understanding of the recovery in the inactive vegetative farms would benefit the watershed management. Stream temperature is one of the critical factors affecting Taiwan Landlocked Salmon hence it is essential to keep monitoring to notice the changes of stream temperature.

## 一、前言(文獻回顧及目的)

內政部營建署雪霸國家公園管理處之「武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」計畫當中除鳥類、魚類、水陸生昆蟲、植被、兩生爬蟲以及棲地研究外，並嘗試以生態系統觀點架構能量的流轉以及農業活動對基本水質的影響，在此項流域-河川生態架構之下，流量為一主要因子，降雨-流量過程除直接影響棲地環境，如：河床型態、流速、水溫外；也影響著營養鹽的循環與交換。從過去武陵地區研究成果得知（林幸助, 2006），流量也對櫻花鉤吻鮭的食物鏈造成影響，如水棲昆蟲，亦有可能對棲地底質造成影響，這些諸多被認為影響櫻花鉤吻鮭生存與否的棲地因子，都與流量息息相關，所以準確提供流量的資訊將有助於整合各子計畫之研究成果。另外，在計算流域內營養鹽收支平衡時，流量更是為計算輸出量時重要的依據。流量已經被證實是櫻花鉤吻鮭數量減少的重要因素之一（曾晴賢, 2001; Cattaneo et al., 2002；林幸助等, 2007），每年因颱風引起的洪水常常會使得櫻花鉤吻鮭的魚群數目大量減少；水溫亦是影響櫻花鉤吻鮭生存的重要環境因子，且為冷水性櫻花鉤吻鮭對環境最基本的要求條件；水質則因人為活動的介入而惡化，亦被懷疑是櫻花鉤吻鮭棲地縮減的原因之一。本研究即針對此三大項的環境條件進行觀測及分析，希望能透過長期的監測瞭解各種環境因子的變因，作為保育工作的科學基礎。

在流量衝擊方面，Newcombe（2003）提出洪水發生時會夾帶大量的泥砂導致水質劣化，部分魚群因無法承受如此惡劣的環境而死亡；部分魚群則被洪水沖至下游河段，而攔砂壩往往成為魚群遷移的障礙，因為下游環境往往不符合其生長條件所需，使得其暴露在不適當之棲地環境而招致死亡（廖林彥, 2001）；冬季的流量變化，則可能影響魚卵的存活率，Shaw（2001）等人提出河川泥砂含量對鱒魚的影響；Wu（2005）建立了鮭魚卵存活率與產卵場內泥砂淤積量的關係；Zimmermann and



Lapointe (2005) 利用試驗證實了泥砂淤積會造成產卵場內水流速度的驟降，即影響魚卵新陳代謝的效率；St-Hilaire et al. (2005) 提出洪峰流量過後產生的河床礫石組成比例改變，將影響即將孵化小魚的存活率。

在水溫方面，櫻花鉤吻鮭生活水域的水溫介於 9~17°C 之間，到了繁殖、孵化期間水溫更需降低至 12°C 以下 (曾晴賢, 1999)。由於大部分的水生動物對水溫的要求很高，所以河川的水溫在生態的研究中，一直扮演著重要的角色。一般而言，溪流水溫由上游往下游遞增，根據調查報告顯示，七家灣溪在民國 74 年至 86 年間，其溪流平均溫度之 12°C 等值線往上游退縮約 1.56 公里 (楊正雄, 1997)，嚴重影響河川生物之棲地分布，因此探討水溫之變動情形，成了延續魚類生命相當重要的課題。

在水質方面，由於台灣櫻花鉤吻鮭棲息地七家灣溪位於武陵遊憩區，沿途流經武陵山莊、武陵農場、武陵行政中心及武陵遊憩區，因此與整個武陵地區各種人為活動皆影響著七家灣溪。其中最主要的就是水域優養化的威脅，水域優養化指的是水域生態系營養狀態的升高 (林幸助, 2001)。近二十年來優養化不管在海水 (Harlin, 1995) 或淡水 (Lampert and Sommer, 1997) 已被認為是全球最普遍且最嚴重之人為污染。與七家灣溪匯流之有勝溪因其下游有高冷蔬菜農場，承接了農場大量施用肥料而流進的營養鹽，因此優養化的現象十分嚴重，整個水域佈滿了絲狀附生藻 (林幸助, 2003)。根據相關的研究針對水中附生藻類進行營養鹽添加實驗 (林幸助, 2003；簡麗鳳, 2004) 發現，七家灣溪流流域的水質由於季節性氣候的差異，再加上人為 (農業) 非點源污染的干擾，導致七家灣溪流流域水質在時間及空間分佈上有很大的變異，藉由計算各集水區各種元素的通量，將有助於瞭解各元素在集水區內傳輸的情形，進一步管理集水區內污染來源。

因此，本研究除了流量模擬之外，並在集水區內增設密集水溫及化學觀測點，在不同季節與天候條件下，懸浮顆粒、主要元素離子 (Ca, Mg,

Na, K, NH<sub>4</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>)以及基本營養鹽(Si, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>)在空間之變化將被分析，通量將被計算，用以評估地表地下水以及農業活動對元素輸出之貢獻。

總括而言，本研究之工作項目為運用現有雨量、氣象站與流量站之觀測資料，以分散型水文模式進行水文模擬，推估流域當中各個無流量站採樣點(non-gauged station)之流量。增設化學、氣溫與水溫觀測網，觀測水溫與各主要元素在流域主、支流中之分佈。目的為提供保育與復育之科學基礎。

## 二、 材料與方法

### 2.1 分散式水文模式

水文學發展至今，有許多方法可以進行流量模擬。其中，新興的分散型水文模式取向因為能與地理資訊系統(GIS)、數值地形(DEMs)與遙測影像(Remote Sensing)結合，因此廣泛地應用在許多環境模擬的議題上。然而，相似的研究在國內仍處於發展階段，相關的研究也較少，因此有其研究的必要性(Wang et al., 2006)。再者，本研究的主要議題，乃聚焦在環境因素的改變，如：土地覆蓋對土壤沖蝕的影響、農地施肥的影響等。這些空間資料的分佈型態對於環境作用的影響乃至於土地利用政策的決策，都需要加以評估。所以，採用的模式必須且必要將這些資料加以整合並納入模式之內。因此，本計畫擬利用國際上極富盛名的分散型水文模式，TOPMODEL (Beven, 1997) 來進行七家灣溪的流量模擬。

TOPMODEL 主要的特色在於：此模式為一物理概念模式，特別適用於森林、山地之小集水區。這類集水區的特色在於：植物根系發展旺盛，因此入滲容量(infiltration capacity)往往遠超過降雨量，所以地表逕流多半是以飽和漫地流(saturated overland flow)為主。換言之，大部分的河

川流量都是由淺層土體內(shallow soil layer)或枯枝落葉層 (litter layer) 內的水分所提供。從 1979 年至今已經約有 300 篇左右的論文在探討此一模式的理論(Gunter, 1999)與在各種氣候與地形區上的應用(Camplung et al., 2002;)。近來許多地球化學的研究均指出：河川流量至少可以區分為三個主要來源：地表逕流、中間水流與地下水流。所以在 TOPMODEL 的理論發展上，也逐漸由兩層的概念模式發展為三層的概念模式(Hornberger et al., 2000; Scanlon et al., 2001; Walter et al., 2002)。其中，黃誌川等(2007)整合近來的修正方法並應用在橫溪集水區的颱風暴雨事件，顯示該模式在台灣的適用性。

此模式概念在垂直方面所考慮的水文作用為：蒸發散(採用 Hamon method, 1961)、入滲、滲漏(地下水補注)；在地表逕流採用分散擴散波模式(Molnar, 1998)配合曼寧公式推估(Liu et al., 2003)、在中間水流採用運動波模式配合達西定律推估、在地下水流則以指數遞減函數推估之。模式中所考慮的水文作用與彼此的關連性如圖 1 所示。

在水平方面三種逕流的演算方式分別如下所示：地表逕流是採用擴散波模式配合數值地形去估計每一個格點的集流時間與變異程度。中間水流推估方式。該層之水分移動大致上可用達西定律 (Darcy law) 來估算其流通量，而控制流通量的水利坡降，一般認為在淺層土體中，應可假設與地表坡降相同。因此，TOPMODEL 利用地形指數來推估集水區內任一點的含水量與流出量的關係，如下所示：

$$\overline{D}_t - D_{i,t} = -m(\lambda - k_i)$$

$\overline{D}_t$ : 集水區平均含水量  
 $D_{i,t}$ : 各網格含水量  
 $k_i$ : 各網格地形指數  
 $\lambda$ : 集水區平均地形指數  
 $m$ : 水力傳導度遞減率

上式中的地形指數定義為： $k_i = \ln(\frac{\alpha_i}{\tan \beta_i})$ ； $\alpha_i$  為各格點的比集水

面積(specific contributing area, [L], 採用 Tarboton (1997)所提出的無限流向法)； $\tan\beta_i$  是指該格點的坡度，由數值地形模型採用 Zevenbergen and Throne method (1987)求取。式(1)主要觀念在各網格的土體含水量狀態相對於平均狀況的差距可利用各格點地形指數與整個集水區的平均地形指數配合水力傳導度遞減率來推估。因此，若能決定集水區的流量與平均含水量的關係，則可反推各格點的含水量。一般而言，指數形式的基流分離法(exponential recession curve function)，可用來求取不同降雨時期的河川流量，因此利用下式，可建立平均含水量與流量的關係：

$$Q_{bt} = K_0 m \cdot \exp(-\lambda) \cdot \exp\left(\frac{-\bar{D}_t}{m}\right)$$

$K_0$ : 飽和水力傳導度  
 $Q_{bt}$ : 飽和帶出流量

(2)

地表下水流則採用指數遞減函數來表示(Lamb et al., 1997)，雖然集水區全區的平均含水量與流量之間的關係可利用式(2)決定，然而這樣並無法決定初始條件的平均含水量，因此該模是假設一開始的基流量可以決定 $\bar{D}_{t=0}$ ，則下式可用來決定初始條件：

$$\bar{D}_{t=0} = -m \cdot \ln\left(\frac{Q_{t=0}}{Q_0}\right)$$

$$Q_0 = A \cdot \exp(-\lambda)$$

$A$ : 集水區面積

(3)

最後利用單位時間內的系統平衡方程式(單位時間內的系統變化量等於入流量減去出流量)，可模擬每一個時間間隔的流量變化，如下式：

$$\bar{D}_t = \bar{D}_{t-1} + (Q_{b,t-1} - Q_{v,t-1}) / A$$
(4)

式中， $Q_{b,t-1}$  為上一個時間點得出流量； $Q_{v,t-1}$  則為上一個時間點的入流量，及雨量。如此則可完成一個時間序列流量的模擬，與土壤含水量在各時間點的空間分佈。在配合上地表逕流與地下水流則可模擬河川流

量。本研究利用七家灣流域附近的三個流量站，包含七家灣溪上的七家灣流量站、有勝溪上的有勝溪流量站、及上述兩溪和司界蘭溪匯流後的四季朗流量站，進行水文特性的分析並利用 TOPMODEL 模式作為主要推估流量的工具。

武陵地區附近的雨量與流量站的分佈（如圖 2 所示）。本研究區內包含三個流量站，包含七家灣溪上的七家灣流量站、有勝溪上的有勝溪流量站、及上述兩溪和司界蘭溪匯流後的四季朗流量站，在雨量資料部分，7 個雨量站基本上涵蓋了 1970~2002 年的資料，僅捫山、志佳陽、平岩山 3 站自 2002 年後撤站。在流量部分，四季朗站與七家灣站自 1960 年代起均有觀測。可惜四季朗站自 2002 年後撤站。而有勝溪的部分則從 1996 至今均有觀測。從圖 3 可以看出本研究區主要涵蓋三個次集水區，分別為：有勝溪、七家灣溪與司界蘭溪。其中七家灣流量站的集水區包含有勝溪與七家灣溪。同時，在該地區的地形分析以目前 40m 解析度的數值地形模型為基礎；土地利用則以台電所調查的 1999 年土地利用為基礎進行重分類，如圖 3 所示。

與濃度所代表的單位體積內所含物質重量的定義不同，輸出量指的是單位時間內物質輸出的總重量，其計算方式為濃度乘上流量稱為物質的通量，每日在河川觀測到的物質濃度乘上日流量則得到該日的物質通量，月的物質通量則可經由累加日的物質通量得到，但礙於時間與人力的限制，物質的濃度往往無法做連續的觀測，所以需要倚賴估算的方式來推求未觀測時間的物質通量，一般在計算物質通量時有三種常用的方法，分別是直接平均法、流量權重法、率定曲線法，將概述如下。

#### 直接平均法

此法是三種方法中最簡單的一種估算方式，如(5)式所示：

$$Load = K \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \times Q \quad (5)$$

其中 Load(kg) 為物質的通量；K 表轉換因子，將計算的結果轉換成需要的時間長度與單位； $C_i$ (ppm) 為觀測的物質濃度；n 為觀測的資料數；Q(cms) 為欲推求期間內之平均流量。若 Q(cms) 代表為月平均流量，則  $K=30(\text{day}) \times 86400(\text{sec/day}) / 1000(\text{g/kg})$ 。這個計算方法並沒有將流量對物質濃度的影響考慮在方程式內。

### 流量權重法

此法則將流量對物質的影響考慮在計算的公式內，其計算方式如(6) 式所示：

$$Load = K \frac{\sum_{i=1}^n C_i Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \times Q \quad (6)$$

其中  $Q_i$ (cms) 表示採樣時的瞬時流量，不過通常以日平均流量取代之。以日平均流量替代瞬時流量是建立在日平均流量變異不大的假設下，雖然每年有兩到三個颱風侵襲台灣，其所造成的日流量變異往往超過幾個數量級，但是因為颱風發生的時間僅佔整年的小於 2%，以日平均流量取代瞬時流量假設造成的影響將很小。

### 率定曲線法

此法是假設採樣的物質濃度與採樣時的流量具有冪函數（power function）關係，而未採樣天數的物質濃度也將服從此一關係，將日流量代入即得到在此流量條件下推估之物質濃度，其計算方式如(7) 式所示：

$$Load = K \sum_{j=1}^T Q_j C_j = K \sum_{j=1}^T a Q_j^{b+1} \quad (7)$$

其中  $Q_j(\text{cms})$  表示每日平均流量； $C_j(\text{ppm})$  表示每日推估之物質濃度； $T(\text{days})$  表示欲計算物質通量的時間長度； $a$  和  $b$  則為冪函數的係數，可由觀測的物質濃度與流量作線性對數回歸後得到。

根據台灣其他流域的研究經驗 (Lee et al., 2007)，指出流量權重法是在有限的物質濃度資料下最為準確的推估方式，且本研究在各採樣點的採樣頻率為每兩月至少一次，部分測站甚至每三天就採集一次水樣本，使用流量權重法將能大大降低物質輸出量推估的不確定性。

各個子集水區或是各個採樣點間物質輸入量差異，可透過上下游鄰近水質測站的物質輸入量差值計算而得，此部分的計算必須要配合分散式水文模式的模擬，去模擬每個觀測點所對應之日流量，若河段間的物質輸出量增加了，則表示在該河段內有從集水區排入額外之物質；若某物質輸出量減少了，則表示該物質在河段被利用了，像是水中植物；若物質輸出量沒有改變，則表示改河段內僅發生河川稀釋作用。

為了有效計算每個集水區內物質的輸出量，本子計畫從 2007 年開始除「武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」計畫當中原設置之共同採樣站外，又另外設置了較密集的採樣點，尤其是在有勝溪流域內，其目的除了物質平衡的有效計算外，更能清楚追蹤各種物質的來源與消散，測站分佈的位置如圖 4 所示。採樣的頻率除了幾個主要支流匯入點 (C7、K1、Y1) 及部分主流測站外 (C1、C0) 為三天採集一次水樣外，其餘採樣點均為一個月採集連續兩天的水樣，但從 2009 年中開始，由於水質採樣期間已達兩年半，已經掌握水質在時間及空間上的變化趨勢，於是降低採樣的頻率，以分析數據、瞭解現況為首要目的，並可做為未來設計採樣之依據，詳細的測站資訊、本計畫新增之測站、及與武陵計畫測站編號關係如表 1 所示。本研究之陽離子濃度分析儀器採用感應耦合電漿光譜儀 (ICP-OES) 量測主要元素 (Al、Na、Mg、K、Ca、Si)，陰離子 (Cl, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>) 濃度分析使用 DIONEX / ICS-1500，低濃度 PO<sub>4</sub>

將使用 10cm 光槽分光光度計以鉬藍法分析，濃度偵測極限可達 20nM。

## 2.2 水溫模式

研究中希望利用時間及空間上連續的水溫觀測，瞭解水溫在集水區內的變化，並進一步提供模式修改的參考依據。研究中擬採用的水溫模式是李宗祐（2003）所發展的水溫模式，並曾經應用於模擬七家灣溪一號壩至三號壩水溫，獲得不錯的效果，為了考慮河段兩岸高山遮蔽的影響，該模式利用 DTM 數值高程模型建立河川網絡，並進而計算河段上每個網格點受到兩岸高山遮蔽的情形，將河段所接受之能量輸入水溫模擬模式後，得到河川水溫。

該模式乃屬物理性模式，利用進入水體或離開水體的能量變化，對水溫進行預測，以能量平衡的概念，計算河川中所接受到的淨輻射量、傳導熱、蒸發潛熱、可感熱及進出水體所帶來之能量變化等各個能量流率所造成的水溫變化。模式中假設河道為一維明渠且垂直水溫均勻混合並假設河面寬度遠大於水深，其溫度之傳遞可以下列方程式(8)來表示 (Kim and Chapra, 1997)：

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{q}{A} (T_L - T) + \frac{H_T + H_B}{c_w \rho_w h} \quad (8)$$

其中 T 為河川斷面之平均水溫 (°C)，u 為水流平均流速 (m/s)，q 為側向流補注流量 (m<sup>2</sup>/s)，T<sub>L</sub> 為側向流的水溫 (°C)，D 為沿水流方向之傳遞係數 (dispersion coefficient) (m<sup>2</sup>/s)，H<sub>T</sub> 為水表之熱通量 (J·m<sup>2</sup>/s)，w 為河道頂部寬度 (m)，H<sub>B</sub> 為河床傳導熱 (J·m<sup>2</sup>/s)，p 為河道潤周長 (m)，A 為河道斷面積 (m<sup>2</sup>)，C<sub>w</sub> 為水的比熱 (J/kg°C)，ρ<sub>w</sub> 為水的密度 (kg/m<sup>3</sup>)，h 為水深 (m)。

河川中所接受到能量包括淨輻射量、蒸發潛熱、可感熱、傳導熱、摩擦熱等各能量流率。進入水體之淨能量變化為各能量項的總和，將其關係式表示如(9)所示。



$$\begin{aligned}\Delta H &= H_T + H_B \\ &= (R_s + L_d - L_u + L_T - H_E - H_H + H_{fc}) + H_B\end{aligned}\quad (9)$$

其中  $R_s$  表示河川接受之短波輻射； $L_d$  為大氣向下發射之長波輻射； $L_u$  為河川向上發射之長波輻射； $L_T$  為周圍環境給河川的長波輻射； $H_E$  為河面之蒸發潛熱； $H_H$  為因為河面與空氣溫度差產生的可感熱； $H_{fc}$  為河水流動產生的摩擦熱，其中  $L_d$ 、 $L_T$ 、 $H_E$ 、 $H_H$  與氣溫有關， $L_u$ 、 $H_E$ 、 $H_H$  與水溫有關，而  $H_{fc}$  與流量有關，河川透過水溫的變化反應水體能量的吸收與釋放，因此利用觀測瞭解集水區內能量的傳遞，如氣溫、太陽短波、土壤溫度的變化，將有助於瞭解水溫在時空上變化的機制。

水溫及氣溫的測站設置則如圖 4 所示，而氣溫的量測亦包含儀器架設處 30 公分深之土溫量測。水溫記錄器乃使用冰島製造之 Staroddi Mini，精確度優於  $0.1^\circ\text{C}$ 。氣溫記錄器將使用 Delta-T Devices Ltd 出產之溫度感測元件，精確度優於  $0.1^\circ\text{C}$ 。水溫及氣溫均由自動記錄器記錄資料，記錄的頻率均為 20 分鐘一筆。

### 三、 結果

#### 3.1 流量模擬

本研究過去利用 3-layer TOPMODEL 進行武陵地區三個流量站 1990~2004 的流量模擬，模擬結果如表 2 所示，獲得了不錯的驗證。研究中進一步針對從 2006 年 11 月開始觀測水質期間進行流量模擬，亦獲得相當好的驗證，其結果如圖 5 所示。在假設各子集水區內水文特性差異不大的情況下，此水文模式將應用於模擬七家灣溪及有勝溪上游各水質採樣點之流量，配合水質的觀測結果，將可計算物質在集水區內之流佈。

### 3.2 集水區物質輸出量

集水區內物質傳輸的空間分佈可以由導電度在流域內的空間變異大致得到，如圖 6 所示，圖中 x 軸由左至右代表七家灣溪從上游到下游依序之採樣點位置，而每個灰框所包圍的範圍表示一主要支流的匯入，整體看來有勝溪是整個武陵地區導電度最高的流域，而又以 Y5、Y4、Y2 有勝溪流域內的三條小支流的導電度最高，使得有勝溪的導電度從上游到下游有顯著的上升趨勢，從 NO<sub>3</sub> 的空間分佈可以看出氮元素在集水區的流動，如圖 7 所示，桃山北溪和 (T1) 和桃山西溪 (C7) 匯流後，從原先低於 1ppm 的 NO<sub>3</sub> 濃度流經二號壩 (C6) 及一號壩 (C4) 後上升到了 2ppm 及 4ppm，其間有一條濃度高達 60ppm 的小支流匯入，高山溪 (K1) 因其較低濃度的匯入使得繁殖場 (C3) 被些微中和，到了萬壽橋 (C2) 濃度則稍微增高，隨著有勝溪 (Y1) 的匯入，使得國民賓館旁迎賓橋 (C1) 的濃度增加，而四季朗吊橋 (C0) 因為濃度較低的司界蘭溪 (S1) 匯入而稍微降低。司界蘭溪則因為越往下游農業活動越多，使得 NO<sub>3</sub> 濃度明顯增加。有勝溪主流的 NO<sub>3</sub> 濃度越往下游其濃度越高，但是支流的濃度 (Y6、Y5、Y4) 卻來的比主流還低，換言之，所有 NO<sub>3</sub> 的來源都在有勝溪主流兩旁，合理推斷有勝溪大部分的 NO<sub>3</sub> 都是由河岸兩旁注入。各個測站所量測之各個元素濃度的平均值及標準偏差如表 3 所示。

圖 8 顯著的展示人為活動對水質的影響，縱軸則分別表示計畫期間所有採樣 NO<sub>3</sub> 及 PO<sub>4</sub> 之平均濃度，橫軸表示以採樣點為集水出口所圍之子集水區內蔬果地所佔之百分比，各採樣點所圍集水區內之土地利用如表 4 所示，採樣期間 NO<sub>3</sub> 及 PO<sub>4</sub> 之平均濃度分別對現有耕作地 (Active farm) 及政府回收前耕作地 (Active 加上 Inactive) 作圖，結果顯示水質濃度對現有耕作地之關係不像與回收前耕地間關係這麼好，此結果顯示，儘管此近年來武陵地區大部分之農耕地已經回收，過去的農耕行為

或許還潛在的影響著現今水質狀態。其中介於一號壩(C4)及二號壩(C6)之間匯入之小山溝(C5)，其子集水區內蔬果地所佔面積約 13%，NO<sub>3</sub>之平均濃度更高於 60ppm，繪於圖 8 更顯示土地利用增加對水質影響之高度非線性，亦表示適時的回收蔬果地將有助於水質的改善。

### 3.3 集水區內水溫變化

流域內七個水溫測站的溫度分佈如圖 9 至圖 20 所示，其中除了西溪與有勝溪在颱風期間（六月～十月）仍持續監測外，其餘測站則撤回待颱風季節過後再繼續監測，從整體的水溫與氣溫一致性的變化趨勢可以發現，水溫的變化主要受到周圍環境之影響，只是水溫的變幅不像氣溫的變幅那樣大，而水溫在集水區內的空間變化，越下游的平均水溫越高，且越往下游水溫的變幅（最高溫減去最低溫）越高；所有流域中以有勝溪（Y1）的平均水溫最高，且變幅最大。

桃山西溪與北溪的海拔高度相近，但桃山西溪的水溫在秋、冬兩個季節系統性的低於桃山北溪大約兩到三度（如圖 21 所示），隨著春天的來臨，桃山西溪之水溫才慢慢接近北溪水溫，過去研究利用數值高程資料擷取西溪及北溪在交會前約莫 2.5 公里長之河段，試圖考量地形遮蔽計算河川接受太陽直射時間，圖 22 ~圖 23 縱軸表示該河段接受到太陽直射之百分比，結果證實，西溪在冬天時整體河段受光百分比顯著比北溪來的少，而夏天時候兩溪受光面積的比例隨時間的變化趨於一致，但整體來說西溪還是略少於北溪，說明了為何西溪水溫在冬天時低於北溪水溫兩度，而夏天時僅略低北溪。兩溪每日受太陽直射起始時間的不同亦反應在水溫的變化上，西溪受到太陽直射的時間較早，觀測資料亦顯示西溪冬天水溫升高的時間比北溪來得早約 40 分鐘，而冬天時北溪受光面積隨時間變化較為迅速，亦導致北溪水溫變化的幅度較西溪來得劇烈，到了夏天則因兩溪受光趨勢相近，變化幅度亦相當接近（如圖 24 所示）。以上發現顯示，河川的走向或許即決定了某些程度上水溫的變

化，在以水溫為主要限制因子的國寶魚復育上提供了相當有價值的參考依據。

透過模式的模擬亦發現，植栽對於河水的降溫有顯著的效果，過去研究中為了瞭解在七家灣溪兩岸到底要種植多少的樹木才能夠達到河水降溫的成效，作了一些假設的案例，參考楊奕岑（2004）在高山溪五個河段所量測  $k$  及 LAI 之平均值，假設七家灣溪兩岸欲種植之樹木具有相同之性質，即  $k=0.258$ 、 $LAI=2.399$ ，配合不同的樹冠層仰角高度，可以得到水溫的變化如圖 25 所示，可以發現，當樹冠層高度達 90 度時，降溫效果最佳，那是因為河道的上空已經被樹冠層所覆蓋，隨著樹冠層角度的降低，降溫的效果也就越不顯著，當樹冠層仰角高度達 50 度時，已經和沒有種植兩岸植栽時（現今實際狀況）的溫度變化相同，那是因為當樹冠層仰角越高時，影響太陽輻射進入河面的時間也就越久，當達 90 度時，河面整天接受之太陽輻射均已受到樹冠層的削減，所以溫度的變化也就比較不劇烈。

過去經驗告訴我們，河川走向和兩岸植栽庇蔭程度是影響水溫變化的重要因素，這樣的經驗將可以用來評估七家灣溪之植栽策略，及未來櫻花鉤吻鮭域外放留之棲地選擇。

## 四、 討論

### 4.1 人為活動對水質之影響

為了讓國寶魚永續生存於七家灣溪流域，雪霸國公園管理處近年來積極回收農耕地做為國土復育，但因為影響到農民生計，造成政府與民間的熱烈討論，回收農地後是否造成水質的改善一直是討論的焦點，研究中試圖利用兩年來持續觀測的資料，檢視廢耕後之土地是否對改善水質有正面的幫助。

NO<sub>3</sub> 在集水區中的輸出是農業活動最直接的證據，因為農業地區所使用的化學肥料都具有硝酸根，而這樣肥料在經過佈施後，會隨著水流進入地下水系統，或在暴雨時隨著次表流或地表流進入河溪，因此，河溪中的 NO<sub>3</sub> 輸出一直為經營管理單位所關心的議題之一，過高濃度的 NO<sub>3</sub> 將會提高原水處理成本，且過高濃度的 NO<sub>3</sub> 也容易導致水體優養化的現象。研究中即以 NO<sub>3</sub> 為例，計算不同土地利用下（圖 3）NO<sub>3</sub> 之輸出量，探討各種土地利用對於河溪中 NO<sub>3</sub> 的貢獻。

研究中假設每種土地利用 NO<sub>3</sub> 的產出量（kg/ha/yr）在年時間尺度下為一個定值（k），其與每個水質觀測點的關係可以(9)式來表示：

$$Load = \sum_{i=1}^n k_i \times A_i \quad (9)$$

其中 Load 表示採樣點觀測到之 NO<sub>3</sub> 年產出量（kg/ha/yr），i 表示採樣點以上所圍集水區中所包含之土地利用數目，而每種土地利用所佔的面積分別為 A<sub>i</sub>（ha）。研究中共有 16 個採樣點（表 4），每個採樣點所含之土地利用最多包含 8 種，包括 Natural forest、Mixed forest、Secondary forest、Grass、Bare land、Orchard、Active vegetation 及 Inactive vegetation，其中因為包含了廢耕地（Inactive vegetation）的面積，因此可以用來探討回收耕地對水質產生的效應。

(9)式中 Load 為觀測值，其計算方式是透過建立觀測日之日 NO<sub>3</sub> 產出量與日流量之關係式，並將兩年連續日流量代入後，即可得出年平均 NO<sub>3</sub> 產出量，從表 5 可以發現，日 NO<sub>3</sub> 產出量與日流量之關係在各測站均非常良好，顯示應用率定曲線法推估七家灣溪 NO<sub>3</sub> 產出量之高可信度。根據兩年觀測水質之計算結果，各測站之 NO<sub>3</sub> 產出量如表 6 所示，平均而言，有勝溪的產出量高於七家灣溪，而大部分的 NO<sub>3</sub> 是在豐水期時被排入河川。

每個觀測點均可建立獨立的(9)式，因此研究中共有 16 個聯立方程

式，而每個方程式均包含（至多）8 個未知數，即每種土地利用之產出量 ( $k_i$ )，這樣的問題設計理當可以找到解析解，但同種土地利用具有相同產出量之假設並不一定真實，在不同集水區內儘管同種土地利用，可能因為農家的施肥習慣及土壤性質而有所差異，為了在求解的過程中納入不確定性的因素，研究中採用蒙地卡羅方法求解，以亂數決定之 50,000 組土地利用產出量，一一代入 16 個聯立方程式中，並將每個計算結果一一與 16 個測站觀測年 NO<sub>3</sub> 產出量比較，比較結果以最小均方差 (Root mean square error, RMSE) 表示，RMSE 越小則表示隨機產生之土地利用產出量最能合理模擬集水區出口之 NO<sub>3</sub> 輸出。

結果顯示，最佳的各種土地利用 NO<sub>3</sub> 產出量組合分別是：primary forest 為 0.35 kg/ha/yr, mixed forest 為 0.88 kg/ha/yr, second forest 為 44.58 kg/ha/yr, grass 為 65.77 kg/ha/yr, bareland 為 26.09 kg/ha/yr, orchard 為 809.34 kg/ha/yr, active vegetation 為 10877.20 kg/ha/yr, 而 inactive vegetation 則為 5795.14 kg/ha/yr for。其中以 active vegetation 的輸出最高，而最令人意外的，就是儘管廢耕地已經停止耕作，但其 NO<sub>3</sub> 每年每公頃的產出量依然還是 orchard 的 8 倍，可見仍有大量的 NO<sub>3</sub> 殘存於土壤之中，會經由地下水或是地表、地表下逕流的方式流入河川。為了考慮上述產出量決定之不確定性，研究中選取前 1% 最優的參數解，繪製如圖 26 所示，其中縱軸以遞減方式繪製，圖中 RSME 與各種土地利用之 NO<sub>3</sub> 產出量均呈現三角形分佈，三角形的頂端及上述之最優解，而每種土地利用 NO<sub>3</sub> 產出量之前 500 優解的分佈 (平均值 + 標準偏差) 分別為：primary forest 為  $4.27 \pm 3.35$  kg/ha/yr, mixed forest 為  $13.08 \pm 8.40$  kg/ha/yr, second forest 為  $40.00 \pm 9.30$  kg/ha/yr, grass 為  $73.79 \pm 19.77$  kg/ha/yr, bareland 為  $96.90 \pm 74.52$  kg/ha/yr, orchard 為  $855.62 \pm 46.22$  kg/ha/yr, active vegetation 為  $10710.14 \pm 128.33$  kg/ha/yr, 而 inactive vegetation 則為  $5572.35 \pm 269.40$  kg/ha/yr。

## 4.2 污染傳輸路徑

從上述成果可以發現，人類活動依然是水質污染的主要來源，但污染物可能透過地下水、地表逕流或是地表下逕流的路徑流入河川，瞭解污染傳輸的路徑則是進一步且重要的工作，才能在污染進入河川前透過適當的方式適時攔阻。

為了達到上述目的，研究中利用端源混合 (end-member mixing) 的原理，假設河川流量均來自於若干來源 (一般較常假設為地下水、地表逕流、及地表下逕流三個來源)，而所夾帶的污染物在河道中充分混合，即我們採樣觀測到的水質濃度。河川中觀測到的水質濃度與端源混合之關係如圖 27 及圖 28 所示，其中黑色實心點表示非颱風期間的觀測資料，紅色空心點則表示颱風期間的觀測資料 (以 2007 年柯羅沙颱風為例)，利用 SO<sub>4</sub> 對 Cl 或是 Ca 濃度的散佈圖可以發現，非颱風期間的水質分佈比較散亂，而颱風期間的水質比較有顯著的趨勢，儘管如此，從圖 27 及圖 28 還是可以看出圖上的資料點，似乎散佈在某個隱形的三角形區塊內，亦就是水質混合的端源。本研究的目的即是找出各水質端源的濃度，並計算各來源所佔河川流量中的百分比。

河川中水質與端源水質的關係可以(10)式來表示，其中  $f_i$  表示河川水質來自第  $i$  個端源之百分比， $C_{ji}$  則表示第  $j$  個水質參數在第  $i$  個端源時的濃度，而  $C_{jR}$  則表示第  $j$  個水質參數在河川中所觀測到的濃度。因此若在端源濃度已知的情況下 ( $C_{ji}$ )，只要透過求解(10)式三元一次聯立方程組即可求得流量來自各端源的比例 ( $f_i$ )，也就是污染傳輸路徑的百分比。

$$\begin{aligned} f_1 + f_2 + f_3 &= 1 \\ C_{11} \cdot f_1 + C_{12} \cdot f_2 + C_{13} \cdot f_3 &= C_{1R} \\ C_{21} \cdot f_1 + C_{22} \cdot f_2 + C_{23} \cdot f_3 &= C_{2R} \end{aligned} \quad (10)$$

但是以目前的觀測結果，並無法提供準確端源水質的資訊，因為我

們並沒有打井去取得地下水的水質濃度，亦沒有觀測土壤水及地表逕流的水質，但是透過在各種極端氣候的河川水質仍可發現端倪，例如在連續多日不下雨的情況下，我們可以假設接近百分之百的河川流量均來自於地下水，此時所量測到的水質濃度可以假設為地下水水質濃度，而颱風期間的觀測水質，由於土壤均已飽和，在假設大部分流量均來自於地表逕流的情況下，颱風期間觀測到尖峰流量發生時的水質濃度可以假設為地表逕流的端源濃度。為了避免人為決定端源水質造成的不確定性，研究中僅設定各個端源可能發生的範圍（如圖 27 及圖 28 方框所示），利用亂數產生的端源水質，再配合交叉比對不同水質參數的計算結果，得出較高可信度的端源水質及貢獻百分比。研究中以計算暴雨颱風期間之污染路徑為主要目標，正如 NO<sub>3</sub> 產出量之研究結果，因為大部分的污染源均在暴雨期間輸入河川。其具體作法說明如下：第一、在方框所決定的範圍內，隨機產生三個端源的 SO<sub>4</sub>、Cl 及 Ca 濃度；第二、利用 SO<sub>4</sub> 及 Cl（如圖 27 及圖 28 左圖）計算三個端源的貢獻百分比；第三、再利用 SO<sub>4</sub> 及 Ca（如圖 27 及圖 28 右圖）計算三個端源的貢獻百分比；第四、比較兩組端源貢獻百分比，再重複上述步驟 6,000 次後，將可以找到最接近的兩組端源貢獻百分比，而此時三個端源的濃度假設是最合理的端源濃度。

測試結果最優的端源水質在高山溪及有勝溪的結果分別如圖 27 及圖 28 方框中的實心點所示，而計算所得各端源所佔之百分比則如圖 29 及圖 30 所示，高山溪擁有較一致的計算結果，柯羅沙颱風期間以 Source3 佔最多，而其次分別為 Source2 及 Source1，從端源的水質分佈及在水文歷線上的貢獻程度，推估 Source1 應主要為地下水來源，而 Source2 為地表下逕流，Source3 則為地表逕流。但是在有勝溪的分析結果就不如預期，有勝溪集水區本身嚴重受到人為活動影響，水質變異高的結果本來就可能增加分析的不確定性，研究結果也顯示需要配合更多現地採樣結



果的輔助，以瞭解真正的污染傳輸路徑。

#### 4.3 植栽遮蔽效應

水溫一直以來為七家灣溪重要的棲地指標之一且廣泛地被討論。根據觀測資料發現，高山溪的水溫比起相同高程的河段（一號壩至三號壩之間）為低，此兩河段最大的不同在於高山溪河道較窄且兩岸之森林覆蓋完整；因此若加入兩岸植栽的高度與覆蓋度則可正確地模擬高山溪的水溫變化。這樣的研究顯示，植栽遮蔽或許唯一有效降低水溫的經營策略。因此，在本計畫中利用運用修正後的水溫模式來模擬兩岸植栽可能可以提供的降溫貢獻。在水溫模式中將太陽輻射直射水面的方位分為八個，依照季節與時間的不同，短波輻射會從八個方向中的任一方向照射水面（如圖 31 所示），也就是說若能在光線進入河面之前阻絕或是減弱太陽輻射，則可達到降溫的效果，在七家灣溪主流上，地形即是第一道防線，從三號壩沿著七家灣溪到一號壩，每個河川網格在每個方位所擁有的地形屏障如圖 32 所示，整體來說，七家灣溪兩岸的天然屏障約達 50 度，也就是當太陽高度角高於此角度時，將有可能直接照射到水面，而有效的植栽策略亦必須高於此角度，才能發揮削減太陽輻射的功效。由圖 32 可知方位 IV、V 及 VI 擁有較低的天然屏障，因為方位 IV 及 V 剛好是七家灣的河道方位，而方位 VI 則是七家灣溪西岸的蔬果區。因為研究區域所在位置的關係，太陽永遠不會從方位 I 及 VIII 照射水面。

根據七家灣溪現有的天然屏障，研究中設計了四種不同的植栽策略，分別是蔬果區的恢復植林、上游植栽、下游植栽、東岸植栽及西岸植栽共五種策略，而每種策略包含兩種植栽高度，因此研究中共設計了十種情境，評估一年之中各種情境對於每日最高水溫的降溫效果，研究中以每個月 15 日的太陽輻射為例，假設為晴空萬里的天氣條件，模擬不

同植栽情境下七家灣溪三號壩到一號壩的水溫，模擬之每個網格每日之最高水溫與現有植栽情形下每個網格的每日最高水溫比較，求得在不同植栽情境下七家灣溪平均最高溫降溫幅度。結果如圖 33 所示，以上游全面的植栽對於降溫的成效最為顯著，其次是西岸植栽、下游植栽及東岸植栽，蔬果區的恢復植林，因為該情境的設計無法削減到到達每日最高水溫前的短波輻射，而效果欠佳，不過本研究主要探討的是植栽對於減緩短波輻射進而對水溫變化的直接影響，並未評估植栽對於降低地下水溫等間接影響。整體來說，植栽的角度必須大於 50 度之後才開始有顯著的成效，但儘管增加植栽角度至 70 度，也無法減低夏季高溫之情形，夏季時太陽入射的角度多高於地形遮蔽，且其高度角高達 90 度，若不是庇蔭良好的植栽（樹冠層延伸至河道上，將河道完全遮蔽，如部分高山溪河段），根本無法阻攔太陽輻射，亦無法改善每日最高水溫。上游植栽擁有最好的降溫效果，所有月份中，平均每個河川網格日最高溫的降幅列於表 7。

不同植栽造成的每日最高水溫沿河段的變化可如圖 34 所示，上游植栽因為減少了上游往下游的熱量傳遞，所以造成的河段降溫是全面性的，不像下游植栽僅造成局部性的降溫，而西岸植栽亦有不錯的效果，卻有季節性的差異，在九月時僅在下游地區造成局部性的降溫，而十二月時則造成了整個河段的降溫，這與太陽行進的路線往南移而使得其高度角下降有關。

研究中並進一步建議上游植栽，除了其造成全河段的降溫外，上游河道較窄或許有機會讓兩岸的樹冠層延伸到河道中央，使得植栽的角度到達 90 度，當到達此一條件時，一天之內所有的短波輻射都將經過樹冠層的削減，連夏季也出現明顯的降溫成效（如圖 35 所示），在現在的氣候條件下部分河段已經超過櫻花鉤吻鮭所適合的生存溫度，若上游植栽角度到達 90 度，則七月份會多出 2 公里適合生存的棲地，八、九月則分

別會多出 3 公里及 1 公里的適用棲地，對於減緩氣候變遷造成適用棲地的縮減，增加兩岸植栽將有一定之成效。目前研究成果僅依照模式的觀點進行評估，植栽的進行前尚須配合全面性的河段調查，檢視河岸的穩定性等影響植栽的因素，而上游地區則是可以優先考量之河段。

## 五、 結論與建議

### 結論

#### 5.1 流量

流量與許多生態作用息息相關，尤其此七家灣溪。本研究所建立之七家灣溪分散式水文模式已經驗證合理模擬武陵地區之流量，對於集水區內現況水文歷程的瞭解，甚至未來氣候變遷對流量影響的評估，將是一個良好的研究工具。但仍延續去年研究成果，建議增設流速計（尤其是高流量時期的監測）來提升來提升率定曲線的正確性，所得的結果應較為正確。具體建議如下：

- 1.在現有資料條件下，利用模式與下游水庫的日入流量(水庫入流量測較為正確)來提升現有率定曲線的正確性為一經濟可行的方案。

- 2.以觀測流量的絕對值作為生態指標時需特別注意利用實測水位之推估流量之誤差影響。

#### 5.2 物質通量

從連續的水質觀測及物質的通量計算，可以得到以下幾點結論：

1. 研究中探討七家灣溪流域內八種土地利用的 NO<sub>3</sub> 產出量 (kg/ha/yr) 列舉如下：primary forest 為  $4.27 \pm 3.35$  kg/ha/yr，mixed forest 為  $13.08 \pm 8.40$  kg/ha/yr，second forest 為  $40.00 \pm 9.30$  kg/ha/yr，grass 為

73.79 ± 19.77 kg/ha/yr, bareland 為 96.90 ± 74.52 kg/ha/yr, orchard 為 855.62 ± 46.22 kg/ha/yr, active vegetation 為 10710.14 ± 128.33 kg/ha/yr, 而 inactive vegetation 則為 5572.35 ± 269.40 kg/ha/yr。

2. 廢耕蔬菜園仍有 5572 kg/ha/yr 的 NO<sub>3</sub> 產出量，顯示過去施肥殘餘累積於土壤中的肥料，仍會在農業活動停止後慢慢稀出。

### 5.3 水溫

針對水溫的觀測及模擬提出以下幾點結論：

1. 透過植栽將可以降低河川水溫。
2. 上游植栽對於降低日最高溫的效應最好。

## 建議

整合過去三年之研究成果，本研究針對提高對於七家灣溪生態環境瞭解及保育，提出下列具體建議。以下分別從立即可行的建議、及長期性建議加以列舉。

### 建議一

立即可行之建議—增設流速計以提升推估流量的正確性。

主辦機關：台灣電力公司

協辦機關：經濟部水利署

建議量測流速尤其是在高流量時期，來提升率定曲線的有效與正確性。

### 建議二

長期性建議—持續進行水質監測

主辦機關：雪霸國家公園

協辦機關：各研究單位

持續水質監測，將可釐清農耕地回收所產生的一連串效應，將可做為台灣其他山坡地經營的借鏡與典範。

### 建議三

長期性建議—持續進行水溫監測

主辦機關：雪霸國家公園

協辦機關：各研究單位

水溫為影響國寶魚之關鍵性因子，持續監測與尋求有效降低水溫的方法可及早因應全球暖化對國寶魚的衝擊。

## 參考書目

- 李宗祐，2003。氣候變遷對櫻花鉤吻鮭棲地水溫及族群數量之影響。國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。台北。
- 林幸助，2001。水域優養化及生態監測。中國生物學會，44(1): 34-42。
- 林幸助，2003。武陵地區溪流藻類生產力之限制營養鹽。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 林幸助，2006。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 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，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。
- 楊正雄，1997。水溫對櫻花鉤吻鮭族群之影響。國立清華大學生命科學研究所碩士論文。新竹。
- 楊奕岑，2004。模擬氣候變遷對櫻花鉤吻鮭域外放流棲地水溫與潛在族群數之衝

- 擊。國立台灣大學生物環境系統工程學研究所論文。台北。
- 廖林彥，2001。國家公園生態保育—以台灣櫻花鉤吻鮭為例。社教資料雜誌，279: 4-6。
- 簡麗鳳，2004。武陵地區溪流藻類生產力之限制營養鹽研究（二）。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- Beven, K.J., 1997. TOPMODEL: a critique. *Hydrological Processes* 11(9): 1069-1086.
- Buckley, D.S., Isebrands, J.G., Sharik, T.L., 1999. Practical field methods of estimating canopy cover, PAR, and LAI in Michigan Oak and Pine stands. *Journal of Applied Forestry*, 16(1): 25-32.
- Campling, P., Gobin, ., Beven, K., Feyen, J., 2002. Rainfall-runoff modeling of a humid tropical catchment: the TOPMODEL approach. *Hydrological Processes*, 16(2): 231-253.
- Candela, A., Noto, L.V., Aronica, G., 2005. Influence of surface roughness in hydrological response of semiarid catchments. *Journal of Hydrology* 313: 119-131.
- Cattaneo, F., Lamouroux, N., Breil, P., Capra, H., 2002. The influence of hydrological and biotic process on brown trout (*Salmo trutta*) population dynamics. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 59: 12-22.
- Günter, A., Uhlenbrook, S., Seibert, J., Leibundgut, C., 1999. Multi-criterial validation of TOPMODEL in a mountainous catchment. *Hydrological Processes*, 13: 1603-1620.
- Hamon, W.R., 1961. Estimating potential evatranspiration. *Proceedings of the American Society of Civil Engineering, ASCE Proceedings Journal of the Hydraulics Division*, 87(HY3): 107-120.
- Harlin, M.M., 1995. Changes in major plant groups following nutrient enrichment. In: McComb AJ (ed.) *Eutrophic shallow estuaries and lagoons*. CRC press, Boca Raton,

- Hornberger, G.M., Scanlon, T.M., Raffensperger, J.P., 2001. Modelling transport of dissolved silica in a forested headwater catchment: the effect of hydrological and chemical time scales on hysteresis in the concentration-discharge relationship. *Hydrological Processes*, 15(10): 2029-2038.
- Huang, J.C., Kao, S.J., Hsu, M.L., Lin, J.C., 2006. Stochastic procedure to extract optimal input parameter combinations and to construct integrated landslide occurrence map: An example of mountainous watershed in Taiwan. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6: 803-815.
- Krause, P., Boyle, D.P, Bäse, F., 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in Geosciences*, 5: 89-97.
- Kim, K.S., Chapra, S.C., 1997. Temperature model for highly transient shallow streams. *Journal of Hydraulics Engineering*, 123(1): 30-40.
- Lamb, R., Beven, K.J., 1997. Using interactive recession curve analysis to specify a general catchment storage model, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 1: 101–113.
- Lampert, W., Sommer, U., 1997. *Limnoecology: the ecology of lakes and streams*. Oxford University Press, New York, p313-316.
- Lee, T.Y., Huang, J.C., Kao ,S.J., Carey, A.E., 2007. Sampling strategy and optimal estimator to obtain reliable material fluxes from high-standing rivers in Taiwan. Submit to *Journal of Hydrology*.
- Lemenih, M., Gidhyelew, T., Teketay, D., 2004. Effect of canopy cover and understory environment of tree plantations on richness, density and size of colonizing woody species in southern Ethiopia. *Forest Ecology and Environment*, 194 (2004) 1-10.
- Liu, Y.B., Gebremeskel, S., De Smedt, F., Hoffman, L., Pfister, L., 2003. A diffusive approach for flow routing in GIS based flood modeling. *Journal of Hydrology*, 283:

91-106.

- Madsen, H., 2000. Automatic calibration of a conceptual rainfall-runoff model using multiple objectives. *Journal of Hydrology*, 235: 276-288.
- Molnar, P., Ramirez, J.A., 1998. Energy dissipation theories and optimal channel characteristics of river network. *Water Resources Research*, 34(7): 1809-1818.
- Nash, J.E., Sutcliffe, J.V., 1970 River flow forecasting through conceptual models 1. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10: 282-290.
- Newcombe, C.P., 2003. Impact assessment model for clear water fishes exposed to excessively cloudy water. *Journal of the American Water Resources Association*, 39(3): 529-544.
- Scanlon, T.M., Ruffensperger, J.P., Hornberger, G.M., 2000. Shallow subsurface storm flow in a forested headwater catchment: Observations and modeling using a modified TOPMODEL. *Water Resources Research*, 36(9): 2575-2586.
- Shaw, E.A., Richardson, J.S., 2001. Direct and indirect effects of sediment pulse duration on stream invertebrate assemblages and rainbow trout growth and survival. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 58: 2213-2221.
- St-Hilaire, A., Caissie, D., Cunjak, R.A., Bourgeois, G., 2005. Streambed sediment composition and deposition in a forested stream: Spatial and temporal analysis. *River Research and Application*, 21:883-893.
- Tarboton, D.G., 1997. A new method for the determination of flow directions and contributing areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research*, 33(2): 309-319.
- Walter, M.T., Steenhuis, T.S., Mehta, V.K., Thongs, D., Zion, M., Schneiderman, E., 2002. Refined conceptualization of TOPMODEL for shallow subsurface flows. *Hydrological Processes*, 16: 2041-2046.
- Wang, Y.C., Han, D., Yu, P.S., Cluckie, I.D., 2006. Comparative modeling of two



- catchments in Taiwan and England. *Hydrological Processes*, 20(20): 4335-4349.
- Wu, F.C., 2000. Modeling embryo survival affected by sediment deposition into salmonid spawning gravels: Application to flushing flow prescriptions. *Water Resources Research*, 36(6): 1595-1603.
- Zevenbergen, L.W., Throne, C.R., 1987. Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12: 47-56

表.1 子計畫中各類測站資訊一覽表

測站	武陵計畫編號	測站代碼	所屬流域	水質/頻率**	水溫	氣溫	備註
桃山北溪	#1	T1	七家灣溪	●/3 天	●		
桃山西溪	#2	C7	七家灣溪	●/月*	●	●	
二號壩	#3	C6	七家灣溪	●/月			
小支流		C5	七家灣溪	◎/月			二號壩與一號壩間之支流
一號壩	#4	C4	七家灣溪	●/月	●		
繁殖場	#5	C3	七家灣溪	●/月		●	
萬壽橋	#6	C2	七家灣溪	●/月			
迎賓橋	#7	C1	七家灣溪	●/3 天	●		
四季朗吊橋		C0	大甲溪	◎/3 天	●	●	
高山溪	#8	K1	高山溪	●/3 天	●		
思源二號橋右岸		Y7	有勝溪	◎/月	●		
思源二號橋		Y6	有勝溪	◎/月			
張良橋		Y5	有勝溪	◎/月			
馬鮒橋		Y4	有勝溪	◎/月			
鐵橋		Y3	有勝溪	◎/月			Y4、Y2 間中華電信基地台旁
蘭花橋		Y2	有勝溪	◎/月			
有勝溪	#9	Y1	有勝溪	●/3 天	●		收費站
司界蘭溪上游	#10	S3	司界蘭溪	●/月	●		
司界蘭溪中游		S2	司界蘭溪	◎/月			
司界蘭溪下游	#11	S1	司界蘭溪	●/月	●		

◎:新增之水質測站

●:有量測該項目

\*/月表示每個月到現地採集樣本

\*\*：從 2009 年中開始，已降低採樣頻率，取消 3 天乙次的密集採樣，月採樣亦改為雙月採樣

表.2 利用 3-layer TOPMODEL 在四季朗、七家灣溪、有勝溪測站的歷年模擬結果

	四季朗		七家灣		有勝溪	
	EC (%) <sup>1</sup>	EQV (%) <sup>2</sup>	EC (%)	EQV (%)	EC (%)	EQV (%)
1990	76.2	+10.1	84.1	-5.3	—	—
1991	70.0	-2.2	67.2	-10.0	—	—
1992	69.0	-18.6	82.2	-2.1	—	—
1993	89.5	+10.7	88.7	+15.2	—	—
1994	71.0	+20.0	66.8	13.9	—	—
1995	86.3	-6.8	84.5	+5.8	—	—
1996	89.3	+3.7	92.9	-1.9	30.9*	-33.0*
1997	81.2	-4.2	81.0	-6.0	53.2	-11.6
1998	82.6	-6.4	77.8	-10.2	73.6	+2.0
1999	70.7*	-10.6*	68.9*	+1.9*	54.1*	+60.5*
2000	85.0	-17.9	88.1	-5.6	87.6	+1.0
2001	89.8	+4.5	94.2	+2.4	60.0	-5.6
2002	92.8	-9.2	78.3	-17.3	84.3	-2.6
2003	—	—	43.2**	+90.1**	29.4**	-35.6**
2004	—	—	88.6	-21.6	81.2	+23.8
average	81.9	9.5	82.9	9.0	73.3	7.8

1. EC (%) 為效率係數，用來表示觀測值與模擬值的相似度，最大值為 1.0，表示完全一致；0.0 表示與觀測平均值一致。低於 0.0 表示比平均值更差。

2. EQV(%) 為流量誤差，定義為： $(\text{模擬流量} - \text{觀測流量}) * 100 / \text{觀測流量}$ 。

\*1996 年與 1999 年的日流量資料分別有誤植與缺測的資料不足，因此模擬結果不納入整體評估

\*\*2003 年為近年來的乾早年，實測之低流量可能超過率定曲線可以推估的範圍。

表.3 2006.12 月到 2009.10 月採集水質樣本之統計值。表格內數據表示濃度之平均值±標準偏差，括號內則為樣本數目。

測站\水質項目	pH	Cond. (μS)	Temp. C	DOC(μM)	F(ppm)	Cl(ppm)
C0	8.21±0.24(31)	229.03±32.24(31)	14.87±3.47(31)	62.92±38.04(257)	0.1±0.03(272)	0.84±0.28(272)
C1	8.21±0.34(32)	224.3±94.94(31)	14.57±3.25(32)	59.4±38.95(236)	0.09±0.03(269)	0.75±0.21(269)
C2	7.95±0.38(32)	212.58±72.36(32)	14.81±3.21(32)	88.84±56.36(27)	0.11±0.04(31)	0.59±0.17(32)
C3	7.99±0.35(32)	211.14±92.97(32)	13.43±2.96(32)	87.22±55.89(28)	0.1±0.04(32)	0.46±0.2(32)
C4	8.01±0.31(32)	215.98±82.63(32)	13.39±2.51(32)	87.58±63.83(28)	0.11±0.05(32)	0.89±0.65(32)
C5	7.61±0.3(32)	215.6±59.53(32)	13.31±2.24(32)	64.93±26(28)	0.06±0.01(32)	10.21±2.96(32)
C6	7.87±0.29(32)	207.3±68.3(32)	12.74±2.34(32)	80.42±49.99(28)	0.09±0.04(32)	0.43±0.21(32)
C7	7.92±0.28(31)	168.46±59.08(31)	11.3±3.08(30)	70.05±36.07(63)	0.08±0.04(66)	0.22±0.24(67)
Y1	8.62±0.44(32)	252±33.55(32)	16.34±3.97(32)	81.38±52.57(235)	0.1±0.03(271)	1.41±0.61(271)
Y2	8.3±0.41(32)	426.56±142.23(32)	13.52±3.46(32)	188.23±153.4(28)	0.16±0.04(31)	1.62±0.56(31)
Y3	8.24±0.32(32)	236.96±71.59(32)	15.26±2.81(32)	116.92±74.68(27)	0.13±0.04(31)	1.21±0.51(31)
Y4	8.25±0.29(32)	305.69±46.31(32)	12.96±3.31(32)	178.92±143.16(26)	0.14±0.05(31)	0.57±0.37(31)
Y5	8.41±0.28(32)	373.59±53.43(32)	13.49±3.33(32)	188.42±169.34(28)	0.14±0.03(32)	0.74±0.24(32)
Y6	8±0.35(32)	197.44±51.96(32)	12.99±2.68(32)	110.5±75.34(26)	0.12±0.05(31)	0.39±0.18(31)
Y7	7.59±0.29(31)	163.9±12.8(31)	13.06±2.53(31)	76.93±38.49(26)	0.09±0.04(31)	0.64±0.29(31)
Y8	7.06±0.09(2)	164.1±42.57(2)	0±0(0)	29.01±10.28(2)	0.04±0.01(2)	0.19±0.07(2)
K1	7.94±0.34(32)	192.05±60.17(32)	12.62±3.44(32)	56.38±32.68(259)	0.08±0.02(273)	0.21±0.19(273)
S1	8.14±0.32(32)	223.38±32.41(32)	14.62±3.07(32)	92.27±64.54(27)	0.12±0.05(32)	0.26±0.15(32)
S2	8.09±0.38(32)	221.24±35.05(32)	14.47±3.02(32)	92.16±72.01(28)	0.11±0.04(32)	0.2±0.15(32)
S3	8.13±0.33(32)	222.37±31.75(32)	14.28±2.9(32)	82.16±60.93(27)	0.1±0.03(31)	0.16±0.06(31)
T1	8.09±0.34(30)	245.19±82.48(30)	12.49±2.16(29)	94.34±74.13(28)	0.12±0.04(31)	0.27±0.41(31)
T2	8.01±0(1)	119.3±0(1)	0±0(0)	37.28±4.18(2)	0.07±0(2)	0.17±0.04(2)

表.3 (續)

測站\水質項目	NO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>3</sub> (ppm)	NH <sub>4</sub> (ppm)	PO <sub>4</sub> (μM)	Na(ppm)	Mg(ppm)
C0	0.02±0.02(123)	3.19±1.81(272)	0.01±0(2)	40.51±9.64(250)	0.19±0.09(268)	3.33±0.46(233)
C1	0.03±0.05(135)	3.3±1.38(269)	0.02±0.01(13)	36.04±5.89(262)	0.19±0.16(269)	3.49±0.5(233)
C2	0.02±0.03(14)	2.91±0.89(31)	0.02±0.02(4)	40.19±30.32(25)	0.24±0.04(28)	2.95±0.41(21)
C3	0.02±0.01(11)	2.06±0.85(32)	0±0(2)	33.71±5.12(25)	0.26±0.04(29)	2.84±0.46(22)
C4	0.02±0.02(12)	4±1.32(32)	0±0(2)	35.62±4.65(25)	0.31±0.23(28)	3.04±0.77(22)
C5	0.05±0.03(12)	56.88±18.52(32)	0.02±0.02(5)	12.05±2.21(25)	0.93±0.23(29)	5.52±0.72(22)
C6	0.01±0.01(12)	2.14±0.95(32)	0±0(1)	32.74±4.1(25)	0.24±0.03(28)	2.79±0.66(22)
C7	0.02±0.03(17)	0.91±1.28(64)	0.01±0(7)	21.41±4.85(45)	0.14±0.07(63)	1.84±0.54(41)
Y1	0.02±0.03(158)	5.39±3.33(264)	0.01±0.01(11)	40.14±9.03(264)	0.18±0.13(270)	4.98±1.07(233)
Y2	0.02±0.01(11)	4.63±2.08(31)	0.02±0(1)	71.14±10.16(25)	0.24±0.13(28)	7.83±1.77(22)
Y3	0.01±0.01(20)	6.84±3.99(31)	0.01±0.01(4)	33.15±4.25(24)	0.34±0.08(28)	4.67±0.81(22)
Y4	0.02±0.01(10)	2.04±1.05(31)	0.03±0.01(2)	36.08±5.24(24)	0.18±0.08(26)	7.42±2.03(22)
Y5	0.02±0.01(8)	1.93±1.04(32)	0±0(0)	51.89±8.89(25)	0.16±0.09(28)	8.62±2(22)
Y6	0.01±0.01(9)	1.83±0.67(31)	0.01±0.01(2)	22.03±4.07(24)	0.32±0.08(26)	4.96±1.12(22)
Y7	0.01±0.01(13)	3.91±2.99(31)	0.01±0.01(5)	28.42±3.12(24)	0.28±0.06(25)	2.8±1.12(21)
Y8	0±0(0)	0.73±0.01(2)	0±0(0)	35.54±9.38(2)	0.07±0.02(2)	1.59±0(1)
K1	0.02±0.02(81)	0.7±0.63(267)	0.02±0(13)	28.15±4.24(266)	0.19±0.1(267)	2.7±0.39(233)
S1	0.05±0.08(10)	0.77±0.38(31)	0±0(2)	42.08±5.34(25)	0.28±0.05(27)	2.9±0.46(22)
S2	0.01±0.01(9)	0.53±0.29(30)	0.01±0(1)	41.12±5.7(25)	0.28±0.05(29)	2.8±0.36(22)
S3	0.01±0(10)	0.49±0.25(28)	0±0(1)	41.53±5.63(25)	0.26±0.06(29)	2.67±0.38(22)
T1	0.02±0.03(7)	0.89±1.07(28)	0±0(0)	44.85±7.96(25)	0.37±0.08(27)	3.99±1.61(22)
T2	0±0(0)	0.35±0.03(2)	0±0(0)	17.7±2.95(2)	0.27±0.02(2)	2.59±0.36(2)

表.3 (續)

測站\水質項目	K(ppm)	Ca(ppm)	Sr(ppm)	Ba(ppm)	Si(ppm)	SO4(ppm)
C0	0.94±0.22(272)	32.28±4.66(272)	0.22±0.04(272)	0.033±0.035(269)	4.18±0.43(272)	40.77±6.45(67)
C1	1.12±0.26(273)	29.49±3.96(273)	0.21±0.03(273)	0.026±0.025(270)	4.08±0.4(273)	36.73±5.16(68)
C2	0.68±0.12(30)	27.02±3.99(30)	0.23±0.02(30)	0.012±0.019(27)	4.03±0.51(30)	37.07±4.42(17)
C3	0.56±0.18(32)	25.63±4.25(32)	0.21±0.02(32)	0.014±0.024(28)	4.05±0.46(32)	34.08±4.13(18)
C4	0.75±0.12(32)	27.03±4.3(32)	0.26±0.02(32)	0.018±0.031(29)	3.91±0.51(32)	36.22±4.82(18)
C5	0.81±0.11(32)	20.47±2.6(32)	0.21±0.02(32)	0.014±0.018(28)	6.34±1.11(32)	16.96±8.11(18)
C6	0.8±0.35(32)	26.63±4.92(32)	0.26±0.03(32)	0.017±0.031(28)	3.7±0.48(32)	36.18±9.27(18)
C7	0.67±0.15(65)	21.46±5.59(65)	0.18±0.03(65)	0.013±0.011(63)	3.11±0.36(65)	29.17±11.18(52)
Y1	2.16±0.35(272)	30.32±3.96(272)	0.17±0.03(272)	0.031±0.026(269)	4.06±0.46(272)	44.83±5.31(67)
Y2	1.35±0.28(32)	42.55±9.69(32)	0.24±0.05(32)	0.018±0.027(30)	3.92±0.48(32)	63.32±18.58(18)
Y3	2.15±0.57(32)	26.6±2.56(32)	0.19±0.07(32)	0.023±0.031(30)	4.14±0.5(32)	37.69±4.82(18)
Y4	1.26±0.28(32)	36.39±5.29(32)	0.21±0.03(32)	0.012±0.007(30)	3.69±0.43(32)	38.41±5.5(18)
Y5	1.38±0.35(32)	38.37±6.21(32)	0.29±0.04(32)	0.016±0.012(30)	3.71±0.43(32)	52.35±8.77(18)
Y6	0.82±0.23(32)	22.04±3.75(32)	0.14±0.04(32)	0.022±0.03(29)	4±0.39(32)	26.52±7.28(18)
Y7	1.27±0.38(31)	18.32±4.32(31)	0.17±0.03(31)	0.02±0.009(30)	4.21±0.54(31)	31.53±5.92(18)
Y8	0.85±0(1)	13.19±0(1)	0.12±0(1)	0.018±0(1)	4.53±0(1)	0±0(0)
K1	0.41±0.21(272)	24.79±3.59(272)	0.16±0.03(272)	0.022±0.018(268)	4.26±0.49(272)	31.5±4.18(67)
S1	0.61±0.38(32)	34.67±4.68(32)	0.26±0.03(32)	0.006±0.005(30)	4.29±0.52(32)	44.97±4.56(18)
S2	0.47±0.1(32)	33.83±5.49(32)	0.25±0.03(32)	0.007±0.008(30)	4.27±0.51(32)	41.69±6.57(18)
S3	0.52±0.18(32)	33.72±6.42(32)	0.26±0.03(32)	0.005±0.002(30)	4.15±0.48(32)	42.49±4.51(18)
T1	0.69±0.49(31)	30.78±4.52(31)	0.4±0.08(31)	0.011±0.009(29)	4.87±0.74(31)	48.91±8.59(17)
T2	0.44±0.08(2)	17.48±3.07(2)	0.25±0.05(2)	0.035±0.003(2)	4.35±0.22(2)	0±0(0)

表.4 各水質採樣點所圍子集水區內之土地利用所佔百分比

Site ID	Natural forest	Mixed forest	Secondary forest	Grass	Bare land	Orchard	Active vegetation	Inactive vegetation
Y7	8.9	1.9	85.0	1.5	1.3	0.0	0.0	3.0
Y6	0.0	10.3	88.5	0.0	0.9	0.0	0.0	0.6
Y5	4.1	20.4	67.2	0.5	2.2	5.1	0.0	1.4
Y4	0.9	24.9	71.2	0.8	1.0	0.4	0.0	0.7
Y3	2.9	21.8	66.4	0.9	1.9	2.9	0.0	4.1
Y2	0.2	23.1	70.5	1.1	1.8	2.6	0.0	0.1
Y1	2.6	23.5	62.9	0.8	1.9	5.2	0.0	3.7
T1	67.8	2.2	26.8	2.7	0.4	0.0	0.0	0.0
C7	74.6	3.5	4.2	13.7	3.5	0.0	0.0	0.0
C6	66.9	4.4	15.0	10.1	2.4	0.0	0.7	0.0
C5	1.1	46.1	9.7	17.2	1.2	11.6	13.1	0.0
C4	54.9	11.6	17.4	10.7	2.2	1.3	1.3	0.0
K1	45.8	22.5	19.7	9.6	2.2	0.1	0.0	0.0
C3	50.7	15.2	19.2	10.1	2.2	1.2	0.9	0.0
C2	47.4	15.9	21.8	9.7	2.0	1.7	1.0	0.0
C1	35.7	17.8	32.7	7.4	2.1	2.5	1.4	0.5

表. 5 各測站日 NO3 產出量與日流量之關係

Site ID	Flux estimator (kg/ha/day): $F = a*Q^b$	$R^2$
Y7	$10.50*Q^{1.34}$	0.73
Y6	$3.38*Q^{1.21}$	0.89
Y5	$0.65*Q^{1.36}$	0.88
Y4	$5.09*Q^{1.28}$	0.84
Y3	$21.05*Q^{1.34}$	0.75
Y2	$2.66*Q^{0.91}$	0.59
Y1	$3.71*Q^{0.97}$	0.75
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>		
T1	$0.93*Q^{1.14}$	0.66
C7	$0.02*Q^{1.04}$	0.68
C6	$6.41*Q^{1.43}$	0.79
C5	$30.63*Q^{0.84}$	0.81
C4	$6.55*Q^{1.21}$	0.86
K1	$1.43*Q^{1.37}$	0.81
C3	$2.19*Q^{1.08}$	0.74
C2	$3.99*Q^{1.16}$	0.87
C1	$5.10*Q^{1.21}$	0.88



表.6 各測站計算所得之 N03 產出量

Nitrate yield (kg/ha/yr)			
Site ID	Dry season	Wet season	Annual
Y7	18.9	151.1	170.0
Y6	11.7	70.5	82.2
Y5	15.6	131.8	147.4
Y4	15.1	103.4	118.6
Y3	53.1	419.1	472.3
Y2	18.0	70.0	88.1
Y1	25.1	85.2	110.3
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>			
T1	3.9	21.4	25.3
C7	2.3	10.6	12.9
C6	9.7	133.8	143.6
C5	337.8	1205.2	1543.0
C4	20.7	143.2	163.8
K1	2.8	16.8	19.6
C3	10.2	50.4	60.7
C2	14.9	89.4	104.2
C1	18.2	113.5	131.6

表.7 不同植栽策略下，在每個月份造成河段平均日最高水溫降溫幅度表

Scenarios \ Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Average*
Vegetative shading= 50°													
Farm restoration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00
Upstream	-0.49	-0.06	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	0.00	0.00	-0.02	-0.48	-0.55	<b>-0.14</b>
Downstream	-0.27	-0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.07	-0.26	-0.40	-0.09
East	-0.23	-0.03	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	0.00	0.00	-0.02	-0.23	-0.33	-0.07
West	-0.49	-0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.07	-0.46	-0.58	<b>-0.14</b>
Vegetative shading= 70°													
Farm restoration	0.00	0.00	0.00	-0.04	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01
Upstream	-0.68	-0.47	-0.47	-0.11	-0.04	-0.02	-0.04	-0.02	-0.31	-0.46	-0.67	-0.77	<b>-0.34</b>
Downstream	-0.36	-0.20	-0.21	-0.07	-0.01	0.00	-0.03	0.00	-0.13	-0.20	-0.36	-0.56	-0.18
East	-0.23	-0.13	-0.22	-0.08	-0.04	-0.03	-0.04	-0.02	-0.17	-0.12	-0.31	-0.46	-0.15
West	-0.49	-0.34	-0.13	-0.06	-0.01	0.00	-0.03	0.00	-0.12	-0.44	-0.56	-0.76	-0.24
Vegetative shading= 90°													
Upstream	-0.83	-0.58	-0.58	-0.72	-0.59	-0.50	-0.68	-0.43	-0.38	-0.56	-0.83	-0.94	<b>-0.64</b>

\* Average 表示 12 個月降溫的平均值

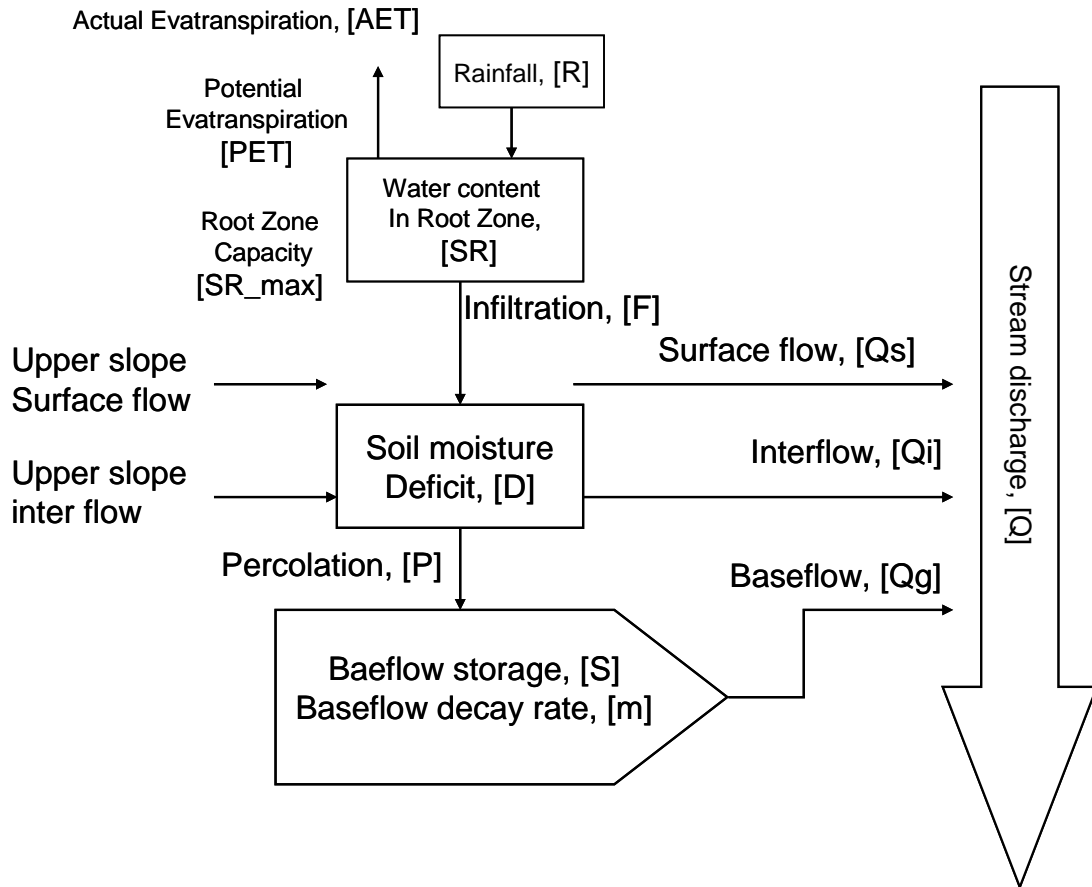


圖.1 3-layer TOPMODEL 的模式結構示意圖

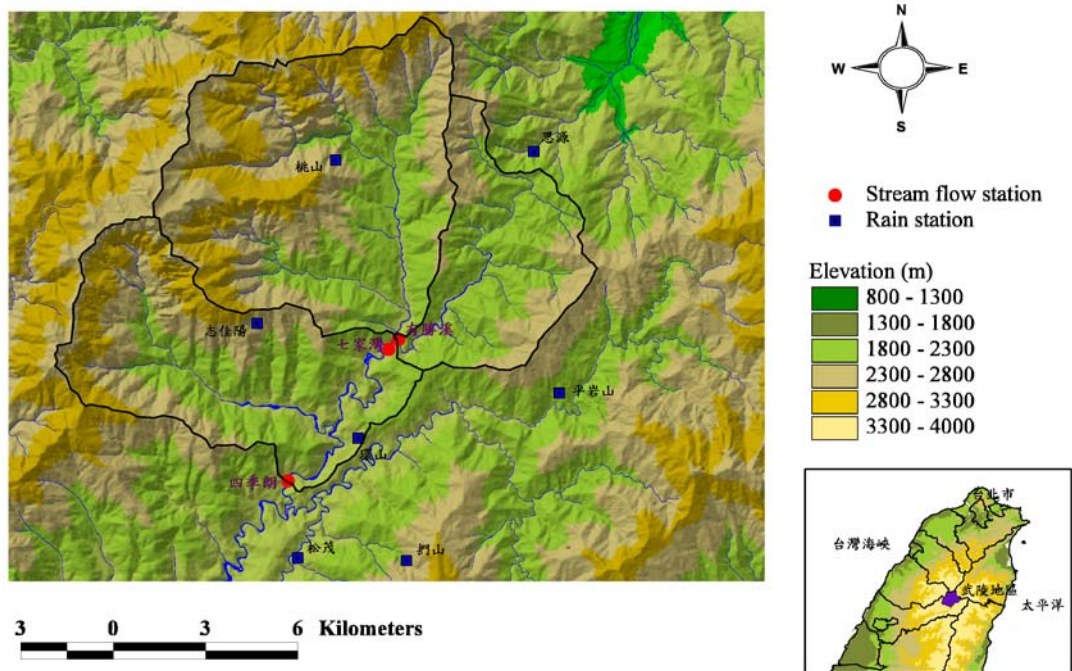


圖.2 武陵地區地形圖與氣象、流量測站分佈圖（來源：德基水庫管理委員會）

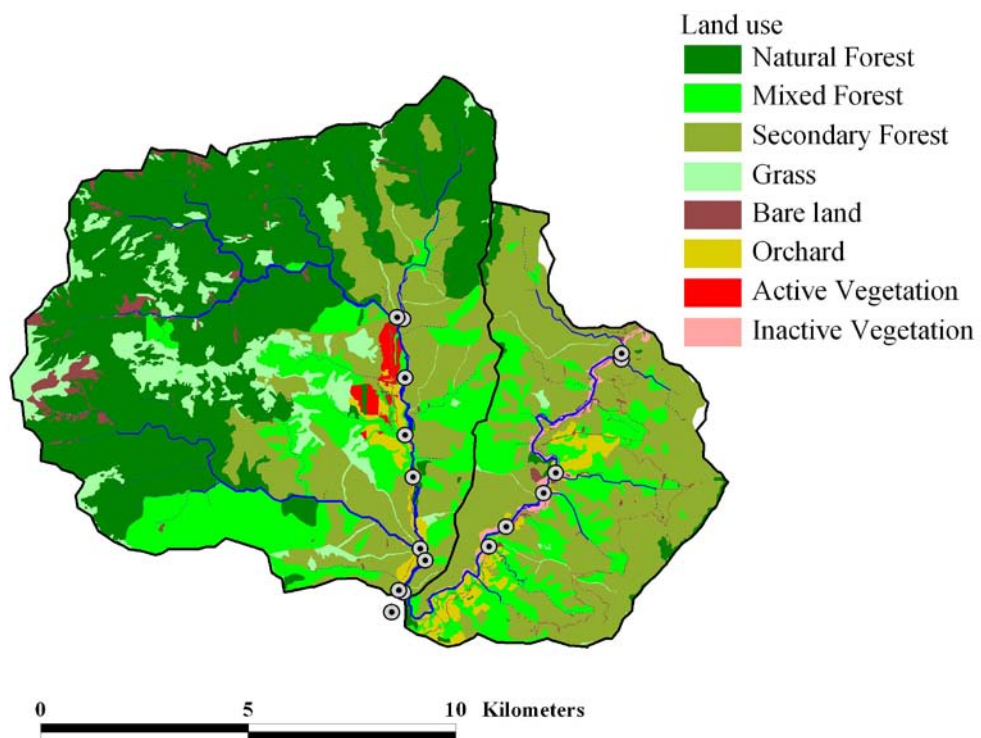


圖.3 武陵地區土地利用分佈圖（來源：雪霸國家公園管理處）



圖.4 子計畫中設置水質、水溫及氣溫測站之位置 (由左至右)

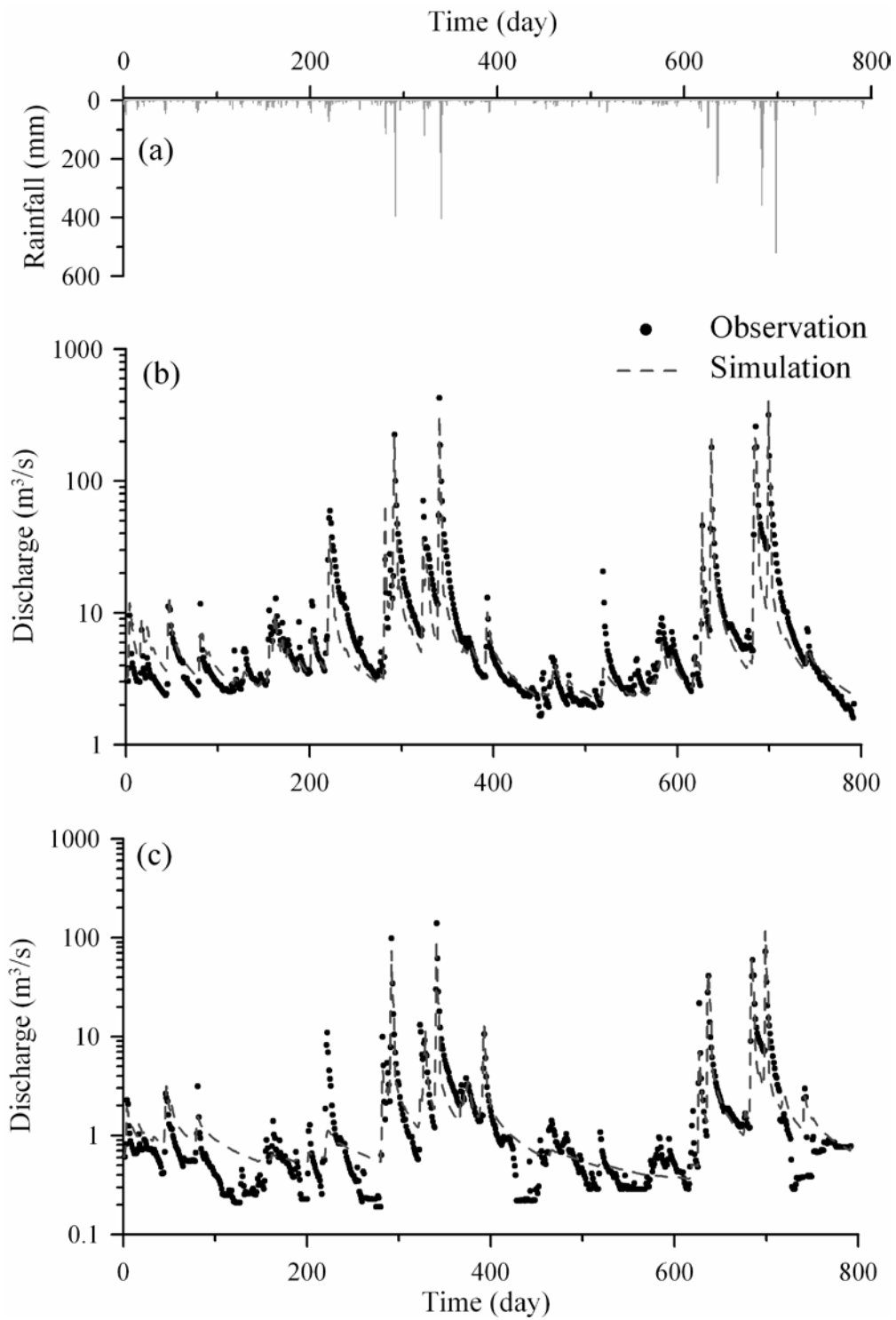


圖.5 2006/11/1~2008/10/31 期間(a)降雨主體圖；模式模擬及觀測流量在(b) 七家灣溪及(c)有勝溪流量測站之結果

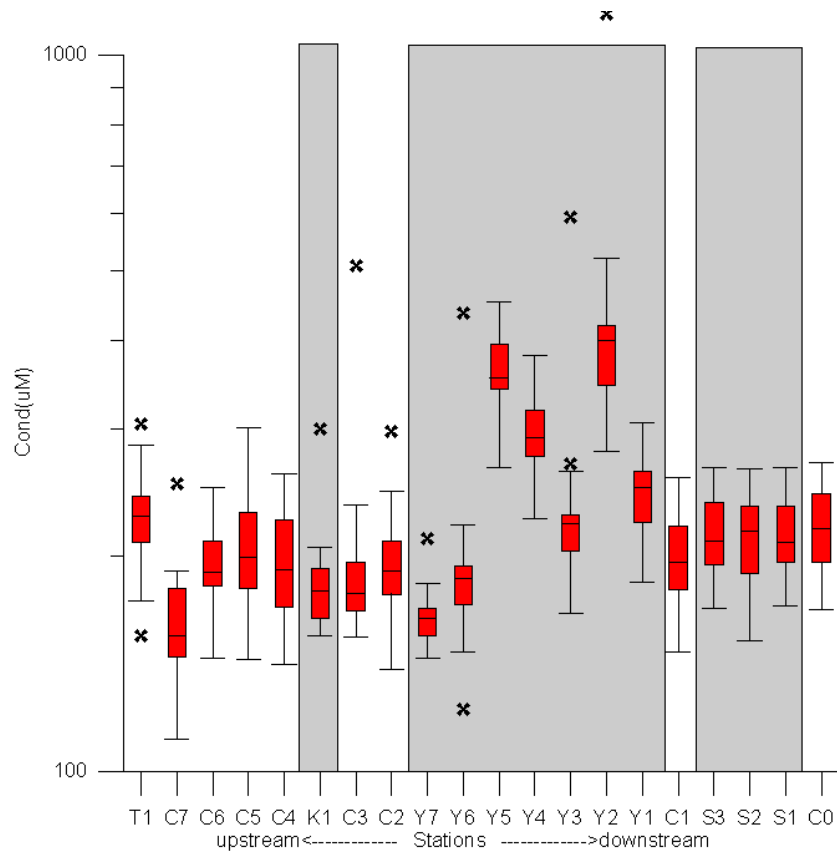


圖.6 導電度之空間變異

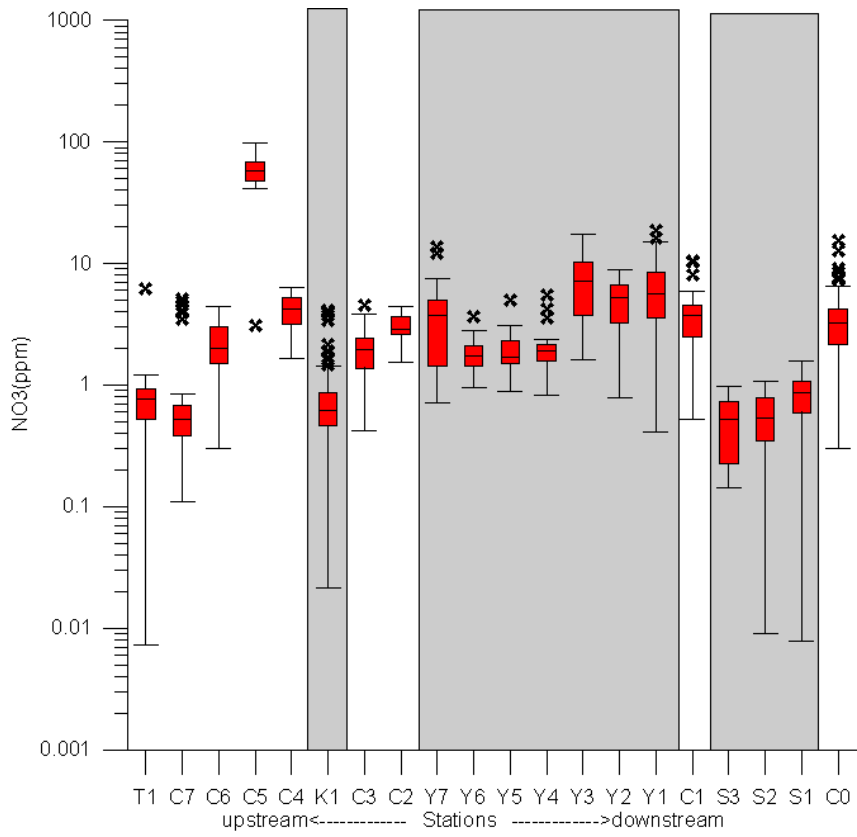


圖.7 NO<sub>3</sub>濃度之空間變異



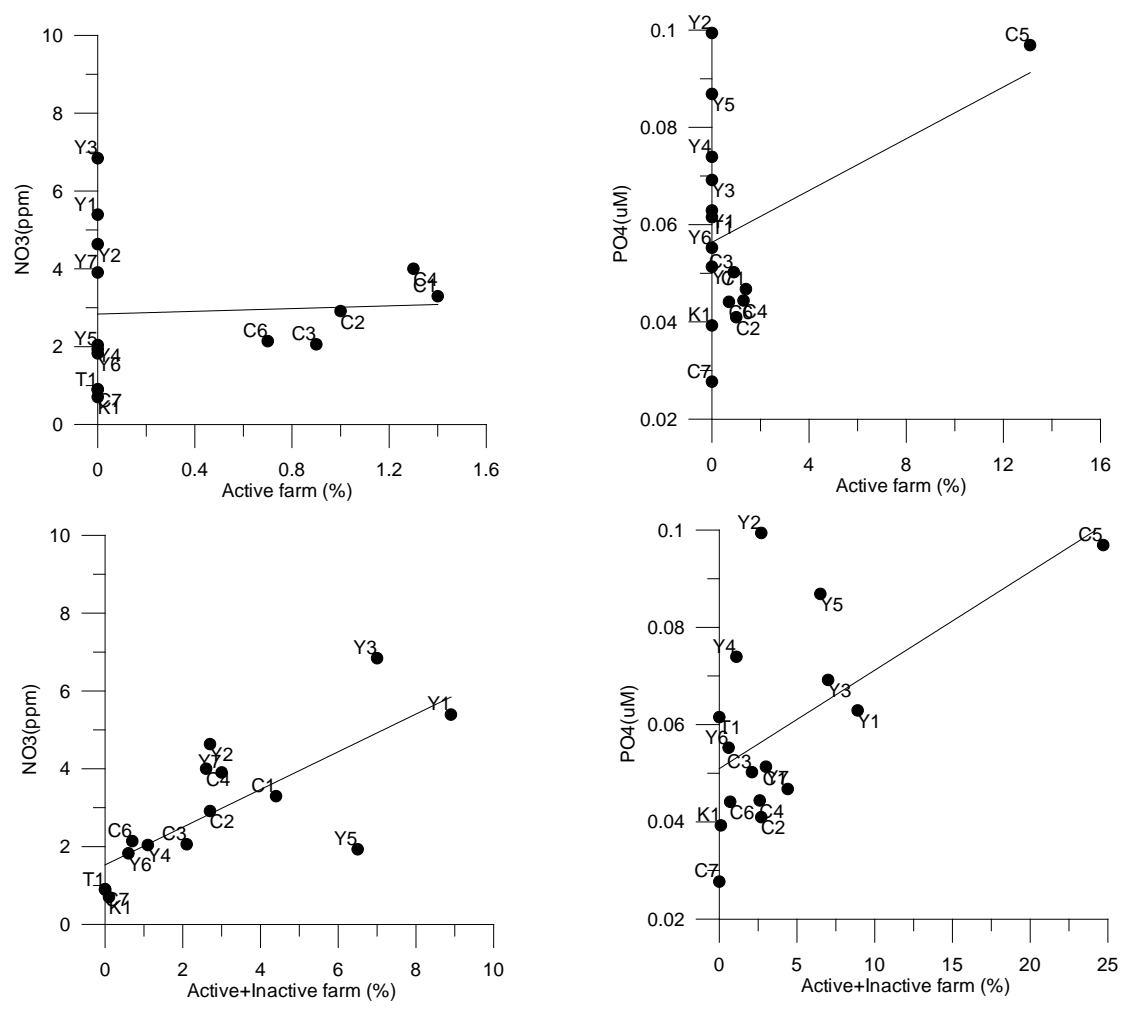


圖.8 採樣期間平均 NO3 及 PO4 與現有耕作地及回收前耕作地之關係

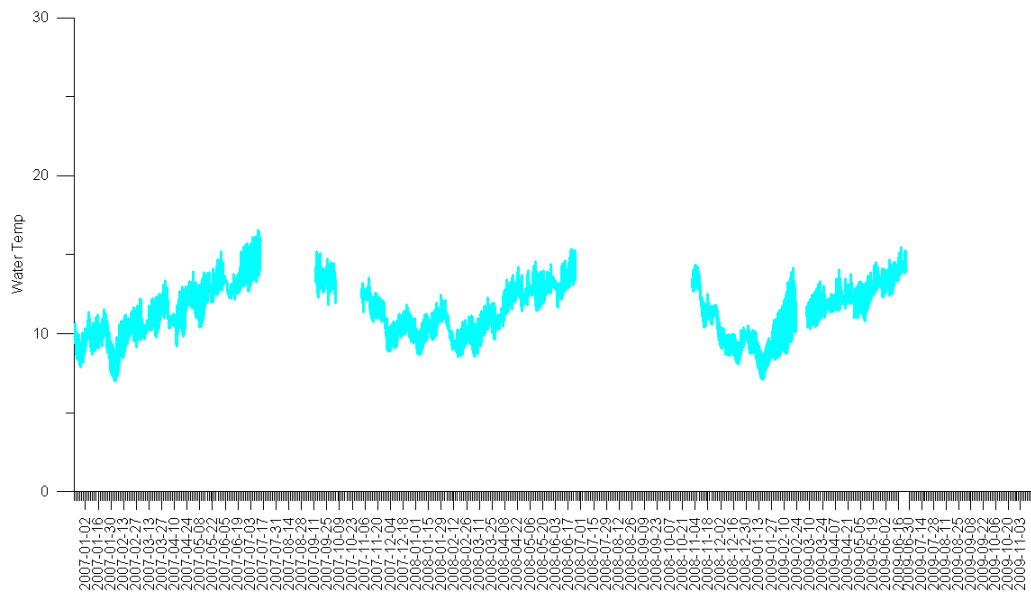


圖.9 桃山北溪水溫之時間序列圖

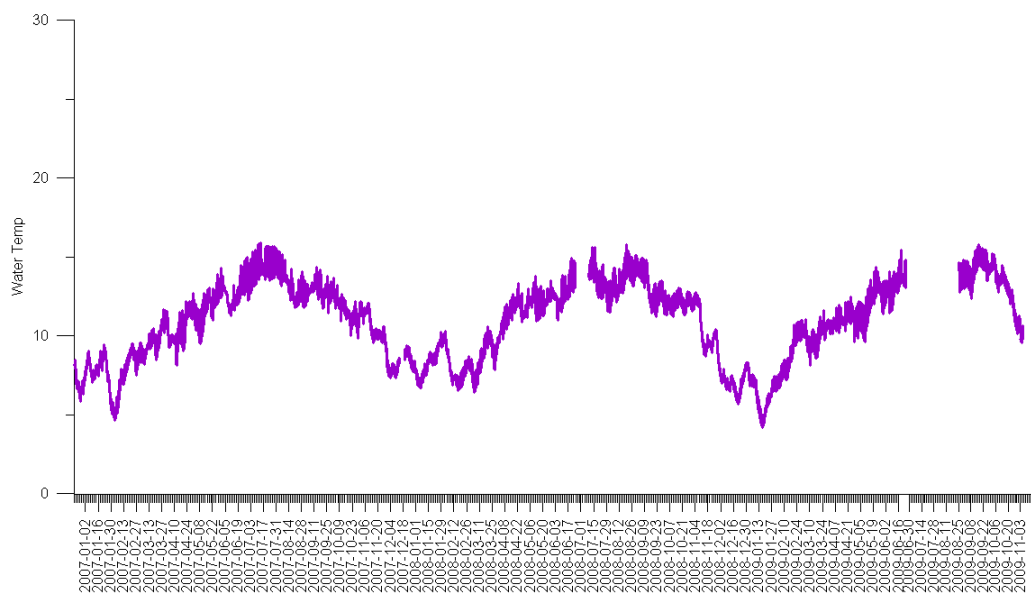


圖.10 桃山西溪水溫之時間序列圖

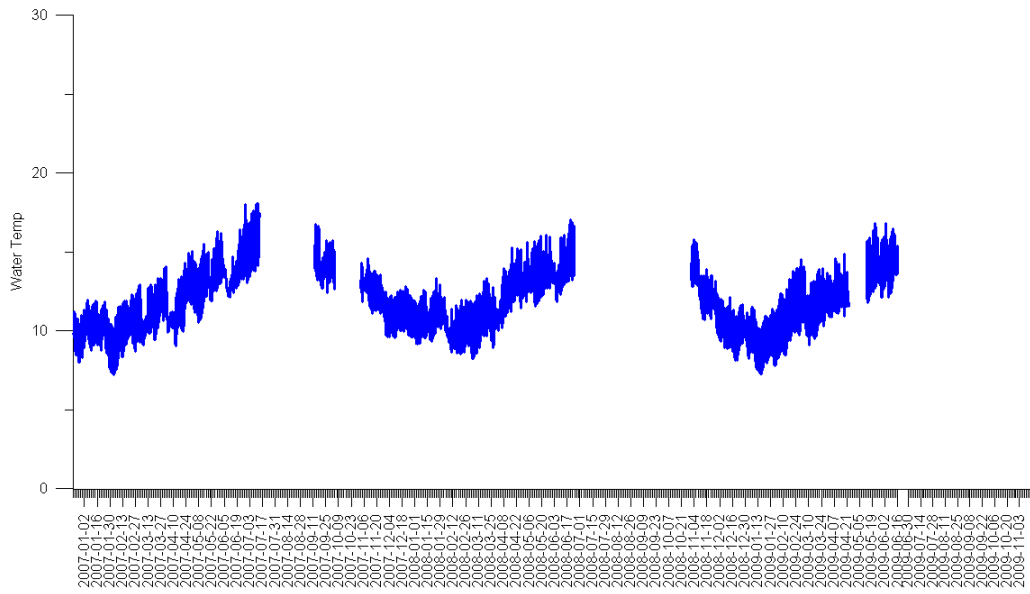


圖.11 一號壩水溫之時間序列圖

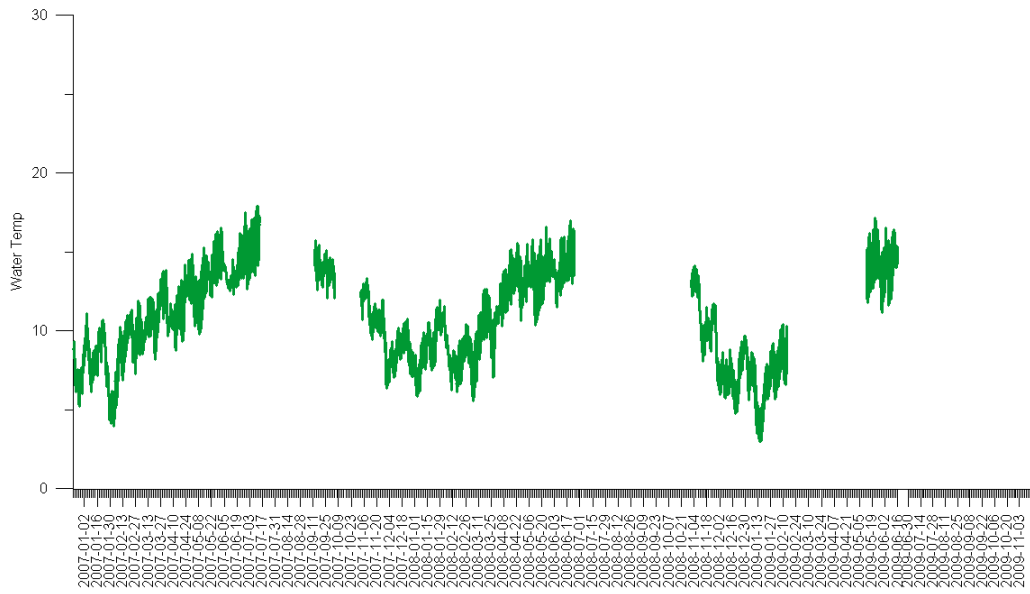


圖.12 高山溪水溫之時間序列圖

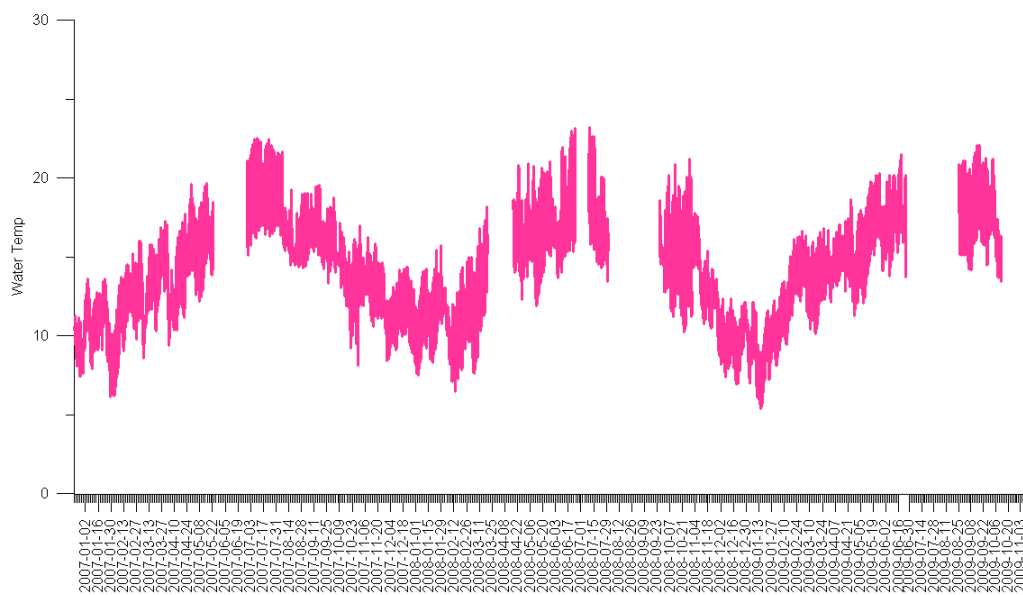


圖.13 有勝溪水溫之時間序列圖

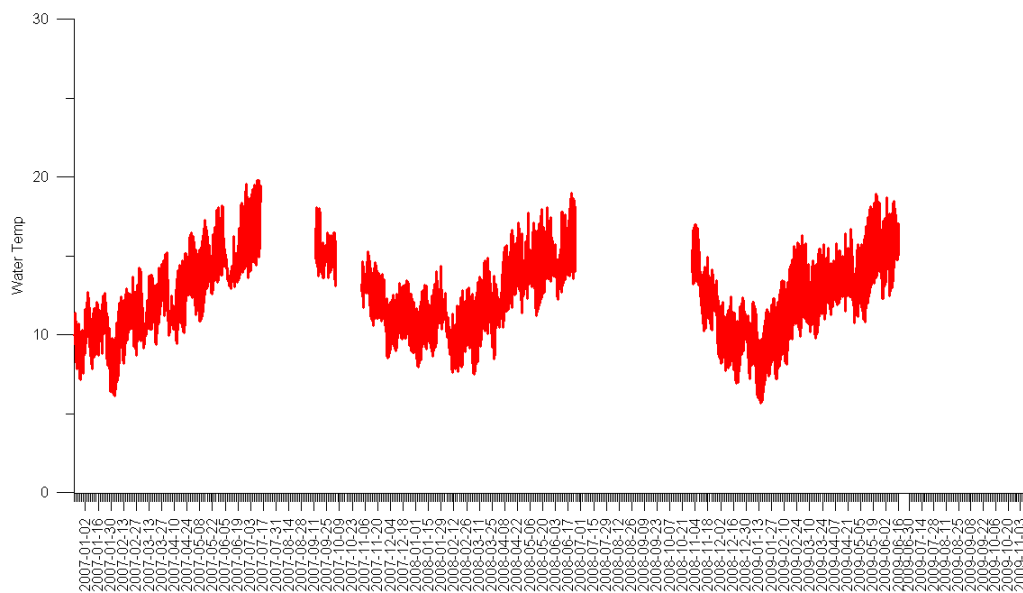


圖.14 迎賓橋水溫之時間序列圖

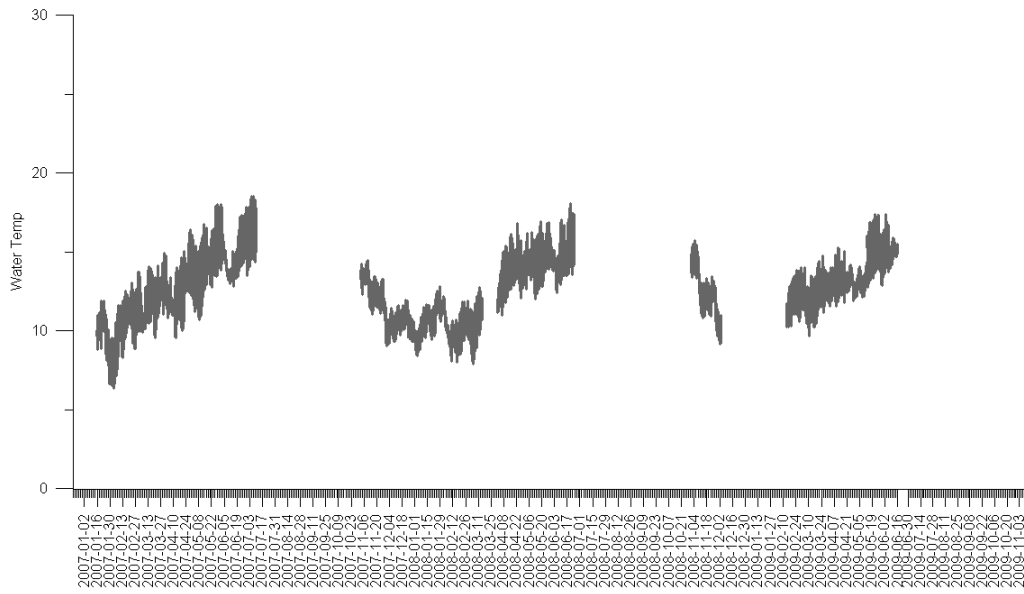


圖.15 司界蘭溪上游水溫之時間序列圖

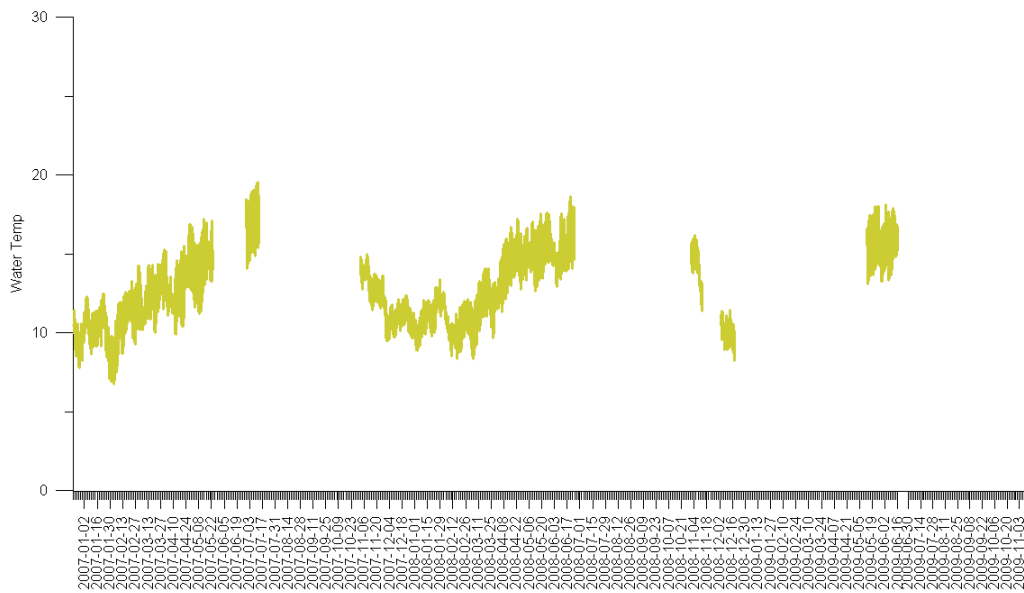


圖.16 司界蘭溪下游水溫之時間序列圖

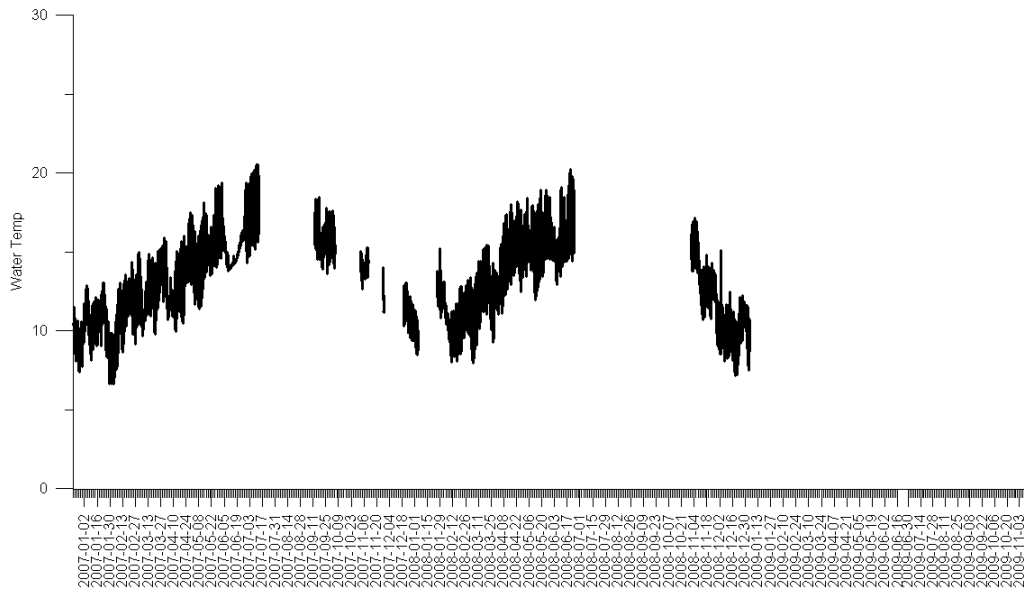


圖.17 四季朗吊橋水溫之時間序列圖

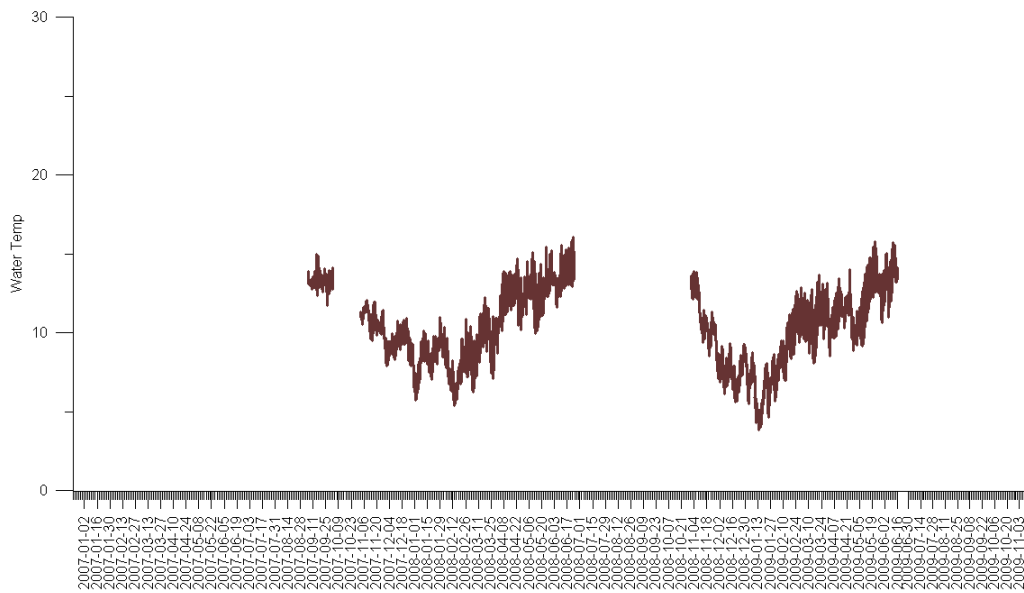


圖.18 有勝溪上游水溫之時間序列圖

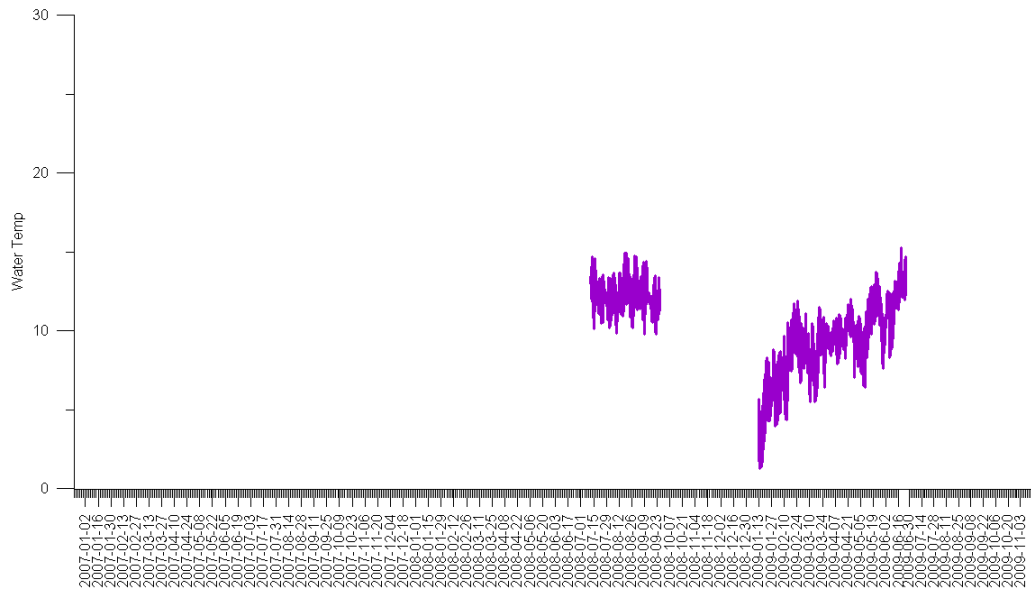


圖.19 桃山瀑布下水溫之時間序列圖

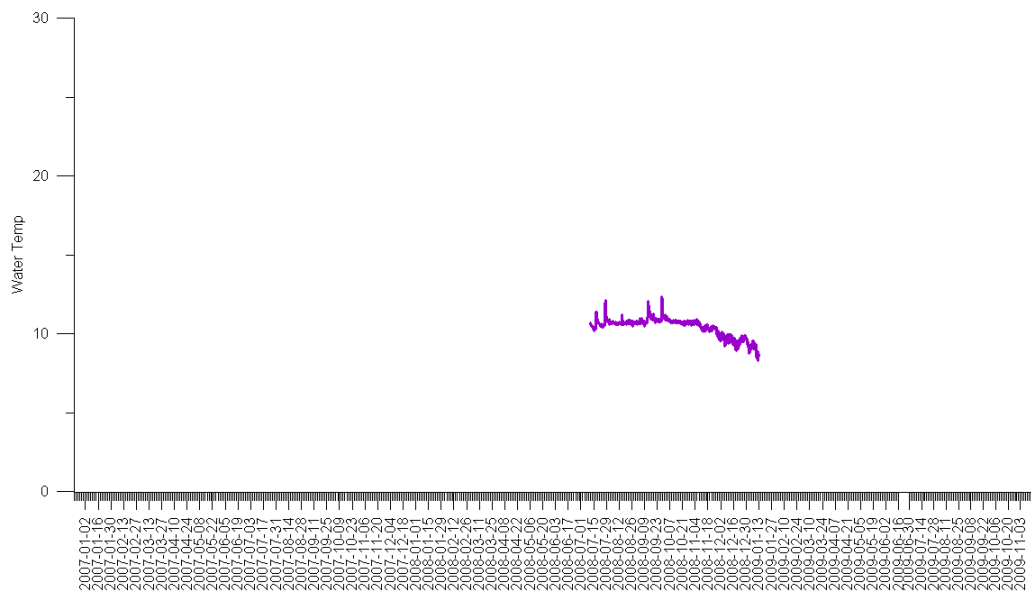


圖.20 有勝溪源頭水溫之時間序列圖

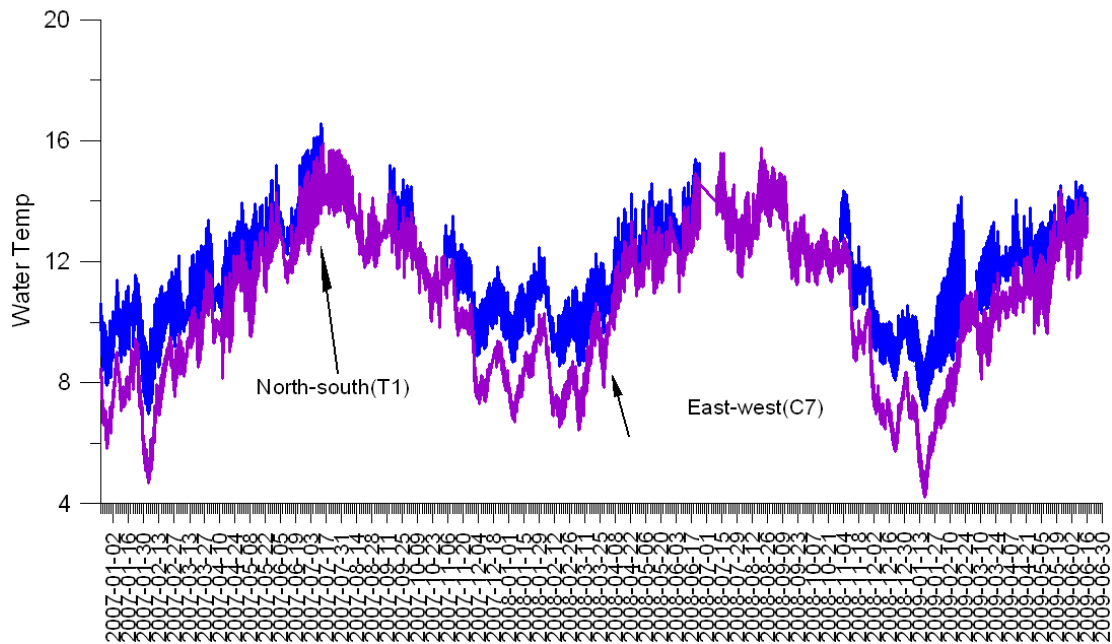


圖. 21 桃山西溪(C7)與桃山北溪(T1)水溫之時間序列

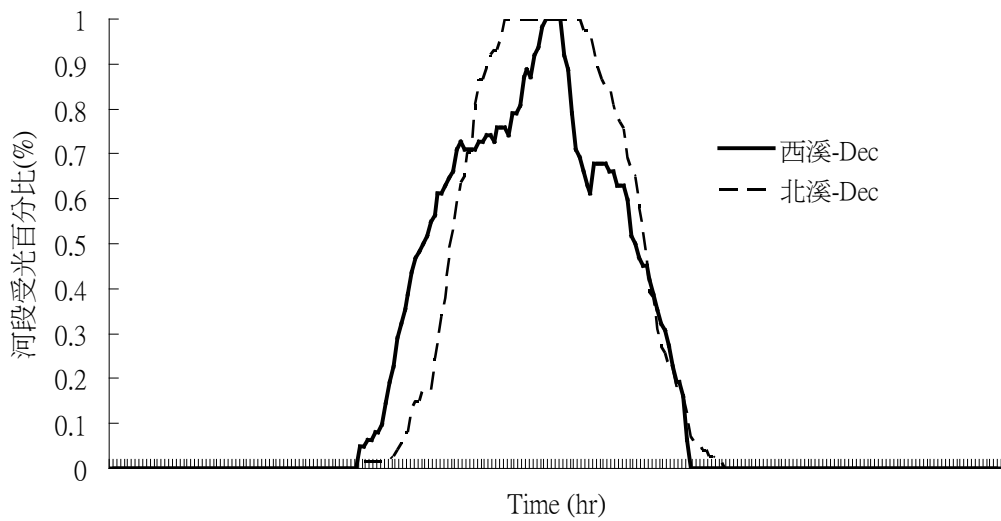


圖. 22 桃山西溪與桃山北溪於十二月份河段受光百分比隨時間變化之情形



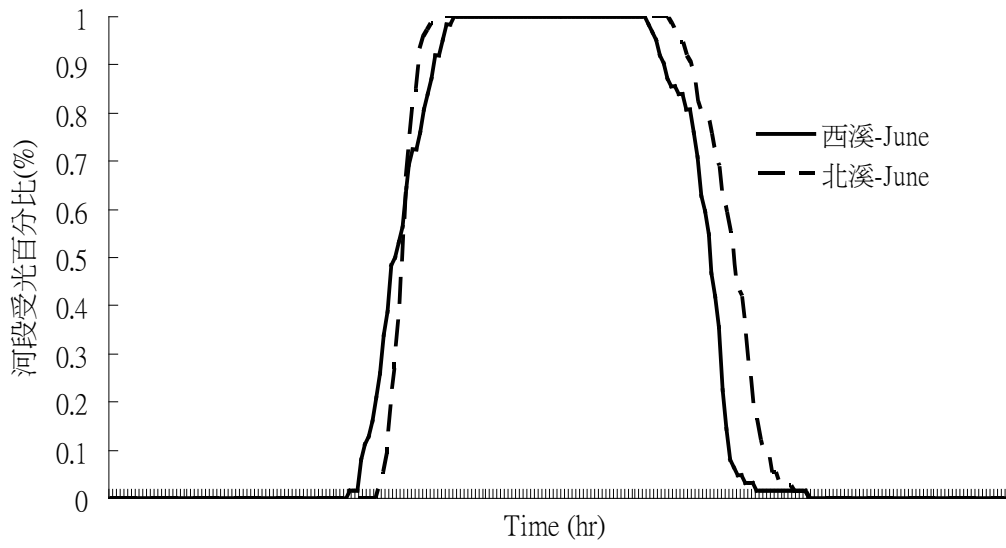


圖.23 桃山西溪與桃山北溪於六月份河段受光百分比隨時間變化之情形

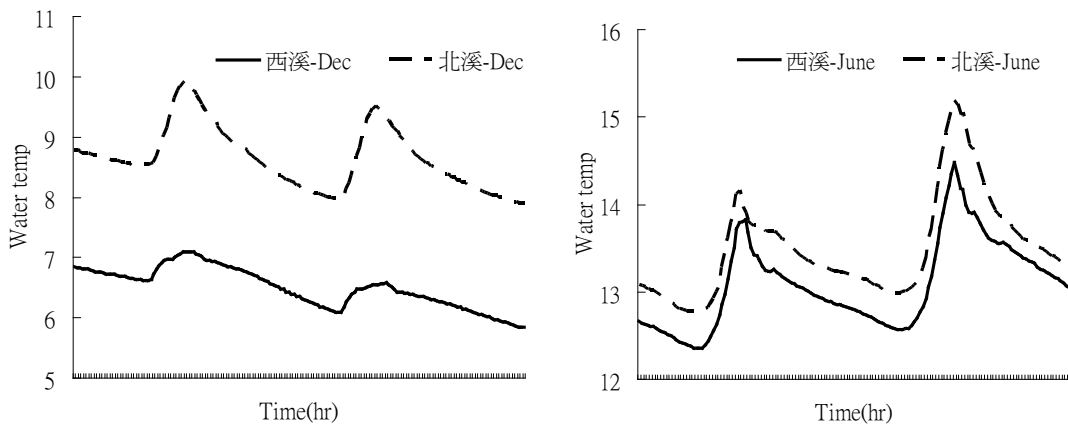


圖.24 桃山西溪與北溪冬天（十二月）及夏天（六月）水溫變化圖

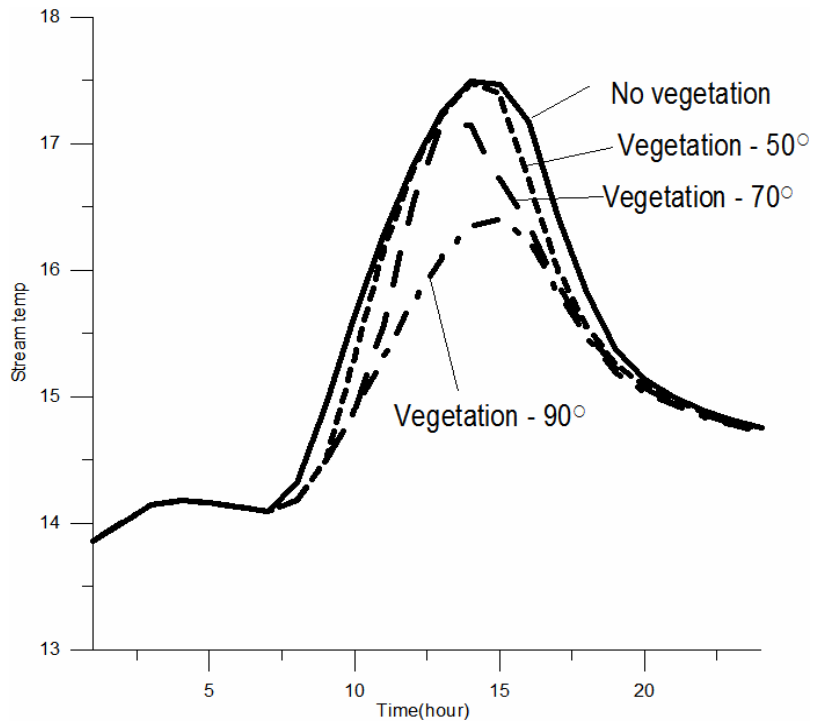


圖.25 水溫隨著不同樹冠層高度之變化情形

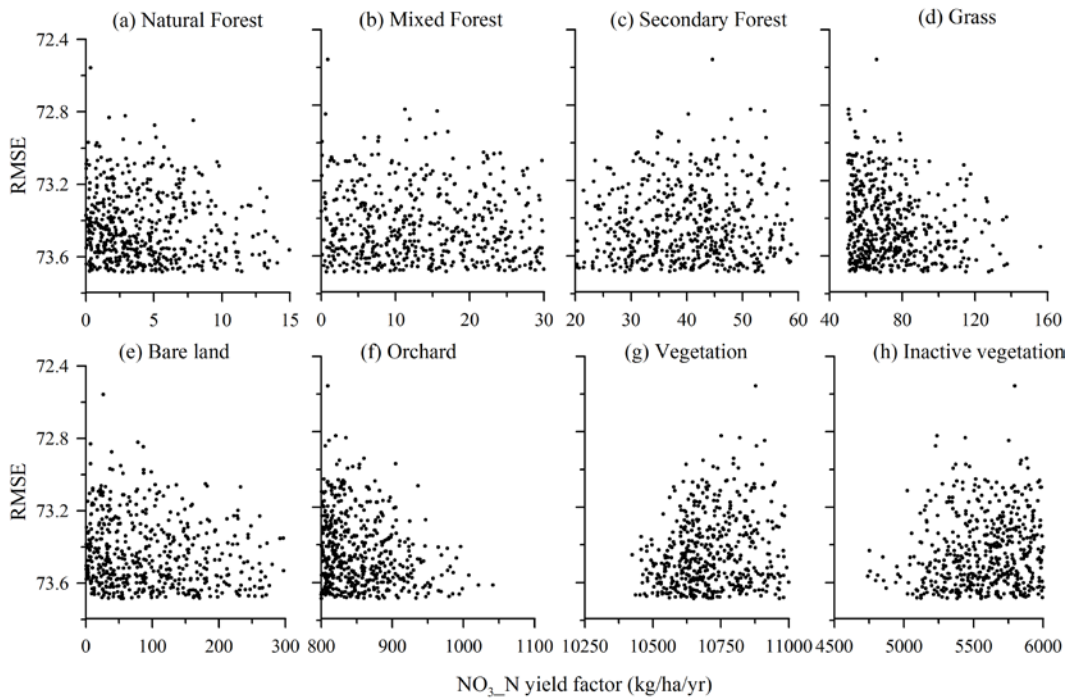


圖.26 最優 500 組各種土地利用  $\text{NO}_3$  產出量模擬之結果

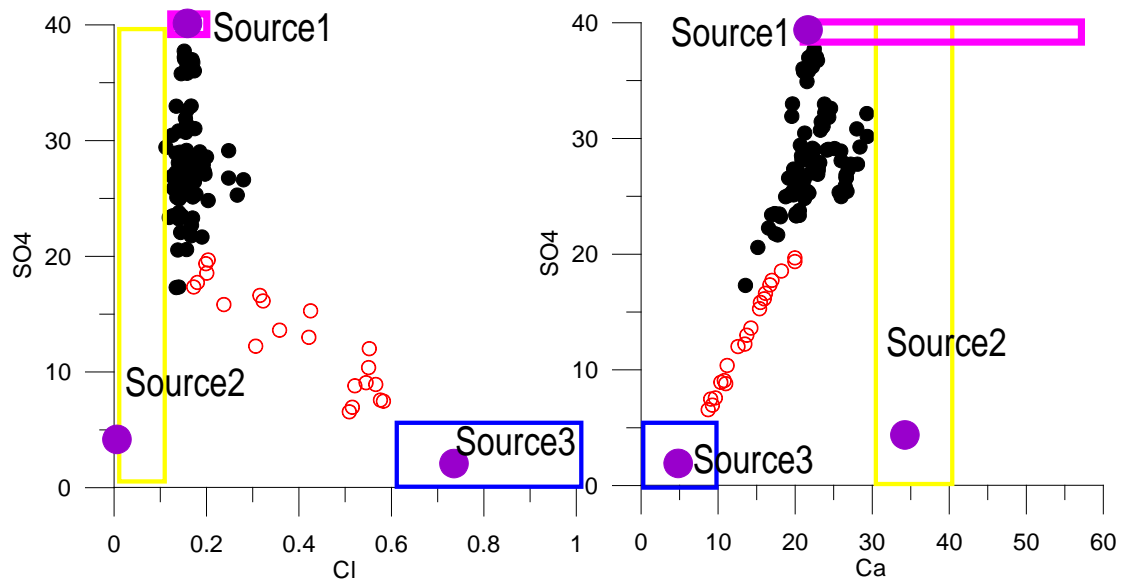


圖.27 高山溪採樣點 (K1) 水質與端源混合之關係圖

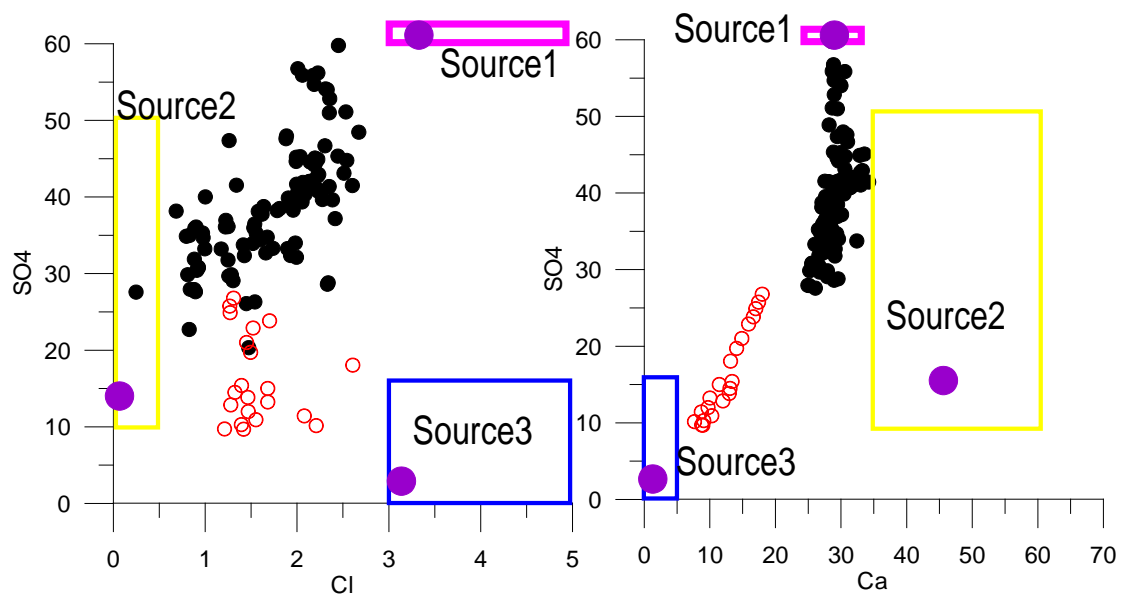


圖.28 有勝溪採樣點 (Y1) 水質與端源混合之關係圖

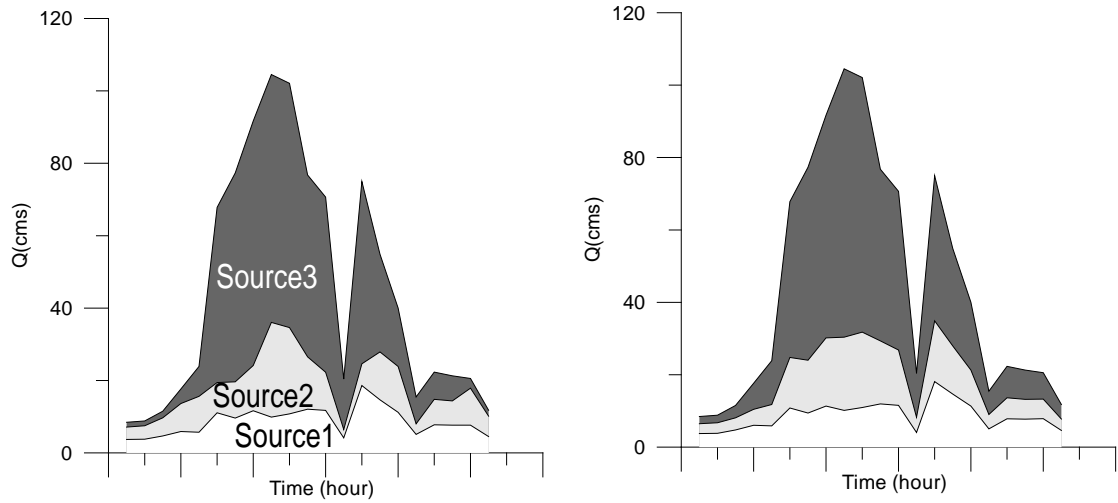


圖. 29 高山溪採樣點以 S04-C1 (左) 及 S04-Ca (右) 計算各端源流量貢獻圖

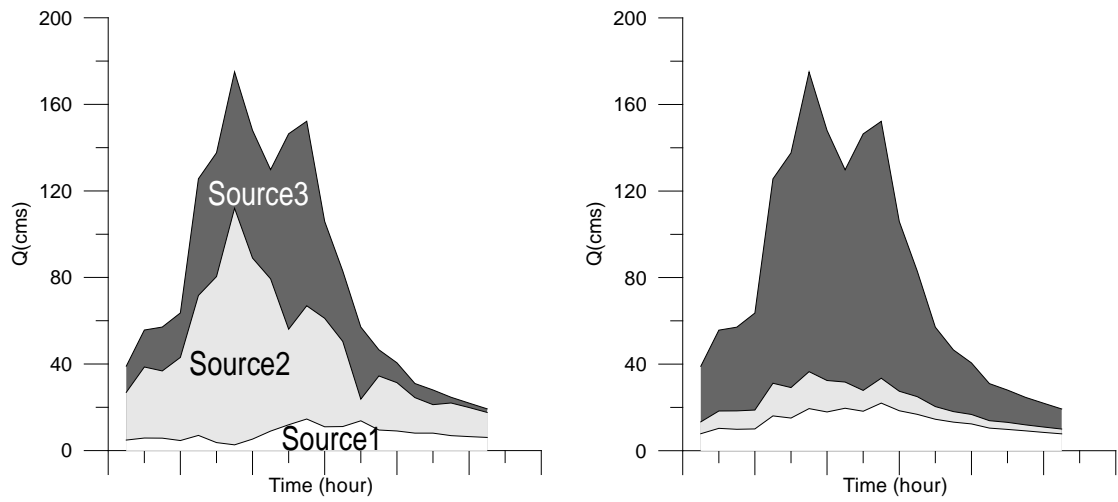


圖. 30 有勝溪採樣點以 S04-C1 (左) 及 S04-Ca (右) 計算各端源流量貢獻圖

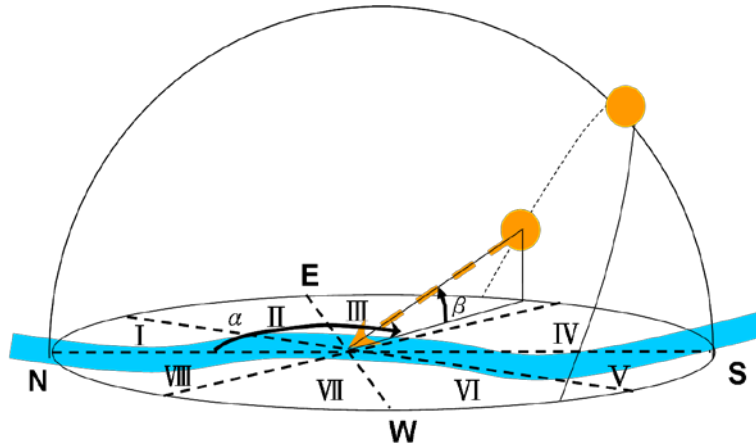


圖. 31 水溫模式中各河段與太陽位置之關係圖

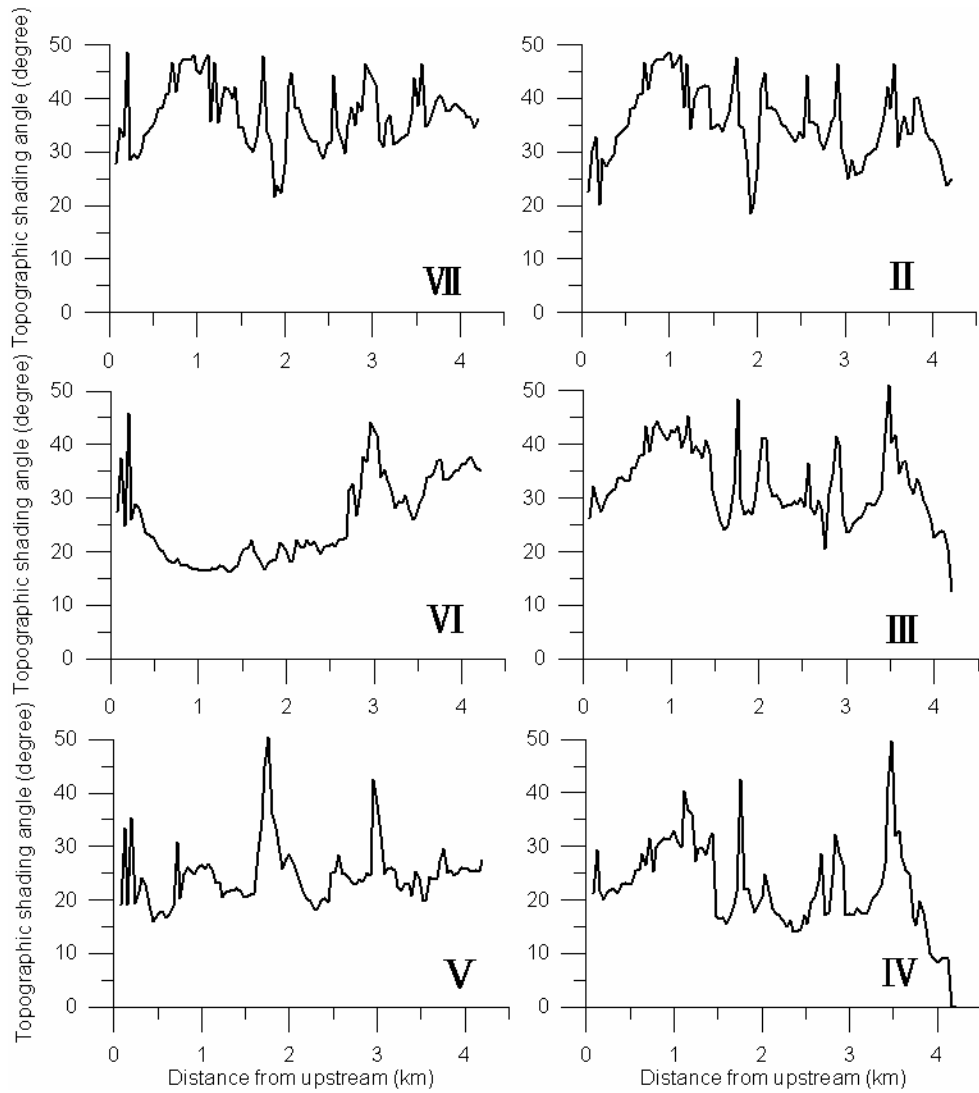


圖. 32 七家灣溪每個河川網格具有之天然地形屏障

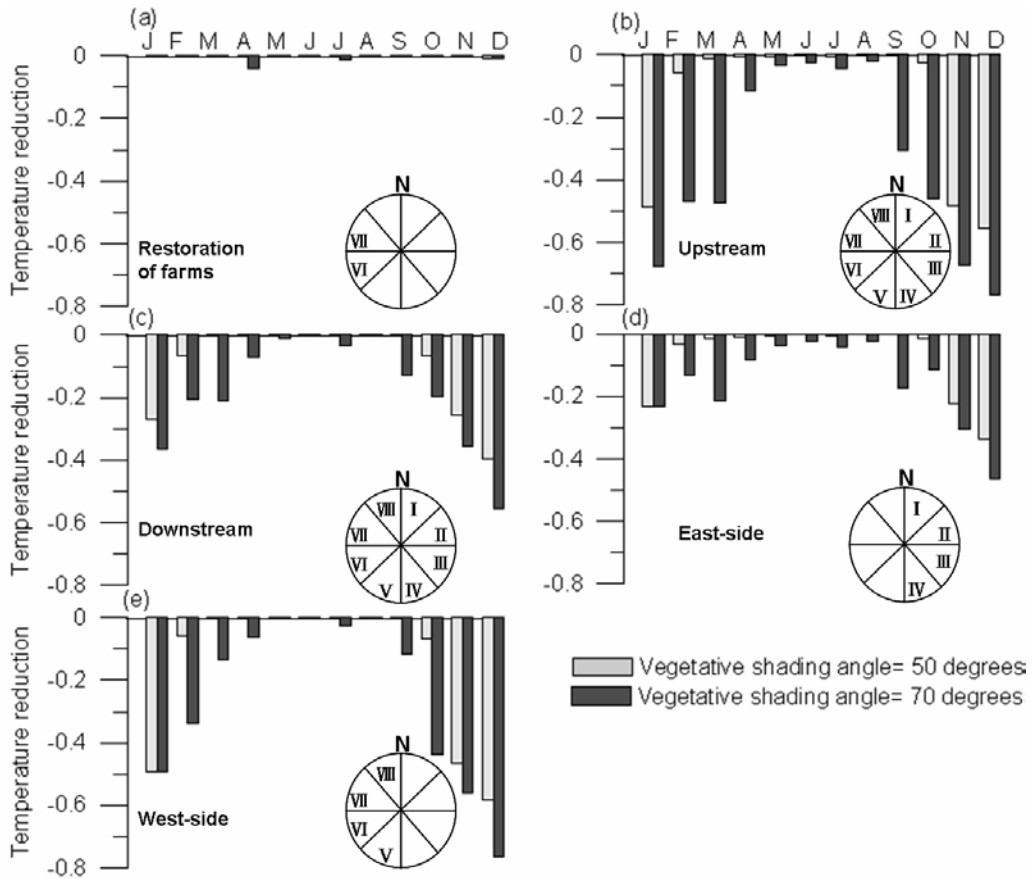


圖. 33 不同季節植栽策略對於七家灣溪每日最高溫的平均降溫效果

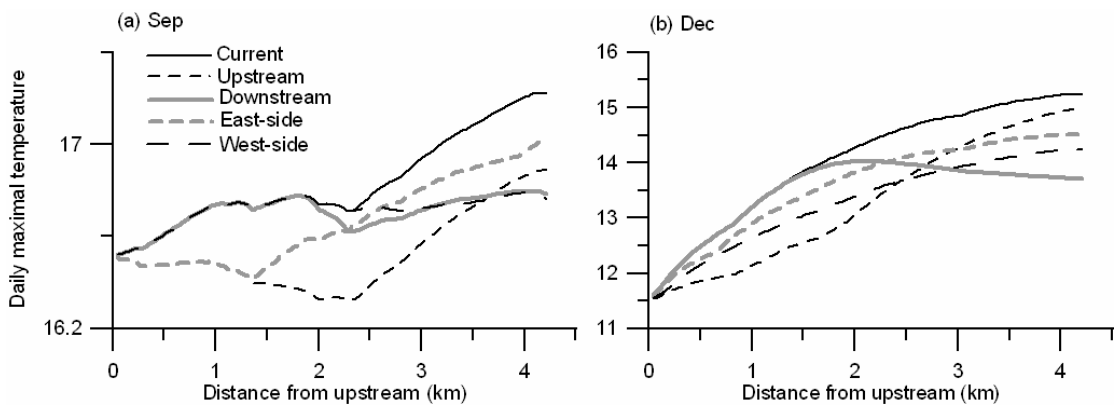


圖. 34 植栽策略對於沿七家灣溪河段每日最高溫之影響

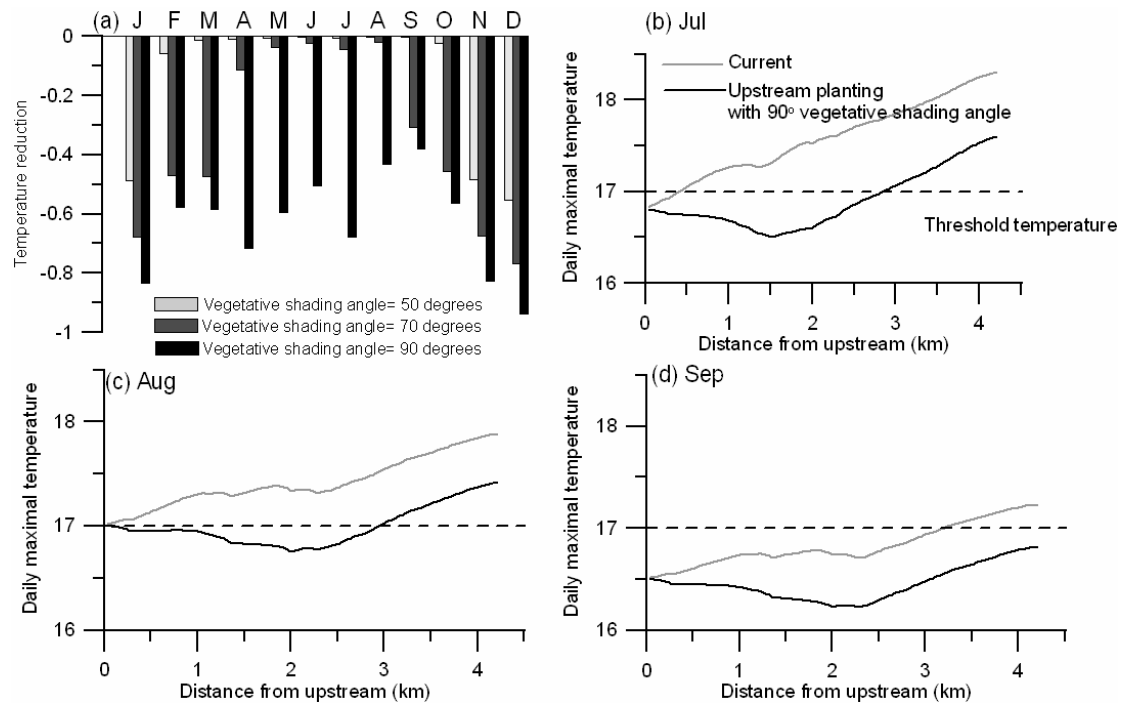


圖 5-35 上游植栽角度達 90 度時對夏季造成的降溫效果