

櫻花鉤吻鮭族群生態調查

和育種場位址評估

Studies on the population ecology of the Formosan landlocked salmon
Oncorhynchus masou formosanus and evaluation of the hatchery ground

委託單位：內政部營建署雪霸國家公園管理處

執行單位：中華民國自然與生態攝影學會

計畫主持人：曾晴賢

中華民國八十六年八月二十六日

目 次

中英文摘要	1
壹、 前 言	1
貳、 研究內容與範圍	5
參、 研究過程與方法	7
肆、 結果與討論	11
伍、 結論與建議	38
陸、 謝 誌	40
柒、 參考文獻	41
表及圖	47

摘要

本計劃按照預定進度在去年秋天（八十五年十月上旬），櫻花鉤吻鮭尚未開始大量繁殖之前，以及今年夏初（八十五年七月中旬）櫻花鉤吻鮭幼魚成長至6~8公分左右的時候，進行二次主要棲息地內之魚類族群數量普查，並利用水溫記錄器連續監測七家灣溪的長期水溫變化，進行水溫對櫻花鉤吻鮭族群影響的調查研究。同時利用去年因賀伯颱風而死亡之櫻花鉤吻鮭個體，所進行的遺傳多樣性研究，亦一併提出報告。另外，針對未來可能再興建的人工復育中心新址，亦進行初步的評估事宜。其結果分別摘錄如下：

一、櫻花鉤吻鮭族群數量的普查

本次是統計去年產卵季之前的族群數量，以及今年產卵後的族群數量，二者相較之後將可以看出今年魚群自然增加的數量多寡。

本年度的調查範圍和去年度所做的普查範圍大致相同，但擴增調查桃山北溪一號攔沙壩以下溪段、武陵溪二號~四號攔沙壩之間的溪段、和平農場~迎賓橋溪段及司界蘭溪中、上游溪段。

1、七家灣溪櫻花鉤吻鮭的分布最下限範圍，與上次的調查結果相同，分布可以達到七家灣溪與有勝溪會流點的迎賓橋之下。另外於迎賓橋以下至和平農場的溪段亦發現極少數個體存活的記錄。

2、賀伯颱風侵襲之後，目前櫻花鉤吻鮭主要分布於七家灣溪二~三號壩之間、武陵溪一~二號壩及一號壩以下溪段，原本亦為重要分布的七家灣溪三號壩以上溪段，族群數量銳減。

3、去年七月底賀伯颱風嚴重改變河床的結果，使得今年主要成功的產卵場集中於武陵溪一~二號壩之間、武陵溪一號壩以下、七家灣溪二~三號壩間、吊橋區附近。原本颱風前所發現的其他產卵場，包括七家灣溪觀魚台下方、復育中心附近和五號壩附近，在今年都沒有魚苗繁殖成功的跡象。

4、今年夏初的普查結果發現當年幼魚有1166尾，一~二齡的中型成魚有360尾，二齡以上的大型成魚有344尾，總數為1870尾，較之去年秋季普查結果的1237尾櫻花鉤吻鮭，增加約有1.5倍，因此整個族群數量又回到去年賀伯颱風前的數量。同時根據統計分析，去年的魚群約有一半以上能夠越冬活存下來。但是三號壩以上的族群數量銳減至目前的168尾，是本區段今年度內族群數量減少最嚴重的河段，其原因和颱風後的環境劣化應當有很高的相關性。

5、賀伯颱風所帶來的災害在攔砂壩效應的放大與阻隔之下，使得上游溪段的小族群面臨局部滅絕的危機，再次反應攔砂壩對櫻花鉤吻鮭生存的嚴重威脅，應儘速研擬攔砂壩拆除事宜，並持續在上游溪段進行人工復育放流，以增加族群數量。

6、本年度在司界蘭溪上游發現人工復育放流成功的櫻花鉤吻鮭，包括前兩年於中下游放流的一~二齡魚24尾，以及今年度放流後活存的14尾幼魚。除了說明了人工復育放流的成功外，更證實了在沒有攔砂壩的阻隔之下，櫻花鉤吻鮭幼魚可以成功地溯游至水溫較低的上游棲地成長。

二、水溫對櫻花鉤吻鮭族群的影響

本研究以自動記錄的光學型水溫記錄器放置於七家灣溪上中下游各河段讀取週年的水溫資料，藉以探討水溫變化的特性與影響櫻花鉤吻鮭各時期的程度，以瞭解天然族群數量變化與水溫之間的關係。其結果如下：

1、在時間上，七家灣溪全年水溫變化可分為升溫時期（二月至七月）與降溫時期（八月至隔年元月）。最大的升溫幅度在六月初，並造成最大的日溫差變化。最大的降溫幅度是在十一月末至十二月初，此時期也是櫻花鉤吻鮭受精卵孵化的重要時期。

2、在空間上，自三號壩以下至二號壩間河段的升溫速率（定

義為 $^{\circ}\text{C}/\text{km}$)由於河川罩蓋度改變而較二號壩至一號壩間河段高出許多，最高差異達 94 倍(1996 年 12 月)。兩河段間升溫速率差異程度與河川流量及日照輻射週期變化有關，尤其是在冬季裡(十一月至二月)最為顯著。同時也證實攔沙壩的淤滿造成河床坡度減緩，會造成七家灣溪中下游水溫升高與升溫速率增加。

3、在二號壩以下水溫過高的河段，櫻花鉤吻鮭受精卵的野外死亡率在 65%至 100%之間，發育初期的死亡率為 40%至 100%之間。過高的水溫與日溫差對櫻花鉤吻鮭族群天然更新有不利的影響。孵化前期的平均水溫 12°C 可視為孵化期的上限致死溫度。估計十二年間(1985 年至 1997 年)， 12°C 等溫線往上游退縮約 1.56km。二齡以上成魚在繁殖期的分佈與水溫的相對高低有關，性成熟的成鮭有聚集河川封閉區間的低溫區以尋求有利於孵化的水溫環境。

4、七家灣溪流域櫻花鉤吻鮭孵化前期(十一月)平均溫度 12°C 等溫線在三號壩附近河段；而最適當的生活水溫 17°C 等溫線在六月的時候大約位於觀魚台附近河段。三號壩以上河段與武陵溪一號壩以上河段全年水溫均低於 17°C ；觀魚台以下的七家灣溪河段則在夏季六月中旬至七月中旬水溫有超過 17°C 的現象。

5、七家灣溪低罩蓋度與攔砂壩造成的水溫升高現象，所導致的七家灣溪中下游河段(二號壩以下)櫻花鉤吻鮭繁殖期的受精卵高死亡率，除了在實驗上得到這項結果之外，在近兩年的全面性魚群普查結果裡也同樣證實這項結果。因此建議立即在二號壩(副壩和引水壩)興建簡易式魚道，或者全面採捕二號壩以下的成熟種魚，以人工繁殖的方式進行復育工作。

三、櫻花鉤吻鮭遺傳多樣性研究

本研究除了利用同功異構酶電泳法分析台灣櫻花鉤吻鮭的族群遺傳結構，另外，使用 DNA 定序的方法分析台灣櫻花鉤吻鮭的遺傳多樣性。其結果包括：

1.在同功異構酶電泳分析中，23 個基因座只有一個有遺傳變異，平均觀測(H_o)與平均理論質異度(H_e)為 0 與 0.0115，表示其基因多樣性偏低。利用 F-統計分析結果，族群之近交係數(F_{IS})為 1，顯示台灣櫻花鉤吻鮭傾向於近親交配，族群間變異指數(F_{ST})為 0.081，表示族群幾乎沒有分化。

2.在粒線體 DNA 序列分析方面，共定序了 12 尾台灣櫻花鉤吻鮭粒線體 DNA 的控制區(D-Loop)。結果發現，12 尾台灣櫻花鉤吻鮭只分成兩個基因型，而且兩種基因型中只有一個鹼基對的變異，遺傳距離僅有 0.001。這表示台灣櫻花鉤吻鮭遺傳多樣性貧乏，但尚未到達完全均質化的情況。因此，如何保存和增加台灣櫻花鉤吻鮭的遺傳多樣性為保育台灣櫻花鉤吻鮭的重要工作之一。未來人工復育的魚苗有必要繼續放流到各上游河段。

四、櫻花鉤吻鮭育種場選址評估

根據本年度對於整個七家灣河流域與司界蘭河流域的水文和地理條件的評估，認為武陵農場露營場現址為最理想的育種場預定地，其配置以在露營場內興建繁殖室，引武陵溪的水或是鑿井取水作為繁殖期的水源；下方河灘地則引七家灣溪的溪水以近自然河川工法，規劃為自然成魚育種場與野外教育中心。

Studies on the population ecology of the Formosan landlocked salmon
Oncorhynchus masou formosanus and evaluation of the hatchery ground

Abstract

This project was to investigate (1) the number and distribution of the Formosan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*) in October 1996 and July 1997, (2) the effects of water temperature on the salmon population, (3) the genetic diversity of *O. masou formosanus*, and (4) new adequate hatchery grounds for the endangered species.

(1) The number and distribution of the population of the Formosan landlocked salmon:

The number of the salmon dramatically decreased to 1,237 individuals from 1,854 individuals after the disaster of Herb typhoon. Moreover, the population of upper reaches significantly declined to approximate extinction, as a result of the typhoon damage as well as the impedance dams' insulation. The summer census in July this year reveals a total of 1870 salmons, including 1,354 adults and 500 juveniles. The population had recovered to the size prior to the Herb typhoon, resulting from the recruitment of juveniles (October 1995). On the other hand, reappearance of the salmon in Sukaran River was an exciting issue, implicating the successful artificial reproduction in the recent years.

(2) The relation between water temperature and the salmon population variation:

Annual water temperature variation can be divided into rising stage (from February to July) and falling stage (from August to next January). The maximum raise and daily difference in water temperature occurred early in June. The most crucial and significant falling stage occurred early in November, at the beginning of breeding season of the salmon. The water temperature rises as the water flows downstream. The phenomenon is prominent in winter, especially December to February at the middle and lower reaches, which are also the major habitats of salmon. The low percentage of stream surface shading and the gentle slope of river caused by check dams may significantly elevate water temperature.

Adult salmon (>20cm) aggregates to reproduce at the upper reaches with the properly low water temperature. High mortality occurred in early embryos (before optic vesicle differentiation stage) of salmon eggs in the wild when the mean water temperature exceeds 12°C. The 12°C isothermal line is nearby the reaches of check dam number 2 presently. It has retreated upstream by 1.56 km since 1985.

In conclusion, high water temperature has markedly negative influence on the reproduction of adult salmon and hatching of eggs. High water temperature cause high mortality of salmon eggs to reduce the salmon population.

(3) The genetic diversity of *O. masou formosanus*:

As the isozyme experiment results indicated, only one out of twenty three loci expressed minor genetic variations. It implies low genetic diversity ($H_o=0$), and the F-statistic analysis demonstrated the populations in Taiwan tends to inbreed.

The DNA sequencing data lead to the conclusions: the Taiwan population exhibits lower genetic diversity. The base pair difference between the two genotypes dedicates a genetic distance of 0.0001. As a result, one of the essential efforts to preserve this precious species lies on maintaining and increasing the genetic diversity of the population.

(4) The camping ground located at Wu-lien Farm was the most suitable locality of new hatchery ground artificial reproduction and preservation of *O. masou formosanus*.

壹、前言

櫻花鉤吻鮭 *Oncorhynchus masou formosanus* (Jordan and Oshima) 是世界上知名的冰河時期孑遺魚類之一，其在生物地理學上的科學意義相當大，在熱帶性地區的台灣出現了寒帶性的鮭鱒科 (Salmonidae) 魚類，實在是令人意想不到的事情。

目前僅知櫻花鉤吻鮭只分布於本省中部的大甲溪上游，由於本種有非常重要的學術和經濟價值，並且目前數量稀少到瀕臨絕種的地步，因此政府於民國七十三年七月依「文化資產保存法」第49及施行細則72條之規定，指定並公告櫻花鉤吻鮭為珍貴稀有動物，至此，櫻花鉤吻鮭被列為文化資產之一。

根據早期的記錄顯示，櫻花鉤吻鮭在日據時代(1917~1941)的數量還不少，在松茂以上的整個大甲溪上游，包括合歡溪、南湖溪、司界蘭溪、七家灣溪及有勝溪等支流都曾是其棲息地。其中司界蘭溪及七家灣溪的數量最多，甚至在七家灣溪還可以以投網的方式，一人一天可以捕獲到十五斤以上，是當地原住民重要的食物來源之一。但是到了民國五、六十年代，就只剩下司界蘭溪、武陵溪及七家灣溪有鮭魚的蹤影了。然而當時有日本人千方百計的來台灣尋找本種的標本，已經發現這種魚類受到嚴重的迫害，毒魚、電魚的情形極為嚴重，魚類數量已經極度稀少(紀村，1977)。到了在民國七十三年時，農委會委託台大動物系林曜松教授等人再次詳細調查時，發現只剩下七家灣溪約五公里左右的溪段方有這種國寶魚的存在(林等，1988)。之後又根據民國八十年林務局邱健介先生等人之調查，目前櫻花鉤吻鮭的棲地大概是以武陵農場迎賓橋為下限，向上至七家灣溪上游桃山西溪六號壩底下約七公里長之區域(邱，1991)。根據我們近年來詳細調查的結果發現，櫻花鉤吻鮭目前的分布範圍最高約在池有溪會流點附近，海拔約在1980公尺左右，距離七家灣溪與有勝溪會流點約有八公里左右的距離(曾，1996)。根據附近民眾的描述，也有一些櫻花鉤吻鮭會分佈到七家灣溪更下游的和平農場附近，但

是這種情形仍有待詳細調查才能證實。

八十三年夏天的魚群普查結果發現現存的櫻花鉤吻鮭大致上也是分布在這個區域之內，但是主要族群的分布有呈兩極化的現象，主要水道（二號壩以下到場部附近）中不僅魚類的數量稀少，並且沒有任何新生魚類族群的加入，顯見本河段魚類棲地的惡化（曾，1994）。這種令人擔憂的情形是否持續下去，受到主管單位的重視並且繼續加以追蹤和了解。

八十三年冬季和八十四夏季的兩次全面普查魚群的結果發現，目前魚群的數量在大部分的地區是呈穩定的狀況。但是在某些地區則有不同的變化，其中在河川兩岸較隱秘而且水量穩定的湧泉池一地，魚群數量增加最為可觀，但是在另一處河川條件也算優良的武陵溪，魚群的數量卻銳減至僅剩三分之一左右。究其原因乃是相關單位施工不慎所致，許多原本優越的深潭棲息地，都因為河岸施工引起的崩土所填滿而破壞與掩蓋，魚群或者遷避它處，或者因而喪生。同時許多原本成功的產卵場也因為泥漿與沙石的覆蓋，最後導致沒有任何魚苗的孵化，致使此地的魚群數量銳減（曾，1995）。

因為櫻花鉤吻鮭是政府明定的保育類動物，其族群數量極為稀少，因此分布地又極為狹隘。根據林教授等人在七家灣溪全域的調查櫻花鉤吻鮭族群數量時發現，民國七十五年左右約有646尾，民國七十六年則發現有1,757尾（林，1988；1990）。而隨後因天然環境破壞，族群數量開始減少，至民國八十年冬天的估計時，則僅存六百尾左右（圖一），其數量已令主管單位和保育人士擔憂（林，1991）。

為繼續瞭解並掌握櫻花鉤吻鮭族群數量多寡、年齡結構組成和分布範圍的最新動態與變化情形，八十三年五月在雪霸國家公園管理處的委託下，接續進行魚群現況普查（曾，1994）。經由現地詳細的潛水調查統計，當年發現七家灣溪主流和武陵河流域現生的櫻花鉤吻鮭總共有788尾，其中一齡幼魚有439尾，二齡以上之成魚有349尾。

八十三年秋季魚類繁殖期之前詳細的普查結果發現，七家灣溪流域裡記錄到638尾櫻花鉤吻鮭。八十四年全年之間七家灣溪河川環境相當穩定，幼魚成長的狀況相當良好。因此在秋季相同的時間裡進行魚群普查，結果發現因為幼魚增加較多而使櫻花鉤吻鮭族群總數達到2495尾，相當令人高興。八十五年六月之初所做的統計也發現到櫻花鉤吻鮭族群有1854尾（還不包括一些仍未離開隱秘處的幼魚數量），比起八十四年相同時期的調查結果增加甚多(曾，1996)。

在八十五年的例行調查之後，不僅發現有民眾違法捕捉魚類的情形，更因為在夏季裡連續有數次大型颱風侵襲本島，勢必已對於本區的魚類族群產生相當大的影響。因此有必要在魚類生產季之前和隨後新生的仔稚魚加入整個族群之時，分別進行詳細調查，以明瞭經過去年夏天這段時間之後，現存的魚群數量為何？以及評估今年將會增加的幼魚數量有多少？

上述的資料不僅關係本種珍貴保育類動物的存續問題，復為提供一般大眾了解目前櫻花鉤吻鮭族群現況，以及為雪霸國家公園管理處建立一個接續以往本種珍貴魚類之保育工作的基本資料，因此實有必要加以全面性的調查該種魚類的分布現況，以瞭解其族群數量和分布之變化情形。

由近年來的調查資料裡都顯示，颱風等天然災害對於櫻花鉤吻鮭的威脅最大，尤其是在接近產卵的季節，例如八十三年十月的產卵季開始的時候，剛好碰到豪雨洪水暴增，許多已經產卵成功的巢和卵均被沖毀。同時在產卵季所發生的洪水挾帶甚多的泥沙，覆蓋了許多重要產卵場，而致使受精卵的孵化成功率過小。

然而除了這種瞬間的巨大天然災害之外，尚有一些長期性而無法目視的環境現象，諸如水文、水質的變化直接或間接影響櫻花鉤吻鮭生長的因子，例如七家灣溪一號壩至二號壩之間，雖然在多年來都觀察到有許多櫻花鉤吻鮭產卵場，但是很可能因為(1)魚卵受到過大的水文水質惡劣條件的衝擊，因此孵化過程中無法順利，或是(2)縱使有孵化出來的魚苗，也因為缺乏隱蔽的復育

場所，因此無法長成。八十四年唯一的一尾幼魚是在觀魚台棲地改善後的深潭中所記錄到的，其餘將近二公里的河段竟然看不到其他的幼魚蹤跡。雖然我們去年所做的調查中，也在這一河段記錄到少數的幼魚數量，但是根據我們比對去年夏天調查前有過數次大洪水的記錄，懷疑這些幼魚仍然是二號壩以上的地區所沖下的個體，而可能不是這個河段所增殖的個體。這種現象提醒我們要對於各河段的水文水質特性進一步的調查分析，因此本研究自去年開始就加上一項長期水溫監控分析的工作，希望就最有可能影響櫻花鉤吻鮭族群的水溫條件著手分析研究，探討水溫在櫻花鉤吻鮭生活史各個階段所扮演的角色，以了解天然族群數量的變化與水溫之間是否有關聯。

而櫻花鉤吻鮭經過十多年的人工繁殖與保育，這段期間整個族群的數量由七十六年的1800尾逐年下降到八十四年夏季的565尾，八十四年秋季又上升至2495尾，八十五年春季原本有1854尾（曾，1996），但同年七月又因賀伯颱風帶來的災害而使族群數目又下降至1200尾左右。整個族群數量的變化，在近十年來是非常大的，再加上所施行人工復育的影響，整個櫻花鉤吻鮭族群的基因多樣性是否因此而趨向於更貧乏呢？它的族群遺傳結構是否會趨向同質化呢？這是值得我們注意、並加以探討的問題。

過去對於櫻花鉤吻鮭的研究雖然很多，但大多都是偏重於形態、生態與分類地位方面的探討(Behnke,1962)。而關於櫻花鉤吻鮭族群遺傳的研究，有Okazaki(1986)以蛋白質電泳分析日本櫻花鉤吻鮭族群結構與遺傳多樣性，以及Numachi等人(1990)以RFLP的技術分析了櫻花鉤吻鮭的遺傳結構。而根據Numachi等人(1990)的研究發現，所分析的29尾櫻花鉤吻鮭mtDNA的RFLP圖譜完全一模一樣，因此推測櫻花鉤吻鮭正處於萎縮期。但是由於RFLP的技術解析度較低，所能解析的程度可能僅在科(Intrafamily)內最為適當(林，1995)，因此有必要使用解析度較高的DNA定序的方法，同時並使用同功異構酵素澱粉凝膠電泳法，估算族群遺傳變異度，並探討變異度之分化與分配，以分析櫻花鉤吻鮭的遺傳多樣性。

另外，由於數年來七家灣溪櫻花鉤吻鮭的魚群數量未能大幅增加，可能和目前的溪流環境持續遭受嚴重的天然災害有關，因此有許多相關學者建議考慮放流到其他不同流域之中，以擴張本種魚類的分布地，減少櫻花鉤吻鮭可能因為棲地持續的惡化而滅絕的危機。這種放流成功的例子在許多相關鮭鱒魚類之中，有不少成功的例子。但是放流所需的魚苗仍舊必須以人工的方法繁殖供應，而由於舊有的復育場於去年賀伯颱風期間遭到嚴重的破壞而無法繼續使用，為求日後有更安全的復育場，因此有必要進行相關的新場位置的調查與評估。

貳、研究內容與範圍

本年度（民國85年9月1日起）除了延續前兩年的調查研究工作，繼續於櫻花鉤吻鮭繁殖季之前，和自然出生及人工復育放流的仔稚魚加入整個族群之時，分別進行兩次全面性族群數量與分布的詳細調查，並繼續進行各溪段水溫的長期記錄與分析，另外亦進行水溫與櫻花鉤吻鮭卵孵化的實驗、遺傳多樣性之研究及人工復育場新址選定的評估調查。茲分述如下：

一、魚群數量及分布的普查

本年度的調查延續前兩年之族群數量調查工作，分別於繁殖期前後，也就是去年（1996）十月上旬及今年（1997）七月上旬，進行兩次全面性族群數量密集調查。調查範圍包括七家灣溪迎賓橋以上至桃山西溪六號壩以上400公尺溪段、桃山北溪（又名無名溪）匯流口至一號壩溪段、武陵溪（又名雪山溪）四號壩以下溪段及司界蘭溪上游溪段，除了延續前兩年之調查溪段外，本年度更深入放流溪段進行調查，以求掌握整個櫻花鉤吻鮭的最新族群動態。

二、水溫對櫻花鉤吻鮭族群的影響

利用能夠長期自動偵測及記錄水溫的光學水溫記錄器，放置於各個櫻花鉤吻鮭生存河段以記錄完整的水溫變化，結合族群數量、結構及分布普查的結果及受精卵野外孵化實驗結果，針對水溫與族群分佈的關係及與受精卵孵化的關係進行分析，藉以進一步了解水溫對櫻花鉤吻鮭族群的影響，以作為棲地改善、魚群分布及人工復育檢討的依據。

三、櫻花鉤吻鮭遺傳多樣性研究

瞭解生物族群遺傳結構最快、最方便的方式便是使用同功異構酵素澱粉凝膠電泳法，估算族群遺傳變異度，並探討變異度之分化與分配。但是由於同功異構酵素電泳分析需要新鮮的標本，用於實驗的個體又無法存活，而且需要大量的個體（每個族群約需要20-30尾）以供實驗所需，這對於原本數量就已經非常稀少的櫻花鉤吻鮭也是一個不小的衝擊，因此這種實驗方法是在以前不予以考慮的。但是由於1996年7月賀伯颱風的侵襲，造成了為數不少的鮭魚自然死亡，有些屍體被沖至河岸，而且非常的新鮮，恰好可以用來作這個實驗，因此實驗室便向雪霸國家公園管理處以及行政院農業委員會申請用這批鮭魚來作遺傳變異分析的實驗。另外，我們也利用每年為做櫻花鉤吻鮭復育工作的同時，以不影響鮭魚生存為前提下，剪其脂鰭抽取DNA，用PCR的方法增幅其粒線體DNA然後定序，以分析櫻花鉤吻鮭的遺傳多樣性，並與Numachi(1990)與的結果作比較。

四、櫻花鉤吻鮭育種場新址選址評估

本項工作主要考慮到現有族群分布、管理的可行性和未來經營的目標，而選擇在雪霸國家公園範圍內的七家灣溪與司界蘭溪兩流域的範圍內，根據水文、水質和地形的條件，評估可以作為興建新的育種場的可能地點。

參、研究過程與方法

一、魚群數量、結構及分布的普查

本年度的調查延續前兩年之族群數量調查工作，分別於繁殖期前後，也就是去年（1996）十月上旬及今年（1997）七月上旬，進行兩次全面性族群數量密集調查。由於浮潛是在野外調查魚類的方法中花費較少，破壞性最低的方法（張,1997），復以本流域平常水質清澈，對於族群數量已屆瀕臨絕種的櫻花鉤吻鮭而言，無異是為最為合適的方法。調查時採三人一組，其中一人於岸上記錄，二人穿著防寒衣、面鏡、呼吸管，以浮潛的方式直接觀察和鑑定魚種及估計其大小，並分別記錄各調查溪段幼魚（全長夏季為5~7cm，冬季為15cm以下）、一~二齡魚（全長25cm以下）及二齡魚以上（全長25cm以上）的數量、棲地型態。魚群較多的地點並輔以潛水相機和攝影機加以拍攝記錄，藉以進行族群結構、數量分布及魚群出沒的棲地分析。為對族群數量有較精確之估算，重複兩次估算每段所見的魚群數量，再取平均值統計之。其結果均標示於圖面上，並比較近年來魚群數量、結構及分布的變化。

二、水溫對櫻花鉤吻鮭族群的影響

本研究分成兩部份，第一部份對七家灣流域各河段的水溫變化進行記錄，並描述其水溫變化的時間與空間變化特色。第二部份是將水溫變化特性與櫻花鉤吻鮭族群分布調查資料比較，並在繁殖期進行孵化相關的實驗，以探究水溫與櫻花鉤吻鮭族群的關係。

(二)、七家灣溪水溫的物理性質與變化情形

1、水溫變化記錄

本研究的每一支溫度記錄器在使用之前，皆事先在實驗室中的循環水槽中以水冰狀態進行過線性升溫試驗，以確定其所記錄溫度值為合理，且誤差不超過 0.5°C ，才使用於野外記錄。

自1996年元月至1997年五月之間，在現有櫻花鉤吻鮭分布的各個河段中，從七家灣溪六號壩以下至武陵賓館旁大甲溪主流，以及有勝溪下游、武陵溪一號壩以下、桃山北溪等支流，放置共14支自動記錄的光學型溫度記錄器(ONSET, optical stowaway temperature data logger) (圖二)，時間設定在每小時儲存記錄一至四筆平均水溫資料(自1996年8月之後皆調整為每一小時記錄一筆水溫資料)，每一至二月的間隔以Shuttle (ONSET, optical shuttle) 或手提式電腦在野外現場讀取所儲存的記錄資料，並帶回實驗室分析。由於七家灣溪的水流湍急，因此本研究假設在河中的熱量是完全均勻混合的，因此記錄器中所記錄的水溫值代表此河段的水溫值。在各個不同時間及河段的資料中，選取代表性的時間及河段進行比較分析，以觀察各河段水溫變化的情形。

2、表面水團流速測定

爲了瞭解七家灣溪河水平均流速與水溫升高之間的關係，分別在1997/2/26與1997/3/15，以比重略低於水的稻穀殼，自七家灣溪中上游河段流放，並至下游河段截取，記錄所觀察到的時間與數量情形，以瞭解七家灣溪各河段的表層水流的平均流速，並探究與水溫升高之間的關係。

(二)、水溫對櫻花鉤吻鮭的影響

1、水溫與族群分布的關係

將七家灣溪水溫資料與櫻花鉤吻鮭族群分布調查資料(曾，1995、1996)比較，探討水溫是否與魚群分布有關，

與水溫變化對櫻花鉤吻鮭族群的可能影響。

2、櫻花鉤吻鮭孵化與水溫的關係

由於七家灣溪的二號壩以下到有勝溪匯流點附近河段，一般被認為由於水溫過高與水質不佳，而不適合櫻花鉤吻鮭生存（林等，1988）。此河段也不被視為是一個良好的產卵場（曾，1995）。因此以往人工繁殖之用的種魚均以手拋網的方式在此河段捕捉。此實驗選擇一對經檢視生長狀況良好且已達性成熟的二齡以上成魚，以人工方式取得雄魚的精子與雌魚的卵，並於1996/11/2晚上在復育中心進行人工受精，並置於復育中心孵化池。次日（1996/11/3）計算，共計得到165個完全受精的受精卵。

將所得受精卵各選取20顆受精卵，放置於不銹鋼網狀容器，在七家灣溪三號壩以下至有勝溪匯流點間選擇五個不同的河段，埋放在各站的櫻花鉤吻鮭產卵場旁的砂石下。自上游至下游，分別以第一站（三號壩上）、第二站（二號壩下）、第三站（觀魚臺）、第四站（一號壩上）與第五站（露營場）表示。對照組設在復育中心水池則有65個受精卵。

河中實驗站所選擇放置的棲地皆依照林等（1989）所觀察到的生殖巢棲地，選擇水深不過膝的淺灘棲地，容器上面覆以2、3、4號底質石（2號底質石為直徑0.2至1.6cm的碎石、3號底質石為直徑1.6至6.4cm的小石、4號底質石為直徑6.4至25.6cm的卵石；見林等，1989），並在各實驗站容器旁放置一支水溫記錄器，以記錄孵化時期的完整水溫資料。在復育中心的復育池另外放置一組對照組。並觀察在不同河段的孵化過程死亡率以找出水溫與孵化之間的關係。

三、櫻花鉤吻鮭遺傳多樣性研究

（一）、標本採集

櫻花鉤吻鮭只分佈於大甲溪上游七家灣溪河段，而且是保育類動物，故無法採集活魚為標本。由於本實驗室協助雪霸國家公園進行櫻花鉤吻鮭復育的工作，因此向國家公園以及行政院農業委員會申請，利用每年進行人工復育時，撿取產卵後自然死亡的個體，以及用不傷害鮭魚生存的方式剪取其脂鱗及採集一些未受精卵來抽取DNA作為實驗的材料。

此外，1996年7月因賀伯颱風來襲，造成了魚群的死亡，且被沖至七家灣溪河岸。由於屍體非常新鮮，故趁此機會向雪霸國家公園管理處及行政院農業委員會申請用作分析櫻花鉤吻鮭族群遺傳分析的材料，因此才利用這批標本進行同功異構酶電泳實驗。

(二)、實驗方法：

1、同功異構酶電泳分析（略）：

- (1)、酵素萃取。
- (2)、電泳膠的備製及電泳實驗。
- (3)、切膠及酵素染色。
- (4)、資料分析。

2、粒線體 DNA 序列分析（略）：

- (1) DNA 萃取
- (2) DNA 引子之設計
- (3) 聚合酶連鎖反應
- (4) DNA 定序
- (5) DNA 序列分析

四、櫻花鉤吻鮭育種場新址選址評估

本項工作配合每年的魚群調查以及水溫記錄的工作，詳細沿著七家灣溪與司界蘭溪兩岸，尋找水溫低於12℃（繁殖季節）的地點，並且記錄每一處有泉水湧出的地點，河岸具有寬闊和交通便利的腹地等等條件。之後依據本區以往所從事人工繁殖的經驗，考慮其規模與周邊利用方式，提出可能使用的幾處可能地點，並就其中較可能的地點進行初步建議。

肆、結果與討論

一、魚群數量、結構與分布調查

櫻花鉤吻鮭是政府明定的保育類動物，其族群數量極為稀少，根據調查發現，於七家灣溪一號攔沙壩～三號攔沙壩間，民國七十五年（1986）左右約有646尾，民國七十六年（1987）則發現有1,757尾。而隨後因天然環境破壞，族群數量開始減少，至民國八十年（1991）的冬天的估計則僅存六百尾左右。民國八十一年（1992）至八十三（1994）年三月數量仍維持在低數量的族群，於七家灣溪一～三號攔沙壩的數量僅剩下278尾（圖一），整個族群呈現明顯的下降趨勢。

八十三年雪霸國家公園管理處接手之後，爲了有效的監督及保護這群僅存的櫻花鉤吻鮭，因而持續這項族群普查的工作，並將普查範圍擴及櫻花鉤吻鮭的所有生存河段，以求能完整掌握整個族群數量與結構的動態。八十三年實地統計發現，櫻花鉤吻鮭的數量大約維持在低數量的族群（八百尾左右）。1994年冬季與1995年夏季的兩季全面性調查，則分別記錄到638和565尾，數量並沒有明顯的增加。但是由於1995年全年之間七家灣溪河川環境相當穩定，幼魚成長狀況相當良好，因此上年度兩季的普查，分別記錄到2,495尾及1,854尾，整個族群數量由於幼魚的成功加

入而有較明顯的增加，相當令人高興（圖一）。

1996年7月31日賀伯颱風侵襲台灣全島，由於瞬間降雨量驚人，因此使得七家灣溪流域造成相當程度的損害（曾，1996），加上密集攔沙壩的影響，使得近三分之一的河道發生改道、上游溪段河床大幅抬高、河床寬度變寬、兩岸原有的濱溪植被被沖失、河川上游及兩岸土石崩塌嚴重及許多深潭被填滿等嚴重的棲地損害。同時也對整個櫻花鉤吻鮭族群造成相當大的影響，根據1996年10月的普查記錄為1,237尾，其中二齡以上的成魚352尾，一～二齡的成魚588尾，一齡以下的亞成魚297尾（表一），總族群量較颱風前減少了近三分之一，損害相當嚴重。若就各齡之間的損害，二齡以上的成魚與颱風前的數目相當，幾乎無損害；一～二齡的成魚由1,025尾減至588尾，折損率達42.6%；一齡以下的幼魚則由500尾減至297尾，折損率達40.6%（表二）。足見二齡以上的成魚由於游泳能力較佳，能夠適時地尋覓到合適的避難所，因此較能躲避颱風所帶來洪水的災難，除此之外，由於大型成魚對水溫的耐受性較小型成魚及幼魚為高，因此當大型成魚遭洪水沖至下游水溫較高地區時，其存活率亦較高。

而就颱風前後各溪段數量佔總族群數量比例變化（表二及圖三）來看，整個族群數量的空間分布在颱風後明顯有往下游溪段飄移的現象，說明了颱風所帶來的洪水會將櫻花鉤吻鮭沖下攔沙壩，但由於攔沙壩的阻隔，洪水消退之後櫻花鉤吻鮭卻無法再回到原來生長的溪段，因此使得上游溪段族群量大幅減少，而下游族群數量則有增加的趨勢，此與戴（1992）所得的結果一致。以七家灣溪上游五～六號壩為例，颱風前本溪段溪流棲地環境極為優良，深潭、急瀨、緩流區交互出現，濱溪植被茂密，不僅有可供大型成魚躲避、覓食的場所，更提供了櫻花鉤吻鮭優良的繁殖場及幼魚躲避天敵的棲所，因此族群數量達379尾，佔了總族群數量的20.4%；賀伯颱風過後，造成本溪段河道更改、河床抬高、河床變寬、土石堆積高達3~5m及所有深潭全數淤滿，天然棲地破壞嚴重，洪水將大部分的櫻花鉤吻鮭沖下攔沙壩，使得整個族群數量銳減至僅餘29尾，僅佔總族群數量的2.4%。可見颱風對櫻花

鉤吻鮭的空間分布有顯著的影響。

本年度夏季所作普查共記錄1,870尾，其中二齡以上成魚344尾，一～二齡的成魚360尾，幼魚1,166尾（表三），總族群數量恢復到去年颱風前的族群數量。若就族群結構而言，可以發現此一增加趨勢主要表現在幼魚的增加上面，其增加率遠較上年度春季幼魚（500尾）為高。其中以二號破壩～抽水站、抽水站～三號壩、武陵溪一號壩以下及武陵溪一～二號壩等溪段所增加的幼魚數量最多，顯示這些地點為颱風過後主要成功的繁殖場。值得注意的是颱風前原為櫻花鉤吻鮭主要成功繁殖場的湧泉池及三號～六號壩附近溪段，今年記錄的幼魚並不多，分析其原因主要是因為湧泉池底質石全為泥沙所淤積，喪失良好的孵化條件；而上游地區可能因成魚數量大減及棲地環境變差，使得孵化後的仔稚魚缺乏可以躲避天敵的棲所使然。

若就目前櫻花鉤吻鮭在七家灣溪的空間分布現況而言，各溪段以七家灣溪二～三號壩之間記錄837尾最多，武陵溪一～二號壩記錄300尾及武陵溪一號壩以下219尾居次，而最令人擔憂的則是七家灣溪三號壩以上溪段族群數量較賀伯颱風前大幅減少，僅餘168尾（表三及圖四），只佔總族群數量的8.9%。根據戴（1992）研究認為攔沙壩興建之後，使得颱風對櫻花鉤吻鮭族群會有四點影響：1.因為幼魚較易受到環境變動的影響而死亡率增高；2.攔沙壩阻礙了被洪水沖刷至下游的魚隻回到上游；3.鮭魚在七家灣溪的分布及依時間的變異乃經由棲息地惡化而改變；4.具有適合棲地的溪段減少，增加小族群局部絕滅的機率。而本次賀伯颱風所帶來的洪水使得七家灣溪櫻花鉤吻鮭族群空間分布發生重大的改變，其中上游地區族群數量的大幅度減少正是印證了其看法。由於這些溪段是目前七家灣溪水溫較為穩定溪段，是為櫻花鉤吻鮭棲息與繁殖的良好棲所，為解決攔沙壩所帶來的災害放大效應，應儘快設法研究改善攔沙壩事宜，同時並應利用人工復育放流設法增加並維持這些溪段族群數量及基因歧異度。

就不同年齡大小櫻花鉤吻鮭的空間分布分析，二齡以上的大型魚主要分布於七家灣溪二號壩以下，共計217尾，整個大型魚的

分布有集中於下游地區的現象，研判主要應受到去年颱風及今年六四豪雨所帶來的洪水沖刷所形成的集中現象；一～二齡的中型魚以七家灣溪二～三號壩(包含二號～二號破壩)168尾最多，其次為雪山溪一號壩以下53尾，除了顯示去年此兩溪段幼魚成長存活率較高，因此有較多的中型成魚的加入外，上游溪段遭颱風洪水沖刷而下的個體之加入，亦是可能原因之一；而幼魚則以七家灣溪二～三號壩(包含二號～二號破壩)630尾最多，雪山溪一～二號壩268尾及雪山溪一號壩以下138尾居次(表三)，其中包括上游孵化成功所沖刷下來的幼魚、該溪段天然繁殖所增加的新生代及人工復育放流所增加的幼魚。而值得注意的是七家灣溪二號壩以下幼魚密度遠低於二號壩以上及武陵溪，尤其自觀魚台以下，僅有8尾幼魚的記錄。而近兩年的調查亦顯示本溪段每年春季幼魚加入率均相當低，明顯地說明七家灣溪主流域二號壩以下溪段鮭魚繁殖所需的微棲地條件已然喪失。雖然本溪段不乏適合櫻花鉤吻鮭產卵的緩流棲地型態，不論水流速、溶氧量、底質石等相關微棲地因子都符合鮭魚繁殖場的要求，然而由於此溪段繁殖期平均水溫均高於12℃，平均日溫差達2~2.5℃，使得本溪段櫻花鉤吻鮭孵化率及稚魚存活率均甚低，水溫的限制使得本溪段淪為櫻花鉤吻鮭卵及稚魚的墳場。今年的調查裡記錄到這個不適合魚類產卵的河段裡，將會產卵的成魚已經有217尾之多，如果讓這些魚類自然產卵，則勢必會全軍覆沒，影響明年的魚類族群增長慎為嚴重，因此有必要在今年立即採取緊急應變措施，包括(1)在復育中心旁的攔水壩與二號副壩架設簡易式魚道，以供成魚繼續上溯至適合的地點產卵。(2)將二號壩以下的所有成魚都以人為的方式採捕之後，進行較大規模的人工繁殖。

在今年的族群數量分布調查上，證實了和平農場至迎賓橋間確實有少數櫻花鉤吻鮭的分布，研判應為遭颱風沖刷至下游的少數例外存活個體，此一溪段的水溫已然超出櫻花鉤吻鮭的生存極限17℃甚多，並不適合櫻花鉤吻鮭的生存。

而在整個櫻花鉤吻鮭族群數量與分布的調查上，最值得慶賀的莫過於在司界蘭溪發現了櫻花鉤吻鮭的蹤影，整個生存流域長

度約達1.5km，除了記錄到今年人工復育所放流的幼魚14尾外，更記錄了前兩年所放流的一～二齡魚個體24尾，其中最大體型接近20cm，且相當肥大，實際族群數量值得再做進一步的詳細調查。司界蘭溪發現鮭魚的蹤影，除了說明了近幾年人工復育放流計畫頗為成功外，前兩年在司界蘭溪中下游放流的櫻花鉤吻鮭，兩年後於上游地區發現存活個體，一方面說明了司界蘭溪中下游區域水溫太高，不適合櫻花鉤吻鮭的生存；另一方面說明了在沒有攔沙壩等人為設施的阻隔下，櫻花鉤吻鮭會自行尋覓遷移至適合其生存水溫較低的上游溪段。為更加了解水溫因子對櫻花鉤吻鮭生存的限制，除了繼續長期監測七家灣溪各溪段的水溫變化外，今年八月起亦於司界蘭溪中、上游增加放置三支光學型水溫記錄器，期望能提供更詳細的水溫因子，就此一可能影響櫻花鉤吻鮭族群數量與分布的水溫因子做更進一步分析研究。

二、水溫對櫻花鉤吻鮭族群的影響

(一)、七家灣溪水溫的物理性質與變化情形

影響溪流水溫的因子，多年來已有許多的研究結果。Brown (1980) 曾進行集水區森林不同方式砍伐所造成溪流水溫上升的研究。緩衝帶的保留為溪流提供了良好的蔽蔭效果，避免了全面砍伐所造成的日照直射而引起的水溫升高現象。

Brown (1980) 認為在溪流的表面，由傳導、對流或蒸發所引起的熱交換很少，因此砍伐造成的氣溫上升應該不是溪流水溫上升的主因。而溪流中由太陽輻射而增加的能量並不能完全由對流和傳導而擴散，大部份的輻射能量都會被儲存而引起水溫的上升。于 (1996) 對中國大陸東北山區小溪進行分析，估算得到溪流所吸收的輻射能量約為入射總能的9.32%。

由上述可知，一般森林溪流的水溫主要受到日照輻射量以及

森林遮蔽罩蓋度 (stream surface shading) 的影響。尤其是對於像七家灣溪這類位於高海拔 (高於 1690m) 的高山溪流而言，由於植被茂密、罩蓋度良好，終年處於低水溫狀態，更容易因為兩岸植被的破壞造成日照直射溪床，而造成水溫提高。

本研究對七家灣溪水溫資料進行分析，可得到以下初步結果：

1、各站水溫的全年變化情形

本研究水溫資料的記錄，自 1996 年元月起至 1997 年 5 月，兩年度均由於遭受 4 至 6 月間的數次豪雨，造成部份水溫記錄器遺失損毀而缺漏水溫資料。1996/7/31 的賀伯颱風所帶來的洪水，造成除了觀魚臺河段資料外，其餘 13 支水溫記錄器全部被沖失，造成大部份水溫資料的遺失。此外，有時水溫記錄器的突然故障也會造成水溫資料的遺失。雖然大多數河段的全年水溫資料都不完整，但是本研究仍試著將各個溪段的全年水溫變化作一個比較。

爲了得到一號壩上的全年完整水溫資料 (圖五)，將唯一缺漏的 1996/7/23 至 1996/8/8 間共十六天的水溫資料，以一號壩站上游約 1.2km 的觀魚臺河段水溫資料填補，使一號壩上河段的全年水溫資料變得更完整。以此水溫變化爲代表來試著描述七家灣溪全年水溫的變化趨勢。

由一號壩河段的水溫變化圖，可以看出全年有三個比較明顯的升溫時期。第一個是在元月初開始，時間較短，升溫的範圍也不大。第二個是在三月初時，正是氣溫開始回升的時候，但是由於四至六月間的梅雨季，往往帶來豐沛的雨量，造成溪水的流速、流量增加，使得此時期的水溫升溫情形比較不明顯，有比較大的起伏狀況。第三個上升時期是在約在六月初，時序開始進入夏季的時候。這個水溫上升期一直持續上升到七月中旬，直到七月底賀伯颱風帶來驚人的雨量 (1996/7/31 雨量：81mm，1996/8/1 雨量：228mm)，使七家灣溪水量大增、流速增快，因而造成溪水的冷卻。此升溫期並且有日溫差變動劇烈的現象。水溫的降溫時期是逐漸

而緩慢的，不如升溫時期明顯，但是還是可以看出三個降溫期。七月下旬至八月上旬的溫度變化，存在著一個降溫的趨勢。但在今年資料中，由於有賀伯颱風的影響，降溫期的確定時間有待資料的持續累積才能完全證明。九月下旬是另一個降溫時期，最明顯的降溫時期出現在十一月下旬至十二月上旬這段時間，一方面是氣溫降低（寒流的效應），另一方面是水量減少、流速變緩所造成的共同效應。

將水溫資料比較不完整的五號壩河段（圖六）、三號壩站（圖七）、觀魚臺站（圖八）、武陵溪一號壩河段（圖九）的全年水溫變化與一號壩站比較，可以發現到全年水溫變化的趨勢大致上是相同的，只是上游地區的五號壩河段及支流的武陵河流域水溫變化範圍較小。五號壩站、三號壩站與武陵溪一號壩站在元月初的升溫期較觀魚臺站與一號壩站顯著。推測可能與低流量、低流速與溪段受日照輻射效果顯著與否有關。

湧泉池站的位置在二號舊壩附近（圖二），為一天然湧出的地下泉水。在整個七家灣溪河段中，水溫變化曲線（圖十）是最特別的。由於泉水低溫的特性，再加上匯入七家灣溪的支流兩岸植被茂密，罩蓋度佳，因而終年維持穩定低溫狀態。水溫在氣溫最低的元月底至二月初時間，約在 9°C 至 10°C 間，並未下降至非常低的溫度，且其日溫差最多不超過 1°C 。由水溫上升趨勢可推測湧泉的夏季最高水溫不會超過 14°C 。

2、七家灣溪上下游水溫溫差

若以各測站資料較齊全的水溫資料，比較上游至下游各月的月平均水溫變化情形時（圖十一），可以發現到一些特別的現象。

（1）各月份的月平均水溫由上游到下游大致上都是呈現升溫的趨勢，一號壩以下的兩個測站，由於支流的降溫效應，而有較上游一號壩站水溫更低的現象。1996年十一月至1997年三月（1997年四月與五月由於記錄器損毀而無資料）在露營場站（武陵溪匯流口下游）與1996年十二月與1997年元月在武陵賓館站（有勝溪

匯流口附近)的月平均水溫皆低於一號壩站的水溫值。觀魚臺站則在1996年八至九月、1997年四月與1997年五月時，平均水溫有略低於上下游兩個測站(0.5℃以內)的現象，但是原因不明。

(2) 1996年十二月至1997年二月此段時期，各站間的溫差雖然最大，卻是七家灣溪流域的低水溫期，整段七家灣溪流域的月平均水溫皆在12℃以下。自1997年三月起，水溫開始穩定的整體上升(迴歸呈現一個良好的線性關係)，此時各測站之間的溫差較冬季小，在二號壩以下的觀魚臺站與一號壩站，甚至是等溫的現象(1997年四月與五月)。雖然1996年七月的資料因颱風而缺失，但是由趨勢仍可以推估七月份的平均水溫值可能是全年最高的。由整體的升溫趨勢，推測六月與七月的七家灣溪下游溪段(一號壩以下區域)的月平均水溫可能都超過16℃。由八月至十二月間，月平均水溫呈現穩定的整體下降趨勢。

(3) 若以線性迴歸的斜率絕對值表示各個月份平均水溫的升溫速率(單位：℃/km)(圖十一)。則在1996年元月(0.45℃/km)、1996年十二月(0.38℃/km)與1997年元月(0.39℃/km)有較高的升溫速率。顯示了雖然七家灣溪在冬季枯水期時雖然有較低的平均水溫，但是上下游測站間的溫差卻是各月份中差異最大的。溪水冬季流量的減少和流速的降低，導致河水接受日照時間延長是可能的原因。

(4) 七家灣溪流域水溫升高的現象具有不同時間與空間的特性。三號壩以上的區域，水溫呈現穩定的狀態，五號壩站與三號壩站的最大溫差僅0.6℃(1996/08.09)。各河段中月平均水溫升溫速率最快的一段是在三號壩以下，抽水站測站至二號壩之間的河段。原因可能是三號壩以下至抽水站河段多是峽谷地形，兩岸罩蓋度佳。而抽水站測站之後的河段，河床轉為開闊而平緩，兩岸植被離河岸較遠，因此罩蓋度較上游河段差，造成日照輻射直接而快速的提高水溫。三號壩以下河段的河床平均坡度(1/40)較三號壩以上(1/14)為小，使得三號壩以下的河段流速降低，間接增加日照時間也是可能的原因之一。此現象在冬季由於溪水流量減少、流速減緩的時候更加明顯。自1996年十一月，二號壩

至三號壩間河段的平均水溫逐漸產生差異，其平均水溫升高速率為 $0.72^{\circ}\text{C}/\text{km}$ （整個七家灣溪河段平均升溫速率為 $0.34^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ），在十二月更快速增為 $1.27^{\circ}\text{C}/\text{km}$ （同時期整個七家灣溪河段平均升溫速率為 $0.38^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ），1997年元月為 $1.27^{\circ}\text{C}/\text{km}$ （同時期整個七家灣溪河段平均升溫速率為 $0.39^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ），1996年的元月更高達 $1.88^{\circ}\text{C}/\text{km}$ （同時期整個七家灣溪河段平均升溫速率為 $0.45^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ）。

（5）在1996年十一月與十二月，上下游各測站的月平均水溫下降幅度不等，其中抽水站測站以上的各站皆有快速降溫的現象，與其他各站相較則有較大的下降幅度，使得十二月的月平均溫度曲線形成類似口字形，也因而失去良好的迴歸線性（ R^2 的值低）（圖十一）。由此可以看出，甚至在寒流頻繁的元月與二月，七家灣溪中下游河段的水溫仍然較上游河段更不容易降低。但是為何上游的低溫冷水無法冷卻中下游較高的溫度呢？冬季的低流量流速與湧泉較高水溫的補充是可能的原因之一，但是詳細的機制則有待進一步的探討。

（二）、防砂壩對水溫變化的影響

防砂壩會隔離櫻花鉤吻鮭的族群分布，造成族群之間無法進行基因交流（曾，1995）。但是防砂壩對七家灣溪物理棲地的影響，只有賴（1996）曾經討論過，而水溫變化問題則一直沒有人作過分析與討論。

賴（1996）曾提到防砂壩對河道的影響，有空間上的差異。在壩上游、壩下游與兩壩間三種河段的影響程度有所差異（圖十二，引自賴1996）。河道會因為淤砂的重新排列，造成河床坡度減緩的效應。在防砂壩淤滿以後，功能由防砂而轉變為減緩河床的坡度。在賴的研究中指出，七家灣溪一至二號壩與二至三號壩間河段的坡度皆有愈往下游坡度愈緩的現象。河床的坡度變緩之後，造成溪流流速減緩，若再加上罩蓋度不佳等其它環境因子，將造成水溫快速上升。因此防砂壩，尤其是已淤滿的防砂壩，對水溫將造成升溫的效應。

七家灣溪流域（包括武陵溪、桃山北溪）所建造的防砂壩共十二座，其中主流有七座，武陵溪支流有四座，桃山北溪有一座。最早是建於1972年，最新的是行政中心旁的新二號壩，建於1991年（賴，1996 引用自林務局，1991）。除舊二號壩早已損壞，完全沒有防砂功能之外，三號壩、新二號壩、一號壩與武陵溪一號壩在本研究進行以前也早已淤滿，喪失防砂的功能。賀伯颱風過後，更將原本七家灣溪上游的四、五、六號壩完全淤滿。其中五號副壩更被土石完全淹沒。由五號壩在賀伯颱風前後的水溫（1996年五月與1997年五月）比較（圖十三），得到1997年五月份水溫較1996年五月份水溫略高。以月平均水溫來看，五月份平均水溫由1996年的 11.37°C （ $sd=0.49$ ），提高為1997年的 11.95°C （ $sd=0.62$ ）。除了兩個年度的氣溫不同影響外，河道的改變造成溪流河段罩蓋度的改變與防砂壩淤滿造成河道坡度變緩，都會造成輻射儲存能量增加而提高水溫。

（三）、表面水團的平均流速與加熱時間

在七家灣溪一號壩至三號壩河段表面水團流速測定的結果（表四）中，由於到達各觀察點的平均數量不易客觀判定，所得到的時間值比較不可靠，再加上資料的不完整性，因此我們在綜合結果中只討論最短時間的部份。而由於第二次分成兩個河段進行實驗的可信度較高，因此我們以第二次的實驗結果為主。我們可以由各站時間得到三號壩至抽水站，表面水團平均流速為 77.0 cm/sec ；抽水站至二號壩平均流速為 57.1 cm/sec ；二號壩至觀魚臺平均流速為 117.3 cm/sec ；觀魚臺至一號壩平均流速為 90.1 cm/sec 。由累加時間可得三號壩至抽水站平均流速為 77.0 cm/sec ；三號壩至二號壩平均流速為 62.5 cm/sec ；三號壩至觀魚臺平均流速為 82.2 cm/sec ；三號壩至一號壩平均流速為 84.1 cm/sec 。

表面水團平均流速測定（表五）顯示表面水團由上游河段移動至下游河段所花費時間。三號壩站三月份的水溫資料因為故障而遺漏。由於1997年二月與四月平均水溫皆有良好的線性（ R^2 分別為 0.97 與 0.96 ），因此推測在三月份時亦有良好的線性關係，可直接由兩相鄰測站，五號壩與抽水站的水溫值來推估三號壩測

站的水溫值。因此本研究以五號壩與抽水站間的升溫速率估計三號壩測站的水溫值，得到1997/3/15當日五個流速測定實驗站水溫變化。

假設表面水團於上午9:00由三號壩流出，當時水溫為 9.71°C （五號壩站9:00測定值 9.64°C ，抽水站9:00測定值為 9.75 ），則到達抽水站時溫度為 9.89°C ，區間升溫速率為 0.83°C/hr 與 0.30°C/km ；到達二號壩站的水溫為 11.29°C ，區間升溫速率為 2.4°C/hr 與 1.17°C/km ；到達觀魚臺時水溫為 12.06°C ，區間升溫速率為 1.71°C/hr 與 0.41°C/km ；到達一號壩站的水溫為 12.65°C ，區間升溫速率為 1.54°C/hr 與 0.47°C/km 。三號壩至一號壩間河段在98分鐘內，水溫共上升了 2.94°C ，平均升溫速率為 1.8°C/hr 與 0.59°C/km （表五與圖十四）。由於時間只有花費98分鐘，因此可以不考慮日照輻射角度變化的因素，其升溫速率可以視為瞬時的升溫速率，而非平均值。

時間區間（單位 $^{\circ}\text{C/hr}$ ）升溫速率指日照輻射在單位時間內為各河段吸收的能量，可以得到輻射吸收能隨著時間變化的趨勢；距離區間（單位 $^{\circ}\text{C/km}$ ）升溫速率則指日照輻射在單位距離內為各河段吸收的總能，可以得到輻射吸收能隨著距離變化的趨勢。

由圖十四可以看出，二號壩至一號壩間河床的坡降由3.3%變為2.2%，明顯有轉緩的趨勢。防砂壩造成的河床平緩現象，造成二號壩至一號壩間的單位距離升溫速率由 0.41°C/km 升高為 0.47°C/km 。三號壩至二號壩間的河床坡度由3.3%至1.5%，河床也相同呈現轉緩的趨勢，造成三號壩至二號壩間的單位距離升溫速率由 0.30°C/km 升高為 1.17°C/km 。一號壩至二號壩與二號壩至三號壩兩河段的河床坡降變化相似，但是距離區間升溫速率的變化卻差異甚大。抽水站以下至二號壩的河段，溪床轉為開闊，造成溪流表面罩蓋度降低，使得河川吸收日照輻射能增加而快速的提高水溫是最大的原因。也造成抽水站至二號壩間的單位時間（ 2.40°C/hr ）與單位距離（ 1.17°C/km ）升溫速率，在各個河段區間中都是最大的。

(四)、水溫對櫻花鉤吻鮭的影響

1、孵化與水溫關係

本實驗除了第二個實驗站及第三個實驗站的受精卵皆未達孵化階段即已全數死亡外，第一個實驗站的總死亡率為20%，孵化日數為45日（1996/11/3至1996/12/18）；第四個實驗站的總死亡率為85%，孵化日數為38日（1996/11/3至1996/12/11）；第五個實驗站的總死亡率為65%，孵化日數為38日（1996/11/3至1996/12/11）；對照組復育中心的總死亡率為15.4%，孵化日數為39日（1996/11/3至1996/12/12），平均孵化日數則為35日。各實驗站的水溫皆以每小時一筆的方式記錄。以統計方式求得各實驗站水溫自受精日至平均孵化日的平均水溫，由上游至下游各實驗站的平均水溫分別為10.25℃、12.49℃、13.03℃、12.81℃、12.46℃。復育中心至平均孵化日的平均水溫則為13.23℃。

2、水溫對櫻花鉤吻鮭的影響

將魚類置於一個可以自由選擇溫度的環境中，則魚類會選擇其中較適合的溫度環境停留，此溫度稱為魚類的喜好溫度（preferred temperature）（吳，1997）。Brett（1971）提到同為鮭魚的sockeye salmon（*Oncorhynchus nerka*）在其喜好溫度15℃下，在生理上有較好的代謝速率（metabolic rate）循環（circulation）與生長率。

Meisner（1990）以標定研究方法，發現到Brook trout（*Salvelinus fontinalis*）在春夏季之際有往河川上游移動的現象發生。可見水溫變化與魚類族群的分布有一定的關連。莊（1988）則發現到櫻花鉤吻鮭繁殖期時，在一號壩至二號壩和二號壩至三號壩河段之間求偶點與產卵巢的分布，都有向上段河域集中的情形，推測是因為性成熟的櫻花鉤吻鮭在上段河域的活動較下段多。本研究認為水溫是造成此現象的可能性因子，水溫影響性成熟鮭魚選擇河段進行繁殖行為。

水溫的變化也影響到七家灣河流域中另一種原生種魚類，臺

灣鏟頰魚 (*Varicorhinus barbatulus*) 的分布。由楊等 (1987) 與岳等 (1987) 可知臺灣鏟頰魚原本是分布於七家灣溪一號壩以下河段，生殖地點則以下游武陵賓館附近河段為主。但曾 (1994) 在1994年度的櫻花鉤吻鮭族群分布調查時，已發現到七家灣溪一號壩上河段有臺灣鏟頰魚的分布。研究人員在1996年春季(五月)櫻花鉤吻鮭族群數量調查過程當中，發現臺灣鏟頰魚成魚分布至觀魚臺河段附近，而在秋季(十月)的調查過程中，則發現到二號壩以下的落瀑潭已出現臺灣鏟頰魚成魚與幼魚的蹤影。由於族群的穩定必須有合適生殖的環境，使族群得以正常世代交替，才是穩定的族群結構。因此本研究以臺灣鏟頰魚仔魚的出現視為族群的擴張。在吳 (1997) 引用陳等 (1980) 的資料中，曾提到臺灣鏟頰魚的受精卵在17°C時有95%的孵化率。呂等 (1987) 推測有勝溪流域的臺灣鏟頰魚的生殖季節為四月下旬至六月下旬，適當生殖溫度為17至20°C。可以得到17°C等溫線在臺灣鏟頰魚生殖期可能是最佳溫度。

雖然一號壩至二號壩間河段的臺灣鏟頰魚成魚並非自然擴散的，但是以往在武陵溪與七家灣溪匯流點並無觀察到臺灣鏟頰魚仔魚的事實 (呂, 1987)，提供了匯流點以上河段可能是不適合臺灣鏟頰魚產卵的間接證據。雖然臺灣鏟頰魚與櫻花鉤吻鮭之間並不清楚是否有生態區位的競爭關係 (食物或是棲地等)，但是七家灣溪一號壩至二號壩間河段由於水溫提高，已達臺灣鏟頰魚孵化合適溫度，得以進行繁殖而逐漸建立完整族群結構。

本研究觀察七家灣溪各個河段全年水溫變化，在一號壩測站 (圖五) 的日最高水溫在六月底即達到17°C，而更上游的觀魚臺站 (圖八)，雖然並無完整水溫變化，但由其水溫變化與一號壩站類似的趨勢，可以推測在六月底的日最高水溫也將達到17°C。而在更上游的三號壩站 (圖七) 與支流武陵溪一號壩站 (圖九) 的水溫變化並無此現象。七家灣溪觀魚臺站以下河段，在臺灣鏟頰魚生殖期 (六月) 的水溫到達17°C，提供了臺灣鏟頰魚成功繁殖的條件，可能是臺灣鏟頰魚向七家灣溪中游擴散的最大原因。由於17°C等溫線也被視為是櫻花鉤吻鮭的分布上限水溫 (林等，

1988、Watanabe et al., 1985)，因此上述結果正解釋了櫻花鉤吻鮭與臺灣鏟頰魚在觀魚臺以下河段族群的消長情形。

七家灣溪三號壩站以上（三號壩站與五號壩站）（圖六與圖七）與武陵溪一號壩測站（圖九）的全年水溫均低於17℃以下，而觀魚臺站（圖八）與一號壩站（圖五）則在夏季（六月下旬至七月下旬）時有超過17℃的情形。由此可以發現，三號壩以上河段在水溫的觀點而言，是櫻花鉤吻鮭的合適棲地；但由河床坡度來看，三號壩以上由於靠近河川源頭而坡度較大，卻又不適合鮭魚生長（大島，1935、Kano，1940；林，1958）。1996年十月的調查發現，賀伯颱風對七家灣溪上游櫻花鉤吻鮭族群造成數量上的顯著減少，顯示上游河段並非一良好棲地，因此針對中下游水溫升高的現象進行改善才是維持櫻花鉤吻鮭族群的解決方法。

3、孵化時期的最佳水溫

de Sylva (1968) 指出，溫度對海洋魚類生活史中最大的影響是在魚卵的孵化發育期，因其不具有逃避能力。卵的孵化因各種魚類不同而有其各自的孵化溫度時間，稱為積溫值（daily cumulative water temperature）（累計水溫 = 平均水溫 × 日數，單位為℃日），即孵化的水溫與孵化的時間存在著一個反比例的關係。在卵孵化過程中若水溫過高，雖然發育速度較快，但容易因發育過快而導致畸型率及死亡率的增加。剛孵化的仔稚魚由於為極狹溫性且活動力較差，因此往往容易受到水溫變化的影響而造成仔稚魚的猝死。

對櫻花鉤吻鮭而言，雖然成鮭在產完卵後並不會馬上死亡，但是野外觀察的二齡以上成鮭卵質狀況不佳，繁殖成功率可能並不高。因此二齡以上成鮭對族群更新的貢獻有限。低死亡率可以增加幼鮭數目，使櫻花鉤吻鮭的族群替換更新以維持一定數目，甚至擴大族群。但卵至幼鮭時期又是櫻花鉤吻鮭生活史中最危險的一個時期。de Sylva(1968)提到一般魚類的卵與幼魚期(larvae)是非常狹溫性的，只能在正確的溫度(exact temperature)內生存。櫻花鉤吻鮭在孵化時的正確水溫為何？由孵化與水溫實驗結果中

(表五與圖十五)，我們可以得到結論如下：

(1) 本研究在一開始並未測定各實驗站的物理棲地因子，但在1996/12/4與1996/12/5的棲地測量中，流速與深度也符合林等(1989)所提到的產卵場棲地。同時在觀察各實驗站受精卵期間，在第一個、第二個及第三個實驗站附近皆可觀察到魚群追逐、配對的繁殖行爲。可證明本研究所選擇的實驗樣區皆是合適的櫻花鉤吻鮭產卵場。

若只考慮棲地對櫻花鉤吻鮭孵化的影響。在賴(1996)的研究中，將林等(1989)所描述櫻花鉤吻鮭的產卵巢定義爲緩流(run)，並在1996年冬季對七家灣溪三號壩至一號壩河段進行的棲地調查中，記錄到緩流棲地是各種河川棲地中最少的(8%)。也記錄到三號壩至二號壩間河段的緩流棲地(2%)，較二號壩至一號壩間河段(14%)來的少。三號壩至二號壩間河段適合櫻花鉤吻鮭產卵的棲地雖然較少，但在曾(1996)1995年、1996年與今年夏季族群調查資料中，幼鮭(前一年度孵化)的數目一直是二號壩間與三號壩間河段(包括湧泉池支流)多於一號壩與二號壩間河段(圖十六)。1996年秋季的族群數量由於賀伯颱風影響而可能有所誤差，但在資料較準確的1995年秋季調查中(幼鮭在秋季較易觀察，且當年度並無颱風)，數量的差距非常顯著(804:10)。在本年度夏季的調查也顯示了相同的結果(630:24)。二號壩至三號壩河段雖然較少合適的產卵棲地，但卻有較高的幼魚數目，顯示有另一個決定性的因子而非單純由棲地因子所決定。

本實驗所選擇的實驗站棲地環境皆類似，主要在只想單純考慮水溫對櫻花鉤吻鮭受精卵孵化過程的影響。由各個孵化實驗樣區的水溫變化(圖十七)來看，溫度變化曲線明顯分成兩群，除了最上游的第一站外，其餘溫度變化曲線幾乎集合在一起，只在於溫度變化程度不同(溫差)。若只考慮平均水溫，除了第一站的平均水溫低於11°C(10.25°C)之外，其餘各實驗站的平均水溫都超過12°C，甚至第三站已超過13°C(13.03°C)。與各站總死亡率對照(表三)，第一站(位於七家灣溪上游區)的孵化死亡率最低(20%)，其餘地點的死亡率皆超過六成。因此可以視平均

水溫 12°C 等溫線為櫻花鉤吻鮭進行孵化時的上限溫度。de Sylva (1968)提到櫻花鉤吻鮭的洄游型近親，櫻鮭 (*Oncorhynchus masou*)在胚胎發育期的忍受極限溫度(tolerance limit temperature)為 13°C ，與本結果相較極為接近， 1°C 的差異可能是陸封型與洄游型不同的原因。

(2) 與對照組位於室內的復育中心相比較，雖然復育水池的平均水溫已超過 13°C (13.23°C)，比五個實驗樣區中任何一站的平均水溫來的高，但卻仍有較野外環境高的孵化率(15.4%)。此點不是單純考慮平均水溫值可以解釋的。日溫差的變化幅度，亦即溫度的穩定狀態，可能是另一個決定性的因子。比較各站的日溫差變化(圖十八)，第一站的日溫差變化是最穩定的，多在 1°C 以內；次為第二站(約在 2°C 以內)、第三站(約在 2.5°C 以內)與第五站(約在 3°C 以內)；最高為第四站，多在 3°C 以上，甚至可達 3.5°C 。而對照組的復育中心日溫差變化約略高於第二站的值。以平均日溫差來看，第一站的平均日溫差變化在 0.72°C 附近，其他站則皆超過 1°C ，甚至高達 2.49°C ，復育中心水溫的平均日溫差為 1.53°C 左右，值約在第二站與第三站之間，相對於各實驗站，屬於較穩定的溫差。日溫差 2°C 可能是櫻花鉤吻鮭孵化上限溫差。在孵化的過程中，日溫差的變化幅度與是否超過等溫線這兩種可能因素何者較重要，則有待進一步的實驗及分析確定。

(3) 由表五積溫值項目，並無觀察到孵化期積溫為定值的結果，但卻有積溫值與死亡率呈現良好線性關係(圖十九)的結果，即積溫值愈高，死亡率也愈高。但由於樣區較少($N=4$)，所得結論是否正確，有待更多數據的驗證。余等(1987)所作櫻花鉤吻鮭人工繁殖所得積溫值，其受精卵自受精到孵化，水溫在 8.9 至 12.6°C 間，平均水溫為 10.23°C 須42天，積溫值為 449°C 。與本實驗結果比較，其積溫值偏低，推測應是水溫測定時間不同造成的誤差。因其人工繁殖測定水溫時間在上午9點至下午2點間，正是水溫變化範圍最大的時候；鄭等(1980)提到，大陸圖們江的陸封型櫻鮭 (*Oncorhynchus masou masou*)在人工孵化的環境中，平均水溫 10°C ，約40天孵出(積溫值約為 400°C)；平均水溫 8°C

時，約兩個月孵出（積溫約480°C），野生族群則為在平均溫度15°C時，約33天大量孵化（積溫約495°C）。與本實驗比較結果，雖然野生族群積溫值較為接近，但是平均水溫值卻相差太大。積溫值是研究人員作為比較孵化過程的一個常用指標，但是由實驗結果與文獻比較，其積溫值的一致性過低，容易因水溫測定的誤差有所波動，故可能不適合作為一個互相比較的參考指標。

（4）Hiroi et al.（1988）提到在*Oncorhynchus keta*的人工孵化過程中，孵化前期的死卵出現比例的最高，經統計孵化前期死亡率佔總死亡率的62%至85%。文中所定義的孵化前期為積溫約200°C，或發眼期之前的時期。由此推測知道孵化前期發育過程在整個發育過程是比較重要的。捨棄積溫式的定義，以發眼期前的孵化過程視為孵化前期。實驗中各實驗站，在第二次進行觀察時（1996/11/23），受精卵即可看出眼睛黑色素的沉澱，因此將1996/11/4至1996/11/22視為整個孵化過程的前期。比較孵化前期時的死亡率，在本實驗中一樣有孵化前期高死亡率的結果，比例佔總死亡率的47%至100%，若因可能性的誤差而不考慮第二站與第三站，最高比例也達77%。在本研究中的孵化前期死亡率在10%至100%，較Hiroi et al.（1988）的實驗結果，死亡率在7.5%至25.47%之間，有偏高且較大變異的死亡率。可能是因為本實驗在野外的環境下進行；另一方面可能是觀察時間無法太密集，以致感染造成高死亡率的誤差。

Kuramoto et al.（1988）記錄*Oncorhynchus keta*受精卵在不同水溫下的胚胎發育過程時，合適水溫區（8°C）的胚胎穩定發育直到孵化；而高水溫區（15°C）在原腸期（gastrula）以前的胚胎發育速率快，在原腸期時有減緩現象，之後的發育速率又再增快；在低水溫區（5°C）則是一直維持較慢的發育速率。可知胚胎發育速率雖然受到水溫高低不同而有所差異，但在同水溫下的各個不同發育時期的速率也各有不同。在高溫區，發眼期之前的發育速率是較快的，可能也是造成孵化前期高死亡率的原因。

孵化前期的高死亡率與水溫因子之間有何關係？由孵化前期（1996/11/3至1996/11/22）的水溫資料（圖十八）統計分析，平

均日溫差（表五）與整個孵化時期（1996/11/3至1996/12/28）的統計平均值差異不大，各站的差異都在 0.1°C 以下。但平均溫（表五）則各實驗站在孵化前期的平均水溫皆較整個孵化時期所得值高。除第一站為 11.32°C 外，其餘各站皆遠高於 12°C ，孵化上限溫度在孵化前期的統計上更為顯著。孵化前後時期平均溫度的差異，由第一站到第五站，分別為 1.07°C 、 0.26°C 、 0.01°C 、 0.52°C 與 0.64°C ，復育中心為 0.24°C 。孵化前期的水溫值在整個孵化過程有偏高的現象。實驗結果顯示，兩時期平均水溫差異程度與死亡率呈現反比的關係。即孵化後期水溫降低愈多，死亡率愈低。此點結果與本章第一節的討論配合，由於孵化前期的十一月與十二月間是七家灣溪各河段水溫開始呈現降溫的關鍵時間，若水溫下降的不夠低，使水溫一直維持在高水溫的狀態，則可能對孵化過程產生不良影響。

（5）Kuramota et al.（1988）提到 *Oncorhynchus keta* 受精卵在高水溫區（ 15°C ）的受精卵胚胎發育速度較適水溫區（ 8°C ）與低水溫區（ 5°C ）來的快，約在第六日即已發眼，較正常發育的天數短了七日（正常發育為十三日發眼）。在高溫區並記錄到雙體畸型（twin malformation）的胚胎發生。本實驗中也有平均水溫愈高的河段，如第三站與第四站，其孵化時間由於胚胎發育速率較快而顯得較其它河段來的短的結果。除了最上游的第一站未記錄到異狀仔魚，下游的第四站與第五站均有記錄到身體異狀的仔魚而陸續死亡的情形。七家灣溪高水溫河段的孵化日期雖然短，但死亡率高與出生仔魚多有畸型，驗證過快的發育速率易造成高死亡率與魚體畸型。綜合上述，七家灣溪中下游區（二號壩以下）的水溫對櫻花鉤吻鮭孵化過程而言，並非適溫而有偏高的現象。

（6）以（1）中所得到的孵化上限水溫 12°C 與七家灣溪各河段的全年水溫變化比較，可以發現到三號壩站（圖七）的日最高水溫在十月底至十一月初開始下降至 12°C 以下；中游的觀魚臺站（圖八）水溫則在十二月中旬降至 12°C 以下；一號壩站（圖五）則為十二月底元月初才會降至 12°C 以下；而武陵溪一號壩站（圖九）則在十一月下旬左右降溫至 12°C 。可推得孵化期（十一月至

十二月)時12°C等溫線在三號壩以下河段。在二號壩至三號壩間河段，雖然無任何實驗站，但是三號壩上的實驗站在野外實驗中的孵化率最高，也提供我們在靠近三號壩附近的河段應該也有相似結果的間接證據。由圖九的十一月平均水溫迴歸線計算，可得12°C等溫線為海拔1825m處，在本研究湧泉池測站以上河段附近。十二月份則由於迴歸線截距值低於12，而無法以此方法估算。但是正確的12°C等溫線所在河段，仍有待進一步的研究。

(7) 在行政中心下的復育中心中的對照組，其孵化的死亡率則僅有15.4%左右，比野外實驗樣區中最好的結果還好。顯示野外生殖環境不佳時，人工孵化的方式確實可以減少死亡率。但是可能必須包含其他必要的條件，如技術、設備及人力等，以目前的人力及設備，並無法同時照顧過多的人工受精卵，否則死亡率也會相對提高。此點可由對照組的卵死亡率為15.4%，而同樣位於復育中心的櫻花鉤吻鮭人工繁殖受精卵總死亡率，提高為約三成(1996/10/21上午9:00進行人工受精，在1996/11/24時近百尾孵化，至1996/11/28時完全孵化。孵化日數為39日，平均孵化日數為37日)。

(8) 在此次實驗中選擇的實驗樣區附近(三號壩以上與二號壩以下兩個樣區)，都可觀察到櫻花鉤吻鮭進行追逐、配對、掘巢等繁殖行為，也觀察到有疑似櫻花鉤吻鮭產卵場的區域，但為避免對受精卵進行不必要的干擾，並未對野外族群的自然受精卵進行觀察與比較。

三、櫻花鉤吻鮭遺傳多樣性之研究

(一)、同功異構酶電泳分析部份

這個實驗所使用的標本是96年7月因賀伯颱風沖積至七家灣溪河岸而死亡的新鮮鮭魚屍體，一共有二十五尾，分為兩個族群，分別是：觀魚台四尾(omf1-4)以及露營場二十一尾(omf5-25)(表六)。這個實驗共分析了23種同功異構酶，可以清楚辨識的有13

種，總共發現有23個基因座可以判讀。同功異構酶的名稱、國際編碼和緩衝液系統列於表七。

在所得的23個基因座中，有22個基因座在兩個族群中是呈現同質性的 (monomorphism)，分別是：ADH-1、ALD-1、CK-1、CK-2、CK-3、CK-4、CK-5、FUM-1、GPI-1、GPI-2、GPI-3、IDH-1、IDH-2、LDH-1、LDH-2、MDH-1、MDH-2、ME-1、PEP-1、PEP-2、6-PGDH與PGM-1，只有基因座MPI-1表現出多型性 (polymorphism) (表八及圖二十)。多型性基因座百分比的平均值為2.15% (0.0%與4.3%)，每個基因座的平均對偶基因數為1.0，平均理論質異度 (H_e) 為0.0115 (0.004與0.019)，而平均觀測質異度 (H_o) 為0 (表九)。這兩個族群所觀察到的平均觀測質異度皆為0，而根據哈溫定律所期望的平均理論質異度則分別為0.004與0.019，這與平均觀測質異度相近。由這些結果可以知道，櫻花鉤吻鮭基因型多型性是非常低的。

櫻花鉤吻鮭族群中，FIS (族群內基因的固定指數，估算族群內 H_o 與 H_e 值的差異) 平均值為 1.000，這個值大於零，表示櫻花鉤吻鮭族群內個體傾向於近親交配。而 FIT (為整個族群的基因固定指數，代表的意義與 FIS 相似) 值也是 1.000，與 FIS 值相同，這表示整個族群趨向於近親交配。在族群間變異指數 (FST) 方面，FST 值為 0.081 (表十)，這表示族群間的變異是非常小的，分化程度很低。

(二)、粒線體DNA分析部份

這個實驗所使用的台灣族群標本是利用每年為櫻花鉤吻鮭復育時，剪取其脂鱗所得，詳細的採集點與時間列於表六。實驗總共抽取了24尾櫻花鉤吻鮭的粒線體DNA供實驗所用，分別是 TFA1、TFB1、TFC1、TFD1、TFE1、TEA1、TEB1、omf1-5。

1、櫻花鉤吻鮭粒線體DNA定序結果

利用兩個寡核苷酸引子 pE3 與 pU2，可成功增幅出一段大

約1,200-1,300bp (base pair) 的櫻花鉤吻鮭粒線體DNA片段，其中包含了部份tRNA-Pro gene、D-loop及tRNA-Phe gene，以及12S rRNA gene的前段。這段在洋菜膠上呈現單一亮帶 (single band) 的PCR產物，經定序分析證實是兩種不同長度片段的混合物，其長度變異的多型性導因於：位於D-loop中段出現的一處poly-T區域，T的次數重複十二至十三次不等。反覆的次數在單一個體內呈現多型性，這種異質化 (heteroplasmy) 的現象導致個體內粒線體DNA長度的差異。

我們將十二尾櫻花鉤吻鮭的此特定增幅DNA片段完全加以定序，並全部進行互補股的檢查工作，檢查時重複讀取的片段長度佔全長的80%以上。poly-T重複以基本數12次為計，則定序得到的DNA總長度為1,073bp，包含D-loop左右的上下游，共計：

tRNA-Pro gene (partial)..... 17 bp
 D-loop 1,011 bp
 tRNA-Phe gene (partial)..... 45 bp

為便於進行比對，敘述各功能區或變異點之相關位置，參考台灣纓口鰵的排序方式 (Tzeng, et al., 1992) 將定序所得結果編碼。將D-loop輕股的5'端定為1，往Cyt b gene方向為負、往12S rRNA方向為正，同時將poly-T heteroplasmy取最簡化的重複次數 (十二次) 編排。得到的編碼如下 (標準型的櫻花鉤吻鮭輕股排序列於表十一)：

tRNA-Pro genej..... j17~-1
 D-loopj..... 1~1011
 tRNA-Phe gene1012~1056

如同大多數動物的粒線體基因組 (Saccone et al., 1987) ，櫻花鉤吻鮭目前已有的定序片段在輕股G A T C的使用比例方面亦呈現低G、C使用率的情況。1073個已定序輕股鹼基對之中G只有173個，約佔16.1%。而A、T、C的使用率則分別為30.8% (330

個) 、29.5% (317個) 、23.5% (253個) 。

2、櫻花鉤吻鮭族群內個體變異

本實驗中所進行定序的十二尾台灣族群經過序列比對，發現共可分為二種基因型，分別為基因型 omf3 與基因型 TFA1。經過比對之後，將所有基因型的完整排序，連同日本櫻花鉤吻鮭的 5 個基因型列於表九。基因型之間的變異只有一處鹼基的互換 (substitution)，除了前述異質化重複片段區域所造成的長度差異外，並無插入 (insertion) 或短缺 (deletion) 的現象發生。就互換的性質而言，唯一的互換是轉換 (transition)，並非顛換 (transversion)，是 T、C 之間的轉換，發生的位置是在 D-loop。

就基因型與魚隻的數量分配情形而言，共有十一條魚屬於基因型 TFA1，只有一條魚屬於基因型 omf3。在定序的12尾櫻花鉤吻鮭中，只有兩種基因型，而且兩個基因型之間只有發生一處的轉換，可見在台灣族群內的歧異度非常的貧乏，以MEGA分析軟體中 Distance 的功能以Kimura two-parameter 的方法計算其遺傳距離，結果是0.001。

(三)、櫻花鉤吻鮭基因多型性的分析

由同功異構酶電泳分析的結果來看，在櫻花鉤吻鮭族群中所分析的23個基因座中，其中的22個是呈同質性的，只有一個基因座表現出有多型性，由此可以看出櫻花鉤吻鮭的基因多型性很貧乏。F-統計分析中，FIS、FIT的值都為1，這可能表示族群內受到近親交配的影響非常的大，因此使得族群的基因趨於僵化。FST 的值為0.081，即族群間只有8.1%的變異，FST 的值偏低，這表示族群間分化的程度低。由於所分析的兩個族群樣本數差異很大(四尾與二十一尾)，因此0.081的FST值極有可能是由於樣本數的差異所造成的，實際上的值應該會更接近零、甚至可能為零。

另外，由mtDNA定序的結果來看，十二尾櫻花鉤吻鮭只有分成兩個基因型TFA1與omf3，兩個基因型中只有一個鹼基對發生變

異，基因型之間的遺傳距離為0.001，這個值是非常小的。這與1990年 Numachi 等人用RFLP技術分析櫻花鉤吻鮭粒線體DNA的結果相似。Numachi 等人共分析了29尾櫻花鉤吻鮭的mtDNA，結果這29尾櫻花鉤吻鮭的基因型都相同，也就是說基因呈現均質的現象、無多樣性。由上述的結果可知，櫻花鉤吻鮭的遺傳多樣性可以說是非常的貧乏。

我們知道遺傳的多樣性會因為基因漂變、瓶頸效應與近親交配而下降（Meffe and Vrijenhok, 1988；Meffe, 1990），而櫻花鉤吻鮭遺傳多樣性的如此的貧乏可能有兩個原因：（1）因為族群數量下降造成的瓶頸效應(Numachi, 1990)；（2）因為攔砂壩的阻隔，使族群被區隔成更小的族群，增加了近親交配的機率，導致族群內長期近親交配的結果。

雖然台灣櫻花鉤吻鮭族群內的基因多樣性非常低，只有兩種基因型，而且兩個基因型之間只有一個鹼基對的變異。但是這個變異對於瀕臨絕種的櫻花鉤吻鮭卻有非常重要的意義，這個變異代表著台灣族群的基因尚未到達完全均質化的地步；換句話說，就是台灣櫻花鉤吻鮭族群尚具有遺傳的多樣性。根據對櫻花鉤吻鮭族群數量的調查（曾，1996），櫻花鉤吻鮭的族群數量最低曾下降至565尾，十分接近最小族群數量。由本實驗的結果可以推測，這個族群數量應該尚未低於最小族群數量，因為基因還存在有多樣性。雖然櫻花鉤吻鮭的基因仍有些微的多樣性，但對於整個族群而言依然是非常的貧乏，這是進行保育工作時所必須注意的問題。

（四）、櫻花鉤吻鮭的保育

遺傳的多樣性代表著物種適應環境的潛力，由於瀕臨滅絕的物種其遺傳多樣性通常很貧乏，所以在進行保育工作方面，如何的保持、甚至增加物種的遺傳多樣性，以增加物種對環境變異的適應能力，就顯得非常的重要。本實驗的結果顯示，櫻花鉤吻鮭的遺傳多樣性雖然貧乏，但仍有些許的多樣性。所以，如何保存這個多樣性便是今後保育工作需要努力的方向。

台灣櫻花鉤吻鮭族群中唯一有變異的個體為omf3，這個標本是在96年賀伯颱風後在觀魚台所撿到的個體（表七）。由於受到颱風的影響，造成溪水暴漲，故在觀魚台採集到的標本極有可能是由上游地區被溪水沖下來的，也就是說，omf3這個個體原本生活在七家灣溪的上游地區（二號壩以上）。根據曾（1996）對於櫻花鉤吻鮭族群數量與生態調查，可以發現二號壩以上的河段，鮭魚的數量明顯的多於二號壩以下的河段。另外，根據本實驗室另外所進行的實驗-水溫變化對櫻花鉤吻鮭族群的影響，發現下游較高的水溫與溫差對於櫻花鉤吻鮭的繁殖與受精卵的孵化有負面的影響（楊，1997）。因此可以說，七家灣溪上游的河段比較有利於鮭魚的生長與繁殖，同時數量上也比較多，所以上游地區族群的遺傳多樣性應該會比較高。

四、櫻花鉤吻鮭人工復育場新址選址評估

由於七家灣溪櫻花鉤吻鮭自然繁殖的情形，一直受到颱風或是洪水災害等問題的威脅，所以整個族群的數量長年來都有相當大的變動起伏。對於這個目前族群數量仍舊相當小的魚類而言，仍就有必要以其他的方法加以增值。雖然早年就已經興建一座具有相當規模的櫻花鉤吻鮭繁殖場於七家灣溪二號壩之下方，並且以人工繁殖的方式復育過一些魚苗放流。但是因為當時規劃該座復育場之初，可能沒有做到詳細的評估與規劃，因此有許多缺點無法克服，導致日後復育中心經營上的困難。這些問題包括：

（十）、場址的安全性：由於七家灣溪的流心經常變動，導致河岸的堆積層不穩定，原有的復育中心只是一個相當新的堆積層，雖然在興建的時候就考慮以蛇籠做為護岸，但是在去年賀伯颱風的侵襲之下，仍舊擋不住其強大的破壞力。原有的復育室與養殖池都遭受嚴重的破壞，使用上已經具有危險性。

（十一）引水的困難度：雖然舊有復育中心的引水工程花了相當大的工程經費與設計，但是終究抵擋不了颱風洪水的侵襲，

因此整個復育中心就因為缺水而停擺。這兩年來的復育工作都是以相當克難的方法自對岸的山壁引取山泉水，雖然水流量相當小，但是還是可以做小規模的孵化工作。

(十二) 養成池的規模：由於考慮要有較大放流的魚苗體型等因素，原先設計的復育持有相當多的養殖池，但是因為水源的問題，以及魚苗的數量問題，這些養殖池從來都沒有發揮其應有的功效，實在是可惜！

(十三) 保育教育功能的考量：由於櫻花鉤吻鮭的復育工作是全民矚目的焦點之一，過去幾年來無時無刻都有人想來參觀政府所投資的復育成果。以往的復育中心有如禁區一般，一般的人根本無緣見識其廬山真面目。事實上，這類的保育工作只要不妨礙工作的進行，能夠適當的提供一些展示場所，未必可以滿足國人的好奇心，同時也可以藉由機會教育讓大家明瞭保育工作的重要性，以爭取大家對於此種魚類保育工作的支持。

關於選擇育種場的條件，除了地理的條件之外，引水的方便性和水質條件是極為重要的考量，相關的條件包括：

- (1) 適度的降雨。
- (2) 地面有適度的斜度。
- (3) 周邊有良好的樹木、草地等覆蓋。
- (4) 有適當的石灰岩和其他礦物沈積物。
- (5) 一定的適度溼度。
- (6) 孵化場上流水域避免有畜牧、砍伐木材、採礦等類似的活動。
- (7) 取水口可以用暗渠式的水底取水口。
- (8) 取水口到孵化場之間有適當的斜度。
- (9) 輸送水管儘量採用溫度變化較小的暗管或是保溫的被覆管。
- (10) 可以有適當的曝氣設施。
- (11) 對於水源的污染或是水質的保全必須有適當的保護圍籬等措施。

(12) 緊急用水的準備必須充分。

在水質的要求部份，一般會考慮水化學的特性，其條件包括：

(8) 溶氧量：在鮭鱒魚類的最好溶氧量為7~7.3mg/l，最低安全水準為3.5mg/l，而在海拔1830公尺的地區，水溫12℃的時候，飽和溶氧量為6.09mg/l，因此最好是有較為充足的曝氣，或是引用溪流水。

(9) pH值：適當的水質pH為6.7~8.25之間。

(10) 碳酸：適當的量約為2ppm。

至於引水量的大小，必須考慮是否蓄養的魚體大小，一般而言普通的孵化槽（150cm長，寬30cm，水深25cm）如果收容稚魚13.0kg的時候，注水量最少要有300ml/sec（水溫12℃，海拔1800m）。如果要同時蓄養較大型的魚類，則水源的充分與否就是育種場成功與否的關鍵因素了。

以目前所調查的範圍裡，大致上在司界蘭溪因為適當水溫的河段已經遠在相當上游的地區，所以在交通與經營管理上都有相當的問題，因此只能從七家灣流域的範圍內選擇可能位址。經過幾次全面性的調查，在配合相關週年水溫資料來判斷，分析幾處可能的位址，其中包括：

(9) 桃山北溪林務局苗圃：本處是林務局最早興建櫻花鉤吻鮭復育池的位置附近，主要的水源是因自煙聲瀑布直下方的小山澗，水流量變化大，同時也容易遭受污染。再者本處目前只有步道可以到達，周邊已經有相當大面積的苗圃在持續經營。然而本處的水溫是全區最低，地點也較隱密不易受到干擾。

(10) 湧泉池周邊：雖然湧泉池的水溫週年的穩定性，以及水源的水質也相當好，但是因為其上方的菜園仍有帶來污染的可能性，同時河岸側的赤楊林在去年的颱風中有部份被淘蝕，因此所能興建的育種場必須仰賴動力抽水，並不符合經濟成本。然而本處如能稍加整理，將是一處相當好的天然育種場。

- (11) 復育中心現址：由於目前的復育池基地已經岌岌可危，如果要重新改建可能不能保證還可以恢復舊觀。加上孵化池所需的水源無法直接引用七家灣溪的水而必須仰賴對岸的山泉水，水量仍嫌不足。
- (12) 武陵溪一號壩南岸：本處的周邊水源雖然相當優異，但是因為地形落差的關係，無法簡單的自附近的溪段以重力引水來供應整個育種場的所需，因此未來所需興建的引水設施將是一項大工程，因此也不是最理想的地點。
- (13) 武陵農場露營場：本處地點雖然已經相當接近下游河段（圖二十一），同時遊客的壓力也遠超過其他幾處可能的場址，但是卻有幾點其他位址所缺乏的優越條件。其中包括腹地面積寬廣，在武陵農場所轄的露營場林地內的空間（圖二十一 A 處）適合興建小型繁殖室，露營場下方的河川地（圖二十一 B 處）則可以規劃作為自然種苗生長的養成池或天然水道；整體基地略有傾斜（高程自 1686m 至 1677m），同時目前本基地上的古木參天，顯見這一處基地雖然緊臨七家灣溪河畔，但是地基在過去的年代裡應當非常穩固；本基地的交通非常方便、目前有車輛便道可以直達基地內；最重要的水源可以藉由簡單的重力引水自武陵溪取得足夠量的低溫水（或是七家灣溪另外引一條備用水源）。由於武陵溪近年來天然魚苗的繁殖情形相當好，顯示水質的狀況應當適合櫻花鉤吻鮭的繁殖。未來如果育種場的規劃可以做到近似自然的產卵場，或許櫻花鉤吻鮭也可以自行在人工興建的育種場內繁殖。至於遊客壓力過大等可能的負面因素，在幾次考察日本相類似的育種場之後，發覺沒有必要將遊客完全驅離繁殖場，許多的非常大規模的繁殖場甚至都設有遊客參觀的解說館與參觀池，只是在孵化池的部份以玻璃牆或消毒區加以區隔，魚苗孵化箱也可以藉由簡單遮光的措施就可以達到效果。

綜合以上的評估分析，我們認為未來考慮興建新的育種場的話，武陵農場的露營場的位址將是比較恰當的選擇。然而本處的土地所有權分屬武陵農場和林務局，因此有必要進一步協調以取得使用權之後，再行規劃興建適當的育種場。

根據評估以往育種場興建的經驗，特別建議未來興建育種場之前，必須詳細評估每年所需要繁殖的魚苗數量，魚苗養成的程度，種魚是否需要人工培育等等問題，再決定所需要新建的育種場規模。以目前七家灣溪天然魚群的狀況而言，每一年必需進行人工繁殖的種魚大約二百尾左右，因此所能育成的魚苗最多僅數萬尾而已，如果未來不打算養到較大的體型再放流，那麼整個育種場的規模就可以縮小很多。如果可以在這個部份做到小巧精美的程度，則可以在相關的展示或保育教育的規劃上投資較多的心力。

伍、結論與建議

總括本年度調查的結果發現櫻花鉤吻鮭在近年來政府大力的推行各項保育工作之下，其魚類族群數量已經有所增加，但是在天然颱風災害加上攔沙壩效應的影響之後，族群數量與分布的情形仍舊受到嚴重的影響，尤其在七家灣溪上游河段的族群更顯的岌岌可危。由於本地天然環境惡化（水流量減少、流速減緩與河床裸露造成水溫上升），和大自然強大的破壞力（颱風和洪水）都會造成可供櫻花鉤吻鮭棲息環境的減少，加上攔沙壩等人為設施的阻隔，魚類族群已經被劃分切割成數個更小的小族群，賀伯颱風過後甚至造成上游溪段幾個小族群面臨絕滅的危機。這種現象如果沒有改善的對策，將會造成小族群之內的近親交配，魚種勢必更加趨於劣勢或是滅絕。綜論今年的研究結果，提出以下的結論和建議，提供主管單位在經營管理上的參考：

一、櫻花鉤吻鮭魚群的分布情形並不平均，尤其是幼魚族群部份主要分布於上下兩個極端地區，中段因為棲地惡化以及數座

攔砂壩的阻隔，雖然有較多的成熟種魚可以繁殖，但是卻沒有增殖任何魚苗，這種現象對於整體櫻花鉤吻鮭族群而言是最大的悲哀。因此有必要在今年繁殖季節來臨之前，就立即展開改善攔砂壩阻礙洄游路徑的問題，興建簡易式魚道或是以人為搬運的方法將種魚運送到上游地區產卵。但是因為上游地區可以產卵的棲地相當有限，過多的種魚並不能有效的分配產卵空間因此應當考慮將現有二號壩以下的所有成魚，以人工繁殖的方式進行復育。

二、根據長年水溫記錄和受精卵孵化實驗的結果，顯示七家灣溪二號壩對於整體櫻花鉤吻鮭棲地的嚴重破壞。未來應當積極考慮研究各項減低二號壩（隨後則以一號壩為對象）對於棲地迫害的可能性。

三、進行保育工作時的重點應該是要加強下游族群與上游族群間的基因交流，使得遺傳多樣性可以在族群內擴散。所以在進行人工繁殖的工作時應該（1）選擇繁殖成功率低的下游族群為種魚，以增加下游地區族群繁殖成功的機率；（2）由於攔砂壩的阻隔，使得下游族群無法與上游族群進行基因交流，因此進行人工放流時應該將部份的魚苗放流至上游地區，以增加族群間基因交流的機會。

四、七家灣溪主流河段的櫻花鉤吻鮭分布狀況與河川棲地變化情形的關係至為密切，為求掌握經常性的資訊和監測魚群數量的變化，應該固定持續每年進行春、秋兩季的櫻花鉤吻鮭族群數量普查，以及各處河川環境變化的記錄。

五、為求日後長期進行人工復育的工作，在選擇新的育種場場址方面，可以考慮協調武陵農場和林務局，在目前的露營場現址興建小型的孵化室和較自然的育種場。

陸、謝誌

個人能夠學習和參與櫻花鉤吻鮭保育工作，完全是恩師沈世傑教授和林曜松教授的指導。蛋白質電泳實驗部份承蒙中央研究院動物所李信徹博士提供實驗設備、材料與指導。而有這個機會參與櫻花鉤吻鮭復育工作，則有賴雪霸國家公園管理處林處長、吳祥堅秘書和保育課李茂鍾課長、鍾雲喜先生與同仁們的協助。野外實際調查工作的進行，完全是由清華大學生命科學系林宗以、楊正雄、蕭仁傑、王昱人、張雅婷、朱蕙菁、陳玉芬、黎琪慧等同學，同校江育民、吳景義、歐陽承沛、林芳儀等同學，成功大學生物系劉雅雯同學和台大海洋研究所鄭安怡等同學們不辭辛勞的協助調查，方得以完成本項工作，均僅於文末致謝之。

許多野外工作上，也得到雪霸國家公園管理處行政中心，警察隊武陵小隊各同仁，以及武陵農場黃場長及同仁們的協助，尤其是巡山員高明德先生、鍾安良先生多次親自帶領我們前往調查溪段，使得調查人員的安全得到最妥當的照顧，及前主任柯正雄先生、柯瑞美小姐在調查工作和生活上的多方照顧，特此致謝。

柒、參考文獻

- Behnke, R. J., T. P. Koh, and P. R. Needham. 1962. Status of landlocked salmonid fishes of Formosa with a review of *Oncorhynchus masou* (Brevoort). *Copeia*, 1962: 400-407.
- Brown, G. W., 1980. *Forestry and water quality*. O. S. U. Book Stores, Inc. (李昌哲、張理宏譯，1994，森林與水質，中國林業出版社，208頁)
- Brett, J. R., 1971. Energetic responses of salmon to temperature. A study of some thermal relation in the physiology and freshwater ecology of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *Am. Zool.* 11: 99- 133.
- Hiroi, O., S. Urawa, and T. Kuramoto, 1988. Optimum water temperature of fertilized water of chum salmon eggs in the artificial fertilization-1.an influence of high water temperature. *Sci. Rep. Hokkaido Salmon Hatchery* 42: 75- 79. (in Japanese)
- Innis, M. A., D. H. Gelfand, J. J. Sninsky and T. J. White. 1989. *PCR protocols: A guide to methods and applications*. Academic Press Inc.
- Jean, C. T., C. F. Hui, S. C. Lee, and C. T. Chen. 1995. Variation in mitochondrial DNA and phylogenetic relationships of fishes of subfamily Sparinae (Perciformes: Sparidae) in the coastal waters of Taiwan. *Zool. Stud.* 34(4): 270-280.
- Kano, T., 1940. *Zoogeographical studies of the Tsugitaka Mountains of Formosa*. Inst. Ethnogr. Res. Tokyo 145pp.
- Kephart, S. R. and J. T. Shih. 1990. Starch gel electrophoresis of plant isozymes: A comparative analysis of techniques. *Amer. J. Bot.* 77(5): 693-712.
- Kumar, S., K. Tamura, and M. Nei. 1993. *MEGA: Molecular Evolutionary Genetic Analysis, version 1.02*. Pennsylvania State University, University Park, PA.
- Kuramoto, T., K. Arima, S. Kawakami, N. Shimizu, A. Nakawatari, M. Hasegawa, S. Hirama, K. Moriyama, K. Yotsugi, F. Yasuda, M. Yasuda, and O. Hiroi., 1988. On the early development and the occurrence of twin malformation in chum salmon eggs and

- fry. Sci. Rep. Hokkaido Salmon Hatchery 42: 59- 73 (in Japanese) .
- Magnuson, J. J., J. D. Meisner, and D. K. Hill., 1990. Potential changes in the thermal habitat of Great Lakes fish after global climate warming. *Trans. Am. Fish. Soc.* 119:254-264.
- Magnuson, J. J., L. B. Crowder, and P. A. Medvick., 1979. Temperature as an ecological resource. *Am. Zool.* 19: 331- 343.
- Meffe, G. K. 1990. Genetic approaches to conservation of rare fishes: examples from North American desert species. *J. Fish Biol.* 37: 105-112.
- Meffe, G. K. and R. C. Vrijenhoek. 1988. Conservation genetics in the management of desert fishes. *Cons. Biol.* 2: 157-169.
- Meisner, J. D., 1990. Potential loss of thermal habitat for brook trout due to climatic warming in two southern Ontario streams. *Trans. Am. Fish. Soc.* 119: 282- 291.
- Numachi, K. I., T. Kobayashi, K. H. Chang, and Y. S. Lin. 1990. Genetic identification and differentiation of the Formosan salmon, *Oncorhynchus masou formosanus*, by restriction analysis of mitochondrial DNA. *Bull. Inst. Zool., Acad. Sinica* 29(3): 61-72.
- Okazaki, T. 1986. Genetic variation and populations structure in masu salmon *Oncorhynchus masou* of Japan. *Bull. Japan. Soci. Sci. Fish.* 52(8): 1365-1376.
- Shaklee, J. B. and C. P. Keenan. 1986. A practical laboratory guide to the techniques and methodology of electrophoresis and its application to fish fillet identification. *Aust. CSIRO. Mar. Lab. Rep.* 177: 1-59.
- Soltis, D. E., C. H. Haufler, D. C. Darrow and G. J. Gastony. 1983. Starch gel electrophoresis of ferns: A complication of grinding buffer, gel and electrode buffers, and staining schedules. *Amer. Fern J.* 73: 9-27.
- Swofford, D. L., and R. B. Selander. 1989. Biosys-1: A computer program for the analysis of allelic variation in population genetics and biochemical systematics. Illinois Natural History Survey, Champaign, Illinois.
- de Sylva, D. P., 1968. Theoretical considerations on the effects of heat effluents on marine fishes in "Biological Aspects of Thermal Pollution". Ksenkel & Parker ed.

Vanderbit Univ. press. 229- 293pp.

Taso, E. H., 1995. An ecological study of the habitat requirements of the formosan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*). Ph. D. Dissertation, Colorado State Univ. 213p.

Watanabe, M., and Y. L. Lin., 1985. Revision of the salmonid fish in Taiwan. Bull. Biogeogr. Soc. Japan 40 (10) : 75- 84.

大島正滿，1935，大甲溪 鱒 關 生態學的研究，植物及動物 4 (2) : 1- 13。
(in Japanese)

于丹，1996，溪流生態系統生態學研究，水生生物學報 20 (2) : 104- 112。

王昱人，1997，台灣鉤吻鮭與日本櫻花鉤吻鮭遺傳多樣性之研究，國立清華大學生命科學所碩士論文，65頁。

內政部營建署雪霸國家公園管理處，1994，櫻花鉤吻鮭保育計劃，49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，農委會76年生態研究第010號，86頁。

邵廣昭，1995，水溫變化對臺灣沿岸魚類分佈之影響，中國農業化學會、行政院農委會，氣候變遷與農業生產研討會論文集：189- 206。

余廷基、賴仲義、吳聲森，1985，櫻花鉤吻鮭繁殖試驗，農委會74年生態研究第003號。

余廷基、賴仲義、吳聲森，1986，櫻花鉤吻鮭繁殖試驗，農委會75年生態研究第003號。

余廷基、賴仲義、黃長俊、楊明道，1987，櫻花鉤吻鮭繁養殖試驗，農委會76年生態研究第006號。

林曜松、梁世雄，1986，鮭鱒魚類生態，農委會林業特刊第九號，頁21-38。

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，農委會77年生態研究第012號，39頁。

林曜松、曹先紹、張崑雄，1989，櫻花鉤吻鮭之生殖生態與行爲研究，農委會78年生態研究第008號，18頁。

林曜松、曹先紹、張崑雄，1989，櫻花鉤吻鮭的生態與保育，國立台灣大學系生態研究室，12頁。

林曜松、張崑雄，1990，台灣七家灣溪櫻花鉤吻鮭族群生態與保育，農委會79年生態研究第001號，40頁。

林曜松、張崑雄、張瓊文、張耀文，1990，武陵農場魚類研究教育中心初步規劃，農委會79年生態研究第002號，40頁。

林曜松、張崑雄、詹榮桂，1991，台灣大甲溪上游產陸封性鮭魚的現況，農委會林業特刊第39號，：166-172。

林曜松、曹先紹、莊鈴川、戴永禎，1993，櫻花鉤吻鮭棲地之調查研究(1)-以七家灣溪上游、雪山溪爲主，農林廳林務局保育研究系列-82-07號，40頁。

林曜松、張明雄、莊鈴川、曹先紹，1994，櫻花鉤吻鮭棲地之調查研究(II)－大甲溪上游六條支流，臺灣省農林廳林務局保育研究系列－83－09號。

林培旺、吳祥堅，1995櫻花鉤吻鮭(*Oncorhynchus masou formosanus*)野生種魚觀察與人工繁養殖經驗，雪霸國家公園管理處研究報告。

林思民，1995，青將魚粒線體去氧核糖核酸控制區之研究，國立清華大學生命科學研究所碩士論文

邱建介，1991，探尋國寶魚-櫻花鉤吻鮭魚的故鄉，台灣林業，17(8):25-29。

吳清福，1997，馴化溫度及飼糧脂質對臺灣鏟頰魚溫度喜好、溫度耐受性及組織極性脂質之影響，國立成功大學生物學研究所碩士論文。

桑自剛，1992，利用粒線體去氧核糖核酸序列分析日本鰻之族群結構，國立台灣海洋大學漁業研究所碩士論文。

凍弘成、曾晴賢、高孝偉，1980，涸魚之人工繁殖及幼苗培育，臺灣省水產學會年會報告 44：85－90。

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與經濟部及國立臺灣大學合辦漁業生物試驗所。

曹先紹，1988，武陵農場櫻花鉤吻鮭族群分布與環境因子關係之研究，國立臺灣大學動物學研究所碩士論文。

莊鈴川，1988，櫻花鉤吻鮭 (*Oncorhynchus masou formosanus*) 資源生物學的基礎研究，台大漁業科學研究所碩士論文，92頁。

張石角，1989，櫻花鉤吻鮭保護區規劃，農委會78年生態研究第010號，78頁。

張崑雄、吳英陵，1985，櫻花鉤吻鮭（台灣鱒）復育現況及展望，台灣農業，22(4):32-37。

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。

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。

曾晴賢，1996，櫻花鉤吻鮭族群數量和生態調查，內政部營建署雪霸國家公園管理處。

楊平世、林曜松、黃國靖、梁世雄、謝森和、曾晴賢，1987，武陵農場河域之水棲昆蟲相與生態調查，農委會76年生態研究第001號。

楊正雄，1997，水溫對櫻花鉤吻鮭的影響，國立清華大學生命科學系碩士班碩士論文。

鄭葆珊、黃浩明、張玉玲、戴定遠，1980，圖們江魚類，吉林人民出版社，111頁。

賴建盛，1996，防砂壩對櫻花鉤吻鮭物理棲地影響之研究，國立臺灣大學地理學研究所碩士論文。

戴永禎，1992，台灣櫻花鉤吻鮭之族群生態學研究，國立台灣大學動物學研究所博士論文，121頁。

興儀喜宣、中村廣司，1938，台灣高地產鱒（櫻花鉤吻鮭），天然紀念物調查報告第

五輯，台灣總督府內務局，32頁。(林曜松譯，1986，農委會林業特刊，9:1-14。)

表一：1996年10月櫻花鉤吻鮭族群數量、結構與分布統計表。由於賀伯颱風的影響，使得上游溪段族群數量銳減。

單位：尾

地 點	二齡以上成魚 (25cm以上)	一~二齡成魚 (15~25cm)	一齡以下幼魚 (15cm以下)	小計
和平農場~迎賓橋	3	1	0	4
迎賓橋~武陵溪匯流點	9	29	29	57
武陵溪匯流點~一號壩	30	22	17	69
一號壩~觀魚台	25	71	37	133
觀魚台~二號壩	33	86	41	160
二號壩~破壩	9	8	0	17
破壩~抽水站	34	86	23	143
抽水站~三號壩	29	67	7	103
湧泉池	12	21	42	75
三號壩~四號壩	88	72	25	185
無名溪~小瀑布	15	16	3	34
四號壩~五號壩	27	50	16	93
五號壩~六號壩	7	18	4	29
六號壩以上	1	5	0	6
武陵溪一號壩以下	11	33	51	95
武陵溪一號壩~二號壩	17	0	0	17
武陵溪二號壩~三號壩	2	3	2	7
小計	352	588	297	1237

表二：櫻花鉤吻鮭年族群數量、結構與分布變化表（1995~1997）：1996年7月31日賀伯颱風來襲，除了使得族群量銳減外，整個族群的空間分布在颱風後有明顯往下游溪段飄移的現象，由於攔砂壩的阻隔與堆積效應，使得上游溪段小族群面臨局部滅絕的危機。

分布溪段	各溪段成魚數量(尾)									各溪段幼魚數量(尾)									各溪段族群總數(尾) / 佔總族群量之比例(%)								
	1995春	1995秋	1996春	1996秋	1997春	1995春	1995秋	1996春	1996秋	1997春	1995春	1995秋	1996春	1996秋	1997春	1995春	1995秋	1996春	1996秋	1997春	1995春	1995秋	1996春	1996秋	1997春		
	和平農場~迎賓橋	?	?	?	4	?	?	?	?	0	?	?	?	0	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	4/0.3	?	
迎賓橋~武陵溪匯流點	49	63	42	38	47	0	1	71	29	2	0	1	71	29	2	49/8.7	64/2.6	113/6.1	57/4.7	49/2.6							
匯流點~七家灣溪一號壩	56	34	62	52	71	0	0	47	17	2	0	0	47	17	2	56/9.9	34/1.4	109/5.9	69/5.6	73/3.9							
七家灣溪一號壩~觀魚台	12	14	54	96	38	0	6	21	37	4	0	6	21	37	4	12/2.1	2/0.8	75/4.1	133/10.8	42/2.2							
觀魚台~七家灣溪二號壩	26	22	110	119	92	1	4	43	41	20	1	4	43	41	20	27/4.8	26/1.0	153/8.3	160/13.0	112/6.0							
七家灣溪二號壩~一號壩	7	448	314	233	207	23	758	52	30	630	23	758	52	30	630	30/5.3	1206/48.3	366/19.7	263/21.4	837/44.8							
湧泉池及湧泉支流	32	6	54	33	14	69	46	27	42	4	69	46	27	42	4	101/17.9	52/2.1	81/4.4	75/6.1	18/1.0							
七家灣溪三號壩~四號壩	11	107	126	160	26	159	199	28	25	28	159	199	28	25	28	170/30.1	306/12.3	154/8.3	185/15.1	54/2.9							
無名溪小瀑布~匯流點	5	14	17	31	20	0	16	7	3	4	0	16	7	3	4	5/0.9	30/1.2	24/1.3	34/2.8	24/1.3							
七家灣溪四號壩~五號壩	17	4	54	77	16	3	49	7	16	8	3	49	7	16	8	20/3.5	53/2.1	61/3.3	93/7.6	24/1.3							
七家灣溪五號壩~六號壩	?	144	309	25	21	?	243	70	4	30	?	243	70	4	30	?	387/15.5	379/20.4	29/2.4	51/2.7							
七家灣溪六號壩以上	?	7	33	6	6	?	0	3	0	9	?	0	3	0	9	?	7/0.3	36/1.9	6/0.5	15/0.8							
武陵溪一號壩~匯流點	61	121	147	44	81	16	132	124	51	138	16	132	124	51	138	77/13.6	253/10.1	271/14.6	95/7.7	219/11.7							
武陵溪一號壩~二號壩	1	26	32	17	32	17	31	0	0	268	17	31	0	0	268	18/3.2	57/2.3	32/1.7	17/1.4	300/16.0							
武陵溪二號壩~三號壩	?	0	0	5	3	?	0	0	2	0	?	0	0	2	0	?	0/0	0/0	7/0.6	3/0.2							
武陵溪三號壩~四號壩	?	?	?	?	6	?	?	?	?	5	?	?	?	?	5	?	?	?	?	?							
可昇蘭溪中上游	?	?	0	?	24	?	?	0	?	14	?	?	0	?	14	?	?	0/0	?	?							
總計	277	1010	1354	940	704	288	1485	500	297	1166	288	1485	500	297	1166	565/100	2495/100	1854/100	1237/100	1870/100							

表三：1997年7月櫻花鉤吻鮭族群數量、結構與分布統計表；其中七家灣溪三號壩以上受去年賀伯颱風沖刷及攔砂壩阻隔與堆積效應雙重影響，族群數量僅餘168尾，有局部滅絕的危機；而觀魚台以下河段僅記錄8尾幼魚，顯示七家灣溪下游地區雖然不乏可供繁殖場的緩流區段，但因水溫過高，而使得孵化率幾乎為零。

單位：尾

地點	二齡以上成魚 (25cm以上)	一~二齡成魚 (25cm以下)	幼魚 (5~8cm)	小計	備註
迎賓橋~武陵溪匯流點	42	5	2	49	
武陵溪匯流點~一號壩	60	11	2	73	
一號壩~觀魚台	34	4	4	42	
觀魚台~二號壩	81	11	20	112	
二號壩~破壩	1	13	35	49	
破壩~抽水站	10	60	440	510	主要產卵場
抽水站~三號壩	28	95	155	278	主要產卵場
湧泉池	6	8	4	18	
三號壩~四號壩	19	7	28	54	
無名溪~小瀑布	9	11	4	24	
小瀑布~無名溪一號壩	0	0	0	0	
煙聲瀑布	0	0	0	0	
四號壩~五號壩	9	7	8	24	
五號壩~六號壩	9	12	30	51	
六號壩以上	3	3	9	15	
武陵溪一號壩以下	28	53	138	219	主要產卵場
武陵溪一號壩~二號壩	3	29	268	300	主要產卵場
武陵溪二號壩~三號壩	0	3	0	3	
武陵溪三號壩~四號壩	2	4	5	11	
司界蘭溪上游	0	24	14	38	
小計	344	360	1166	1870	

表四：七家灣溪表面水團平均流速測定實驗統計表。單位為時間（min）。共進行2/26與3/15兩次實驗。其中？表示未觀察到由上游流下的稻穀殼，所以沒有記錄時間。*表示觀察時只看到疑似稻穀殼的物品，來不及確認。所謂的區間最快時間是指觀察到第一個稻穀殼到達的記錄時間。區間平均時間是指稻穀殼的到達數量穩定而持續時的記錄時間。累計時間為每一區間時間的累計。區間流速為（兩相鄰觀察站的距離÷間隔時間）。累計流速為（以三號壩為起點至每一站間的距離÷累計時間）。以1997/3/15為例，以各站水溫值計算其各區段的升溫速率。

時間 (min)	三號壩	抽水站	二號壩	觀魚臺	一號壩
1997/2/26 區間最快時間	0	28	19	53*	53*
1997/2/26 區間平均時間	0	30	20	?	?
1997/3/15 區間最快時間	0	13	35	27	23
1997/3/15 區間平均時間	0	17	?	29	26
結果 (區間最快時間)	0	13	35	27	23
區間平均流速 (cm/sec)	--	77.0	57.1	117.3	90.1
綜合累計時間	0	13	48	75	98
累計平均流速 (cm/sec)	--	77.0	62.5	82.2	84.1
3/15時間 (a.m.)	9:00	9:13	9:48	10:15	10:38
水溫記錄值 (°C)	9.71	9.89	11.29	12.06	12.65
區段時間升溫速率 (°C/hr)	--	0.83	2.40	1.71	1.54
區段距離升溫速率 (°C/km)	--	0.30	1.17	0.41	0.47

表五：1996年櫻花鉤吻鮭孵化期(1996/11/3至1996/12/28)各孵化實驗樣區統計表。
 其中第一站位於七家灣溪上游武陵吊橋附近，第二站位於行政中心二號壩以下，第三站則是在觀魚臺附近，第四站在一號壩以上附近河段，第五站則位於七家灣溪下游武陵農場本部附近。

胚胎發育期 水溫	第1站 (12/18)	第2站 (12/5)	第3站 (11/23)	第4站 (12/11)	第5站 (12/11)	復育 中心 (12/8)
平均水溫(°C) (11/4--孵化日)	10.25	12.49	13.03	12.81	12.46	13.23
平均日溫差(°C) (11/4--孵化日)	0.72 (sd=0.17)	1.47 (sd=0.55)	1.94 (sd=0.70)	2.49 (sd=0.82)	2.37 (sd=0.81)	1.53 (sd=0.65)
平均水溫(°C) (11/4-11/22) 孵化前期	11.32 (sd=0.33)	12.75 (sd=0.55)	13.04 (sd=0.69)	13.33 (sd=0.89)	13.10 (sd=0.84)	13.47 (sd=0.54)
平均日溫差(°C) (11/4-11/22) 孵化前期	0.72 (sd=0.2)	1.48 (sd=0.55)	1.97 (sd=0.71)	2.56 (sd=0.89)	2.44 (sd=0.90)	1.50 (sd=0.67)
受精(0 days)	0%	0%	0%	0%	0%	0%
發育末期(10 days)	5%	5%	0%	10%	0%	--
發眼期(20 days)	10%	85%	100%	40%	50%	--
孵化	20%	100%	100%	85%	65%	15.4%
平均孵化日數	45	--	--	38	38	35
積溫(°C)	461.2	--	--	486.9	473.3	463.1

表六：標本編號、採集地點、採集時間表

	採集地	日期
TFA1-5	七家灣溪 1-2 號壩間	1995.11
TFB1-9	七家灣溪 2-3 號壩間	1995.11
TFC1-3	七家灣溪 1 號壩以下	1995.11
TFD1-12	七家灣溪 5-6 號壩間	1995.11
TFE1-22	七家灣溪 2-3 號壩間	1995.10
TEA1-5	魚卵 (同一尾母魚)	1995.10
TEB1-5	魚卵 (同一尾母魚)	1995.10
omf1-4	七家灣溪 1-2 號壩間觀魚台	1996.8
omf5-25	七家灣溪 1 號壩以下露營場	1996.8

表七：台灣鉤吻鮭使用之酵素系統

酵素名稱	國際編號 EC number	基因座	對偶 基因數	萃取組織	緩衝液系統
Alcohol Dehydrogenase	EC 1.1.1.1	ADH-1	1	肝臟	System LiOH
Creatine Kinase	EC 2.7.3.2	CK-1	1	眼睛	System LiOH
		CK-2	1	肌肉	
		CK-3	1		
		CK-4	1		
		CK-5	1		
Fructose-6-bisphosphate Aldolase	EC 4.1.2.13	ALD-1	1	肝臟	System LiOH
Fumarate	EC 4.2.1.2	FUM-1	1	肌肉	System TC-2
Glucose-6-phosphate Isomerase	EC 5.3.1.9	GPI-1	1	肌肉	System LiOH
		GPI-2	1		
		GPI-3	1		
Isocitrite Dehydrogenase	EC 1.1.1.42	IDH-1	1	心臟	System TC-2
		IDH-2	1		
Lactate Dehydrogenase	EC 1.1.1.27	LDH-1	1	肌肉	System TC-2
		LDH-2	1	心臟	
Malate Dehydrogenase	EC 1.1.1.37	MDH-1	1	心臟	System TC-2
		MDH-2	1		
Mannose-6-phosphate Isomerase	EC 5.3.1.8	MPI-1	2	眼睛	System LiOH
Malic Enzyme	EC 1.1.1.40	ME-1	1	眼睛	System TC-2
Peptidase		PEP-1	1	肌肉	System TC-2
		PEP-2	1		
6-phosphogluconate Dehydrogenase	EC 1.1.1.44	6-PGDH	1	肌肉	System TC-2
Phosphoglucomutase	EC 5.4.2.2	PGM-1	1	肌肉	System TC-2

表八：台灣鉤吻鮭基因頻率表

locus (N)	ADH		ALD		CK-1		CK-2		
	A	B	A	B	A	B	A	B	
觀魚台	4	1.000	.000	1.000	.000	1.000	.000	1.000	.000
露營場	21	1.000	.000	1.000	.000	1.000	.000	1.000	.000

locus (N)	CK-3		CK-4		CK-5		FUM-1		
	A	B	A	B	A	B	A	B	
觀魚台	4	1.000	.000	1.000	.000	1.000	.000	1.000	.000
露營場	21	1.000	.000	1.000	.000	1.000	.000	1.000	.000

locus (N)	GPI-1		GPI-2		GPI-3		IDH-1		
	A	B	A	B	A	B	A	B	
觀魚台	4	1.000	.000	1.000	.000	1.000	.000	1.000	.000
露營場	21	1.000	.000	1.000	.000	1.000	.000	1.000	.000

locus (N)	IDH-2		LDH-1		LDH-2		MPI-1		
	A	B	A	B	A	B	A	B	
觀魚台	4	1.000	.000	1.000	.000	1.000	.000	.750	.250
露營場	21	1.000	.000	1.000	.000	1.000	.000	.952	.048

locus (N)	ME		MDH-1		MDH-2		6-PGDH		
	A	B	A	B	A	B	A	B	
觀魚台	4	1.000	.000	1.000	.000	1.000	.000	1.000	.000
露營場	21	1.000	.000	1.000	.000	1.000	.000	1.000	.000

locus (N)	PGM		PEP-1		PEP-2		
	A	B	A	B	A	B	
觀魚台	4	1.000	.000	1.000	.000	1.000	.000
露營場	21	1.000	.000	1.000	.000	1.000	.000

表九：台灣櫻花鉤吻鮭基因座之遺傳變異

	Mean sample size per Locus	Mean no. of alleles per Locus	of percentage of loci polymorphic *	Mean heterozygosity	
				Direct-count	HdyWbgdx expected**
觀魚台	4 (.0)	1.04 (.04)	4.3	.000 (.000)	.019 (.019)
露營場	21 (.0)	1.04 (.04)	.0	.000 (.000)	.004 (.004)
Mean	12.5	1.0	2.15	.000	.0115

* A locus is considered polymorphic if the frequency of the most common allele does not exceed .95

表十：台灣櫻花鉤吻鮭 F-統計分析

Locus	F(IS)	F(IT)	F(ST)
MPI-1	1.000	1.000	0.081
Mean	1.000	1.000	0.081

表十一：台灣櫻花鉤吻鮭D-loop週邊的序列，以基因型omf作為代表，異質化 (heteroplasmy) 的區域以粗黑體加黑線表示。

```

Pro -----:
-51 AAATTAA ACTACTCTCT -1
      :----- D-LOOP
1   GACGGCGTAA ACATGTACAT TTGTAAATGT TATAACCTGT AAACCCAATG 50

51  TTATACTACA CCTATGTATA ATATTACATA TTGTGTATTT ACTCATATAT 100

101 AACACCTCAC GGGTAGTACA TTATATGTAT TATCAACATA CGGTGATTTT 150

151 AACCCCTCAT ACATCAGCAC AACTCCAAGG TTTACATTAA GCAAAACACG 200

201 TGATAATAAC CAACTAAGTT GTTTTAAACT GATTAATTGC TACATCAACT 250

251 AACCTCCAGC TAACACGGGC TCCGTCTTTA CCCACCAACT TTCAGCATCG 300

301 GTCCTACTTA ATGTAGTAAG AACCGACCAA CGATTTATCG GTAGGCATAC 350

351 TCCTATTGAT GGTCAGGGGC AGATATCGTA TTGAGTCGCA TTTCGTGAAC 400

401 TATTCCTGGC ATTTGGTTC TAAGTCAAGG CCTATCCTTA AGAAACCAGC 450

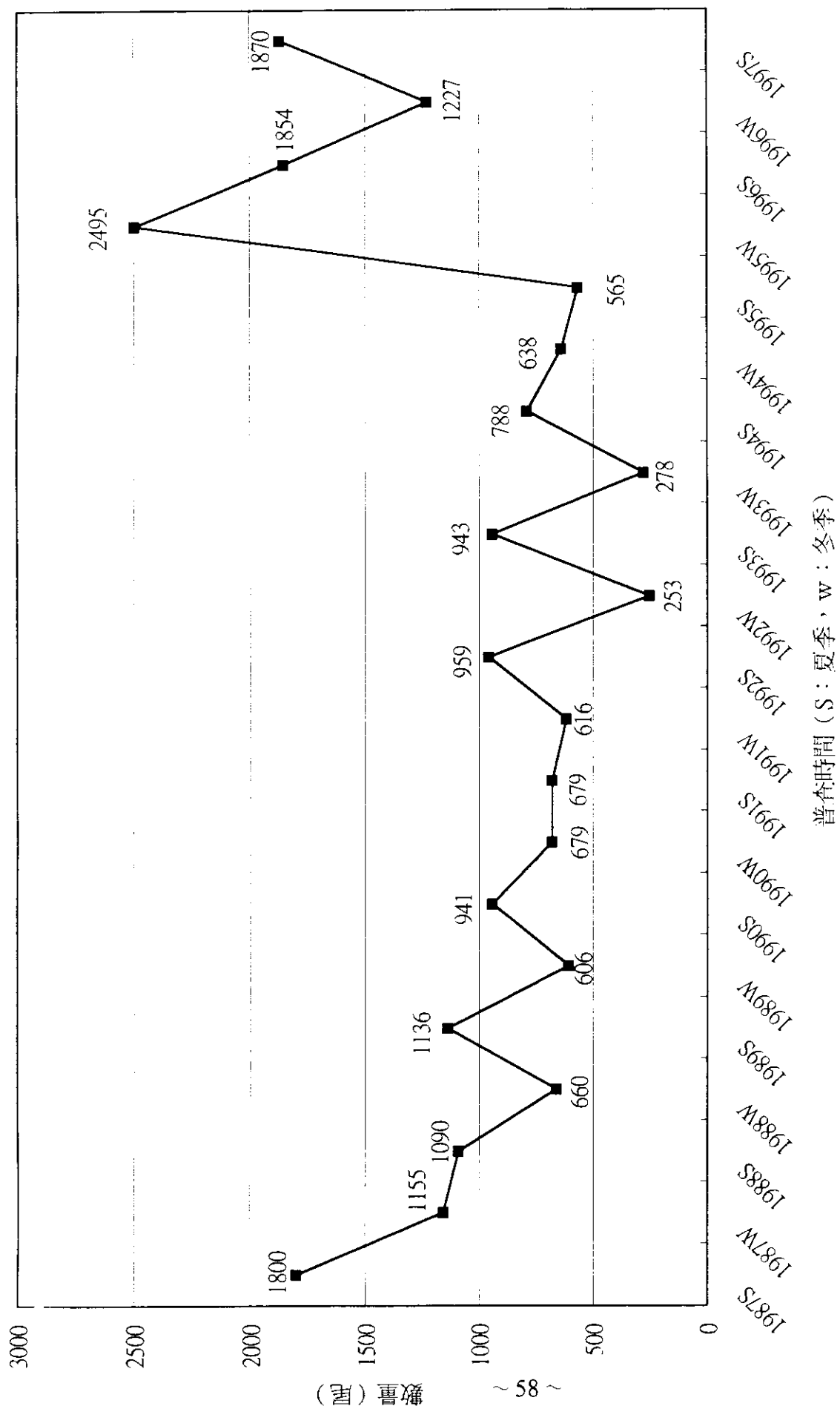
451 CCCTGAAAGC CGAATGTAAC GCATCTGGTT AATGGTGTCA ATCTTACGAC 500

501 TCGTTACCCA CCAAGCCGGG CGTTCTCTTA TATGCATAGG GTTCTCCTTT 550
      (poly-T

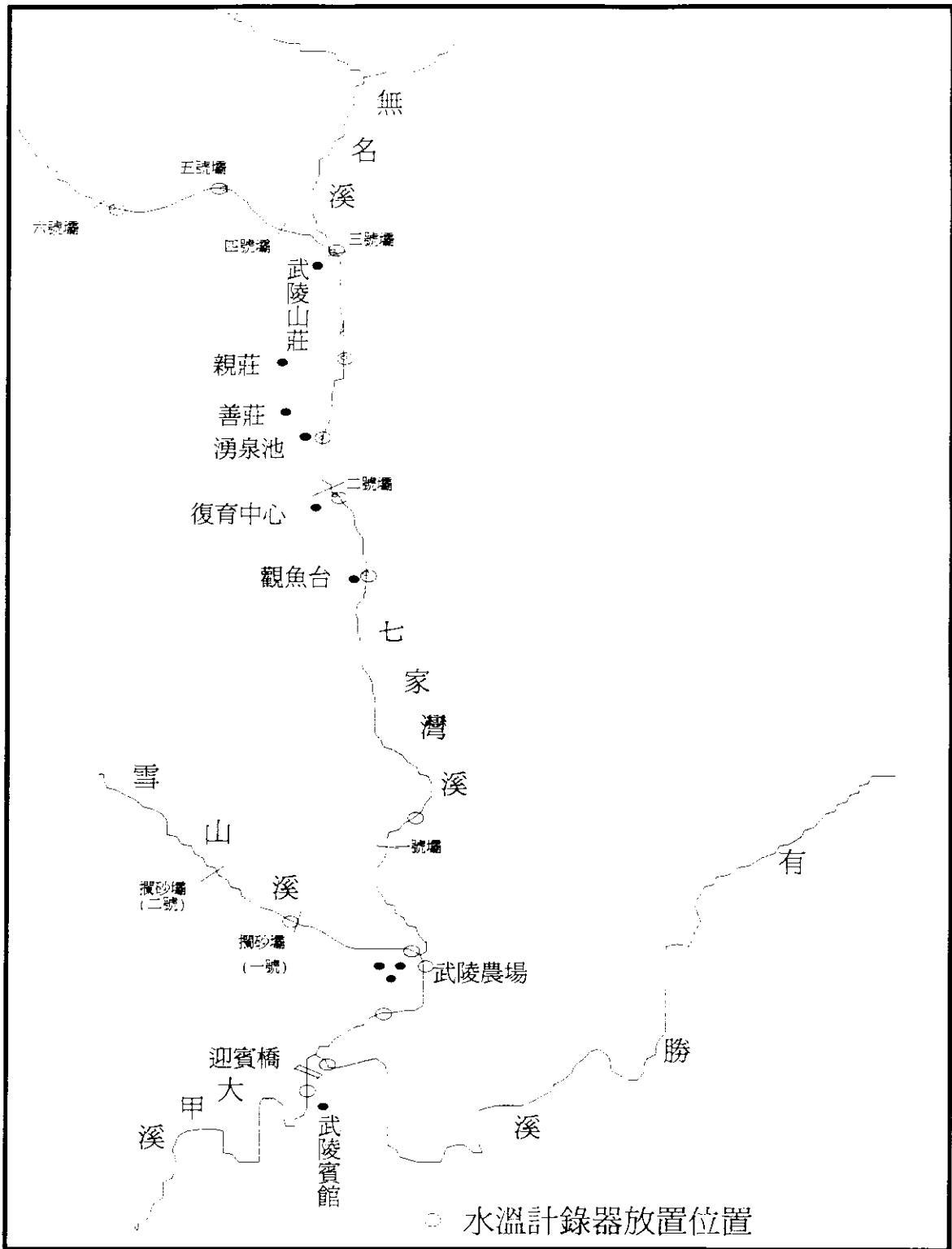
551 TTTTTTTTTC CTTTCAGCTT GCATATACAA GTGCAAGCAA AGAAGTCTAA 600
      heteroplasmy)

```

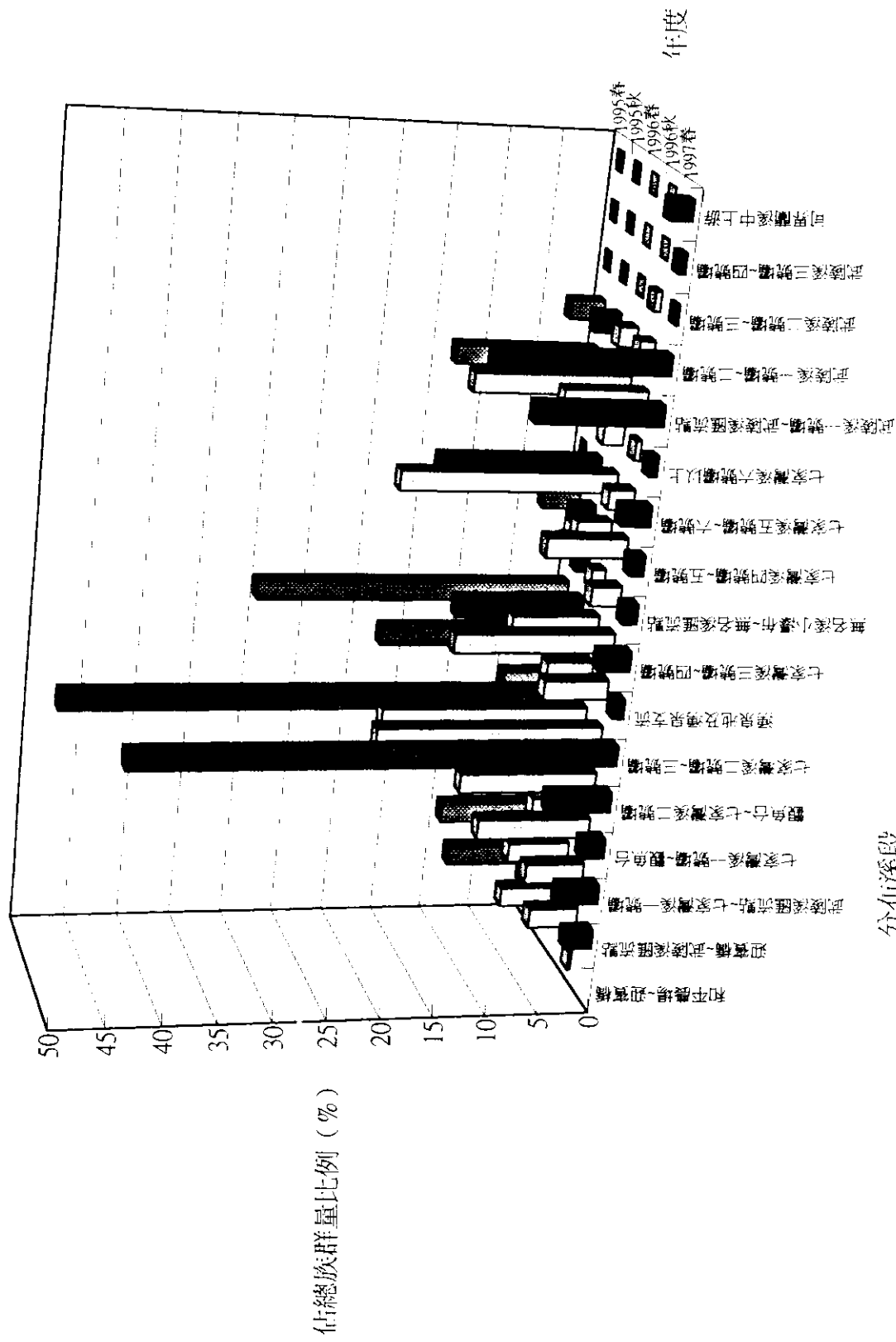

601 CAAGGTCGAA CTAGATCTTG GATCCCAGAG GACCCATGTA TCATGGTGGA 650
651 ATGATATTCT ATAAAGAATC GCATACTTGG ATATCAAGTG CATAAGGTCA 700
701 GTTATCTTCT TCACAGATAT AAGATCTCCC CGGCTTTTGC GCGGTAAACC 750
751 CCCCTACCCC CCTAAAGCTG AAAGATCCTT ATGTTCTGT TAAACCCCTA 800
801 AACCAGGAAG TCTCAAATCA GCGTTAATAA TTTTATATAC ATTAATAAAC 850
851 TTTTGATGTA CTTTATTGCA TTCGGCACCG ACAGCGCTGT AATACGTACA 900
901 CTTTCATAAT TAAAGTATAC ATTAATAAAC TCTTCGATCC ATTTAACAGC 950
951 ACCTGGCACC GACAACGCTA TCATAAATGC CATTTCCCGC ACAACCCGCT 1000
D-Loop -----Phe
1001 GCTGGCGTAG CTTAACTAAA GCATAACACT GAAGCTGTTA AGACGGACCC 1050
1051 TAGAAA 1100



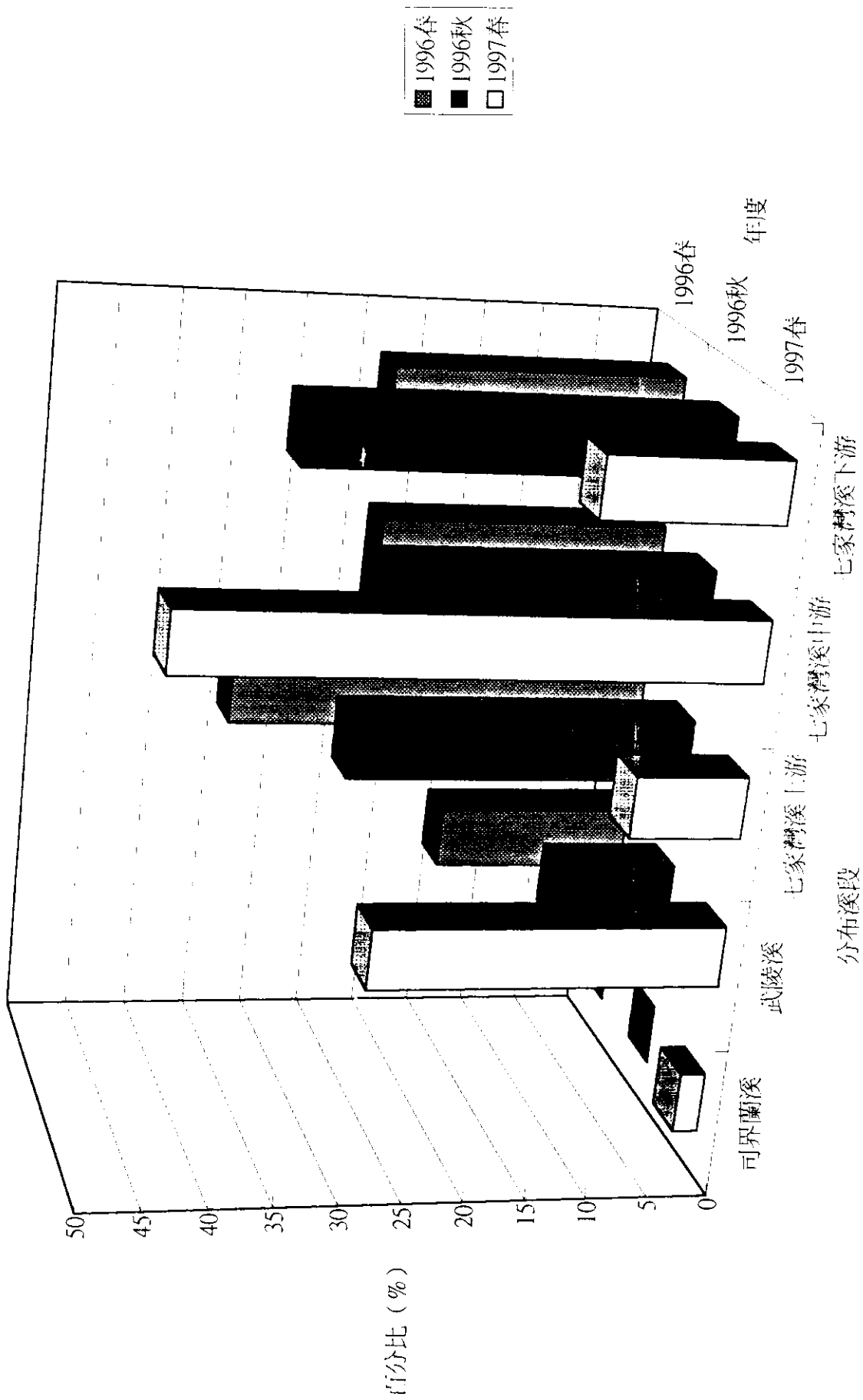
圖一：櫻花鉤吻鮭族群數量年度變化圖：其中1993年以前之資料係依據 Eric, 1995，其普查溪段為七家灣溪一號至三號攔砂壩，1994年以後為本研究實際記錄數目，其中1994年及1995年夏季普查溪段為七家灣溪五號攔砂壩以下，其餘為櫻花鉤吻鮭已知生存河段的全面性普查資料。



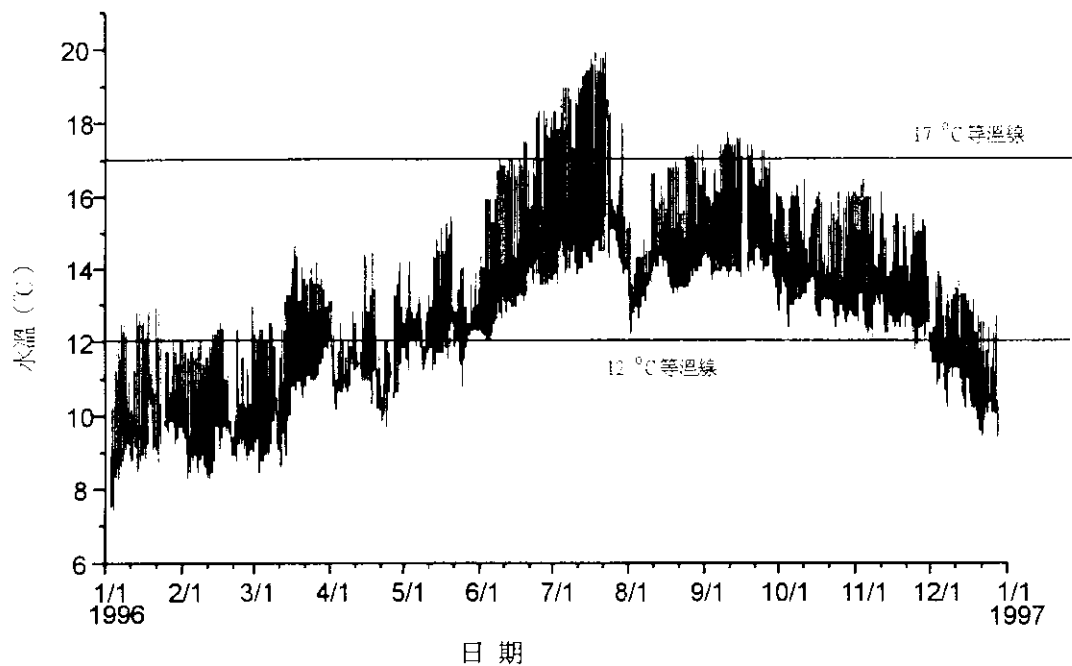
圖二：七家灣溪光學型水溫記錄器放置位置圖：總共在七家灣溪各個河段中（由六號壩下至七家灣溪與有勝溪匯流口以及武陵溪及有勝溪匯流口）放置總共14個水溫記錄器，另外在行政中心放置一個記錄器測量氣溫（自1996七月下旬移放至武陵農場氣象測候站百葉箱中）以及一個光照度計。



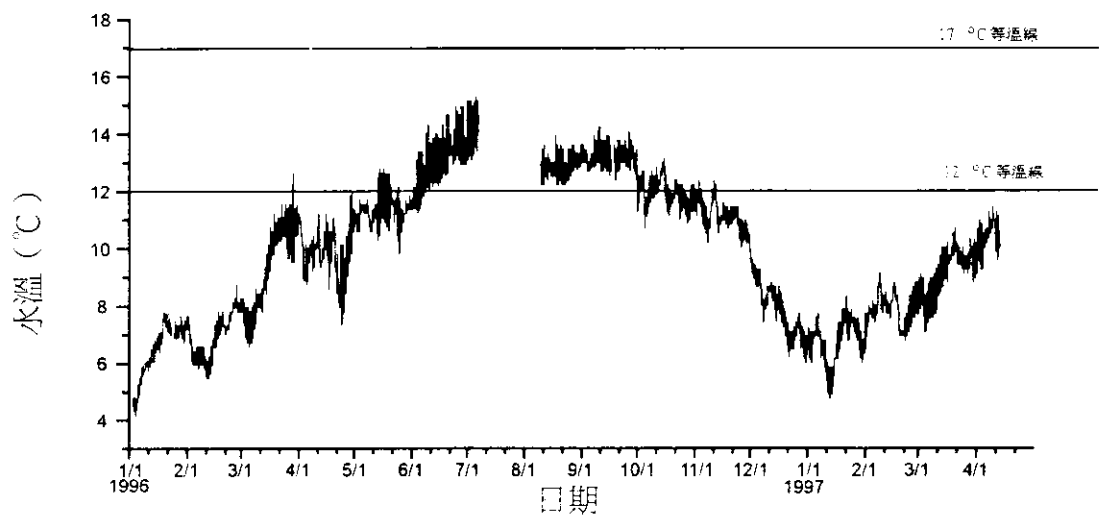
圖三：櫻花鉤吻鮭歷年分布變化圖。賀伯颱風過後，使得上游溪段族群數量銳減，加上攔砂壩的阻隔與堆積效應，使得上游地區因而面臨棲地惡化及族群太小的現象，恐有局部滅絕的危機。



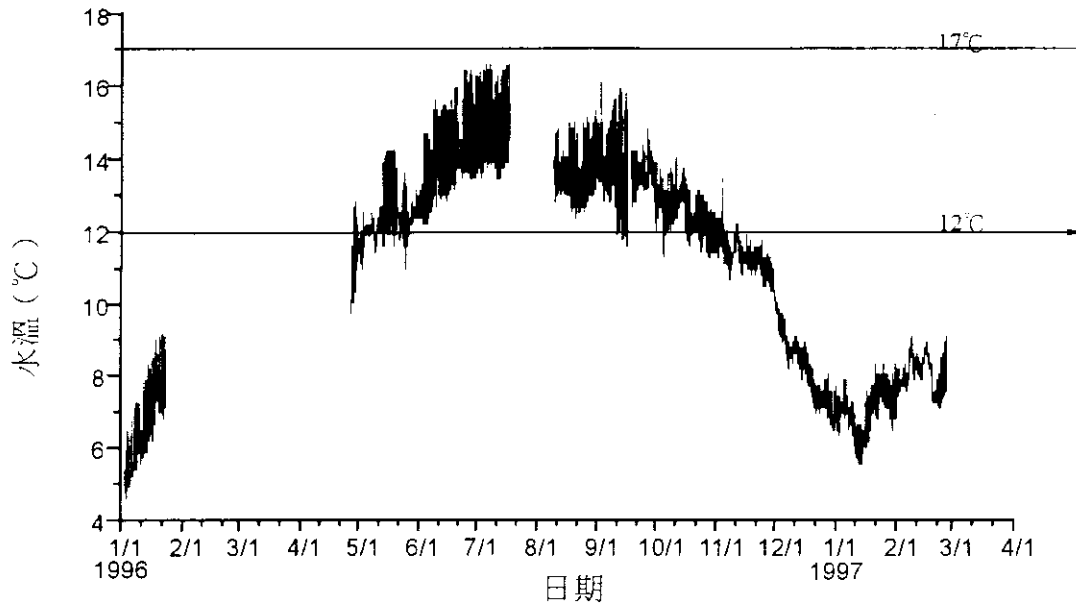
圖四：賀伯颱風前後櫻花鉤吻鮭分布變化圖。其中七家灣溪上游為三號壩以上，二、三號壩為中游溪段，一號壩以下為下游溪段。可看出賀伯颱風剛過後，整個族群分布有向下游飄移的現象。經過一個繁殖季，上游溪段由於攔砂壩的阻隔與堆積效應，使得棲地惡化及可參與繁殖的成魚銳減，族群數量大幅下滑；下游地區則因水溫條件不佳，使得孵化率接近零，因此即使颱風過後成魚數量大增，仍呈現明顯下降趨勢。



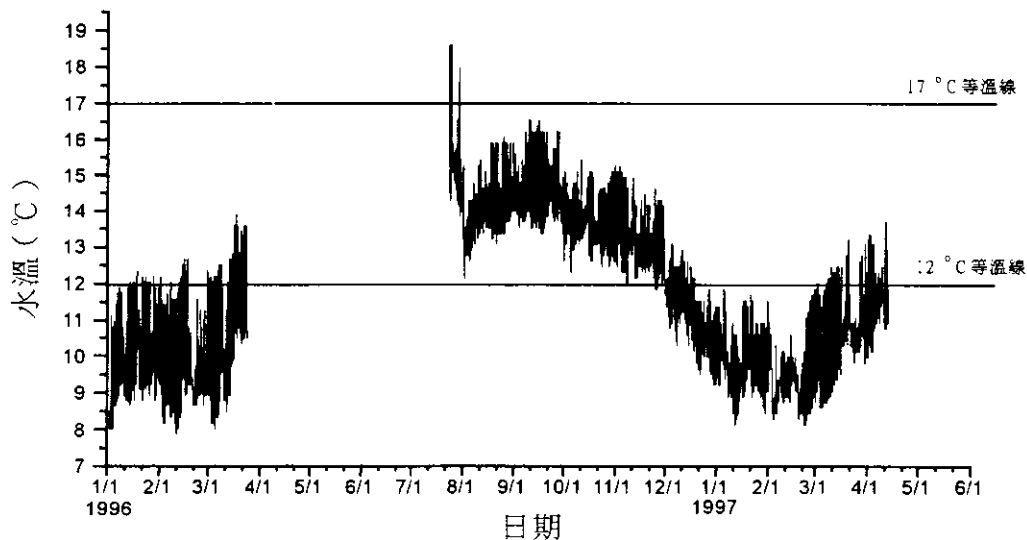
圖五：七家灣溪一號壩測站1996年水溫變化圖（1996/1/2至1996/12/28）。其中1996/7/23至1996/8/8的水溫資料是取自上游約1.2km的觀魚臺測站水溫資料。夏季最高水溫超過17°C；水溫在十一月底十二月初降至12°C以下。



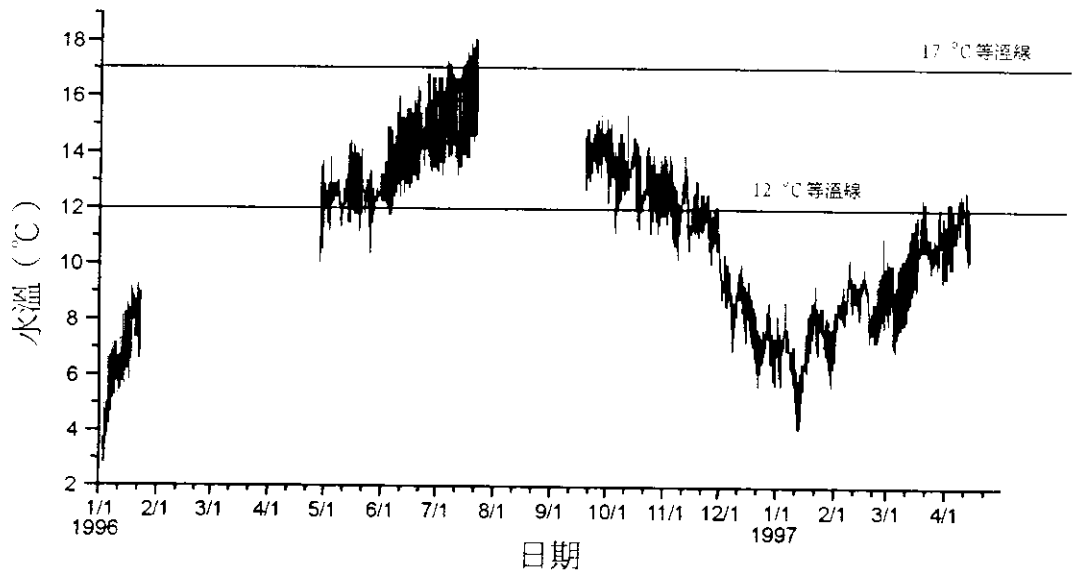
圖六：七家灣溪五號壩測站水溫變化圖（1996/1/2至1997/4/13）。其中空白部份為水溫記錄器因七家灣溪水量突然增加遭到損毀或遺失而造成的資料遺漏。全年水溫在17°C以下；水溫在十月中旬降至12°C以下。



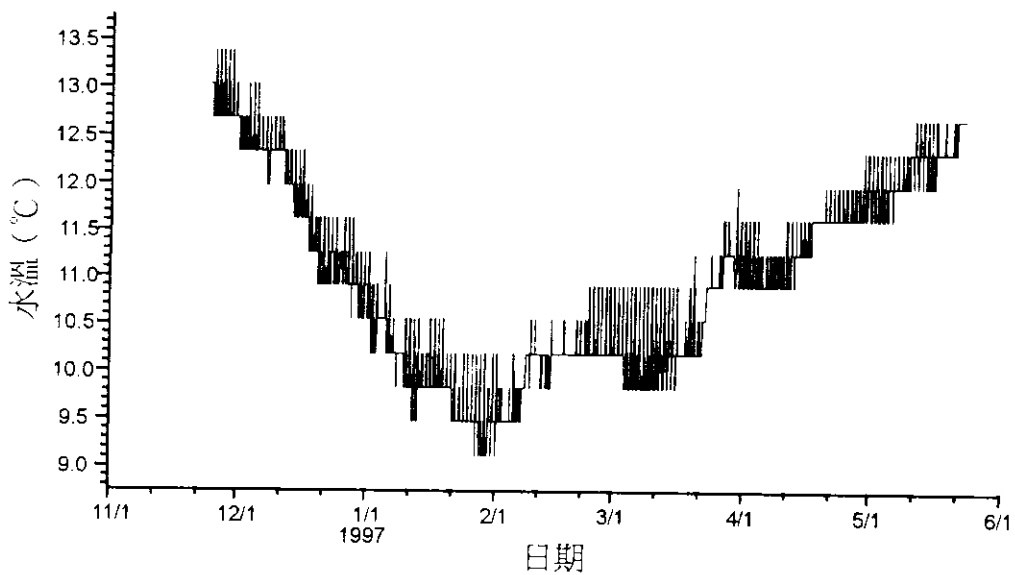
圖七：七家灣溪三號壩測站水溫變化圖（1996/1/2至1997/2/26）。其中空白部份為水溫記錄器因七家灣溪水量突然增加遭到損毀或遺失而造成的資料遺漏。全年水溫皆在17°C以下；水溫在十一月初降至12°C以下。



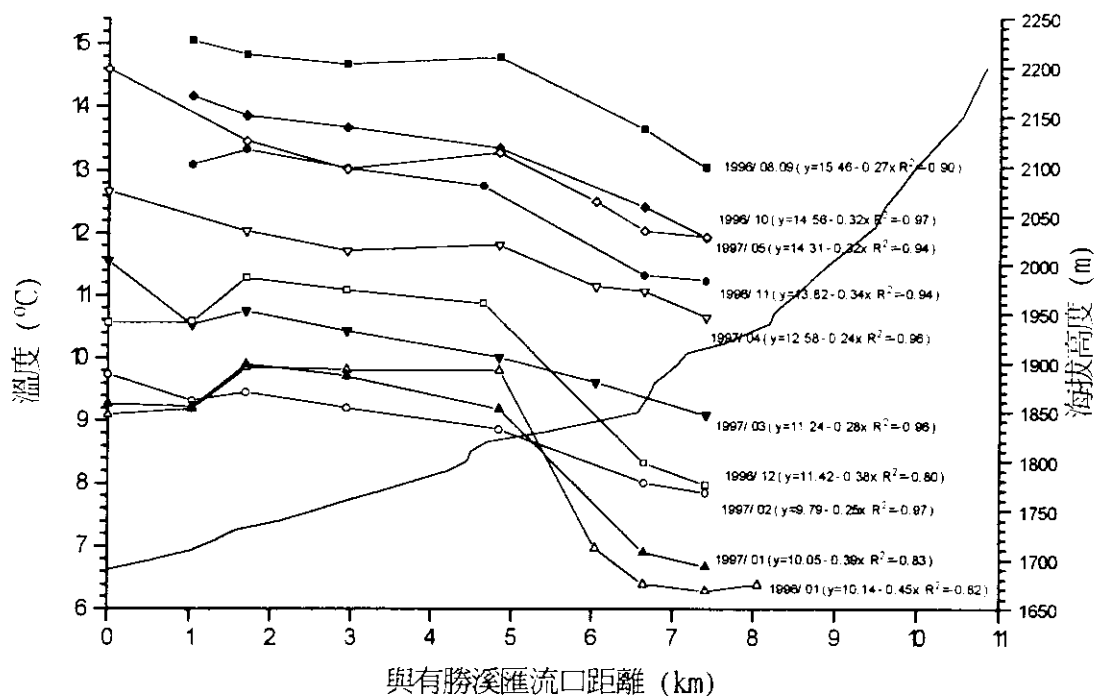
圖八：七家灣溪觀魚臺測站水溫變化圖（1996/1/3至1997/4/13）。其中空白部份為水溫記錄器因七家灣溪水量突然增加遭到損毀或遺失而造成的資料遺漏。全年水溫在夏季最高水溫超過17°C；水溫在12月中旬降至12°C以下。



圖九：七家灣溪支流武陵溪一號壩測站水溫變化圖（1996/1/2至1997/4/13）。其中空白部份為水溫記錄器因七家灣溪水量突然增加遭到損毀或遺失而造成的資料遺漏。全年水溫可視為在17°C以下；水溫在十一月底時降至12°C以下。



圖十：七家灣溪流域湧泉池站水溫變化圖（1996/11/24至1997/5/23）。由圖中可以看出湧泉水溫的穩定，在最低的元月底至二月初時間，水溫並未下降至非常低的溫度（約為9°C），且其日溫差最多不超過1°C。由水溫上升趨勢可推測湧泉的夏季最高水溫不超過14°C。



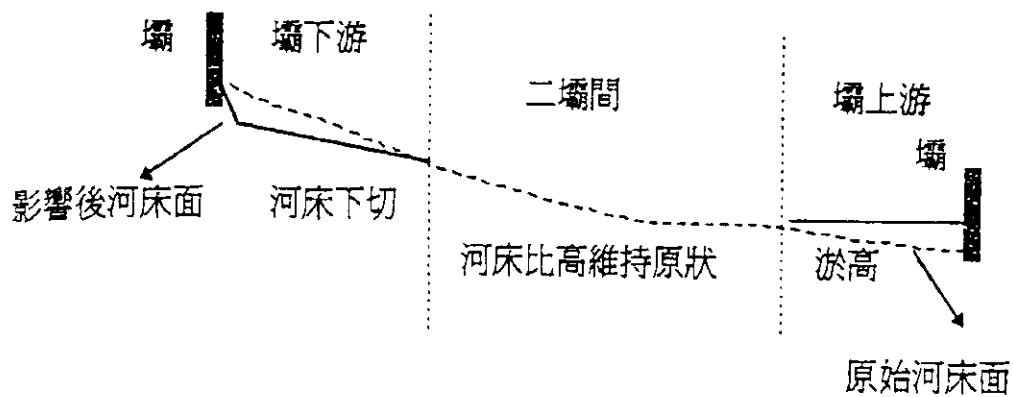
A:

月份	96/01	96/8,9	96/10	96/11	96/12	97/01	97/02	97/03	97/04	97/05
升溫速率 (°C/km)	0.45	0.27	0.32	0.34	0.38	0.39	0.25	0.28	0.24	0.32
R ²	0.82	0.90	0.97	0.94	0.80	0.83	0.97	0.96	0.96	0.94

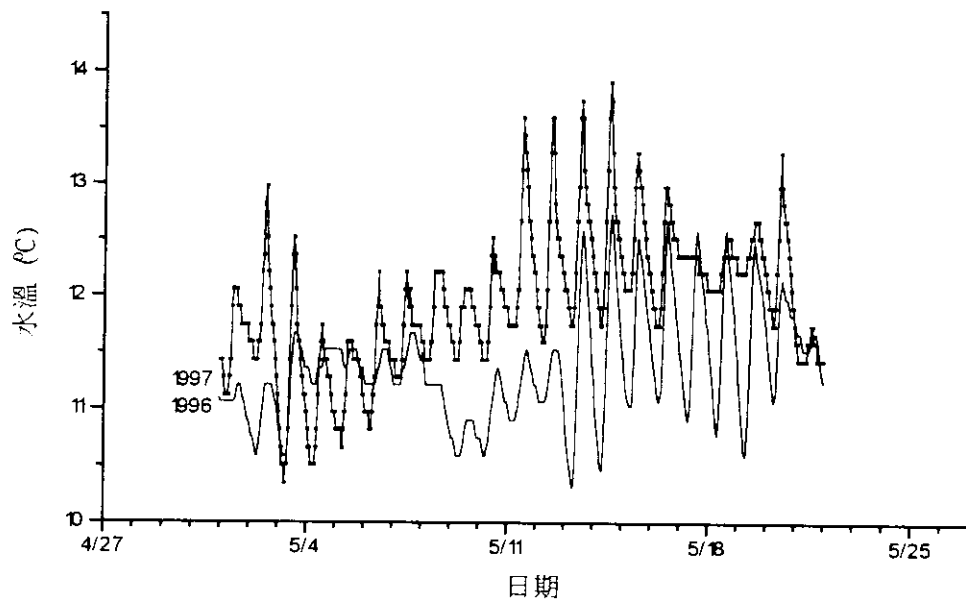
B:

月份	96/01	96/11	96/12	97/01	97/02	mean
a. 三號壩至二號壩 (°C/km)	1.88	0.72	1.27	1.27	0.47	1.12
b. 二號壩至一號壩 (°C/km)	0.02	0.20	0.14	0.23	0.19	0.16
倍率(a/b)	94	3.60	9.07	5.52	2.47	7

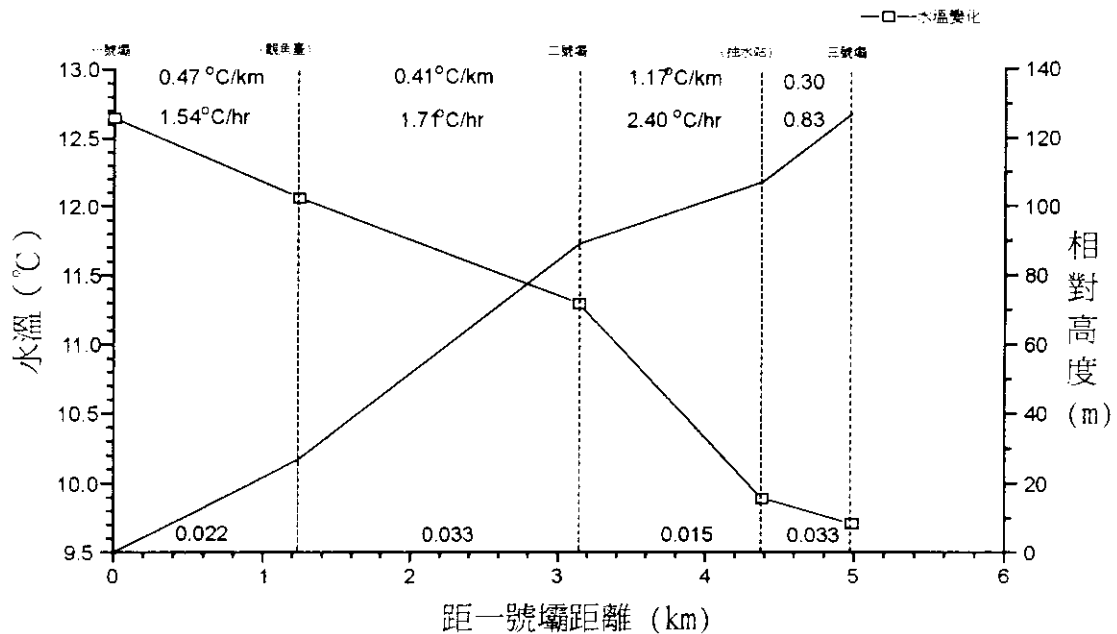
圖十一：七家灣溪流域上游至下游各測站的月平均溫與坡降關係圖。表A：為各月份平均升溫速率，為各月份變化迴歸線斜率絕對值，R²值指線性的程度。表B：為冬季（十一月至二月）三號壩至二號壩間與二號壩至一號壩間河段升溫速率比較。



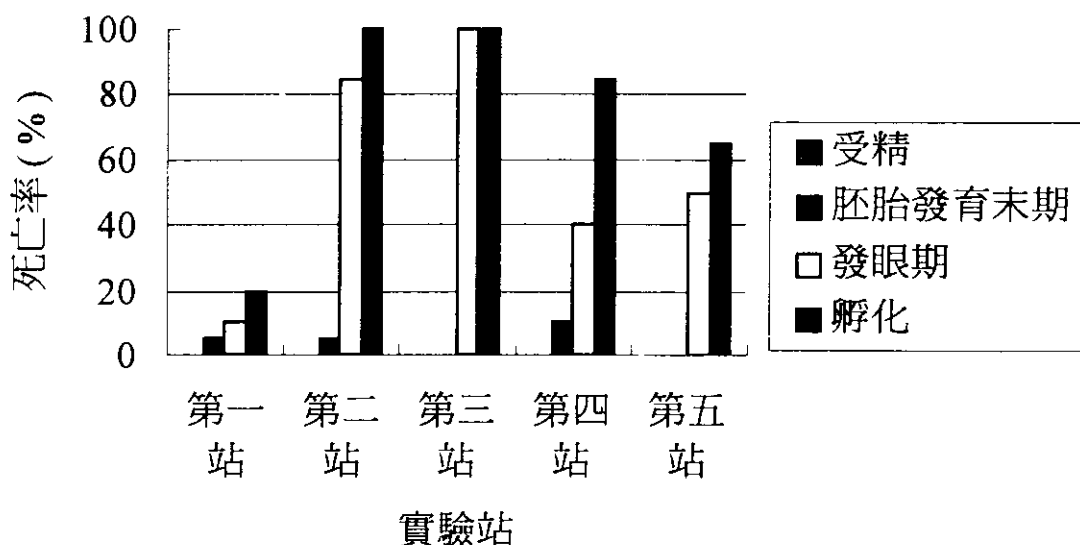
圖十二：兩防砂壩間三種河段型態變化示意圖。（引自賴，1996）。



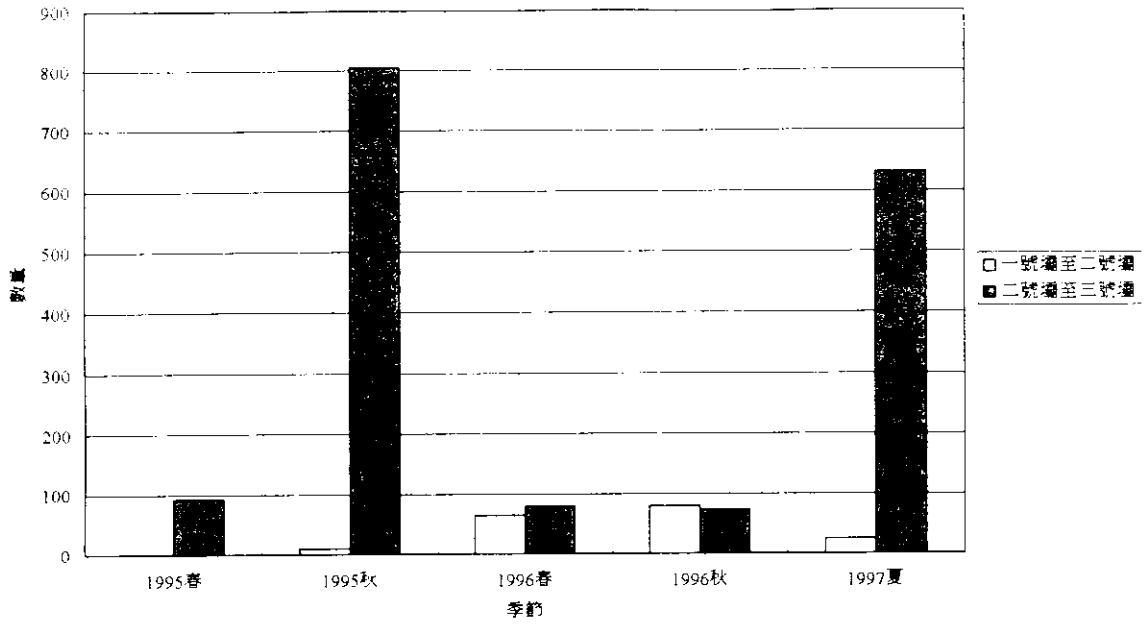
圖十三：七家灣溪五號壩測站1996年與1997年五月份（5/1至5/21）水溫變化圖。由圖中可以看出1997年度的水溫變化有略高於1996年度的趨勢。1996年度的五月份平均水溫為 11.37 （ $sd=0.49$ ），1997年度的五月份平均水溫則為 11.95°C （ $sd=0.62$ ）。



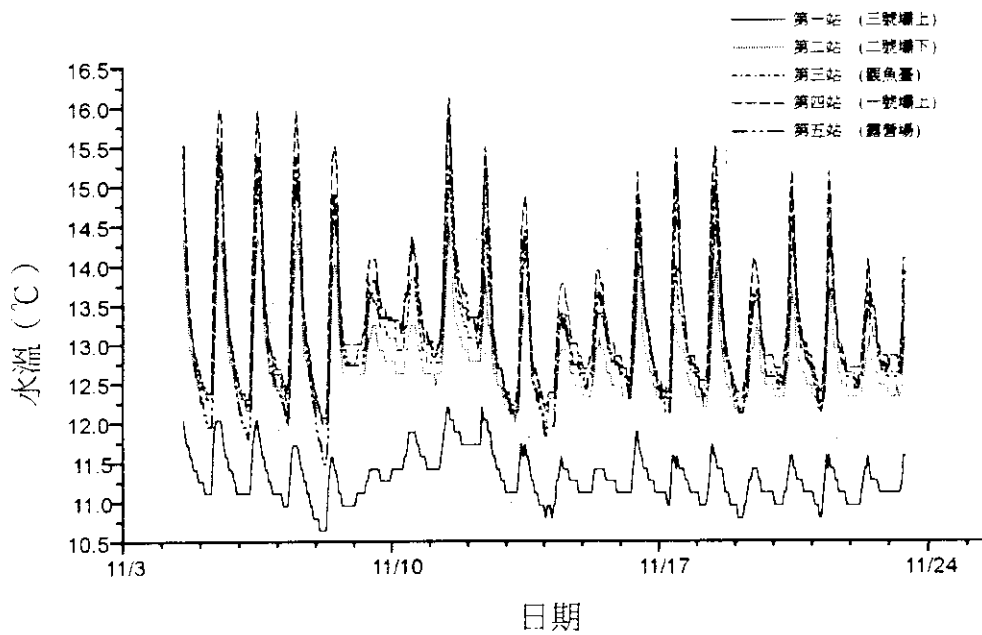
圖十四：七家灣溪三號壩至一號壩坡降與1997/3/15水溫上升驅勢圖。其中圖上方的上位數字為距離區間升溫速率，單位為 $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ；下位數字為時間區間升溫速率，單位為 $^{\circ}\text{C}/\text{hr}$ 。圖下方的數字為河段間的平均坡降。



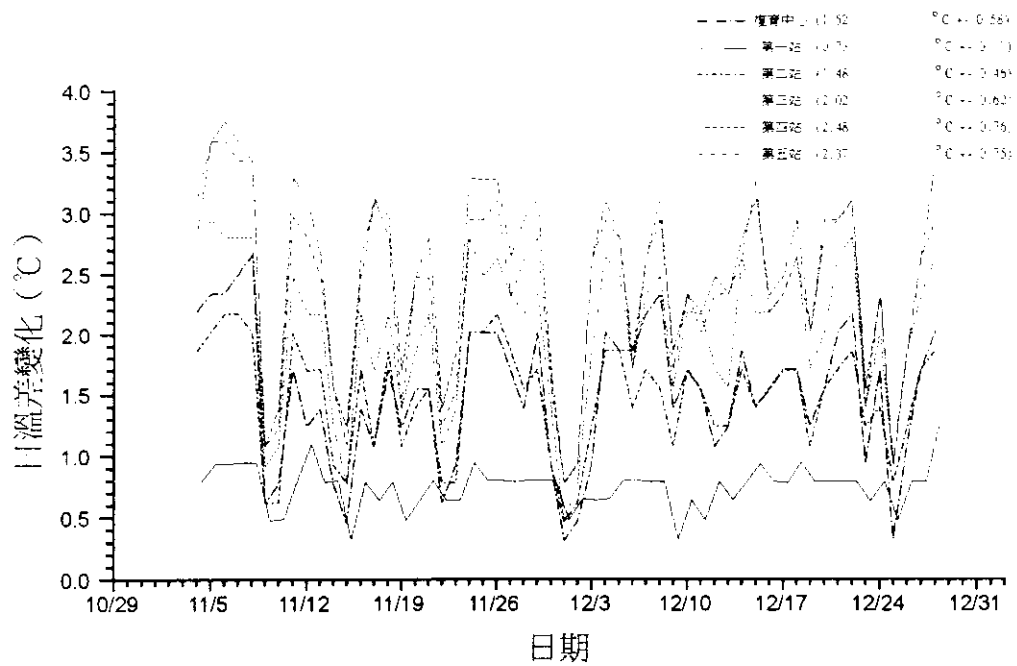
圖十五：七家灣溪各孵化實驗樣區與死亡率關係圖。實驗的時間為1996年11月3日至1996年12月12日孵化為止。其中第一站位於七家灣溪上游武陵吊橋附近，第二站位於復育中心附近，第三站則是在觀魚台附近，第四站在一號壩附近，第五站則位於七家灣溪下游武陵農場場本部附近。



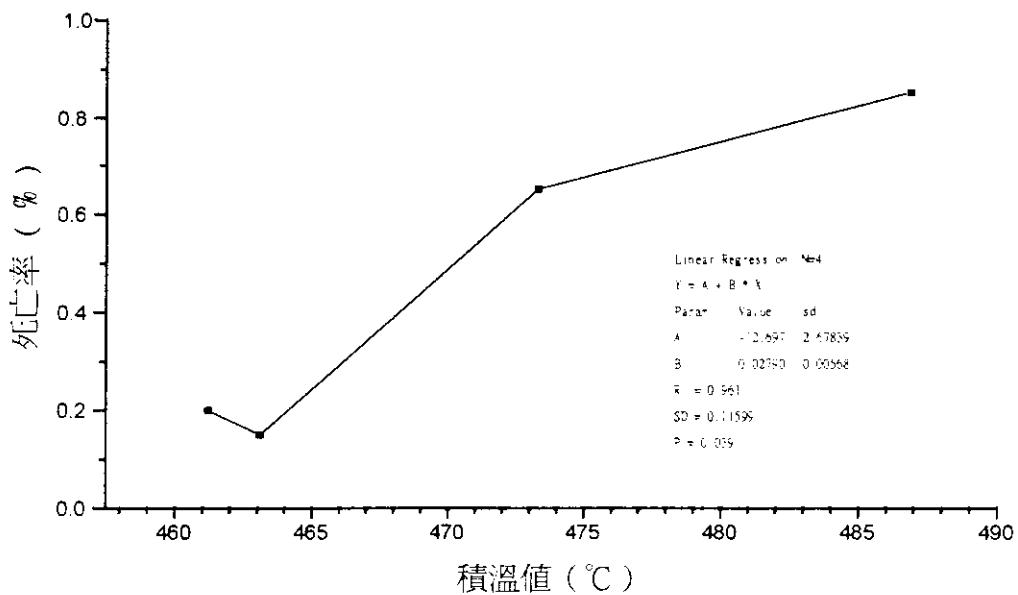
圖十六：七家灣溪幼鮭在一號壩至三號壩河段與一號壩與二號壩河段分布的狀況圖。



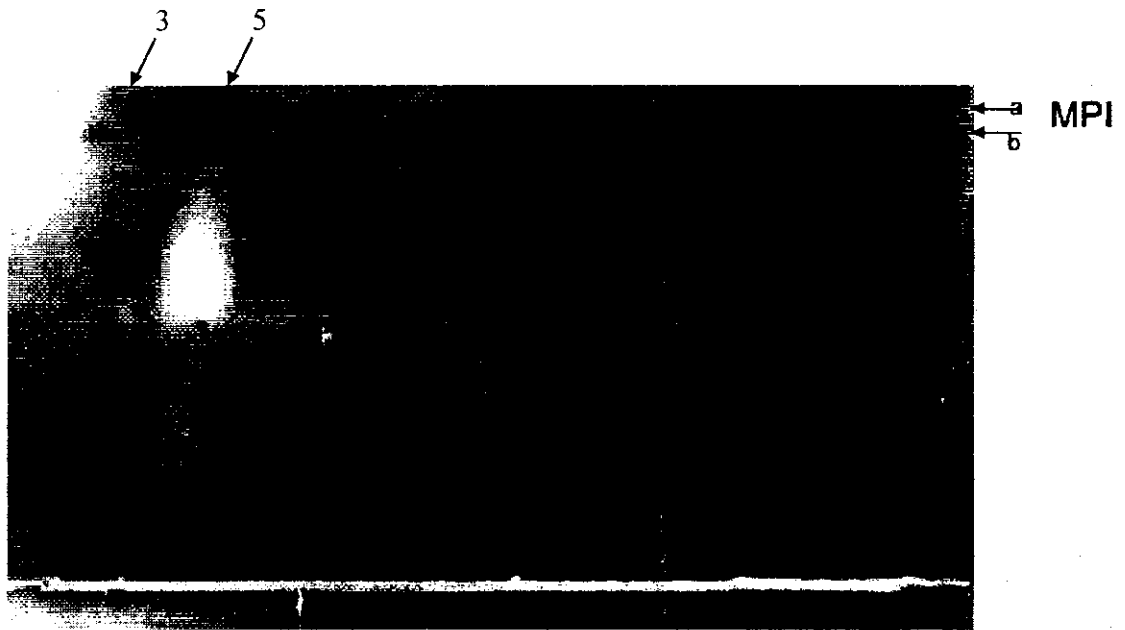
圖十七：七家灣溪流域櫻花鉤吻鮭孵化與水溫關係實驗各實驗站水溫變化圖（1996/11/4至1996/11/23）。溫度曲線明顯分成高溫與低溫群。除第一站屬低溫群外，其餘各站的水溫變化皆集合為高溫群。



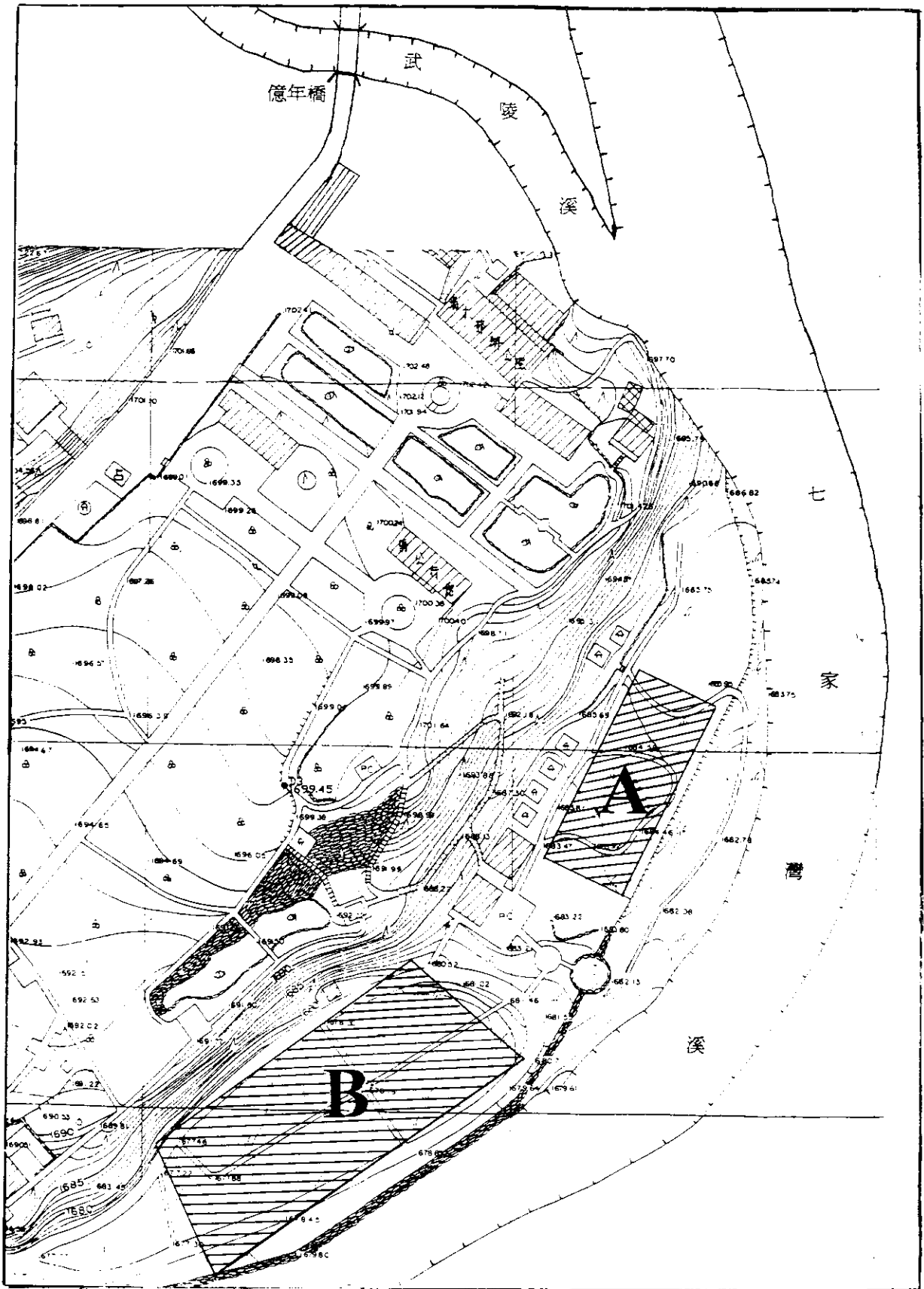
圖十八：七家灣溪流域櫻花鉤吻鮭孵化與水溫關係實驗各實驗站日溫差變化圖 (1996/11/4至1996/12/28)。各站平均溫與標準差並且列於圖中。



圖十九：七家灣溪孵化實驗各站死亡率與積溫值關係圖。線性迴歸的 $R^2 = 0.961$ ， $P < 0.01$ 。



圖二十：同功異構酶 MPI 之電泳圖譜，由圖中可以看出有兩個個體（3、5）的 MPI 有很明顯的位移(MPI-a)，所以這個基因座有遺傳的多樣性存在。



圖二十一：七家灣溪櫻花鉤吻鮭育種場預定位址評估建議地點。A區建議規劃為繁殖室；B區建議規劃做為自然育種場。