

壹、前言

一、淡水鰻魚的種類與分佈

淡水鰻魚屬於鰻目鰻鱺科 (Anguillidae)，共一屬十八種 (Castle and Williamson, 1974)，其中兩種產於北大西洋，即歐洲鰻 (*Anguilla anguilla*) 和美洲鰻 (*A. rostrata*)；其餘十六種分佈於印度—太平洋 (Indo-Pacific) 一帶，因此除太平洋東岸和大西洋南部兩岸沒有分佈，其餘各海域的相鄰陸地均可發現鰻魚的蹤跡。在台灣所記錄到天然產的淡水鰻魚種類共有四種 (曾，1983)，包括鱸鰻 (*A. marmorata*)、日本鰻 (*A. japonica*)、雙色鰻 (*A. bicolor pacifica*) 和西里伯斯鰻 (*A. celebesensis*)。

這四種淡水鰻魚的鰻線 (Elvers)，我們可藉由尾部色素胞之類型、背鰭與臀鰭起點的相對位置與脊椎骨數目來加以區分。以尾部色素胞之類型為例，日本鰻尾鰭與尾柄上皆無黑色色素胞之出現；鱸鰻和西里伯斯鰻尾柄上有星狀黑色色素胞；雙色鰻則在尾鰭上有點狀黑色色素胞，再輔以其他特徵我們即可將四種鰻線完全區分開來 (曾，1983)。數量上日本鰻和鱸鰻佔大部分，雙色鰻則非常少見，而西里伯斯鰻只有鰻苗被發現 (曾，1982a)。由於日本鰻為極具經濟價值的鰻種，因此對其生態、生理、繁殖與養殖均有深入的研究 (郭，1994)，而其他鰻種的研究卻很少，因此亟待加強。

二、淡水鰻魚的生活史

淡水鰻魚是屬於降海洄游型魚類 (catadromous fish)，生活史可以分為海洋時期和淡水時期兩大部分。其生活史的共同特徵就是成鰻會從淡水河川降海回到出生地產卵，而孵化的幼魚會隨著洋流的飄送到河口，再上溯回到淡水河川中生長，如此循環不已。由於海上採集困難度較高，因此到目前為止對於淡水鰻魚海洋時期生活史瞭解仍屬有限，僅對歐洲鰻、美洲鰻和日本鰻的產卵場有較多的瞭解 (Schmidt, 1925; Castonguay and McCleave, 1987; Kajihara, 1988; Kleckner and McCleave, 1988; Tsukamoto, 1992)。

目前認為歐洲鰻和美洲鰻產卵場的位置在藻海 (Sargasso Sea) 西南部，水

溫 18-19 °C、深度約 200-300m 的熱水溫鋒面 (Voorhis and Hersey, 1964), 其中美洲鰻的產卵位置偏西, 以 52 ° W 為東界, 歐洲鰻偏東, 以 52 ° W 為西界, 而南界為高鹽的 Antilla Current (Schoth and Tesch, 1982)。Tsukamoto (1992) 的研究認為日本鰻的產卵場位於馬里亞那群島 (Mariana) 西邊北赤道洋流上, 中心位置約為 15 ° N, 140 ° E 之處, 即菲律賓東方大約 1400 ~ 2300 公里海面, 北赤道洋流與亞熱帶反流所圍繞的海域。

鰻魚的發育過程包括：柳葉魚 (Leptocephalus)、玻璃鰻 (Glass eel)、鰻線 (Elver)、幼鰻 (Yellow eel)、成鰻 (Silver eel) 等五個階段 (Tesch, 1977)。卵在深海孵化後的仔稚魚之型態側扁而延長, 形似柳葉, 體表缺乏色素, 吻尖, 上下頷均具強齒, 腸道粗, 肛門位於身體後方約 4/5 的位置, 背鰭、尾鰭及臀鰭之鰭褶相連, 無明顯的分野, 形似柳葉, 稱之為柳葉魚 (丘, 1999; 郭, 1994)。此時期的幼魚由於不具游泳能力, 只能藉著洋流的推送散佈到各地。柳葉魚在海上漂流的時間, 有長達 440 天, 例如歐洲鰻 (王, 1996), 也有短至 130 天, 例如鱸鰻 (劉, 1998), 其時間長短隨產卵場至沿岸的距離與海流的速度而定。在抵達大陸棚邊緣時, 柳葉鰻的體長和體幅會縮短, 牙齒也會消失, 開始變態成為圓柱狀、身體完全透明的玻璃鰻, 變態完成之後玻璃鰻開始往河口移動, 也從海水時期開始進入淡水時期。此後鰻魚會在河川或湖泊中生活數年至數十年, 待達到性成熟之後, 再降海回到當初孵化的產卵場產下下一代。

三、淡水鰻魚溯河研究

當鰻鱺科魚類的幼苗到達河口域之後, 會有成群溯河的行為, 因此漁民會利用鰻苗溯河時, 於河口域一帶以手抄網及船曳網來撈捕鰻線。由於部分鰻種 (例如：日本鰻) 是極重要的養殖用種苗 (曾, 1983), 因此各國對於何種環境因子造成鰻苗開始溯河的研究非常廣泛, 但是各方的意見皆不太相同 (Sorensen, 1951; Deelder, 1958; Ezzat & El-Serafy, 1977; Tesch, 1977; McCleave & Kleckner, 1982; Gandolfi et al., 1984; Sloane, 1984; Tzeng, 1985; Gascuel, 1986; Haro & Krueger, 1988; Martin, 1995;)。歸納各方的意見, 影響鰻苗上溯主要的環境因子為水溫、流量、潮汐等因子。

先前的研究指出 (Deelder, 1958; Gascuel, 1986; Sloane, 1984; Sorensen,

1951)，當河水水溫超過某一溫度時鰻苗即開始上溯，若低於此溫度則鰻苗上溯的數量極低或幾乎沒有，因此河水水溫對鰻苗是否開始上溯扮演極重要的角色。Tzeng（1985）的研究則認為當河水水溫降到最低點時，日本鰻鰻苗的漁獲量達到最高峰，之後隨水溫的上升，漁獲量逐漸下降。此外，Gandolfi et al.（1984）分析義大利鰻苗的捕獲紀錄指出，當河水與海水的溫度趨近一致時，鰻苗上溯會達到最高峰。

澳洲鰻（*A. a. australis*）的鰻苗除了夏天以外全年均可捕獲，然而冬天的捕獲量會有減少的情形，Sloane（1984）推測可能是冬季河川的流量較高，鰻苗不能抵抗較強的水流所致。Haro & Krueger（1988）則認為河川緩流區的增加，造就適合鰻苗上溯的環境，使得鰻苗大量的上溯。Martin（1995）對美洲鰻的研究則認為，在上溯季節的初期，較高的水溫與較低的流速，為影響鰻苗上溯最重要的因子。然而部分研究則認為流量與鰻苗上溯沒有關連性（Ezzat & El-Serafy, 1977；Gandolfi et al. 1984）。

大多數的研究顯示，鰻苗到了河口域之後，會藉著潮汐的輸送進入河川之中（Tesch, 1977；McCleave & Kleckner, 1982；Gandolfi et al. 1984；Tzeng, 1985）。而潮汐大小又與月亮週期（lunar rhythm）有關，新月或滿月後2-3天潮差最大，稱之為大潮，上弦或下弦月時潮差最小，稱之為小潮。Tzeng（1985）的報告表示，在新（滿）月時，漁獲量特別高，上（下）弦月時漁獲量幾乎等於零，由此可見鰻苗溯河數量受月亮週期或潮汐之影響很大。

除了上述三個影響鰻苗上溯的主要環境因子，其餘的環境因子例如：日落時間、氣溫、氣壓、日照時間、風力及風向等（郭，1994），均有研究提及。而這些關於鰻苗上溯行為的研究大都著重於經濟性鰻種（溫帶鰻），而對於熱帶鰻的研究甚少，因此關於熱帶鰻的上溯行為的研究亟待加強。

四、實驗魚種

鱸鰻（*Anguilla marmorata* Quoy & Gaimard 1824）屬於脊索動物門（Chordata）脊椎動物亞門（Vertebrata）硬骨魚綱（Osteichthyes）條鰭亞綱（Actinopterygii）鰻目（Anguilliformes）鰻鱺科（Anguillidae）魚類（沈等，1993）。鱸鰻廣泛分布於印度洋、西太平洋海域，在日本、越南、非洲南部均有

其蹤跡 (Budimawan, 1997)。在台灣的溪流中由於鱸鰻是食物鏈上的最高級消費者，因此自然分布和數量上較不常見，但在遭受污染較少的東部河川中數量還算是普遍。一般在民間稱之為花鰻或烏耳鰻。外型上可辨別的特徵除了其粗大的體型外，在體色上呈黃褐色而且除腹部外全身都有蠕虫狀的班紋。一般在分類上體長約為體高之 13-16 倍，體長約為頭長之 2.65-7 倍。齒錐狀，成帶狀分佈於上下頤及鋤骨上。背鰭起點接近胸鰭 (中坊，1993)。

劉 (1998) 的研究發現台灣東部鱸鰻鰻苗的平均變態日齡為 103.93 ± 13.03 (SD) 天，平均抵岸日齡為 118.2 ± 15.09 (SD) 至 142 ± 12.12 (SD) 天，根據日齡的計算，到達河口若以平均抵岸日齡來回推產卵期，發現鱸鰻的產卵高峰在一年中會有兩次，分別是夏季的七、八月及冬季的十一、十二月。

五、研究動機與目的

秀姑巒溪為台灣東部第一大溪流，全長約 103.8 公里，全部流域面積達 1774 平方公里 (石等，1987)。其位於中央山脈的上游地區，絕大部分為未受大量開發的森林，和污染有限的溪流，而在花東縱谷沿線的中游，大部分是流經農業地區，仍屬低污染源的區域，自瑞穗以降的海岸山脈附近，開墾及採礦活動仍少，使得秀姑巒溪得以保持相當優良的水域環境。

曾 (1994) 在秀姑巒溪的研究發現，本區鱸鰻鰻苗的資源量豐富，終年均可發現，且其數量遠超過只有在冬季來游的日本鰻鰻苗。然而過去對於此種廣泛分佈之熱帶型鰻苗研究甚少，僅劉 (1998) 評估出海口鰻苗的來游數量與抵岸日齡，對於鰻苗在河內的上溯行為都沒有進一步研究。由於鱸鰻為保育類野生動物，因此依法申請使用保育類野生動物許可，以進行本項實驗。本研究目的主要是藉由採集秀姑巒溪河內上溯的鰻苗，分析其上溯週期與環境因子 (潮汐、月亮週期、流量、氣溫、水溫) 的相關性，並且對於上溯鰻苗的溯河行為進行分析。此外利用傅利葉轉換，更進一步分析在不同年間，鰻苗來游的週期與時間的變化，並配合環境因子來探討期間變動的關係。最後希望能夠瞭解鰻苗上溯所利用的環境，期待能對秀姑巒溪鰻苗資源的經營管理與生態保育有所助益。

貳、材料和方法

一、採集地點

採集地點（圖一）範圍包括秀姑巒溪河口到上游約 4 公里處的河段，各採集地點皆以 GPS（GARMIN 的 GPS 型號為 eTrex Summit™，其精確度可達 15 公尺以內）進行定位

- A. 出海口（Estuary）：秀姑巒溪河口兩岸，河水與海水交會處。秀姑巒溪河口因希普蘭島阻隔將出海口分為南北兩個河道，北岸的出口稱為北河口（North River mouth）GPS 定位為 23° 28' 09.7" N, 121° 29' 35.3" E；南岸的出口稱為南河口（South River mouth）GPS 定位為 23° 27' 47.1" N, 121° 29' 30.1" E。
- B. 漁陷阱（Fish trap）：GPS 定位為 23° 28' 17.9" N；121° 28' 05.0" E，位於長虹橋上游 300~500 公尺，秀姑溯玉灘附近傳統魚陷阱設置處。
- C. 採礦區（Mining area）：GPS 定位為 23° 28' 38.8" N, 121° 27' 31.8" E，位於秀姑巒溪上游 4 公里處，經濟部廢棄採礦場下方的河段。

二、時間與方法

2000 年 6 月 7 日至 2001 年 5 月 28 日期間，於秀姑巒溪下游漁陷阱進行樣本採集和鱸鰻鰻苗上溯行為觀察，並委託當地居民於出海口進行樣本採集，捕捉的鰻苗立即以 70% 的酒精固定保存，之後帶回實驗室並再次更換 70% 的酒精以保持樣本的新鮮度，以利之後的分析研究。

其所使用的採集方法分述如下：

A. 三角網：

這種捕捉方法屬於主動式（active gear）漁具漁法（林，1996），使用的地點在出海口。三角網是由兩根交叉的長竹竿中間支撐著細網再配合一根短的橫竿組合而成，在細網的末端則有一集魚用的小網袋。在鰻苗或魚苗洄游的季節，當地居民位於出海口附近海浪沖擊得到的河口域，面對往河口衝來的海浪，等到浪頭過去後以三角網承接衝上來的水團，待水退去檢視網中是

否有魚，若有則將三角網高舉將漁獲抖入細網末端的網袋中，直到網袋中的漁獲達到一定數量再上岸將其倒入水桶中（圖二）。

B. 漁陷阱：

這種捕捉方法屬於被動式（passive gear）漁具漁法（林，1996），使用的地點在河川的中下游，專門捕捉溯河的魚群，漁民只要定時到河邊陷阱收取漁獲即可。這種陷阱的形式和日本一種叫做“Kakei-otoshi”的陷阱頗為類似，日文的意思就是「由管道佈置成的梁」（李，1997）。過去對於這樣特殊漁陷阱的描述，有阮（1969）於「大港口的阿美族」告與曾（1994）於秀姑巒溪河川資源保育及利用中有過描述。漁陷阱設計的方法是先在河邊開一條溝渠頭尾與河川相接，在溝渠中設置一“V”字形或“/”字形的障礙，使得水流到此形成一小瀑布，在利用上端與河川相接處開口的大小來控制溝渠中流量的大小，使其形成水流較主流為緩的誘魚道，由於上溯的魚苗大都會選擇岸邊水流較緩處前進，因此魚苗自然會進入在岸邊人工挖掘水流較緩的溝渠，魚苗進入溝渠之後中途會遇到“V”字形矮牆所形成的瀑布而無法越過，漁民會在矮牆的側邊設計一水流較緩的瀑布，且在瀑布的後方安排一側流的水道，當魚苗要越過瀑布時會掉入在瀑布後方側流的水道，流入由木箱加裝網壁而成的集魚箱而被漁民所捕捉。這樣的陷阱其捕捉效率受河川水量的大小影響相當大，且颱風所帶來的大水極易將陷阱毀損，因此每年漁陷阱的利用只到第一次颱風來臨為止（圖三）。

C. 觀察：

I. 鰻苗上溯週期觀察：

於夜間七點到十一點之間於秀姑漱玉灘附近（漁陷阱）巨石急流處進行觀察，每隔一小時紀錄 15 分鐘內一固定河面上溯鰻苗的數量，並選擇數日進行 24 小時觀察，以了解鰻苗上溯的日週期性。

II. 鰻苗上溯流速記錄：

於秀姑漱玉灘附近巨石急流處向河中央拉長約 1 公尺的橫截線，每隔 10 公分做一標記（圖四 a），且於標記處以簡易流速計（YOKOGAWA

MODEL 3631) 測量水體的流速，作為日後分析鰻苗最適上溯流速之用；此外我們還在橫截線下方放置白色石塊增加對比，已提升觀察鰻苗之精確度 (圖四 b)。

三、外部形質測量

由於鰻苗經酒精固定後，會產生彎曲現象，因此測量時先將魚體拉直，再置於珍珠板上，利用昆蟲針固定頭尾兩端，以游標尺測量鰻苗的全長 (Total Length, T.L.)。酒精固定後，全長大約縮小 4% 左右 (Cheng and Tzeng, 1996)，因所有鰻苗皆以 70% 酒精浸泡過再進行測量，因此不須進行收縮比的修正。

而後在解剖顯微鏡下觀察體表色素發育的程度，依照 Bertin (1956) 的方式，判別其色素發育的階段。

四、色素發育頻度分析

為了瞭解十月份鰻苗在河口域停留時間與七、八月份的差異，我們在漁陷阱連續收集十天的上溯鰻苗，將每日捕獲的鰻苗用網袋飼養於秀姑巒溪河畔緩流區，維持與上溯鰻苗相同的生活環境。且用蘆葦梗將網袋撐大以增加鰻苗活動空間，並放入一些爛泥以增加鰻苗的隱蔽性，於第十天將先前所飼養的鰻苗各取出十尾，以 70% 酒精浸泡後在解剖顯微鏡下觀察體表色素發育的程度，分析鰻苗到達漁陷阱後一~十天的色素發育頻度分佈。

五、離散傅利葉轉換(Discrete Fourier Transform)

假設我們有一個時間訊號 $x(n)$ ，將它與 $e^{-j\omega n}$ 的乘積由 $n = -\infty$ 至 ∞ 累加起來，形成一個連續變數 ω 的頻率函數，將此頻率函數用 $X(e^{j\omega})$ 表示，其數學表示式如下：

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)e^{-j\omega n}$$

而將 $x(n)$ 轉換為 $X(e^{j\omega})$ 的程序就稱為離散傅利葉轉換。

在訊號系統上我們用 $X(e^{j\omega})$ 來分析 $x(n)$ ，也就是說我們可以透過傅利葉轉換，瞭解 $x(n)$ 這個訊號包含的成分是什麼，即 $x(n)$ 中各種不同頻率(ω)的成分各佔多少。例如：人所發出聲音之頻率一般最高到 4KHz，所以我們可以用這種方法分析人的聲音大部分在哪一個音頻區（祁，1994）。

傅利葉轉換具有將時域(Time Domain)的訊號轉換成頻域(Frequency Domain)的訊號之特性。所以多組訊號若在時域上不易觀察出彼此之關連性，透過傅利葉轉換從頻域上去分析，則可以明顯看出，因此傅利葉轉換在各個領域上被廣泛的應用。在醫學上，將腦波分析儀所記錄的資料經傅利葉轉換，以瞭解人體在不同狀態下，腦部各部分腦波分析情形（張，1997）；在文字辨識上，利用筆劃的傅利葉轉換頻譜影像為基礎，從中擷取不同的特徵作為辨識不同的中文字體的方法（顏，1996）；在環境分析上，利用傅利葉轉換將干擾譜（interferogram）轉換成頻譜圖（frequency domain spectrum），藉此可以對未知的化合物或混和物進行鑑定（王，1998）。本研究則希望能藉由傅利葉轉換對鱸鰻鰻苗來游週期進行分析，所用的軟體為 Matlab 5.3。

參、結果

一、鰻苗溯河數量調查

A. 出海口鱸鰻苗上溯數量調查結果

於 2000 年 6 月 30 日至 2001 年 5 月 30 日期間，在秀姑巒溪出海口委請專人於採集魚苗時順便統計鱸鰻苗之漁獲量（圖六，其中 2000 年 08 月 09 日至 09 月 28 日與 10 月 29 日至 12 月 27 日期間，由於人為因素而無樣本之採集）與 2000 年河內鰻苗上溯數量調查結果（圖五）一致，同樣於夏季有上溯高峰群，而參考劉（1998）的資料推測，應於 2000 年 10 月 29 日 2000 年 12 月 27 日期間，人為因素無樣本採集之時段，應有一鰻苗冬季來游高峰群。

B. 河內鱸鰻苗上溯數量調查結果

本實驗於 2000 年 6 月 7 日至 2001 年 5 月 28 日期間，在夜間七點到十一點於秀姑漱玉灘附近（漁陷阱）巨石急流處進行觀察，每隔一小時紀錄 15 分鐘內一固定河面鰻苗上溯的數量，將每日每小時 15 分鐘內鰻苗上溯最大量繪製成圖五，詳細之週期性（日週期、月週期）分析整理於圖九 圖十。其中 6 10 月間除颱風等不可抗拒之因素外，每日於秀姑漱玉灘附近持續進行記錄，11 月以後由於鰻苗上溯數量極少甚至沒有，且分析其月週期（圖十）記錄顯示鰻苗上溯日期主要集中在農曆每月底到隔月初，因此只於上述時間進行調查，其餘時間則請當地居民隨時注意鰻苗上溯數量之變化。發現整年鰻苗溯河高峰集中在 6 8 月之間，九月份之後則沒有大量上溯的族群。

C. 氣候與水文資料

I. 氣溫

根據 1997 年與 2000 年秀姑巒溪流域月均溫分佈曲線如圖七所示（其中 1997 年 1 月到 4 月之間因儀器損毀而沒有資料），圖中顯示秀姑巒溪 2 月至 6 月為升溫期（平均每月升溫 2.5 左右），6 月至 8 月為溫

度變化最緩和的時期（平均月均溫變化不到 1℃），而 9 月至隔年 1 月為降溫期（平均每月降溫 2℃ 左右），1 月至 2 月為低溫期（平均溫度最低的月份）。

II. 水溫

1990 年至 2000 年間環保署每季於瑞穗測站進行水質監測之水溫記錄如表一，其變化之趨勢與氣象局所記錄之氣溫相似，5 月份為升溫期，8 月份水溫上升到最高，11 月份為降溫期，而 2 月份的水溫最低。

III. 流量

1997 與 2000 年秀姑巒溪測站月平均流量統計如圖八所示，圖中顯示 1 月至 6 月間秀姑巒溪的流量變動不大，而七月以後流量劇烈變動最主要的因素為颱風所帶來的豪雨，以 2000 年的資料為例：10 月、11 月其流量之所以會有巨幅的變動，是因為 10 月份的雅吉颱風與 11 月份的象神颱風，所帶來充沛的雨量所致。

二、溯河鰻苗週期性觀察

A. 鰻苗上溯日週期

經由 8 次以上 24 小時週期觀察（圖九），發現鰻苗往上游遷徙的行為以夜間為主，在天微暗時即可見到鰻苗陸陸續續的沿著河邊開始上溯，同樣的從漁陷阱的漁獲也可以觀察到相同的情形，鰻苗上溯的數量通常在子夜以前達到最高峰，之後上溯的數量開始下降，直到天微亮時鰻苗的上溯行為即停止。然而這樣的行為，只有在鰻苗上溯數量較多時（圖九 a、c）才可以明顯見到，若是鰻苗上溯數量較少時（圖九 b、d）則沒有特別的高峰期。

B. 鰻苗上溯月週期

將 2000 年 6~9 月的資料配合農曆逐日統計（圖十），發現在這段洄游期總共出現三次溯河高峰，高峰與高峰之間相隔約一個月（圖十 a）。

我們將鱸鰻鰻苗上溯週期的變化與月亮週期做比較，發現兩者之間成明

顯的相關性，三次鰻苗溯河高峰期集中在新月前、後共半個月之間，也就是農曆月底到隔月初，在滿月附近鰻苗上溯的數量則急速下降，有時候數量幾乎降到零（圖十 b）。若再仔細分析三次鰻苗溯河高峰期可以發現，6、7、8 月份鰻苗來游單日最高峰，分別為 1305、1081、2122 尾且鰻苗來游六、七月份數量較少，八月份數量最多，呈現兩小一大的波型。而八月份之後雖然陸陸續續還有鰻苗來游，但數量極少且沒有顯著的高峰期。

三、形質測量

A. 鰻苗全長組成

取 2000 年七、八、十月份的樣本，進行上溯鰻苗的全長組成分析，發現各月份鰻苗全長大都在 47~53 mm 之間（圖十一），但八月份鰻苗全長則有略偏長的趨勢（48~55 mm）。若從全長的平均值來看（表二），以八月份的平均值最大，為 51.47 ± 1.78 mm；十月份的平均值最小，為 48.71 ± 1.49 mm。最大與最小平均體長差異極小，只有 2.76 mm 左右。

B. 鰻苗色素發育階段

取 2000 年七、八月份上溯高峰期的樣本與十月份非高峰期的樣本，進行色素發育階段頻度的分析（圖十二 a），發現七、八月份在漁陷阱採集到的樣本分別有 88.2% 與 79.2% 的色素發育階段集中在 VB- VIA- 兩個時期，其次在 VIA- 分別有 10% 與 17% 的樣本分佈；七月份在秀姑湫玉上游兩公里的採礦區，採集到的樣本色素發育頻度大致成相同的分佈。十月份在漁陷阱採集的樣本其色素發育則進入較後期的階段，分佈在 - VI- 之間（VI- 佔 19.6%、VI- 佔 37.3%、VI- 佔 17.6%、VI- 佔 25.5%）。

C. 色素發育頻度分析

我們將 2000 年七月份在漁陷阱捕捉到的鰻苗進行野外飼養，並對其進行色素發育階段頻度分析（圖十二 b），發現在野外飼養第 1~2 天鰻苗色素發育頻度並沒有改變，第 3 天色素發育頻度開始轉變為以 VIA- 與 VIA- 為主；第 6 天色素發育 VIA- 階段的鰻苗開始出現；第 8 天過後 VIA- 鰻

苗的比例開始超越 VIA-。比對十月份上溯鰻苗與野外飼養鰻苗色素發育頻度，可知與第 6~7 天的鰻苗色素發育頻度較為相似，因此十月份的鰻苗應該比七、八月份在河口域多停留 6~7 天的時間。

四、鰻苗溯河與流速之關係

A. 河川流速分佈情形

我們於長虹橋上游 300~500 公尺秀姑湫玉灘，進行河岸邊 70 cm 以內流速分佈測量（表三）。由流速的分佈可知，除了少部分流速受附近地形影響之外，大部分的區域不論是水的表層或下層，越往河心流速越快，且越接近河床底部流速越慢。然而此結果與理論值最大流速應該出現在水面稍下方處約 20% 之水深處有些許差異（徐，1995），其原因應是測量區域水深在 32~45 cm 之間，其理論值之最大流速應出現在水面下 6.4~9 cm 處，然而在此區域並沒有測量值，而造成實際值與理論值間之差異。

B. 鰻苗溯河行為

觀察發現本地溯河鰻苗都沿著河岸邊較緩流處前進，例如：經濟部廢棄採礦場下方的河段，由於河面寬廣且流速較緩，鰻苗會以較分散的方式在寬廣的河面快速前進；若遇到較急湍的河段，例如：秀姑湫玉灘上方的兩岸為堅硬的岩盤所構成，造成河道較為狹窄且流速較快，此時的鰻苗會緊貼著岸邊前進，且族群較為聚集。水流的速度大於鰻苗平常游動所能利用的流速時，鰻苗會在石塊後方短暫停留再利用瞬間衝刺的力量快速通過，有時候甚至會爬上潮濕的岩石爬行一段距離，待越過急湍的河段再下水前進。

由於越往河中央流速越快，且由實地觀察發現，當鰻苗往河中央游去時，由於流速過快，鰻苗隨即被衝到下游而無法繼續前進，因此兩岸的魚群只會利用岸邊緩流處上溯而不易穿越河心到對岸去。

C. 鰻苗上溯利用之流速

我們於實驗之前數日觀察鰻苗上溯行為，與測量附近水域流速，以瞭解鰻苗對於不同流速水域利用之情形，發現鰻苗在流速大於 60cm/sec 的區域

即甚少利用，因此選擇流速在 0~60cm/sec 之間的水域進行本實驗。

將所得結果繪製成圖十三進行討論，綜觀數日之結果發現超過 90% 的鰻苗利用河邊 30cm 以內的區域上溯，即使在圖十三 a 距離河岸 40~50cm 的區域，其流速低於圖十三 b 距離河岸 0~20cm 的區域，鰻苗仍然利用河邊 30cm 以內的區域進行上溯，而不會廣泛的利用整個區域進行上溯。而當鰻苗游到流速大於 30cm/sec 的區域，其無法抵抗水面的流速繼續前進時，會選擇下潛的方式利用水下流速較緩的區域（表三）繼續前進。此外，將離岸距離和流速與鰻苗上溯數量進行相關係數分析，鰻苗上溯數量和離岸距離的相關係數均大於與鰻苗上溯數量和流速之相關係數，可見與岸距離對於鰻苗上溯行為之影響較流速為大。

從 2000 年 7 月 3 日鱸鰻鰻苗上溯成功率實驗可知（表四），當流速在 13~25 cm/sec 之間上溯成功率接近 100%，而流速超過 25 cm/sec 時鰻苗上溯成功率開始下降，直到流速超過 30 cm/sec 時成功率降到 50% 以下，由觀察得知無法抵抗強勁水流的鰻苗，會從原本與岸邊平行的前進方式，變成傾斜一個角度前進，到最後還是難逃被水流衝到下游，必須重來一次的命運。

五、不同年度來游週期分析

A. 不同年度來游週期之比較

本實驗在 2000 年 7 月 23 日至 8 月 8 日期間，於秀姑巒溪出海口與漁陷阱同步收集鰻苗，將每日所得的數量繪製成圖十四。發現出海口上溯鰻苗於 7 月 24、25 兩日有較多的數量，在河內則延遲到 7 月 31 日、8 月 3 日有兩個高峰群，推算出海口與河內鰻苗上溯週期相差約 6~8 天。從出海口至秀姑湫玉灘約有 2 km 的距離，若比對歐洲鰻平均上溯速率 $0.64 \pm 0.6 \text{ km/day}$ （Knights & White, 1997），必須花費四天才能從出海口到達秀姑湫玉灘，而鱸鰻的體型較歐洲鰻為小，且鰻苗在進入河口之後必須停留一段時間，調節滲透壓與色素形成，而後才繼續上溯。因此鱸鰻鰻苗從出海口上溯至秀姑湫玉灘，花費約 6~8 天的時間應為合理之推估。由圖十五顯示 1997 年（劉，1998）出海口鰻苗開始大量來游的時間是在五月份，根據圖十四推算 2000 年出海口鰻苗大量來游之時間，足足比 1997 年晚了約 22~24 天的時間。

此外，再比較兩年度鰻苗大量出現的時間長短，發現 1997 年只有 5、6 兩個月份，而 2000 年卻橫跨 6、7、8 三個月份，相較之下不同年度鰻苗大量出現時間存在約一個月的差距。

B. 以傅利葉轉換分析不同年度來游週期之相關性

為了更深入瞭解 1997 年出海口鰻苗來游週期與 2000 年河內鰻苗上溯週期的關係，我們利用傅利葉轉換將時域的訊號轉換成頻域的訊號，期待能從頻域的訊號分析 1997 年與 2000 年資料之間的相關性。

將 1997 年與 2000 年的數據進行傅利葉轉換（圖十六），以黑色箭頭表示在圖形兩端三個強度(Intensity)較大的主要頻率(Primary)，其位置分別位於 2.5Hz、5Hz、115Hz 等處，而以紅色箭頭表示在主要頻率邊緣一些次要頻率(Secondary)，再以綠色箭頭表示其餘各處均勻分佈強度較小的頻率(Residual) 發現兩年度的頻譜同樣都有三個主要頻率且分佈也非常接近，最大差異在主要頻率的強度，以及次要頻率的分佈位置與強度；因此我們嘗試將 1997 年的頻譜強度放大，再與 2000 年的頻譜疊和比較（圖十七），發現當 1997 年的頻譜放大四點五倍之後，兩年度之頻譜在強度與頻率位置分佈皆相同。

六、鰻苗上溯週期與環境因子之關係

由於生物的分佈經常與環境因子有著密切的關係，為了更清楚瞭解此一關係。因此我們將潮差、氣溫、流量等環境因子，對鰻苗上溯數量進行複回歸分析。結果發現潮差對鰻苗上溯數量的重要性最高（ $P < 0.001$ ），其他因子則不具重要性（ $P > 0.1$ ）。

我們進一步將潮差進行傅利葉轉換，再與鰻苗上溯數量傅利葉轉換頻譜進行比較，以瞭解彼此頻譜的相關性（圖十八）。結果發現兩者頻譜只有在 2.5Hz 的位置有相同的頻率，其餘皆不相同。因此我們檢視潮差的原始圖形，發現大潮發生在新月或滿月（農曆初一、十五）以後一至三日，而大潮又有大小之分，新月所發生的潮差較大，滿月所發生的潮差較小，而鰻苗上溯的高峰大多與新月的潮汐週期相關性較高。

圖十九即是將滿月所發生的潮汐週期去除，再將剩餘新月所發生的潮汐週期進行傅利葉轉換，後與鰻苗上溯數量傅利葉轉換頻譜進行比較。結果發現新月所發生的潮汐週期在 2.5Hz、5Hz、115Hz 等位置有主要的頻率，且與鰻苗上溯週期主要頻率的位置完全吻合，由此可證明鰻苗的上溯週期受到新月的潮汐週期極大的影響。

肆、討論

一、鰻苗溯河日週期分析

先前曾（1994）的調查報告顯示河內鱸鰻鰻苗溯河行為是以夜間為主，且每日上溯高峰集中在午夜 12 點以前，本實驗調查之結果也顯示相同的情形。而這些鰻苗在白晝時都躲去哪裡呢？根據實地調查發現，若在白晝將河邊底部為碎石的淺灘圍堵起來，將水移除我們可以發現到大量的鱸鰻鰻苗躲在石縫中休息，目視估計約 20 平方公分的面積即可發現 30 隻左右的鰻苗。可見鱸鰻鰻苗在夜間活動，白晝則躲在石縫中休息，等到天色暗下來則再度開始上溯的行為，然而這種白晝休息夜間上溯的行為，並非沒有例外。本實驗在 2000 年 7 月 8 日的啟德颱風過後，於白晝觀察到鰻苗上溯的情形，此時因颱風帶來大雨使得河水變得非常混濁，是否因能見度降低或流量變大改變影響鰻苗的上溯行為，值得進一步的探討，而這種白晝和夜間都有上溯的行為現象持續約 2~3 日後即恢復成白晝休息夜間上溯的行為模式。

二、冬季河內鰻苗極少上溯可能之原因

劉（1997）於秀姑巒溪出海口鰻苗來游數量調查發現，冬季有一波洄游的高峰群，然而 2000 年河內冬季上溯的鰻苗（圖五）卻非常稀少，可見大部分的鰻苗不會在冬季繼續上溯至上游。而根據本實驗室以往的調查發現，夏季初可在下游漁陷阱捕捉到為數不少體型較大的幼鰻，推測這些幼鰻可能是冬季來游的族群，在進入河口域之後，由於冬季溫度較低使得屬於熱帶鰻種的鱸鰻活動力降低，因此停留在河口域，待夏季另一波來游高峰群的到來，才一起上溯到上游。

三、不同月份溯河鰻苗色素頻度變動可能之原因

由圖十二 a 得知十月份溯河的鰻苗有明顯色素發育階段進入較後期的現象。相較於七、八月份的鰻苗，已經沒有 VB 期的樣本，且 VIA 與 VIA 期的樣本也佔極大的比例，分別為 17.6% 與 25.5%。而劉（1998）於秀姑巒溪出海口

收集鱸鰻苗，其色素發育頻率分佈各月份之間並沒有太大的差異，大多集中在 VA 與 VB 期；在日本鰻的研究也有相同的結果（曾，1982b）。因此，十月份溯河鰻苗色素發育階段進入較後期之原因，應該是鰻苗進入河口之後才形成的。

Bertin (1956) 研究指出鰻苗在河口域停留的時間越久，體表色素越多，色素發育階段就進入越後期（VIA → VIA₂）而十月份溯河鰻苗色素發育階段進入後期的情形，可能是因為鰻苗進入河口之後，在河口域停留較長的時間才開始上溯所造成的。因此我們將十月份溯河鰻苗的色素發育頻度與圖十二 b 進行比對，發現其色素發育頻度分佈與野外飼養 6~7 日的分佈十分相近，相較於七、八月份的溯河鰻苗，十月份溯河的鰻苗在河口多停留了 6~7 天的時間。

至於是何原因造成十月份溯河鰻苗在河口多停留 6~7 天，我們認為可能之原因如下：

- A. 在溫帶鰻（歐洲鰻、美洲鰻）的研究（Knights & White, 1997；Martin, 1995）指出，當水溫較低時鰻苗的活動力減低，隨著水溫逐漸升高，鰻苗的活動力逐漸增強而開始溯河。由表一得知秀姑巒溪水溫從九月份開始呈現下降的趨勢，氣溫在九月份也開始下降（圖七），而楊（1997）在七家灣溪的研究指出在夏季時不管是上游、下游或是支流的水溫，在夜間都會下降至幾乎是等溫，隨著白天升溫的開始，各河段的水溫值才出現差異，顯示在夏季時水溫的升溫過程，完全是由日照時間與輻射吸收量的累積來決定水溫上升的程度。因此，氣溫與水溫的變化應該會呈現相同的趨勢。而屬於熱帶鰻的鱸鰻可能因為水溫的下降，使得其活動力較為減弱，而在河口域停留較長的時間。
- B. 從河口域的周邊環境來看，秀姑巒溪河口中央有一座小島 - 奚普蘭島（圖一）。由於河口流速減慢的淤積現象，再加上東部海岸秋、冬兩季東北季風吹襲海浪將海砂推擠到海岸線，因此秀姑巒溪通常只維持單邊出海口的通暢，另一邊出海口則因淤積形成一封閉的水潭，只有在梅雨季或颱風降雨所帶來大量的雨水才有可能將出海口兩邊的淤沙同時衝開（蕭，1998）。由於出海口極為狹小，再加上秀姑巒溪的水量極為充沛，造成此處水流十分湍急，流速經常保持在 1.0~1.5 m/sec 之間（曾，1994），溯河的魚苗一旦進入河口之後，便無法在河海間洄游，只能限

定在河口內的水潭活動。在六、七月間鰻苗大量來游，短時間內會有數量極多的鰻苗由出海口進入河口，因生存資源、空間有限的情況下，對水潭內原來的鰻魚族群產生極大的生存壓力，迫使族群上溯遷移（劉，1998）。而九月份之後鰻苗來游族群大量減少，水潭內有足夠的空間與生存資源供鰻苗利用，鰻苗上溯的壓力減小，可能在河口停留較長的時間才開始上溯。

因此河水溫度開始下降與鰻苗上溯壓力減小，應該是造成十月份溯河鰻苗在河口多停留 6-7 天的主因。

四、鰻苗上溯速度之評估

Knights & White (1997) 指出歐洲鰻在不受潮汐影響的河段，其平均上溯速率為 $0.64 \pm 0.6 \text{ km/day}$ 。而先前並沒有研究對鱸鰻鰻苗做過相同的評估，因此我們嘗試利用本實驗所得之結果評估鱸鰻鰻苗的上溯速率。由圖十四之結果得知，鱸鰻鰻苗從出海口上溯至秀姑湫玉灘，花費約 6-8 天的時間。而 Tzeng (1984) 對日本鰻鰻苗染色標放的實驗指出，於河口捕捉到的鰻苗會在河口停留一天，以進行滲透壓調節而後才繼續往上游擴散。由此推測鱸鰻鰻苗從海中進入河內也會在河口停留一天，推算鱸鰻鰻苗從出海口至秀姑湫玉灘，實際游動時間約 5-7 天，而以出海口至秀姑湫玉灘約 2 km 的距離來計算，鱸鰻鰻苗平均上溯速率約為 $0.40-0.29 \text{ km/day}$ 。

五、鰻苗上溯最適流速

比對 McCleave (1980) 分析歐洲鰻（體長 7.2 cm），不能抵抗超過 50 cm/sec 的流速，與 Barbin (1994) 評估美洲鰻（體長 5.6 cm），不能抵抗超過 40 cm/sec 的流速。本地鱸鰻鰻苗全長分佈在 4.7-5.3 cm 之間，鰻苗上溯時若流速超過 30 cm/sec 時，上溯成功率即降到 50% 以下；而流速到達 37 cm/sec 成功率只剩 25%。推估鱸鰻鰻苗不能抵抗之流速應與全長相近之美洲鰻相似。

由圖十三、表三、表四與實際觀察結果歸納出鰻苗上溯利用之水域，有以下幾點特徵：

- A. 偏好利用水表進行上溯
- B. 偏好利用岸邊的水域進行上溯
- C. 不能抵抗流速超過 40 cm/sec 的水域

由於鰻苗利用岸邊之水域進行上溯，而岸邊的水域會受到邊壁對水流結構作用的影響，使得斷面上的水流產生劇烈的橫向交換作用，導致最大流速發生位置愈遠離液面，而河床附近之水流會感受到床面的起伏不平，而加劇水流的不穩定性（王，2000），而這些流速較高與水流不穩的區域，會妨礙鰻苗的洄游（張，1996），因此利用岸邊流速較緩之水表進行上溯為鰻苗偏好之選擇。

由本實驗得知鱸鰻鰻苗主要是夜間利用岸邊流速較緩之水表進行上溯，而白晝會躲在河邊底部為碎石的淺灘中休息，可見淺灘為鱸鰻在鰻苗時期最主要之棲息環境。當河川興建水庫、取水堰或因農作物區必須引水灌溉造成河川流量減少時，最早受影響的是以淺灘處為主要棲息場所的魚種（曾，1994），而淺灘與岸邊緩流處為鱸鰻鰻苗上溯重要之棲息環境，如何確保淺灘處能有符合水理條件的流量，應為鱸鰻棲地保育工作極重要的議題。

由於台灣河川中水庫及攔砂壩的興建日益增多，且河川內鱸鰻的數量日益減少，因此興建魚梯改善鰻苗的洄游環境極為重要。表四之鱸鰻鰻苗上溯成功率實驗指出，當流速超過 30 cm/sec 上溯成功率降到 50%，因此鰻魚梯之設計必須以此為考量，鰻苗才能有效的利用鰻魚梯上溯。台灣常見的溪魚，在體長 7.5 ~ 9.5 cm 之間，在流速 80 cm / sec 以下，溯河毫無問題（曾，2000），但是這樣之流速並不適合鰻苗利用，因此在設計鰻魚梯時必須整合其特殊之上溯行為加以利用，例如：鰻苗能攀爬潮濕物的表面與天然障礙物之裂縫等行為，提供填充攀爬媒質的管子使鰻苗通過，並將鰻魚梯附加在其他魚梯中（張，1996），則具有兩全其美之效果。

六、造成鰻苗來游時間延後之原因

本實驗在 2000 年於秀姑巒溪河內收集鰻苗來游週期的資料，然而長期性生物數量監控的數據得來不易，因此希望能將河內鰻苗上溯週期的數據轉換成當年出海口鰻苗來游週期的數據，以便和劉（1998）於秀姑巒溪出海口

收集到鰻苗來游數量的資料進行比較。

要進行出海口與河內鰻苗資料的轉換，我們必須計算出鰻苗從出海口上溯到漁陷阱所需的時間，再利用河內鰻苗的週期回推當年出海口鰻苗來游的週期。但是我們要如何才能知道鰻苗需要花多少時間在這段旅程呢？可以從下列幾個方面著手：

- I. 在同一時間區間同步收集出海口與河內鰻苗來游的數量，比較兩者週期差異的天數。
- II. 利用鰻苗上溯的速率，配合出海口到河內觀察點的距離，即可得知所需的時間。
- III. 於出海口釋放標定之鰻苗，觀察上游漁陷阱何時出現標定之鰻苗。
- IV. 比較出海口與河內鰻苗耳石的日週輪，計算相差的輪數。

由於鰻苗的標定不易，耳石日週輪的計算極為耗時，因此我們採取同一時間區間，比較出海口與河內鰻苗來游數量週期差異天數，來推算鰻苗從出海口上溯到漁陷阱所需的時間。圖十四的結果顯示鰻苗從出海口上溯至秀姑湫玉灘，花費約 6 ~ 8 天的時間。從出海口至秀姑湫玉灘約有 2 km 的距離，若比對歐洲鰻平均上溯速率 $0.64 \pm 0.6 \text{ km/day}$ (Knights & White, 1997)，必須花費四天才能從出海口到達秀姑湫玉灘，而鱸鰻的體型較歐洲鰻為小，且鰻苗在進入河口之後必須停留一段時間，調節滲透壓與色素形成，而後才繼續上溯。因此鱸鰻鰻苗從出海口上溯至秀姑湫玉灘，花費約 6 ~ 8 天的時間應為合理之推估。

由圖十五顯示 1997 年 (劉, 1998) 出海口鰻苗開始大量來游的時間是在五月份，根據圖十四之結果與 2000 年河內鰻苗上溯之時間，推算當年出海口鰻苗大量來游之時間比 1997 年晚了約 22 ~ 24 天。我們對此提出三種假說：

- A. 假說一：1997 年的水溫偏高使得鰻苗提早上溯

於溫帶鰻種的研究指出 (Deelder, 1958 ; Gascuel, 1986 ; Sloane, 1984 ; Sorensen, 1951)，存在一門檻溫度，當河水水溫超過 10 ~ 11 時鰻苗即開始上溯。圖七氣溫資料顯示 1997 年 5 月份月均溫較 2000 年為高，由於氣溫與水溫同樣受到日照的影響 (楊, 1997)，因此兩者之變化應該呈現相同的趨勢。再參考表一環保署季調查單筆水溫資料同樣顯示 1997 年五月份的水溫高於 2000 年。若熱帶鰻種的鱸鰻也存在一上溯門檻溫度，則此假設成立。

B. 假說二：對新月潮汐週期之等待造成鰻苗來游時間之差異

由圖十九的結果可知鰻苗的上溯週期受到新月潮汐週期極大的影響，其在新月潮汐週期會有大量上溯的情形，而在滿月潮汐週期則幾乎不會有鰻苗上溯。若鰻苗到達台灣的時間在滿月潮汐週期剛開始時，則鰻苗會在出海口等待新月潮汐週期來臨，而這段等待的時間最長可達 15 天，因此對新月潮汐週期之等待，最多造成鰻苗來游時間 15 天的差距。

C. 假說三：聖嬰現象造成海水溫度變動，使得產卵時間隨之變動

每次的聖嬰現象（El Niño-Southern Oscillation）使全球的洋流、氣溫和季風的改變程度強弱不一致，其中 1963、1972、1982、1991、1997 年是較熱且乾燥的，而 1968、1976、1986 年是較弱且濕冷的（Wang et al., 1999；許，1998）而 1997 年剛好位於聖嬰年的時候，有可能因聖嬰年造成海水溫度變動，使得產卵時間隨之變動，而造成 2000 年與 1997 年鰻苗來游時間的差距。

劉（1998）的研究顯示，鱸鰻鰻苗在出海口冬季也會有上溯高峰群，而冬季的水溫遠低於五月份的水溫（表一），因此熱帶鰻種的鱸鰻應該不存在上溯門檻溫度。而鱸鰻鰻苗在滿月潮汐週期幾乎不上溯（圖十八）。因此，我們認為造成不同年度鱸鰻鰻苗來游時間變動最有可能之原因，應為對新月潮汐週期之等待與產卵時間變動，共同影響所造成的結果。

七、傅利葉轉換在生物週期分析之應用

一般我們使用時間序列（time series）分析，將生物的數量變化分解為季節性（ SN_t ）、年趨勢性（ TR_t ）、長期趨勢（ CL_t ）與不規則性（ IR_t ）等因子，來瞭解生物週期性變動的情形，然而趨勢性預測會因一些局部的變動未完全消除，而造成相關係數很低，而無法分析其週期性。因此我們利用傅利葉轉換進行生物週期分析，以期能解決部分的問題。

透過電腦模擬鰻魚來游週期傅利葉轉換頻譜特徵（附圖一 六），發現利用傅利葉轉換進行生物週期分析具有下列優點：

- A. 在觀察生物週期訊號，傅利葉轉換可完整呈現訊號的頻譜特徵，而不會因訊號中各個波型相互疊加，而影響我們對生物週期性訊號的觀察，而無法看出其潛在的週期性。
- B. 若生物週期訊號其取樣點有所遺失，透過傅利葉轉換依然可完整呈現訊號的頻譜主要特徵，只會使得主要頻率強度減弱（其減弱的幅度與減弱的主要頻率視取樣點遺失多寡與遺失的位置而定），與在主要頻率兩側呈現強度依次遞減的次要頻率，然而這樣的情況並不影響我們對週期性訊號的觀察。
- C. 若我們收集的生物週期訊號，受到其他因素的干擾例如人為誤差、環境因子變化等，使得我們無法從時域的訊號觀察其週期性，則我們可以用傅利葉轉換將時域的訊號轉換成頻域的訊號，則其訊號的頻譜特徵則可完整的呈現，不會受到其他因素造成波動的干擾。

由以上幾點我們認為傅利葉轉換將資料轉換成頻域的訊號，使其變得較容易觀察與分析，非常適合用來進行生物週期的分析。

以下則是本實驗以秀姑巒溪上溯鱸鰻苗為例，利用傅利葉轉換分析不同年度鰻苗上溯週期，經由傅利葉轉換 1997 年與 2000 年的上溯數量紀錄（圖十七），發現兩年度間其主要頻率分佈有許多相似之處。進一步將 1997 年的頻譜放大 4.5 倍再比較（圖十八），發現兩年度之頻譜在強度與頻率位置分佈完全重疊。而圖二十六是將新月潮汐週期進行傅利葉轉換，再與鰻苗上溯數量傅利葉轉換頻譜比較，發現兩者之間主要頻率的位置完全吻合，而新月潮汐週期呈現月週期性，由此證明鰻苗的上溯月週期受到新月的潮汐週期影響極大。此例子顯示傅利葉轉換在生物週期問題上，可以提供一個極佳的分析方法。

八、環境因子對鰻苗上溯之影響

我們將潮差、氣溫、流量等環境因子，對鰻苗上溯數量進行複回歸分析。結果發現潮差對鰻苗上溯數量變化的相關性最高（ $P < 0.001$ ），其他因子則不具相關性（ $P > 0.1$ ），且圖十九之結果也顯示，鰻苗上溯數量與新月潮汐週期的傅利葉轉換頻譜，其主要頻率的位置完全吻合。再比對過去的研究也顯示（Tesch, 1977；

McCleave & Kleckner, 1982 ; Gandolfi et al. 1984 ; Tzeng, 1985) 鰻苗會藉由潮汐的輸送進入河川之中，可見潮汐為影響鰻苗上溯數量變化最主要的環境因子。

雖然 Haro & Krueger (1988) 於美洲鰻的研究認為河川緩流區的增加，造就適合鰻苗上溯的環境，使得鰻苗大量的上溯。但是，鱸鰻鰻苗大量上溯的季節（6、7、8 月），為秀姑巒溪全年流量最高的時候（圖八），似乎流量的增加並不會影響鱸鰻鰻苗的上溯行為。在義大利將淡水引入鹹淡水區來大量誘捕鰻苗，這種方法自古以來就被使用，這是一種利用鰻魚趨淡水性的漁法，即在距岸 10 哩的地方，使鰻苗感到淡水將它誘至淡鹹水區，進而誘入河川中。鰻苗趨淡水性，是由於變態時甲狀腺的分泌使身體大大縮小，而反覆引起強烈脫水作用的生理結果（郭，1994）。秀姑巒溪夏季流量的增高，使得淡水大量流入海中，是否反而誘使鱸鰻鰻苗大量上溯，則有待進一步的研究。

過去 Tzeng（1985）的研究指出，在新月或滿月時日本鰻鰻線的漁獲量特別高，在上弦月或下弦月時漁獲量幾乎等於零，而潮汐的大小又與月齡有關，在新（滿）月後 2~3 天的潮差最大，稱之為大潮。上（下）弦月時潮差最小，稱之為小潮。而本研究結果指出鱸鰻鰻苗的溯河量，與新月的潮汐週期有極大的相關性，且兩者的傅利葉轉換頻譜主要頻率位置完全吻合（圖十九）。鱸鰻鰻苗在滿月溯河數量幾乎為零，而在新月轉換至上（下）弦月之間則有少量上溯。由前面之描述發現在滿月時鱸鰻鰻苗幾乎不會上溯，而日本鰻鰻苗則有一波上溯高峰，推測可能是鱸鰻較日本鰻對光的感受性為大，而在上弦月轉換至滿月時，雖然潮汐逐漸增強但是月光投射的亮度也逐漸增大，鱸鰻鰻苗因而停止其上溯的行為。這樣的行為於部分夜行性動物的研究也有相同的結果，例如：林（1995）對夜行性動物刺鼠的研究指出，其夜間活動量及活動模式受到月亮的影響，在月光最強（滿月）的時期有降低活動的現象。

綜觀上述我們認為新月潮汐週期為影響鱸鰻鰻苗上溯數量變化最主要的環境因子，而流量、氣溫、月光強度等環境因子應為限制因子。

伍、結論

一、河水溫度開始下降與鰻苗上溯壓力減小，應該是造成十月份溯河鰻苗在河口多停留 6~7 天的主因。

二、鰻苗上溯利用水域之特徵

- A. 偏好水表
- B. 偏好岸邊
- C. 不能抵抗流速超過 40 cm/sec 的水流

三、不同年度鱸鰻苗來游時間變動最有可能之原因：新月潮汐週期之等待與產卵時間變動，共同影響所造成的結果。

四、影響鱸鰻苗上溯數量變化，最主要的環境因子為新月潮汐週期，限制因子為流量、氣溫、水溫、月光強度等因子。

陸、引用文獻

中文部分

- 王世冠（1998）傅氏紅外光譜在環境分析上之應用。行政院環保署環境檢驗通訊雜誌第十九期。
- 王佳惠（1996）耳石的微細構造及微化學在美洲鰻及歐洲鰻的初期生活史上之應用研究。國立台灣大學漁業科學研究所碩士論文，73 頁。
- 王傳益（2000）湍流水利特性之研究。國立中興大學土木工程研究所博士論文，160 頁。
- 中坊徹次編（1993）日本產魚類檢索。東海大學出版會，東京，156 頁（日文）。
- 石再添、張瑞津、林雪美（1987）台灣地區十五條河川理論水利蘊藏量及地表逕流係數研究。師大地理系地理研究叢書第十四號，213 頁。
- 丘臺生（1999）台灣的仔稚魚 海洋生物本土性教材（二）。國立海洋生物博物館籌備處出版，296 頁。
- 阮昌銳（1969）大港口的阿美族（上冊）。中央研究院民族科學研究所專刊之十八，193 頁。
- 吳家福（2000）東北角雙溪河口魚類週期性變動之研究。國立清華大學生命科學系碩士論文，163 頁。
- 吳明進（1994）台灣的氣溫和降水之長期變化。科學月刊，2：122-126。
- 吳明進、吳珊珊（2000）概說氣候變遷。科學月刊，5：382-388。
- 李定安、彭鏡洲（1977）世界捕魚大觀。徐氏基金會出版，台北，168 頁。
- 李玲玲（2000）氣候變遷對動物生態的衝擊。科學月刊，5：394-399。
- 沈世傑等編（1993）台灣魚類誌。台灣大學動物學系印行，台北，960 頁。
- 沈康寧（1997）兩棲洄游型蝦虎魚日本禿頭鯊的初期生活史及加入動態之研究。國立台灣大學漁業科學研究所碩士論文，84 頁。
- 祁忠勇（1994）FFT 與訊號處理簡介。數學傳播，18(4):18-21。
- 林立元（2000）河川生態調查與正常流量之研究 以頭前溪為例。經濟部水利處水利規劃試驗所，126 頁。
- 林宗穎（1995）霧頭山保護區刺鼠活動模式之研究。國立中山大學生命科學研究

所碩士論文。

- 林曜松、梁世雄（1996）淡水魚資源調查手冊。行政院農業委員會，181 頁。
- 洪明仕（1993）南澳溪直額絨螯蟹族群動態及生物學研究。國立台灣海洋大學漁業研究所碩士論文，67 頁。
- 胡露奇（1979）以耳石研判鱸鰻的年齡。中國水產，324：12-13。
- 徐義人（1995）應用水文學。大中國圖書公司出版，780 頁。
- 張至維、曾萬年（1996）鰻魚梯（eel pass）設計之回顧。中國水產，519：47-56。
- 張嵐（1997）2D 腦波分析專題報告。國立台灣大學電機工程學系。
- 許晃雄（1998）冰雹、聖嬰現象與氣候變遷。全球變遷通訊，17：28。
- 郭河（1994）養鰻透視。水產出版社，232 頁。
- 曾萬年（1982a）記台灣新紀錄之西里伯鰻鰻線。生物科學，19：57-66。
- 曾萬年（1982b）鰻線來游之變動與潮汐週期之關係。生物科學，20：15-31。
- 曾萬年（1983）台灣產鰻線之種類識別及其生產量。中國水產，366：16-23。
- 曾萬年（1991）日本鰻初期生活史及產卵場新假說。中國水產，466：5-12。
- 曾萬年（1997）鰻魚的初期生活史及種苗生產——柳葉魚的攝食生態。臺大漁推，9：9-18。
- 曾晴賢（1994）秀姑巒溪河川資源保育及利用之研究。交通部觀光局東部風景特
定區管理處印行，78 頁。
- 楊正雄（1997）水溫對櫻花鉤吻鮭族群的影響，國立清華大學生命科學研究所碩士論文，76 頁。
- 劉傑倫（1998）台灣東部秀姑巒溪鱸鰻初期生活史。私立輔仁大學生物學研究所碩士論文，61 頁。
- 蕭仁傑（1998）秀姑巒溪洄游性蝦虎魚初期生活史與資源量。國立清華大學生命科學研究所碩士論文，58 頁。
- 顏林文（1996）利用筆劃傳利葉轉換之特徵做中文印刷字體辨識。國立中央大學資訊工程研究所碩士論文。
- 謝信良（1999）潮汐表 Tide Table 2000。交通部中央氣象局，206 頁。

英文部分

- Arai, T., T. Otake, D. Limbong and K. Tsukamoto (1999) Early life history and recruitment of the tropical eel *Anguilla bicolor pacifica*, as revealed by otolith microstructure and microchemistry. Mar. Biol., 133:319-326.
- Barbin, G. P. and W. H. Krueger (1994) Behaviour and swimming performance of elvers of the American eel, *Anguilla rostrata*, in an experimental flume. J. Fish Biol., 45:111-121.
- Bertin, L. (1956) Eels, a biological study. London : Cleaver-Hume Press Ltd., 192pp.
- Budimawan (1997) The early life history of the tropical eel *Anguilla marmorata* (Quoy & Gaimard, 1824) from four Pacific estuaries, as revealed from otolith microstructural analysis. J. Appl. Ichthyol., 13:57-62.
- Castle, D. H. J. and G. R. Williamson (1974) On the validity of the freshwater eel species, *Anguilla ancestralis* Ege, from Celebes. Copeia., 2:569-570.
- Castonguay, M. and J. D. McCleave (1987) Vertical distributions, diel and ontogenetic vertical migrations and net avoidance of leptocephali of *Anguilla* and other common species in the Sargasso Sea. J. Plankton Res., 9:195-214.
- Cheng, P. W. and W. N. Tzeng (1996) Timing of metamorphosis and estuaries arrival across the dispersal range of the Japanese eel *Anguilla japonica*. Mar. Ecol. Pro. Ser., 131:87-96.
- Ciccotti, E., T. Ricci, M. Scardi, E. Fresi and S. Cataudella (1995) Intraseasonal characterization of glass eel migration in the River Tiber :space and time dynamics. J. Fish Biol., 47:248-255.
- Deelder, C. L. (1958) On the Behaviour of elvers (*Anguilla vulgaris* Turt.) migrating from the sea into fresh water. Cons. Int. Explor. Mer., 24:135-146.
- Ezzat, A. and S. El-Serafy (1977) The migration of *Anguilla anguilla* L. in the Mex canal, Alexandria, Egypt. J. Fish Biol., 11:249-256.
- Gandolfi, G., M. Pesaro and P. Tongiorgi (1984) Environmental factors affecting the ascent of elvers, *Anguilla anguilla* (L.), into the Arno River. Oebalia, 10:17-35.
- Gascuel, D. (1986) Flow-carried and active swimming migration of the glass-eel (*Anguilla anguilla*) in the tidal area of a small estuary on the French Atlantic coast. Helgol. Meeresunters., 40:321-326.
- Haro, A. J. and W. H. Krueger (1988) Pigmentation, size, and migration of elvers (*Anguilla rostrata*(Lesueur)) in a coastal Rhode Island stream. Can. J. Zool., 66:2528-2533.

- Kajihara, T. (1988) Distribution of *Anguilla japonica* leptocephali in western Pacific during September 1986. Nippon Suisan Gakkaishi., 54(6):929-933.
- Kleckner, R. C. and J. D. McCleave (1988) The northern limit of spawning by Atlantic eels (*Anguilla sp.*) in the Sargasso sea in relation to thermal fronts and surface water masses. J. Mar. Res., 46:647-667.
- Knights, B. and E. M. White (1997) Dynamics of upstream migration of the European eel, *Anguilla anguilla* (L.), in the Rivers Severn and Avon, England, with special reference to the effects of man-made barriers. Fish. Manage. Ecol., 4:311-324.
- Lecomte-Finiger, R. (1992) Growth history and age at recruitment of European glass eels (*Anguilla anguilla*) as revealed by otolith microstructure. Mar. Biol., 114:205-210.
- Martin, M. H. (1995) The effects of temperature, river flow, and tidal cycles on the onset of glass eel and elver migration into fresh water in the American eel. J. Fish Biol., 46:891-902.
- McCleave, J. D. (1980) Swimming performance of European eel (*Anguilla anguilla* (L.)) elvers. J. Fish Biol., 16:445-452.
- McCleave, J. D. and R. C. Kleckner (1982) Selective tidal stream transport in the estuarine migration of glass eels of the American eel (*Anguilla rostrata*). Cons. Int. Explor. Mer., 40:262-271.
- Schmidt, J. (1925) The breeding places of the eel. Rep. Smithson. Instn. 1924:279-316.
- Schoth, M. and F. W. Tesch (1982) Spatial distribution of O-group eel larvae (*Anguilla sp.*) in the Sargasso Sea. Helgol. Meeresunters., 35:309-320.
- Sloane, R. D. (1984) Invasion and upstream migration by glass eels of *Anguilla australis australis* Richardson and *A. reinhardtii* Steindachner in Tasmanian freshwater streams. Aust. J. Mar. Freshw. Res., 35:47-59.
- Sorensen, I. (1951) An investigation of some of the factor affecting the upstream migration of the eel. Rep. Inst. Freshw. Res., 32:126-132.
- Tesch, F. W. (1977) The eel. Biology and Management of anguillid eels. Chapman and Hall press, London.
- Tsukamoto, K. (1992) Discovery of the spawning area for Japanese eel. Nature, 356(6372): 789-791.
- Tzeng, W. N. (1984) Dispersal and upstream migration of marked anguillid eel, *Anguilla japonica*, elvers in the estuary of the Shuang River, Taiwan. Bull. Jpn.

- Soc. Fish. Oceanogr., 45:10-20.
- Tzeng, W. N. (1985) Immigration timing and activity rhythms of the eel, *Anguilla japonica*, elvers in the estuary of northern Taiwan, with emphasis on environmental influences. Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr, 48:11-28.
- Voorhis, A. D. and J. B. Hersey (1964) Oceanic thermal fronts in the Sargasso Sea. J. Geophys. Res., 69:3809-3814.
- Wang, H. J., R. H. Zhang, J. Cole and F. Chavez (1999) El Niño and the related phenomenon Southern Oscillation (ENSO): The largest signal in interannual climate variation. PNAS. 96(20):11071-11072.