

肆、討論

(一) 石岡壩魚道內物種組成

將魚道內的物種與其他 3 個樣站的資料作相似度比較，6 個 SSC 值中，相似度最低的值為長庚橋一副壩下 0.73，其他值在 0.78 到 0.85 間，相當接近，表示上下游 4 個樣站間採集到的物種相近。而長庚橋一副壩下 SSC 值最低的原因，是因為長庚橋發現物種 30 種，副壩下只有 22 種，副壩下的發現物種遠少於長庚橋。此外，4 個樣站中副壩下發現的種數最少。推測副壩下發現的種類數偏低，是由於 2006 年副壩下進行修復工程，導致棲地劇烈變化，且工期長達一年，生物無法穩定的生存而回復其數量。而原先在這河段中族群數量偏低的物種，更不容易生存。

本研究中採集到 3 種文獻記載中為洄游性的魚類，分別為白鰻、鱸鰻與溪鱧，雖然因採集到的數量極少，無法進一步討論其利用魚道的情形。但比較前人研究大甲溪的生態資料（詹等 1993；張 1994；Chang *et al.* 1999；民翔 2003；汪 2006；曾 2006），比較之間差異性，分述如下。

a. 白鰻與鱸鰻

張 (1994)、Chang *et al.* (1999) 在 1989 年至 1992 年以電魚法採集，4 年內在石岡壩附近未採集到鱸鰻，僅在石岡壩下游河段採集到白鰻。詹等 (1993) 在 1992 與 1993 年間以手抄網與蝦籠誘捕，在大甲溪河口採集到白鰻，且在石岡壩下游觀察到鱸鰻。近年來，曾 (2006) 在石岡壩下游埤豐橋以及魚道內（民翔 2003）也曾採集到白鰻與鱸鰻。

b. 溪鱧

張 (1994)、Chang *et al.* (1999) 研究中未發現溪鱧，詹等 (1993) 的研究僅在大甲溪下游豐洲以下發現溪鱧，數量極少。而民翔 (2003)、汪 (2006) 也未在石岡壩附近調查到。

王 (2002) 的研究中曾提及，屬周緣性淡水魚 (peripheral division freshwater fishes) 之洄游性魚種在國外常做為河川污染整治成功指標性魚種，或作為該河川是否受嚴重污染之指標。在大甲溪最下游水庫的魚道中，能發現上述 3 種河海洄游性魚類，且白鰻與溪鱧這兩種為不耐污染之物種。且河川魚類指標物種台灣鏟頰魚及台灣石鱸的出現，顯示大甲溪污染的情形介於未受污染至輕度污染之間

(王 2006)。由以上兩點表示十幾年來大甲溪河川狀況尚屬良好，使河海洄游型物種以及不耐污染物種可順利游至石岡壩。本研究中所採樣的水質資料 (表 4) 與行政院環境保護署大甲溪水質監測站的紀錄 (曾 2006) 也顯示出水質只有輕微污染的趨勢。

台灣間爬岩鰍、高身小鰾鰻、明潭吻蝦虎魚、埔里中華爬岩鰍、台灣石鱚、粗首鱚、台灣鰍、大和沼蝦與粗糙沼蝦這九種物種的數量，均佔全年數量 1% 以上，進行統計分析比較有意義。且在前人調查中，在石岡壩附近皆有發現這些物種 (詹等 1993；張 1994；Chang *et al.* 1999；民翔 2003；汪 2006；曾 2006)，因此具有較重要的生態比較意義，將在下一節中討論。

各月份物種類數方面，10 個月的採集裡，除 6 月曾高達 18 種外，其他均在 10 到 13 種之間。然而，6 月的生物總個體數量為 301 隻，就全年採集數量上來並不高 (圖 9)，但 6 月為全年進水量與河道放流量最多的時期 (圖 33，表 5)。推測由於進水量與河道放流量最高，使得流域面積 (生存空間) 增加，且因流量增加棲地的多樣性也增加，所以這段時間內的物種多樣性也增加。但是因流量大，導致副壩與埤豐橋上游的落差對生物阻隔情形更嚴重，族群中只有少數個體能上溯至上游處，所以在 6 月會有種類數最多但數量相對較低的情形。

在歧異度與均勻度方面，歧異度代表個體數在物種間分布的均勻程度 (Evenness of abundance)。一般而言歧異度之變動與種類數和個體數的多寡有關，當生物種類越多樣並均勻的分布在各種物種裡時，就可產生較高的歧異度值。所以歧異度值高表示族群結構較佳，低則表示族群結構過於單純化，存在優勢種，或者環境受到污染或破壞，對環境變化較敏感的物種，數量因此減少甚至消失，亦可能跟捕捉時間、魚類繁殖、氣候和水量等變因相關 (林等 1996；吳 2000)。

在 2006 年於石岡壩魚道內採集的結果顯示，物種呈現的歧異度與均勻度數值接近一致 (圖 8)，1 月、2 月、3 月、8 月、9 月較低 (皆低於 0.5)。對於歧異度與均勻度低的情形。是由於這五個月內，台灣間爬岩鰍所佔比例分別高達 91%、87%、91%、71%、84%，種類組成結構過於單純化之故。

由 4 個樣站的 SSC 數值接近，表示大部分在另外 3 個樣站中發現到的物種，在石岡壩魚道內也可以發現到。但 PSC 值較低的情形，顯示魚道內生物種類組成有單純化的現象，且屬於洄游性的白鰻與鱸鰻出現的次數極少 (原魚道規劃對象魚種為鰻鱺科魚類 (曾 2006))。這些情形將在本章第三節部分繼續討論。

(二) 石岡壩魚道內生物利用魚道的時間

由魚道內與 3 樣站的生物個體總數顯示，生個體總數在冬季為多，夏季最少。這表示若在不特別區分物種的條件下，生物利用魚道洄游的情形，冬季高於夏季，生物總數量最少的季節與颱風吻合。且研究中發現生物個體總數與河道流量的對數值呈負相關性 (圖 34)，表示生物個體總數會受水量影響，而水量的大小與季降雨有關，因此生物利用魚道的時間會呈季節性變化。

對於生物在夏季利用魚道洄游機會較小的情形。Han *et al.* (2000) 的研究曾觀察到，台灣南部的高身鏟頰魚幼魚皆出現在 10 月到隔年 2 月間，此時為非洪水時期。在雨季過後產卵，可避免一些生態上的不利條件。首先可以避免在雨季時水量大導致幼魚被洪水沖走。而冬季與春季水量穩定，提供一段很長的穩定時間使幼魚不受水量影響的成長。邱 (2001) 在七家灣溪的研究發現，颱風造成的豪雨對台灣鏟頰魚仔稚魚有嚴重影響，雨量越大將影響到更大體長的仔稚魚。而其他類似的研究也觀察到台灣本土魚類有相同的現象 (Fang *et al.* 1993；Wang *et al.* 1995)。

而這些現象主要由於台灣地形起伏極大，河流短而坡度陡急，夏季又常有颱風侵襲，河水水量容易受颱風影響，颱風一來河川棲地受嚴重影響而遽變，導致原適合魚類棲息的環境消失 (Tew *et al.* 2002；Wu and Kuo 1999)。且颱風過境時，暴漲的溪水除了造成水文因子的急劇變化外，夾帶大量的泥沙將溪中的藻類及水生昆蟲幾乎刮蝕殆盡，造成魚類食物缺乏 (陳與方 1999)。大甲溪在豐水期颱風來臨時水量變化量極大 (圖 33、表 5)，洄游生物可能因此避免在夏季進行洄游，因而在魚道內發現的生物數量，夏季明顯偏低。

而除了月份與生物總數量的關係之外，各物種若在某時期有密集使用魚道的現象，將這現象與上下游樣站的資料互相比較，將顯示出生態意義，分論如下。

埔里中華爬岩鰍屬於初級淡水魚，為底棲性魚類，偏好生活在低海拔水流湍急的溪流中 (李與于 2005)。本研究發現埔里中華爬岩鰍數量在 10 月與 12 月有突然增加的現象 (圖 11)，且觀察體長頻度分布圖 (圖 16)，9 月開始有小型族群加入。曾 (2005) 在濁水溪集集攔河堰魚道之調查時發現，埔里中華爬岩鰍在 8 月至 11 月間密集的使用魚道進行上溯，而埔里中華爬岩鰍也是使用該魚道的主要生物。大甲溪與濁水溪皆屬於台灣西部的主要河川，在這兩條河流中皆發現埔

里中華爬岩鰍在相同時間有同樣的上溯行為，顯示埔里中華爬岩鰍的族群有季節性（週期性）且規律性的變化，因此可確定埔里中華爬岩鰍為河川洄游性物種。

台灣間爬岩鰍屬於初級淡水魚，為底棲性魚類，喜好棲息於河川中、上游湍急而高溶氧的水域中。本研究發現台灣間爬岩鰍數量在 9 月至 12 月有突然增加的現象（圖 11），觀察體長頻度分布圖（圖 23），6 月開始有小型個體加入，但數量極少，8 月開始小型個體增加，形成新加入群。加入 3 個樣站的採集數據，台灣間爬岩鰍的數量在 10 月至隔年 4 月間大量增加。在 2005 年冬季的長庚橋、石岡壩副壩下、埤豐橋，與 2006 年冬季的魚道內皆有大量上溯的情形，顯示這台灣間爬岩鰍的族群有季節性（週期性）且規律性的變化，因此可將台灣間爬岩鰍歸類為河川洄游性物種。

台灣鰍屬於初級淡水魚，為底棲性魚類，喜好棲息在溪流中、上游的湍急河段。張（1989）在有勝溪的研究中發現，台灣鰍（該研究中記載為台灣纓口鰍）生長季節為 7 月至 10 月。本研究發現台灣鰍數量在 10 月與 12 月有突然增加的現象（圖 11），且觀察體長頻度分布圖（圖 19），9 月開始有小型族群加入，隨著時間有逐漸成長的情形。而本研究發現台灣鰍大量增加的時期，與同屬平鰭鰍科的埔里中華爬岩鰍及台灣間爬岩鰍相近，秋季至冬季初期皆有大量族群上溯的情形，而這 3 種魚類的生態習性類也相近，因而推測台灣鰍可能也是河川洄游性物種。

高身小鰮鰻屬於初級淡水魚，喜歡棲息在淺瀨、深潭及潭頭的河床石礫上。比對曾（2006）在長庚橋、副壩下與埤豐橋的採樣，該 3 樣站的高峰期皆為 2005 年 7 月至 9 月，與 2006 年 3 月至 6 月，顯示高身小鰮鰻大量出現的季節為夏季。但本研究發現高身小鰮鰻在 2006 年 10 月至 12 月間，在魚道內有明顯的高峰，與其他 3 樣站的分布情形不同，這現象可待日後有更多的生態資料後再進行討論。

粗首鱻屬於初級淡水魚，喜歡棲息在河川中下游及溝渠中。比對 3 樣站的採樣。顯示魚道內在 4 月份與長庚橋在 2 月至 6 月間，有大發生現象，而在副壩下與埤豐橋，粗首鱻大量出現的期間為 3 月至 6 月間，推測粗首鱻會選擇在夏季颱風來臨前進行上溯，避開洪水期。

大和沼蝦屬於河海洄游性物種，比對 4 個樣站的資料，在 1 月至 4 月間有大量出現的情形。粗糙沼蝦在 12 月至 6 月有大量出現的情形，較特殊的一點，在

長庚橋樣站 7 月時有大量出現的情形。比對兩種沼蝦，發現大和沼蝦在石岡壩以上的長庚橋出現的數量極少，而粗糙沼蝦在埤豐橋出現的數量極少，兩物種在長庚橋與埤豐橋似乎有分布的區隔。初步推測為石岡壩主壩對這兩種物種造成了阻隔，屬河海洄游物種的大和沼蝦無法上溯至石岡壩上游，非洄游型的粗糙沼蝦受到阻隔而無法順利的向下游擴展其族群。

其他 2 種在魚道內發現的主要物種，台灣石鱚、明潭吻蝦虎魚，與其他 3 樣站的資料比對後，大量發生的情形並不明顯。這 2 種物種的分布現象，有待累積更多採集資料後進行討論。

而綜合上述 7 種主要魚種的出現情形，大甲溪下游的水生生物主要利用魚道的時間為冬季至春季，次要利用時間為春季至夏季初期颱風來臨前。

(三) 石岡壩魚道的效益

大甲溪的洄游生物從埤豐橋至長庚橋之間，總共會遇到三個天然或人為的障礙。首先，埤豐橋上游右岸 100 公尺處有一個高約 5 公尺的落差（圖 3），這是因九二一大地震時，車籠埔主斷層切過大甲溪河床所致。此落差在豐水期時形成高瀑，流速湍急，造成魚類上溯之一大阻礙。第二個障礙為石岡壩副壩（圖 4），副壩的落差高達 7 公尺，同時都是以水泥鼎塊構築而缺乏可供魚類利用的洄游機能，造成嚴重的瓶頸障礙。第三個障礙則為石岡壩主壩。

為了解這三個障礙對大甲溪的洄游生物的阻隔情形，將長庚橋、魚道、副壩下與埤豐橋樣站全年的生物組成比例、歧異度、均勻度以及相似度進行比較。

全年生物組成比例上（圖 41），比較 4 樣站間的年組成比例圖，顯示魚道的生物組成比例單純化情形最嚴重，存在單一物種佔全年比例超過 60%，其次為副壩下。顯示埤豐橋上游的落差以及副壩對生物組成比例產生影響。

歧異度方面（圖 42），長庚橋與埤豐橋的數值高達 0.93 與 0.92，其次是副壩下 0.78，魚道最低 0.65。均勻度方面（圖 43），長庚橋與埤豐橋均勻度皆為 0.63，其次是副壩下為 0.58，魚道最低為 0.44，石岡壩魚道的歧異度與均勻度值在 4 個樣站中皆是最低。推測是魚類由埤豐橋上溯時，首先遇到埤豐橋上游的落差，使得游泳能力較差的物種無法上溯，因此在副壩下的歧異度與均勻度變低。而生物再進行上溯時，又受到副壩影響，使游泳性較差的魚類無法上溯，而上溯能力較好的台灣間爬岩鰍因此成為優勢種，因此歧異度與均勻度降至更低。而長庚橋

與埤豐橋屬於天然棲地環境，所以其異度與均勻度皆較高。

相似度方面 (表 6)，PSC 值可量化表示出生物組成比例的差異。長庚橋—石岡壩魚道的 PSC 為 0.35，石岡壩魚道—石岡壩副壩下 PSC 為 0.73，石岡壩副壩下一埤豐橋的 PSC 為 0.66，4 個樣站中最上游的長庚橋與最下游的埤豐橋間 PSC 為 0.49，這 4 個 PSC 值差異極大。其中，長庚橋—魚道的 PSC 最低，且遠低於石岡壩魚道—埤豐橋與石岡壩魚道—副壩下的值。顯示長庚橋—魚道存在極大的阻隔，使得相似度指數降至最低。

綜合 4 種數值皆表示，長庚橋與埤豐橋的河段中，石岡壩主壩對洄游生物影響的情形最嚴重。而在進行魚道的調查時，也發現魚道出口流速過高以及常有堵塞的現象，上溯的魚類無法經由魚道上溯到上游的天然河道中。且在長庚橋以上未發現白鰻 (民翔 2003；汪 2006；曾 2006)，也說明了魚道未達到原先設計主要供鰻鱺科魚類使用的目的。而除了石岡壩主壩，副壩與埤豐橋上游的落差對生物組成比例的影響也相當大。

由以上 4 個樣站間彼此的關係顯示，埤豐橋至石岡壩之間河段對洄游生物有嚴重的阻隔情形。解決的方法除了立即改善這三個障礙對於洄游生物的阻隔，也必須進行長期的魚道監測。了解魚道是否有發揮正常的功能，與改善的方法是否達到作用，也可以就監測數據改進管理以及操作方式，使得魚道發揮最大的效益。

(四) 氣候變遷影響洄游生物的分布

除了河川污染與魚道的功能不彰會影響洄游生物的分布之外，氣候的變遷也將直接或間接影響洄游生物。如大甲溪上游的櫻花鉤吻鮭受防砂壩阻隔，使成魚無法上溯到溫度較低的地區產卵，造成孵化卵高死亡率，影響族群量 (楊 1997)，而全球暖化將使台灣櫻花鉤吻鮭必須上溯到更上游的地方產卵，直接影響其族群分布。而這些現象必須長期觀察，利用觀察得到的資料找出因應的措施 (白等 2006)。因此，為了減低氣候變遷對洄游生物的影響，也為達到生態保育的目的，對於洄游生物利用魚道的情形有長期監測的必要。