

肆、討論

討論分為四個部份，(一)魚類的組成變化、(二)蝦類的組成變化、(三)攔河堰的營運操作對於生物的影響和(四)不同魚類與攔河堰操作影響的相關性。

(一) 魚類的組成變化

四個樣站的魚類組成變化差異大致上可以分為兩組，靠近攔河堰的 Site A 和 Site B 的魚類組成變化受到攔河堰的營運操作的影響甚大，以位於攔河堰正下方的 Site B 最為嚴重，每年的情況都持續惡化(圖十一)。距離攔河堰較遠的 Site C 和 Site D，魚類組成雖然受到颱風改變環境影響，但數量仍有慢慢上升回復的趨勢，將四個樣站的情況分別討論如下：

1. 集鹿大橋(Site A)

三個年度各樣站魚類種類數如表三十九所示，Site A 在 2003 年和 2004 年時所調查到的數量分別為 13 和 14 種，兩個年度間的差異不大。但是在 2005 年調查到的種類只剩下 9 種，洄游性的魚類斑帶吻蝦虎魚在此年度均未發現(表三十九)。表示洄游性物種受到集集攔河堰的阻隔而導致上溯不易，也可能因為此樣站的環境狀況變差導致。以數量的變化來看，三個年度的每次調查的平均捕獲數量分別為 82、32 和 21 隻(圖十一)，數量呈現下降的趨勢。年平均歧異度亦是逐年下降(圖十三)，年平均均勻度則是 2004 年度和 2005 年度的 0.83，高於 2003 年度的 0.72(圖十四)，這代表原本數量較佔優勢的物種，其數量有下降的現象。Site A 位於攔河堰上方，其河道的水量不受攔河堰操作影響，因此整年度的水量比起其他三個樣站較為豐沛。尤其在每年六月到十月的豐水期流量大且流速湍急，河床也常因此受到流量的影響。

颱風對於本區水生生物的族群有相當明顯的影響，2003 年度在一月到七月由於降雨量較低，流量平緩穩定，兩岸多長滿植被，提供河岸生物休息和躲藏之處，因此有利於生物的棲息。八月底由於中度颱風杜鵑侵襲(中央氣象局，2003)，流量增加使得河道和行水區開始改變。原本穩定的河岸受沖刷作用之影響，植被面積在大水過後減少(陳，2006)。魚類數量從九月份開始呈現減少的趨勢(圖十五)，因此推測棲息環境的改變對魚類族群有相當大的影響。2004 年的魚類數量以二月到五月較多。七月、八月和九月分別有敏督利颱風、艾利颱風和海馬颱風侵襲台灣(中央氣象局，2004)，水量比起 2003 年度更為豐沛，河道變化劇烈，幾乎每個月的河道和行水區位置都有變化。除了自然環境的變化，集集攔河堰在啟用後泥沙開始大量淤積在庫區。因此在 2004 年度的 5 月到 12 月攔河堰開始清淤作業，加上 Site A 旁的左岸筆直堤防與疏濬用的臨時圍堰，都導致河床流心劇烈變動，在本研究的三年期間河道的位置共改變了 15 次(巨廷，2003，2004，2005)。

2005 年度從一月份開始到九月份之間各種魚類出現的數量幾乎都只剩下個位數。連在 2003 年夏季之前每一次的調查都還能發現數十隻的個體，較能夠適應濁水環境的指標物種陳氏鰍鮓和高身小鰮鮓，在隨後長達兩年之間的每一次調查卻只能發現個位數的魚類而已。此現象也可以從均勻度的分析得到應證，均勻度的上升代表優勢物種的數量減少。

國內對於攔河堰和防砂壩的上游河川生態的研究，大多半僅討論其阻隔性造成的影響(林等，1999；胡，2004)。但是在集集攔河堰上游除了自然的環境問題外，此樣站還受到攔河堰蓄水區疏濬工程的影響，河道經常性的被改來改去，導致魚類的棲息環境不穩定，生物族群也因此受到更為嚴重的傷害。在台灣其他地方如曾文水庫上游，也有相同的現象(南區水資源局，2001)。

2. 魚道入口下游(Site B)

此樣站由於位在攔河堰正下方，因此受到攔河堰操作營運的影響最為直接，由幾種魚類的數量組成變化分析可以直接應證，Site B 的魚類種類和數量減少的程度為四個樣站中最高的(圖十一、圖十二)，而歧異度為四個樣站中最低的，且逐年降低(圖十三)，均勻度則是每年都在上升(圖十四)。

2003 年八月杜鵑颱風之前，本站的調查都能夠發現相當多種類和數量的魚類，但是在颱風過後，連續將近兩年的監測記錄都顯示不論是種類或是族群數量，都明顯的減少許多(圖十五)。尤其以 2005 年為最，只出現 8 種魚類，比起 2003 年的 13 種和 2004 年的 14 種都減少許多，消失的魚種包括需要穩定底質和潭區的鯉魚和鯽魚，以及洄游性的蝦虎魚和日本鰻(表三十九)。每次調查的平均捕獲量也從 2003 年的 130 隻大幅減少到 2005 年的 13 隻。其中具有指標性的底棲性物種高身小鰮鮒在杜鵑颱風之前的數量還相當多，但是颱風之後連續兩年絕大部份的月份都只能發現極少數的個體而已。本來在溪流中非常普遍的游泳性魚類粗首鱲，在 2003 年的上半年每次採集都超過百尾以上，但是隨後的例行性調查中，都發現個體數明顯的減少。

魚類大幅減少的原因發現除了颱風的影響之外，也和攔河堰下方天然流量的減少(吳等，1998)、頻繁的排砂以及施工(巨廷，2005)所造成的斷流有關。2003 年雨量較少，因此全年度攔河堰下方的平均日流量遠低於未建造前的歷年平均日流量。2004 年和 2005 年的颱風帶來的雨量較為豐沛，但在枯水期時的平均日流量仍然少於未建造前的歷年平均日流量(圖十六)。

攔河堰下方在 2003 年的十二月到 2004 年的二月共有 33 天是完全斷流的情況，主要是因為枯水期攔河堰攔水，和魚道在 2003 年底開始進行改善性的施工而不能放水所導致。2004 年 12 月到 2005 年 2 月亦

出現 50 天的斷流(表三)，主要是因為攔河堰下方的護岸進行重建工程，以及淤沙清除的工作，需要關閉所有放水閘門進行作業。大部份魚類只要離水超過 3 分鐘以上就會死亡，何況是完全枯乾這麼久的天數，因此可以發現在這幾個月過後魚類的數量幾乎都掉到谷底，之後才會慢慢回復，因此攔河堰營運對於魚類最具殺傷力的影響就是截斷水源。

攔河堰因為上方庫區淤砂日益嚴重，排砂頻率也因此日漸增加，在營運初期的許多次的排砂動作之後，都可以發現許多魚類被困在水邊的淺灘而乾死，主要是因為排砂之後關閉閘門的動作過快，河道的水位退的太快而魚類來不及反應被困在淺灘之上，因此死傷相當嚴重(巨廷，2005)。

雖然攔河堰下方設有消波塊以利減少水體排放時對河床的衝擊，但是豐水期的排砂和洩洪仍然對下方河道造成嚴重的沖刷和侵蝕，在 2004 年和 2005 年的颱風過後，Site B 幾乎沒有任何可以讓魚類棲息的大石塊和深潭區，底質剩下裸露的泥質岩盤，水中含砂量高，不利於生物生存。許在 2003 年時做的防砂壩對魚類分布影響之研究中，亦有提到壩體下方的河段容易受到物理性的衝擊而導致環境的改變，與集集攔河堰下方這三年的變化相符合。

其他對於斷水、排砂和洩洪等因子造成魚類數量的影響將於後面做更進一步的相關性分析討論。

3. 名竹大橋(Site C)

此樣站的魚類在三年度間的變化在四個樣站中最為溫和，種類數分別為 16、14 和 12 種(表三十九)，看似有減少的趨勢，但是從調查紀錄可以發現減少的種類多為外來種如雜交種吳郭魚和可能為人為放生的泥鰍和大鱗副泥鰍，本區域主要的優勢種魚類還是穩定的出現，而三年度的每次調查平均捕獲量分別為 43、48 和 42 隻，變化幅度較小(圖十一)。Site C 雖然也受到上方攔河堰攔水造成天然流量減少的影響，

但由於在 Site B 和 Site C 之間有攔河堰泥沙池的排水口，其排水時多少可以補充水量，加上地下水的注入以及伏流，因此 Site C 的水量狀況往往比 Site B 較為穩定。再者本區的左岸有一細小的支流注入，雖然因為上方常有洗砂場所排放的洗砂水，導致水體挾帶大量泥沙，顏色黃濁。但由於並無其他有機污染，河岸周邊環境穩定且具有植被，因此提供了魚類較多棲身躲藏的場所，魚類數量在因風災所導致的環境改變後仍然可以慢慢的回復(圖十五)。

2003 年在颱風之前的 8 個月以粗首鱺的數量較多，颱風造成環境的影響之後，2004 年和 2005 年則以陳氏鰕鮨的數量較具優勢，推測可能是因為其較能應渾濁水域的特性。這兩年颱風帶來的豐沛水量也刺激了濁水溪的急流性魚種埔里中華爬岩鰕產生上溯的行為，因此在豐水期可以發現數量不少的埔里中華爬岩鰕出現。

歧異度在 2004 年度時為最低，主要是因為陳氏鰕鮨的數量遠勝於其他魚種的數量所導致，在 2005 年時的歧異度回復到 0.64，跟 2003 年的 0.63 相差無幾，表示本樣站的環境變化沒有 Site A 和 Site B 劇烈(圖十三)，三年度均勻度的變化範圍均在 0.7~0.8 之間，亦是四個樣站中變化最小的一站(圖十四)。

4. 彰雲大橋(Site D)

Site D 距離攔河堰的位置最遠，雖然其天然水量依然是受到集集攔河堰的影響，但是由於 Site D 上方不遠處有清水溪的注入，因此本站是攔河堰下方三個樣站中水量最為充足的一站。三年度的種類數無太大的變化，2003 年為 16 種，2004 年和 2005 年各有 14 種(表三十九)。減少的種類多為外來種的魚類如琵琶鼠(*Pterygoplichthys gibbiceps*)和線鱧 (*Channa striata*)。後兩年因為水量增大，因此都有發現到河海洄游性魚類白鰲(*Liza subviridis*)的出現。

本站數量組成還是跟其他樣站一樣明顯的受到自然氣候的影響，三年中每個月調查的平均捕獲量分別為 70、30 和 33 隻(圖十一)。2003 年到 2004 年的數量呈現下降的趨勢(圖十五)，除了颱風造成環境變化之外，枯水期的過度攔水導致下游的棲地減少亦可能是主要原因。2005 年則因為水量最豐沛而有大量的埔里中華爬岩鰍出現，因此平均捕獲率提升。優勢物種為陳氏鰍鮓，此外由於本樣站的水質較為清澈，含砂量較低，對渾濁水體適應性不如陳氏鰍鮓的高身小鰍鮓，數量上因此比其他三站來的較多，但這兩種魚類在杜鵑颱風過後數量都有明顯減少的趨勢。

年平均歧異度以 2004 年的 0.55 最低，2005 年則上升到 0.67，是本樣站三年度中最高的一年，亦是三年度所有樣站的歧異度中次高的，僅次於 Site A 在 2003 年的 0.68，這表示環境在經過 2003 年的改變後有慢慢回復的趨勢(圖十三)。年平均均勻度方面可以發現由於 2004 年優勢種的數量比起 2003 年少，因此物種接近的數量程度較高，達到 0.84，2005 次之，2003 年最低(圖十四)，主要是因為陳氏鰍鮓和高身小鰍鮓的數量遠多於其他魚類。

(二) 蝦類的組成變化

四個樣站的蝦類組成變化與魚類相似，Site A 鮮少發現洄游性的物種，位於攔河堰正下方的 Site B 蝦類數量減少的幅度最大，2005 年已經完全沒有發現蝦類。Site C 和 Site D 的蝦類組成在 2005 年有慢慢上升回復的趨勢，以 Site D 最為明顯。四個樣站的情況分別討論如下：

1. 集鹿大橋(Site A)

攔河堰上方分布的蝦類絕大多數以陸封型的粗糙沼蝦為主，兩側洄游型的台灣沼蝦和大和沼蝦則是零星出現(表四十)。本測站所採得之個體多半為成體，與其他樣站採集的個體主要為幼體組成之結構不

同，這表示攔河堰興建後阻隔了蝦類的洄游(巨廷，2003)。喜歡在緩水流域生活的擬多齒米蝦在流速湍急的 Site A 甚少發現。環境變化對蝦類的影響比其魚類更為敏感，每年度發現的數量都呈現減少的趨勢(圖二十一)，三年的每次調查平均捕獲量分別為 13、5 和不到 1 隻(圖十七)，這表示 Site A 的環境變化持續對蝦類生存造成影響，除了蝦類喜歡藏身的大石塊和岸邊周圍的草叢被颱風帶來的大水沖刷殆盡，為了清淤而改變河道的人為施工亦是環境不穩定的一大因素(南區水資源局，2002)。

2. 魚道入口下游(Site B)

Site B 蝦類的種類和族群數量變化(圖十七、圖十八)，明顯的反映出攔河堰興建之後的生態變化之劇烈，從本來是蝦類數量最多的區域變成完全沒有蝦類出現。本樣站在 2003 年初發現到大量的台灣沼蝦和大和沼蝦，可能因為無法順利上溯到攔河堰上游而集中在 Site B，2004 年以後各種蝦類都只剩下個位數的出現。數量組成方面，2003 年上半年每次調查可以發現數百隻的蝦類，但是自 2003 年 6 月之後，除了 12 月發現到較多的 63 隻，其他月份所能夠發現的個體數都不到 20 隻。更嚴重的是在杜鵑颱風之後，每個月的例行採集中，都無法發現超過十隻的蝦類。甚至從 2004 年 10 月之後直到 2005 年 9 月，已經完全無法發現任何蝦類的蹤跡(圖二十一)。因此每月份調查的平均捕獲量也從 2003 年的 72 隻，大幅度減少到 2004 年的 1 隻，2005 年則完全沒有發現到任何蝦類(圖十七)。這種現象明顯反映出本河段的生態環境已經無法適合蝦類的生活。原本族群數量相當豐富的底棲性蝦類資源，之所以會在 Site B 大量減少到完全消失，主要可能是因為人為的斷水造成流量的不足(圖三十三)，大水沖刷河床以及攔河堰經常性的洩洪和排砂則導致底質的不穩定所造成。攔河堰阻隔蝦類的洄游路徑亦會影響

到蝦類的繁殖(Acreman *et al.*, 2000)，或者是選擇移動到比較有利於棲息的环境(Gaston, 1990)。

3. 名竹大橋(Site C)

Site C 的蝦類種類組成原本以台灣沼蝦和大和沼蝦為主，但在 2005 年之後則僅有少量的粗糙沼蝦被發現(圖二十一)，這可能代表 Site C 的環境也不利於蝦類的生存。洄游性蝦類的分布從 Site B 開始有往下游分布的趨勢。2003 年每次調查的平均捕獲量為 16 隻，2004 年則為 1 隻，2005 年則回升到 5 隻(圖十七)，這可能表示除了天然環境變化的因素外，生物離攔河堰越遠所受到的影響越小，人為的影響主要只在於攔水造成的流量減少，生物的數量依然具有緩慢恢復的能力。

4. 彰雲大橋(Site D)

本樣站是蝦類組成變化較為穩定的一站，主要的原因包括離攔河堰較遠，人為影響所導致環境的變化較小、流量有清水溪的注入而較為穩定和底質多為大塊的岩石有利於蝦類的躲避和棲息。Site D 出現的蝦類以台灣沼蝦和大和沼蝦為優勢種，種類數無明顯的變化(圖十八)。在數量方面，2003 年後半年的颱風雖然造成環境變化導致本區蝦類減少，但從蝦類數量出現的數據可以發現 2004 年後半年開始又有回升的趨勢(圖二十一)，直到 2005 年，每個月調查的平均捕獲量為 52 隻，比 2003 年的 43 隻還多，2004 年受到颱風的影響則僅有 19 隻(圖十七)，因此可以推測 Site D 的蝦類主要是受到天然環境變化的影響，在生物適應環境的變化後較容易恢復到之前的數量。

(三) 攔河堰的營運操作對於生物的影響

由生物種類和數量的組成變化可以發現，位於攔河堰下方的 Site B 變化最大，因此除了氣候的因素之外，攔河堰的洩洪、排砂和施工時

所造成的斷水有可能是造成生物組成變化的另一個主要因素。因此本研究將不同年度的魚類數量分別與排砂次數、排砂量、洩洪次數、洩洪量做線性回歸分析(圖二十二、圖二十三、圖二十四、圖二十五)，有斷水的幾個月份由於情況特殊因此獨立出來和魚類數量做分析比較(圖二十六)。

在斷水天數與魚類數量相關性分析的部分，不論是 2003 年 12 月到 2004 年二月或是 2004 年十二月到 2005 年二月這兩組分析，其判斷係數都有 0.90 以上(圖二十六)，2003 年判斷係數更高達 0.98，這表示水源的斷絕確實對魚類的生存是最嚴重的威脅，Site B 下方施工的因素造成此樣站魚類減少的原因，由圖三十二可以清楚看出在攔河堰斷水的月份魚類數量有明顯下降的趨勢。

而由其他的分析結果可以得知魚類數量和攔河堰的營運操作均是呈現負相關，這代表不論是洩洪或排砂對於魚類數量均有負面影響。其中以 2003 年的洩洪次數和排砂次數判斷係數最高，這表示攔河堰洩洪與排砂的操作頻繁的與魚類數量減少關性最大，其次則是排砂量和洩洪量。洩洪次數跟魚類數量減少有 74.8%的相關性(圖二十四)，在所有攔河堰營運操作的因子當中是最高的。國外有相關的研究證實水壩或攔河堰的操作確實會對魚類族群造成影響(Wu, 2000)，洩洪會因為大水的衝擊破壞魚類的產卵場，魚類的卵粒亦會被砂礫覆蓋後死亡。沒有新生的魚類加入，整個族群就會日漸衰弱甚至消失。

攔河堰的排砂次數和魚類數量減少的相關性為次高的 66.9%(圖二十二)，在前面討論所提到的在 Site B 下方因為排砂之後，閘門關起過快，造成河道的水位退去太快而導致避難在高灘地的魚類突然失去水源而死亡的情況，與經由線性回歸分析後，排砂次數與魚類數量減少的高相關結果相符合。

經由分析結果可以發現，魚類數量與攔河堰營運操作因子的相關

性都是呈現逐年下降的情況。由於 2003 年濁水溪的魚類數量較多，之後每年的魚類數量都呈現大幅度減少的趨勢，所以 2004 年和 2005 年的相關性較低應該是魚類數量差異性已經降低所導致。

(四) 不同魚類與攔河堰操作影響的相關性

濁水溪有別於台灣其他河川，除了流速湍急之外更挾帶的大量泥沙，因此生活在濁水溪的魚類也與其他河川有不同之處。適合在泥沙底質、含沙量高和流速湍急之環境中棲息的底棲性物種，如埔里中華爬岩鰍、陳氏鰍鮔和高身小鰍鮒等魚類，而在台灣溪流普遍出現的魚種台灣石鱗和粗首鱗則較喜好清澈水流和穩定河床(巨廷，2005)。將在 Site B 調查到的五種魚類分別與營運操作的因子作線性回歸分析，我們可以發現以粗首鱗數量的減少與營運操作的相關性較高(圖二十七)，高身小鰍鮒次之，但其判斷係數均低於 0.33(圖二十八)。其他三種魚類相關性較低或甚至呈現正相關的情況(圖二十九、圖三十，圖三十一)，主要原因可能在於埔里中華爬岩鰍和台灣石鱗比起其他三種魚種較能適應湍急的水流，前者是屬於底棲性魚類，具有吸盤可以貼附在岩石上而不會被水流沖走。台灣石鱗和粗首鱗同屬游泳性魚類，但是粗首鱗的游泳性不若台灣石鱗來的優越。陳氏鰍鮔和高身小鰍鮒則是屬於底棲性魚類，但是陳氏鰍鮔比起高身小鰍鮒較能適應不穩定的河床底質和含沙量高的水體。因此我們可以推斷粗首鱗和高身小鰍鮒數量減少受到攔河堰操作影響的關係最為嚴重，或許可以將這兩種魚類做為改善濁水溪魚類生態的指標性物種，其他三種魚類受到攔河堰操作的影響比較小，推測其數量變化可能和天然環境的關係較大。