

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

餵食魚類對溪流食物鏈的影響：營養階層瀑布的破壞 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-2621-B-343-001-
執行期間：95年08月01日至96年07月31日
執行單位：南華大學通識教學中心

計畫主持人：王一匡

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理：趙峻逸、蕭可晉、戴士恩、孫德容

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中華民國 96 年 10 月 28 日

餵食魚類對溪流食物鏈的影響：營養階層瀑布的破壞？

計畫編號： NSC 95-2621-B-343 -001

計畫主持人：王一匡助理教授
南華大學通識中心及環境管理研究所

目錄

前言.....	3
研究方法.....	4
結果.....	5
討論.....	6
引用文獻.....	7
計畫成果自評.....	8

前言

瞭解魚類在生態系中的角色為一個重要的議題，因為當不瞭解魚類在生態系中的角色時，我們無法預測魚種消失時可能造成的影響，因此錯失保育的先機，或者可能會有錯誤的判斷，造成資源的浪費。要瞭解改變魚類行為的生態後果，也必須要先瞭解魚類在生態系中的角色，才能知道其可造成的影響。

魚類在溪流生態系中可能為植食者、捕食者或雜食者，本研究以雜食者為研究對象。當溪流魚類扮演植食者時，植食者扮演消化初級生產者，及提供捕食者能量的角色，是食物鏈中重要的連接者。Sommer (1999) 指出有的植食者在進食時平均而少量的移除植物，像是”除草機”；而有的植食者在進食大量的移除植物，留下明顯的痕跡，製造空間上的歧異度，像是”推土機”。Flecker (2004) 指出在熱帶的溪流中有許多底棲的魚類，而許多的這些魚類有”推土機”式效應。推土機式魚類可以消耗或移除大量的藻類或有機物，進而製造底部物質在空間上的歧異度。實驗證實在高和低的 Parodon 密度下，均可以製造底部物質在空間上的歧異度 (Flecker 2004)。

為了增加魚穫的尺寸與量，管理單位可能會以兩種方式提高溪流魚類的生產力，第一種是餵食法 (Irvine and Bailey 1992; Habera and Strange 1993)，第二種是以添加營養鹽的方式增加溪流魚餌的生產力 (Deegan and Peterson 1992; Stockner and Macisaac 1996)。溪流添加營養鹽的方法已經有許多的研究 (Slavik et al. 2004)，並且針對各食物鏈階層探討。餵食法的效果顯著 (Irvine and Bailey 1992; Borawa et al. 1995)，但是其對溪流食物鏈的影響尚未被探討。當魚類扮演雜食者的角色時，餵食飼料可能會擾亂其對藻類和大型無脊椎動物的影響；當飼料中的營養鹽被排洩出體外時，可能會造成營養鹽的增加，影響自營食物鏈。

目前在臺灣和東南亞對魚類在溪河中角色的研究比較少 (黃乙玉 2002; 汪鴻玉 2003)。而這個地區正面鄰高度的開發和污染；因此，魚類的多樣性正面對巨大的壓力 (Dudgeon et al. 2006)，而對於失去魚類可能造成的影響確是一無所知，尤其失去優勢的魚種或者是關鍵物種時，可能會對溪流生態系造成巨大的改變。因此，瞭解魚類在溪河中角色是有必要的。

本研究為一個對魚類在溪河中角色的初步研究，因為在過去臺灣只有不完整的食性資料，較少這方面的研究；本研究需要瞭解的溪流生態和生物的基本知識不足，需要本研究的觀察與記錄。本研究的目的是瞭解魚類在溪河中角色，以石魚賓為例，進一步瞭解餵食魚類可能造成的影響。

研究方法

研究地區

研究地區為南投縣魚池鄉蓮華池地區的蛟龍溪（圖一），蛟龍溪為第二級河川。本地區年平均溫度為 21°C，年平均雨量為 2200 厘米，五至九月為雨季，颱風可以帶來大量的雨量，其餘時間為乾季。地質為四稜砂岩、眉溪砂岩和白冷層。植被以樟科和殼斗科為主。

實驗設計

本研究以微生態系實驗法（microcosm）進行研究，以臺灣石（魚賓）為研究魚種。以有魚、有魚並餵食、有魚並圍網和無魚四種處理進行，每個處理共有 6 重覆。有魚並圍網處理之目的為瞭解有魚但是沒有大型無脊椎動物時的影響，圍網可以阻止大型無脊椎動物進入。

微生態系實驗組以 0.5 公分孔隙的塑膠圍網進行，以鋼筋將塑膠圍網固定於溪床，並加塑膠網蓋以隔離掉落葉片。各實驗處理組的流速和照蓋度均控制為相同。有魚處理者，每網放 2 隻魚，2 隻魚的密度符合溪流中觀察到的密度。每網中布置三個塑膠盤，每盤置有三顆約 15-20 公分大小的圓石；在實驗開始時將圓石以牙刷清理，以控制一致的起始條件。

實驗在共進行四週，在第二、三和四週進行採樣。在各週皆採樣石頭上的底部物質（benthic materials），包括藻類和有機物（ash free dry mass）；在第四週對一盤石頭採樣底棲大型無脊椎動物。底部物質以牙刷採樣，輔以刀片清理，以採樣圈固定採樣面積；樣本保存於採樣袋中，採樣袋上以油性筆標標記計畫名稱、採樣時間、樣本類型和組別，採樣袋置於冰桶中保存，回到實驗室後保存於冰箱中。大型無脊椎動物以牙刷從石頭上清除，清除的物質置於盛水的水桶中，以 500 μm 篩子篩留水中物質，最後以酒精集中和保存於採樣袋中，採樣袋上以油性筆標標記採樣時間、類型和組別。

第二次實驗以 0、2、4、6 隻魚的實驗處理設計，沒有魚的處理有個六重覆，其他各有四個重覆。共進行四週，在第二、三和四週進行採樣。在各週皆採樣石頭上的底部物質（benthic materials），包括藻類和有機物（ash free dry mass）；在第四週對一盤石頭上的底棲大型無脊椎動物採樣。

底部物質樣本分樣為藻類、葉綠素和有機物樣本；樣本置於燒杯中，放在磁性盤上，使之均勻混合，取適當體積分樣，標籤並記錄樣本的體積。葉綠素 a 以分光光度計法進行，樣本以濾紙過濾，濾紙置於 10 mL 丙酮（10% Mg CO₃）中，以超音波打破細胞，於冰箱中置放 24 小時，以萃取葉綠素。測量時將有機物樣

本置於烘箱，在 105°C 下置 24 小時烘乾，之後測重；再置於 500°C 烤箱內 3 小時，之後滴少量的水，再烘乾稱重。藻類以 10% 的糖水 (syrup) 固定於玻片上，藻類量以適於計數的濃度均勻分配於蓋玻片上；計數以穿越線法進行，計數至 300 個自然單位，並計數每個單位的細胞數；細胞的體積依其形狀計算，計算其形狀必要的維度皆測量。藻類的鑑定包括矽藻和軟藻，鑑定至屬，依據 Wehr and Sheath (2003) 和 John et al. (2002) 為主。

統計分析

資料分析以重覆變異數分析法 (Repeated MANOVA) 對所有資料進行，而對於每次採樣的有機物和葉綠素 a 以變異數分析法 (One-way ANOVA) 進行分析，並以事後測試分析處理之大小。

結果

實驗中，各組之照蓋度、水深和流速之平均值皆相同。

以葉綠素 a 資料進行分析，採樣日期間的葉綠素 a 沒有差異；而各實驗處理之間顯著不同 ($F=10.7$, $P<0.001$)，沒有魚的處理有最少的藻類，其餘處理皆相同 (SNK, Student-Newman-Kuels)。在第一次採樣的樣本中，各實驗處理間有顯著不同 ($F=14.1$, $P<0.001$)，沒有魚的處理有最多的藻類量，其餘處理皆相同 (Student-Newman-Kuels) (圖二)。在第二次採樣的樣本中，各實驗處理間有顯著不同 ($F=3.3$, $P=0.04$)，沒有魚的處理有最多的藻類量，但是無法區分出處理間的不同 (SNK)。在第三次的樣本中，各實驗處理間有顯著不同 ($F=5.6$, $P=0.006$)，沒有魚的處理有最多的藻類量，其餘處理皆相同 (SNK)。

在第一次的樣本中，各實驗處理間褐藻素 (pheophytin) 顯著不同 ($F=14.5$, $P<0.001$)；第一次的樣本中也有相同的結果 ($F=5.0$, $P=0.01$ ； $F=8.4$, $P=0.001$)；事後處理 SNK 的結果一致顯示，沒有魚的處理有最多的褐藻素。

有機物重方面，採樣日期間的沒有顯著差異，而各實驗處理之間卻顯著不同 ($F=9.3$, $P<0.001$)。在第一次採樣的樣本中，各實驗處理間沒有顯著不同 (圖三)。在第二次的樣本中，各實驗處理間有機物重有顯著不同 ($F=9.3$, $P<0.001$)，沒有魚的處理有最多的有機物重，其餘處理皆相同 (SNK)。在第三次的樣本中，各實驗處理間有機物重有顯著不同 ($F=11.6$, $P<0.001$)，沒有魚的處理有最多的有機物，其餘處理皆相同 (SNK)。

在第二次的實驗中，不同採樣日期之間的葉綠素 a 顯著不同 (Pillai's trace，

F=6.2, p=0.01), 以第二次採樣的葉綠素較低, 但是 SNK 測試不顯著; 不同實驗處理的葉綠素 *a* 也顯著不同 (F=5.7, p=0.009), SNK 顯示無魚處理組為最高, 其他處理相同。在第一次採樣的樣本中, 各實驗處理間有顯著不同 (F=5.2, P=0.01), SNK 顯示沒有魚和有兩隻魚的處理有較多的藻類量, 為一組, 而有魚的所有處理為一組 (圖四)。在第二次的樣本中, 各實驗處理間無顯著不同。在第三次採樣的樣本中, 各實驗處理間有顯著不同 (F=4.7, P=0.02), SNK 顯示沒有魚的處理有較多的藻類量, 為一組, 而其他所有處理為一組。

不同採樣日期之間的有機物量顯著不同 (Pillai's trace, F=5.6, p=0.02), 以第一次採樣的有機物量較低, 但是 SNK 測試不顯著; 不同實驗處理的有機物量也顯著不同 (F=8.4, p=0.002), SNK 顯示無魚處理組為最高, 其他處理相同。在第一次採樣的樣本中, 各實驗處理間有機物量有顯著不同 (F=9.2, P=0.001) (圖五), SNK 顯示沒有魚的處理有最多的有機物重, 其餘處理皆相同。在第二次的樣本中, 各實驗處理間有機物重有顯著不同 (F=5.1, P=0.01), 沒有魚的處理有最多的有機物重, 其餘處理皆相同 (SNK)。在第三次的樣本中, 各實驗處理間有機物重有顯著不同 (F=9.3, P=0.001), 沒有魚的處理有最多的有機物重, 其餘處理皆相同 (SNK)

討論

研究結果顯示, 臺灣石賓可以減少溪床上的藻類和有機物, 沒有臺灣石賓的處理中有較多老化的藻類; 以多隻魚可以減少石礫上的藻類和有機物, 但是差異不顯著。

許多的研究結果都支持魚類能夠減少藻類的量 (Flecker and Taylor 2004), 與本研究結果相同, 但是, 對於雜食或植食性魚類是否能夠減少藻類的量仍然有爭議 (Bertrand and Gido 2007)。然而, 解決此爭議的方法是去瞭解影響實驗結果的基本因素, 也是本研究未來的方向。

雖然本研究清楚說明了臺灣石賓在溪流中的效應, 觀察結果可以佐證實驗結果, 但是未來可以考慮下列因素。本實驗設計的施行方式為小範圍的圍網, 然而這只是可以使用的方式之一。不同的實驗尺度可能會改變結果效應的大小, 進而證實結果的一致, 也可能突顯出某些因素的重要性。而不同的實驗工具可能有不同的人為效應, 減少人為效應是一個努力的目標。

對於魚類在生態系的影響的瞭解需要長期的觀察和研究, 因此, 本研究和臺灣其他相關的研究只是一個開端。以 Flecker 為例, 長期對於魚類在生態系的角

色和生物多樣性改變的後果進行研究，在熱帶溪流研究時間超過 15 年，仍以此為研究主題；他逐步地思考和研究，累積出許多有影響力的文章，增進我們對於魚類在生態系的角色的瞭解。

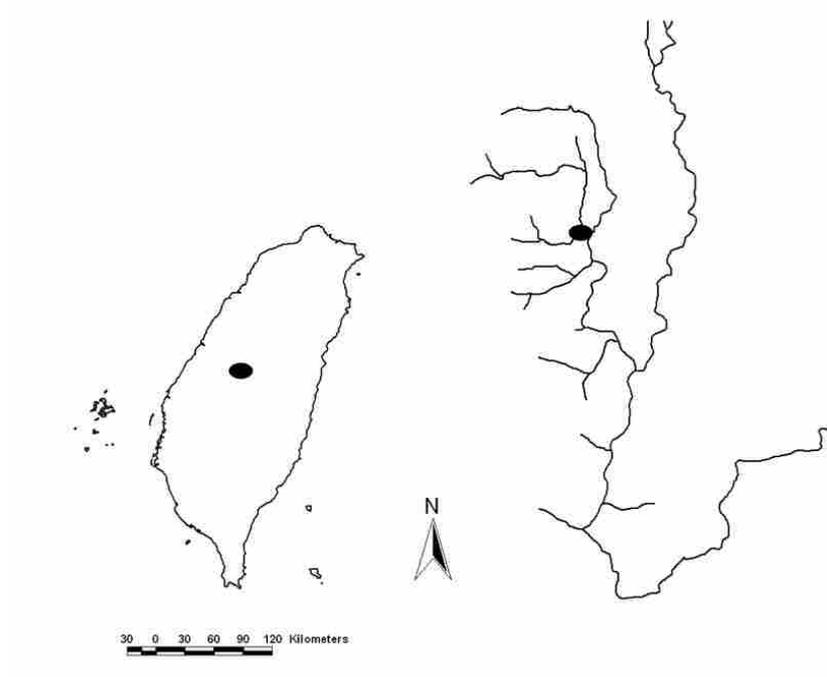
引用文獻

- 汪鴻玉、2003。哈盆溪環境因子、干擾、及魚類刮食對藻類群聚消長的影響。國立臺灣大學動物學研究所碩士論文。
- 黃乙玉、2002。亞熱帶森林源頭溪流哈盆溪食物網之研究-穩定碳氮同位素分析之應用。國立臺灣大學動物學研究所碩士論文。
- Bertrand, K.N. and K.B. Gido. 2007. Effects of the herbivorous minnow, southern redbelly dace (*Phoxinus erythrogaster*) on stream ecosystem structure and function. *Oecologia* 151: 69-81.
- Borawa, J.C., Goudreau, C.J., Clemmons, M.M. 1995. Responses of wild trout populations to supplemental feeding. Report, North Carolina Wildlife Resources Commission.
- Deegan, L.A., Peterson, B.J. 1992. Whole-river fertilization stimulates fish production in an Arctic Tundra river. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49: 1890-1901.
- Dudgeon, D., Arthington, A.H., Gessner, M.O., Kawabata, Z.I., Knoeler, D.J., Leveque, C., Naiman, R.J., Richard, A.H.P., Soto, D., Stiassny, M.L.J., and C.A. Sullivan. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Review* 81: 163–182.
- Flecker, A.S., and B.W. Taylor. 2004. Tropical fishes as biological bulldozers: density effects on resource heterogeneity and species diversity. *Ecology* 85: 2267-2278.
- Habera, J.W. and R.J. Strange. 1993. Wild trout resources and management in the southern Appalachian Mountains. *Fisheries* 18:6-13.
- Irvine, J.R., Bailey, R.E. 1992. Some effects of stocking coho salmon fry and supplemental instream feeding on wild and hatchery-origin salmon. *N. Am. J. Fish Manag.* 12:125-130.
- John, D.M., Whitton, B.A., and A. J. Brook. 2002. The freshwater algal flora of the British Isles. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Lubchenco, J. 1978. Plant species diversity in a marine intertidal community: importance of herbivore food preference and algal competitive abilities. *American Naturalist* 112:23–39.
- Slavik, K., Peterson, B.J., Deegan, L.A., Bowden, W.B., Hershey, A.E., Hobbie, J.E. 2004. Long-term responses of the Kuparuk River ecosystem to phosphorus

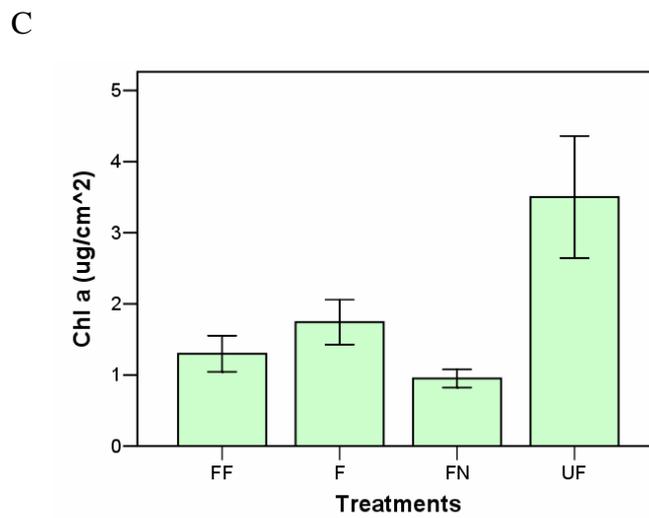
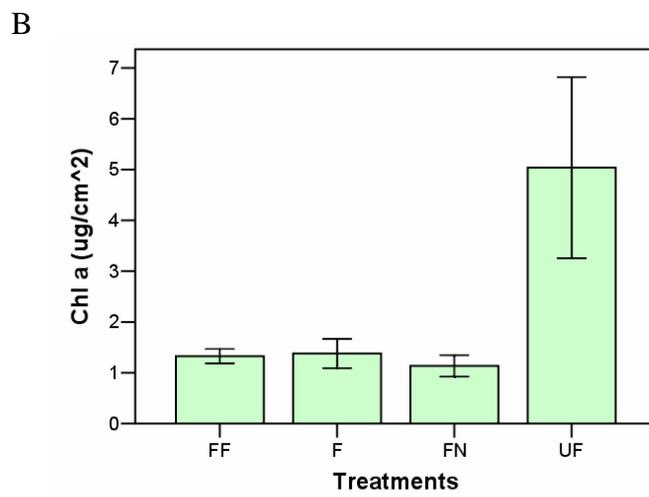
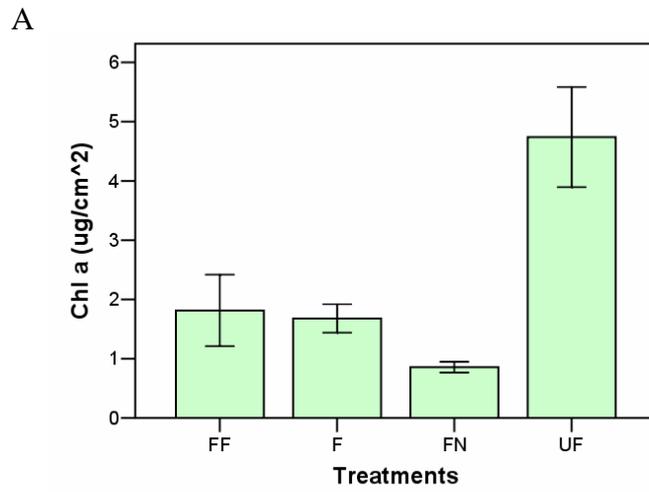
- fertilization. *Ecology* 85: 939-954.
- Sommer, U. 1999. The impact of herbivore type and grazing pressure on benthic microalgal diversity. *Ecology Letters* 2:65–69.
- Stockner, J.G., Macisaac, E.A. 1996. British Columbia lake enrichment programme: Two decades of habitat enhancement for sockeye salmon. *Regulated Rivers* 12: 547-561.
- Wehr, J.D., and R.G. Sheath. 2003. *Freshwater algae of North America*. Academic Press, San Diego, CA, USA.

計畫成果自評

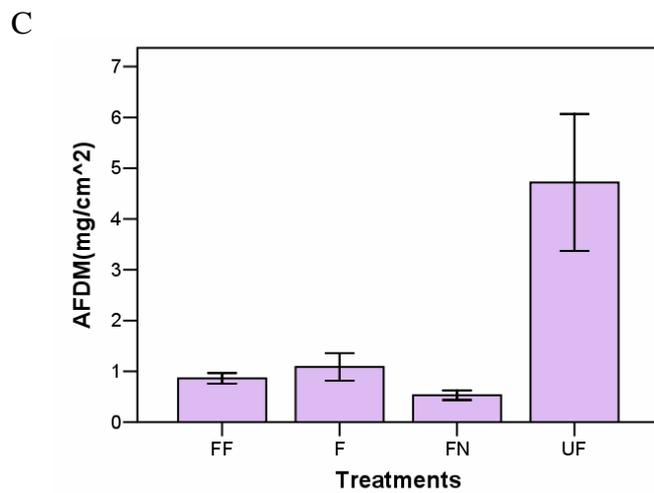
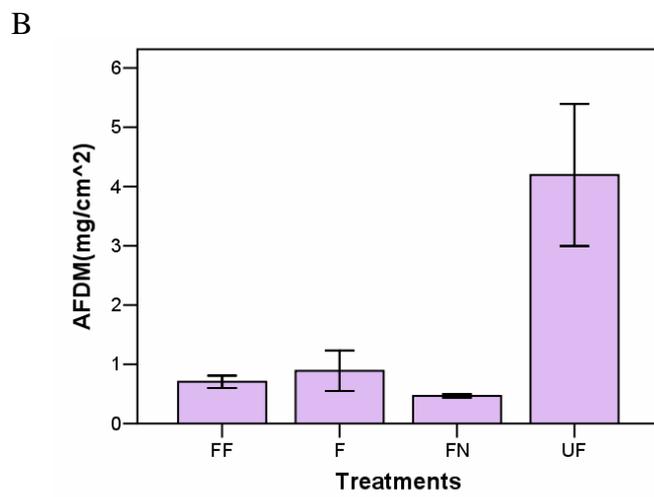
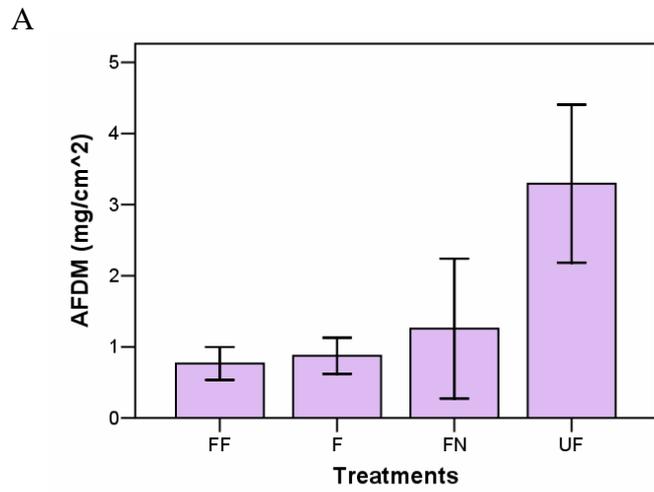
本研究已按照原計畫之目的進行，已經增加臺灣石賓在溪流生態系中的角色的知識，並且也支助本實驗室相關研究。未來，將繼續探討在討論中提出的相關議題，以增加知識的完整性。本研究之結果適合於學術期刊發表，在未來將準備撰寫投稿。



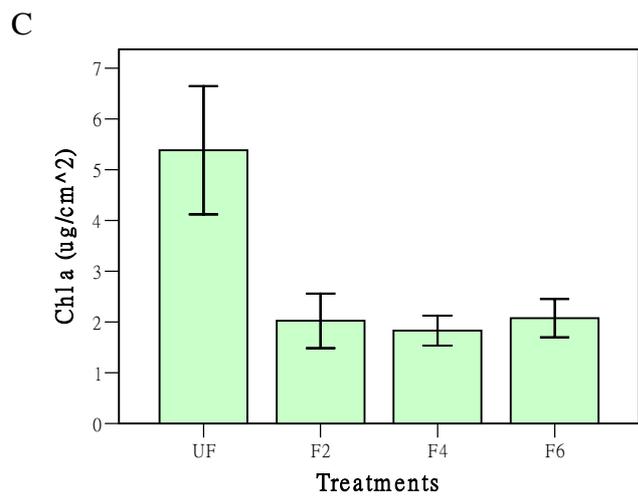
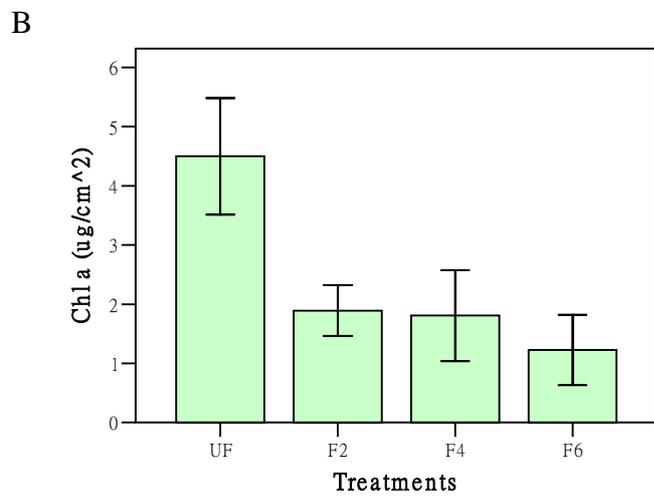
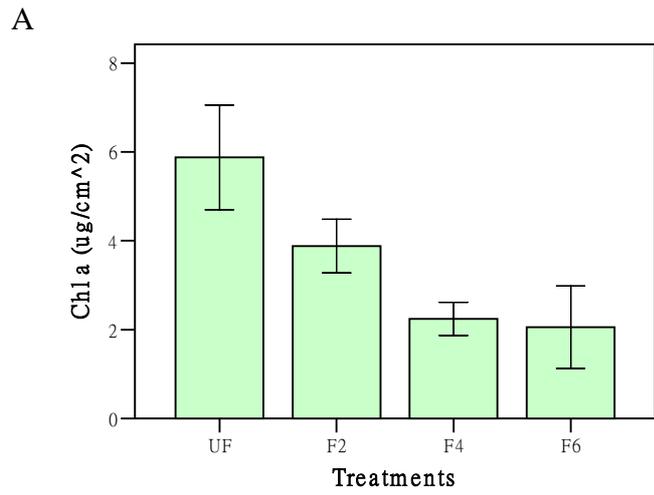
圖一、實驗地點為南投縣魚池鄉犛龍溪。



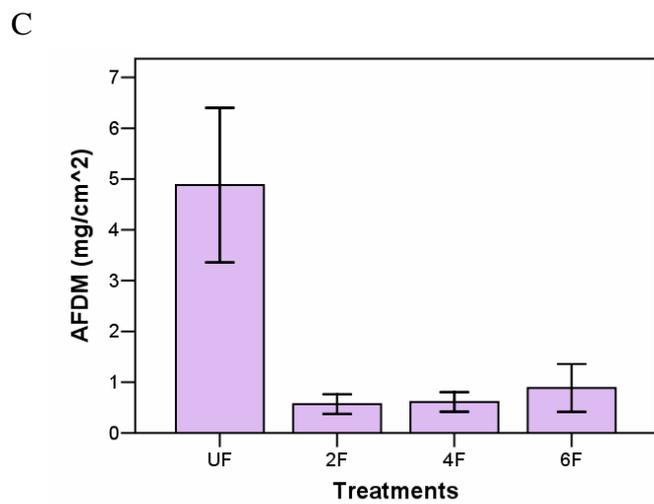
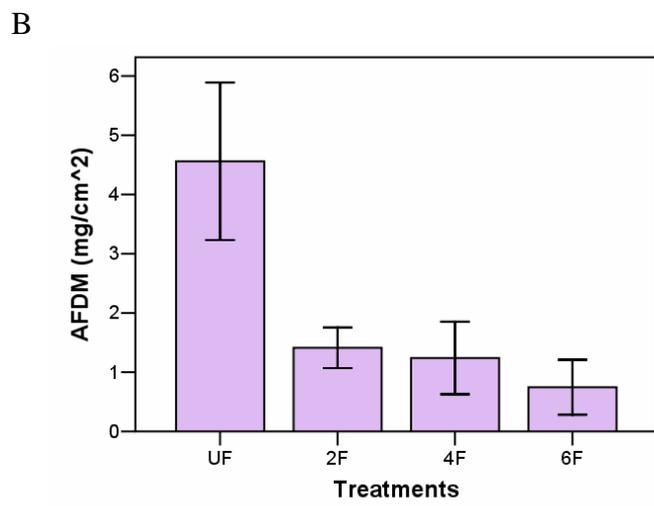
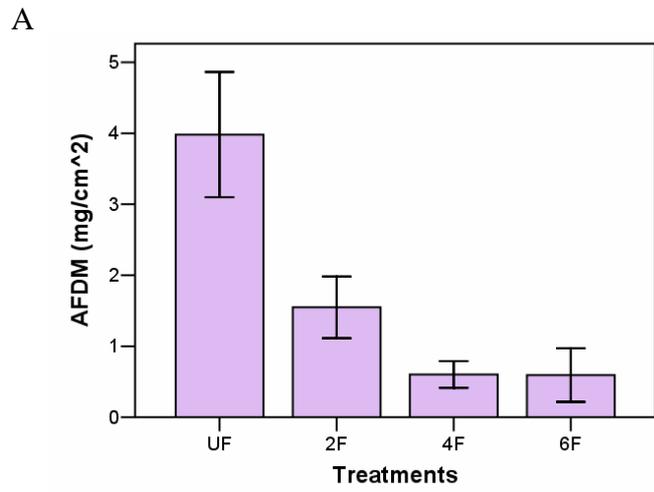
圖二、實驗處理對葉綠素 a 量的影響；A 第一次採樣資料；B 第二次採樣資料；C 第三次採樣資料。



圖三、實驗處理對有機物量的影響；A 第一次採樣資料；B 第二次採樣資料；C 第三次採樣資。



圖四、實驗處理對葉綠素 a 量的影響；A 第一次採樣資料；B 第二次採樣資料；C 第三次採樣資料。



圖五、實驗處理對有機物量的影響；A 第一次採樣資料；B 第二次採樣資料；C 第三次採樣資料。

出席國際學術會議心得報告

計畫編號	NSC 95-2621-B-343 -001
計畫名稱	餵食魚類對溪流食物鏈的影響：營養鹽階層的破壞
出國人員姓名 服務機關及職稱	王一匡，南華大學通識中心
會議時間地點	Columbia, SC, USA, 3/6 – 7/6/2007
會議名稱	(中文) 北美底棲生物學會第 55 屆年會 (英文) The North American Benthological Society 55th Annual Meeting
發表論文題目	(中文)1. 在工程和自然溪段中由上而下和由下而上效應對附著藻類的影響以及蝌蚪的由上而下效應 2. 中華民國使用大型無脊椎動物的生物監測發展以及一個中台灣的案例 (英文)1. Top-down and bottom-up effects on periphyton in the natural and engineered stream sections and the top-down effect of tadpoles in a headwater stream of Central Taiwan, ROC 2. Biomonitoring with stream macroinvertebrates in the Republic of China and a case study from Central Taiwan

一、參加會議經過

The North American Benthological Society (NABS) 是目前世界上最大的溪流和河川生態研究的學會，因此，其年會也是目前溪流和河川生態方面最大的，參加人數約在 800 人上下；一般會期長達 5 天，同一時段的議程可以有 6 個之多，可見其盛況。底棲學(benthology)是指對棲息於或在底質上的生態研究，一般人不易瞭解這個字；過去曾經有改名的會員投票，因為會員以研究水棲昆蟲分類者居多，因此沒有通過。

今年 NABS 年會在南卡州的哥倫比亞舉行，需要橫越美國，因此路程比較遙遠，轉機也比較麻煩。今年遇上了早來的熱帶氣旋，讓我們在底特律待了一個下午，到晚上 11 點宣佈取消班機；如果早點宣佈取消，我們可以去熟悉的底特律或安娜堡重遊。進入旅館時被安排到可吸煙的房間，窗戶打開也無法消除味道！因此，早早 7 點就離開旅館去機場休息。飛機的路線被改為先停亞特蘭大再飛哥倫比亞，又再多等了好幾個小時。

到了住宿的學生宿舍放下行李後，就趕緊先去看看會場，走到會場單程要 25 分鐘，還可以接受。一進會場就遇到以前的老朋友 Eric 等人，都是 Dr. Richard Merritt 實驗室的人，以及和他們一起來同實驗室的 Julie，聊天之後才瞭解議程晚上就要開始，而 Richard Merritt 將獲頒傑出研究獎，這是 MSU 校友的大事，所以捨棄晚餐就直接參加開場活動。

LeRoy Poff 首先發表會長演講，強調科學家在社會的角色，以生態水文的研究為例說明。Rich Merritt 的演講有別於過去的學術演講，以極為幽默的方式與投影片讓全場開懷，這是他傳統的風格；他敘述了影響他過去 25 年來學術生涯的重要因子。

這一次會議的另一件大事為我的前指導教授 Dr. Jan Stevenson 當選會長，他宣布將評估未來在海外舉辦會議的可行性，通常年會都在美國或加拿大舉行，沒有在其他地方舉行過，也未曾有在海外的聯合會議。

參加學術會議是需要非常好的體力的，議程早上 8 點就開始，因此，大約 6:30 要起床，半小時梳洗著裝，半小時走路，在加上半小時解決早餐。中午只有 1 小時的用餐時間，之後一直進行至 5 點。吃完晚餐過後，就是啤酒交誼時間，通常會聊到 10 到 11 點，有時會到外面酒吧續攤；第二天要演講時，必須要提早走，以增加練習時間，不過也都拖到 10 點多。我忘了講時差的問題！可見參加國外學術會議是要很好的體力。

二、與會心得

從這一次的議程內容，可以看出目前在溪流生態方面的研究有下列趨勢：

1. 溪流生態保育為重要的課題，許多基礎溪流生態的研究者皆跨入溪流生態保育的課題研究，例如這次邀請到的全會演講者 Drs. Mary Power 和 Judy Meyer。但是，這些研究者皆提出研究數據說明其影響或是解決策略的效果。
2. 生物評估議題 (bioassessment) 仍是熱門的研究議題。其研究的主題從過去強調的方法學演進至以此方法評估金屬或殺蟲劑的污染，甚至評估氣候變遷對生物評估的影響。另外，Dr. John Morse 組織這次亞洲生物評估的議程，日本、南韓、中華民國、俄羅斯、越南、泰國、和中國都有人員參加這次會議，而各國在生物評估的發展皆已趕上最近生物評估的發展，尤其以南韓的發展最為快速。
3. 水壩的影響為一重要的研究。在我參加的擾動生態議程中，除了我的研究是攔砂壩的影響外，其他的研究皆為水壩造成的水文改變對溪流群聚的影響。除此之外，水壩移除後的效應研究也持續為一熱門的社會趨勢和研究議題。
4. 溪流生態復育為最近幾年新興的熱門議題。溪流生態復育是基於對美國人民的福祉和 Clean Water Act 的目標，許多的都市及農業溪流進行生態復育的工程。而在本次溪流生態復育場次中，各地提供溪流生態復育的檢討，並對案例的成果進行評估。
5. 土地使用對溪流的影響一直為重要的議題。因為土地使用影響水文的改變及污染物的影響，因此從土地使用檢討溪流生態保育為一重要趨勢。
6. 本次會議也探討其他的議題，例如：食物網、微生物生態、有機物過程、底棲魚類生態、生物地質化學、群聚生態、河溪地型、和分類等等議題。所有有關河溪或底棲生物的議題都可以在這次研討會看到。