

翡翠水庫魚類相變化與水質關係探討(2)

The Relationship between Variations of the Fish Fauna and Water Quality of the Feitsui Reservoir in Taiwan (2)

國立台灣大學
生物環境系統工程學系
副教授

侯文祥*

Wen-Shang Hou

國立台灣大學
生物產業機電工程學系
博士班研究生

陳以容

Yi-Ron Chen

國立台灣大學
生物環境系統工程學系
碩士

許振曜

Chang-Yao Hsu

國立台灣大學
生物環境系統工程學系
碩士

劉軒榮

Yao-Hsu Liu

摘要

湖泊水庫水質之管理一直是水庫管理單位極為重視的部份。近十年來「生物控制水質管理法」逐漸受到國外重視，係以人為方式改變湖泊水庫內魚類相的組成，再利用魚類的食性關係，控制浮游生物相的群聚結構，以達到水質淨化目的。本研究自 2006 年 6 月至 2008 年 11 月調查翡翠水庫內魚類相共 15 次，依據所捕獲魚種重量、尾數、密度，分析優勢種的改變、季節別與水域別的魚類相變化，與各季節的總磷、葉綠素 a、透明度、藻數量等四項水質因子進行相關性分析，研究不同水域魚種數量變化與水質之關係，並探討翡翠水庫日後施行「生物控制水質管理法」之可行性。

本文以翡翠水庫捕獲的優勢魚種中，以鯉科為主的黑鯪、高身鯽、紅鰭鮒、鰲條、吳郭魚共五種魚類作為特定魚種，分析特定魚種與水質的相關性。採用 Pearson 相關分析法進行水庫水質與特定魚種之相關驗證。從分析結果得知鯉科魚類與水質之相關性如下：鯉科魚類族群數量高低，對總磷濃度、葉綠素-a 及藻類數量並無明顯的相關性。而肉食性魚類在群聚數量較高水域，透明度有偏低的現象。依不同魚種與水質的相關性顯示，黑鯪與高身鯽的數量與總磷、藻類個數呈現負相關，對於減少翡翠水庫藻類數量有正面助益。而吳郭魚數量與藻類個數呈正相關。

關鍵詞：生物控制水質管理法，魚類相變化，優養化，翡翠水庫。

ABSTRACT

Lake and reservoir restoration is a major issue in water quality management in the

*通訊作者，國立台灣大學生物環境系統工程學系副教授，10617 台北市大安區羅斯福路 4 段 1 號，houws@ntu.edu.tw

reservoir administrative. The biomanipulation is paid attention to gradually in the past ten years. In this context biomanipulation is considered an important tool following the reduction of the nutrient load. We present a new conceptual framework and try to quantify the productivity level below which predator control of the fish population, occurs. It have had successively biology monitored plan since June 2006 to November 2008, the fifteen times investigates the varieties of the fish and study the relation between the variations of fish mass and water quality in order to offer one of the sustainable use references for the Feitsui Reservoir administrations. The framework is used to explain the eutrophication process, which is described as a series of stages between which shifts in community structure including the dominant piscivorous fish species occurred. Furthermore, based on the framework some predictions and methods for ecological rehabilitation will be presented.

This research with the larger cyprinids *Aristichthys nobilis*, *Carassius cuvieri*, *Culter erythropterus*, *Hemiculter leucisculus*, and *Oreochromis sp* species in Feitsui Reservoir. As for the different fingerling and water quality of the relevance of the show, *Carassius cuvieri* the number and total phosphorus, number of algae showed a negative correlation, by the analyzing the feeding habit reveal that reducing the algae of number have positive benefits in Reservoir. However, the number of *Oreochromis sp* and algae was positively correlated.

Keywords: Biomanipulation, Fish fauna, Eutrophication, Feitsui Reservoir.

一、前言

1.1 研究緣起及目的

對於集水區水質的保全，儘管能以人爲的方式減少污染源的輸入，但許多集水區仍然存在著優養化與藻華的問題(Hansson *et al.*, 1998)。水庫、湖泊優養化除了增加淨水成本外，甚至危及飲用水安全。主要原因爲水體中大量的氮、磷營養鹽，使得藻類有足夠養分而大量增生繁殖，易形成藻華，其中磷比氮更容易成爲生物的限制元素(Bechmann *et al.*, 2005)，所以造成優養化的原因多爲磷的大量輸入(Kontas *et al.*, 2004)。

本研究彙整國外熱帶及亞熱帶生物控制水質管理法案例參考，再將國內針對翡翠水庫的魚類採樣調查文獻與本研究調查資料彙整，分析近十年優勢魚種的改變，以及季節別、水域別的魚類組成變化，探討魚類相在時間與空間的分布狀況。再將捕獲魚種重量、尾數、密度，分別與總

磷、葉綠素 a、透明度、藻類個數等水質因子進行相關性分析，探討不同魚種數量變化與水質之關係。

這些文獻主要提及魚類對高濃度水質的污染去除效力控制，但是對於翡翠水庫低濃度污染的水域，所能進行的改善有限，因此，本研究探討低濃度污染之水庫可施行之生物控制管理法之探討。

1.2 文獻探討

生物控制水質管理法(Biomanipulation)是以人爲方式改變魚類相的組成，再利用魚類的食性關係，控制浮游生物相的群聚結構，以達到水質淨化目的。

Thomas *et al.* (1990) 針對熱帶及亞熱帶水域的水質管理提出直接以濾食浮游植物之魚類，來達到減少藻類的目的。由文獻得知，濾食性魚類黑鱧及白鱧由於濾食能力強、成長快速、

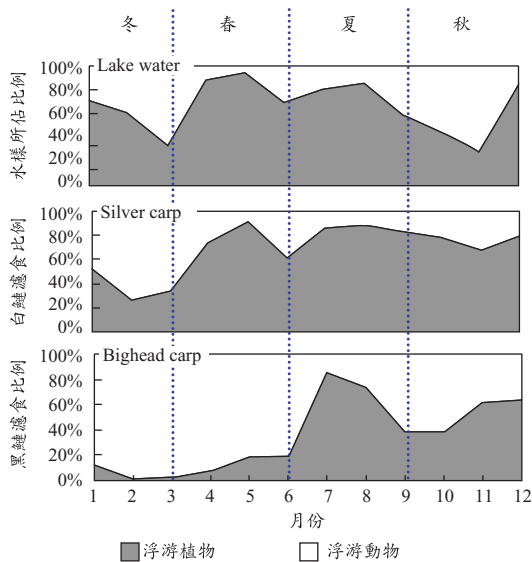


圖 1 浮游動植物季節變化與白鯽、黑鯽濾食比例 (整理自 Zhixin *et al.*, 2006)

且具高經濟食用魚類之特點，在國內外的湖泊與水庫大部分以鯽鱖魚類來達到減少藻類的目的。以下針對熱帶及亞熱帶水域國家，利用鯽鱖魚類進行生物控制水質管理之結果說明如下。

1.2.1 中國

太湖為中國境內第三大淡水湖，太湖北邊的梅梁灣是無錫市的主要供水來源，在過去幾十年間，每年於梅梁灣爆發微囊藻華皆持續 8 個月之久。Zhixin *et al.* (2006) 於 2005 年 1 月設置 3 個箱網，在梅梁灣進行利用濾食性魚類，來控制微囊藻華的研究，實驗於 2005 年底結束，測量魚體重量及體長變化。由食性分析顯示白鯽主要濾食浮游植物，浮游植物佔總浮游生物數量 26.4~91.6%，平均達 68.5%。黑鯽則主要濾食浮游動物，浮游動物佔總浮游生物數量 15.4 至 98.4%，平均達 64.7%。雖然白鯽主食浮游植物，黑鯽主食浮游動物(台灣魚類資料庫, 2008)，但是在微囊藻爆發的 7~8 月間，食性分析顯示黑鯽攝食藻類比例高達 75% 以上(圖 1)。

許多研究皆指出當微囊藻華爆發時，黑鯽及白鯽食性會有暫時性的變化，會提高對浮游植物濾食，Miura (1990) 指出微囊藻華季節，會使黑鯽對浮游動物的選擇性降低，轉而濾食大量的

藻類。Dong & Li. (1994) 指出當浮游動物數量遠低於浮游植物數量時，會導致魚類攝食浮游動物的比例降低。Zhixin *et al.* (2006) 採用 Ivlev's (1961) 魚類食性選擇指數分析顯示(圖 4)，黑鯽與白鯽濾食浮游生物隨著季節變化也有很大的改變，白鯽在 1~6 月間以濾食浮游動物為主，而在 7~12 月間轉而以濾食浮游植物為主；黑鯽則除了在 7 月及 11 月份以外，對浮游動物有較高的選擇性。餌料生物的季節性週期變化，反映出魚類生理節奏逐漸適應以最佳的方式利用天然的食物資源，魚類會隨著棲地與生態環境的變化，選擇有效利用天然的食物資源。Krebs (1979) 指出當水體中的食物資源充裕時，會傾向忽略低價值的食物，水中浮游生物相的改變會影響白鯽及黑鯽對浮游生物的選擇性濾食。黑鯽與白鯽雖然可有有效的濾食大量浮游生物(主要為微囊藻)，但是相對的也使得大量的排泄物進入水體。Chen (1990)；Vörös *et al.* (1997) 均發現黑鯽與白鯽無法消化某些浮游植物，所以大量的排泄物及磷分泌量釋於水體，會增加水中營養鹽濃度，加速藻類的吸收及繁殖，可能會降低生物控制的成效，所以在實行生物控制時，如何兼顧此現象，以環境物質收支平衡管理的概念，降低水中鯽鱖魚類排泄物也成為另一需探討課題。

過去幾十年以來，黑鯽、白鯽為中國湖泊水庫以生物管理水質方法中主要的放養魚種，主要利用其食性以浮游生物為主。但是近年來放養黑鯽的比例明顯高於白鯽，主要是因為市場價格較高，且其主要濾食養份較高的動物性浮游生物，成長速率高於白鯽。但由生物控制法而言，鯽鱖魚類混養，黑鯽數量比例高於白鯽時，勢必要再提高黑鯽的放養比例才足以控制藻華，但是高密度的放養比例將使得魚類大量的排泄物及磷分泌量進入水體，所以以生物控制於熱帶地區操作時，必須降低黑鯽的放養比例。

1.2.2 巴西

慈鯛科魚類對環境耐受度高，且繁殖快速，為熱帶地區湖泊水庫內常見之魚種。為了解慈鯛科魚類磷循環與水質的關係，Starling *et al.* (2002) 於巴西 Lago Paranoa 水庫進行移除淡水慈鯛魚類

(tilapia)實驗。Lago Paranoa 水庫面積 38 平方公里，總容量 498×10^6 立方公尺，總磷年平均濃度為 $48 \mu\text{g/L}$ ，葉綠素 a 年平均濃度為 $58 \mu\text{g/L}$ 。其上游有許多支流，其中 Bananal 和 Riacho Fundo 兩支流優養化較嚴重，兩支流的上游處各設有一座廢水處理廠以處理流入的廢水。

實驗方法是以網撈方式於 Riacho Fundo 水域移除 150 噸慈鯛科魚類，Bananal 則不做任何處理的對照組，每日紀錄廢水處理廠所輸入的總磷，每週測量水中葉綠素 a 及總磷濃度，並以聲納方式觀測魚種生物量變化。以魚體重 16 克及 40 克的慈鯛科魚類，在實驗室測試磷排泄量。得知體重 16 克的慈鯛科魚的溶解性磷與總磷排泄量分別為 1.5 與 $1.73 \mu\text{g/g/h}$ (濕重)，體重 40 克的個體則分別為 0.5 與 $1.12 \mu\text{g/g/h}$ (濕重)，顯示魚個體越小，磷排泄量越高。由廢水處理廠的監測資料發現，在捕撈作業後的 10 個月，平均每日輸入到 Riacho Fundo 支流的總磷達 43 公斤。綜合上述結果，移除 150 噸慈鯛科魚類，葉綠素 a 濃度由 $84 \mu\text{g/L}$ 下降至 $56 \mu\text{g/L}$ ，總磷濃度由 $100 \mu\text{g/L}$ 下降至 $66 \mu\text{g/L}$ 。魚類移除量相當於 857 公斤的磷含量，約為水庫支流 20 天的總磷負荷，平均每天可降低 5.1 公斤的磷進入水體，相當於外部總磷輸入量的 12%，適當的移除慈鯛科魚類是控制水質的方法之一(Starling *et al.*, 2002)。

由巴西的生物控制水質案例可知，慈鯛科魚類為熱帶水域常見的魚種，慈鯛科魚類的移除，不但可減少魚體本身將磷分泌到水中的量，同時也降低慈鯛科魚類繁殖季節，雄魚在水岸邊翻攪底泥築巢的情形，底泥受翻攪情況減少，可避免營養鹽釋出溶於水中的現象，適當的移除慈鯛科魚類是降低水體中內部營養鹽達到淨化水質的方式之一。

二、研究方法

本研究之調查範圍包括翡翠水庫內上、中、下游三區，配合翡翠水庫現有之水質採樣點作為魚類相調查的主要採樣位置，調查水域區位如圖 2 所示。調查期間自 2006 年 6 月至 2008 年 11 月，進行共計 15 次依四季不同季節的調查。

本研究以翡翠水庫捕獲的優勢魚種，以鯉科為主的黑鯪、高身鯽、紅鰭鮪、鰲條、吳郭魚共五種魚類作為特定魚種，分析特定魚種與水質的相關性。將調查資料進行季節別、水域別的組成變化分析，探討魚類相在季節別與空間的分布狀況。再將捕獲魚種重量、尾數、密度，分別與總磷、葉綠素 a、透明度、藻類個數等水質因子，利用 Pearson 相關分析法進行水庫水質與特定魚種之相關驗證，探討不同魚種數量變化與水質之關係。

三、結果與討論

3.1 特定魚種組成與空間分佈關係

3.1.1 優勢魚種

水庫內自上游至下游共九個水區，各測站在魚獲數量上排名前五名的魚種以中、下游地區較為一致。鰲條、紅鰭鮪、大眼華鯪、鯉魚、吳郭魚、圓吻鰻等魚種在各測站均有較大量的分佈。整體而言，尾數以鰲條最多，大眼華鯪次之。而不同測站在魚種組成上還是有明顯差異。如在上游的灣潭有較大量的黑鯪，中游石碇子有為數不少的高身鯽，中游的媽祖林則有大量的紅鰭鮪。本研究以翡翠水庫所捕獲的優勢魚種，以鯉科為主的黑鯪、高身鯽、紅鰭鮪、鰲條、吳郭魚等五種魚類作為特定魚種，並分析特定魚種在季節別及空間分佈與水質的相關性。

3.1.2 特定魚種的空間分佈

(1) 黑鯪

濾食性優勢種黑鯪於文獻(曾，1997~2000)所調查資料顯示，其捕獲水區皆在下游大壩水域，捕獲尾數佔 76.4% (圖 3)，捕獲季節集中於春季，捕獲尾數百分比佔 85.5%。本研究調查結果則顯示捕獲季節的尾數百分比集中於秋季，佔 86.8%；捕獲水區的尾數百分比，上游灣潭水域佔 83.6%，中游鷺鷥潭佔 7.9%，下游水域則佔 8.4% (圖 3)。本研究調查(2006 年 6 月~2008 年 11 月)捕獲黑鯪共 189 尾，其捕獲季節及空間分佈多集中在秋季的上游水域。不分水區以夏、秋兩季，所捕獲黑鯪數量最多。因此，建議管理單位針對黑鯪數量之採樣調查時，可集中在夏、秋兩季的上、中游水域。

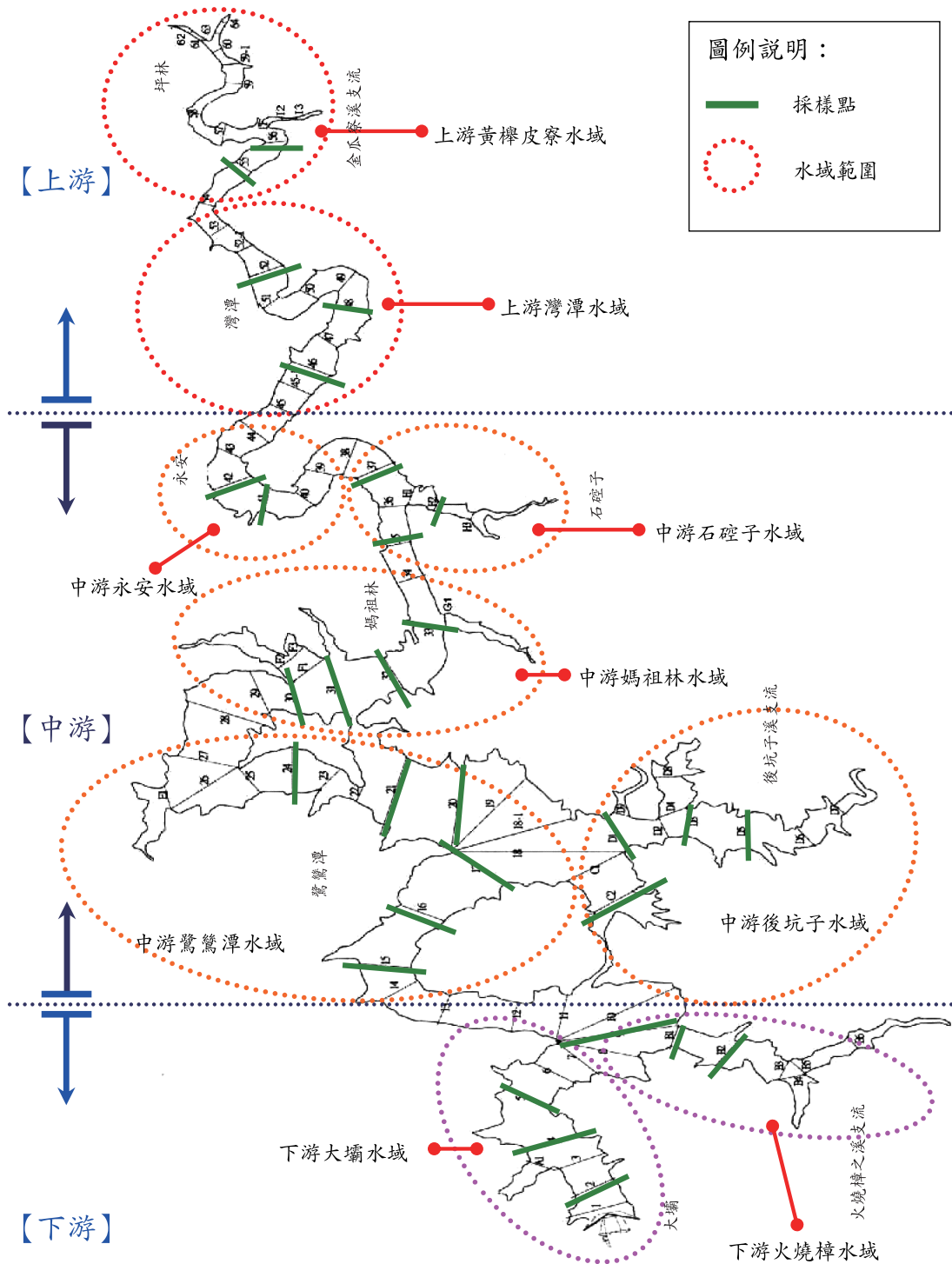


圖 2 調查水域區位圖

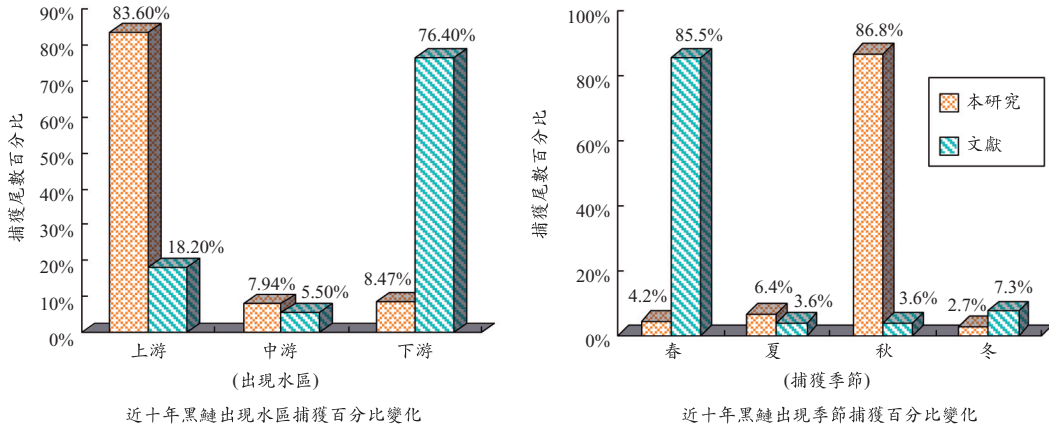


圖 3 近十年黑鮰捕獲水區與捕獲季節之尾數百分比變化

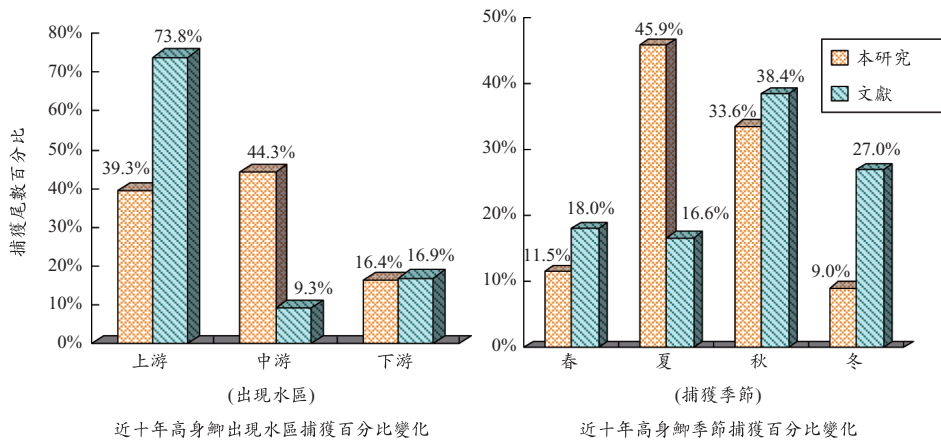


圖 4 近十年高身鯽捕獲水區與捕獲季節之尾數百分比變化

(2)高身鯽

高身鯽為食藻性表水層鯉科魚類，其鰓耙長而密，主要食浮游植物以及附著性藻類為食，對淨化水質有幫助(沈、曾，1993)。比較十年前文獻與本研究調查得知，尾數百分比由 24.8% (367 尾)減少至本研究調查的 6.1% (122 尾)；重量百分比由 21.6% (280.7 公斤)，下降至 6.5% (78.33 公斤)，顯示族群數量明顯下降。文獻(曾，1997~2000)顯示捕獲季節涵蓋四季，其中以秋季最高，捕獲尾數百分比佔 38.4%，本研究調查則顯示皆集中於夏、秋兩季，其中以夏季佔 45.9%。由圖 4 得知，文獻顯示捕獲尾數出現水區大多集中於上游灣潭水域佔 73.8%，共 271 尾；而本研究調查結

果，大多集中在中游水域約佔 44.3%。不分水區以夏、秋兩季，所捕獲高身鯽數量最多。因此，建議管理單位針對高身鯽數量之採樣調查時，可集中在夏、秋兩季的上、中游水域。

(3)紅鰭鮎、鰲條、吳郭魚

文獻顯示紅鰭鮎屬強勢肉食性魚種，對生態環境造成威脅，吳郭魚則為耐高污染魚種。圖 5 為此三種魚種捕獲水區與捕獲季節之尾數百分比變化。捕獲季節皆集中於夏季，研判在冬季會潛至深水水域渡冬，造成捕獲量減少。

由圖 5 得知，吳郭魚於文獻(曾，1997~2000)顯示僅捕獲 10 尾，而本研究調查結果則增加至 288 尾，族群數量有增加趨勢，捕獲季節以夏季

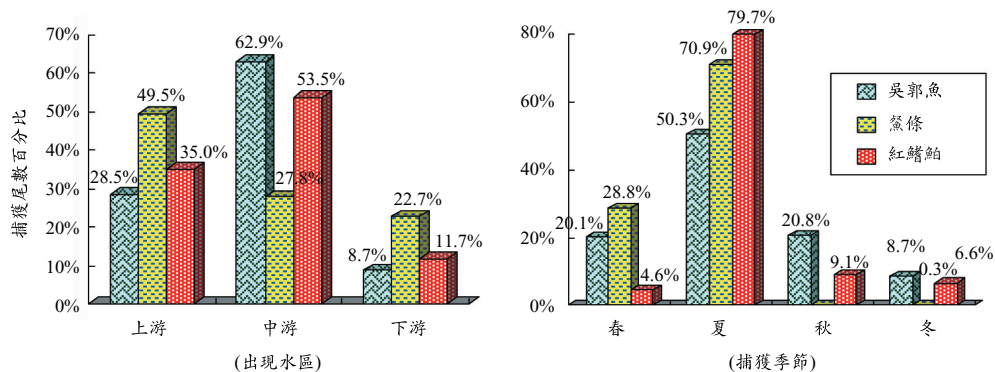


圖 5 紅鰭鮎、鰲條、吳郭魚等魚種捕獲水區與捕獲季節之百分比變化

最高，佔捕獲數量百分比 50.3%，共 145 尾。捕獲水區數量百分比以中游後坑子及鵞鵞潭最高，共佔 62.9% 共 181 尾。國內外研究皆顯示吳郭魚為耐高污染魚種，且生態習性會翻攪底泥，若對生態與水質造成負面影響，建議捕撈移除(沈、曾，1993)，或控制其族群數量。

本研究新增捕獲魚種鰲條，在台灣各湖泊、水庫皆可發現其蹤跡。調查共計捕獲 299 尾，佔總捕獲數量 14.9%，廣涵上、中、下游水域。由圖 5 發現鰲條比紅鰭鮎及吳郭魚更能適應水庫內各水域的棲地環境，捕獲數量集中於夏季，佔 99.5%，研判應是夏季時於水體上層群體覓食，秋冬季躲入深水域渡冬。其繁殖力及適應力強，較能容忍汙濁水域，族群數量有增加趨勢。不分水區四季皆能捕獲吳郭魚，捕獲數量以夏、秋季最多。不分水區以春、夏兩季，捕獲鰲條數量最多，秋、冬兩季捕獲數幾乎為零。不分水區四季皆能捕獲紅鰭鮎，捕獲數量則以夏季最多。因此，建議管理單位針對上述魚種數量之採樣調查時，可集中在春、夏、秋三季的上、中游水域。

3.2 特定魚種與水庫水質相關性分析

本研究自 2006 年 6 月至 2008 年 11 月，將所捕獲之特定魚類資料(黑鰱、高身鯽、紅鰭鮎、鰲條、吳郭魚共五種)，與同期間同水域的水庫水質資料做相關性分析。本研究參考 Hansson *et al.* (1998) 及 Mikko (2002) 資料，將水庫內捕獲之特定魚類，涵蓋不同季節、不同水區，將所捕獲的

魚類進行統計分析。利用 XY 散佈圖進行魚類相與水質的相關性分析。X 軸為本研究魚類採樣當月的水域別水質資料，分別為影響 CTSI 值的三項水質參數：總磷濃度($\mu\text{g/L}$)、葉綠素 a 濃度($\mu\text{g/L}$)及透明度(m)，以及影響水庫優養化的因子：藻類個數(個/ml)等，共探討以上四項水質因子。Y 軸為上述特定魚種，分別以每次在不同水域所捕獲的重量(kg)、尾數(尾)、魚類密度(kg/ha, 重量/使用網目面積)等三項魚類資料。分析探討上述四類魚種與四項水質因子的相關性。

3.2.1 黑鰱與水庫水質相關性分析

國內外研究顯示黑鰱主要濾食浮游動物(Zhixin *et al.*, 2006; 台灣魚類資料庫, 2008)，但本研究食性分析結果顯示，在翡翠水庫藻類數繁生的夏、秋二季，黑鰱濾食浮游植物比例達 41%~50%，顯示黑鰱會隨著棲地與生態環境的變化，選擇有效利用天然的食物資源(Zhixin *et al.*, 2006; Krebs, 1979)，且由相關性分析結果顯示，在黑鰱捕獲重量及密度越高的水域，藻類個數與總磷濃度越低(圖 6)，顯示目前優勢種黑鰱對於減少藻類數量、淨化水庫水質有助益。

3.2.2 高身鯽與水庫水質相關性分析

高身鯽與水質的相關性分析結果得知，高身鯽捕獲重量、密度較高的水域，其透明度、總磷濃度、藻類個數呈現較低的趨勢(圖 7)。本研究對高身鯽所做的食性分析顯示，攝食浮游植物比例高達 76% 與 90%，沈與曾(1994)於翡翠水庫所捕獲的高身鯽食性分析中也有相同的結果，其中

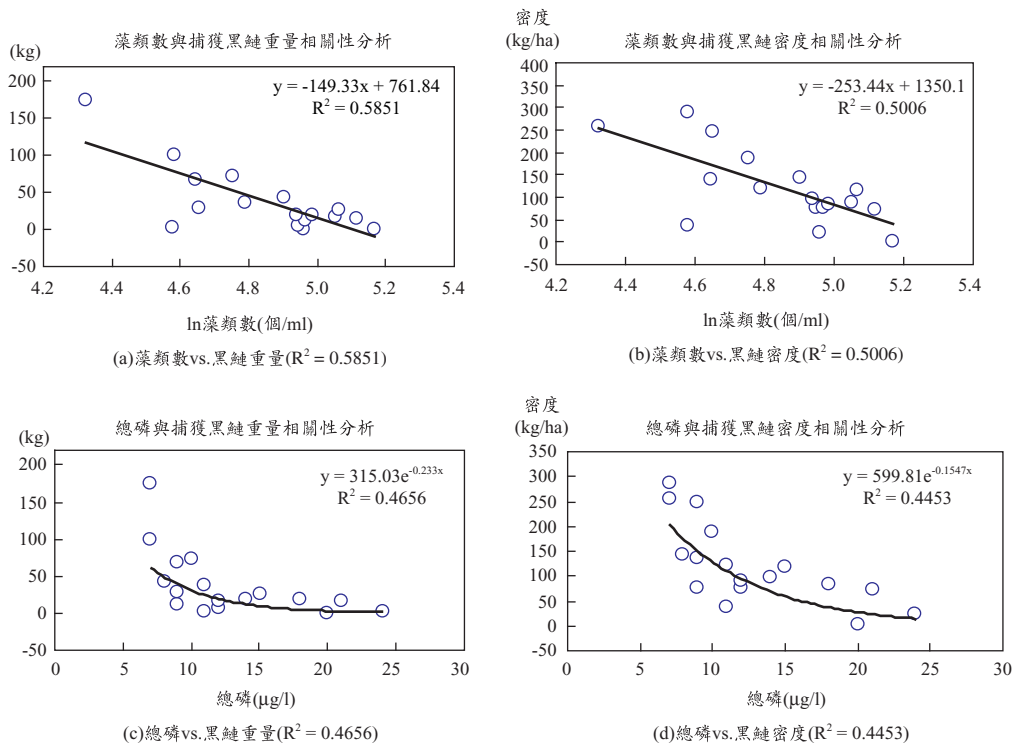


圖 6 黑鮪捕獲重量及密度與藻類個數及總磷濃度相關性分析

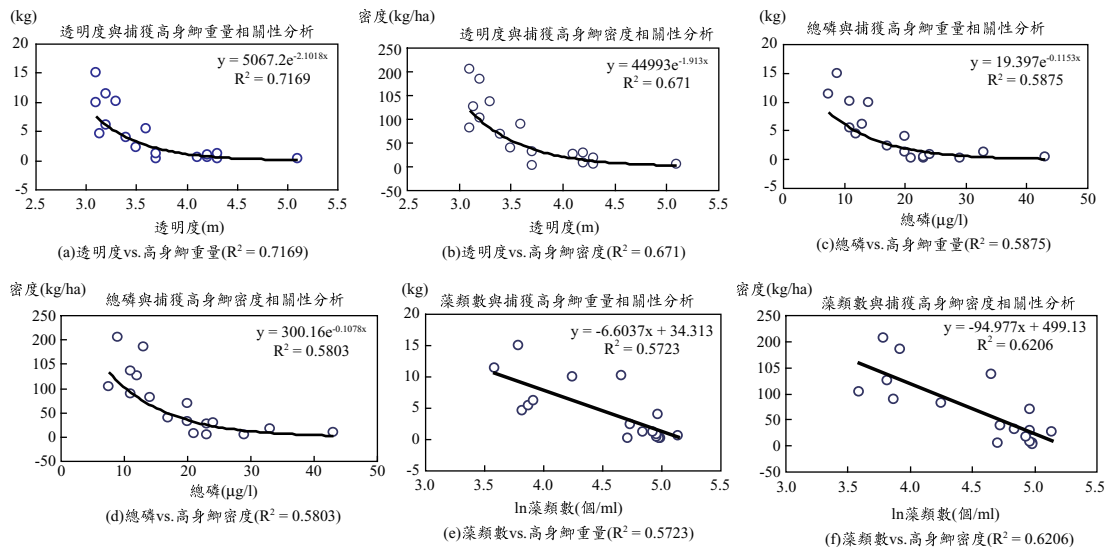


圖 7 高身鯽與水質相關性分析圖

二角多甲藻所佔比例高達 90% 以上。顯示高身鯽對於減少水庫藻類數量，為有益魚種。

3.2.3 紅鰭鮪

由紅鰭鮪與水質的相關性分析結果顯示，紅鰭鮪與水庫各項水質相關性甚低(圖 8)，顯示紅鰭鮪的族群數量對水庫水質影響度極低，較無明

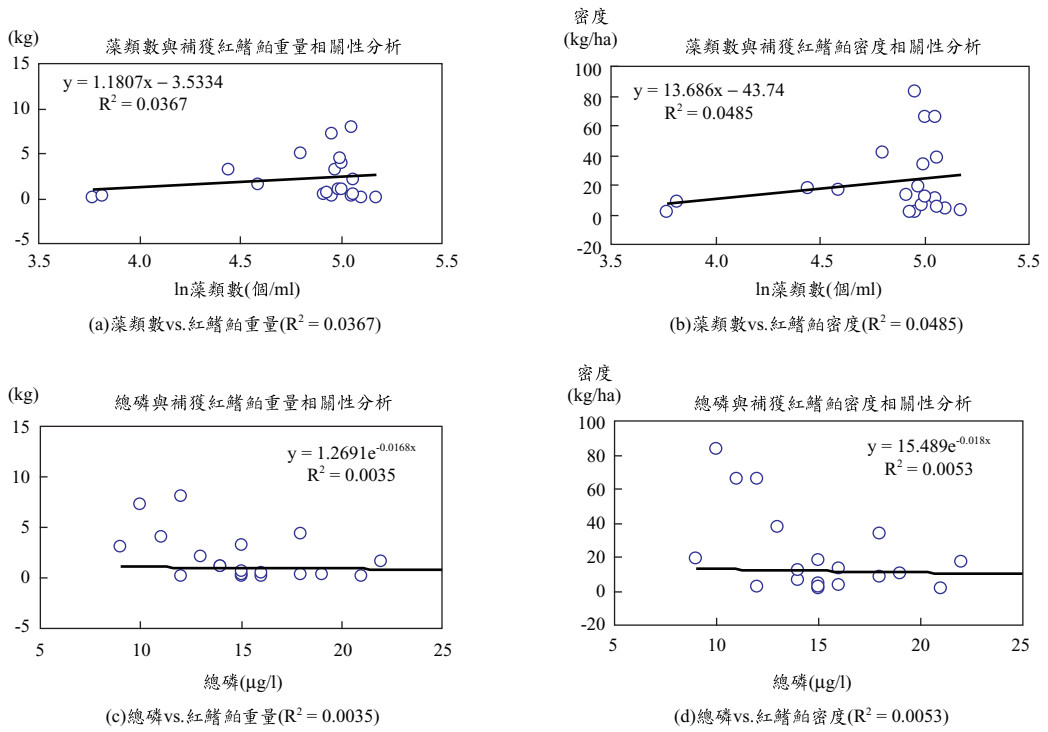


圖 8 紅鰭鮎與水質相關性分析圖

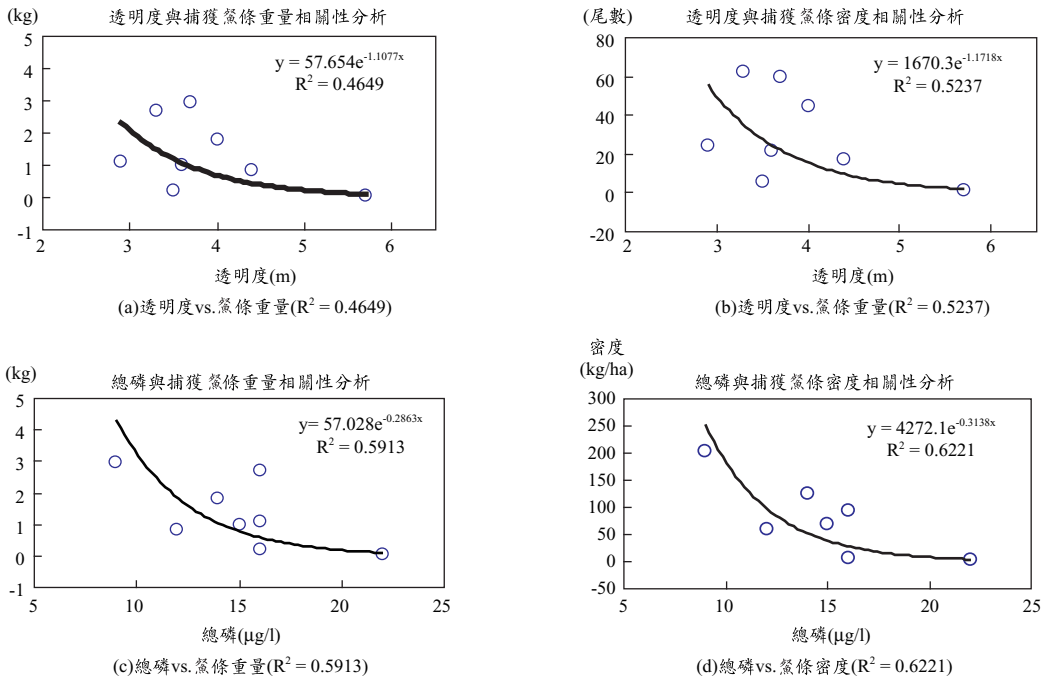


圖 9 鯊條與水質相關性分析

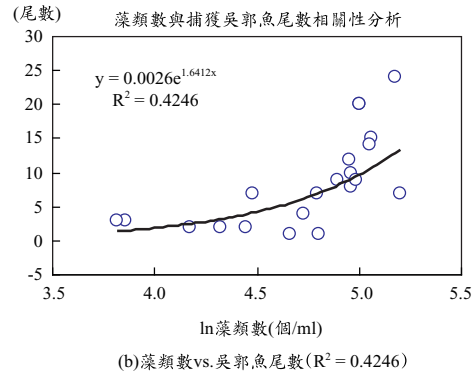
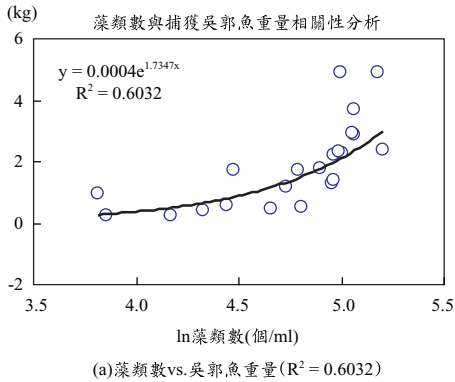


圖 10 吳郭魚與水質相關性分析

顯的相關性，且國內外文獻尚無此魚類與水質的相關性研究。此魚類對於水質的影響，宜持續累積調查資料，再行探討。

3.2.4 鰲條

鰲條為雜食性魚類，會隨著水中浮游生物比例而改變食性。由水質相關性分析結果顯示，雖然捕獲重量及尾數越高的水域，其透明度及總磷濃度呈現越低的情況(圖 9)，但國內外文獻尚無此魚類食性與水質的相關性研究，且本研究鰲條所累計的資料數據尚不多，因此，鰲條對於水質的影響，宜持續累積調查資料，再行探討。

3.2.5 吳郭魚

根據 Datta & Jana (1998) 魚類食性研究指出，慈鯛科魚類(吳郭魚)在短期間雖可降低微囊藻個體量，但在其排糞物中發現許多未消化的微囊藻細胞，其本身的排磷量又加速了藻類的生長，除了抵銷了本身攝食藻類的量，使得藻類量甚至高於原本的個數。本研究調查結果，吳郭魚與水質關係顯示，吳郭魚捕獲重量及尾數越高的水域，藻類個數呈現較高的趨勢，得知捕獲重量及尾數與藻類個數呈現正相關(圖 10)。由國外生物控制水質管理法文獻與本研究結果，均顯示吳郭魚為高污染魚種，對於生態及水質造成負面影響，可建議捕撈移除或控制其族群數量。

四、結 論

本研究依據季節與水域別之特定魚類相變化，與各季節的總磷、葉綠素-a、透明度、藻個

數等四項水質因子進行魚種數量變化與水質之相關性分析，進而探討翡翠水庫施行「生物控制水質管理法」之可行性。若魚種數量變化與水庫水質呈正相關，顯示「生物控制水質管理法」在翡翠水庫具可行性。但由於國外施行「生物控制水質管理法」的湖庫，大多屬於優養化水質，因此成效顯著；而翡翠水庫水質狀態大多處普養或貧養狀態，因此是否須以人為方式改變魚類相的組成，以控制浮游生物相的群聚結構，來達到水質淨化目的，則需要更多的基礎調查數據來佐證。

針對熱帶及亞熱帶水域研究顯示，直接以濾食浮游植物之魚類來控制藻類數量。濾食性魚類黑鱧濾食能力強、成長快速、且具高經濟食用魚類之特點，在國內外的湖泊與水庫大部分以鱧鱠魚類來達到減少藻類的目的。由調查結果分析得知，水庫內黑鱧及高身鯽數量與藻個數呈負相關，顯示增加水庫內黑鱧及高身鯽數量可有效控制藻個數。紅鰭鮒數量與藻個數相關性低，顯示其數量多寡無法判斷水庫內藻個數之變化，建議需再持續累積相關調查數據後觀察其變化。鰲條數量與總磷濃度及透明度呈負相關，但國內外文獻尚無其食性與水質的相關性研究，且本研究鰲條所累計的資料數據亦不多，因此，其對於水質的影響，宜持續累積調查資料，再行探討。另由慈鯛科魚類吳郭魚與水質的相關性分析得知，捕獲重量及尾數與藻類個數呈現正相關，且熱帶水域生物控制水質管理相關文獻顯示，吳郭魚為高污染魚種，對於生態及水質造成負面影響。

總結得知，在實行生物控制前需對水生生物相做長期、完整的調查，仔細評估以作為規劃的依據，是必要的途徑。

謝 誌

本研究得臺北翡翠水庫管理局補助經費與協助研究，謹致誠摯謝意。

參考文獻

1. 王晨光，「魚類相變化與水庫水質關係之探討-以翡翠水庫為例」，台灣大學生物環境系統工程學系碩士論文，2007。
2. 台灣魚類資料庫 <http://fishdb.sinica.edu.tw/2001new/main1.asp>。
3. 石志中、方德奎、張衛，「白鰱魚種對螺旋魚腥藻攝食量和利用率的研究」，水生生物學集刊，6(1)：89-96，1976。
4. 侯文祥，「翡翠水庫水生動物多樣性之長期監測(1)(2)(3)」，台北翡翠水庫管理局成果報告，2006-2008。
5. 侯文祥、許根曜、王晨光、陳以容，「翡翠水庫魚類相變化與水質關係探討(1)」，農業工程學報 55(1)：18-26，2009。
6. 許根曜，「翡翠水庫水質與魚類之相關性研究」，台灣大學生物環境系統工程學系碩士論文，2008。
7. Burke, J.S. and Bayne, D.R. "Impact of silver and bighead carps on plankton communities of channel catfish ponds", *Aquaculture*, 55(1): 59-68, 1986.
8. Chen, S.L., "Fish and its role on nutrient cycling in water", *Ecological Studies of Lake Donghu*, Vol. 1. Science Press, Beijing, pp. 292-371 (in Chinese), 1990.
9. Dong, S.L. and Li, D.S., "Comparative studies on the feeding selectivity of silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* and bighead carp *Aristichthys nobilis*", *J. Fish Biol.*, Vol. 44, pp. 621-626, 1994.
10. Fernando Luis, "Control of eutrophication by silver carp in the tropical Parano Reservoir, Brasilia, Brazil, a mesocosm experiment", *Hydrobiologia*, Vol. 257, pp. 143-152, 1993.
11. Hansson, L.-A., Annadotte, H., and Bergman, E., "Minireview: Biomanipulation as an application of food-chain theory: constraints, synthesis, and recommendations for temperate lakes", *Ecosystems* Vol. 1, pp. 558-574., 1998.
12. Krebs, J.B., "Foraging strategies and their social significance. In: Martens, P., Vandenberg, J.G. (Eds.)", *Handbook of Behavioural Neurobiology*, Vol. 3. Plenum press, New York, 1979.
13. Olin, M. "Fish community structure in mesotrophic and eutrophic lakes of southern Finland: the relative abundances of percids and cyprinids along a trophic gradient", *Journal of Fish Biology*, Vol. 60, pp. 593-612, 2002.
14. Miura, T., "The effects of planktivorous fishes on the plankton community in a eutrophic lake", *Hydrobiologia*. Vol. 200, pp. 567-579, 1990.
15. Starling, F., Lazzaro, X., Cavalcanti, C., and Moreira, R., "Contribution of omnivorous tilapia to eutrophication of a shallow tropical reservoir: evidence from a fish kill", *Freshwater Biology* Vol. 47, pp. 2443-2452, 2002.
16. Thomas, L.C. and John, R.B., "Applicability of planktonic biomanipulation for managing eutrophication in the subtropics", *Hydrobiologia*, Vol. 200/201, pp. 177-185, 1990.
17. Vörös, L., Presing, L.O.M., and Balogh, K.V., "Size selective filtration and taxonspecific digestion of plankton algae by silvercarp", *Hydrobiologia*, Vol. 342/343, pp. 223-228, 1997.
18. Zhixin Ke, Ping Xie, Longgen Guo, Yaqin Liu, Hua Yang, "In situ study on the control of toxic *Microcystis* blooms using phytoplanktivorous fish in the subtropical Lake Taihu of China", A large fish pen experiment, 2007.

收稿日期：民國 98 年 10 月 19 日

修正日期：民國 99 年 4 月 12 日

接受日期：民國 99 年 4 月 19 日