

結合生物水質管理法與物理曝氣法 處理景觀湖水質之研究 —以臺灣大學醉月湖為例

Integrated Biomanipulation and Micro-Bubble Aerator Treatment Landscape Ponds Water for National Taiwan University Drunken Moon Lake

國立臺灣大學
生物產業機電工程學系
博士候選人

陳以容*

Yi-Ron Chen

國立臺灣大學
生物環境系統工程學系
教授

侯文祥

Wen-Shang Hou

國立臺灣大學
生物產業機電工程學系
副教授

周楚洋

Chu-Yang Chou

國立臺灣大學
漁業科學所
碩士

林懿蹟

Yi-Ping Ling

摘 要

臺灣大學醉月湖於每年春、夏、秋三季均會發生藻華，造成水質優養化現象。本研究結合生物水質管理法與物理法進行醉月湖水體水質改善。生物水質管理法係先移除醉月湖內對水質有害之魚種，再投入可濾食藻類之魚類，利用食物鏈方式進行水中藻類的去除；物理曝氣法係將底層供氧為主的微細氣泡曝氣設備配置於醉月湖內，創造底層的水體緩慢流動，持續補充底層溶氧，減少水體底層優養化發生的機率。

實驗結果顯示，移除醉月湖內有害魚種及放養黑鯪後，水中藻個數有明顯下降的趨勢；底層曝氣增氧設備使醉月湖底層水體溶氧從 0.5~2.4 ppm 提高至 3.1~6.6 ppm。本研究結合生物水質管理法與微細氣泡底層曝氣物理法，經過長時間的現地調查與設備操作，數據顯示，不但可有效減少水體淨化時間，更能大幅降低淨化成本，對於封閉型湖庫之淨化，具有良好之效益。同時希冀其基礎數據能提供國內景觀湖泊水質管理方法之參考。

關鍵詞：景觀湖泊，生物水質管理法，物理曝氣法，溶氧。

ABSTRACT

Drunken Moon Lake in National Taiwan University drunk every spring, summer and

*通訊作者，國立台灣大學生物產業機電工程學系，10617 台北市中正區羅斯福路 4 段 1 號，r89622042@ntu.tw

autumn algal blooms will occur, causing water eutrophication. This study applied the biomanipulation and a micro-bubble aerator treatment landscape pond in the Drunken Moon Lake. Biomanipulation is involving removal of planktivorous fish, the pelagic food web from fish to algae manipulation. Physical aeration use micro-bubble aerator created a slow flow water bottom water, the underlying continuous supply of dissolved oxygen, reducing the chance of bottom eutrophication occurs.

We analyzed the correlation between water quality, algae, zooplanktons and fishes in the Drunken Moon Lake, and a micro-bubble aerator was installed in lake to aerate and mix the water. Experiment was conducted to test and verify such combinations and evaluate its performance and removal mechanisms. A micro-bubble aerator improve Drunken Moon Lake bottom water dissolved oxygen from the 0.5~2.4 ppm increased to 3.1~6.6 ppm. The result indicated that the biomanipulation and a micro-bubble aerator was with a great potential in treating and recycled the lake water with stable operation and satisfactory removal performance.

Keywords: Landscape ponds, Biomanipulation, Micro-Bubble Aerator, Dissolved Oxygen.

一、前 言

景觀湖泊通常位於城市的市中心，且具有生態服務的功能。它不僅提供人們完善的生活也提供城市中生物棲息的空間。由於景觀湖泊通常為封閉的水體，在營養鹽不斷累積的情況下，景觀湖泊水體水質的維持極為重要(Biggs, *et al.* 2005)。

臺灣大學醉月湖約莫在民國 50 多年，校方因鋪設運動場將原有農田開挖，形成一大水池而成(臺大校史)。醉月湖之湖域面積約 8,433 m²，湖體由大、中及小湖組成(如圖 1 所示)，大湖、中湖池底深度不同，但水體由橋下連通口相連，小湖獨立，利用馬達由大湖進水，多餘水溢流至中湖，其主要水源為地下水。由於醉月湖屬於封閉型景觀水體，每年春、夏、秋三季均會發生優養化現象，造成布袋蓮大量繁殖或水中缺氧現象(照片 1)。近年來由於醉月湖之邊坡護岸逐漸向內傾斜，校方便於 2011 年進行邊坡整治及池底清淤工程，但是仍無法改善醉月湖大湖水質及底部溶氧不足的問題。由於大湖底水層的水中溶氧持續偏低，於季節交替時易產生水溫分層，即使在秋季，若遇秋老虎，易發生底泥表面厭氧發酵，



圖 1 醉月湖現況照片(2011 年整治前)



照片 1 醉月湖中池布袋蓮繁生

釋放有毒氣體、藻類滋生及倒藻等情況，嚴重影響水質，導致湖中生物因缺氧而發生斃死現象。因此，若能增加醉月湖水體底層溶氧濃度，並增加水體底層流速帶動溶氧，對於改善醉月湖水體底層缺氧及水質優養化現象，應有所助益。

目前改善湖庫水體優養化的方法，較常使用物理性方法中的曝氣法，當水體中有機汙染物過高時，可增加水體中溶氧，使好氧性微生物進行各種分解代謝反應。而與水生動物相關的生物控制水質管理法，係利用水域中生態系食物鏈方式進行水質淨化的方式，是近年來國外極為重視及使用的生物處理法。本研究針對醉月湖水質整治，進行此兩種改善方案與現地實驗；一為使用物理性曝氣法，一為進行生物水質管理法。

二、文獻探討

2.1 物理曝氣法

一般常見的封閉式景觀湖，因其規模小，不易流動，極易受雨後表面逕流滲入污染，造成藻類繁殖，產生水體優養化現象。優養化現象不但會破壞水域生態環境，更會增加景觀湖泊維護成本。當陽光和水溫適於藻類繁殖的季節，在優養化的水體中，藻類聚集在水體上層，覆蓋在水面上，形成一片片「藻華」。而大量繁殖的藻類新陳代謝後產生許多植物的遺骸，細菌需要耗用水中的氧氣來進行分解，造成水中的溶氧量大幅降低，可能導致棲息在當地水體中的魚類窒息而死，水體的色度和濁度也會增加。死亡的藻類屍體和底生植物在水體底部腐爛分解，又將氮、磷等植物營養素重新釋放進水體中，所以底層的氮磷等營養素又增加。這樣周而復始的物質循環使植物營養素長期保存在水體中，使水體的總磷及葉綠素 a 偏高。而物理曝氣法係指利用大型機具攪拌並破壞水體分層，改善水體循環，或以人工方式大量增加曝氣，甚至大量換水以移除優養化較嚴重的水體，這些物理方式的規模較小，通常在小型且較淺的水域成效較好，大型的水域則受限於機具設備的能力成效不彰，換水的方式也需要充足的水源補給，如湧升泉水，並配合良好的隔離機制才能實行(Sierp *et al.*, 2009)。

2.2 生物水質管理法

早在 1961 年已有人提出改變魚類組成可有效改善營養結構及水質(Hrbacek *et al.*, 1961; Hrbacek, 1962)，但直至 1975 年 Shapiro 等人正式提出「生物水質管理法」能恢復湖泊水質的概念(Shapiro *et al.*, 1975)。「生物水質管理法」係藉由改變水域中生物的數量來改善水域生態系，藉由建立水生植物群落，去除造成底泥擾動或濾食浮游動物的魚種，並提高浮游動物濾食藻類的速率，或直接引進濾食藻類的魚種等方法，來減少水中藻類的數量。此方法有三個主要的觀念，分別是關鍵捕食者理論、營養級連鎖理論與下控式/上控式食物鏈模型(bottom-up/top-down model)。相對於物理化學的處理，不僅節省成本，也因改善生態環境而有更持久的穩定性。

傳統的「生物水質管理法」適用於溫帶地區，常以捕撈方式直接移除濾食性魚類，或是加入原生食魚魚種以抑制食浮游性魚類數量，食浮游性魚類減少後浮游動物的增長即可控制藻類族群數量，成效快速且操作簡易。Hansson *et al.* (1998)整理移除食浮游性魚類後，水域在三年間預期之變化，初期可見浮游動物密度明顯上升，底泥翻攪與回溶脂營養鹽、魚類釋放之含磷廢物明顯減少，並隨後降低藻類密度，而使水生植物發展較佳；然而在食物競爭性降低下，多種魚類的稚魚隨後增加，此時便以加入食魚魚種控制其數量，以達到長效性之生物水質管理法成果(Hansson *et al.*, 1998)。

但是熱帶地區的湖泊水域氣候變化與溫帶地區不同，因此發展出非傳統的「生物水質管理法」，係以濾食性魚類作為藻類的主要清除者。值得一提的是，魚類的濾食能力與其活動產生的含磷廢物，亦可能造成藻類的生長，或因魚類活動使浮游動物數量銳減間接導致藻類爆發的情形(Hambright *et al.*, 2002)。溫帶湖泊的魚類的繁殖期為一年一次，通常集中在夏季晚期，此時有大量稚魚孵化覓食(Jepesen *et al.*, 1997)，而由於孵化期的集中，很容易針對特定時間執行生物水質管理法有效控制魚群的數量。然而，亞熱帶與熱帶湖泊的魚類繁殖並不限一年一次，較多者甚

至可達一年數次，不同魚種孵化季涵蓋了全年 (Fernando *et al.*, 1994; Paugya *et al.*, 1999)，如丹麥一處優養的鹹水湖泊中，一年孵化 2~3 次的三刺魚(*Gasterosteus aculeatus*)其產卵率與繁殖頻率均較同水域中的其他魚類高，導致水中三刺魚稚魚數量居高不下，這些稚魚會大量濾食浮游動物，增加對浮游動物群落的濾食壓力使其數量銳減 (Jeppesen *et al.*, 1994, 1997)，大量的稚魚也造成水中磷鹽的濃度提高，利於藻類生長。因此，藻類－浮游動物－魚類之間的相互作用，是施行非傳統「生物水質管理法」的重要關鍵。

三、設備配置與魚類相調查

3.1 物理曝氣法現場配置

本研究自 2007 年 5 月起至今，持續在上下學期的夏季和冬季日間，配合課程做為學生環境計測實習現場，使用橡皮艇，進行醉月湖水質分布調查，量測項目包括溶氧分布、水溫分布、水深分布、濁度分布、軟底泥厚度分布、透明度等，並用 surfer 軟體繪出分布圖，藉此分析醉月湖狀態，以了解水域特性。

物理曝氣法係將底層供氧為主的微細氣泡曝氣裝置配置於醉月湖內，創造底層的水體緩慢流動，持續補充底泥表面有機物分解所需要的溶氧，以不攪動底泥為原則設置。於醉月湖大池共配置 7 台 1 HP 動力曝氣裝置(本研究室專利－微細氣泡產生裝置)。設置位置以湖心亭為中心，配合兩台水面水車的表水層流動方式，將設備配置在大湖週邊，距離湖岸約 7-8 公尺，水深約 2 公尺位置，底部距離底泥上方約 20 公分(配置圖如圖 2 所示)。每組設備約間隔 20-25 公尺。使湖底的水體流動，構成逆時鐘流向。啟動時間設定為每開啟 4 小時，關閉 20 分鐘的連續操作運轉方式，保持日夜間都能維持醉月湖大池的水體緩慢流動狀態。除了夏季白天可增加底層的水中溶氧，日夜間都能藉由底水層流動，補充底泥表面的營養鹽硝化所需溶氧。在冬天低水溫期，也可增加上下水層的溶氧濃度，尤其能有效提高底泥表面的溶氧需求。

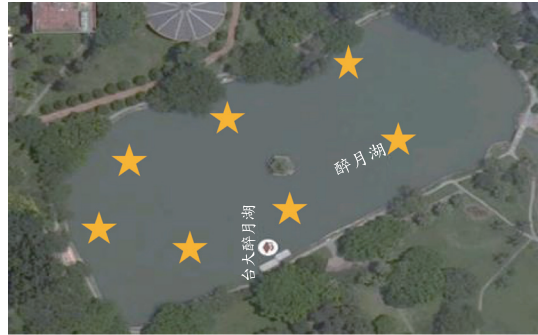


圖 2 醉月湖「微細氣泡曝氣裝置」設置位置

3.2 醉月湖魚類相調查

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、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鱸魚類來達到減少藻類的目的。針對醉月湖優養化水質狀況改善，除了使用物理法進行曝氣工法外，另外再施以「生物水質管理法」，進行更長期的水質維持與管理。「生物水質管理法」的操作最困難的部分在於施作區域，必須先調查水中的魚類數量及種類數，並將危害水質的魚種先去除，之後再投放濾食性強的魚種(如黑鱧)，經由魚類濾食水中藻類，進而達到減少藻類的目的。

本研究以釣魚法及網捕法(放置流刺網及陷阱籠)，依據制式的漁法，先調查醉月湖內現有魚種，並紀錄及計算魚種體型、尾數、漁獲密度等。區分出對水質造成汙染之魚種進行去除，例如吳郭魚、鯉魚、琵琶鼠等。有害魚種清除完畢後，放入食藻類魚種，如草魚、鱮魚等。自 2014.11.1~2015.4.7 共進行六次 14 天的調查作業。依不同水深及魚種進行不同網目的配置，共採用 1.8”、2.8”、3”及 4.5”三層網等四種不同網目之網具進行捕撈。流刺網設置主要橫跨湖面兩側，漁網長度為橫跨湖面長度，漁網深度沉至湖底；為能有效的進行醉月湖之魚類生物相之調查，網具設置採橫斷面穿越方式進行湖面之採樣，邊緣則採斜穿式設置進行作業；佈網位置如圖 3 所示。垂釣法主要以調查掠食性魚類為主，由具有釣魚經驗之能手，利用不同餌料、不同釣組(如浮標種類

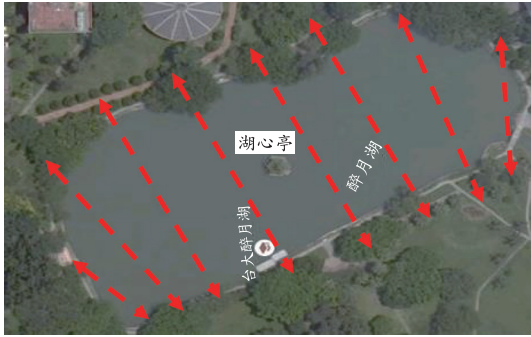
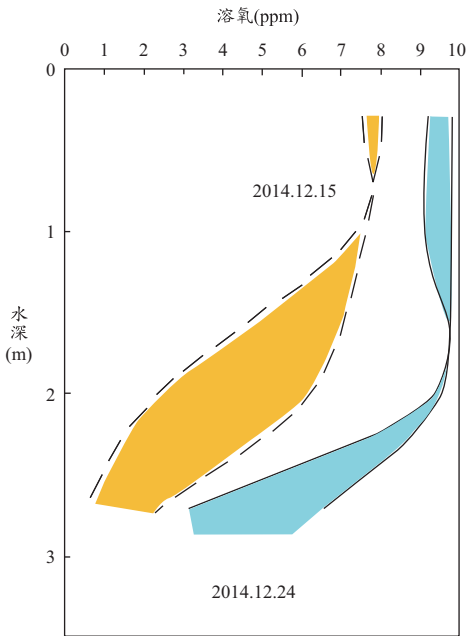


圖 3 醉月湖魚類相調查網具設置位置示意圖(地圖資料 Google 2015)



註：2014.12.15上午11:00微細氣泡機尚未裝設。
2014.12.24上午07:30微細氣泡機裝設完成，開啟中。

圖 4 醉月湖水中溶氧與水深關係圖

、釣竿長度、釣線直徑)，採手釣、沉底、拋竿等方式進行操作。

四、結果與討論

4.1 醉月湖溶氧及流場分佈

本研究於 2014.10.16~18 進行水中溶氧分佈調查，醉月湖上、中、下水層的水溫相近，為

表 1 醉月湖溶氧分布調查表

調查日期	溶氧分層(ppm)				水溫 (°C)
	水深 0.3m	水深 1m	水深 2m	水深 2.7m	
2014/12/15					
am 11:00	7.53~8.02	7.40~7.60	2.38~6.2	0.50~2.38	17.1
(設備未安裝)					
2014/12/24					
am 07:30	9.18~9.81	9.09~9.72	9.38~9.5	3.14~6.59	15.4
(設備已安裝)					

23.6~24.2°C；上、中水層的水中溶氧約 7.4~10.7 ppm，而接近底泥表面的 5 cm 水層，溶氧僅約 1.2 ppm 以下，在溶氧垂直分層的變化上，快速缺氧的底泥表面層，亟需依賴底層水體保持流動，持續補充底泥有機物分解耗氧所需的溶氧。因此，為增加醉月湖水中溶氧，進而改善水體水質狀況，於 2014.12.15 進行 7 台「微細氣泡曝氣裝置」安裝。在設備安裝前後，進行醉月湖的水質垂直分層與水平分布特徵之持續改善調查試驗。調查項目包括水中溶氧、透明度、水溫、濁度及酸鹼度分布等水質項目。圖 4 為醉月湖水中溶氧與水深關係圖，分別為 2014.12.15 設備安裝前的溶氧分層(上午 11:00，氣溫 19.2°C)，及 2014.12.24 設備安裝啟動後的溶氧分層(上午 07:30，氣溫 17.5°C)量測數據，計測位置在湖心亭東南方和西南方各約 20 公尺範圍區。溶氧分布調查結果(表 1)，設備安裝後與安裝前之水中溶氧有明顯增加，表水層因多為飽和溶氧變化不大，溶氧值在 7.53~9.81 之間，但是在中水層(水深 2 m)及底水層(水深 2.7 m)的水中溶氧，設備安裝前與安裝後，溶氧值分別由 2.38 ppm 及 0.5 ppm 增加 3~6 ppm，顯示設備具增氧效果。

從醉月湖全區的溶氧分佈狀況可知(圖 5a, b)，設備啟動前後底水層溶氧狀況，設備啟動後底水層的溶氧為 2.5~8.82 ppm(圖 5a)，設備啟動前底水層的溶氧為 0.75~8.3ppm(圖 5b)，醉月湖在安裝「微細氣泡曝氣設備」前已先行安裝了 2 台水車，水車使表水層的溶氧增加，在水深小於 1m 的水體亦會因靠近岸邊反射的水流將溶氧帶入底層，可由圖 5-b 的左邊(8.3 ppm)顯示底層水體溶氧較右邊(0.75 ppm)高出許多。「微細氣泡

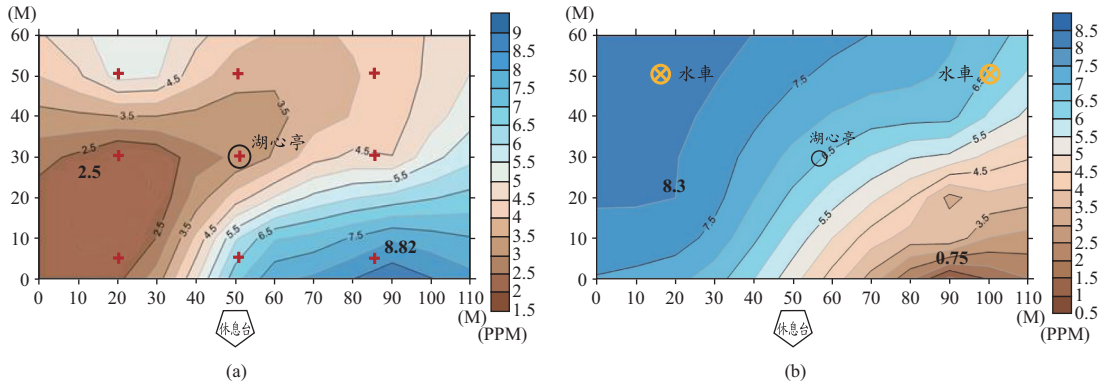


圖 5 (a)曝氣設備啟動後底水層溶氧分佈圖；(b)曝氣設備啟動前底水層溶氧分佈圖

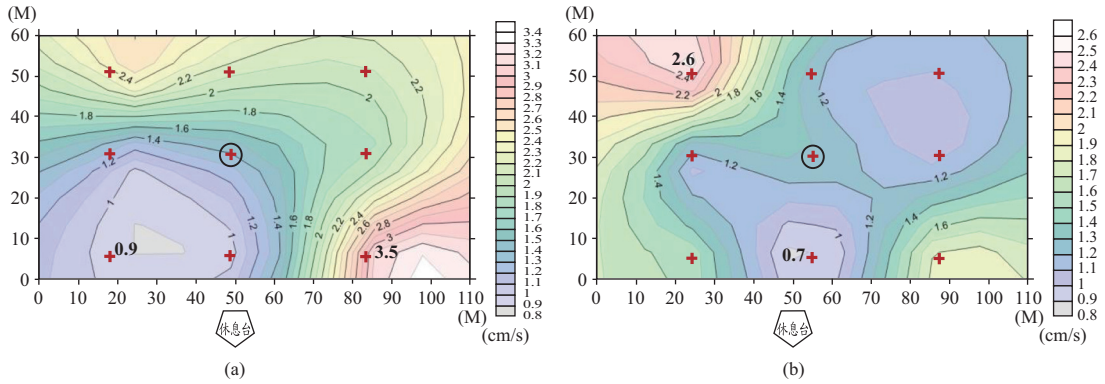


圖 6 (a)曝氣裝置啟動後上水層流速分佈圖；(b)曝氣裝置啟動後中水層流速分佈圖

曝氣設備」主要係針對醉月湖底層水體增氧，同時增加水體的流動進而帶動水中增氧，由圖 6a, b 顯示表水層的流速因水車的帶動使得表面流速在 0.9~3.5 cm/s，而中水層的流速在 0.7~2.6 cm/s 之間；由圖 6b 可知，水體表面流速受水車帶動影響大，中水層流速受水車帶動影響漸緩，以圖的右邊流速來看水表面最大有 3.5 cm/s，中水層則只剩 1.9 cm/s，圖左邊位置的流速增加為兩邊水深不同，使得左邊位置的流速及溶氧都高出許多的原因。顯示「微細氣泡曝氣裝置」確實具有水體增氧及帶動底層水體流動的效果。

4.2 醉月湖「生物水質管理法」施作

(1)魚類相調查結果

本研究調查期間共使用垂釣法、流刺網法及陷阱籠等方式進行調查六次，於醉月湖共採集 8 科 12 種 885 尾，捕獲總重量 273.2 kg(表 2、表 3)。包括鯉科之鯉魚、鯽魚、羅漢魚、錦鯉、朱文錦；慈鯛科之雜交吳郭魚；合鰓魚科之黃鰱；棘甲鯰科之琵琶鼠魚；塘蝨魚科之泰國土虱；鯰科之泥鰍；海鯰科之海鯰及鰻鱺科的太平洋雙色鰻。除了鯉科之羅漢魚、鯽魚為原生性初級淡水魚外，其餘均為外來種。值得一提的是，太平洋雙色鰻在台灣出現量少，主要分佈在台灣以南，外觀形態與白鰻相似，但體型較粗短，身體背側為褐色，佈滿了不規則的黃綠色斑塊，腹部為乳白色，其最大體長可達 160 公分，通常為 60~100 公分，此次捕獲的太平洋雙色鰻，有可能

表 2 醉月湖內魚類捕獲量統計表(2014.11~2015.4)

魚種/調查日期	總尾數(%)	總重 Kg (%)	體長(cm)
鯉科			
鯉魚 <i>Cyprinus carpio carpio</i>	88 (9.9%)	43.4 (15.9%)	5~48.5
錦鯉魚 <i>Cyprinus carpio</i>	1 (0.1%)	0.2 (0.07%)	21
鯽魚(土鯽) <i>Carassius auratus</i>	13 (1.5%)	2.8 (1%)	14~23
羅漢魚(尖嘴仔) <i>Pseudorasbora parva</i>	47 (5.3%)	0.2 (0.06%)	5~10
朱文錦 <i>Carassius auratus auratus</i>	469 (53%)	12.9 (4.7%)	4~26
棘甲鯰科			
下口鯰(琵琶鼠) <i>Hypostomus plecostomus</i>	253 (28%)	205.2 (75%)	16~50
慈鯛科			
雜交吳郭魚 <i>Oreochromis sp.</i>	5 (0.6%)	2.2 (0.8%)	20~42
塘虱魚科			
泰國土虱 <i>Clarias batrachus</i>	2 (0.2%)	2.2 (0.8%)	35~47
合鰓魚科			
黃鱔 <i>Monopterus albus</i>	2 (0.2%)	2.0 (0.7%)	68~81
鰕科			
泥鰕 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	3 (0.3%)	0.2 (0.08%)	11~13
海鯰科			
海鯰(苦槽仔) <i>Elops machnata</i>	1 (0.1%)	0.1 (0.02%)	23
鰻鱺科			
太平洋雙色鰻 <i>A. bicolor pacifica</i>	1 (0.1%)	1.8 (0.6%)	124
捕抓尾數及重量總計	885 尾(100%)	273.2 (100%)	
單位時間努力量(尾/hr, kg/hr)			
種類數	總共 12 種		
Simpson's index 優勢度指數	0.62		
Shannon-Wiener's index 歧異度指數	1.77		
Pielou's evenness index 均勻度指數	1.64		

是台灣文獻記載以來最大體長的雙色鰻。醉月湖魚類相生物多樣性指數分別為，優勢度指數 0.62，歧異度指數 1.77，均勻度指數 1.64，由上述結果顯示，醉月湖內之魚類生物具多樣性。

六次共 12 種漁獲中以琵琶鼠共 205.2 kg 佔重量比 75%最大；鯉魚共 43.4 kg 佔重量比 15.9%次之；朱文錦共 12.9 kg 佔重量比僅 4.7%，但捕獲尾數 469 尾共佔總尾數百分比達 53%，而琵琶鼠尾數次之佔 28%。顯示被放生醉月湖內的水族魚類(朱文錦、琵琶鼠)，佔醉月湖內魚類總重量及尾數均已達八成之多。由資料可知，應豎立告示牌或宣導告知以減少民眾的恣意放生行為。

(2) 「生物水質管理法」施作

醉月湖於 2008 年開始，每年春夏秋季均會發生水質優養化現象，由文獻得知，國內外的湖泊與水庫大部分以鯰鱸魚類來達到減少藻類的目的。因此，本研究於 2015 年 5 及 7 月分別放養濾食性魚類黑鯰共 480 尾(平均體長 14.3 cm 及 16.4 cm)，用來替代浮游動物攝食藻類的角色，做為濾食醉月湖中藻類的魚類。無論是增加浮游動物數量來提高對藻類的攝食效率，或是增加食藻性魚類控制藻類數量，皆是以生物處理法的方式來達到淨化水質的目的。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

表 3 2014.11~2015.4 年醉月湖內魚類相捕獲量統計表

魚種/調查日期	11/01		11/12~14		11/27~29		12/03~05		12/24~25		4/7		總數	總重	體長 (cm)
	尾數	重量 (kg)	尾數	重量 (kg)	尾數	重量 (kg)	尾數	重量 (kg)	尾數	重量 (kg)	尾數	重量 (kg)			
鯉魚 <i>Cyprinus carpio carpio</i>	37	17.6	33	14.8	4	1.1	8	5.6	1	0.7	5	3.6	88	43.4	5~48.5
錦鯉魚 <i>Cyprinus carpio</i>	1	0.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	0.2	21
鯽魚(土鯽) <i>Carassius auratus</i>	11	2.4	--	--	--	--	2	0.4	--	--	--	--	13	2.8	14~23
羅漢魚(尖嘴仔) <i>Pseudorasbora parva</i>	--	--	--	--	--	--	47	0.9	--	--	--	--	47	0.2	5~10
朱文錦 <i>Carassius auratus auratus</i>	14	1.5	--	--	109	7.6	222	1.4	1	0.3	123	2.1	469	12.9	4~26
下口鮎(琵琶鼠) <i>Hypostomus plecostomus</i>	--	--	172	140.8	14	10.6	28	21.9	12	6.5	27	25.4	253	205.2	16~50
雜交吳郭魚 <i>Oreochromis sp.</i>	1	0.2	4	2	--	--	--	--	--	--	--	--	5	2.2	20~42
泰國土魮 <i>Clarias batrachus</i>	--	--	1	1.8	--	--	--	--	--	--	1	0.4	2	2.2	35~47
黃鱔 <i>Monopterus albus</i>	--	--	1	0.6	--	--	1	1.35	--	--	--	--	2	2.0	68~81
泥鰍 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	--	--	--	--	3	0.2	--	--	--	--	--	--	3	0.2	11~13
海鯢(苦槽仔) <i>Elops machnata</i>	--	--	1	0.1	--	--	--	--	--	--	--	--	1	0.1	23
太平洋雙色鰻 <i>A. bicolor pacifica</i>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	1.8	1	1.8	124
捕抓尾數及重量總計	64	21.9	212	160.05	130	19.52	308	30.83	14	7.5	157	33.3	885	273.2	
單位時間努力量 (尾/hr, kg/hr)	8	0.54	13.25	10	3.42	0.51	8.1	0.81	0.87	0.47	20	4.2	尾		
種類數	5		6		4		6		3		5		總共 12 種		
Simpson's index 優勢度指數	0.62														
Shannon-Wiener's index 歧異度指數	1.77														
Pielou's evenness index 均勻度指數	1.64														

作為規劃的依據。

醉月湖之大湖水體約有 6500 m³，由目前累計調查的魚類數量有 885 尾，密度為 0.14(尾數/m³)，雖然魚體數量不多，但是湖面上另飼養了

被放生的鴨子及天鵝，這些禽類的排泄物使得湖內的營養鹽居高不下；由於醉月湖為封閉水體，入水僅由天然降雨或地下水補注，因此唯有減低營養鹽才能有效控制水體水質。於黑鮪放養前調

查醉月湖藻類相結果顯示，藻種相主要為綠藻及矽藻共計 22 種，1 公升水體的藻個數為 57,600。放養黑鱧後可透過測量魚體重量及體長變化，同時觀察水體中的藻個數及透明度來判斷「生物水質管理法」施做的成效。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鱧及黑鱧對浮游生物的選擇性濾食。黑鱧與白鱧雖然可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；亦會增加水中營養鹽濃度，加速藻類的吸收及繁殖，可能會降低生物水質管理的成效，所以在實行生物水質管理法時，需注意環境物質收支平衡管理的概念，其投放的生物量則需經過計算。由文獻指出，黑鱧平均每日成長量 4.05 g/day，高於白鱧 3.18 g/day。另 Zhang *et al* (2006)在溫暖季節爆發微囊藻期間，放養密度 55 g/m³ 的白鱧，得以最高的效率來控制微囊藻華，以利水質的淨化。

本研究於黑鱧放養後，透過網捕法進行黑鱧的魚體重量及體長變化取樣調查，5 月及 7 月投入黑鱧(平均體長 14.3 cm 及 16.4 cm)，8/22 計測黑鱧體長已 23-26 cm，體重約增加 75 g，約 2 個月增長 9~12 cm。由醉月湖的水體計算，扣除定期的取樣解剖及周邊魚類略食之損耗，同時兼顧黑鱧的成長速率及所排泄的營養鹽計算，以損耗 3 成計算，336 尾黑鱧應可達到最高的效率來淨化水質。由於「生物水質管理法」需要 1~2 年長時間的觀察，才能明確知道生物控制的成效，並需注意禁止參觀休閒民眾的放生行為，而改變醉月湖內的魚類相組成；由文獻指出生物控制的成效一般可維持 5 年之久，本研究將持續累積相關數據，以觀察其成效，並將成果做為國內景觀湖泊水質管理之參考。

本研究結合生物水質管理法與物理法同時進行醉月湖水體水質改善，生物水質管理法係屬於緩效性的水質管理方式，其優點為管理成本低、不需耗費電力，缺點為需 1~2 年的觀察期，管理者需具魚類相關經驗；而物理曝氣法對於醉月湖水體的增氧較具立即改善效果，由現況調查結果顯示，醉月湖急需透過物理曝氣法增加水中

溶氧，改善底層水體缺氧狀態；因此在處理醉月湖水質狀態時，本研究優先使用物理曝氣法，待水質狀態穩定後，才進行生物水質管理法的施做。

五、結論

國內景觀湖泊的狀況各異，在進行水質改善或整治前，應需調查景觀湖泊內的水質狀況，如水中溶氧分佈、汙染源來源(是否有大量魚類、禽類等)、入出流水的方式及水質狀況(氨氮、pH)等等，之後才能因地制宜，規畫出適合當地使用的水質改善方法。本研究施做生物水質管理法係先移除醉月湖內對水質有害之魚種，經過 6 次的網捕，共移除 885 尾，於今年(2015 年)5 月及 7 月投入可濾食藻類之黑鱧，計算其適合的放養密度後共投入 480 尾幼魚，利用其濾食浮游植物的食性進行水中藻類的去除；物理曝氣法係將底層供氧為主的微細氣泡曝氣設備配置於醉月湖內，創造底層的水體緩慢流動，持續補充底泥表面有機物分解所需要的溶氧，共設置 7 台曝氣裝置，使醉月湖底層水體溶氧從 0.5~2.4 ppm 提高至 3.1~6.6 ppm。此兩種處理優養化水體之淨化工法，不但可有效減少優養化水體所需之淨化時間，更能大幅降低淨化成本，對於封閉型景觀水體之淨化，具有良好之效益。且經過長時間的現地調查與設備操作，建立現地數據，希冀其基礎數據能提供國內景觀湖泊水質管理方式之參考。

參考文獻

1. Biggs, J., Williams, P., Whitfield, M., Nicolet, P., Weatherby, A., "15 years of pond assessment in Britain: results and lessons learned from the work of Pond Conservation," *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems*, 15(6), 693-714, 2005.
2. Fernando, C. H., "Zooplankton, fish and fisheries in tropical freshwaters," *Hydrobiologia*, 272, 105-123, 1994.
3. Hambright, K. D., Blumenshine, S. C., Shapiro, J., "Can filter feeding fishes improve water

- quality in lakes?" *Freshw*, 47, 1173-1182, 2002.
4. Hansson, L. A., Annadotter, H., Bergman, E., Hamrin, S. F., Jeppesen, E., Kairesalo, T., Luokkanen, E., Nilsson, P., Sondergaard, M., Strand, J., "Biomanipulation as an application of food-chain theory: constraints, synthesis, and recommendations for temperate lakes," *Ecosystems*, 1, 558-574, 1998.
 5. Hrbacek, J., Dvorakova, M., Korinek, V., Prochazkova, L., "Demonstration of the effect of the fish stock on the species composition of zooplankton and the intensity of metabolism of the whole plankton association," *Limnol*, 14, 192-195, 1961.
 6. Hrbacek, J., *Species composition and the amount of the zooplankton in relation to the fish stock*, Chapter 10, pp. 1-116 Rozpr. Cesk. Akad. Ved. Rada. Mat. Prir. Ved., 1962.
 7. Jeppesen, E., Sondergaard, M., Jensen, J. P., Kanstrup, E., Petersen, B., "Macrophytes and turbidity in brackish lakes with special emphasis on the role of top-down control," *Ecological Studies*, 131, 369-377, 1997.
 8. Jeppesen, E., Sondergaard, M., Kanstrup, E., Petersen, B., Henriksen, R. B., Hammershoj, M., Mortensen, E., Jensen, J. P., Have, A., "Does the impact of nutrients on the biological structure and function of brackish and freshwater lakes differ?" *Hydrobiologia*, 275/276, 15-30, 1994.
 9. Krebs, J.B *Foraging strategies and their social significance*. In: Martens, P., Vandenbergh, J.G., Handbook of Behavioural Neurobiology, 1979.
 10. Paugya, D., Fermona, Y., Abbana, K.E., Diopa, M.E. and Traoré, K., "Onchocerciasis Control Programme in West Africa: a 20-year monitoring of fish assemblages," *Aquatic Living Resources*, 12, 363-378, 1999.
 11. Shapiro, J., Lamarra, V., Lynch, M., "Biomanipulation: an ecosystem approach to lake restoration," *Gainesville, USA.*, 85-96, 1975.
 12. Sierp, M.T., Qin, J.G., Recknagel, F., "Recknagel Biomanipulation: a review of biological control measures in eutrophic waters and the potential for Murray cod *Maccullochella peelii peelii* to promote water quality in temperate Australia," *Rev. Fish Biol. Fisher.*, 19, 143-165, 2009.
 13. Zhang, X., Xie, P., Hao, L., Guo, N.C., Gon, Y.G., Hu, X.L., Chen, J., Liang, G.D., "Effects of the phytoplanktivorous silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) on plankton and the hepatotoxic microcystins in an enclosure experiment in a eutrophic lake," *Lake Shichahai in Beijing. Aquaculture*, 257, 173-186, 2006.

收稿日期：民國 104 年 11 月 16 日

修正日期：民國 105 年 5 月 10 日

接受日期：民國 105 年 5 月 26 日