

金城湖水質改善及夏季低溶氧改進方案研究
成果報告

楊樹森

國立新竹教育大學應用科學系

委託單位：新竹市政府

執行單位：國立新竹教育大學

中華民國 97 年 12 月 25 日

目錄

圖目錄.....	2
表目錄.....	5
摘要.....	6
Abstract.....	7
壹、計畫緣起.....	8
貳、計畫目標.....	10
參、研究方法.....	10
一、曝氣設備的設置及效率評估.....	10
二、湖水曝氣設備作用效果之評估.....	14
三、水域化學性質檢驗.....	17
四、水域生物群聚調查.....	31
五、金城湖現地文蛤飼養除污試驗.....	32
六、草本植物金城湖生長試驗.....	35
肆、結果及討論.....	38
一、曝氣設備的設置及效率評估.....	38
二、水域化學性質檢驗.....	48
三、水域生物群聚調查.....	51
四、金城湖現地文蛤飼養除污試驗.....	61
五、草本植物金城湖生長試驗.....	69
伍、結論及建議.....	75
陸、參考文獻.....	77
柒、審查意見答覆表.....	80

圖目錄

圖一、曝氣設備設置定位示意圖.....	10
圖二、2006年5月30日24小時連續監測湖水60-70公分處之 溶氧度、鹽度、溫度及螢光度(葉綠素a)之連續變化繪圖.....	11
圖三、2006年6月19日24小時連續監測湖水60-70公分處之 溶氧度、鹽度、溫度及螢光度(葉綠素a)之連續變化繪圖.....	11
圖四、2006年6月30日24小時連續監測湖水60-70公分處之 溶氧度、鹽度、溫度及螢光度(葉綠素a)之連續變化繪圖.....	12
圖五、2006年7月17日24小時連續監測湖水60-70公分處之 溶氧度、鹽度、溫度及螢光度(葉綠素a)之連續變化繪圖.....	12
圖六、2006年8月21日24小時連續監測湖水60-70公分處之 溶氧度、鹽度、溫度及螢光度(葉綠素a)之連續變化繪圖.....	13
圖七、水滄滄曝氣設備功效介紹.....	15
圖八、金城湖採樣點—近端與遠端.....	17
圖九、以0.5mm網目的不鏽鋼篩淘洗抓泥斗所取得土樣.....	32
圖十、雲林莞草.....	36
圖十一、流蘇藻及利用流蘇藻築巢的小鸕鶿.....	36
圖十二、甘藻(Zostera japonica).....	37
圖十三、龍鬚菜外觀.....	37
圖十四、架設水滄奔曝氣設備.....	39
圖十五、水車實際運作情形.....	39
圖十六、2008年6月30日24小時連續監測湖水60-70公分處之 溶氧度、鹽度、溫度及螢光度(葉綠素a)之連續變化繪圖.....	40
圖十七、2008年8月20日距離水車5公尺,24小時連續監測湖 水60-70公分處溶氧度、鹽度、溫度及螢光度(葉綠素a)之 連續變化繪圖.....	41
圖十八、2008年8月21日距離水車10公尺,24小時連續監測 湖水60-70公分處溶氧度、鹽度、溫度及螢光度(葉綠素a) 之連續變化繪圖.....	42

圖十九、2008 年 8 月 22 日距離水車 15 公尺，24 小時連續監測湖水 60-70 公分處溶氧度、鹽度、溫度及螢光度（葉綠素 a）之連續變化繪圖.....	43
圖二十、2008 年 9 月 18 日距離水車 15 公尺，24 小時連續監測湖水 60-70 公分處之溶氧度、鹽度、溫度及螢光度（葉綠素 a）之連續變化繪圖.....	44
圖二十一、2008 年 10 月 24 日距離水車 25 公尺，24 小時連續監測湖水 60-70 公分處之溶氧度、鹽度、溫度及螢光度（葉綠素 a）之連續變化繪圖.....	45
圖二十二、2008 年 11 月 20 日距離水車 25 公尺，24 小時連續監測湖水 60-70 公分處之溶氧度、鹽度、溫度及螢光度（葉綠素 a）之連續變化繪圖.....	45
圖二十三、金城湖漲退潮之潮水行進路線示意圖.....	46
圖二十四、2008 年夏季聚集許多的魚群.....	47
圖二十五、2007 年夏季大量魚類死亡.....	47
圖二十六、2008 年 6~11 月採集近端與遠端樣點之生化需氧量(BOD)..	49
圖二十七、2008 年 6~11 月採集近端與遠端樣點之總磷(TP)含量.....	50
圖二十八、2008 年 6~11 月採集近端與遠端樣點之總氮(TN)含量.....	51
圖二十九、2008 年 6~11 月採集近端與遠端樣點之氨氮含量.....	51
圖三十、以浮游動物網濃縮取得水中浮游動物.....	55
圖三十一、利用抓泥斗及鋼篩採集底棲無脊椎動物.....	58
圖三十二、文蛤存活率之查看.....	61
圖三十三、進行文蛤濾食效率的實驗裝設.....	63
圖三十四、放置 CTD 進行文蛤濾食效率實驗之監測.....	63
圖三十五、2008 年 8 月 8 日至 10 日 48 小時連續監測桶一內湖水之溶氧度、光照度、溫度及螢光度（葉綠素 a）之連續變化繪圖.....	64
圖三十六、2008 年 8 月 8 日 12:00 至 10 日 12:00 文蛤濾食懸浮顆粒之圖示.....	64
圖三十七、2008 年 8 月 10 日至 12 日 48 小時連續監測桶一內湖水之溶氧度、光照度、溫度及螢光度（葉綠素 a）之連續變化繪圖.....	66

圖三十八、2008 年 8 月 10 日 12:00 至 12 日 12:00 文蛤濾食懸浮 顆粒之圖示.....	66
圖三十九、2008 年 8 月 12 日至 14 日 48 小時連續監測桶一內湖水 之溶氧度、光照度、溫度及螢光度(葉綠素 a)之連續變化繪圖.....	67
圖四十、2008 年 8 月 12 日 12:00 至 14 日 12:00 文蛤濾食懸浮顆粒 之圖示.....	68
圖四十一、甘藻及雲林莞草之金城湖現地生長試驗 3 個樣點位置圖...	69
圖四十二、香山溼地-風情海岸所採集的甘藻.....	70
圖四十三、種植在金城湖的甘藻及種植前的測量記錄.....	70
圖四十四、金城湖甘藻試驗一週後生長情形.....	71
圖四十五、香山溼地-風情海岸的雲林莞草.....	71
圖四十六、種植在金城湖的雲林莞草.....	71
圖四十七、冒出新芽的雲林莞草.....	71
圖四十八、龍鬚菜放 2 入天後，試養桶所呈現之清澈狀況.....	73
圖四十九、台南-南清宮旁水池發現流蘇藻.....	73
圖五十、放置於金城湖 200 公升桶內的流蘇藻.....	73

表目錄

表一、2008年6月30日24小時連續監測湖水60-70公分處之 溶氧度、鹽度、溫度及螢光度(葉綠素a)	40
表二、2008年9月18日24小時連續監測湖水60-70公分處之 溶氧度、鹽度、溫度及螢光度(葉綠素a)	43
表三、金城湖浮游藻類.....	53
表四、金城湖浮游動物.....	57
表五、金城湖底棲生物.....	60
表六、王功文蛤養殖池及金城湖水之物理環境之差異.....	61
表七、2008年7月24日至8月8日文蛤在金城湖試養殖之存活率.....	62
表八、2008年8月8日至10日桶一到桶三及備一、二之文蛤死亡 數及死亡率.....	65
表九、2008年8月10日至12日桶一到桶三及備一、二之文蛤死亡 數及死亡率.....	67
表十、2008年8月12日至14日桶一到桶三及備一、二之文蛤死亡 數及死亡率.....	69

摘要

承接港南海埔新生地排水的金城湖因為湖水與堤外海水交換緩慢，湖水累積的營養物質不易分解使湖水優養化，優養化的湖水在夏季高溫季節時常發生嚴重缺氧導致魚類大量死亡，死魚腐敗形成的惡臭影響環境衛生及濱海景觀。為了解決上述之問題，本計畫在 2008 年 7 至 10 月，夏秋兩季高溫期以噴射移動式曝氣水車在金城湖進行試驗，結果顯示強迫曝氣確實有改善湖水底層溶氧的效果，抽取底層水噴入空中曝氣使試驗區之深層水於日間及夜間均不會呈現極度缺氧狀態。除了深層水溶氧狀態獲得改善之外，湖面曝氣水車經過的表面帶狀區域之溶氧量亦均接近飽和。而實驗期間也發現，魚類行為產生明顯改變，曝氣水車兩側各 30 公尺範圍內聚集大量的魚群。曝氣使水車附近帶狀的區域溶氧量增加，最明顯的影響除了表面魚類的行為改變之外，底棲生物也因溶氧的改變而使多樣性增加，惟本實驗發現對浮游植物及浮游動物的影響則不顯著。

文蛤養殖試驗發現其短期存活率甚低，雖然許多研究均證實其具有去除水中懸浮顆粒之能力，本次實驗卻未顯現明確的效率，其原因可能是文蛤在炎熱的季節搬動至不同飼養環境時無法適應的結果。因為於湖區鹽度較低，適應高鹽的甘藻在湖區無法生長。流蘇藻試種結果顯示植株雖然沒有死亡，但是短期內無法形成固著的植株，考慮以種子播種另行試驗。雲林莞草在湖區岸邊具有良好的生長能力，種植必須掌握其春天發芽季節，在發芽之前以宿根栽植比較恰當，否則種植時間太晚無法形成宿根度冬。龍鬚菜是相當具有潛力的除污物種，金城湖冬季鹽度較適合於放養試驗，但是需在夏季來臨之前將藻體清除，以避免高溫低鹽使藻體死亡，再次將營養物質釋入湖中。

Abstract

The drainage from the reclaimed land of Gangnan area discharged into Jin-Cheng lake of Hsinchu city. The lake water became eutrophication because the exchange rate with seawater was very slow, too much nutrients retained in the lake and it's hard to degrade. The eutrophication of lake water was in serious deficiency of oxygen in hot summer might cause the death of fish in large scale. After that, the stinking dead fish affect environmental sanitation seriously. From July to October in 2008, non-fixed Aquajet system was applied for Jin-Cherng lake. The deep layer water was piped up and jet in the air, the deficiency of oxygen in bottom layer was improved by increasing dissolved oxygen (DO) significantly. Relative to bottom layer, DO of surface water was near to saturate around the Aquajet. Within 30 meters on both sides of jet path, a school of fish were gathered by jet during operation period. These fish were swimming along the jet running path. Excluding the fish behavior changed after DO increased around jet path, the diversity of benthic animals increased in the same way, but increased of DO had not significant effects on planktonic community.

The adult *Meretrix* collected from aquaculture farm was kept in the lake for experiment to remove suspension particles in water. The survivorship of *Meretrix* was relatively low in short experiment period. The death of *Meretrix* maybe caused by obligate habitat translocation in hot summer time, the individuals could not accommodate in new environment. Based on our transplant experiment, *Zostera japonica* could not survive in the lake shore, because the salinity was too low. The old growth of *Ruppia maritime* could not attach to the bottom substrate in our experiment, the seedling transplant might be a better method in the future. New transplanted *Bolboschoenus planiculmis* gave a new shoot from the root of old growth in a week, but the better transplantable time will be in spring and planted by tubers. From the tuber, new individuals have enough time to restore a tuber to get over the next winter period. *Gracilaria* spp. was good candidate for pollutant absorption from our experiment result. Lower temperature and higher salinity in winter was better for the growth of *Gracilaria*. High temperature and low salinity in summer might cause death of *Gracilaria* so they must be removed before that, otherwise the rotten *Gracilaria* will release the nutrient into lake water again..

壹、計畫緣起

金城湖位於河川下游出海口，湖水承接海埔新生地排放的農牧廢水，另一方面受到高營養含量的客雅溪水源的影響，每次漲潮自水門滲入的溪水帶來豐富營養物質，水體優養化是短期內無法擺脫的事實。金城湖除了水源的營養物質豐富之外，長期累積在湖底的淤泥富含有機質，有機質分解過程中會加劇湖水缺氧的狀態，如何減少淤泥量或是使其中的有機物分解是另一個重要課題。目前湖水受限於行水動線無法順利進行交換，半靜止狀態的湖水一年四季均顯現嚴重的優養化。夏季金城湖因為水體處於靜止狀態，太陽輻射使白天的水溫升高至 35°C，夜間也維持在 30°C 以上，高溫加速水中缺氧的問題，水中生物的生存更加困難，每年夏秋兩季均會發生程度不一的魚類死亡的事件，其中以 2003 年及 2007 年魚類死亡的數量最多，大量魚類死亡造成的二次環境污染成為環保單位棘手的問題。

開闊的湖面甚難減低太陽輻射的照射降低水溫，徹底解決辦法唯有每日引入比較低溫的水源，冷卻湖水降低“火鍋效應”。金城湖抽水站附近之排洪水門目前的設計並不適合於引進潮水，另一方面客雅溪的溪水含有的營養物質比海埔地內部的集水區更高，引入客雅溪的溪水可能使湖水優養化更為嚴重，即便是客雅溪的水質較佳的時候引入溪水，湖水交換的效率也會因為引入湖水在退潮之後原路排出而降低效率，冷卻的效果也不佳。若要改變湖區水質以及降低湖水水溫必須另尋良好的水源，引入海水流動的方向必須能帶動湖水之循環，引入的頻率必須每日為之方可能有效的降低水溫，湖水水質因為連續感潮的結果，當達湖水動態達到平衡時，可以增加湖區水生生物的多樣性，增加整個湖泊生態系的健康程度。

但是由於排洪安全及輸水工程緩不濟急等因素，以人工方式增加曝氣是快速而直接的方法，直接施壓增加水氣混合的速率增加水中的溶氧，避免魚類等生物死亡。長期而言必須設法加速湖水自淨清除的能力，本計畫欲測試文蛤濾食對湖水懸浮微粒去除的效果，以及測試文蛤對湖底淤泥有

機物分解去除之能力。除文蛤的生物測試之外，本計畫就近針對香山溼地上常見的雲林莞草及甘藻 (*Zostera japonica*)、沿海湖泊常見的浮水性流蘇菜 (*Ruppia maritima*) 及藻類龍鬚菜進行生長適應之測驗。

曝氣之設備可以維持現在湖水之水源輸入狀態不需額外更動，湖水在春夏之交及盛夏季節必須設法增加下半夜至清晨湖水的含氧量，引接抽水站電源在湖中設兩組曝氣裝置，以定時開啟方式曝氣增加水中的溶氧量。淡水河系為了改善基隆河大佳段的臭味，94 年度行政院環境保護署補助購置 16 部 20 馬力的表面曝氣機，增加河水中溶解性的氧量，使河川有足夠的能力產生自淨的功能，曝氣機能供給河川大量的溶解氧氣，加速河川內的有機物進行好氧作用，讓河水不會厭氧而冒泡產生臭味。本計畫欲引進虎尾科技大學所研發之量產機種（水湊湊曝氣設備），其曝氣量是傳統水車的 2-3 倍，水湊湊的噴射式的曝氣方式近似噴泉，噪音較小且與當地景觀的協調性較高。由於精密設備維護較為困難，本設備與水質連動的控制機制改用人工控制，在水體缺氧較多的月分以人工方式開啟增加湖水曝氣。曝氣機為移動性的設備，可支援河川污染緊急應變調度使用。

文蛤屬適應於廣鹽性及廣溫性物種，正常可成長之鹽度從 10-45ppt，仍具有活動力之溫度從 3-39°C，溫度、鹽度由低升高太快，或反覆變化常造成虛弱而死亡。在水中利用水中溶氧，離水面亦可微開雙殼利用空氣中之氧氣，在緊急狀況可閉殼長時間憋氣。金城湖大部分時間的鹽度介於 10-20ppt，最高溫約在 35°C，適合濾食性文蛤的生長，濾食去除水中大量的藻華及有機顆粒，有助於降低下半夜水中溶氧的消耗，降低優養化的現象。試驗結果若可行，可以採粗放的低密度方式在金城湖內放養文蛤，再進一步觀察其生長情形以及評估其對金城湖水質改善之效果。

貳、計畫目標

本計畫目標主要為利用人工曝氣設備改善金城湖夏季低溶氧狀態，針對廣鹽及廣溫性的文蛤進行試驗，探討其對水中懸浮顆粒去除的效應以及對底泥之影響。另外並針對溼地植物雲林莞草及甘藻 (*Zostera japonica*)，沿海湖泊常見的浮水性流蘇菜 (*Ruppia maritime*) 及藻類龍鬚菜進行生長適應之測驗，探討其對湖水自淨之效能。

參、研究方法

一、曝氣設備的設置及效率評估

曝氣設備採用虎尾科技大學研發之量產機種(水濟濟曝氣設備)，其曝氣量是傳統水車的 2-3 倍，水濟濟的噴射式的曝氣方式近似噴泉，將底層(水下 70 公分為吸入口) 缺氧湖水抽取噴入空中與大氣充分混合，設備的噪音較小且與當地景觀的協調性較高。噴射式水車擺設位置為金城湖抽水站附近(如圖一所示)，曝氣機由抽水站提供電源，並利用抽水站現有的遠距監控設備加裝網路攝影機監控湖水表面特徵及相關曝氣設備所在位置。

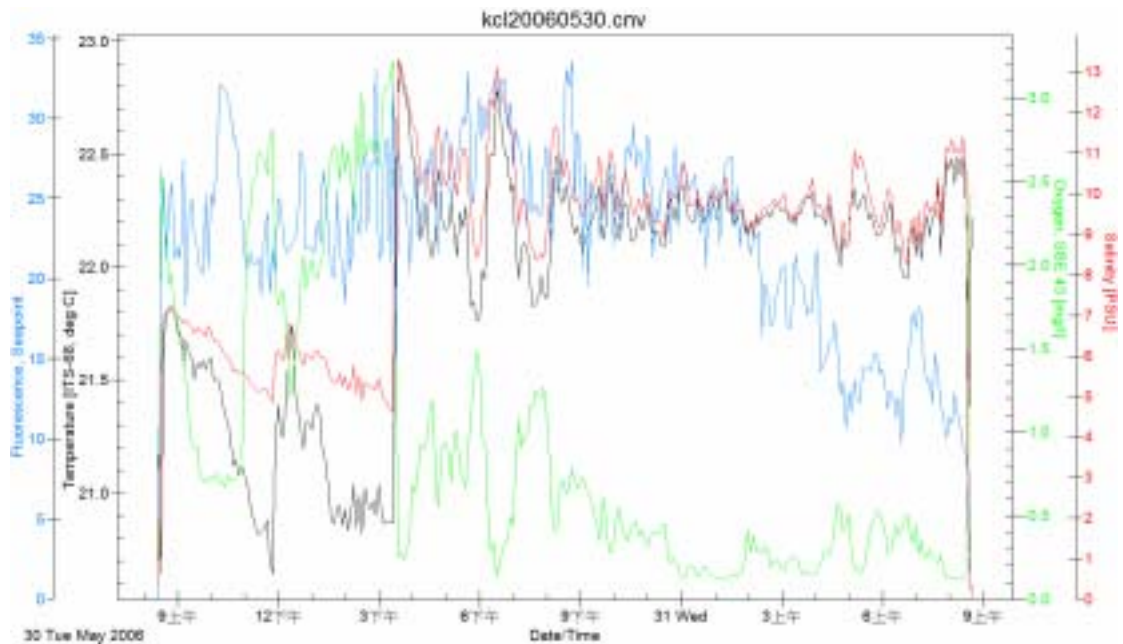
根據以往之監測記錄得知夏季湖水溶氧在入夜之後逐漸被消耗，從午夜起快速下降，至第二天清晨湖水溶氧降至最低(圖 2~圖 6)，盛夏的 7-8 月間這段時間，夜間湖水底層的溶氧因為逐漸耗損而降至 1 mg/L 以下，白天因為表面水增溫抑制混合的結果，低溶氧會



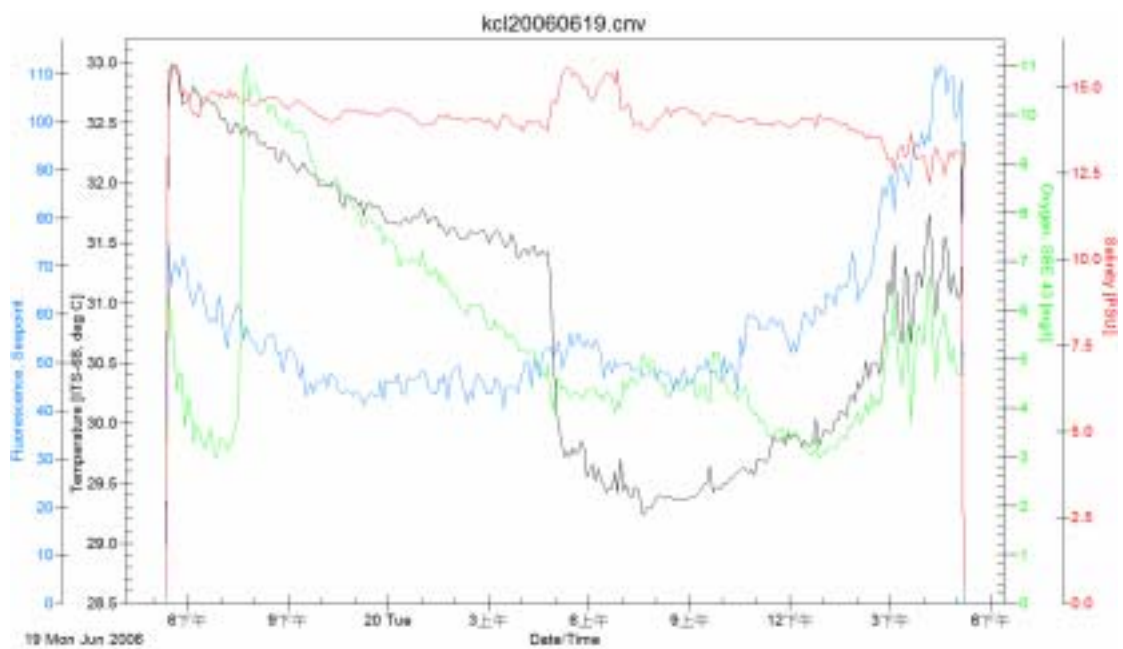
圖一、曝氣設備設置定位示意圖

持續至下一次漲潮，客雅溪入侵之後造成的混合使溶氧增加；或是午後湖

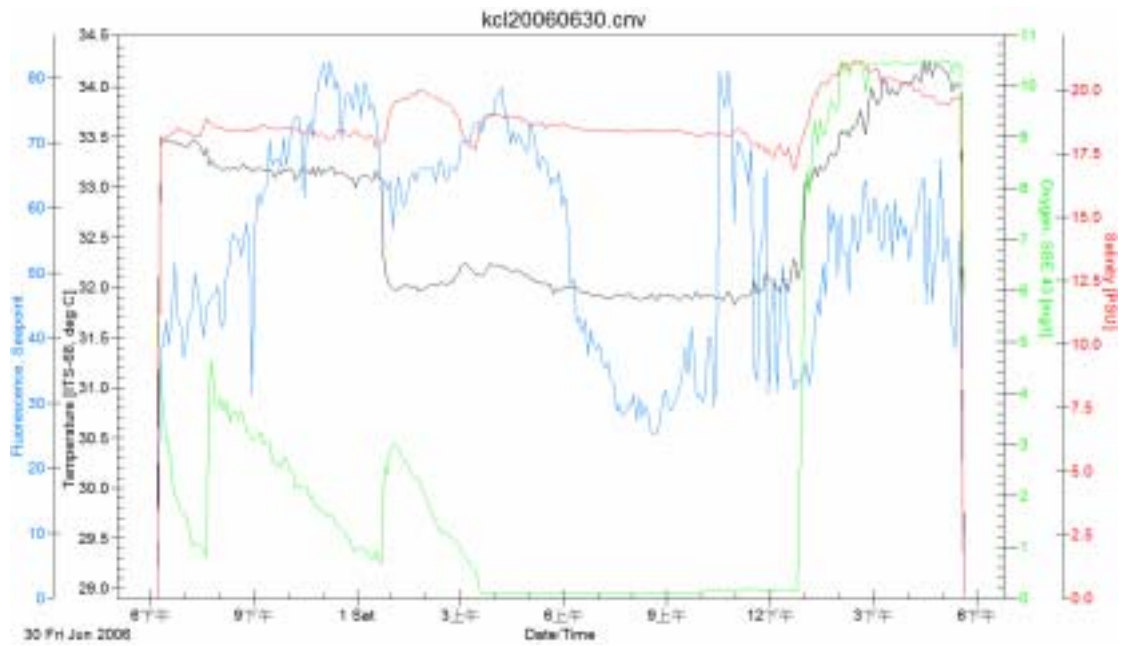
面海風吹拂的效應增加混合使底層溶氧上升(圖4及6)。此一溶氧劇烈變化週期若適逢低氣壓形成，陽光照度不足使光合作用的氧氣補充量較少，風力混合不足使氧氣在底層大量消耗，持續時間超過湖水能夠支撐的溶氧量；從表面至底層均不足時，湖水中生物開始死亡。



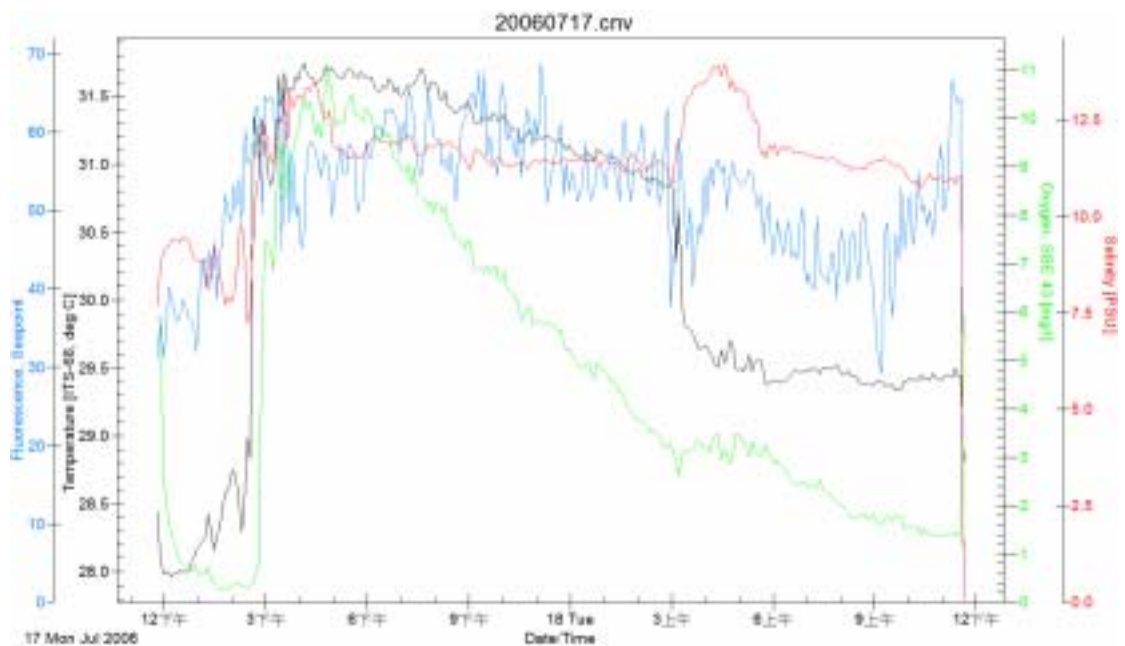
圖二、2006年5月30日24小時連續監測湖水60-70公分處之溶氧度、鹽度、溫度及螢光度(葉綠素a)之連續變化繪圖。(當日滿潮時間約為12:00及24:00)



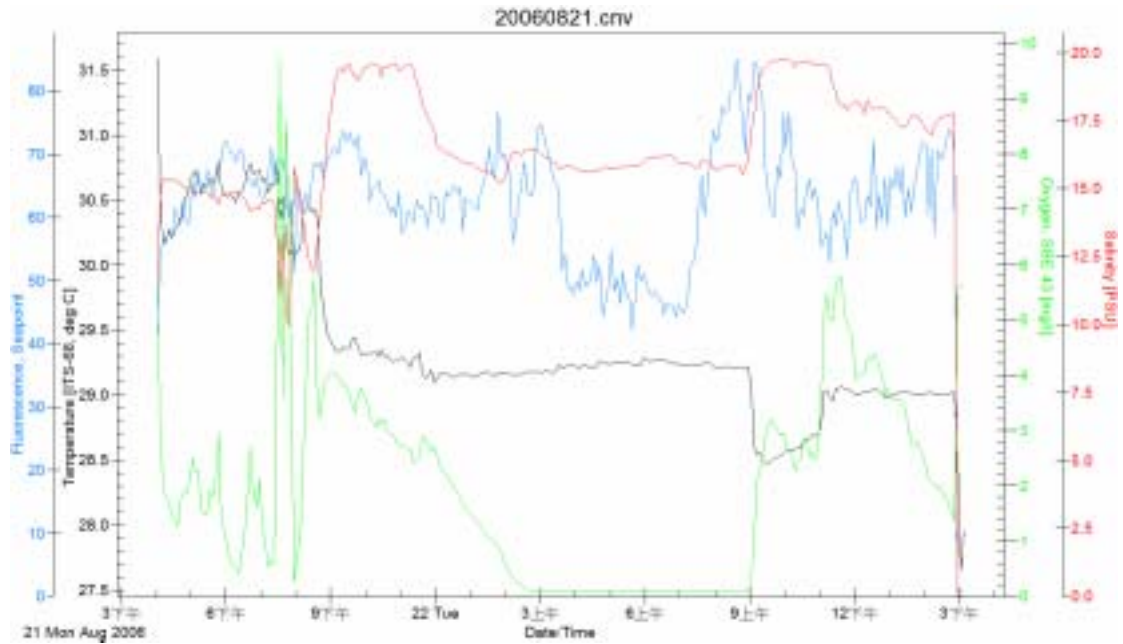
圖三、2006年6月19日24小時連續監測湖水60-70公分處之溶氧度、鹽度、溫度及螢光度(葉綠素a)之連續變化繪圖。(當日滿潮時間約為5:00及17:00)



圖四、2006年6月30日24小時連續監測湖水60-70公分處之溶氧度、鹽度、溫度及螢光度（葉綠素a）之連續變化繪圖。（當日滿潮時間約為1:00及13:00）



圖五、2006年7月17日24小時連續監測湖水60-70公分處之溶氧度、鹽度、溫度及螢光度（葉綠素a）之連續變化繪圖。（當日滿潮時間約為4:00及16:00）



圖六、2006年8月21日24小時連續監測湖水60-70公分處之溶氧度、鹽度、溫度及螢光度（葉綠素a）之連續變化繪圖。（當日滿潮時間約為9:00及21:00）

本年度實驗之曝氣設備啟動時間以定時器設定，在7月4日開始以固定時間啟動及關閉水車，根據先前金城湖生態研究的結果設定週期，長期運作的週期為晚上8:00開啟水車使其運轉，第二日早晨6:00切斷電源；8月至9月期間因天氣酷熱，原則上為24小時運轉，但早晨6:00至晚間8:00間，每隔2小時停止運轉15分鐘。早上因浮游植物光合作用釋出大量氧氣會使湖水溶氧逐漸上升。研究期間仍須每日依據氣象資料判斷是否需要手動連續開啟，特別是在高溫炎熱、低氣壓作用旺盛使空氣流動緩慢的時候，湖水表面溶氧不足，必須在白天開啟曝氣設備增加湖水溶氧。9月之後運轉週期些微更動，夜間連續運轉，白天每小時停止15-20分鐘，今年度運轉至10月底為止，所有設備除了室內的線路控制盤之外均拆回研究室保養維護，預計2009年5月中再度將曝氣設備裝置完成，置入湖中協助減輕夏季缺氧狀態。

二、湖水曝氣設備作用效果之評估

曝氣設備設置完成之前，先以 CTD 外掛溶氧儀、螢光儀、pH meter，24 小時連續監測湖水之物化環境日週變動，監測取樣頻率為每 10 分鐘取樣一次。

曝氣設備完成後，夜間開啟曝氣裝置儀的運作模式下，連續監測水中溶氧的含量。由於監測儀器有限，一次僅能就單一位置施放儀器，為了比較其曝氣影響範圍，選擇近似的天候條件下，分別在距離水車 5 公尺、10 公尺、15 公尺的位置進行 24 小時連續監測。針對高溫炎熱或低氣壓無風的日子，在開啟水車之後亦以 20 公尺的距離連續監測水中溶氧的變化，收集足夠資料說明曝氣設施的效益，做為未來進行相關設施設置的參考。

除了 CTD 監測研究之外，曝氣水車運轉期間一併觀察記錄附近魚類的活動及其行為。鳥類的行為亦一併觀察，探討水車運轉時對鳥類活動潛在的影響。

New experience- SPA for aquaculture



水產養殖的SPA新體驗

結合先進噴水器的優點，新發明型號2500公升，最大流量1公升/秒，可讓魚兒享受13種的噴水。

Operating in the external water jettable, the AquaJet increases the water circulation of the culture tank, which makes fish factories thrive. The effective flowrate is up to 2500 litres/second and 130 water jets.

Green Miracle for the endless boundary



一望無際的綠色奇蹟

水質乾淨優良是魚業中的綠奇蹟，每分鐘的水量超過300公升，噴水範圍距離為13公尺以上。

Water jets can well attack 2 meters in the air, the water quantity is over 300 litres per minute, the range of the spray is over 13 meters.

Mobile luxurious fountain



移動式的華麗噴水池

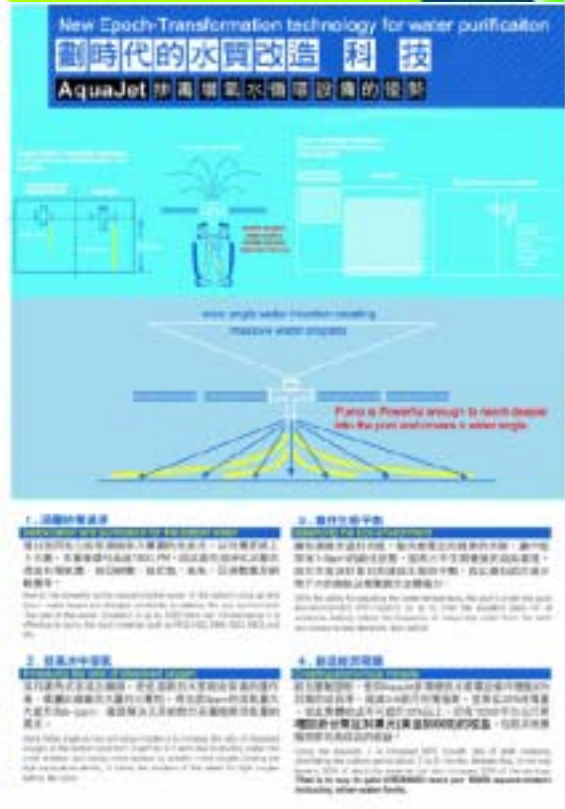
這套方案讓您可以享受噴水的水花，為世界第一的移動式水噴機設備，隨時隨地都能製造美麗的噴水。

The only one mobile water circulation apparatus to spray water, designed to fit sides easily, is making beautiful scenery in any time.

New Epoch-Transformation technology for water purification

劃時代的水質改造科技

AquaJet 非滿壩氣水循環設備的優點



1. 深層淨化原理
 Deep layer purification principle: The AquaJet device is designed with a deep layer purification principle, which can effectively purify the water quality and remove the impurities in the water.

2. 雙層淨化原理
 Double layer purification principle: The AquaJet device is designed with a double layer purification principle, which can effectively purify the water quality and remove the impurities in the water.

3. 淨化水質原理
 Purification water quality principle: The AquaJet device is designed with a purification water quality principle, which can effectively purify the water quality and remove the impurities in the water.

4. 新淨化原理
 New purification principle: The AquaJet device is designed with a new purification principle, which can effectively purify the water quality and remove the impurities in the water.

圖七、水濟濟曝氣設備功效介紹。

人工湖 景觀生態塘 景觀塘 綠水 湧泉 渠口 溝渠口 溢水沉塘池

造景與水資源 的前景 與 願望

減少養殖池的換水率與減少因換水所產生的電費

新價值
的
利益

* 另一把金湯匙 * 降低養殖成本
並 創造更高的經濟效益 =

噴水池 人工瀑布 溢流溢供水 排水 農業灌溉供水 灌溉系統 灌溉供水 水循環

排毒增氧功能

源源活水，運轉無限商機

Running water to bring infinite business

Asaqua使用特殊設計的泵浦，將池底水抽出再射回空中，不僅具有排毒增氧的功效，同時能讓水中藻類及微生物產生動態平衡，並能避免植物腐爛的換水率。此外因水質充足濃厚，還能減低抽水與換水所消耗的電費。以1/10中的養殖池空間，可創造出一池Aqualet，在個月只需抽水一次即可。

近五年以上的養殖經驗，證明Aqualet具備以下特色：(一)可減少池的養殖時間增加一吋，並增加池的產量；(二)可節省養殖台灣虱、百病、九島等；(三)可節省池地時間，降低養殖池的換水率；(四)可大大節省成本，而想提高產量增加產量，以為早日的魚民帶來更多商機。

Due to unique structure design of pump, the bottom water is pumped out and shot back into the air. Not only does it have the effect of detoxification and oxygenation, but it can also make the algae and microorganisms in the water produce a dynamic balance, and avoid the water replacement rate caused by plant rot. In addition, because of the abundant water quality, it can also reduce the water replacement and the electricity consumed by water replacement. With 1/10 of the aquaculture pond space, you can create a pool of Aqualet, which only needs to be pumped once a month.

From the establishment of Chuan Yen Tech, our general manager adheres to the management idea of "pursue diligence, efficiency, and responsibility." And keep going to be innovative and oriented in the "Water" aquaculture industry. With the belief of bringing pure and healthy water to the earth, we do our best to create a more ideal environment for all human beings and inject brand new vigor into earth.

滔滔飛泉，散射激灑波光

Surging cliffside springs to scatter the glistening light of waves



In general aquaculture, it is need to spend much electricity expenses to pump water into and out to artificial ponds. Due to the expensive cost, normally we do not want to change water frequently. Then the water of the pond become stagnant water as a result of being static and not to avoid flies and mosquitoes. Although people will want stationary springs in some places, springs could not improve the pond environment because of immobility. Asaqualet is a innovative mobile detoxifying aerating apparatus. Aqualet can solve all above-mentioned problems activating water of the pond effectively and changing water layers all the time to accelerate the photosynthesis. Moreover, we utilize strength of natural sunlight to disinfect the water of the pond and purify the farming water purified completely.

In addition to the above function, Aqualet also create another brand-new function-the middle cliffside spring. Asaqualet can produce beautiful environment of surrounding area and build the pleasing scenery.

一般的人工水池由於抽水與排水需耗費大量電費，所以水池無法經常更換水質，造成水池水質的沈澱。許多水池養殖者為了避免蚊蟲，卻往往常設置噴泉水柱，但與上述情況，無法真正改善水質。Asaqualet創新的移動式曝氣增氧設備，即可解決上述所有問題，有效改善水質，以上下循環水質的活水，促進光合作用，並利用太陽的光力進一步淨化進行消毒，使的水質為最佳淨化的境界。此外Asaqualet還具備另一項曝氣功能，即噴泉設備，使其在採用增氧之弊，同時展現創始品牌天然科學景觀，可謂「移動式的水噴泉」，如此還能美化環境，營造賞心悅目的風情。

圖七 (續)、水湊湊曝氣設備功效介紹。

三、水域化學性質檢驗

根據曝氣設備之設立位置選擇一取樣點，參考點則位於遠端湖水入口處（如圖八），兩個樣點自 6 月至 11 月分別採取水樣，分析其中的生化需氧量（BOD）、總氮、總磷、氨氮。除了每個月的定期採樣之外，並分別針對曝氣試驗的前、中、後增加一次的採樣。



採樣及分析方法參照環保署所規定之標準方法為之，其方法如下：

圖八、金城湖採樣點—近端與遠端。

署所規定之標準方法為之，其方法如下：

生化需氧量（檢測方法 NIEA W510.54B）

一、方法概要

水樣在 20°C 恆溫培養箱中暗處培養 5 天後，測定水樣中好氧性微生物在此期間氧化水中物質所消耗之溶氧。

二、設備

- (一) BOD 瓶：60 mL 或更大容量之玻璃瓶（以 300 mL 具玻璃塞及喇叭狀口之 BOD 瓶為佳）。於使用前應以清潔劑洗淨，然後以蒸餾水淋洗乾淨並晾乾。在培養期間應以水封方式隔絕空氣，其方式為添加蒸餾水於已加蓋玻璃塞之 BOD 瓶喇叭狀口。水封後應以紙、塑膠類杯狀物或薄金屬套覆蓋 BOD 瓶之喇叭狀口，以減少培養期間水分蒸發。
- (二) 恆溫培養箱：溫度可控制在 $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ，並可避光以預防 BOD 瓶中藻類行光合作用而導致水樣之溶氧增加。
- (三) 溶氧測定裝置。

三、試劑

- (一) 磷酸鹽緩衝溶液：溶解 8.5 g 磷酸二氫鉀 (KH_2PO_4)、21.75 g 磷酸氫二鉀 (K_2HPO_4)、33.4 g 磷酸氫二鈉 ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 及 1.7 g 氯化銨於約 500 mL 蒸餾水中，再以蒸餾水稀釋至 1 L，此時 pH 值應為 7.2。本溶液或以下所述溶液中，若有生物滋長跡象時即應捨棄。
- (二) 硫酸鎂溶液：溶解 22.5 g 硫酸鎂 ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 於蒸餾水中，並稀釋至 1 L。
- (三) 氯化鈣溶液：溶解 27.5 g 氯化鈣於蒸餾水中，並稀釋至 1 L。
- (四) 氯化鐵溶液：溶解 0.25 g 氯化鐵 ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 於蒸餾水中，並稀釋至 1 L。
- (五) 硝化抑制劑：加 3 mg 之 2-氯-6-(三氯甲基)吡啶【2-Chloro-6-(trichloromethyl)pyridine, 簡稱 TCMP】於 300 mL BOD 瓶內，然後蓋上瓶蓋，或加適量之 TCMP 於稀釋水中，使其最終濃度為 10 mg/L。純的 TCMP 溶解速率可能很慢，也可能浮在樣品表面。有些市售之 TCMP 較易溶於水樣，但其純度可能不是 100%，需調整其用量。
- (六) 氯化銨溶液：溶解 1.15 g 氯化銨於約 500 mL 蒸餾水中，以氫氧化鈉溶液調整 pH 值至 7.2，並用蒸餾水稀釋至 1 L。此溶液濃度為 0.3 mgN/mL。
- (七) 稀釋水：水樣稀釋用。可使用去礦物質水、蒸餾水、經去氯後之自來水或天然水製備，製備方法參見七、步驟（一）。

四、採樣及保存

水樣在採集後迄分析之保存期間內，可能會因微生物分解有機物質而降低 BOD 值。水樣若在採樣後 2 小時內開始分析，可不需冷藏，若因採樣地點遠離檢驗室而無法在 2 小時內開始分析，則水樣應冷藏於 4 °C

暗處，並儘可能在 6 小時內分析，但無論如何，水樣應於採樣後 48 小時內進行分析。分析前應將水樣回溫至 20 ± 3 °C。

五、步驟

(一) 稀釋水之製備

取適量體積的水（參見五、試劑（十二）所述）於適當容器中，每 1L 水中，加入磷酸鹽緩衝溶液、硫酸鎂溶液、氯化鈣溶液及氯化鐵溶液各 1mL。所製備之稀釋水於使用前調整至 20 ± 3 °C，搖晃或通入經過濾且不含有機物質之空氣，使其溶氧達飽和；或亦可將製備之稀釋水置於具棉花塞蓋之瓶內，保存足夠時間，使其溶氧達飽和狀態。製備稀釋水時，應使用乾淨玻璃器皿，以確保稀釋水品質。

(二) 稀釋水之貯存

水樣稀釋用的水（參見五、試劑（十二）所述）可以一直貯存至使用，只要其所製備之稀釋水空白值符合七、步驟（八）所規定之品質管制範圍，此貯存可以改善某些水源之品質，但對某些水源則可能因微生物滋長而導致品質退化。水源於加入營養鹽、礦物質和緩衝溶液後最好不要貯存超過 24 小時，除非稀釋水空白值一直能符合七、步驟（八）所規定之品質管制範圍。若稀釋水空白值超出品質管制範圍，應純化改良之或改用其他來源之水。

(三) 水樣前處理

1. 調整水樣溫度：水樣於稀釋前，應調溫至 20 ± 1 °C。
2. 抑制硝化：可能需要添加硝化抑制劑之水樣包括經生物處理之放流水、以生物處理廠放流水植菌之水樣及河川水等。硝化抑制劑之使用量應記錄於檢驗報告中。

(四) 水樣稀釋技術

原則上，稀釋後之水樣，經培養 5 天後，殘餘溶氧在 1 mg/L 以上，且溶氧消耗量大於 2 mg/L 時可靠性最大。依經驗以稀釋水將水樣稀釋成數種不同濃度，使殘餘溶氧及溶氧消耗量合於上述範圍。一般可由水樣測得之

COD 值來推算其 BOD 值及稀釋濃度。通常各種水樣之稀釋濃度為：嚴重污染之工業廢水 0.0 至 1.0%；未經處理及經沈澱之廢水 1 至 5%；生物處理過之放流水 5 至 25%；受污染之河川水 25 至 100%。水樣之稀釋方法有兩種，可先用量筒稀釋後，再裝入 BOD 瓶，或直接在 BOD 瓶中稀釋。

1. 以量筒稀釋水樣：若以疊氮化物修正法測定水樣之溶氧時，應以虹吸管小心吸取稀釋水（必要時稀釋水須植菌）於容量 1 至 2 L 之量筒中，裝填至半滿，並應避免氣泡進入。加入適當體積之已混合均勻水樣後，再加入稀釋水至刻度，小心攪拌均勻，並避免氣泡進入。以虹吸管吸取混合液，分別置於兩個 BOD 瓶中。先測定其中一瓶之初始溶氧，另一瓶則於水封後置於 20°C 恆溫培養箱中培養 5 天，再測其溶氧。
2. 直接在 BOD 瓶中稀釋水樣：以移液管取適當體積之已混合均勻水樣，分別置於兩個 BOD 瓶中，以稀釋水填滿 BOD 瓶，如此，當塞入瓶蓋時，即可將所有空氣排出，而無氣泡殘留於 BOD 瓶內。若以疊氮化物修正法測定水樣之溶氧，則進行水樣稀釋時，須裝兩個 BOD 瓶，取其中一瓶測定初始溶氧，另一瓶則於水封後置於 20°C 之恆溫培養箱中培養 5 天，再測其溶氧。

（五）初始溶氧之測定

若水樣含會迅速與溶氧反應之物質，則於稀釋水填滿 BOD 瓶後，應立即測定初始溶氧。若測定之初始溶氧未明顯地迅速下降，則水樣稀釋與測定初始溶氧之期間長短即非重要因素，但仍不應超過 30 分鐘。

（六）培養

將稀釋後水樣、重複分析水樣、植菌控制、稀釋水空白及葡萄糖-麩胺酸標準溶液等樣品水封後，置於 20 ± 1°C 之恆溫培養箱內培養 5 天。

（七）最終溶氧之測定

將稀釋後水樣、重複分析水樣、植菌控制、稀釋水空白及葡萄糖 - 麩胺酸標準溶液在 20 ± 1°C 之恆溫培養箱培養 5 天後，測定其溶氧。

六、結果處理

經 5 天培養後，將溶氧消耗量大於 2 mg/L 且殘餘溶氧在 1 mg/L 以上之水樣，計算其生化需氧量。無植菌水樣之生化需氧量之公式為：

$$\text{BOD}_5 (\text{mg/L}) = (D_1 - D_2) / P$$

D_1 ：稀釋後水樣之初始溶氧 (mg/L)

D_2 ：稀釋後水樣經 20 恆溫培養箱培養 5 天之溶氧 (mg/L)

$P = \text{【水樣體積 (mL)】} / \text{【稀釋後水樣之最終體積 (mL)】}$

總磷 (檢測方法 NIEA W427.52B)

一、方法概要

水樣以硫酸、過硫酸鹽消化處理，使其中之磷轉變為正磷酸鹽之形式存在後，再加入鉬酸銨、酒石酸銻鉀，使其與正磷酸鹽作用生成一雜多酸—磷鉬酸 (phosphomolybdic acid)，經維生素丙還原為藍色複合物鉬藍 (molybdenum blue)，以分光光度計於波長 880 nm 處測其吸光度定量之。水樣如未經消化處理，所測得僅為正磷酸鹽之含量。

二、設備及材料

- (一) 玻璃器皿：所有之玻璃器皿先以 (1+1) 之熱鹽酸溶液清洗，再以蒸餾水淋洗之。
- (二) pH 計。
- (三) 加熱裝置或高壓滅菌釜。
- (四) 分光光度計，使用波長 880 nm，附 1、5 公分之樣品槽。

三、試劑

- (一) 試劑水：不含足以形成干擾之污染物之蒸餾水。
- (二) 酚酞指示劑：溶解 0.5 g 酚酞 (phenolphthalein) 於 50 mL 95% 乙醇或異丙醇 (isopropylalcohol)，加入 50 mL 蒸餾水。
- (三) 硫酸溶液，11 N：緩慢將 310 mL 濃硫酸加入於 600 mL 試劑水，冷卻後稀釋至 1 L。
- (四) 硫酸溶液，5 N：緩慢將 70 mL 濃硫酸加入於 300 mL 試劑水，冷卻後稀釋至 500 mL。

- (五) 硫酸溶液，1 N：緩慢將 14 mL 濃硫酸加入於 300 mL 試劑水，冷卻後稀釋至 500 mL。
- (六) 過硫酸銨：試藥級，結晶狀。
- (七) 氫氧化鈉溶液，1 N：溶解 40 g 氫氧化鈉 (NaOH) 於試劑水，稀釋至 1 L。
- (八) 酒石酸銻鉀溶液：在 500 mL 量瓶內，溶解 1.3715 g 酒石酸銻鉀於 400 mL 試劑水，稀釋至刻度。貯存於附有玻璃栓蓋棕色瓶中，並保持 4°C 冷藏。
- (九) 鉬酸銨溶液：溶解 20 g 鉬酸銨於試劑水中，再定量至 500 mL。貯存於塑膠瓶並保持 4°C 冷藏。
- (十) 維生素丙溶液，0.1 M：溶解 1.76 g 維生素丙 (ascorbic acid) 於試劑水中，再定量至 100 mL。使用當天配製。
- (十一) 混合試劑：依次混合 50 mL 5N 硫酸溶液，5 mL 酒石酸銻鉀溶液，15 mL 鉬酸銨溶液及 30 mL 維生素丙溶液使成 100 mL 混合試劑，每種試劑加入後，均需均勻混合，且混合前所有試劑均需保持於室溫，若混合後產生濁度時，搖盪數分鐘使濁度消失，本試劑不穩定，應於使用前配製。
- (十二) 磷標準儲備溶液：在 1,000 mL 量瓶內，溶解 0.2197 g 無水磷酸二氫鉀於試劑水，稀釋至刻度；1.00 mL = 50.0 μ g P。
- (十三) 磷標準溶液(I)：在 1,000 mL 量瓶內，以試劑水稀釋 10.0 mL 磷標準儲備溶液至刻度；1.00 mL = 0.50 μ g P，適用於 1 cm 樣品槽。
- (十四) 磷標準溶液(II)：在 1,000 mL 量瓶內，以試劑水稀釋 100 mL 磷標準溶液(I)至刻度；1.00 mL = 0.05 μ g P，適用於 5 cm 樣品槽。
- (十五) 亞硫酸氫鈉溶液，溶解 5.2 g 亞硫酸氫鈉於 1.0 N 硫酸溶液中，再以 1.0 N 硫酸溶液定量至 100 mL。

四、採樣及保存

以 1+1 熱鹽酸洗淨之玻璃瓶採集水樣，添加硫酸至 pH 值 < 2，於 4 °C 暗處冷藏，保存期限為七天。若為檢測正磷酸鹽，則無須添加硫酸，且須於 48 小時內進行檢測。

五、步驟

(一) 總磷 (包括正磷酸鹽、聚(焦)磷酸鹽及有機磷)

1. 取 50 mL 水樣或適量水樣稀釋至 50 mL，置於 125 mL 之三角燒瓶，加入一滴酚酞指示劑，如水樣呈紅色，滴加 11 N 硫酸溶液至顏色剛好消失，再加入 1.0 mL 11 N 硫酸溶液。
2. 加入 0.4 g 過硫酸銨。
3. 置於已預熱之加熱裝置上，緩慢煮沸 30~40 分鐘或直至殘留約 10 mL 液體時(注意勿使水樣乾涸)；或將水樣置於高壓釜中，以 120°C，1.0~1.4 Kg / cm² 加熱 30 分鐘。
4. 冷卻後以蒸餾水稀釋至約 30 mL (註 1)，以 1 N 或適當濃度之氫氧化鈉溶液調整 pH 至 7.0±0.2 後稀釋至 50.0 mL。若使用高壓釜消化，則冷卻後以 1 N 或適當濃度之氫氧化鈉溶液調整 pH 至 7.0±0.2 後稀釋至 100 mL (註 2)。
5. 加入 8 mL 混合試劑，混合均勻，在 10~30 分鐘時段內以分光光度計，讀取 880 nm 之吸光度，由檢量線求得磷含量 (μg)。

(二) 正磷酸鹽

1. 取 50.0 mL 水樣或適量水樣稀釋至 50.0 mL，置於 125 mL 之三角燒杯，加入 1 滴酚酞指示劑，如水樣呈紅色，滴加 5N 硫酸溶液至顏色剛好消失。
2. 依上述(一)5. 步驟操作之。

(三) 檢量線製備

分別精取 0.00，5.00，10.0，20.0，30.0，50.0 mL 磷標準溶液(I) 或(II) (或其他適合之濃度) 稀釋至 50.0 mL，依水樣相同之步驟操作，讀取 880 nm 之吸光度，繪製磷含量 (μg) - 吸光度之檢量線。

六、結果處理

磷濃度 (mg P/L) = 檢量線求得磷含量 (μg) / 水樣體積 (mL)

註一：若水樣含砷或高濃度鐵，加入 5mL 亞硫酸氫鈉溶液，混合後置於 95 °C 水浴中 30 分鐘(保持水樣溫度為 95°C 20 分鐘)冷卻之。

註二：水樣中和後如呈渾濁，添加 2~3 滴 11 N 硫酸溶液混合均勻，視需要過濾再行稀釋。

註三：廢液分類處理原則一本檢驗廢液依一般無機廢液處理。

總氮 (檢測方法 NIEA W423.52C)

一、方法概要

水中總氮為硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮、凱氏氮 (凱氏氮為氨氮與總有機氮之和) 之總和，因此分別由前述三種檢測分析結果之總和即為水中總氮含量。

二、設備

所使用之器皿均以試劑水 (調整 pH 值為 9.5) 清洗，去除殘餘之氮。

- (一) 蒸餾裝置：準備 1000 mL 平底或圓底玻璃燒瓶，連結至一直立式冷凝裝置，接口處以磨砂口銜接，其出口尖端須浸於酸吸收溶液之液面下；使用全硼矽玻璃裝置或以錫 (或鋁) 質的管子連接組成的冷凝裝置。
- (二) pH 計。
- (三) 消化裝置：1000 mL 凱氏或蒸餾燒瓶及加熱器 (可提供 375 至 385 °C 溫度，且將 250 mL 水由室溫 <25°C> 加熱至沸騰約 5 分鐘，以有效消化)，並置於能除去水蒸氣及三氧化硫氣體之排煙櫃中。
- (四) 加熱裝置：加熱包或加熱板等尺寸適宜之加熱裝置。
- (五) 分析天平：可精秤至 0.1 mg。
- (六) 電磁攪拌器：磁石需是熱絕緣且外裹鐵氟龍。
- (七) 移液管或經校正之自動移液管。

(八) 定量瓶。

三、試劑

- (一) 試劑水：不含氨氮之二次蒸餾水或去離子水，以其配製試劑、清洗或稀釋樣品，使用前製備，並需時常藉由空白分析來查核試劑水，是否含有氨氮。
- (二) 硫代硫酸鈉溶液（去氯試劑）：溶解 3.5 g 硫代硫酸鈉 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 於試劑水中，再稀釋至 1000 mL，須每週配製（註 1）。
- (三) 沸石：以分子篩沸石效果較佳，使用前須於清洗蒸餾裝置時一同清洗。
- (四) 消化試劑：溶解 100 g 硫酸鉀於 650 mL 試劑水及 200 mL 濃硫酸中，再加入 40 g 硫酸銅 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)，並予以搖晃，最後以試劑水定容至 1 L。
- (五) 氫氧化鈉-硫代硫酸鈉試劑：溶解 500 g 氫氧化鈉及 25 g 硫代硫酸鈉 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 於試劑水中並定容至 1 L。
- (六) 氫氧化鈉，6 M：溶解 240 g 氫氧化鈉於試劑水，再定容至 1 L。
- (七) 氫氧化鈉溶液，10 M：取 40 g NaOH 溶解於 80 mL 試劑水中，並攪拌待溶解後，稀釋至 100 mL。
- (八) 氫氧化鈉溶液，1 M：取 4 g NaOH 溶解於 80 mL 試劑水中，並攪拌待溶解後，稀釋至 100 mL。
- (九) 硫酸溶液，0.5 M：稀釋 25 mL 濃 H_2SO_4 至 1 L。
- (十) 硫酸（吸收）溶液，0.02 M：稀釋 1 mL 濃 H_2SO_4 至 1 L。
- (十一) 氨氮儲備溶液（檢量線製備用）：取 3.819 g NH_4Cl （預先於 110 °C 乾燥）溶解於試劑水中，並稀釋至 1000 mL（此溶液 1.00 mL = 1.00 mg N）。
- (十二) 凱氏氮儲備溶液（查核樣品分析及添加樣品分析用）：溶解 1.050 g 經 103°C 乾燥一小時之麩胺酸（Glutamic acid）於 900 mL 試劑水中，加入 2 mL 濃 H_2SO_4 ，再以試劑水稀釋至 1 L（此溶液 1.00 mL

=0.10 mg N) 或購買經濃度確認並附保存期限說明之市售標準儲備溶液。

四、採樣及保存

- (一) 採樣：使用清潔並經試劑水清洗過之塑膠瓶或玻璃瓶。在取樣前，採樣瓶可用擬採集之水樣洗滌二至三次。如果樣品中含有餘氯，則採樣時應立即添加適量的硫代硫酸鈉溶液（去氯試劑）處理（添加量請參考註 1）。
- (二) 保存：樣品儘速分析可得到最可靠之分析結果，如果無法立即分析，用濃硫酸將樣品酸化至 pH 值為 1.5 至 2.0，並冷藏保存於 4 ± 2 °C。在此條件下，樣品可保存 14 天。硝酸鹽及亞硝酸鹽氮可使用同一容器保存，凱氏氮須分開保存。

五、步驟

- (一) 硝酸鹽氮分析步驟依水中硝酸鹽氮檢測方法—分光光度計法 (NIEA W419) 執行。
- (二) 亞硝酸鹽氮分析步驟依水中亞硝酸鹽氮檢測方法—分光光度計法 (NIEA W418) 執行。
- (三) 凱氏氮為氨氮與總有機氮之和。凱氏氮分析步驟依水中凱氏氮檢測方法(NIEA W451.51A)執行；氨氮分析步驟依水中氨氮檢測方法—靛酚比色法 (NIEA W448.51B)執行。

六、結果處理

水中總氮濃度 (mg/L) = 水中硝酸鹽氮濃度 (mg/L) + 水中亞硝酸鹽氮濃度 (mg/L) + 水中凱氏氮濃度 (mg/L)

氨氮 (檢測方法 NIEA W448.51B)

一、方法概要

含有氨氮及銨離子之水樣於加入次氯酸鹽 (Hypochlorite) 及酚溶液反應，生成深藍色之靛酚 (Indophenol)，此溶液之顏色於亞硝酸鹽鐵氰化鈉

溶液 (Sodium nitroprusside) 之催化後會更加強烈。使用分光光度計於波長 640 nm 處進行比色分析，即可求得水樣中氨氮之濃度。

二、設備及材料

- (一) 分光光度計：在波長 640 ± 1 nm 下，使用光徑 1 cm 或以上之樣品槽。
- (二) 蒸餾裝置：準備 800 至 2000 mL 平底或圓底玻璃燒瓶，連結至一直立式冷凝裝置，接口處以磨砂口銜接，其出口尖端須浸於酸吸收溶液之液面下；使用全硼矽玻璃裝置或以錫（或鋁）質的管子連接組成的冷凝裝置。
- (三) 加熱裝置：加熱包或加熱板等尺寸適宜之加熱裝置。
- (四) 分析天平：可精秤至 0.1 mg。
- (五) 移液管或經校正之自動移液管。
- (六) 定量瓶。
- (七) 電磁攪拌器：磁石需是熱絕緣且外裹鐵氟龍。
- (八) pH 計。
- (九) 三角錐瓶或其它適用樣品反應瓶（附蓋或以塑膠或 Paraffin 膜覆蓋）：50 mL。

三、試劑

- (一) 試劑水：不含氨氮之二次蒸餾水或去離子蒸餾水，以其配製試劑、清洗或稀釋樣品，使用前製備，並需時常藉由空白分析來查核試劑水，是否含有氨氮。
- (二) 硫代硫酸鈉溶液（去氯試劑）：溶解 3.5 g 硫代硫酸鈉 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 於試劑水中，再稀釋至 1000 mL，須每週配製。
- (三) 硼酸鹽緩衝溶液：加 88 mL 0.1 M 氫氧化鈉溶液於 500 mL 0.025 M 四硼酸鈉溶液 ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 5.0 g/L 或 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ 9.5 g/L) 以試劑水稀釋至 1 L。
- (四) 氫氧化鈉 (Sodium hydroxide) 溶液，6 M：將 240 g NaOH 溶解於試劑水中，並攪拌待溶解後，稀釋至 1000 mL。

- (五) 氫氧化鈉溶液，10 M：取 40 g NaOH 溶解於 80 mL 試劑水中，並攪拌待溶解後，稀釋至 100 mL。
- (六) 氫氧化鈉溶液，1 M：取 4 g NaOH 溶解於 80 mL 試劑水中，並攪拌待溶解後，稀釋至 100 mL。
- (七) 硫酸溶液，0.5 M：稀釋 25 mL 濃 H₂SO₄ 至 1 L。
- (八) 硫酸（吸收）溶液，0.02 M：稀釋 1 mL 濃 H₂SO₄ 至 1 L。
- (九) 沸石：以分子篩沸石效果較佳，使用前須於清洗蒸餾裝置時一同清洗。
- (十) 比色分析時所用試劑
1. 酚溶液（Phenol solution）：取 11.1 mL 液態酚（純度 \geq 89）以 95 %（V/V）乙醇（Ethyl alcohol）混合至最終體積 100 mL，每週製備。
註：當操作酚時，須戴手套、護眼裝置；在通風良好環境下可減少曝露於此劇毒揮發性物質之危險。
 2. 亞硝醯鐵氰化鈉（Sodium nitroprusside）溶液，0.5%（W/V）：溶解 0.5 g 亞硝醯鐵氰化鈉於 100 mL 試劑水。貯存於棕色瓶，最長一個月。
 3. 鹼性檸檬酸鹽溶液（Alkaline citrate solution）：溶 200 g 檸檬酸三鈉鹽（Trisodium citrate）和 10 g 氫氧化鈉於試劑水，再稀釋至 1 L。
 4. 次氯酸鈉（Sodium hypochlorite）約 5%，可購買市售溶液，使用前適當稀釋。當溶液開封，會慢慢分解。大約每二個月要更換一次。
 5. 氧化劑溶液（Oxidizing solution）：以 25 mL 次氯酸鈉和 100 mL 鹼性檸檬酸鹽溶液混合，使用前配製。
- (十一) 氨氮儲備溶液（Ammonium stock standard）：取 3.819g NH₄Cl（預先於 110°C 乾燥二小時）溶解於試劑水中，並稀釋至 1000 mL（此溶 1.00 mL = 1.00 mg N = 1.22 mg NH₃）。
- (十二) 氨氮標準中間溶液：取 10.0 mL 氨氮儲備溶液，至 1000 mL 量瓶內，稀釋至刻度（此溶液 1.00 mL = 10.00 μ g 氨氮）。

(十三) 氨氮標準溶液：取 10.0 mL 氨氮中間溶液，至 100 mL 量瓶內，稀釋至刻度（此溶液 1.00 mL = 1.00 μ g 氨氮）。

四、採樣與保存

(一) 採樣：使用清潔並經試劑水清洗過之塑膠瓶或玻璃瓶。在取樣前，採樣瓶可用擬採集之水樣洗滌二至三次。如果樣品中含有餘氯，則採樣時應立即添加適量的硫代硫酸鈉溶液（去氯試劑）處理（添加量請參考註 1）。

(二) 保存：樣品之運送及保存須在 4°C 以下暗處冷藏，並於 24 小時內檢測。若樣品為含有機性及含氮性物質高的樣品或需保存較長時間之樣品，採樣後應加入適量（勿過量）的濃硫酸，調整 pH 值至小於 2，在此條件下樣品可保存七天。

五、步驟

(一) 蒸餾：樣品之蒸餾並非必要，若樣品為廢污水、有干擾物出現或需高準確度之飲用水等樣品檢測時，則應執行蒸餾步驟，但如果樣品為經常檢測之相同基質來源水樣，各檢驗室必須曾執行至少一至二批該類樣品之蒸餾與不蒸餾的同步驗證檢測，其結果必須在可接受之範圍（相對差異比小於 15%，且未蒸餾樣品檢測的添加回收率界於 85 至 115% 之內），並留有紀錄，以證明或支持爾後該來源樣品可不執行前處理蒸餾，否則皆應執行樣品之前處理蒸餾步驟。

1. 設備的清洗準備：取 500 mL 試劑水於燒杯中，加入 20 mL 硼酸鹽緩衝溶液，以 6 M 氫氧化鈉溶液調整 pH 至 9.5 後，移入蒸餾燒瓶中，加數粒沸石，加熱蒸餾直至蒸出液無氨氮為止。將蒸餾裝置的連接裝配移開，保留沸石於蒸餾瓶中，倒出殘留溶液，捨棄之。直至樣品開始蒸餾前，須避免污染。
2. 樣品的準備：於經上述處理之蒸餾瓶中，加入 500 mL 已去氯樣品或適當量樣品以試劑水稀釋至 500 mL，當氨氮含量低於 0.1 mg/L 時，樣品體積宜使用 1000 mL（在收集樣品時，應加入等量的硫代

硫酸鈉溶液以去除餘氯)。如果需要，以稀釋的硫酸或氫氧化鈉溶液，調整 pH 值至 7 左右。準備好的樣品，再添加 25 mL 硼酸鹽緩衝溶液，然後以 6 M 氫氧化鈉溶液調整 pH 值至 9.5。

3. 樣品蒸餾：以每分鐘 6 至 10mL 速率蒸餾，收集氨蒸餾液至 500 mL 定量瓶或其他適用的蒸餾接收容器，上述量瓶內須置放 50mL 0.02 M 的硫酸（吸收）溶液；保持蒸出液滴出口在硫酸（吸收）溶液之液面下 2 公分；收集蒸餾液至少 200 mL 於氨蒸餾液的接收容器內，再將蒸餾裝置的輸送管末端離開吸收溶液面，不再與其接觸，然後繼續蒸餾數分鐘，以洗滌冷凝器及輸送管線至蒸餾液約 300 mL，再以試劑水稀釋定量至 500 mL。

（二）檢量線製備

1. 取 25.0 mL 試劑水，於 50 mL 之附蓋三角錐瓶中或其它適用樣品反應瓶，再依次添加入 1.0 mL 酚溶液、1.0 mL 亞硝鹽鐵氰化鈉溶液及 2.50 mL 氧化劑溶液（每次加入各溶液後，均須混合均勻），使樣品呈色。靜置於室溫（22 至 27°C）暗處下，至少 1 小時，此顏色可穩定 24 小時以上。以此溶液將分光光度計於波長 640 nm 處歸零。
2. 精取適量之氨氮標準溶液（1.0 mg/L）於 100 mL 量瓶，由高濃度至低濃度序列稀釋成至少五組不同濃度之檢量線製備用溶液。如：0.02、0.04、0.06、0.10、0.20 mg/L 或其他適當之序列濃度（檢量線配製濃度不可大於 1.0 mg/L）。
3. 再取 25.0 mL 上述配製之序列濃度檢量線溶液，於 50 mL 之附蓋三角錐瓶中或其它適用樣品反應瓶，並依七（二）1.的檢測步驟使樣品呈色，製備檢量線。
4. 量測在波長 640 nm 之吸光度，以標準溶液濃度（mg/L）為 X 軸，吸光度為 Y 軸，繪製一吸光度與氨氮濃度（mg/L）之檢量線。

（三）樣品的檢測

1. 若採樣時樣品已經加酸保存，且樣品未經蒸餾前處理時，則先取適量樣品，調整其 pH 值至 7 以上（注意勿過分稀釋水樣），並過濾樣品（以避免干擾）。
2. 取上述 25.0 mL 樣品或經蒸餾前處理之蒸出液（必要時將上述樣品或蒸出液經適當稀釋至 25.0 mL），於 50 mL 之附蓋三角錐瓶或其它適用樣品反應瓶中。以七（二）1.的檢測步驟操作，使樣品呈色。即可由檢量線求得水樣中氨氮之濃度。

六、結果處理

由樣品溶液測得之吸光度，代入檢量線可求得溶液中氨氮的濃度（mg/L），再依下式計算樣品中氨氮的濃度。

$$A = A' \times F$$

A：樣品中氨氮的濃度（mg/L）。

A'：由檢量線求得樣品溶液中氨氮的濃度（mg/L）。

F：稀釋倍數。

註 1：在 500 mL 水樣中，使用 1 mL 硫代硫酸鈉溶液，可去除 1 mg/L 餘氯。

註 2：廢液分類處理原則一本檢驗廢液依一般有機廢液處理。

四、水域生物群聚調查

自 6 月至 11 月分別自曝氣設備的近點及遠端採樣研究湖水生物的群聚，監測對象分別為浮游藻、浮游動物及底棲生物，採樣研究的頻度為每月一次，前後各有至少一次是曝氣設備運作之前及之後的結果。

研究採樣之方法如下：

(1) 浮游藻

採樣點以 10 公升水桶自樣點內三個位置採水共 30 公升，水樣充分混合之後自桶內取 1 公升置入採樣瓶中，水樣以 4°C 保存攜回實驗室，實驗室內相同以 4°C 儲存水樣，並且儘速完成分類鑑定及細胞計數。水樣觀察

根據不同水體進行不同程度的離心濃縮，以倒立顯微鏡觀察分析。重點在於細胞數的計算，是否發生藻華，藉此推測缺氧狀態。

(2) 浮游動物

採樣以 20 公升水桶自 5 個不同位置採水共得 100 公升，以 55 μ m 的篩網將水樣過濾，再以蒸餾水將過濾所得清洗至採樣瓶內，過濾所得浮游動物以 70% 酒精固定保存攜回實驗室。浮游動物樣品在實驗室內以浮游生物分樣器經過適當的分樣，再將分樣所得於顯微鏡下分類並計數。浮游動物分析著重體型大小的分級分佈，大型的浮游動物濾食效率較高可以除去藻類的細胞，然而大型浮游動物常成為魚類食餌，有效降低捕食浮游動物的魚類可以降低藻華的影響。

(3) 底棲無脊椎動物

水棲昆蟲及底棲動物的採樣分別以水棲昆蟲抄網及底泥採樣法將底泥石塊過篩採樣。取樣時以抄網在岸邊水生植物茂密的位置抄取水生昆蟲。底泥採樣使用抓泥斗在 5 個不同位置抓取固定體積



圖九、以 0.5mm 網目的不鏽鋼篩淘洗抓泥斗所取得土樣。

的土樣，土樣以 0.5mm 網目的不鏽鋼篩淘洗，淘洗所得樣品以低溫保存攜回實驗室存放 -20 $^{\circ}$ C 冰凍，解凍後在解剖顯微鏡下篩檢動物，再以 95% ETOH 固定存放 4 $^{\circ}$ C，爾後再進一步分類鑑定。

五、金城湖現地文蛤飼養除污試驗

文蛤來源：彰化地區沿海專業文蛤養殖池，以活水運送至金城湖。

(1) 文蛤存活率評估

實驗前準備：購置 10 只柵孔塑膠箱內徑 440 \times 355 \times 155mm，將塑膠箱

裝滿金城湖底泥沉入湖中，靜置一星期以上。

取回實驗用文蛤之後，每只箱子置入 20 隻文蛤，箱口以粗的尼龍網覆蓋，防止文蛤逃脫。隨後每星期檢查一次並測量其殼長以及存活的個體數。

(2) 文蛤飼養對底泥有機碳含量之影響

實驗前之準備如前述實驗，10 只柵孔塑膠箱裝入湖底的淤泥靜置一星期。放入文蛤之前先取樣箱中的底泥 100g，隨後每箱置入 20 只健康的文蛤，箱口覆網防止逃脫。

飼養期間每隔一個月取樣一次底土及檢視文蛤存活個數。總有機碳分析方法如下：

土壤中的有機碳含量測定—重鉻酸鉀迴流法(參考環檢所化學需氧量檢測)

a. 試劑

- (a) 0.0417M $K_2Cr_2O_7$ 溶液：溶解 6.1338g $K_2Cr_2O_7$ 於蒸餾水中，定容至 0.5L。
- (b) 0.25N 硫酸亞鐵銨溶液 ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$)：溶解 49g 硫酸亞鐵銨於蒸餾水中，再加入 10ml 濃硫酸，冷卻後定容至 0.5L。
- (c) 硫酸汞粉末 ($HgSO_4$)
- (d) 硫酸銀溶液 ($AgSO_4$)：2.5g 硫酸銀加入濃硫酸，定容至 250ml。
- (e) 菲羅林指示劑 (Ferroun solution)
- (f) 濃硫酸
- (g) 蒸餾水

b. 反應

- (a) 土壤樣品：精秤 0.5g 土樣，置於 250ml 燒瓶中，加入 0.4g 硫酸汞粉末，再加入 10ml 蒸餾水，稍微搖動後再加入 10ml $K_2Cr_2O_7$ 溶液。加入毛細管後，置於迴流 (reflux) 裝置上，由迴流管上方加入 20ml 硫酸銀溶液，加溫至沸騰後，持續反應 2 小時。
- (b) 空白樣品：0.4g 硫酸汞粉末，置於 250ml 燒瓶中，再加入 10ml 蒸餾水，稍微搖動後再加入 10ml $K_2Cr_2O_7$ 溶液。加入毛細管後，

置於迴流 (reflux) 裝置上，由迴流管上方加入 20ml 硫酸銀溶液，加溫至沸騰後，持續反應 2 小時。

c. 滴定

待反應液溫度稍低後，以少許蒸餾水沖洗迴流管，再將反應液移入量瓶，定容至 100ml，取 25ml 反應液加入 2 滴菲羅林指示劑，以硫酸亞鐵銨溶液滴定。

d. 標定

取 5ml 0.0417M $K_2Cr_2O_7$ 溶液加入約 15ml 蒸餾水，再加入 5ml 濃硫酸。待冷卻後，加入 2 滴菲羅林指示劑，以標定硫酸亞鐵銨溶液濃度。

e. 計算

有機碳含量% = $(A - B - C) \times 0.00336 / \text{土壤樣品克數}$

A : $K_2Cr_2O_7$ 液之毫當量數

B : 空白樣品所耗硫酸亞鐵銨溶液之毫當量數

C : 硫酸亞鐵銨溶液之毫當量數

附註：1. $K_2Cr_2O_7$ 溶液之毫當量數 = $K_2Cr_2O_7$ 之毫升數 \times $K_2Cr_2O_7$ 之當量濃度

2. $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 之毫當量數 = $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot$

$6H_2O$ 之毫升數 \times $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 之當量濃度

3. 每毫當量 $K_2Cr_2O_7$ 可氧化有機碳 0.00336 克。

(3) 文蛤濾食效率對湖水懸浮顆粒去除效率之評估

① 實驗前準備：準備 200 公升之大型水桶 3 只，將桶底鋪上 20 公分厚的湖底淤泥，置入湖中在現地將湖水裝 9 分滿，靜置使淤泥沉澱。

② 實驗方法：CTD 及螢光光度儀置入桶中開啟監測過程，隨後將 60 隻健康的文蛤置入水桶之中，適度的給予打氣。連續 48 小時後結束實驗，換另一只水桶重複此過程。48 小時後換第 3 個水桶。

③ 除了螢光儀之外，自實驗開始，每隔 3 個小時採取水樣 1 公升，以福馬林固定取回實驗室，隨後計算藻類細胞的總個體數，藉此求得文蛤濾食對懸浮顆粒的去除率。

此實驗分三階段進行，以 3 個編號為桶一、桶二、桶三的 200 公升的硬塑膠水桶，裝入靠近水車軌道的湖水至 9 分滿，每桶再隨機放置 60 個文蛤，每 3 小時採取水樣 1 公升，清晨 3:00 的採樣時段因安全考量不進行採集。每一階段的實驗為 48 小時，單一階段共計有 1 公升水樣 42 瓶，水樣以 3% 福馬林固定置入 4°C 冰箱保存。實驗期間因桶內的水幾乎靜止，故以打氣的方式來製造與水車附近相似的環境。而 CTD 則是先放在桶一，48 小時後再換至桶二，以此類推至三階段實驗結束。另外此實驗期間放置備用的兩個硬塑膠桶在湖中央（代號為備一、備二），裡面一樣放養 60 個文蛤，測試其存活率以供未來參考。

懸浮顆粒的估算在複式光學顯微鏡進行，以均勻的樣本 1 毫升注入浮游生物計數器（Sedgewick Rafter Counting Cell Slide: Graticules LTD, Tonbridge England）以 200 倍觀察，計算直徑大於 10 微米以上的生物性顆粒。本計數器將每一毫升共分為 1000 格，觀察時逢機取樣 50 格計數之後估算每升水中的顆粒數。

六、草本植物金城湖生長試驗

試驗對象為雲林莞草、甘藻、流蘇菜及龍鬚菜，雲林莞草為挺水植物，地面的莖葉為一年生，冬天枯萎，以地下莖渡冬，夏季是最佳的生長季節。甘藻為沉水的植物，能在潮間帶生存。以上兩者均可在香山溼地取得種源，若能在金城湖生長，可以考慮在淺水層栽植，增加水域植物的多樣性，並且協助底泥有機物之分解利用。流蘇菜亦為沉水性顯花植物，常出現在沿岸地區的池塘及魚塭，水下莖葉比水面的部份發達，其會與單胞藻競爭營養鹽，可以降低藻華現象。龍鬚菜屬於褐藻植物，利用柄部附著在水下，也是中南部沿岸地區溼地中常見的生物。以往觀察經驗發現許多養殖龍鬚菜的魚塭或是龍鬚菜自生的溼地水質均相當清澈，一般藻類的生長需要充足的營養鹽，若龍鬚菜能在金城湖生存，必定能夠去除水中的營養物質降低優養化現象。

雲林莞草種植試驗：

先詳細調查金城湖四周的莎草科植物生長情形，根據莎草科分佈的位置選擇試種的位置，從香山溼地移植健康的植株至金城湖淺水岸邊種植，選擇三個適當的位置進行種植試驗，每一個樣點種植 20 株莞草的幼苗，



圖十、雲林莞草。

每隔一週記錄一次其殘存的數量，以尺標為基準觀測其生長狀態並照相記錄。

流蘇藻生長觀察：

試驗前先調查是否有相類似的沉水性藻類在近期內拓展至湖中生存，若有先進行分類研究及族群量估計。流蘇藻生長觀察分兩部分進行，其一是以 400 公升的水桶置入湖中裝滿湖水種植。每隔 2-3 天記錄其生長狀態，觀察其是否能發新芽分枝生長，抑或逐漸凋萎死亡，試驗期間也記錄桶中水質變化，如水的透明度、溶氧量及酸鹼度等，藉此了解流蘇藻對湖水自淨能力之影響。除了水桶隔離種植試驗之外，同時以細孔目的網箱為器材，將流蘇藻置入網箱中並以浮球使網箱漂浮在水面，定期觀察流蘇藻生長至研究結束為止，藉此了解其對湖水之適應能力。



圖十一、流蘇藻及利用流蘇藻築巢的小鷺鷥。

甘藻種植試驗：

甘藻分佈在香山溼地的潮間帶，生長的底質為粗糙的砂質土壤，地下部分為橫走的匍匐莖，退潮之後葉片平鋪在地面，漲潮之後葉片懸浮在水中。因此在金城湖淺水岸邊才是適當的棲地，試驗前先詳細調查金城湖四周的淺水區沉水植物生長情形。金城湖的南端靠近客雅溪的位置是砂質底質與溼地上甘藻生長底質近似，試種實驗直接從香山溼地移植健康的植株至金城湖淺水岸邊種植，選擇三個風浪作用較小的位置進行種植試驗，每一個樣點種植 20 株，每隔一週記錄一次其殘存的數量。



圖十二、甘藻 (*Zostera japonica*)。



圖十三、龍鬚菜外觀。

龍鬚菜生長觀察：

龍鬚菜生長觀察分兩部分進行，其一是以 400 公升的水桶置入湖中裝滿湖水種植。每隔 2-3 天記錄其生長狀態，觀察其是否能發新芽分枝生長，抑或逐漸凋萎死亡，試驗期間也記錄桶中水質變化，如水的透明度、溶氧量及酸鹼度等，藉此了解龍鬚菜對湖水自淨能力之影響。除了水桶隔離種植試驗之外，同時以細孔目的網箱為器材，將龍鬚菜置入網箱中並以浮球使網箱漂浮在水面，定期觀察龍鬚菜生長至研究結束為止，藉此了解其對湖水之適應能力。

肆、結果及討論

一、曝氣設備的設置及效率評估

水湊湊移動式增氧水循環設備於 2008 年 7 月在抽水站前之湖面兩側架設完成(如圖十四),7 月 4 日開始運轉。該設備的運作方式是將水面下 70cm 的底層水利用馬達噴灑至空中,增加底層水與空氣接觸的機會,藉此達到湖水上下層交替循環、增加溶氧之作用。又因每組水車為兩顆單向馬達所組成,故架設軌道後,水車就可藉由水柱的反作用力做來回的移動(圖十五),使曝氣的面積更加擴大,大幅的提升增加湖水溶氧之功能。另外,移動式的水車也增加了金城湖在景觀上的趣味性,成為遊客在此駐足的焦點之一。

在引入曝氣設備的實驗前、中、後分別連續監測 24 小時湖水狀態,以 CTD 紀錄金城湖水之溶氧、透明度、鹽度及溫度等 24 小時連續變化情形,藉此了解水車在金城湖中實際運轉對湖水物理性質之影響。另外在水車運轉過程中,距離水車經過處之 5 公尺、10 公尺及 15 公尺的位置進行 24 小時連續監測。因監測儀器有限,一次僅能就單一位置施放儀器;為了減少周遭環境對曝氣之影響所造成的誤差,故選擇相似的天候條件下進行實驗。

由表一及圖十六為引入曝氣設備前,6 月 30 日 15:00 至隔日 15:00 湖水之各項物理變化。湖水鹽度在 11-15PSU 間波動,溶氧度呈現的波動情形類似,傍晚開始受漲潮滲入水影響,鹽度上升至夜間的 23:00 左右達到最大值(約 19PSU),溶氧亦隨鹽度上升而增加至鹽度到達最高為止,根據中央氣象局的資料顯示,當天新竹地區的滿潮時間是 24:00。底層水的溶氧度因為消耗快速,從 8 mg/L 快速下降到略低於 1 mg/L 的缺氧狀態,至隔天 9:00 左右溶氧量才開始緩緩上升,但是始終因為底層水鹽度高,密度較大無法與上層水混合而增加其含氧量。深層湖水水溫的變化不大,落在 29.2~30.2°C 之間,最高溫與最低溫相差約 1°C。螢光度讀值的變化也與水層的分化有關,閘門處滲入湖中的溪水顯然含有較少的浮游植物或是水中的懸浮顆粒較少,螢光度讀值較低。



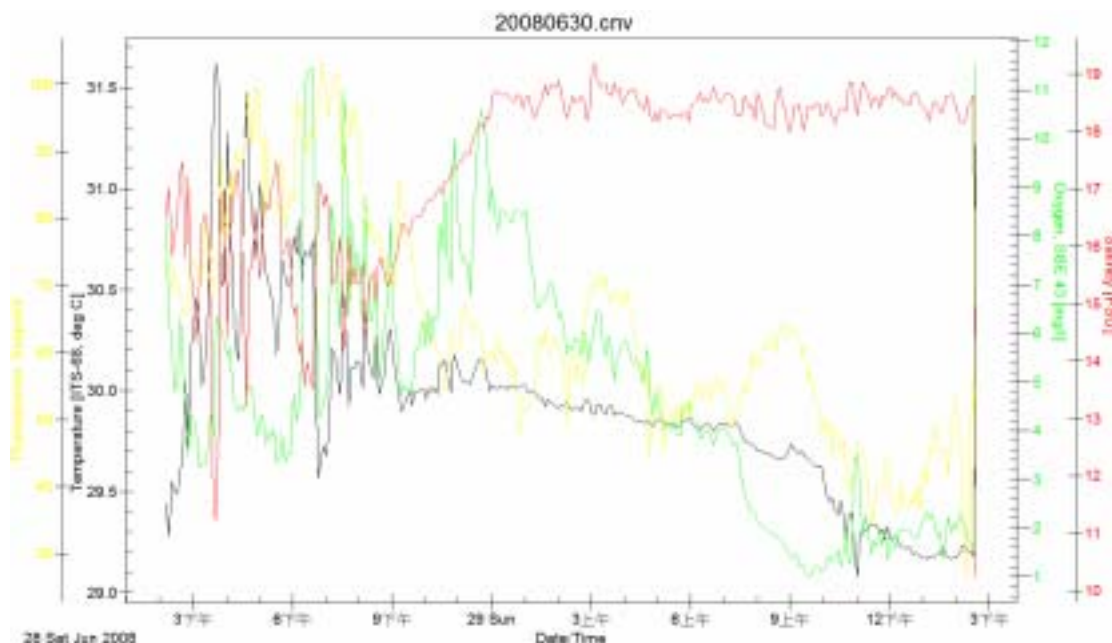
圖十四、架設水澆澆曝氣設備



圖十五、水車實際運作情形。

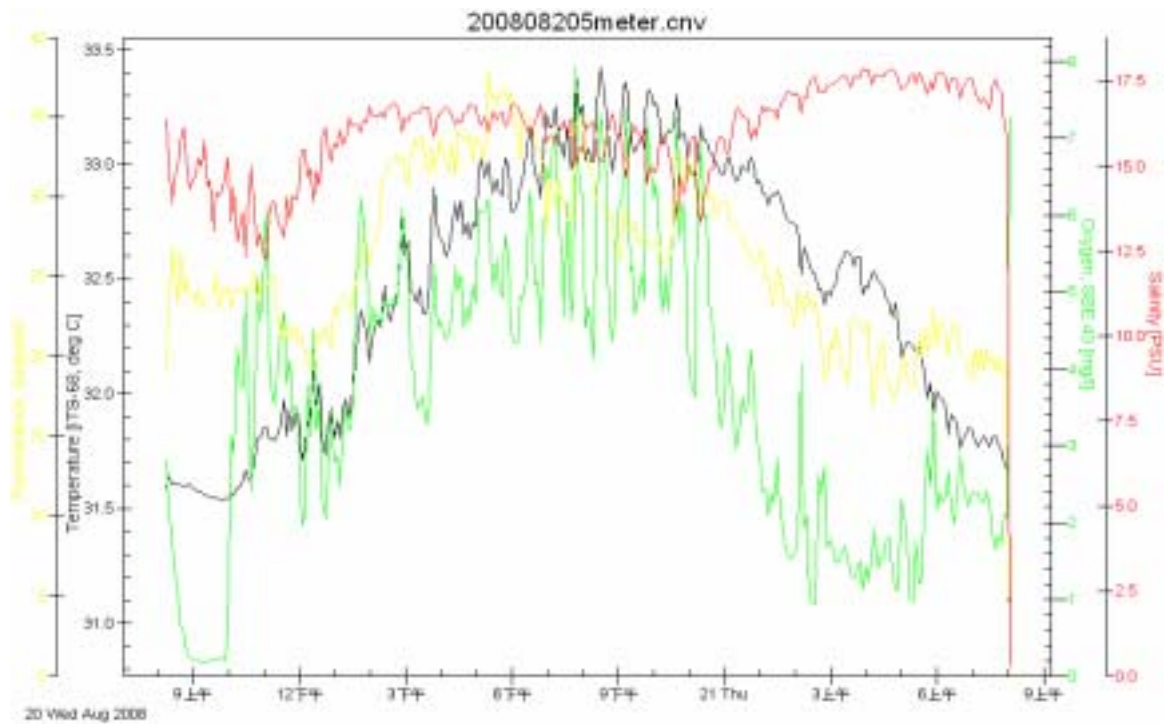
表一、2008年6月30日24小時連續監測湖水60-70公分處之溶氧度、鹽度、溫度及螢光度（葉綠素a）。

2008/06/30 實驗前	溶氧度【mg/L】	鹽度【PSU】	溫度【°C】	螢光度
15:00	4	15	30.2	70
18:00	4	15	30.7	85
21:00	6	15.5	30.1	75
24:00	8.5	18.5	30	60
03:00	5.5	18.5	29.9	70
06:00	4	18	29.8	55
09:00	1.5	18	29.7	60
12:00	2	18.5	29.3	40
15:00	1.5	18.5	29.2	40



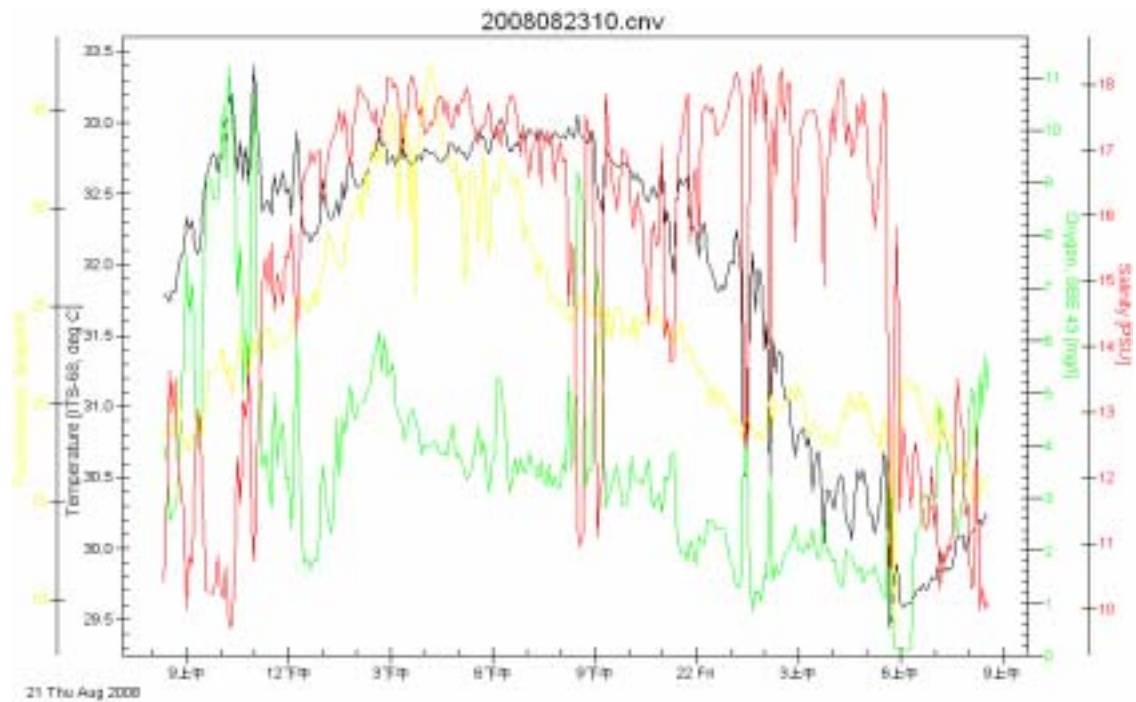
圖十六、2008年6月30日24小時連續監測湖水60-70公分處之溶氧度、鹽度、溫度及螢光度（葉綠素a）之連續變化繪圖。（當日滿潮時間約為8:00及20:00）

今年度七月份因為颱風侵襲的次數頻繁，大量降雨造成金城湖水體持續處於劇烈變動的狀態，湖水不適於進行常態的試驗研究。因此，將部分實驗延後至8月天氣穩定後進行，8月20至22日進行監測距離曝氣水車5、10、15公尺處深層湖水物化特性。分別就其溶氧量、鹽度、溫度及螢光度（葉綠素a含量）說明其結果：



圖十七、2008年8月20日距離水車5公尺，24小時連續監測湖水60-70公分處溶氧度、鹽度、溫度及螢光度(葉綠素a)之連續變化繪圖。(當日滿潮時間約為2:00及14:00)

距離水車5公尺鹽度的波動變化介於13-17.5PSU之間，水層混合的效應明顯，不會顯現顯著的鹽度落差。深層水溶氧量大部分時間均大於3 mg/L，夜間仍然呈現逐漸下降趨勢，溶氧量至少在1 mg/L以上，相對於以往監測結果，夏季高溫期的夜間深層水會長時期處於1 mg/L以下的嚴重缺氧狀態。螢光度測值大致與鹽度趨勢或是與時間週期有關，一般在陽光普照的情形下，中午過後至下午這段時間螢光度讀值上升至最高，顯示浮藻在強光下往中下層聚集，或是受客雅溪滲入水的影響改變其讀值，隨客雅溪水的入侵也具有較高的溶氧量。水溫介於31.5-33.5度之間，夜間逐漸下降，早晨一般具有較低的溫度，隨著日照增溫至下午達到最高持續至傍晚均處於高溫狀態(圖十七)。

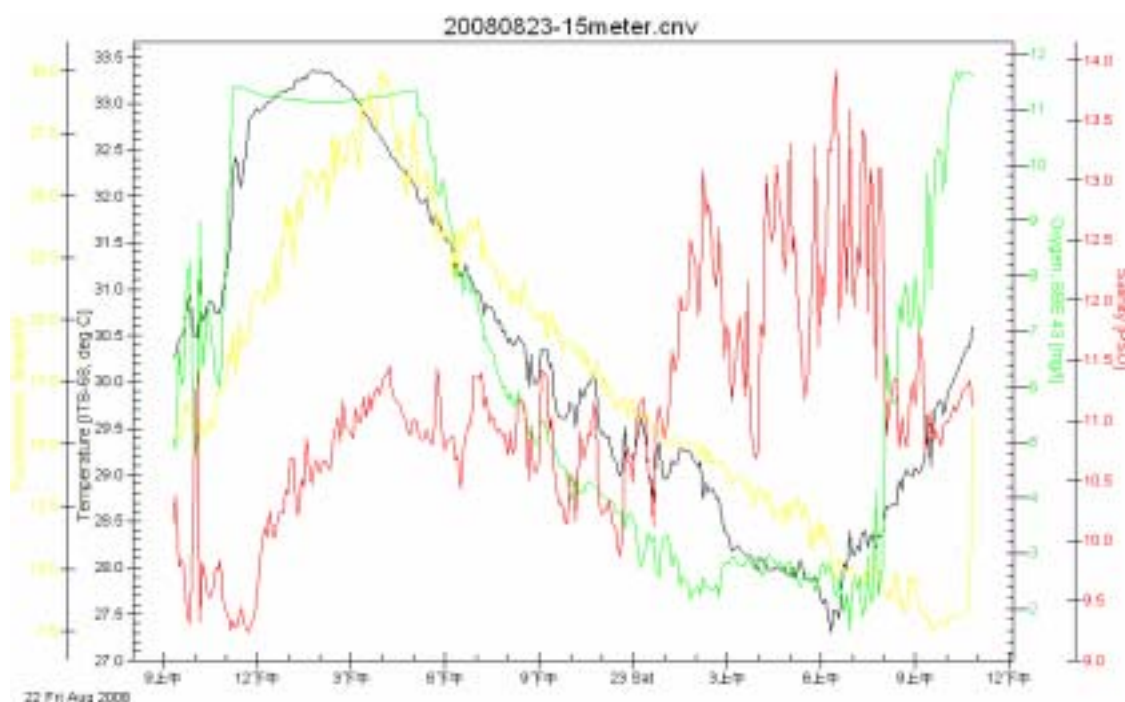


圖十八、2008年8月21日距離水車10公尺，24小時連續監測湖水60-70公分處溶氧度、鹽度、溫度及螢光度(葉綠素a)之連續變化繪圖。(當日滿潮時間約為3:00及15:00)

距離水車10公尺鹽度的波動變化介於10-18 PSU之間，水車抽水混合的效應不若5公尺處明顯，漲退潮時段顯現顯著的鹽度落差，短時間內劇烈變動顯示其仍受到水車抽水擾流的影響。深層水溶氧量大部份時間均大於3 mg/L，中午以前溶氧量最高達過飽和，中午過後因為滲入的客雅溪水使鹽度增加8PSU，間接使溶氧量開始下降，至晚上9點水位最低時有短暫的增氧現象(水平位移的影響)，雖然夜間9點之後受到漲潮的影響，監測點湖水溶氧仍然呈現逐漸下降趨勢，但是大部分時間溶氧量仍大於1 mg/L以上。由同一時間資料對發現溶氧增加時鹽度亦明顯下降，高鹽水比較重沉入底層，不論其來源為何均具有較低的溶氧量，隨者水閘門的開合造成水平移動使溶氧呈現劇烈變化(圖十八)。

距離水車15公尺鹽度的波動變化介於9-14PSU之間，水車抽水混合的效應不明顯，漲退潮時段顯現顯著的鹽度落差。深層水溶氧量大部分時間均大於3 mg/L，中午以前溶氧量最高達過飽和持續至下午6時，中午過後因為滲入的客雅溪水使鹽度上升約1PSU，溶氧量下降不顯著，螢光度讀值

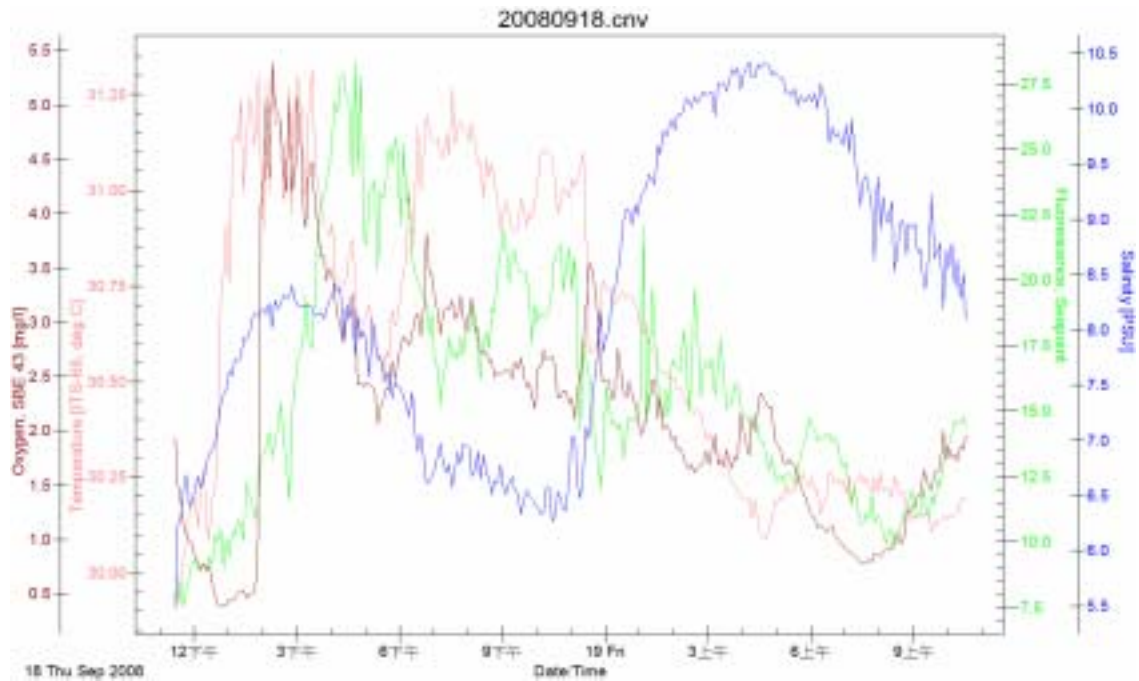
也在傍晚達到最高，顯示這段時間光合作用旺盛的補充水中氧氣。入夜之後氧氣緩慢消耗至凌晨，因為漲潮（增加 3 PSU）而在 2 點左右達到最低值。低溶氧狀態持續至晨間，日出後因光合作用補充開始上升（圖十九）。



圖十九、2008 年 8 月 22 日距離水車 15 公尺，24 小時連續監測湖水 60-70 公分處溶氧度、鹽度、溫度及螢光度（葉綠素 a）之連續變化繪圖。（當日滿潮時間約為 4:00 及 16:00）

表二、2008 年 9 月 18 日 24 小時連續監測湖水 60-70 公分處之溶氧度、鹽度、溫度及螢光度（葉綠素 a）。

2008/09/18 實驗中	溶氧度【mg/L】	鹽度【PSU】	溫度【℃】	螢光度
12:00	4.7	6.5	31.1	9
15:00	4.5	8.2	31.2	13.5
18:00	2.6	7.56.7	30.8	25
21:00	2.5	8	30.8	21
24:00	2.5	10	30.7	15
03:00	1.7	10	30.3	17
06:00	1.2	9	30.2	14.5
09:00	1.2	9	30.2	10.3

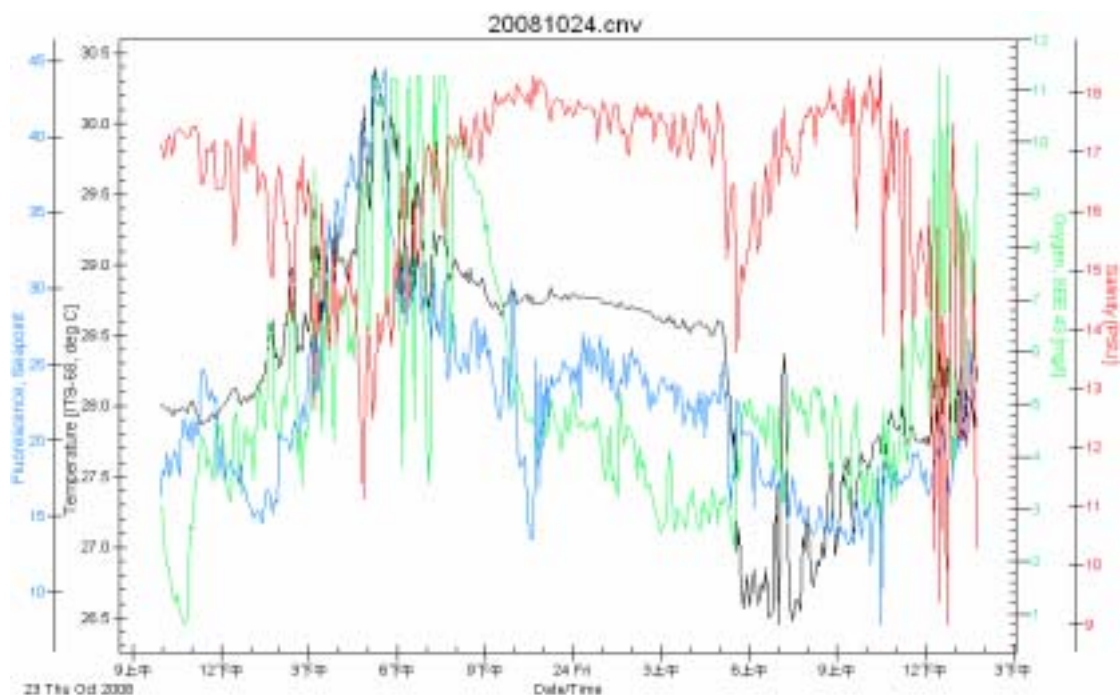


圖二十、2008年9月18日距離水車15公尺，24小時連續監測湖水60-70公分處之溶氧度、鹽度、溫度及螢光度（葉綠素a）之連續變化繪圖。（當日滿潮時間約為1:00及13:00）

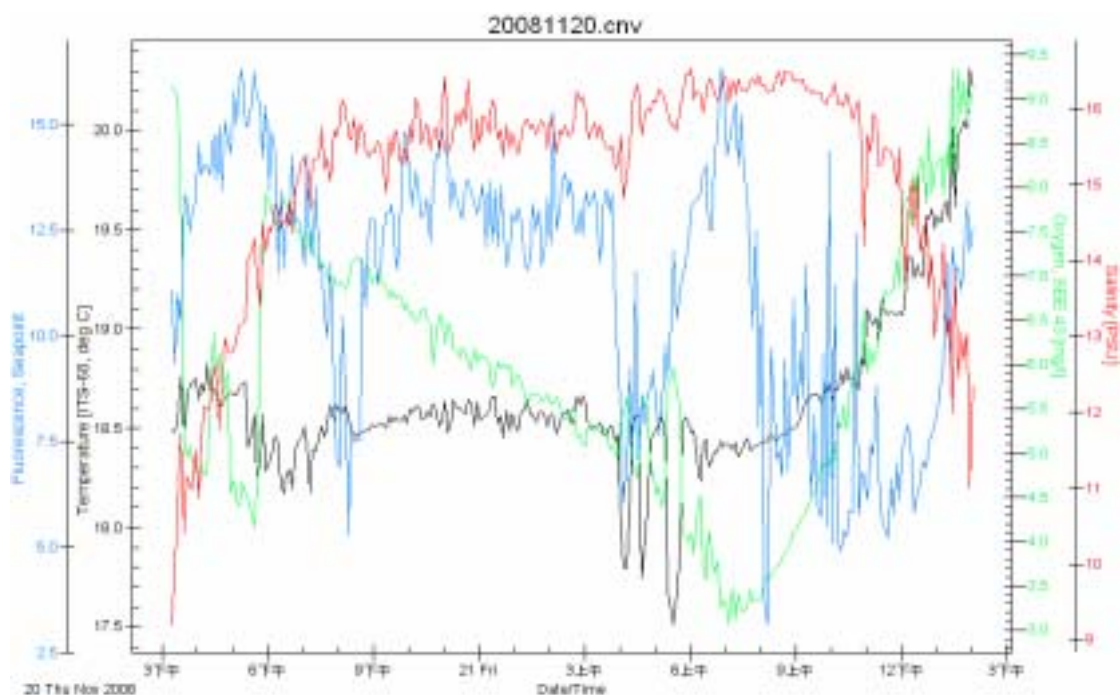
9月18日定期監測距離水車15公尺處底層水特性，鹽度的波動變化介於5.5-10.5PSU之間，水車抽水混合的效應不明顯，漲退潮時段顯現顯著的鹽度落差。深層水溶氧量大部分時間均大於2 mg/L。午前11起漲潮鹽度逐漸上升，溶氧量下降，午後2時起退潮造成水層的水平位移，溶氧量、螢光度讀值及水溫均顯著上升，在此之後溶氧量緩慢下降至3 mg/L左右，入夜之後另一次漲潮再度造成影響，溶氧量再降一點，至清晨7點又再緩慢上升，夜間雖有短暫缺氧但不至於完全為零的狀態（圖二十）。

10月24日定期監測距離水車25公尺處底層水特性，鹽度的波動變化介於9-18 PSU之間，水車抽水混合的效應不明顯，漲退潮時段顯現顯著的鹽度落差。白天最高溫達攝氏30.5度，夜間溫度下降至攝氏26.5度，以水體而言溫度變化相當明顯。深層水溶氧量大部分時間均大於3 mg/L，午前10時起退潮、鹽度逐漸下降，水層的水平位移使溶氧量上升，午後5時起漲潮，溶氧量劇烈震盪，在此之後溶氧量緩慢下降至3 mg/L左右，第二天清晨另一次退潮再度造成影響，溶氧量再上升一點，之後維持低溶氧

震盪狀態至午前，中午 12 時前回復前一天的周期性變動，夜間雖有短暫缺氧但不至於完全為零的狀態（圖二十一）。



圖二十一、2008 年 10 月 24 日距離水車 25 公尺，24 小時連續監測湖水 60-70 公分處之溶氧度、鹽度、溫度及螢光度（葉綠素 a）之連續變化繪圖。（當日滿潮時間為 1:08 及 13:33）



圖二十二、2008 年 11 月 20 日距離水車 25 公尺，24 小時連續監測湖水 60-70 公分處之溶氧度、鹽度、溫度及螢光度（葉綠素 a）之連續變化繪圖。（當日滿潮時間為 10:33 及 23:20）

11月20日定期監測距離水車25公尺處底層水特性，曝氣水車已經撤離，鹽度的波動變化介於11-16 PSU之間，漲退潮時段顯現顯著的鹽度落差。深層水溶氧量大部分時間均大於4.5 mg/L，水質狀態明顯優於夏季。午後3時起漲潮鹽度逐漸上升，水層的水平位移使溶氧量下降，午後6時左右接近高潮水位，溶氧量劇烈震盪後上升之最高(8.5 mg/L)，在此之後溶氧量緩慢下降，第二天清晨另一次漲潮再度造成震盪，最後下降至3 mg/L左右，清晨7時之後溶氧逐漸攀升至最高(9.0mg/L；下午2時)，然後回復前一天的周期性變動。雖然沒有曝氣，但是水中的溶氧相當充足，而且溫度已經降至攝氏20度以下，水體已經完全不具缺氧危機(圖二十二)。

根據CTD 24小時監測所得之結果顯示，多項測值實際上亦受到水閘門在漲潮時滲入水及退潮時排出水之影響，漲潮時水平移動的高鹽水由底層移動至CTD附近，退潮時湖水則反向朝閘門移動排出，退潮時曝氣端形成的高含氧水體適逢流過監測儀器所在位置(圖二十三)，因此多次之觀測均發現退潮時含氧量增加，此現象與以往未設置曝氣設備時相反。



←--→ 潮水行進路線 ★ CTD位置 ◆——◆ 水車行進路線

圖二十三、金城湖漲退潮之潮水行進路線示意圖。

而距離 5、10、15、25 公尺的定點監測後發現，曝氣水車確實具有改善湖水底層溶氧的效果，在日間及夜間深層水均不會呈現極度缺氧狀態。除了深層水溶氧狀態獲得改善之外，湖面曝氣水車經過的帶狀區溶氧量均接近飽和。由 15 公尺的帶狀範圍估算，水車兩側寬度共 30 公尺，水車軌道共長 100 公尺，充氧的帶狀範圍長度 130 公尺，以平均水深 1.5 米估算，夏季提供充氧的庇護區域面積 3900 平方米、5850 公噸的水體，可做為湖區魚類緊急避難之用。

實驗期間也發現，魚類行為產生明顯改變，水車兩側各 30 公尺範圍內聚集大量的魚群；清晨時也發現有大魚靠近抽水站，捕食岸邊群聚的小魚；甚至發現有部分魚群會跟隨著水車進行移動（圖二十四），這是以往不曾見到的景象。今年夏季 8 月至 9 月亦十分炎熱，經常有超過 33°C 的高溫，但卻沒有發生魚群死亡的事件。相較於 2008 年，2003 年及 2007 年金城湖因夏季高溫及底泥的耗氧速率過高，使得湖水長時間處於溶氧不足 1 mg/L 的狀態，底部溶氧更是接近 0 mg/L，不但因而發生大量魚類死亡的事件，還必須耗費許多人力物力以清除湖中的死魚，也間接造成環境的二次污染（圖二十五）。

曝氣實驗自 7 月初持續進行至 10 月底，氣溫降低後方結束曝氣設備之



圖二十四、2008 年夏季聚集許多的魚群。



圖二十五、2007 年夏季大量魚類死亡。

運轉。因金城湖抽水站旁的馬路即為新竹市所規劃之十七公里海岸線自行車道，且為新竹著名的賞鳥地點，因此假日經常湧現大批人潮在此活動，經過的自行車也不下數百台，偶爾也會有團體或義工在此解說生態。訪問過的漁民及民眾表示，湖裡的魚明顯比往年大，活動力也較高，這也吸引了許多釣客前來垂釣。且由於水車會不斷的往返運行，令許多前來遊憩的家長及孩童感到十分有趣，增加了當地景點的知識性。

曝氣水車運轉期間的金城湖沒有大量的鶻鵒及雁鴨停棲，無法得知對這類候鳥實際的干擾程度。夏季以鷺科鳥類為主，小白鷺、夜鷺及紅冠水雞很快習慣水車的運作，小鷺鷥比較明顯受到影響，遠離水車活動，實際上水車運行的路線並非小鷺鷥的主要活動範圍。整體而言，水車的干擾程度遠比涉入水中捕魚或是在岸邊釣魚的人小。

二、水域化學性質檢驗

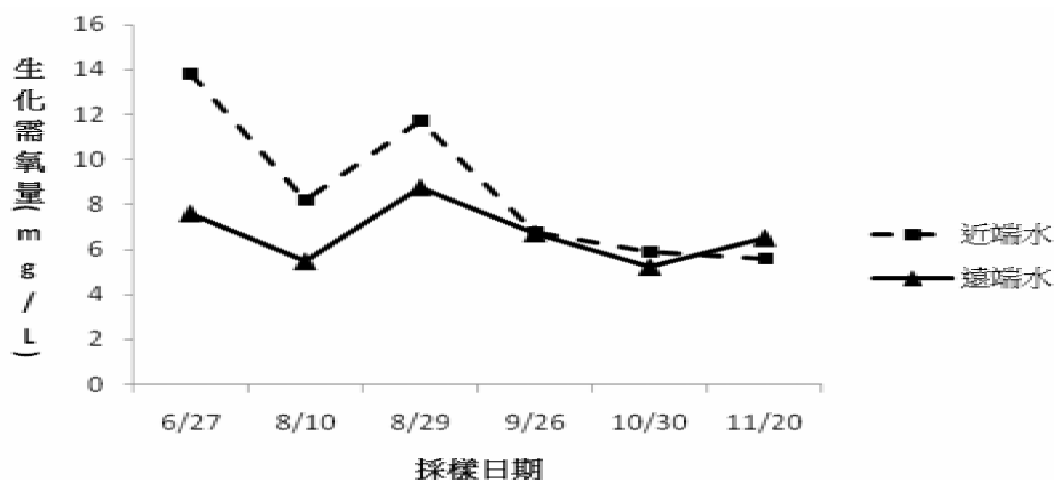
金城湖水域的化學性質檢驗，自 6 月至 11 月於抽水站的近端與遠端兩個樣點，進行每月一次的採集。其中在曝氣設備設立的前、中、後各有一次的採集，共計有 12 個樣本，進行生化需氧量、總磷、總氮及氨氮等項之水質檢測。

生化需氧量 (B.O.D.) 在裝設曝氣設備前 (6/27) 近端為 13.8 mg/L、遠端為 7.6 mg/L。曝氣實驗進行中的四次定期採樣，近端的生化需氧量分別為 8.2 mg/L、11.73 mg/L、6.78 mg/L、5.9 mg/L。遠端的生化需氧量分別為 5.48 mg/L、8.75 mg/L、6.7 mg/L、5.23 mg/L。而曝氣設備停止運轉後 (11/20) 的最後一次採樣之近端的生化需氧量為 5.6 mg/L，遠端為 6.52 mg/L (如圖二十六)。生化需氧量均超過丙類地面水 4 mg/L 之標準。

金城湖近端的採樣點在裝設曝氣設備前之生化需氧量比起遠端高出許多，之後近端的生化需氧量明顯降低，在實驗後期已與遠端入水口的數值非常接近。甚至在水車運轉停止後 (11/20)，近端的生化需氧量仍舊與遠端十分相近。生化需氧量在近端較高的可能原因是受到客雅溪滲

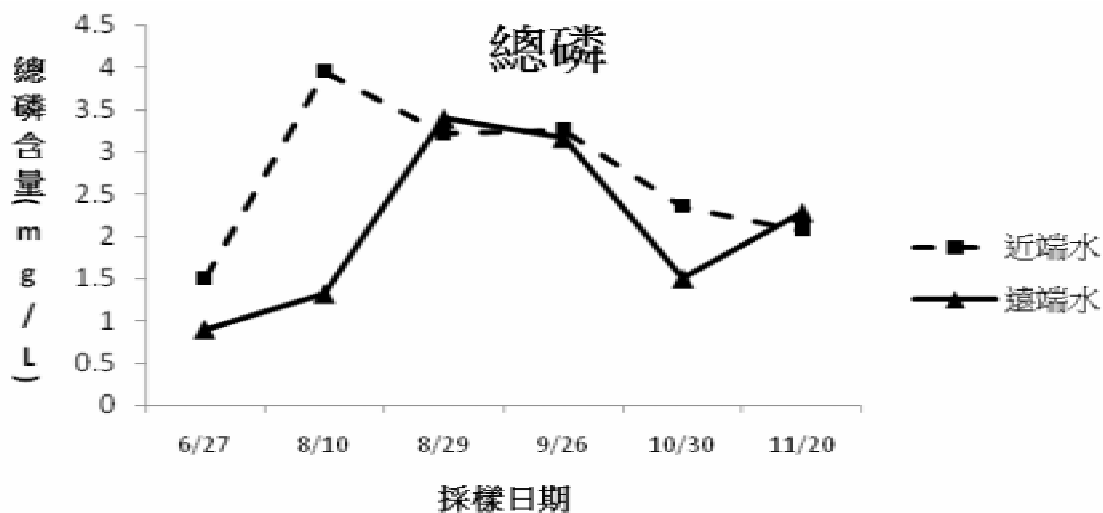
入水之影響，客雅溪滲入水含有較高的有機質使近端 BOD 測值增加，實驗中末期由於颱風的影響，大量雨水稀釋及沖刷的作用，湖水及客雅溪水的有機質含量均明顯降低。

而其中 8 月 10 日的生化需氧量之所以特別低，推測是由於 7 月颱風季時因降雨特別多且抽水站經常運作，使湖水較為乾淨。CTD 的監測數據也可發現，8 月 8~10 日的溶氧量也確實比今年其他日期的溶氧量高出許多。



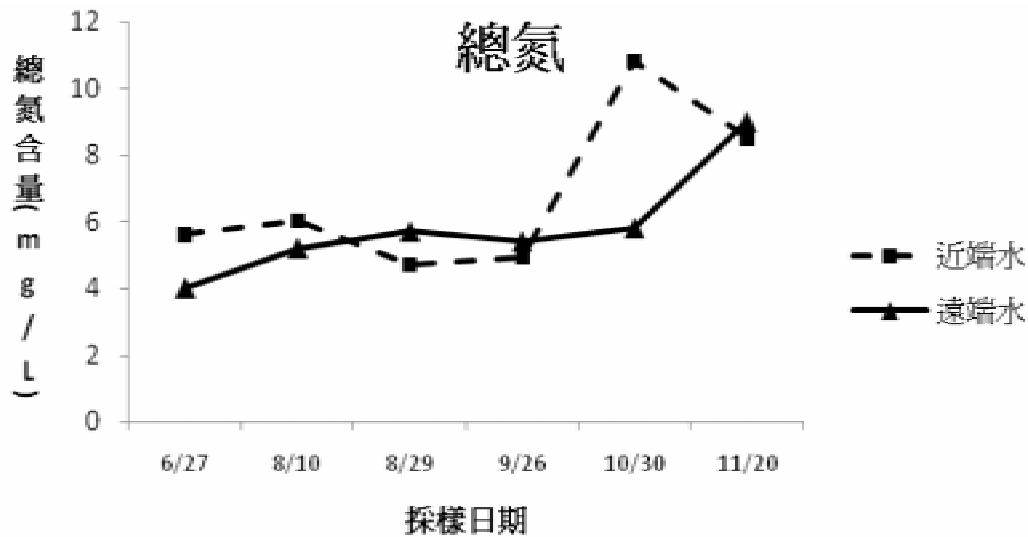
圖二十六、2008 年 6~11 月採集近端與遠端樣點之生化需氧量 (BOD)。

金城湖之總磷含量，在裝設曝氣設備前近端為 1.5 mg/L，遠端為 0.9 mg/L。8 月至 11 月近端的總磷含量，月別測值分別為 3.95 mg/L、3.22 mg/L、3.26 mg/L、2.53 mg/L。遠端的總磷含量月別測值分別為 1.32mg/L、3.39 mg/L、3.16 mg/L、1.5 mg/L。曝氣設備停止運轉後，近端的總磷為 2.07 mg/L，遠端為 2.28 mg/L。如圖二十七所示，近端樣點的總磷含量在 8 月 10 日時有最高值，爾後便呈現逐漸下降的趨勢。而遠端樣點的總磷含量從 6 月 27 日向上攀升，最高值則落在 8 月 29 日，之後雖然 10 月 30 日到 11 月 20 日的含量略為提升，但整體而言仍有降低的趨勢。

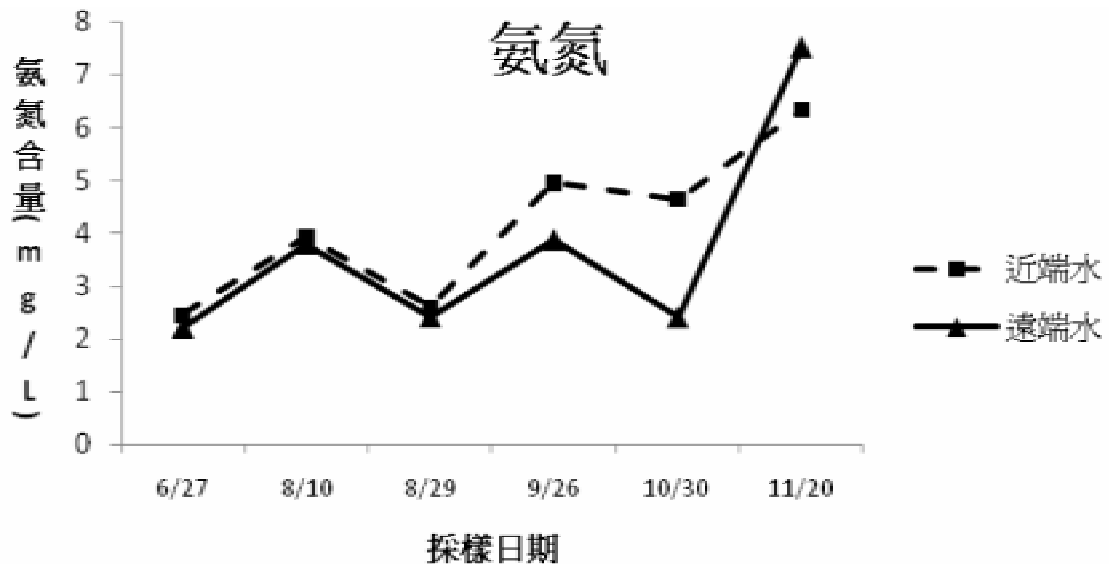


圖二十七、2008年6~11月採集近端與遠端樣點之總磷 (TP) 含量。

金城湖之總氮含量，在裝設曝氣設備前近端為 5.6 mg/L，遠端為 4 mg/L。曝氣設備開始運轉後，兩採樣點之總氮含量皆開始向上攀升：近端之總氮含量 6-11 月別測值依序為 6.0 mg/L、4.7 mg/L、4.9 mg/L、10.8 mg/L、8.5mg/L，遠端則為 5.2 mg/L、5.7 mg/L、5.4 mg/L、5.8 mg/L、9 mg/L (圖二十八)。金城湖的氨氮含量，無論是近端或遠端的採樣點，從 6 月皆有逐漸上升的趨勢。近端之氨氮含量依序為 2.46 mg/L、3.92 mg/L、2.59 mg/L、4.95 mg/L、4.63 mg/L、6.32 mg/L，遠端則為 2.21 mg/L、3.8 mg/L、2.42 mg/L、3.88 mg/L、2.41 mg/L、7.54 mg/L (圖二十九)。9 月之後總氮含量開始攀升。6-至 9 月間總氮含量較 10-11 月低，產生變動的原因與水中氨氮量的攀升有關，而且整體的總氮測值有相當大的部分是屬於氨氮的含量 (將近 2/3)。金城湖入水水源畜牧養殖廢水甚少，池中也沒有投入餌料，因此氨氮的來源主要是以水中魚蝦的排泄物為主。10 月之後氣溫開始下降，藻類等除氮生物族群量下降，因此氨氮等物質開始在湖水中蓄積而使含量逐漸上升。湖中累積的氨氮等營養物質除非有特殊因素，如冬季大量降雨的稀釋帶離湖區，否則在開春之後通常成為藻類快速滋長的因素之一。



圖二十八、2008年6~11月採集近端與遠端樣點之總氮(TN)含量。



圖二十九、2008年6~11月採集近端與遠端樣點之氨氮含量。

三、水域生物群聚調查

本年度6月至11月分別於曝氣設備的近端及遠端採集浮游動物、浮游藻類及底棲無脊椎動物，各項採樣計有12個生物樣本。

(一) 浮游植物

浮游植物分析結果與94年8月至95年7月之間的調查結果相關性甚高，94年8月至95年7月在湖區的3個採樣站共採得94種浮游植物，夏季的物種數較少多樣性低。當時其中一

個測站位於湖區入口，農田排水溝的物種明顯不同於湖區的抽水站及近堤防的測點，物種數最豐富。當年度優勢藻種如藍菌類微囊藻屬 *Microcystis*、平裂藻屬 *Merismopedia*、顫藻屬 *Oscillatoria*，矽藻類舟形藻屬 *Navicula*、菱形藻屬 *Nitzschia*，綠藻類盤星藻屬 *Pediastrum* 及柵藻屬 *Scenedesmus*。本年度未在湖區入口處採樣，且調查記錄主要集中在夏季及秋季，屬於物種豐富度低但是藻類密度高的季節，本年度 6-11 月共記錄 3 綱 27 種浮游性藻類，採得的種類均為各地湖泊及沿岸優養化池塘常見的物種，優勢物種以藍綠細菌 *Eucapsis* sp.，*Merismopedia minima*，*Oscillatoria* spp. 顫藻及矽藻類 *Thalassiosira* sp. 為主（表三）。6-10 月之間每升水的藻類細胞個數高達數十億至數億之間，藻華的現象相當明顯，11 月之後湖水中的細胞密度顯著下降至每升水數百萬以下，湖水透明度明顯較高。螢光光度計偵測顯示抽水站附近水體葉綠素 a 的含量，97 年 6 月 30 日最高達每升水 100mg，其餘月份除了 11 月之外均有甚高的含量，每升水平均含 25-40mg 的葉綠素 a。曝氣對浮游植物的影響並不明顯，遠端及近端沒有明顯的差異或是特定的趨勢。

94 年 8 月至 95 年 7 月間湖區藻類細胞密度在 11 月至次年 3 月相對較低，4 月份藻類細胞密度快速升高，5、6、7 月因為雨水稀釋效應細胞密度降低。雖然當年度湖區細胞密度的月別變化甚大，除了冬季低溫期每升水細胞數低於 100 萬之外，其餘大部分時間均在千萬以上，4 月份最高達 70 億個細胞，湖水出現嚴重的藻華現象。螢光光度計偵測顯示抽水站附近水體葉綠素 a 的含量，以 95 年 3 月及 4 月相對較低之外，其餘月份均有甚高的含量，每升水平均 40-50mg。

表三、金城湖浮游藻類，每 100 公升湖水中所含的個體數，個體數單位*10⁴。

	6/27 近	6/27 遠	8/8 近	8/8 遠	8/27 近	8/27 遠	9/26 近	9/26 遠	10/30 近	10/30 遠	11/20 近	11/20 遠
Cyanophyta 藍藻綱												
<i>Chroococcus</i> sp.			12100	1800								
<i>Eucapsis</i> sp.	132000	135000	18200	17500								
<i>Gomphosphaeria lacustris</i>	31000											
<i>Merismopedia minima</i>									24000	36000		
<i>Oscillatoria</i> spp. 顫藻			4.8	350	12.5	14.8						
<i>Synechococcus</i> sp.	1370	1250										
Bacillariophyta 矽藻綱												
<i>Amphiprora alata</i>				0.07								
<i>Amphora</i> spp. 雙眉藻	0.12	0.13					0.52				0.02	0.03
<i>Bacillaria paradoxa</i> 奇異矽藻	780	3080			6.8		16.5	2.4				25
<i>Biddulphia</i> sp.		0.04										
<i>Cyclotella meneghiniana</i> 小環藻					16500	18750	2500	12500	1260	1350	0.46	0.12
<i>Cyclotella</i> sp.	520											
<i>Cymbella</i> sp.		0.03										
<i>Gomphonema</i> sp. 異極藻											0.25	1
<i>Navicula</i> spp. 舟形藻												0.04
<i>Nitzschia palea</i> 谷皮菱形藻		190										
<i>Nitzschia sigma</i> 彎菱形藻	0.16	0.25		0.05	0.12		0.24	0.16				0.02
<i>Pinnularia</i> sp.											0.02	0.03

<i>Pleurosigma pelagicum</i>	0.04	0.08										
<i>Scenedesmus armatus</i>	1.46								2320	2480	8	
<i>Scenedesmus bicaudatus</i>											40	4
<i>Thalassiosira</i> sp.	750	600	13500	12100	1100	1250						
Chlorophyta 綠藻綱												
<i>Chlorella</i> sp.							15400	15000	62500	78000	15	25
<i>Coelastrum microporum</i>											0.32	
<i>Monoraphidium circinale</i>			1260	11050		0.54			2400	3200		
<i>Monoraphidium dybowskii</i>											125	5
<i>Pediastrum duplex</i>						0.4		0.32		0.16		
種類數	10	10	5	7	5	5	5	5	5	6	9	10
細胞總數	166421.78	140120.53	45064.8	42800.12	17619.42	20015.74	17917.26	27502.88	92480	121030.16	198.07	60.24
Diversity index	0.604	0.194	1.081	1.245	0.243	0.240	0.412	0.690	0.861	0.870	0.973	1.212

(二) 浮游動物

97年6-11月的浮游動物調查在湖區共記錄11種，主要物種與94年至95年的調查相同，數量最豐富的是輪蟲 (*Brachionus plicatilis*)，其次是橈足類的無節幼生及橈足幼生，浮游動物密度在6月份最高 (每100升水 7.3×10^5 ，



圖三十、以浮游動物網濃縮取得水中浮游動物。

1.42×10^6 隻個體)，其次是9月份 (每100升水 1.14×10^5 ， 6.20×10^5 隻個體)，7-8月間颱風的影響使浮游動物密度相對較低，每100升水10萬以下，11月份之後因為輪蟲在湖中消失，呈現相對低密度的狀態 (個體數為每100升水1萬以下)。曝氣對浮游動物的影響並不明顯，遠端及近端沒有明顯的差異或是特定的趨勢 (表四)。

相對於今年度的調查，金城湖94年8月~95年7月共發現28類群的浮游動物，小型的甲殼動物種類最多，單細胞的纖毛蟲及一般為底棲的線蟲在冬、春季出現在水層之中，顯示當時水中有機顆粒含量甚高。各月份不同測點之間種類數變化不明顯，但是組成相有相當大的差別，不同月份有不同種類形成優勢物種。整體數量最豐富的是輪蟲 (*Brachionus plicatilis*)，其次是橈足類的無節幼生及橈足幼生。浮游動物總密度以6月及7月較高，6月份池尾及抽水站附近水域每100升水含40萬個以上的小型浮游動物，其他月份雖然比較低，其個體數量也有數萬個。適應優養化水域的輪蟲數量極多形成優勢，整個浮游動物相多樣性甚低，而 *Brachionus* 主要以有機碎屑為食，對

藻類去除的效應甚小，其他能夠濾食大量藻類的枝角類及橈足類又受到魚類捕食的抑制而呈現較低的密度，因此湖中藻類的密度始終呈現極高狀態。

表四、金城湖浮游動物，每 100 公升湖水中所含的個體數，個體數單位*10⁴。

	6/27 近	6/27 遠	8/8 近	8/8 遠	8/27 近	8/27 遠	9/26 近	9/26 遠	10/30 近	10/30 遠	11/20 近	11/20 遠
Protozoa 原生生物界												
Noticula	0.1	0.09					0.05					
Rotifera 輪蟲動物門												
<i>Asplanchna</i> sp.									0.05	0.12		
<i>Brachionus plicatilis</i>	67.5	74.8	0.79	2.27	6.15	5.2	60	10.6	4.16	0.1		
蛭態輪蟲	0.41	3.52	0.18	0.04	0.02	0.05	0.75	0.01	0.96		0.008	0.02
Arthropoda 節肢動物門												
<i>Diaphanosoma</i> sp. 枝角類							0.01					
<i>Halocyclops</i> sp. (成體)	0.05	0.1										
<i>Napulis</i> 無節幼生	3.78	59.4	0.04	0.02	0.04	0.6	1.0	0.6	0.64	0.09	0.02	0.02
多毛類幼生		0.04					0.03		0.03			
橈足幼生 (劍水溞)	1.1	3.63			0.04	0.01	0.15	0.04	0.2	0.008	0.008	0.008
橈足幼生 (哲水溞)					0.02						0.008	0.02
藤壺幼生									0.008			
種類數	6	7	3	3	5	4	7	4	7	4	4	4
個體總數	72.9	141.6	1.0	2.3	6.3	5.9	61.9	11.4	6.0	0.32	0.04	0.06
Diversity index	0.331	0.899	0.628	0.141	0.114	0.395	0.177	0.295	0.958	1.182	1.332	1.352

(三) 底棲動物

自 97 年 6 月至 11 月間，抽水站及池尾共採獲 11 種底棲生物，粗紋塔蝟 (*Thiara riqueti*)、*Capitella* sp. 小頭蟲及環節動物白腺纓鰓蟲 (*Laonome albicingillum*) 是三大優勢物種。底棲生物的多樣性仍然相當低，優勢種佔大多數使群聚的均質度低。高溫期的優勢物種如小頭蟲及白腺纓鰓蟲及較低溫適應的鈎蝦都是屬於污染忍受度較高的物種。湖水處於高溫期間底棲生物族群數量較低，10 月水溫下降之後底棲生物族群數量逐漸上升尤其以軟體動物最為明顯 (表五)，底棲生物的密度經換算之後，每平方公尺個體數達數千以上，11 月 20 日的近端採樣為 4598 個/m²。

因為曝氣設施緊臨抽水站測點，深水層的溶氧量較高，溫度較高的月份底棲生物的種類及密度均明顯高於遠端的測點，8 月 8 日例外是因為採樣點太向外偏移所致。另一方面曝氣端在高溫期有許多底食性魚類在此聚集，魚類捕食的壓力也相對高於遠端。

回顧 94 年 8 月至 95 年 7 月份的採集資料，抽水站及池尾僅採獲 9 種底棲動物，種類較少。池尾底棲動物總個體數在 9 至 10 月間達到高峰，然後數量逐漸降低至 3 至 4 月間最少，5



圖三十一、利用抓泥斗及鋼篩採集底棲無脊椎動物。

月之後數量再度回升。抽水站測點底棲動物數量變動在 9 月份達到最高然後逐漸下降，數量變動與溫度及水底溶氧有關，在溶氧較足的秋冬季族群數量上升，當夏季溶氧不足時族群量下降。

湖區的底棲生物對冬季的雁鴨而言是重要的食物來源，粗紋塔蝨、鉤蝦及其他的環節動物依附在底土表面生存，移動能力相對較弱，雁鴨類利用寬扁的口器鏟起底土過濾其中的食物。

表五、金城湖底棲生物。抓泥斗的採樣面積為 14*16cm²，共取三次，故每次取樣面積為 672cm²。

	6/27 近	6/27 遠	8/8 近	8/8 遠	8/27 近	8/27 遠	9/26 近	9/26 遠	10/30 近	10/30 遠	11/20 近	11/20 遠
Bivalvia 雙殼綱												
<i>Glaucanome chinensis</i> 中華曇蛤		2										
Gastropoda 腹足綱												
<i>Thiara riqueti</i> 粗紋塔蝸		5		12	9			8	13	126	145	186
Insecta 昆蟲綱												
雙翅目 (fly) 蛹									1			
Chironomidae 搖蚊科 (幼蟲)							1					
Malacostraca 軟甲綱												
<i>Palaemon orientis</i> 東方長臂蝦								1	1			
Amphipoda 端足目 (鈎蝦)					3		3				118	3
Isopoda, Janiridae 等足目					2							
Polychaeta 多毛綱												
<i>Laonome albicingillum</i> 白腺纓鰓蟲	2		1		37		11	3	12	11	13	
<i>Perinereis aiubuhitensis</i> 雙齒圍沙蠶					2						15	
<i>Capitella</i> sp. 小頭蟲	42	2			34	2	34		3	4	16	
Spionidae 海稚蟲科	4			1	1		2				2	
種類數	3	3	1	2	7	1	5	3	5	3	6	2
個體總數	48	9	1	13	88	2	51	12	30	141	309	189
平均每平方公尺個體總數	714.29	133.93	14.88	193.45	1309.52	29.76	758.93	178.57	446.43	2098.21	4598.21	2812.5
Diversity index	0.456	0.995	0	0.271	1.303	0.000	0.972	0.824	1.186	0.401	1.189	0.082

四、金城湖現地文蛤飼養除污試驗

(一) 文蛤存活率評估

在進入文蛤飼養階段前，先將 10 只鋪有金城湖底泥的有洞塑膠籃置於金城湖中央島人為干擾較少，距岸邊約 50cm、水深約 50 cm 處靜置一週。研究初期曾前往彰化王功測量文蛤的水體基本環境，發現兩地條件相似，初步推測文蛤應可存活於金城湖之棲地環境（表六）。爾後於 2008 年 7 月 24 日至文蛤的盛產地—彰化王功—直接向養殖業者購買文蛤，以確保文蛤的活力。當天返回後即將文蛤置於金城湖的樣籃內，每只樣籃放置 20 個文蛤；又為避免人為擾動過大，影響文蛤之生存，故每星期僅進行一次觀察。

2008 年 7 月 31 日進行第一次文蛤存活率檢查，存活總個體數為 52 個，平均每籃存活數為 5.78 個、存活率為 28.89%（表七）。其中編號 10 的樣籃內只剩 8 個文蛤的空殼，且籃子呈現傾斜狀。初步推測是因為週末颱風的擾動，湖水水位升高，導致用以標記樣籃位置的浮標將樣籃的一端拉起，使文蛤及底土流失，故不將此樣籃列入存活率之估算。



圖三十二、文蛤存活率之查看。

表六、王功文蛤養殖池及金城湖水之物理環境之差異。

2008/07/24	王功文蛤養殖池	金城湖
pH 值	7.47	8.37
溫度 (°C)	34.9°C	33.1°C
溶氧 (DO)	3.26 mg/L	3.4 mg/L
鹽度 (con)	9 ‰	10.92 ‰

表七、2008年7月24日至8月8日文蛤在金城湖試養殖之存活率。

勘查日期	樣籃編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
7/31	存活個體數	5	5	11	4	5	5	9	4	4	0	28.89%
	存活率(%)	25	25	55	20	25	25	45	20	20	0	
8/8	存活個體數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
	存活率(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

2008年8月8日進行第二週的存活率檢查，發現所有的文蛤皆已死亡，本實驗也因此而被迫中止。而在第一次勘查時的文蛤殘骸發現，有些只剩空殼，有些仍有殘存的外套膜及內臟囊。且即使當時還存活的個體，其活力也較低，斧足收回殼內速度相當緩慢。由於樣籃放置的位置已遠離曝氣設備所能影響到的範圍，推測文蛤的存活率除了因遭受鳥類或其他掠食者捕食而降低外，推測底土屬於有機物含量較高的淤泥，與文蛤的沙質棲地相去較遠，導致文蛤無法存活。

(二) 文蛤飼養對底泥有機碳含量之影響

根據前一階段的存活率評估實驗，發現文蛤無法在金城湖存活超過兩週。而有機碳分析實驗的採樣間隔為一個月一次，此實驗因而無法進行。本項試驗因為文蛤存活時間太短而使得實驗無法進行，未來底土環境若能先做些許改善，或許可以再次考慮引進文蛤，以進行其對底泥有機碳含量之影響試驗。

(三) 文蛤濾食效率對湖水懸浮顆粒去除效率之評估

針對文蛤進行存活率試驗中，推測文蛤無法適應金城湖的底泥。故在文蛤濾食懸浮顆粒實驗時，桶底改為不放置底泥，測試是否能增加文蛤之存活率。

8月8日 12:00 開始第一階段之實驗，由表面水中懸浮顆粒密度得知，桶中的浮藻在前 6 個小時往上層移動相當明顯，此時 CTD 的螢光度讀值相對比較低；之後浮藻逐漸向下沉降或是自水層中移除，表層水的浮藻密度緩慢減少（圖三十五）。至第 40 個小時後，表層水中的懸浮顆粒已由 10^6 下降至幾乎為零。懸浮顆粒下降過程中，在第 24 個小時左右，表面水中的懸浮顆粒有些微的上升（第二天的午前至午後時段），在此之後均穩定的下降至最低（圖三十六），水層也幾近透明、可看見桶底。螢光度計的讀值也呈現相同的趨勢，讀值增加的時間大約比表面懸浮顆粒增加的時間延後 3 個小時，顯示浮藻仍有上下浮動的能力。48 小時之後，水中懸浮顆粒減少，但是桶壁附上的附著性藻體增加。在研究過程中，為了避免缺氧導致文蛤活動力降低，因此使用電動泵浦主動注入空氣至水中，桶中的溶氧均維持在 5.5mg/L 以上，白天光合作用的補充會使溶氧上升至 9~11 mg/L。

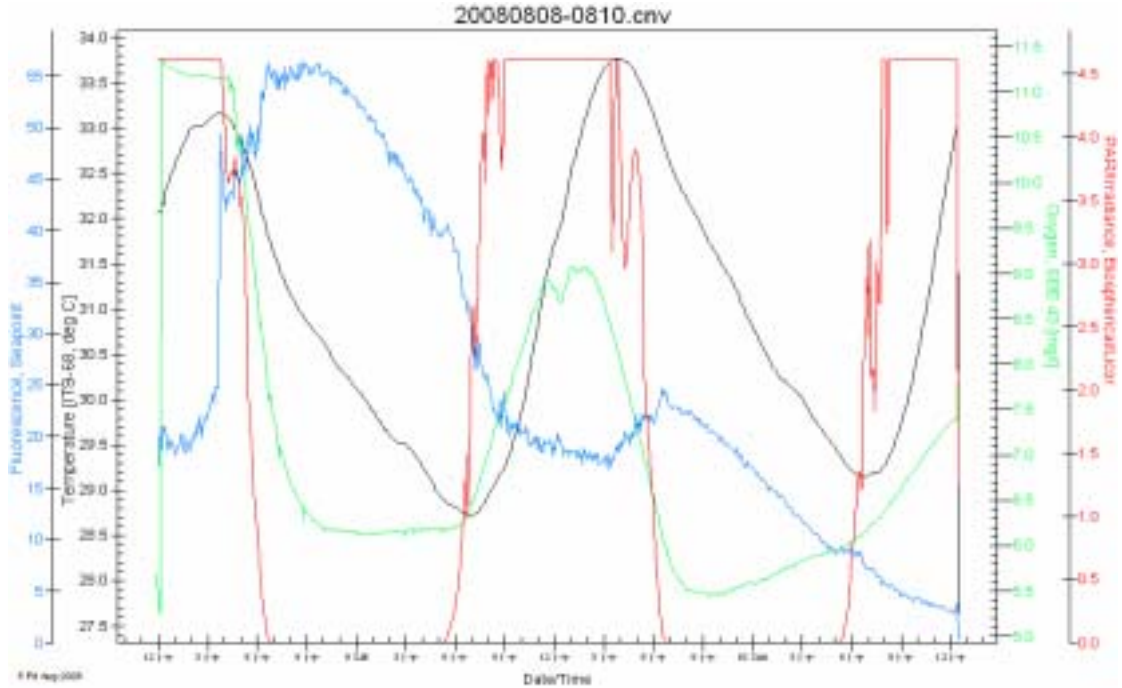
第一個階段實驗結束後，文蛤死亡率為 0~5% 之間（表八）。第一階段三個桶中均放置文蛤進行測試，三桶的懸浮顆粒計數結果均相當一致，均有日夜輕微波動的現象。第二階段之試驗則將第一桶的文蛤移出，當成對照組進行觀察。



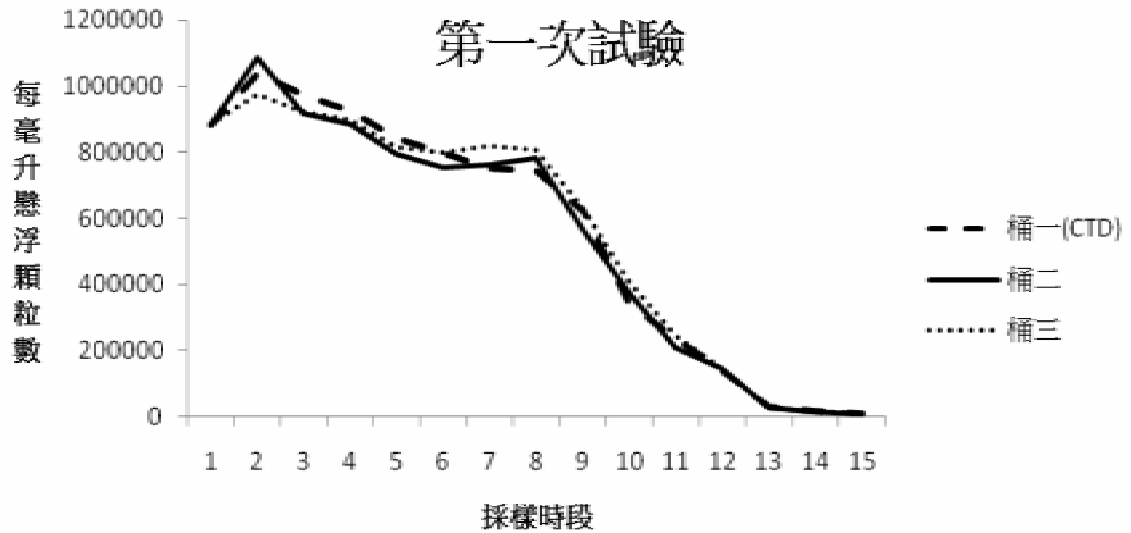
圖三十三、進行文蛤濾食效率的實驗裝設。



圖三十四、放置 CTD 進行文蛤濾食效率實驗之監測。



圖三十五、2008年8月8日至10日48小時連續監測桶一內湖水之溶氧度、光照度、溫度及螢光度（葉綠素 a）之連續變化繪圖。

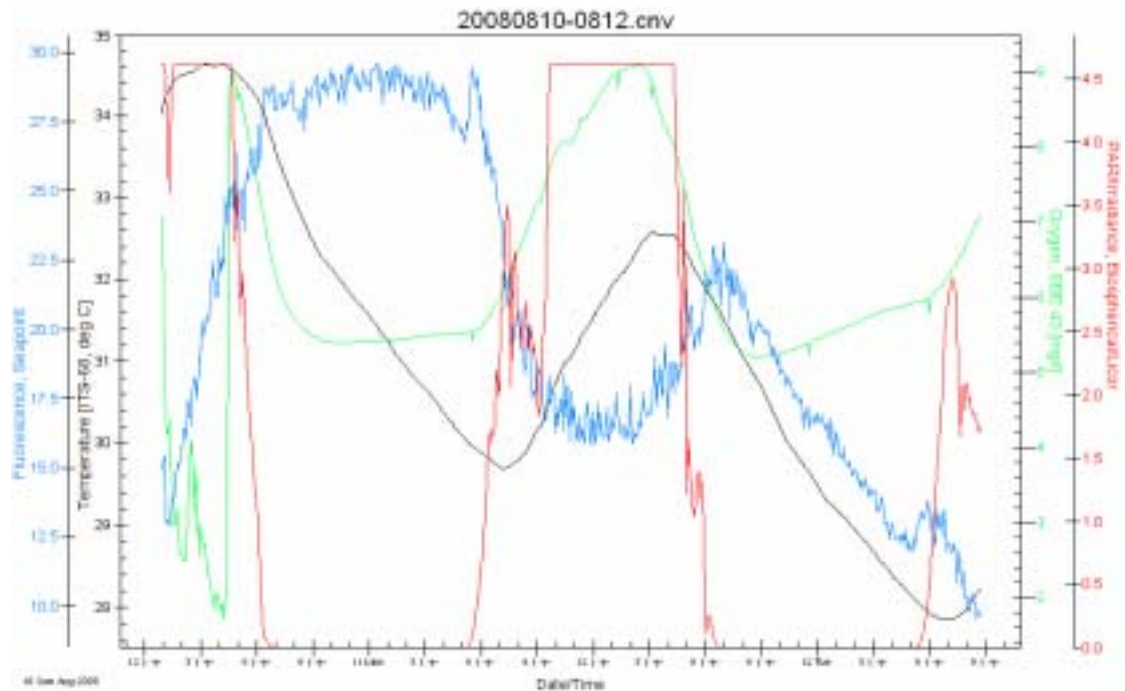


圖三十六、2008年8月8日12:00至10日12:00文蛤濾食懸浮顆粒之圖示。橫座標之標示為實驗起始後，每3小時間隔之採樣次數；24:00~6:00間只採樣2次，故總次數少兩次。第1次為實驗開始的時間，第2次為實驗3小時後之採樣，其中第6-7及12-13次間之間隔為6小時。

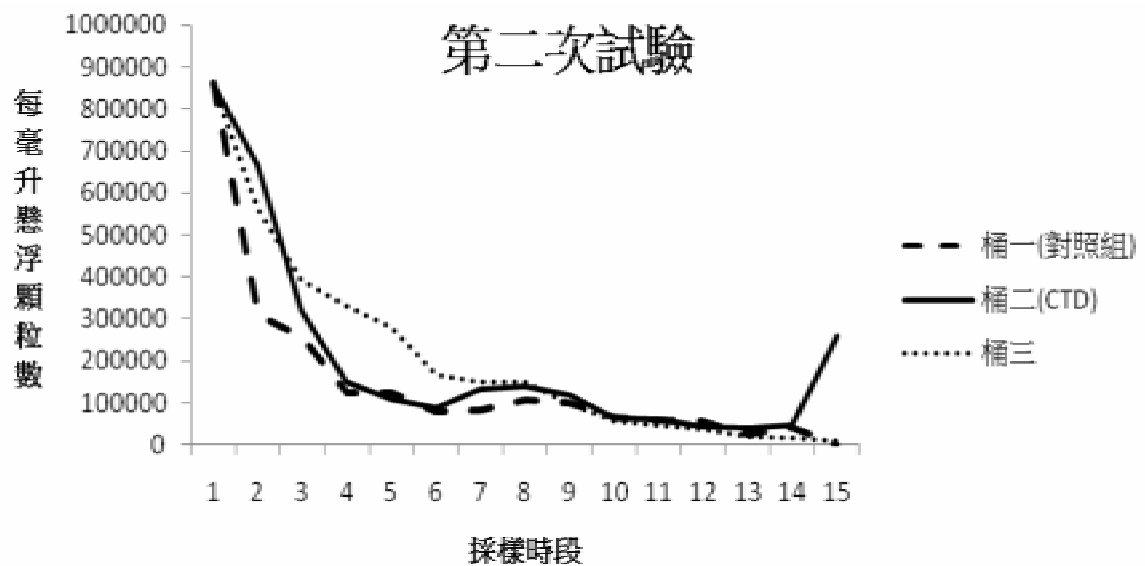
表八、2008年8月8日至10日桶一到桶三及備一、二之文蛤死亡數及死亡率。

2008/8/8~10	桶一 (CTD)	桶二	桶三	備一	備二
文蛤死亡數	3/60	3/60	2/60	1/60	3/60
文蛤死亡率%	5%	5%	3%	2%	5%

第二階段實驗自8月10日13:00開始，三個水桶清洗之後重新注入新的湖水，CTD改放置第二桶內，第一桶內的文蛤全數移出作為對照實驗，其餘試驗條件同前，均以空氣泵浦注入新鮮空氣至桶底，之後每三小時一次取樣表水、計算其懸浮顆粒數。實驗開始後的12個小時，表面水的懸浮顆粒下降至原來的1/9，此後至48小時內表面水中仍有懸浮顆粒存在，水體透明度不若第一階段實驗結果。桶中的溶氧除了剛開始的階段、空氣注入尚未足夠之前較低之外，其餘時段均維持在5.0 mg/L以上，白天光合作用的補充會使溶氧上升至9 mg/L (圖三十七)。螢光度的讀值與上一階段的實驗相似，存在日夜的波動，實驗結束時讀值降至最低。第二階段實驗三桶內懸浮顆粒減少的趨勢相同，未置入文蛤的對照組也有相同的下降趨勢，實驗開始後第6~15小時對照組的懸浮顆粒下降較緩是因為湖水意外補充所致 (圖三十八)。第二個階段實驗結束後，文蛤死亡率為8-22%之間 (表九)。



圖三十七、2008年8月10日至12日48小時連續監測桶一內湖水之溶氧
度、光照度、溫度及螢光度（葉綠素a）之連續變化繪圖。

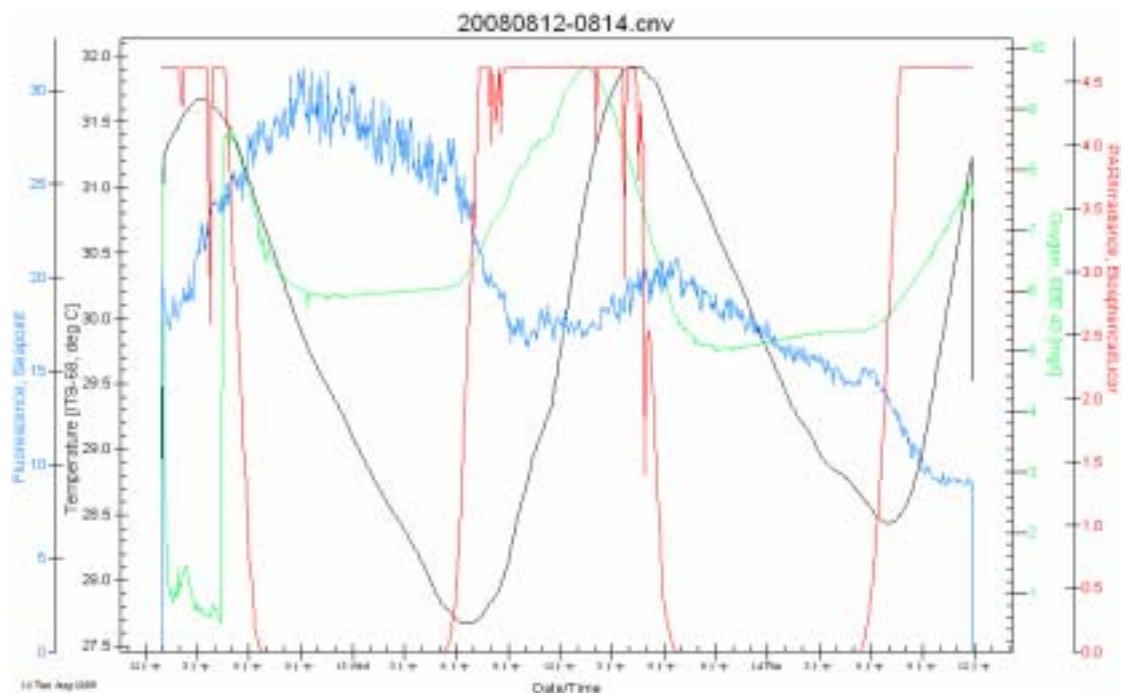


圖三十八、2008年8月10日12:00至12日12:00文蛤濾食懸浮顆粒之圖
示。橫座標之標示為實驗起始後，每3小時間隔之採樣次數；24:00~6:00
間只採樣2次，故總次數少兩次。第1次為實驗開始的時間，第2次
為實驗3小時後之採樣，其中第6-7及12-13次間之間隔為6小時。

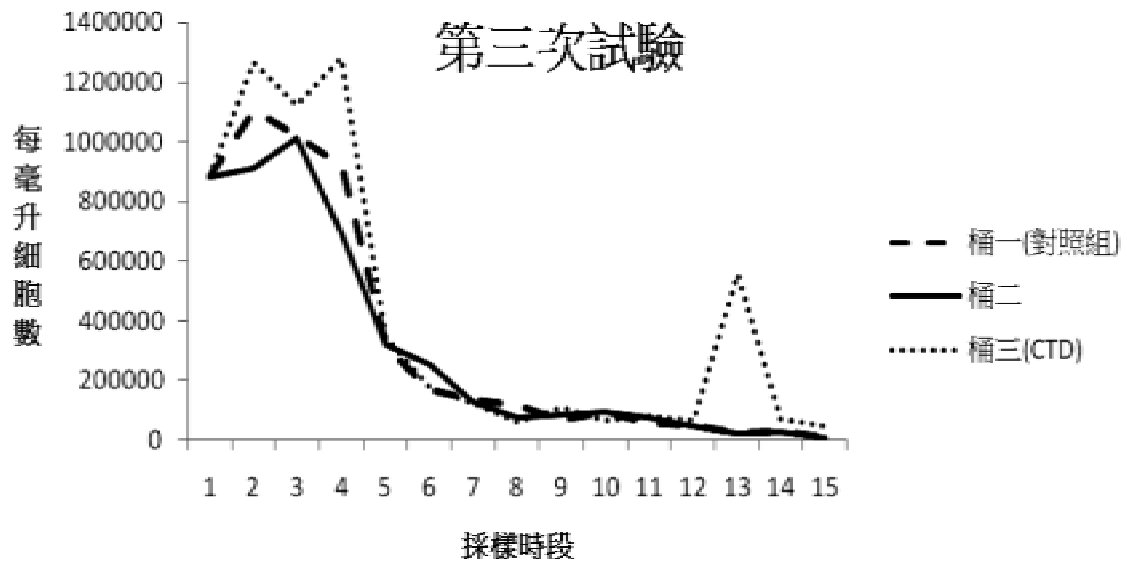
表九、2008年8月10日至12日桶一到桶三及備一、二之文蛤死亡數及死亡率。

2008/8/10~12	桶一(對照組)	桶二(CTD)	桶三	備一	備二
文蛤死亡數	無飼養	7/60	13/60	8/60	5/60
文蛤死亡率%	無飼養	12%	22%	13%	8%

第三階段則自8月12日13:00開始，水桶清洗後重新注入新的湖水後，CTD改放於第三桶內，第一桶仍為對照實驗，其餘試驗條件、採樣方法及採樣頻率如前所述。實驗開始後的12個小時，表面水的懸浮顆粒下降至原來的1/6，此後至48小時內表面水中仍有懸浮顆粒存在，水體透明度不若第一階段實驗結果。桶中的溶氧除了剛開始的階段、空氣注入尚未足夠之前較低之外，其餘時段均維持在5.0 mg/L以上，白天光合作用的補充會使溶氧上升至9 mg/L(圖三十九)。螢光度的讀值與上一階段的實驗相似，存在日夜的波動，實驗結束時讀值降至最低。第三階段實驗三桶內懸浮顆粒減少的趨勢相同，未置入文蛤的對照組也有相同的下降趨勢(圖四十)。



圖三十九、2008年8月12日至14日48小時連續監測桶一內湖水之溶氧量、光照度、溫度及螢光度(葉綠素a)之連續變化繪圖。



圖四十、2008年8月12日12:00至14日12:00文蛤濾食懸浮顆粒之圖示。橫座標之標示為實驗起始後，每3小時間隔之採樣次數；24:00~6:00間只採樣2次，故總次數少兩次。第1次為實驗開始的時間，第2次為實驗3小時後之採樣，其中第6-7及12-13次間之間隔為6小時。

由上述三階段實驗得知，封閉的水桶內未置入文蛤的情況下，桶內水層中懸浮顆粒在48小時之內會下降至起始狀態1/6以上。三次重複的實驗中，僅第一次實驗將文蛤初次置入桶中的時候具有比較明顯的濾食清除作用，水中懸浮顆粒降至最低，懸浮顆粒接近於零，桶壁附著的藻類甚少。其後兩階段的文蛤濾食的作用並不明顯影響懸浮顆粒的含量。第二及第三次實驗中懸浮的藻類顆粒在實驗過程中除了一部分被文蛤清除之外，桶壁附著的藻類隨著實驗時間延長而增加，在每一階段結束的時候桶壁的顏色由橘紅轉為淡綠，除了表面呈現的顏色變化之外，桶壁也因藻類的附著而呈現滑溜的觸感。由此推測文蛤初次置入桶中其活力最強，濾食水層中的懸浮顆粒速度最快，之後文蛤的活力下降逐漸死亡，桶內實驗的文蛤在金城湖裡生存6天，與先前做第一個星期存活率試驗時比較可知，文蛤放置在空桶中，可以存活較久的時間，平均死亡率為25%（表十），也就是有75%的文蛤在桶內存活超過一星期。由第三次實驗得知，文蛤在空桶的存活率，較先前用底泥鋪至樣籃箱來的高，飼養時間皆大約一個星期。在此

之前，湖中底土自由放養一周的平均存活率平均只有 28.89%。兩者之間文蛤存活率數值差距明顯，可以作為進一步試驗之參考。

表十、2008 年 8 月 12 日至 14 日桶一到桶三及備一、二之文蛤死亡數及死亡率。

2008/8/12~14	桶一(對照組)	桶二	桶三(CTD)	備一	備二
文蛤死亡數	無飼養	16/60	10/60	16/60	18/60
文蛤死亡率%	無飼養	27%	17%	27%	30%

五、草本植物金城湖生長試驗

根據金城湖水域的現況，將甘藻及雲林莞草種植的地點選擇在中央島岸邊的淺水域、抽水站右側草叢旁的淺水域及抽水站右側的非永久性溼地（如圖四十一）。第一個樣點因較遠離出海口又靠近淡水注入口，鹽度較低，但仍會受到漲退潮的影響而有水位高低之變化，且因人為干擾較少，期望能提升水草的存活率。第二、三的樣點位於水門旁，鹽度較高；其中



圖四十一、甘藻及雲林莞草之金城湖現地生長試驗 3 個樣點位置圖，每個樣點各種植 20 棵。

第二樣點雖因潮汐影響而有水位變化，但所種的植物幾乎不會露出水面；而第三樣點則是僅有湖面水位上升時才會淹沒之溼地，但水位下降時仍會形成暫時性的水窪。各種草本植物的生長情況分別記錄如下：



圖四十二、香山溼地-風情海岸所採集的甘藻。

(1) 甘藻種植試驗

甘藻(*Zosteria japonica* Aschers. & Graebner)屬於甘藻科(Zosteraceae)，習性為多年生草本，台灣的甘藻目前均生長在沿海潮間帶海水下之砂土或泥灘地。葉線形，長10~40 cm，寬2~5 mm，葉鞘長約2 cm。花為肉穗花序，開花期為每年的10~12月。除了台灣之外尚分佈於日本、香港、中國大陸等地，台灣地區分佈於新竹、台中、嘉義、台南，耐鹽性甚強。本次實驗之甘藻是由香山溼地的風情海岸所採集而來(圖四十二)，以小範圍挖掘的方法採集，避免把所有甘藻的根挖斷。在採集後當天即移植至上述三個樣點，並種植在會整株被水淹沒處(圖四十三)。但隔週觀察時，甘藻之地下莖皆未萌發新芽，且原有葉片業已乾枯(圖四十四)，初步證實金城湖的環境可能不適合甘藻生長，主要原因是鹽度太低與堤外灘地有高鹽海水浸泡的環境相差太大。



圖四十三、種植在金城湖的甘藻及種植前的測量記錄



圖四十四、金城湖甘藻試驗一週後生長情形。



圖四十五、香山溼地-風情海岸的雲林莞草。



圖四十六、種植在金城湖的雲林莞草。



圖四十七、冒出新芽的雲林莞草。

(2) 雲林莞草生長試驗

雲林莞草 (*Bolboschoenus planiculmis* (F.Schmidt) T. Koyama) 屬於莎草科 (Cyperaceae) 的多年生草本，主要生長於海堤外潮間帶地區，具有深棕色地下根莖，宿根性結節膨大。莖三角形單生，高約 20~100 公分。葉片線形長約 15~50 公分，葉甚窄，寬 2~6 公厘。花期 5 至 6 月，花黃白色。成熟的瘦果黑褐色近似胡麻。7-8 月為地面生長的盛期，之後地面莖葉老化枯萎，冬季僅存宿根而無地面莖葉，翌年春初再萌芽長葉。雲林莞草除台灣之外也分佈於日本、中國大陸沿海潮間帶泥灘，在近高灘區形成大面積帶狀或團狀草澤。台灣目前分佈於西海岸及東北部河口灘地。

8 月中及 9 月初各進行一次種植試驗，本實驗之雲林莞草採集自香山溼地的風情海岸 (圖四十五)。湖區中央島種植時由淺至深種植 (圖四十

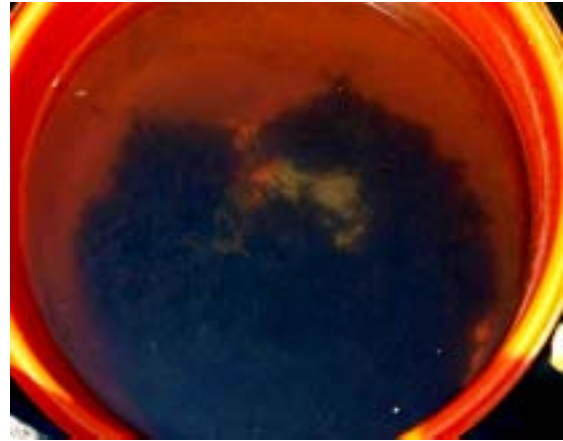
六)，在第二樣點種的雲林莞草幾乎不會露出水面，第三樣點則僅有根部上方淹沒在水面下。經第一週後觀察發現，三個樣點的雲林莞草葉片上半部 2/3 都已枯黃，但是植株根部皆有長出新芽（圖四十七）。雖然後來因颱風的擾動，造成所有水草的死亡，另一方面其生長季也已經結束。由此實驗可知，雲林莞草應可在金城湖裡存活，但如何能使其成為能自然繁衍的族群則有待後續之研究。（3） 龍鬚菜生長試驗

龍鬚菜(*Gracilaria* spp.)又名江蘼，屬於紅藻亞綱(Florideophyceae)龍鬚菜目(Gigartinales)的龍鬚菜科(Gracilariaceae)，龍鬚菜廣泛分佈於熱帶及溫帶海域，全世界有 100 餘種，台灣地區記錄 17 種，雖然龍鬚菜屬於紅藻但是顏色變異相當大，棗紅色、深紅色、褐色、墨綠色或是黑色藻體均屬其變異範圍。近年有關整合性養殖研究發現龍鬚菜對魚池中氨氮及重金屬的吸附能力極佳，換句話說具有極佳的除汙能力，養殖業者利用龍鬚菜淨水之後再將水導入養殖池，循環之廢水再利用龍鬚菜淨化。

根據台西地區水產試驗單位之研究，龍鬚菜生長環境大致歸納如下：通常養殖業者將養殖池選擇在容易引進海水和淡水的河道附近，潮差較大和不易受到強風吹襲的地區。池底以稍含砂質之硬土者為佳。龍鬚菜為暖海性藻類，一般在 20-25°C 時生長最佳，低於 18°C 時生長會受阻。夏季陽光較強，水溫驟然升高及強光會傷害藻體，池水深度必須維持 50-60 公分左右，冬天則降至 30-40 公分，讓藻體可接受更多光線。野生的龍鬚菜通常繁生於半淡鹹水之水域，其最適生長鹽度範圍為 15- 25PSU 之間。雨季時，池水鹽度降至 4 PSU 則造成藻體死亡，必須利用漲潮時引進海水以提高池水的鹽度。乾旱季節，池水鹽度會提高，必需適時補充淡水調整鹽度。

本實驗之龍鬚菜採買自雲林-口湖專業養殖區，購買時經養殖業者建議，了解龍鬚菜因須在水溫較低的環境下生長，否則容易造成其死亡，故栽培水深至少要在 50 cm 以下。因此，原先浮箱養殖試驗便改以 200 公升的水桶試養，並裝入金城湖湖水至九分滿。

將龍鬚菜置入桶中之前，以史賽式板測量其水質之透明度只有31cm。實驗之第二天發現水已可清澈見底（約60cm）（圖四十八）。且重複將同一批龍鬚菜的桶內水再次置換為現地湖水數次，龍鬚菜都能迅速的使水質澄清。顯示龍鬚菜能迅速去除水中的營養鹽（如：氨氮及磷酸鹽），而使浮游藻類因養份不足而死亡，降低水中的混濁度。



圖四十八、龍鬚菜放入2天後，試養桶所呈現之清澈狀況。

龍鬚菜試養期間，桶內並未裝設打氣設備，而是任其自然之生長。14天實驗期發現龍鬚菜的藻體並未新增，後期因水溫過高，造成龍鬚菜自頂端逐漸死亡。龍鬚菜在桶內生長試驗兩星期結束之後仍然留在現場，一個月之後桶內仍有少量的藻體存活。根據此實驗可知，龍鬚菜可去除水中的懸浮物質以降低湖水優養化的現象。若能用於金城湖之水質改善，應可有相當不錯的表現，可當作後續研究之重要參考物種。

（4）流蘇藻生長試驗

流蘇藻（*Ruppia maritima* L.）屬於流蘇菜科（RUPPIACEAE），流蘇藻屬於生長在半鹹水之柔韌草本植物。莖的多分枝極多。葉互或對生，具



圖四十九、台南-南清宮旁水池發現流蘇藻。



圖五十、放置於金城湖200公升桶內的流蘇藻。

一明顯中肋，基部具鞘，葉片呈絲狀，長度可達 10 公分，葉片的先端逐漸狹窄，葉片邊緣全緣但是頂端附近細鋸齒緣；葉鞘膜質，具半圓形葉耳。主要生長在中南部海邊半鹹水魚塢、瀉湖或是溼地。

進行此試驗之前，因未發現金城湖中有其他現生的沉水性藻類，因此決定仍使用流蘇藻進行此次的生長試驗。本試驗所使用之流蘇藻，採自於台南四草沿海一帶南清宮附近的水池中（圖四十九）。因水下莖葉比水面部分還要發達，其會與單細胞藻類競爭營養鹽，期望能藉此降低金城湖之藻華現象。而本次採集所發現的流蘇藻，其池塘之水質也確實十分清澈。在採集流蘇藻的同時也發現另一種半浮水性的高雄芡藻（*Najas browniana* Rendle）在當地魚塢大量孳生，根據漁民表示高雄芡藻會佈滿池面影響魚類游泳覓食，造成養殖危害。因此在尋找流蘇藻的種源時必須避開有芡藻的魚塢，以免夾帶造成移入。

四草魚塢觀察流蘇藻之現地生活形態，發現其植株皆未浮出水面，故亦取消原先的浮箱養殖計畫，而改將採得之流蘇藻置於 200 公升的水桶試養（圖五十），並裝入金城湖湖水至九分滿。放入流蘇藻當天測量水質之透明度為 31 cm，第二天進行觀察時，因水桶傾斜而滲入金城湖湖水，故並未記錄其透明度。而第三天在進行觀測時，雖與龍鬚菜桶相較之下，流蘇藻桶的懸浮顆粒較多，但桶內的湖水仍已可清澈見底（約 60 cm）。但置換數次湖水後，流蘇藻雖然仍具清除能力，但似乎有逐漸降低的趨勢。實驗過程中流蘇藻雖仍存活時間超過 14 天，但卻無法像在現地一樣沉入水中，生長狀況似乎也不佳。推測其原因，發現在台南現地測量時，魚塢水池的鹽度為 1.47‰，而本實驗流蘇藻桶的鹽度則為 3.4‰，第二次置換湖水時鹽度更是達到 4.7‰。推測是因其無法適應金城湖之鹹水環境，而影響其清除懸浮顆粒的能力。建議未來若要引進該物種做為淨化金城湖水質之物種，可考慮將栽植地點設在鹽度較低、離水門較遠的地方。

伍、結論及建議

1. 根據錨定儀器連續監測結果，距離曝氣水車 5、10、15 公尺的定點，連續 24 小時監測之後發現確實有改善湖水底層溶氧的效果，在日間及夜間深層水均不會呈現極度缺氧狀態。除了深層水溶氧狀態獲得改善之外，湖面曝氣水車經過的帶狀區溶氧量均接近飽和。而實驗期間也發現，魚類行為產生明顯改變，曝氣水車兩側各 30 公尺範圍內聚集大量的魚群；清晨時也發現有大魚靠近抽水站，捕食岸邊群聚的小魚；甚至發現有部份魚群會跟隨著水車進行移動。因為深層水溶氧增加，曝氣設備附近底棲動物的種類及數量也比曝氣設備遠端豐富。曝氣設備的負面視覺衝擊甚小，經過的遊客時常駐足觀看，表示其具有相當的美感。根據現場觀察，水車對當地棲息的鳥類影響不明顯，因為魚群聚集引來的釣魚民眾及好奇的民眾才是影響鳥類的主因。
2. 建議水車每年的 6 月起開始裝置運轉，運轉持續至 9 月底止，在湖水處高溫期增加其溶氧量，讓魚類有溶氧庇護所避免死亡。以現行的電價，運轉所需電費約每月 3600 元。
3. 文蛤養殖試驗發現其短期存活率甚低，雖然許多研究均證實其具有去除水中懸浮顆粒之能力，本次實驗卻未顯現明確的效率。經請教養殖業者認為其原因可能是文蛤在炎熱的季節搬動至不同飼養環境時無法適應的結果。如果從幼貝開始飼養進行粗放式養殖試驗也許能觀測實際影響，養殖業者也表示，以金城湖鹽度及溫度劇烈變動的程度加上湖底缺氧，要讓文蛤存活相當困難。
4. 由於湖區鹽度較低，適應高鹽的甘藻在湖區無法生長。流蘇藻試種發現，植株雖然沒有死亡，但是短期內無法形成固著的植株，考慮以種子播種另行試驗，另一方面湖區透明度太低，流蘇藻在深水區可能無法存活。雲林莞草在湖區岸邊具有良好的生長能力，種植必須掌握其春天發

芽季節，在發芽之前以宿根栽植比較恰當，否則種植時間太晚無法形成宿根度冬。龍鬚菜是相當具有潛力的除污物種，以金城湖而言冬季鹽度較適當但水溫可能太低，成長較為遲緩，這個季節可以進行放養試驗，在夏季來臨之前將藻體清除，以免夏季水溫太高鹽度變化太大會造成死亡而將營養物質再度釋入湖中。

陸、參考文獻

- 梁象秋、方紀祖、楊和荃，1998。水生生物學。水產出版社，689 頁。
- 小久保清治，1965。浮游硅藻類。恆星社厚生閣，330 頁。
- 山岸高旺、秋山優，1991-1998。淡水藻類寫真集 1-21 卷。內田老鶴圃。
- 山路勇，1974。日本海洋プラソクトソ圖鑑。保育社，369 頁。
- 川合禎次，1985。日本產水生昆蟲圖鑑。東海大學出版社，409 頁。
- 王瑋龍、陳伯仲，2000。台灣淡水矽藻名錄。水產出版社，197 頁。
- 水野壽彥，1998。日本淡水プラソクトソ圖鑑。保育社，353 頁。
- 任先秋，2006。中國動物誌：無脊椎動物，V41，甲殼動物亞門，端足目，鉤蝦亞目（一），北京科學出版社，588 頁。
- 李金華，2005。台灣產淡水臂尾輪蟲首科之分類研究。國立新竹教育大學人力資源教育處教師在職進修應用科學系教學碩士論文，117 頁。
- 沈瑞嘉（ed.），1979。中國動物誌，節肢動物門，甲殼綱，淡水橈足類。科學出版社，450 頁。
- 吳寶玲、吳廣泉、邱建文、陸華，1997。中國動物誌，環節動物門，多毛綱：業鬚蟲目。科學出版社，328 頁。
- 溫芝蘭，2005。台灣淡水產水輪蟲首科之分類研究。國立新竹教育大學人力資源教育處教師在職進修應用科學系教學碩士論文，112 頁。
- 涂元賢，2002。台灣產淡水枝角類之分類研究。國立新竹師範教育學院數理研究所碩士論文，155 頁。

- 梁象秋、方紀祖、楊和荃，1998。水生生物學。水產出版社，689 頁。
- 森若美代子、齊家，1996。台灣地區水庫浮游藻類圖鑑。行政院環境保護署環境檢驗所，155 頁。
- 陳美卿，2003。台灣中部主要溪流河口灘地矽藻群聚之研究。國立中興大學生命科學系碩士論文，187 頁。
- 楊德新、孫瑞平，1986。中國近海多毛環節動物。農業出版社，352 頁。
- 楊樹森，2006。新竹市金城湖生態系現況調查與未來棲地改善之可行性研究。新竹市政府。
- 鄭重、張松踪、李松、方金釧、賴瑞卿、張淑蓮、李少菁、許振祖，1969。中國海洋浮游橈足類（上）。上海科學技術出版社，210 頁。
- 鄭重、李松、李少菁、陳柏云，1980。中國海洋浮游橈足類（中）。上海科學技術出版社，162 頁。
- Barber, H.G., and E.Y. Haworth, 1981. A guide to the morphology of the diatom frustule. 112 pp., Freshwater biological association scientific publication, no.44.
- Barnard, J.L. and G.S. Karaman, 1991. The families and genera of marine Gammaridena Amphipoda (Except marine Gammaroids) Part I. Records of the Australian Museum, Supplement 13 :1-417.
- Einsle, U., 1993. Crustaceae, Copepoda, Calanoida and Cyclopoida. 206pp. Gustav Fishcher Verlag.
- Gopal, B., W.J. Junk and J.A. Davis (eds.) , 2000. Biodiversity in wetlands assessment, function and conservation Vol. 1. 353pp.

Backhuys Publishers, Leiden.

Lampert, W. and U. Sommer, 1997. Limnoecology: The ecology of lakes and streams. 382pp. Oxford University press, New York.

Matsuura, K (ed.) , 2001. Marine fauna of the shallow waters around Hainan island, south china sea.126pp. National science Museum, Tokyo.

Round, F.E., R.M. Crawford and D.G. Mann, 1990. The diatoms:biology and morphology, the genera. 747pp. Cambridge University press.

Withkoowski, A., H. L. Bertalot and D. Metzeltin, 2000. Diatom flora of marine coasts I. 925pp. A.G.R. Gantner Verlag K.G.

柒、審查意見答覆表

期初工作計畫審查會議 (97.6.3.)

編號	意見及修改內容	意見回覆
曾委員 晴賢	<ol style="list-style-type: none"> 24 小時連續監測之繪圖各線條之顏色建請區隔明顯以利判讀。是否有突發的事件造成數值的劇變？以圖三為例，溶氧在下午 7-8 時由 3 驟增至 11，是否為潮汐影響？類此建請於 X 軸加註。 水車的設置建請考量水深是否足夠。深度不足，水車的吸力可能把底泥也吸上來。 環保署在淡水河、新店溪等均有臨時應變增氧的相關實例，可供本案參考。 	<ol style="list-style-type: none"> 已將漲潮時間附註於圖說。 深度足夠。 遵照辦理。
劉委員 靜榆	<ol style="list-style-type: none"> 草本植物生長試驗預定種植於哪些位置？金城湖的鹽度不若潮間帶，植物的選擇需以近淡水之河口域的植物為主，甘藻恐無法適應。 經費預算表請附於工作計畫書。 	<ol style="list-style-type: none"> 中央島岸邊的淺水域、抽水站右側草叢旁的淺水域及抽水站右側的非永久性溼地。 遵照辦理。
洪委員 明仕	<ol style="list-style-type: none"> 建議預期一個長遠的策略，比如金城湖疏濬方式的建議。水利單位每隔幾年需要疏濬，如何利用疏濬的機會，附帶改善此區低溶氧問題。 請注意現地實驗設備的安全性。 	<ol style="list-style-type: none"> 需要更多資料整合，另案辦理。 感謝指導。

期末成果報告審查會議 (97.12.19.)

編號	意見及修改內容	意見回覆
曾委員 晴賢	<p>金城湖過去幾年都偶有大量魚群因溶氧過低暴斃的事件，市府必須緊急處理撈除魚屍，為防死魚事件發生，以曝氣增加水中溶氧的方式處理也無可厚非，當然魚愈養愈多也不好。環保署在淡水河等都有類似增加溶氧提升河川自淨能力的操作。</p>	<p>感謝指教。</p>
劉委員 靜榆	<p>金城湖的鹽度受潮汐降雨等影響其變動的範圍？文蛤若不適合可嘗試蜆，在千分之 15 鹽度的環境適應良好。</p>	<p>未來可進行類似之放養。</p>
洪委員 明仕	<ol style="list-style-type: none"> 1. 溶氧既是死魚事件發生與否的關鍵，怎樣的氣候時機下會發生問題及有效預防處理的方法對市府而言是很好的執行參考。 2. 此曝氣設備的移動動線可否調整為圓形？低溶氧時若可自行啟動可能比人工操作啟動更佳。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝指教。 2. 無法調整成圓形。自動操作設備過於昂貴，因為必須配合精密的偵測設備隨時在湖水中偵測特定參數(如溶氧)，當溶氧不足時自行啟動水車，溶氧的感應器加控制介面需百萬以上，且維護費更為昂貴，不符成本效益。

<p>龐委員 元勳 (書面意見)</p>	<p>1.此一研究，頗有創意，但面對高度變動的特殊人造環境，如何融入自然過程和機制，原極具挑戰性。</p> <p>2.圖 2 至 5、圖 16 至 24，黃色線條不清楚。</p> <p>3.溶氧檢測中(上述各圖)，受到諸多因素影響。連續偵測數據劇烈變動，究竟是儀器或外力影響，並未有明確說明。變動之分析中，所推測之影響因素，如漲退潮、客雅溪、溫度抑制混合、風吹拂等，均無法自數據變動中得到明確結論。根據 N、P 濃度資料，金城湖營養鹽類濃度過高，至為明顯。所以，溶氧變動關鍵仍是優養化。應該進行連續多日偵測，包括溶氧、藻數、水溫、鹽度，觀察日夜週期變化，同時配合分析海水漲退週期變化，以清楚掌握其變動規律與影響因素，再行規劃管理方式。</p> <p>4.人工曝氣，雖必然有幫助(但僅應視為救急做法)，但此研究未能明確顯示其幫助程度，因金城湖湖面寬廣，區域間差異較大，或許曝氣設備不足，整體效用因此有限。且水流循環扮演關鍵影響角色之一，影響曝氣成效。尤其，若關鍵的過營養化問題不解決，曝氣幫助應該有限(況且出現大量人工曝氣，儼然像個魚池，恐也不符該湖規劃原意吧!)。類似金城湖半封閉的小型湖泊，周邊環境開發使用(又多為農地)，且為客雅溪水與近河口受污染海水流入，無機營養鹽的累積很難避免。或許，本應該將該湖視為人工溼地來經營。準此，DO 之劇烈變動，未嘗屬於異常，為何非得有大量魚群生長呢?魚群中間，有多少為當地原生種呢?</p>	<p>1.感謝指教。</p> <p>2.已修正為顯眼顏色。</p> <p>3.溶氧監測之儀器為置入水下 70 公分定時取樣，溶氧之變動因素本來就不少。儀器在封閉桶內之測量值相對穩定，桶外讀值變化較大是反應自然界的現象。本監測主要想了解曝氣之後，夜間是否在底層會長時間處於溶氧為零的狀態。鈞座所言甚是，在未來可以讓我們朝這個方向研究思考。另溶氧之監測儀器必須定時維護保養，無法長期連續使用，必須取回清潔。</p> <p>4.鈞座所言立意甚佳，若這個湖泊在荒郊野外人煙罕至，絕對應該朝此方向經營，然而金城湖目前是 17 公里海岸線的重要景點，缺氧死魚造成的後續問題必須花費大量人力清理，這是本計畫主要解決的目標。除了吳郭魚及線鱧之外均為原生種，湖中有大量的鯔科魚類及虱目魚。</p>
------------------------------	--	---

<p>龐委員 元勳(續) (書面意見)</p>	<p>5.以文蛤進行除去有機質、或懸浮微粒的構想，其實開始就能判斷不當，金城湖條件對文蛤生存本來就不適合。事實上，當地的其他生物如底棲蟹類族群龐大，原即有類似功能了。此外，有機物的沉積，亦為正常，不必特別構想去去除。</p> <p>6.以大型水生植物去除營養鹽的構想，較具可行性，但仍須尋找較合適種類，並以當地種類為首選。此外，應配合金城湖空間結構，以及水流時空 pattern，進行植群配置規劃(可搭配數種)。理想的規劃，應該考量湖中(或濕地中)生物棲地條件的多樣化營造，可包括供懸浮顆粒與有機質沉積的大比例的灘地營造、考慮水流的局部循環曝氣池、去有機質與營養鹽濕地池(細菌)、以及近岸局部暴雨淨流控制沉降池、以及環繞湖岸足夠寬度的植被林帶(可緩衝過濾農地暴雨逕流，也可增加湖的隱蔽性，創造多樣化棲地條件)等。</p> <p>7.鹽度影響，必須特別研究，除了海水漲退潮規律外，周邊土壤鹽化程度，也應納入規劃考量。</p> <p>8.整體而言，如何配合當地海岸環境屬性與生態特性，應為規劃基礎。但是否先定位清楚，金城湖應該是什麼樣的生態環境。</p>	<p>5.這裡不是堤防外面的溼地有大量的蟹類，湖裡的底棲蟹類有限。有機質大量累積在人工湖泊，勢必拖垮湖水的溶氧，就如大台北地區淡水河的底泥，會讓淡水河無法活化。</p> <p>6.非常好的建議，我們接著會試驗牡蠣殼的浮動濾床。</p> <p>7.目前已經是半封閉的系統，淡水輸入大於海水，無此問題。</p> <p>8.所言甚是，應由管理者、社區的農民及當地環保團體共同來決定其形貌。</p>
---------------------------------	---	---