

國立交通大學土木工程研究所
Institute of Civil Engineering National Chiao Tung University

碩士論文

以圓蚌進行埤塘水色改善之研究
The research of the *Anodonta woodiana* to improve the
water color of pond

指導教授:郭一羽博士

研究生:周信昱

中華民國九十八年六月

以圓蚌進行埤塘水色改善之研究

研究生：周信昱 指導教授：郭一羽 博士

國立交通大學土木工程研究所

摘要

為求農村環境之綠美化，研究埤塘等類別之靜止水體，如何改善水色與淨化水質，提高水體的視覺景觀滿意程度。參考前人的研究結果，得知提高透明度，可提升視覺滿意程度。去除水中藍綠藻以消除民眾所不偏好的黃綠水色，可提升景觀美質偏好。本實驗將以生物處理方式，改善前述之視覺景觀因子。在復育原生物種、經濟性、及物種食性特性等考量下，篩選出可用來育珠的圓蚌(*Anodonta woodiana*)進行實驗。觀察圓蚌室內實驗所濾食的藻類，與其所改善之水色間的關係。以及評估室外實驗中養殖圓蚌所間接去除營養鹽之效果。更進一步研究不同水深下，懸掛法養殖與經底泥覆蓋養殖對於水質、水色淨化效果比較。

室外實驗方式，是以竹架將圓蚌吊養在0.3m、0.6m及佈養於底泥中，以進行現地養殖，並觀其成長率。希望藉圓蚌的重量成長率，了解移除水體中營養鹽的合適養殖方式。室內實驗為實驗組(有圓蚌)與對照組(無圓蚌)之水體的濁度、透明度、水色、以及水中藻類濃度的差異程度之比較。說明圓蚌改善水色、透明度、水中藻類濃度，以提升水體視覺滿意程度與景觀美質偏好。為能更真實地模擬現地環境，在室內分別將圓蚌置入有、無底泥的環境中，觀察圓蚌改善水色及提升透明度的效果，是否會因底泥而有所影響。

最後，由實驗數據，建議圓蚌養殖於0.3M水深，較可濾食藍綠藻以提高景觀美質偏好。圓蚌濾食藻類，改變水中藻類的組成結構與數量，因此改變水體顏色與水色濃度。由水色濃度的降低，提高透明度增加視覺滿意

程度。水體顏色變化以圓蚌濾食銅綠微囊藻為例，將深濃的黃綠水色，轉變為淡淡的微黃色，提升景觀美質偏好。

關鍵字:圓蚌，銅綠微囊藻，景觀美質偏好，視覺滿意程度



Abstract

The object of this research is to beautify the green rural environment, we research the types of static pool to improve the color and purification of water, and raise the satisfaction of the visual landscape. We understand that enhancing transparency will raise visual satisfaction through referring to previous research findings. We eliminate the water color of yellow and green that people don't like it, and raise the landscape aesthetic preference by removing the Cyanophytes in the water. Biological treatment of this experiment will improve the visual landscape of the foregoing factors. According to the native species recovery, economic benefits, and edible benefits and feeding type of species, we select *Anodonta woodiana* used to be the cultured pearls to experiment. Then, we observe the correlation between water color improvement, and the algae in the indoor experiment which is filtered and ate. As well as, we also estimate the indirect effect of the removal of nutrients with field experiment *Anodonta woodiana*. They were farmed in the different depths of the water and sediments. The correlation between the number of algae and the effect of the color improving and nutrient reducing was analyzed.

Anodonta woodiana were suspended to the depth of 0.3m and 0.6m with the frames made by the bamboo, and put on the sediments in the field. Through On-the-spot breeding, we observe the growth rate. The suitable farming type to remove nutrient would be suggested that based on the investigation of their growth. We compare the experimental group (with *Anodonta woodiana*) with control group (with none *Anodonta woodiana*) through the differences in the degree of turbidity, transparency, water color, and the concentration of algae in the water. We explain that *Anodonta woodiana* will improve the color, transparency, and the concentration of algae in the water, and then raise the water satisfaction with the visual beauty of landscape preference. In order to more realistically simulate the environment, *Anodonta woodiana* were placed with and without sediments in separate. Then we observe whether the water color will improve and promote the effect of the transparency or not by

sediment.

In the end, we suggest that *Anodonta woodiana* were bred in water depth 0.3M according to the experimental data. Because of *Anodonta woodiana* will filter and eat Cyanophytes to promote the landscape aesthetic preference. Through *Anodonta woodiana* filter and eat the algae to change the structure and combination of the algae, and then the water color and color concentration will be changed. We promote the transparency to increase the degree of visual satisfaction by reducing the color concentration. As an example of the changing of water color through taking *Anodonta woodiana* filter and eats *Microcystis aeruginosa* , the dark green color will change to light yellowish. Then, we enhance the quality of landscape preference.



目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	III
目錄.....	V
圖目錄.....	VIII
表目錄.....	X
第一章 前言.....	1
1-1 研究動機與目的.....	1
1-2 研究內容.....	1
1-3 實驗限制.....	3
第二章 文獻回顧.....	4
2-1 水體影響人為感受原因之探討.....	4
2-2 水色與藻類的關係.....	4
2-3 國內、外景觀用水規定.....	5
2-4 國內、外以生物處理法去除藻類之案例.....	6
2-5 實驗生物介紹.....	8
2-6 微囊藻毒與食用貝類的生物累積蓄毒概敘.....	9
2-7 濁度定義解說.....	9
第三章 研究區域背景概述與研究方法.....	10
3-1 研究區域背景概述.....	10
3-2 實驗設計概述.....	11
3-2-1 實驗方法.....	11

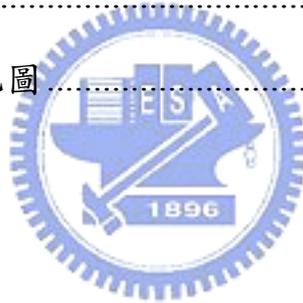
3-2-2 室外實驗設計	12
3-2-3 室內實驗設計	12
3-3 實驗因子檢測方式	14
第四章 室內實驗結果與討論	15
4-1 水族箱中濁度變化	15
4-2 有底泥時水族箱中濁度變化	16
4-3 水族箱中水色變化	17
4-4 室內實驗結果討論	22
第五章 藻類與水色變化實驗	23
5-1 圓蚌降低水中藻類濃度實驗說明	23
5-2 圓蚌濾除水中藻類總量說明	23
5-3 圓蚌濾除水中各門藻類說明	24
5-4 水族箱中藻類變化與水色變化的相關說明	26
5-5 水族箱中水體透明度變化實驗	31
5-6 實驗結果討論	31
第六章 室外實驗結果與討論	33
6-1 現地養殖圓蚌成長率	33
6-1-1 同樣養殖方法不同環境下之成長比較	33
6-1-2 不同起始重量成長率比較	34
6-2 養殖方式與養殖水深討論	35
6-3 室外實驗結果討論	37
第七章 結論與建議	38



圖目錄

圖 1.1 研究流程圖	2
圖 2.1 實驗組	7
圖 2.2 空白組	7
圖 2.3 圓蚌外形圖	8
圖 3.1 地理位置圖	10
圖 3.2 現地景觀圖	10
圖 3.3 人工竹筏圖	12
圖 3.4 養殖水深示意圖	12
圖 3.5 實驗之玻璃水缸 1	13
圖 3.6 實驗之玻璃水缸 2	13
圖 4.1 水樣實驗濁度變化圖	16
圖 4.2 底泥實驗濁度變化圖	17
圖 4.3 實驗組 I 起始水色圖	18
圖 4.4 實驗組 I 1 小時水色圖	19
圖 4.5 實驗組 II 1 小時水色圖	19
圖 4.6 實驗組 I 2 小時水色圖	20
圖 4.7 實驗組 II 2 小時水色圖	20
圖 4.8 實驗組 I 3 小時水色圖	21
圖 4.9 實驗組 II 3 小時水色圖	21
圖 5.1 各時段的藻類濃度總量圖	23
圖 5.2 各時段藻類分門濃度說明圖	24

圖 5.3 各時段的優勢藻類濃度說明圖.....	27
圖 5.4 起始水色圖.....	28
圖 5.5 實驗組Ⅲ 2 小時水色圖.....	29
圖 5.6 實驗組Ⅲ 4 小時水色圖.....	29
圖 5.7 實驗組Ⅲ 6 小時水色圖.....	30
圖 5.8 實驗組Ⅳ 6 小時水色圖.....	30
圖 6.1 北埔吊養成長變化圖.....	33
圖 6.2 新山水庫成長變化圖.....	34
圖 6.3 底泥養殖成長圖.....	34
圖 6.4 底泥養殖成長圖.....	35
圖 6.5 圓蚌成長率百分比圖.....	37



表目錄

表 2-1 河川水體用途分類及一般項目水質標準	5
表 2-2 中華人民共和國景觀娛樂用水水質標準	6
表 5.1 各藻種濃度變化說明圖	25
表 5.2 藻種濃度變化說明圖	26
表 5.3 各時段的優勢藻類濃度數值說明表	28
表 5.4 水體透明度排行表	31
表 5.5 景觀美質偏好與藻類種類及數量相關性檢定	32
表 5.6 水質因子與視覺感受滿意度之相關性分析	32



第一章 前言

1-1 研究動機與目的

近年來因環境保護推行之故，各種水域的水質淨化受到很大重視。尤其在永續發展的精神下，生態工法的潛力大為看好，以自然淨化法改善水體是首要之務。

由於國人休閒生活品質提高，增加了親水遊憩的需求，因此必須將令人不悅的水色加以改善，才能吸引人潮前來遊憩，而其中淡水水域之埤塘的水色為需要注重的。對觀光休閒來說，其發展計畫便是以增加遊客觀光的意願為目標。由於觀光休閒的親水方式，並非是人體直接接觸到水體，而是注重於人為視覺的心理感受層面。因此必須淨化水質與改善水色，以提升水體視覺滿意感受度，以增進民眾的親水意願。

有鑑於此，本實驗的結果以期能供未來國內，在淨化水質同時考量，人們對於水色的感受滿意程度，以及提升景觀美質偏好評價。使去除污染同時，提升埤塘與水圳空間之親水機能與視覺景觀的價值。所以由生物鏈工法，利用浮游藻類吸收利用水中的營養鹽類，將無機營養鹽轉化成有機的浮游藻類，然後再藉食物鏈攝食藻類，達到移除營養鹽的目的及降低由藻類所引起的水體顏色。使埤塘等類別的靜止水體避免優養化現象，以提升溶氧、降低濁度、減輕水色過濃與改變水色，提升視覺景觀感受度與改善水質，將是本研究欲達成之目標。

1-2 研究內容

本研究內容共分為七章。第一章為前言，闡述研究動機與目的，簡介研究流程，以及本實驗之實驗限制。第二章進行文獻回顧，包含水質與視覺感受說明、水色與藻類關係、生物淨化藻類案例、圓蚌育珠實驗文獻、微囊藻與食用貝類蓄毒概敘等相關資料。第三章為介紹現地環境的背景、實驗方法、實驗的內容以及因子檢測的方法。第四章定性說明，圓蚌濾食藻類改變水體顏色，以及降低水體濁度、提高水體透明度。第五章說明經由圓蚌所濾除的藻種，對於水色變化、視覺感受滿意度、景觀美質偏好、淨化水質，的改善效能。由濾除的藻種，舉例說明水色變化的情況。第六章說明室外實驗圓蚌的養殖結果，與不同環境下的圓蚌重量變化比較。最

後第七章為結論與建議，整體研究架構，如圖 1.1 所示。

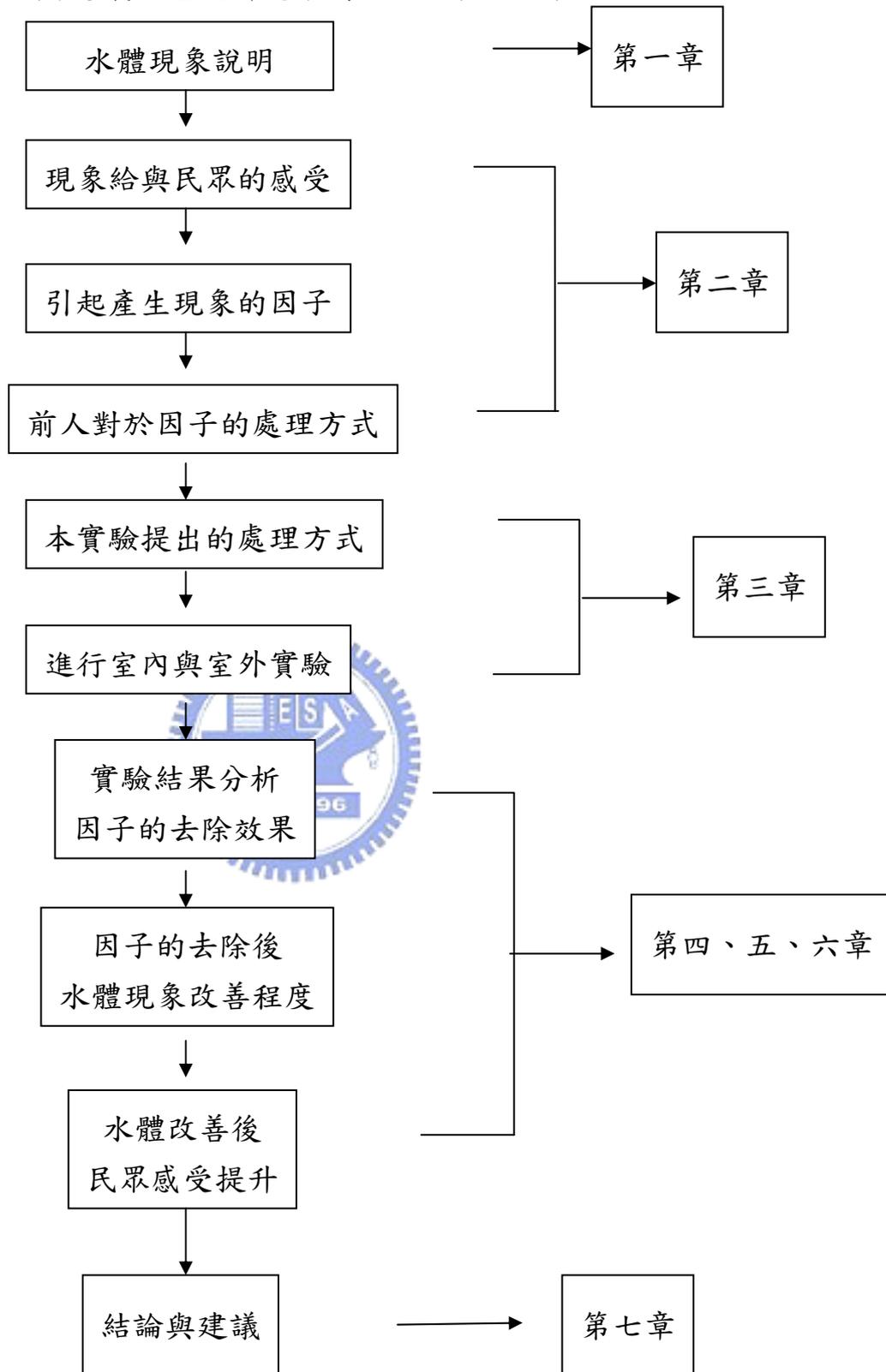


圖 1.1 研究流程圖

1-3 實驗限制

本實驗因經費的考量，因此水中藻類檢測的實驗，無法重複地進行實驗檢測，所以僅以第五章的藻類與水色變化實驗，說明圓蚌所能濾食的藻類之數量與藻種。且因實驗器材略有不足，無法精準的對實驗時之光線(如日照度、光度)定量化，所以在拍攝實驗之照片時，用白紙包圍住玻璃水缸，以降低外在之光線干擾拍攝結果。

建議後續研究，可用更多類別的淡水藻種與圓蚌進行實驗，並且觀察圓蚌濾食各藻種後，改善水色的效果。建立圓蚌所能濾食的藻類資料庫，以及定量說明圓蚌濾食各藻種的速率。拍攝實驗之玻璃缸中的水色時，以儀器精準的量測當時之光照強度，並且以高畫素之專業相機拍攝實驗水樣的水色，以真實地呈現圓蚌濾食藻類改善水色之效果。



第二章 文獻回顧

2-1 水體影響人為感受原因之探討

水之外觀為大眾判定水體優劣最直接的標準，因此水體的透明度、濁度、顏色等，都是直接影響大眾視覺感受的因子。然而影響水體外觀的物質之因子有很多種，如濁度即為一般認定是判斷水體清澈與否的重要標準之一（許明華，2003）。

水色是水中溶解物質、懸浮微粒以及浮游生物等因素的綜合反應，所以浮游生物可作為水色優劣的參考標準。溶解物質又可能會影響浮游生物的生長速率，若氮與磷之含量高時，藻類甚至會開花，產生令人反感的情形。由於浮游生物帶有色澤，且它在水中的含量多寡，將會影響到陽光穿透水體的能力，即為水體之透明度，故浮游生物的數量以及種類，將會間接影響到大眾對於水體的視覺感受（中國農業網技術中心，2006）。王淳弘(2007)研究指出，「當水中滋生大量的藻類植物會使水體有變色的現象，其顏色視藻種類別而呈現綠、藍、黃、褐等顏色，若藻類繁殖過盛時會產生臭味與色度問題」。

2-2 水色與藻類的關係

水色是水質的重要指標，所以就水色而言，藻類生長情形是導致水體呈現不同色度的關鍵因素。根據謝嘉峰等（1997）研究指出「水體的優養化狀況，會影響水色」。在水色與水質相關研究中，胡征宇與畢永紅（2005）、任洪濤與張光勤（2007）指出水中的藻類優勢種群及其作用，是決定水色的主要生物因子。而水體營養狀況決定了水體藻類群落進而決定不同的水色。

根據賴雪端（2007）指出台灣河川中，常見的藻類為矽藻、藍綠藻、綠藻、裸藻等四大藻類。藻類內因含有色素，使得水體呈現出特定水色，每升水中約含有 1.02×10^5 個藻細胞數時就會使水體出現淡淡的顏色（邱仕彰，2007）。

2-3 國內、外景觀用水規定

參考李彥德(2008)與行政院環保署之資料，加以整理可知，國內針對地面水體分類及水質標準，評估各種水體用途之水質要求特性，將其依水體特質規範，及其適用性質與相關環境基準，訂定河川水體分類的水質標準，各級別水體之用途與水質標準值，如表2-1。

表2-1 河川水體用途分類及一般項目水質標準

分級	用途	標準值						
		pH	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	SS (mg/l)	大腸桿菌群 (CFU/100ML)	氨氮 (mg/l)	總磷 (mg/l)
甲	一級公共用水 游泳 乙類、丙類 丁類、戊類	6.5-8.5	6.5 以上	1 以下	25 以下	50個以下	0.1 以下	0.02 以下
乙	二級公共用水 一級水產用水 丙類、丁類及戊類	6.0-9.0	5.5 以上	2 以下	25 以下	5,000 個以下	0.3 以下	0.05 以下
丙	三級公共用水 二級水產用水 一級工業用水 丁類及戊類	6.0-9.0	4.5 以上	4 以下	40 以下	10,000 個以下	0.3 以下	—
丁	灌溉用水 二級工業用水 環境保育	6.0-9.0	3 以上	—	100 以下	—	—	—
戊	適用環境保育	6.0-9.0	2 以上	—	無漂浮 物且無 油污	—	—	—

(資料來源:行政院環保署)

引用李彥德(2008)所整理的資料說明，中華人民共和國在娛樂用水方面，訂定景觀娛樂用水之水質標準(1992)(如表2-2)，依水體不同的功能，將其分為三大類，A. 主要應用於天然浴場或其他與人體直接接觸的景觀娛樂水體；B. 主要應用於國家重點風景遊覽區及與人體非直接接觸的景觀娛樂水體；C. 主要應用於一般景觀用水水體。

表2-2 中華人民共和國景觀娛樂用水水質標準

序號	分類標準值項目	A類	B類	C類
1	色	顏色無異常變化		不超過25色度單位
2	嗅	不得含有任何異嗅		無明顯異嗅
3	漂浮物	不得含有漂浮的浮膜、油斑和聚集的其他物質		
4	透明度(M)	≥	1.2	0.5

(資料來源:李彥德, 2008)

參考許博森(2008), 國內外對於景觀用水比較可得知, 國內對於景觀娛樂用水之水色規定並無相關要求, 目前只有對於水質以及生產利用加以規範, 而中國大陸之景觀娛樂用水, 已採用了鉑鈷視覺比色法, 進行水體之水色比對, 以作為景觀娛樂用水之水色規定。

顯示國外對於水體的使用, 除食用上的考量, 更多了景觀娛樂方面的視覺觀看規定。

2-4 國內、外以生物處理法去除藻類之案例

國內、外, 均有研究證實欲改善優養化與藻類滋生之研究, 參考吳俊宗等(2007)所整理的資料中指出, 利用藻食性魚類攝食浮游性藻類, 優點為: 不需任何人工建設以及材料取得容易, 可減少成本支出, 並且減少微囊藻約60~93%的量。缺點為: 因各魚種有不同攝食效率與消化能力, 且魚體的分泌物會增加水中6~180%的營養鹽, 而且須考量如何控制魚類繁殖的問題, 所以放養魚類於水中時, 需審慎評估與選擇。

參考柯清水(1999)所整理的資料中說明以化學處理法, 去除藻類的原理及其優缺點。硫酸銅的除藻原理是由銅離子之毒性, 干擾藻類光合反應系統, 使之無法行使光合作用而達到除藻的目的。硫酸銅就抑制藻類生長繁殖而言, 其優點是硫酸銅的除藻效率高、且成本低廉, 以及效果持續時間久, 其缺點是水中加入硫酸銅後, 易造成銅離子在水體中累積。

(Yamamuro, 1999)在日本的Lake Shiji 及Lake Nakaumi 所進行的研究說明, 在湖中養殖具濾食性的蜆, 每年可以有超過2千3百萬日幣的產值, 且經由漁業的捕獲, 每一年約可減少流入量15%的氮。

國內之行政院環境保護署於2007年12月以生物鏈淨化水庫水質試驗計畫中，以圓蚌進行水庫珍珠貝吊養試驗，文中說明實驗之珍珠貝已能適應水庫的環境，且發現圓蚌可濾食藻類，並能使水體中的葉綠素降低至 $2\mu\text{g/L}$ 。因此建議水庫內繼續吊掛圓蚌，並用經過殖珠手術的圓蚌，利用食物鏈及收穫珍珠貝，減少水體內的營養鹽，以達到淨化水質之功效。

國外楊東妹等(2008) 研究圓蚌對於浮游藻類影響分析說明，其文中提及淡水雙殼類的濾食效率超過藻類生長速率時，就可抑制水中浮游藻類的生長。圓蚌對微型生態系統中的影響，可比較圖2.1與圖2.2的浮游藻類數量，得知實驗組(有圓蚌)，其水體中的項圈藻與顫藻之數量，皆少於圖2.2中空白組(無圓蚌) 之項圈藻與顫藻之數量。

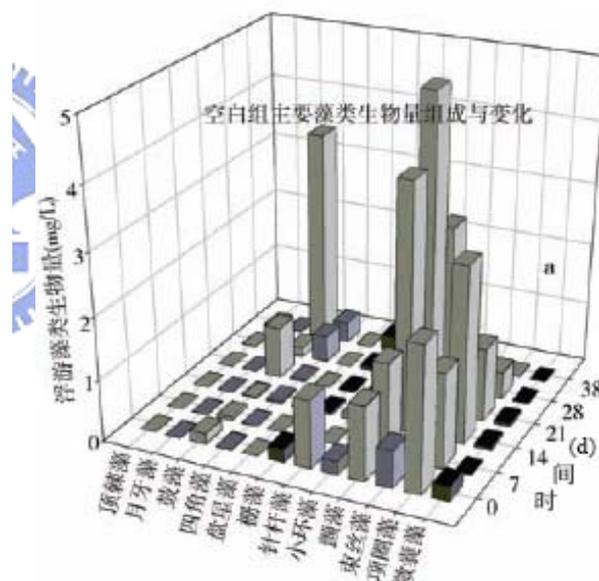
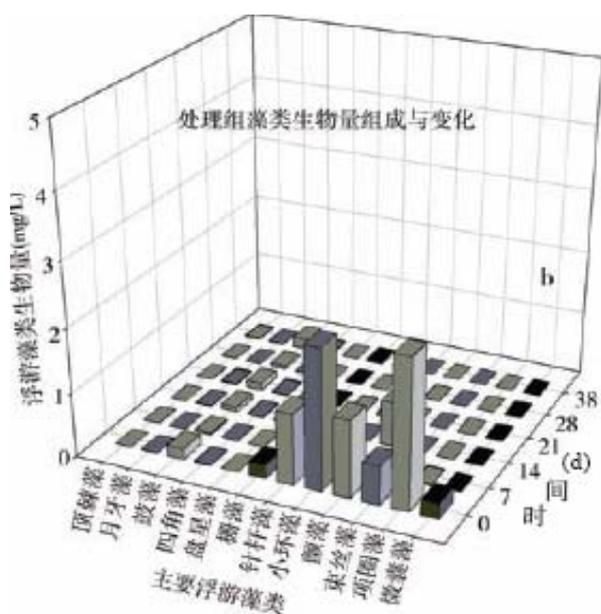


圖2.1 實驗組(資料來源 楊東妹)

圖2.2 空白組(資料來源 楊東妹)

根據吳之研究指出，圓蚌可降低水中葉綠素a。楊的研究指出，圓蚌可以改變浮游藻類的種類組成。所以本實驗假設，由浮游藻類調和出的水色，會因圓蚌濾食浮游藻類，導致藻類濃度降低與結構變化，而使水色淡化或顏色轉化。

2-5 實驗生物介紹

圓蚌(如圖2.3)的相關資料，引用由劉富光(1983)河蚌養殖以及其珍珠人工生成之研究，提出圓蚌資料說明。河蚌，又稱田貝，學名為圓蚌(*Anodonta woodiana*)產自淡水池底軟泥處，屬於底棲性淡水二枚貝。由於圓蚌的外套膜上皮組織細胞能分泌晶瑩亮潔的真珠層，利用外套膜組織細胞移植的方式，經過1~3年的養殖期間，能自然生成真珠(Shohei，1970;Takei，1982)。由劉富光(1983)進行人工育珠之實驗，圓蚌養殖12個月已有珍珠的產生，珍珠顏色為白色、金黃色、粉紅色、紫色等色澤。

圓蚌一般分布在河川、湖泊、池塘或是水田。因供人類食用的價值較低，可作為家禽或魚類的飼料，亦可生產珍珠。台灣、日本、韓國及中國皆有分佈(葉益良，2007)。

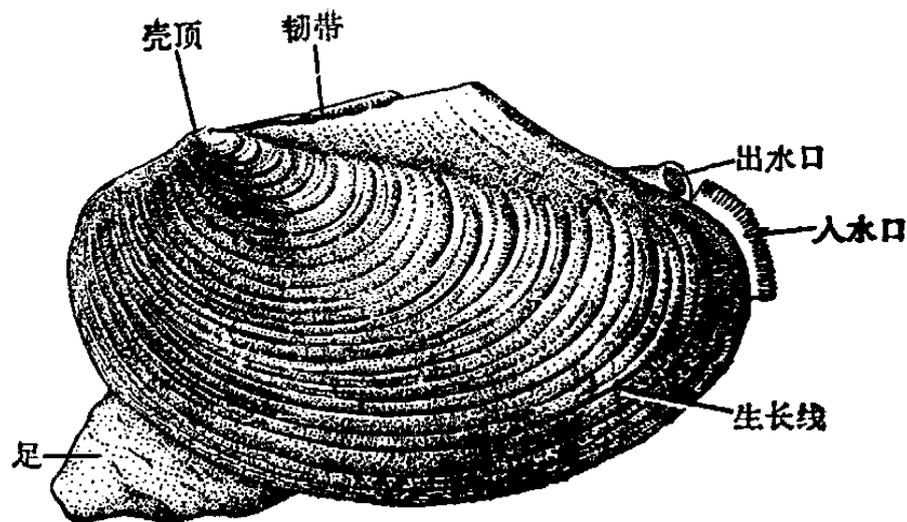


圖 2.3 圓蚌外形圖 (資料來源 江靜波等)

2-6 微囊藻毒與食用貝類的生物累積蓄毒概敘

銅綠微囊藻屬於藍綠藻的一種，其引起的水華特性，與其所產生具肝臟毒性的微囊藻毒，皆有相關之研究說明(涂致道，2007)。研究中指出微囊藻毒會造成水中生物的死亡現象產生，並改變水中之浮游動物及水生植物相，且會造成貝類的蓄毒，間接地危害高階的消費者。微囊藻毒素之毒性極高，是一種活性很強的致癌物質，此毒素進入人體的途徑為受污染之飲用水和被污染的水產品。(行政院環境保護署，2006)。

2-7 濁度定義解說

參考胡秀芳(2009)所整理的資料，說明濁度之定義。濁度為水中之漂浮及懸浮物質所引起，如微細之有機物、浮游生物或微生物等，均能讓水色混濁。濁度是測量水質的相對清澈程度。水體的濁度與色度並非絕對相關，深色的水體濁度值並不一定高，而外觀乾淨的水體，其濁度也不見得較低。



第三章 研究區域背景概述與研究方法

3-1 研究區域背景概述

實驗地點選取位於，新竹縣北埔水磱村，其地理位置如圖 3.1 中，方塊區域所示。現場植栽優美，景觀宜人，發展為休閒觀光的潛力十足，現場環境如圖 3.2 所示。現場埤塘因水中的藻類，使水體呈現黃綠或土黃色。

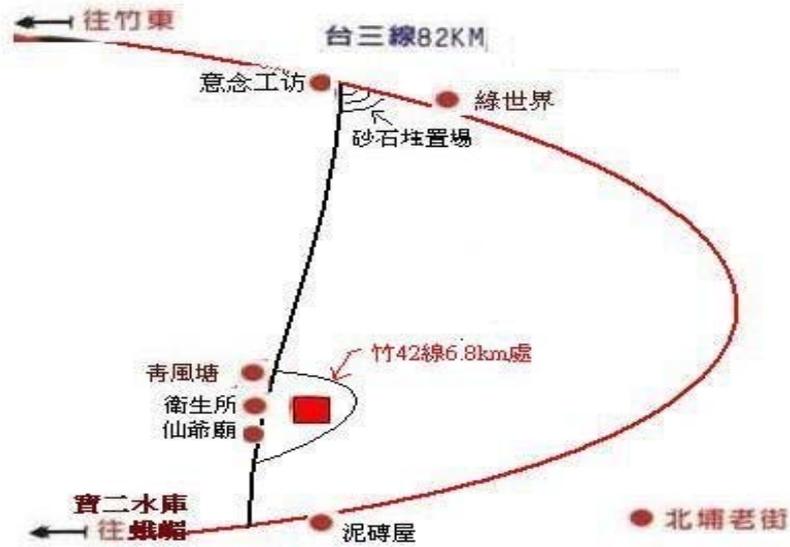


圖3.1 地理位置圖



圖3.2 現地景觀圖

3-2 實驗設計概述

實驗選用台灣原生種以及具有育珠功能之經濟貝類，做為本實驗之對象，即遴選圓蚌(*Anodonta woodiana*)進行水色改善與水質淨化實驗。分為室內實驗與室外實驗兩部分。室外實驗目標為圓蚌移除污染的合適養殖法，室內實驗目標為圓蚌對於水色改善之效能探討。

3-2-1 實驗方法

本研究是以室內實驗與室外的北埔埤塘養殖，紀錄實驗數據進行研究。研究流程主要分為：

進行室內實驗一：將平時養殖於室內的圓蚌，與北埔埤塘的水樣進行實驗。將水樣置入有、無圓蚌的二個玻璃缸中，紀錄 24 小時內，兩組水樣每小時的濁度、水色變化。藉由實驗的濁度數據與圓蚌濾食藻類的特性，判斷水色改變，是因圓蚌濾食水中藻類，而非泥沙沉澱所改變水色。

進行室內實驗二：為更真實模擬實地環境，將平時養殖於室內的圓蚌，與北埔埤塘的底泥及水樣進行實驗。以底泥覆蓋圓蚌加入水樣，為底泥實驗組 A。另只以圓蚌與水樣而無底泥的實驗，為底泥實驗組 B。紀錄 24 小時中，兩組水樣每小時的濁度、水色變化。評估圓蚌在底泥中，改變水色及改善水色過濃現象的效果。

進行室內實驗三：以現地養殖的圓蚌與北埔埤塘水樣進行實驗。北埔埤塘的水樣置入有、無圓蚌的玻璃缸中，檢測起始水樣與實驗開始後，兩玻璃缸的藻類濃度變化，得知圓蚌可濾食的藻種。由所濾除的藻類與水色變化情形，參考前人的研究結果後，說明圓蚌改善水色，可以提升景觀美質偏好。再參考前人的研究結果，可得知水體透明度與水體視覺感受滿意度的相關性，由本實驗置入圓蚌提升水體透明度的實驗結果，說明圓蚌可提升水體視覺感受滿意度。

室外實驗：將圓蚌吊養於現地之不同水深，定期量測重量變化。根據成長率評估室外養殖時，圓蚌對於改善水色、提升視覺感受滿意度、提升景觀美質偏好、及淨化水質的合適養殖水深。

3-2-2 室外實驗設計

首先放養圓蚌於埤塘之前，需經過馴養，降低環境變動對圓蚌所造成的衝擊，以降低死亡率。接著確定圓蚌已經可以生存於實驗地點。之後放養第二批的圓蚌，於實驗地點之底泥中養殖，並將養殖的測點命名為底泥 st-1、底泥 st-2、底泥 st-3，並紀錄圓蚌三個月(97/5~97/7 月)的重量變化。再將第二批圓蚌吊養於竹架(圖 3.3)下面，養殖環境為水深 0.3m、0.6m 及放置底泥中養殖(圖 3.4)，並紀錄養殖九個月(97/7~98/4)月的重量變化。比較養殖期間的成長量，討論圓蚌合適的養殖水深與方式。



圖 3.3 人工竹筏圖

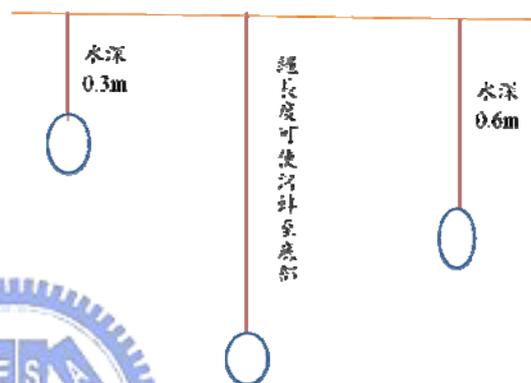


圖 3.4 養殖水深示意圖

3-2-3 室內實驗設計

有兩個不同設計方式的實驗，第一種方式為是把水樣加入於 30cm×24cm×18cm 大小的玻璃水缸，如圖 3.5。水樣中有置入圓蚌的為水樣實驗組 I，水樣中無置入圓蚌的為水樣實驗組 II。實驗大綱為檢測水樣實驗組 I 與水樣實驗組 II，兩組別 24 小時內，每小時水色的轉變以及濁度的變化。水樣每小時的水體顏色，是以拍照紀錄當時的水色。依濁度增減與水色變化，判斷水色變化是因圓蚌濾食藻類，或是水中泥沙沉澱，而導致水色改變。



圖 3.5 實驗之玻璃水缸 1

以相同的方式，將水樣加入於 45cm×35cm×35cm 玻璃水缸如圖 3.6。水樣中有置入圓蚌是為水樣實驗組 III、水樣中無置入圓蚌是為水樣實驗組 IV。取水樣實驗組 III 第零、二、四、六小時的水樣，檢測水中浮游藻類的種類與數量。另取水樣實驗組 IV 第零、六小時的水樣，作為實驗對照組。實驗大綱為，觀察圓蚌可濾食的藻種，及水中藻類變化與水色變化的相關。



圖 3.6 實驗之玻璃水缸 2

第二種實驗是在 30cm×24cm×18cm 大小的玻璃水缸，如圖 3.5，加入圓蚌以及水樣。水樣中以底泥覆蓋圓蚌的為底泥實驗組 A，另只有圓蚌與水樣而並無底泥的為底泥實驗組 B。觀察底泥實驗組 A 與底泥實驗組 B，對於有無添加底泥覆蓋圓蚌，進行 A、B 兩實驗之水色變化速率的比較。希望藉此實驗的結果，建議圓蚌改善埤塘水色之適合生活環境。

3-3 實驗因子檢測方式

調查所涵蓋的項目包括：濁度、浮游植物、重量量測，共 3 項因子之測定。各項目檢測方式說明如下：

1. 濁度：參照環保署標準方法 NIEA W219.52C，將水樣置於乾淨無色透明之樣品試管中，搖動水樣使固態顆粒均勻分布，待氣泡消失後放入濁度計直接讀取濁度值。
2. 浮游植物：水樣採取後，即刻以福馬林滴定，低溫冷藏以保持水樣的新鮮度。水樣攜回實驗室以微孔濾紙(0.45 μm)過濾後，將濾紙放置於載玻片上，待其完全乾燥後，滴上數滴顯微鏡油製成玻片，拿到顯微鏡下觀察鑑定種類及計算藻細胞數目。觀察鑑定所得之數量，經換算所量取過濾之體積後，即可得單位體積之藻細胞數。
3. 重量量測：以電子天平量測，各測點的圓蚌總重，取其平均值。

第四章 室內實驗結果與討論

4-1 水族箱中濁度變化

將取自於北埔實驗樣區的水樣，分別加入兩個 30cm×24cm×18cm 大小的玻璃水缸。玻璃水缸中，有加入圓蚌的水樣為實驗組 I，無加入圓蚌的水樣為實驗組 II。

有放置圓蚌的實驗組 I (圖 4.1 三角形標記)，在第一小時濁度值由 52.8(NTU)降至 18(NTU)，第三小時降至 5.17(NTU)。實驗開始的三小時內，濁度下降速率平均為 15.87 (NTU/hr)。實驗開始的第三小時之後，水樣的濁度都在 3~5(NTU)跳動，濁度已無再下降的跡象。推測實驗開始三小時內導致濁度值下降的原因，應是圓蚌濾食水中藻類，以及泥沙沉澱。無放置圓蚌的實驗組 II (圖 4.1 X 標記)，進行實驗時間第三小時，濁度也只降到 47.2(NTU)，實驗開始的三小時內，濁度下降速率平均為 3.93(NTU/hr)。從圖 4.1 兩組實驗的比較，有圓蚌的水體比無圓蚌的水體濁度下降較快，由楊東妹等(2008)的研究，可推想其濁度下降的差異是因為圓蚌攝食藻類所致。

而實驗組 I 在實驗開始第三小時之後，應是水中的藻類被圓蚌濾食，以及水中藻類死亡，使得水中濁度值保持在 3~5(NTU)跳動。實驗組 II 要到實驗進行到第 23 小時濁度才降至 15.2(NTU)，實驗時間第三小時至第二十三小時的濁度下降速率平均約為 1.6(NTU/hr)。推論實驗組 II 在實驗時間前三小時，應是水中泥沙沉澱，使得濁度值由 59(NTU)下降到 49(NTU)。而實驗組 II 在實驗第三小時之後，應是水中藻類逐漸死亡，使水樣的濁度值下降，而至實驗第 23 小時實驗組 II 的濁度仍高於實驗組 I，應是實驗組 II 水中的藻類濃度高於實驗組 I。

比較兩實驗組，實驗開始三小時內的濁度變化，其濁度下降速率平均差為 11.94 (NTU/hr)，而實驗組 I 與實驗組 II 的水樣都會有泥沙沉澱的情況，所以兩組的濁度下降速率平均差異，應是由圓蚌濾食藻類使得兩組濁度下降速率不同。而實驗第三小時之後，雖然實驗組 II(無圓蚌)的濁度仍有下降，應是室內實驗無法長期模擬現地環境，使得水缸中的藻類逐漸死亡，導致濁度下降。但現地環境與小水缸中，藻類的生長變化，並不相同。而

平時現地的水體濁度值，應該會如同實驗開始時所取的水樣濁度值，不會像實驗組 II(無圓蚌)的濁度有逐漸下降的趨勢。

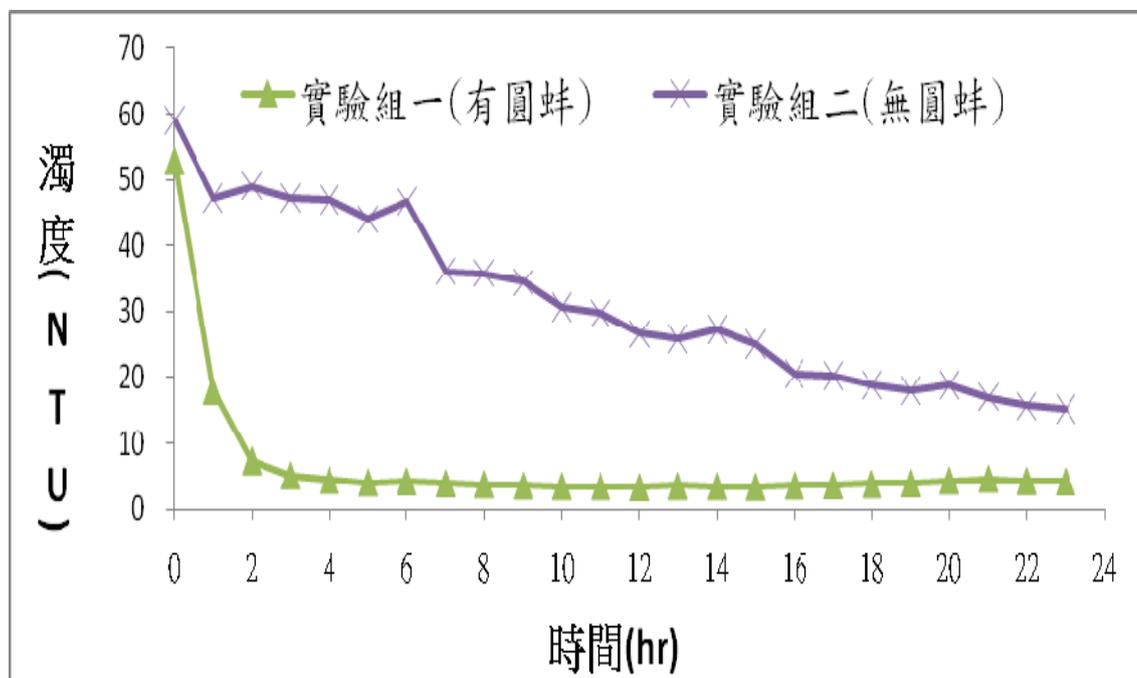


圖 4.1 水樣實驗濁度變化圖

4-2 有底泥時水族箱中濁度變化

兩個 30cm×24cm×18cm 大小的玻璃水缸，將玻璃水缸分為兩組，有用底泥覆蓋圓蚌的為實驗組 A，無底泥而只有加入圓蚌的為實驗組 B。再將北埔實驗樣區的水樣，倒入於兩玻璃水缸。有底泥的實驗組 A(圖 4.2 菱形標記)，因有加入底泥於水樣中，故起始濁度為 368(NTU)，無底泥實驗組 B 的濁度為 75.8(NTU)(圖 4.2 正方形標記)。

觀察實驗組 B 之每小時濁度，可發現實驗組 B 放置圓蚌於水樣中，可使水體濁度有下降的功能。實驗至八小時平均下降速率為 8.48 (NTU/hr)，之後八到二十四小時，濁度下降緩慢，平均速率為 0.32(NTU/hr)。觀察實驗組 A 每小時濁度變化，實驗至八小時平均下降速率為 43.33(NTU/hr)。之後八到二十四小時，濁度下降緩慢，平均速率為 0.53(NTU/hr)。

有底泥的實驗組 A 之濁度，實驗至八小時濁度的下降速率，變化比實驗組 B 較快，應是懸浮的底泥沉澱。在底泥存在時，實驗組 A 濁度一直較高，但實驗至三小時，濁度也會降至無底泥之初始濁度。實驗時間八到二十四小時，兩組的下降速率也差異不大。故知圓蚌在有底泥覆蓋時，仍有相同的濾食和淨化行為。

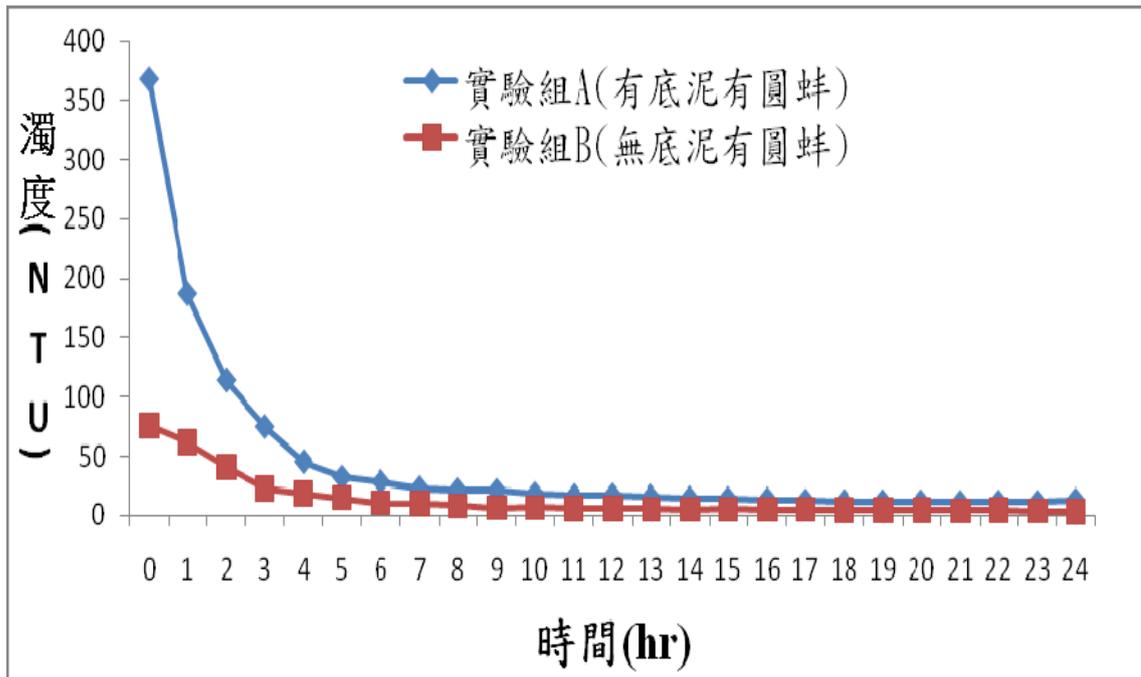


圖 4.2 底泥實驗濁度變化圖

4-3 水族箱中水色變化

水色變化說明是以當時的水色，用肉眼觀察的方式，說明顏色變化。相機由上往下垂直拍攝水缸，以紀錄當時的水體顏色，藉此了解水色的色彩變化。

水樣實驗組 I，置入 707.49g 圓蚌，水樣約 7L。起始水色為黃綠色如圖 4.3，實驗一小時後，水色變為淡黃色如圖 4.4。實驗二小時後，水色只有些微的黃色如圖 4.6。水色的濃度每小時都越來越淡，置入圓蚌後的水體顏色與起始水色也不相同。等到實驗三小時後，水色變化為透明無色如圖 4.8，之後 20 小時的水色，也維持著透明無色。

水樣實驗組 II，水樣約 7L，無置入圓蚌，作為實驗對照組，起始水色如圖 4.3。實驗開始一小時後，水體的黃色所佔比例逐漸下降，如圖 4.5。實驗二小時至三小時，水色是由黃綠色組成如圖 4.7、圖 4.9。在前 0~3 小時因沉澱，黃色所佔比例逐漸下降，之後 21 小時水色仍是由黃綠色組成。水色會隨時間變化，推論應是藻類結構的改變所導致。

比較同時段有、無放置圓蚌的水色，以肉眼觀看水色有明顯的差異，可得知圓蚌可以使水色淡化或顏色轉化。

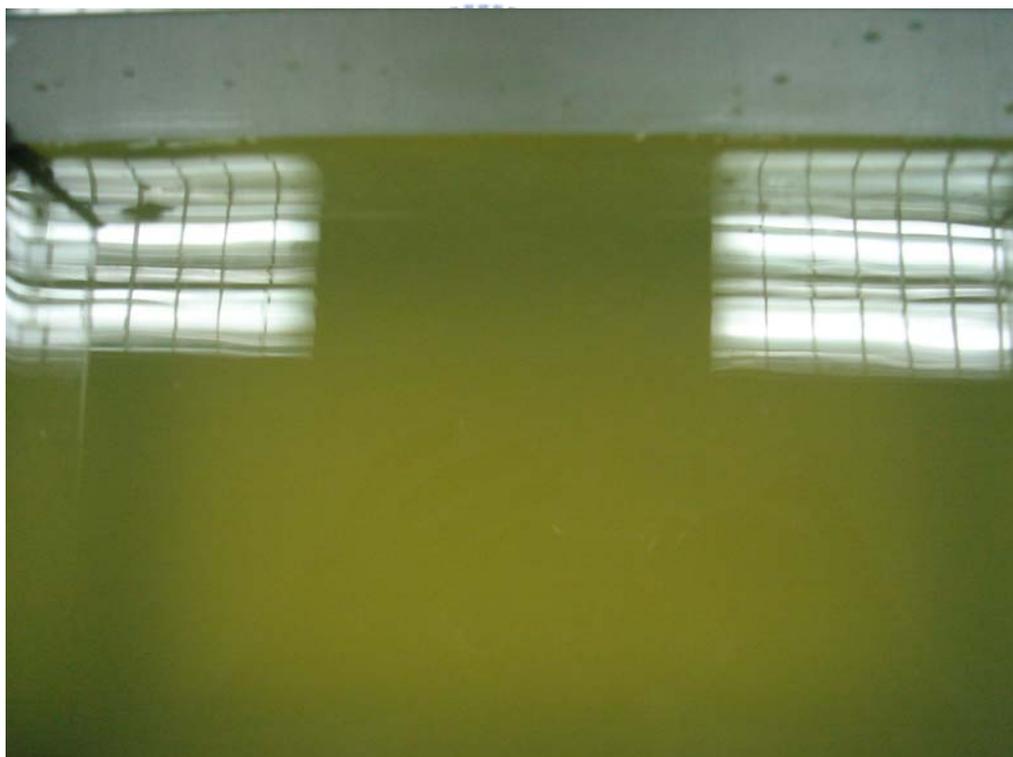


圖 4.3 起始水色圖



圖 4.4 實驗組 I 1 小時水色圖



圖 4.5 實驗組 II 1 小時水色圖



圖 4.6 實驗組 I 2 小時水色圖

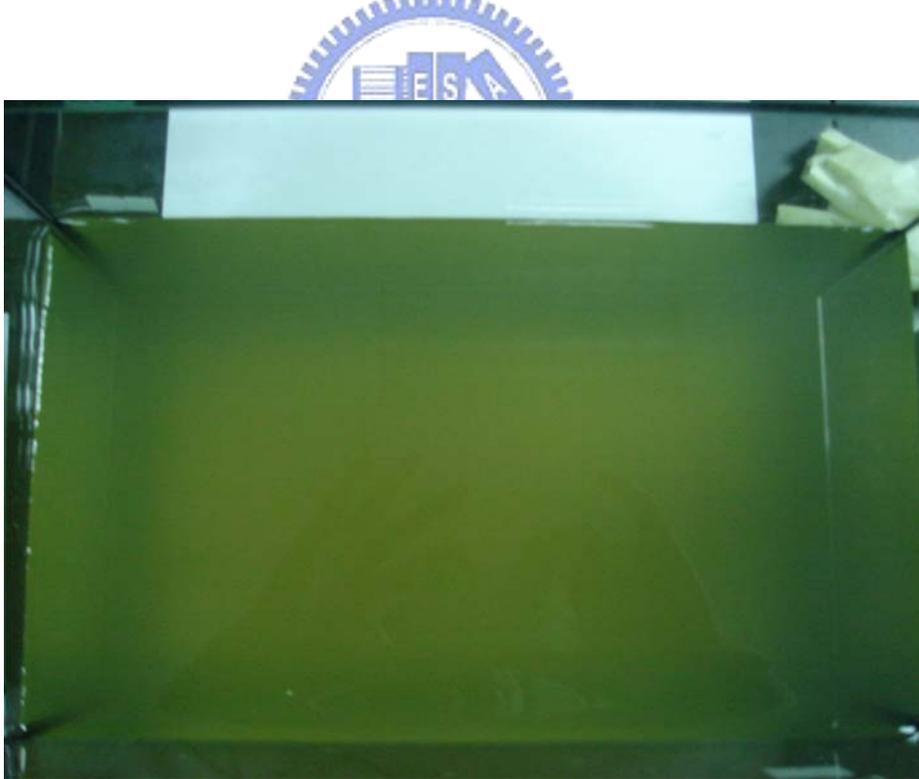


圖 4.7 實驗組 II 2 小時水色圖



圖 4.8 實驗組 I 3 小時水色圖(透明無色)

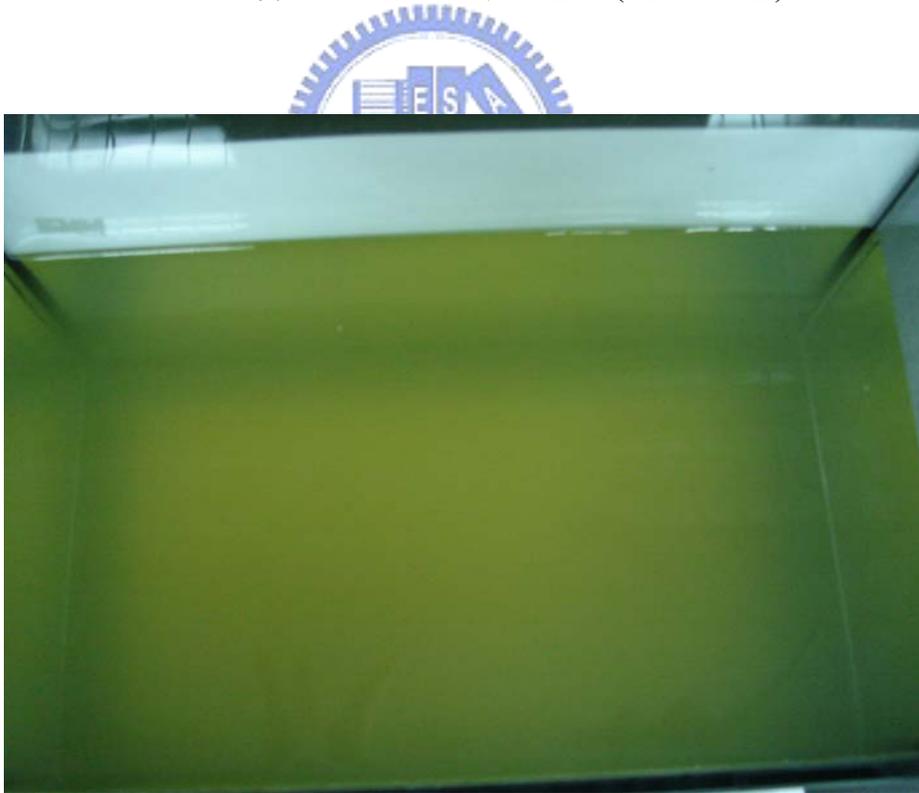


圖 4.9 實驗組 II 3 小時水色圖

4-4 室內實驗結果討論

結果討論將依據本章中的室內實驗檢測因子，包含濁度、水色等實驗結果，再參考楊東妹等(2008)研究圓蚌可濾食水中藻類的實驗結果，判斷圓蚌對於改善水色的定性研究。

首先比較圖 4.1 中的實驗組 I(有圓蚌)與實驗組 II(無圓蚌)，兩組的濁度變化，可發現實驗三小時內，兩組的濁度下降速率平均差為 17.67(NTU/hr)。再比較實驗開始一小時的水色圖(圖 4.4 與圖 4.5)，開始二小時的水色圖(圖 4.6 與圖 4.7)，開始三小時的水色圖(圖 4.8 與圖 4.9)，可發現經過相同的實驗時間，有加入圓蚌的水缸與無圓蚌的水缸，水色有明顯的差異。故推想實驗組 I 水色變化以及濁度下降，並非單純只是懸浮物質沉澱，而是由於圓蚌濾食藻類，使得兩組的濁度下降速率與水體顏色，有明顯的差別。

因第四章的實驗結果發現，經過相同的實驗時間，實驗組 I(有圓蚌)與實驗組 II(無圓蚌)之水色有明顯差別，所以假設圓蚌因濾食藻類，而具有減輕水色過濃與改變水色的功能。接著，第五章進行實驗組(有圓蚌)與對照組(無圓蚌)，其水體中藻類之種類與數量鑑定。說明圓蚌所濾食藻類之種類，與水色變化的關係。進一步評估圓蚌濾食藻類，使水體的視覺滿意度與景觀美質偏好的提升。

第五章 藻類與水色變化實驗

5-1 圓蚌降低水中藻類濃度實驗說明

將兩個 45cm×35cm×35cm 的玻璃水缸如圖 3.5，一個只有加入水樣的玻璃水缸為實驗組IV，另一個加入水樣以及圓蚌的玻璃水缸為實驗組III。將取起始水樣以及實驗組III第二、四、六小時，與實驗組IV第六小時的水樣，檢測水中的藻種與藻類數量。

並於本文中的 5-2 節說明，實驗組III與實驗組IV各時段的藻類總量。以及在本文中之 5-3 節更細部的說明，實驗組III與實驗組IV，水中的各門藻類數量以及各時段的優勢藻種。

5-2 圓蚌濾除水中藻類總量說明

由圖 5.1 中藻類起始濃度為 693.58(萬 cells/L)，實驗組III因有圓蚌濾食水中藻類，使得圓蚌置入水體後二小時，藻類濃度為起始的 4.35%。第四小時濃度降為 0.39%。六小時後的藻類濃度為起始濃度的 0.34%。實驗組IV無置入圓蚌做為實驗對照組，六小時後的藻類濃度為起始濃度的 36.06%。比較有圓蚌的實驗組III與無圓蚌的實驗組IV，同時段六小時的藻類濃度，兩實驗組藻類濃度有 247.79(萬 cells/L)的差異。而實驗組III第二、四小時的藻類數量，皆比實驗組IV第六小時的藻類濃度低，可證實圓蚌能降低水中藻類數量。

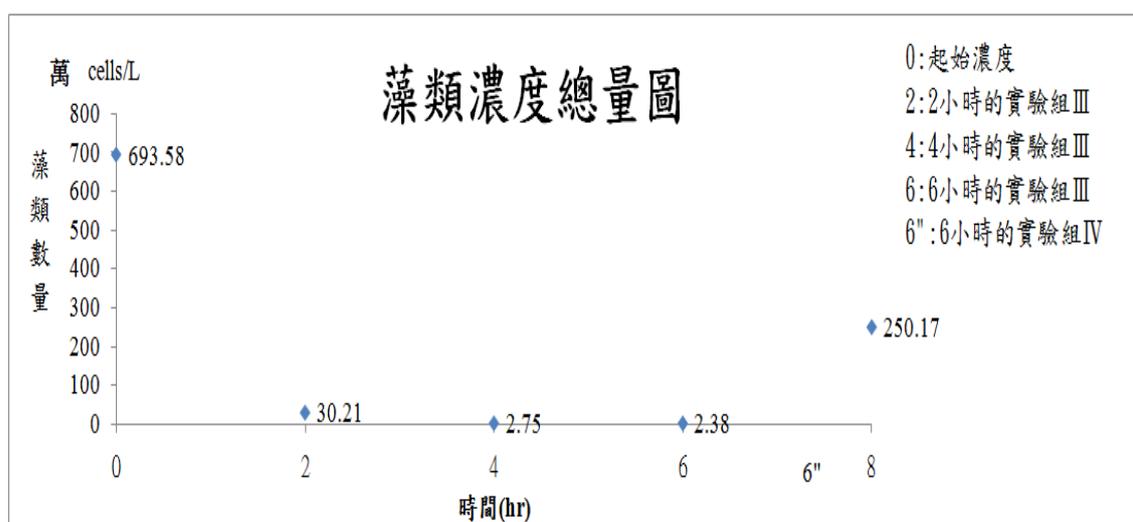


圖 5.1 各時段的藻類濃度總量圖

5-3 圓蚌濾除水中各門藻類說明

本節將說明，圓蚌濾除各門藻類的速率，以及所去除的藻種。圖 5.2 中可看出起始濃度時，水樣中矽藻與藍綠藻為優勢藻種。置入圓蚌實驗二小時後，矽藻與藍綠藻數量已大為降低，矽藻降低為 1.46(cells 萬/L)，藍綠藻降低為 28.72(cells 萬/L)。再觀察置入圓蚌實驗四小時後，矽藻降低為 0.48(cells 萬/L)，藍綠藻降低為 2.25(cells 萬/L)。以及實驗六小時後，矽藻降低為 0.12(cells 萬/L)，藍綠藻的數量維持與四小時相同不變。為證實藻類數量降低，是因水體置入圓蚌而降低，將用實驗組IV為對照組。由實驗組IV的藻類數量，說明沒置入圓蚌的水體，藻類降低的速率。比較圖 5.2 中，有置入圓蚌的實驗組III，每二小時的矽藻與藍綠藻數量，皆比無圓蚌的實驗組IV，數量相較於少。無圓蚌的實驗組IV中矽藻濃度，高於有圓蚌“實驗組III 6 小時”約 31.87(cells 萬/L)。無圓蚌的實驗組IV中藍綠藻濃度，高於有圓蚌“實驗組III 6 小時”約 214(cells 萬/L)。因兩組的藍綠藻有 214(cells 萬/L)的差距，矽藻有 31.87(cells 萬/L)的差異，所以是因為圓蚌去除本實驗水樣中的矽藻、藍綠藻，導致相同時段的藻類有此數量上的差異。

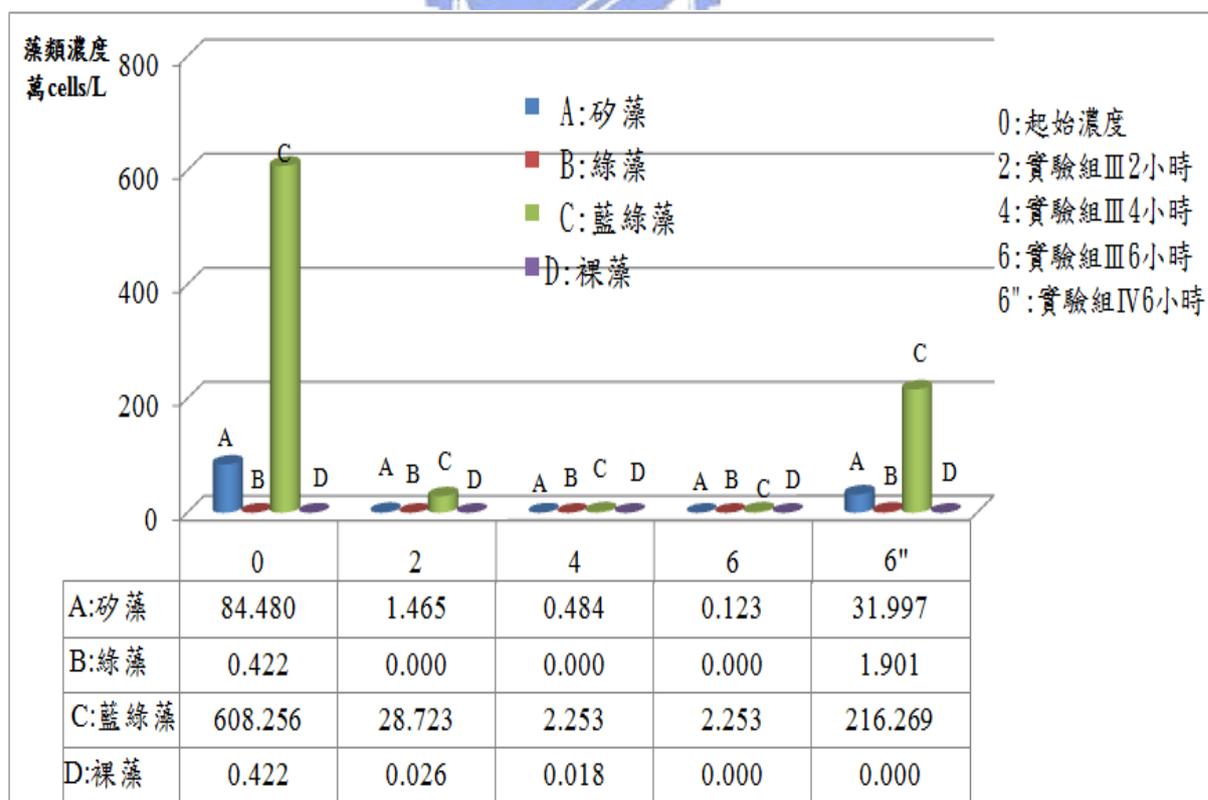


圖 5.2 各時段藻類分門濃度說明圖

由圖 5.2 得知各門藻類的減少情況之後，再更細部的說明各藻種的變化情形。將水樣中所占比例較高的藻種，提出說明且整理為表 5.1。將水樣起始濃度的藻類，以及實驗組 III 之二、四、六小時的藻類，及無圓蚌的實驗組 IV 第六小時的藻類，進行各藻種數量的比較。可發現水體因圓蚌置入，使得實驗組 III 每兩小時的藻類數量檢測值，都可發現藻種的數量都在下降，如表 5.1。而未置入圓蚌的實驗對照組，各藻種的數量，皆比有圓蚌的實驗組高出數倍有之。所以圓蚌可降低水中極小曲殼藻 (*Achnanthes minutissima*)、遠距直鏈藻 (*Aulacoseira distans*)、顆粒直鏈藻 (*Aulacoseira granulata*)、奇異棍形藻 (*Bacillaria paradoxa*)、梅尼小環藻 (*Cyclotella meneghiniana*)、細菱形藻 (*Nitzschia acicularis*)、集星藻 (*Actinastrum sp.*)、銅綠微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*) 等藻類數量。

表 5.1 各藻種濃度變化說明圖

藻類名稱	起始濃度 (cells 萬/L)	2 小時實驗組 III 藻類 (cells 萬/L)	4 小時實驗組 III 藻類 (cells 萬/L)	6 小時實驗組 III 藻類 (cells 萬/L)	6 小時實驗組 IV 藻類 (cells 萬/L)
極小曲殼藻	0.11	0.11	0.03	0.01	1.11
遠距直鏈藻	31.26	0.61	0.23	0.06	10.45
顆粒直鏈藻	48.42	0.54	0.10	0.04	15.05
奇異棍形藻	0.21	0.00	0.00	0.00	0.11
梅尼小環藻	2.43	0.16	0.13	0.01	4.75
細菱形藻	0.42	0.00	0.00	0.00	0.37
集星藻	0.21	0.00	0.00	0.00	0.21
銅綠微囊藻	608.26	28.72	2.25	2.25	216.27

在本章的藻類去除實驗中(室內實驗三)，水體裡除了表 5.1 中的藻種，仍是有其他的藻種存在於水體中。但因在實驗六小時後，實驗組 III 與實驗組 IV 的藻種，如表 5.2，藻類數量檢測值皆為零。故無法判斷表 5.2 中的藻種，是因圓蚌濾食而減少，或是藻類死亡而減少，因此本實驗不予討論。

表 5.2 藻種濃度變化說明圖

藻類名稱	起始濃度 (cells 萬/L)	2 小時實驗組 III 藻類 (cells /L)	4 小時實驗組 III 藻類 (cells /L)	6 小時實驗組 III 藻類 (cells /L)	6 小時實驗組 IV 藻類 (cells /L)
線形曲殼藻	0.1584	396	0	0	0
平滑橋彎藻	0.0528	0	0	0	0
闊橢圓雙壁藻	0.0528	0	0	0	0
橄欖形異極藻	0.0528	0	0	0	0
尖布紋藻	0.264	0	0	0	0
桿狀舟形藻	0.0528	0	0	0	0
尖頭舟形藻	0.1584	0	0	0	0
絲狀菱形藻	0.1056	0	0	0	0
碎片菱形藻	0.1056	132	0	0	0
殼皮菱形藻	0.3168	0	0	0	0
細條羽紋藻	0.264	0	0	0	0
肘狀針桿藻	0.0528	0	0	0	0
十字藻	0.2112	0	0	0	0
帶形裸藻	0.0528	0	0	0	0
旋紋裸藻	0.3168	264	176	0	0
囊裸藻	0.0528	0	0	0	0

5-4 水族箱中藻類變化與水色變化的相關說明

在養殖業水色與水質相關研究中胡征宇、畢永紅 (2005)、任洪濤、張光勤 (2007) 指出水中藻類優勢種群及其作用是決定水色的主要生物因子。所以就水色而言，藻類生長情形是導致水體呈現不同色度的關鍵因素。參考邱仕彰(2007)，藻類細胞內因含有色素，因而使得水體呈現出特定顏色，約在每 CC 水中含 102 藻細胞個數時就會呈現出淡淡的顏色。

再由圖 5.2 得知，圓蚌置入水中六小時，將矽藻由 85.16(cells 萬/L)降至 0.141(cells 萬/L)、藍綠藻由 608.25(cells 萬/L)降至 2.25(cells 萬/L)、綠藻濃度由 0.211(cells 萬/L)降至 0。所以藻類組成結構變化，使得水體呈現出的特定顏色，因藻類組成變化而有所改變。圓蚌甚至將水中藻類細胞個數降低，至每 CC 水中含 102 藻細胞個數以下，讓深濃的水色轉為淡淡的水色。証實本文第四章中，圓蚌因濾食藻類，減輕水色過濃與改變水色的功能。

以本實驗水樣為例，由圖 5.3 中得知，水中優勢藻類為銅綠微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*)，其含量也遠大於其他藻種，所以是由銅綠微囊藻決定水色。置入圓蚌後 6 小時，水中銅綠微囊藻濃度為起始之 0.37%，而未加入圓蚌的水體，水中銅綠微囊藻濃度為起始之 35.56%。應是室內實驗無

法完全地模擬現地環境，使得水缸中的藻類逐漸死亡，但同時段實驗組Ⅲ的藻類數量，仍是比實驗組Ⅳ的藻類數量少很多。所以仍可證實水體的銅綠微囊藻，是由圓蚌濾食而降低濃度。而降低的銅綠微囊藻濃度，仍是各時段水體中的優勢藻類，所以比較各種不同時段的水體顏色與藻類，得知水色變化與藻種的關係。

由圖 5.3，起始水色與實驗組Ⅲ六小時的水中藻類，可知去除水中優勢藻種之銅綠微囊藻。可使水色由深濃的黃綠色如圖 5.4，轉為淡淡的黃色如圖 5.7。由圖 5.3 比較起始水色與實驗組Ⅳ六小時的水中藻類，水中優勢藻種之銅綠微囊藻，已減少 64.44%，但水色仍是偏黃的黃綠色如圖 5.8，與起始水色差異不大。由此可知，有圓蚌置入的水體，其顏色將會因藻類組成結構改變，而產生改變。

因印刷文稿時，水色圖(圖 5.4~圖 5.8)恐有失真之虞，因此以電子檔觀看水色圖，較能呈現所欲表達之水色圖。

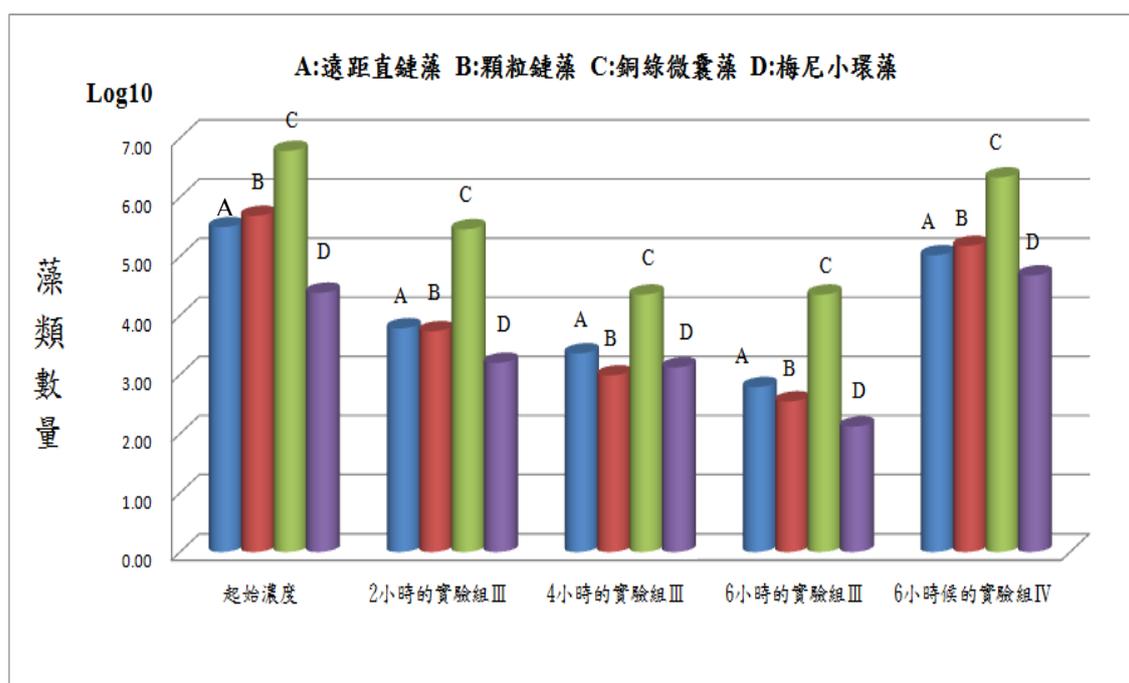


圖 5.3 各時段的優勢藻類濃度說明圖

表 5.3 各時段的優勢藻類濃度數值說明表

藻類名稱	起始濃度	2 小時的 實驗組 III	4 小時的 實驗組 III	6 小時的 實驗組 III	6 小時的 實驗組 IV
遠距直鏈藻	$10^{5.495}$	$10^{3.783}$	$10^{3.359}$	$10^{2.790}$	$10^{5.019}$
顆粒直鏈藻	$10^{5.685}$	$10^{3.733}$	$10^{2.986}$	$10^{2.547}$	$10^{5.177}$
銅鏽微囊藻	$10^{6.784}$	$10^{5.458}$	$10^{4.353}$	$10^{4.353}$	$10^{6.335}$
梅尼小環藻	$10^{4.385}$	$10^{3.200}$	$10^{3.121}$	$10^{2.121}$	$10^{4.677}$



圖 5.4 起始水色圖

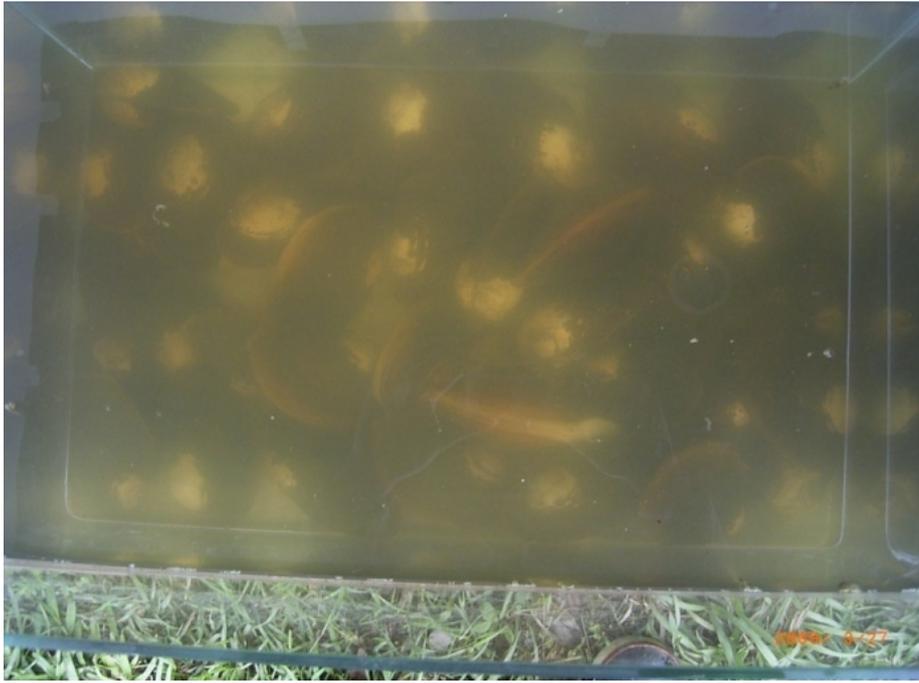


圖 5.5 實驗組Ⅲ 2 小時水色圖



圖 5.6 實驗組Ⅲ 4 小時水色圖



圖 5.7 實驗組III 6小時水色圖



圖 5.8 實驗組IV 6小時水色圖

5-5 水族箱中水體透明度變化實驗

圖 5.5、圖 5.6、圖 5.7、圖 5.4、圖 5.8 五張圖中，玻璃缸下皆有放置白紙。在上圖 5.5(置入圓蚌 2 小時)中可看見水中圓蚌以及隱約見到底部白紙，在以上五張圖中透明度排行第二。圖 5.6(置入圓蚌 4 小時)與圖 5.7(置入圓蚌 6 小時)已可看見水中圓蚌，而底部白紙已可看見，兩者透明度差異不大，在以上五張圖中透明度排行並列第一。圖 5.8，水體經過六小時沉澱，透明度程度仍無法看見底部白紙，以上五張圖中透明度排行第三。圖 5.4 的起始水色，無法看見底部白紙，水體混濁不清，以上五張圖中透明度排行第五。

由實驗結果得知，起始水色與無圓蚌的實驗對照組，其透明度皆比有圓蚌的實驗組差上許多，如表 5.4 的透明度排行。而置入圓蚌的水體，第二小時的透明度，比第四小時與第六小時的透明度略差。所以置入圓蚌可提升水體透明度，且置入的時間長短不同，對水體透明度也有會所差異。應是水中藻類數量的多寡，使水體呈現不同的透明度。

表 5.4 水體透明度排行表

圖號	圖 5.4	圖 5.5	圖 5.6	圖 5.7	圖 5.8
透明度順序	5	3	1	1	4
實驗條件	起始水色	水體置入圓蚌 2 小時	水體置入圓蚌 4 小時	水體置入圓蚌 6 小時	起始水色靜置 6 小時

5-6 實驗結果討論

由 5-3 節得知圓蚌可去除的藻種，以及由 5-4 節得知去除藻種所改變的水色。參考許博森(2008)，當河川水色呈現黃綠色時，較為民眾所不偏好之水色且與藍綠藻呈現高度負相關，如表 5.5。由此可知，銅綠微囊藻所呈現的水色圖 5.4，是為民眾所不偏好之水色。且銅綠微囊藻所屬之藍綠藻門所呈現的水色，對於景觀美質偏好具有負面評價。因此圓蚌濾除水中銅綠微囊藻，改善水體黃綠色，讓民眾對於水體之負面評價消失，希望藉此增加民眾親水意願。

表 5.5 景觀美質偏好與藻類種類及數量相關性檢定(許博森，2008)

	美質	偏好	矽藻	綠藻	藍綠藻
偏好	0.957**				
矽藻	-0.125	-0.095			
綠藻	-0.154	-0.187	0.729**		
藍綠藻	-0.763*	-0.761	-0.405	-0.327	
藻類總合	-0.190	-0.161	0.981**	0.748**	-0.074

**表示 $P < 0.01$ ，*表示 $P < 0.05$

再由 5-2 節中的水色照片圖，如圖 5.4~圖 5.8，與藻類濃度總量圖，如圖 5.1，將各時段的藻類濃度與水體透明度進行比較，得知藻類數量越低，水體透明度越高。所以圓蚌降低藻類的數量，可提高水體透明度。參考李彥德(2008)，研究中指出，透明度與視覺感受滿意度達到顯著相關水準，如表 5.6。顯示透明度，對視覺感受滿意度有較確實的影響性。透明度高則視覺感受滿意度高。本文 5-5 節中得知，有置入圓蚌的玻璃缸如圖 5.5、圖 5.6、圖 5.7，皆比無置入圓蚌的玻璃缸如圖 5.4、圖 5.8，其透明度高。而透明度也因圓蚌降低水中藻類濃度，而提升水體透明度，進而增加視覺滿意感受度。

表 5.6 水質因子與視覺感受滿意度之相關性分析(李彥德，2008)

	視覺	溶氧	濁度	透明度
視覺	1	0.607*	-0.05	0.649**
溶氧		1	-0.146	0.039
濁度			1	0.059
透明度				1

第六章 室外實驗結果

6-1 現地養殖圓蚌成長率

6-1-1 同樣養殖方法不同環境下之成長比較

本實驗圓蚌吊養在北埔埤塘 0.6M 的水深(圖 6.1 正方形標記)，從 69.79g 成長至 76.54g，所經時間為 8/3 至 8/19，平均成長速率約為 0.42g/天。吊養在埤塘 0.3M 的水深(圖 6.1 三角形標記)，從 68.09g 成長至 76.28g，所經時間為 8/3 至 8/19，平均成長速率約為 0.51g/天。參考以生物鏈淨化水庫水質試驗計畫的資料加以分析整理，可知圓蚌吊養於新山水庫中，編號 18 測點(圖 6.2 菱形標記)，約從 68g 成長至 73g 所經時間為 6/7 至 8/29，平均成長速率僅約為 0.06g/天。

比較以上不同環境中圓蚌成長率的比較，發現放養圓蚌的起始重量差異不大，但成長率卻有所差異。故圓蚌吊養於水中，不同環境對於圓蚌的成長率仍是有影響。再由環保署之以生物鏈淨化水庫水質試驗計畫，提及新山水庫的葉綠 a 含量小於 $30 \mu\text{g/L}$ 。推估應是水庫的水有在流動，以及水庫的庫區範圍較大，使得水庫的葉綠 a 小於 $30 \mu\text{g/L}$ 。而北埔埤塘的水域範圍相較於水庫而言算小，且北埔埤塘的池水甚少流動，使得葉綠 a 濃度約在 $70 \mu\text{g/L}$ 。經由兩水域圓蚌的成長率大小比較，推測葉綠素 a 濃度為圓蚌成長率影響主要因子，水體的葉綠素 a 濃度高則圓蚌成長率較大。

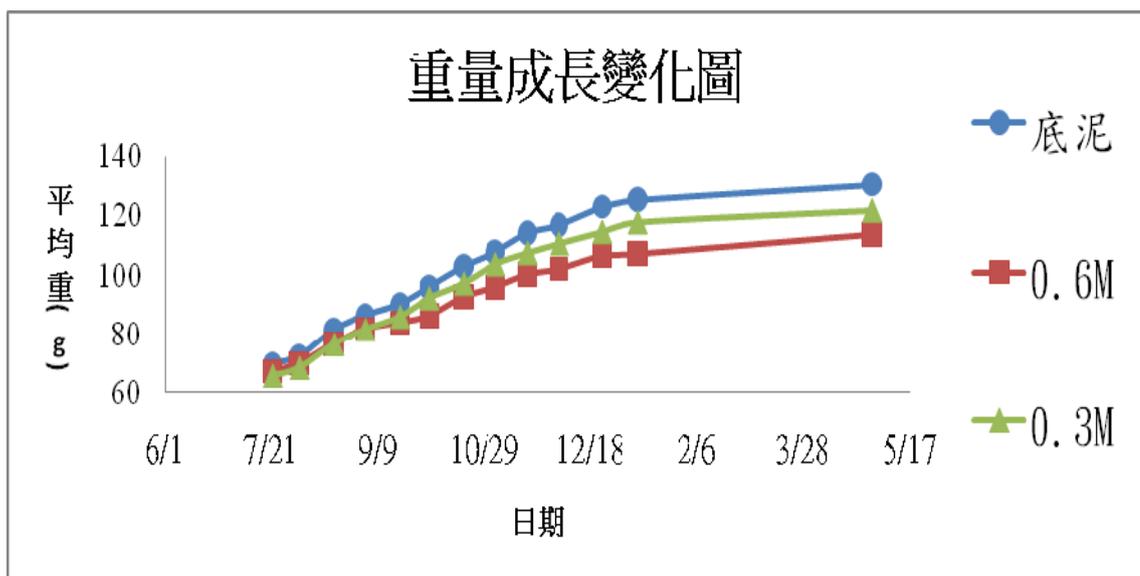


圖 6.1 北埔吊養成長變化圖

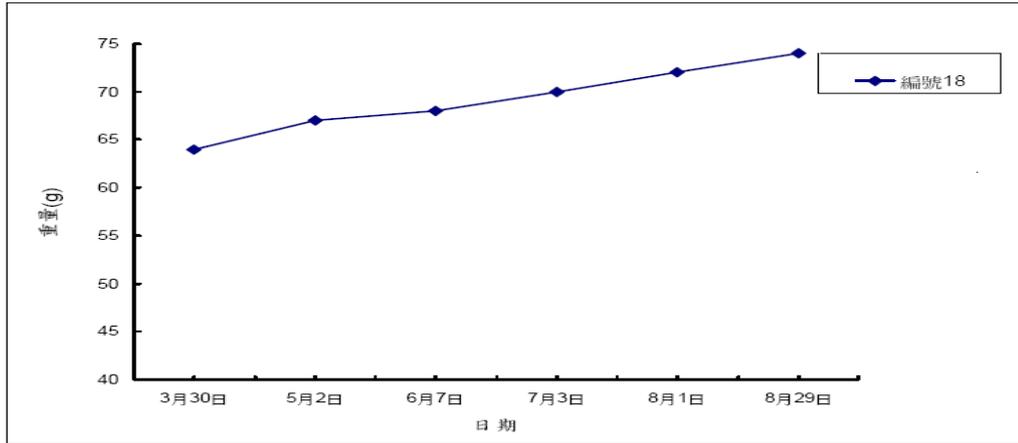


圖 6.2 新山水庫成長變化圖(資料來源環保署)

6-1-2 不同起始重量成長率比較

把已習慣當地環境的 68 顆圓蚌，各將 34 顆圓蚌，分別放置北埔埤塘兩不同測點的底泥中養殖，標記測點為 ST-1.1 及 ST-1.2。如圖 6.3 中，兩測點起始重量差距為 11.64g，但實驗時間由 6/3 至 11/3，測點 ST-1.1 的圓蚌平均成長速率約為 0.321(g/天)，測點 ST-1.2 的圓蚌平均成長速率約為 0.325(g/天)，兩側點的成長率差異不大。

另外以只馴養約 12 小時的圓蚌，放置相同環境的底泥中養殖。如圖 6.4 起始重量相差不多，應是適應環境所以成長率有不同起伏，但 5/3~7/21 的養殖結果，各測點平均重量差異不大。由圖 6.3 與圖 6.4 推估重量差異不大時的圓蚌，在相同環境中成長率也差異不大。

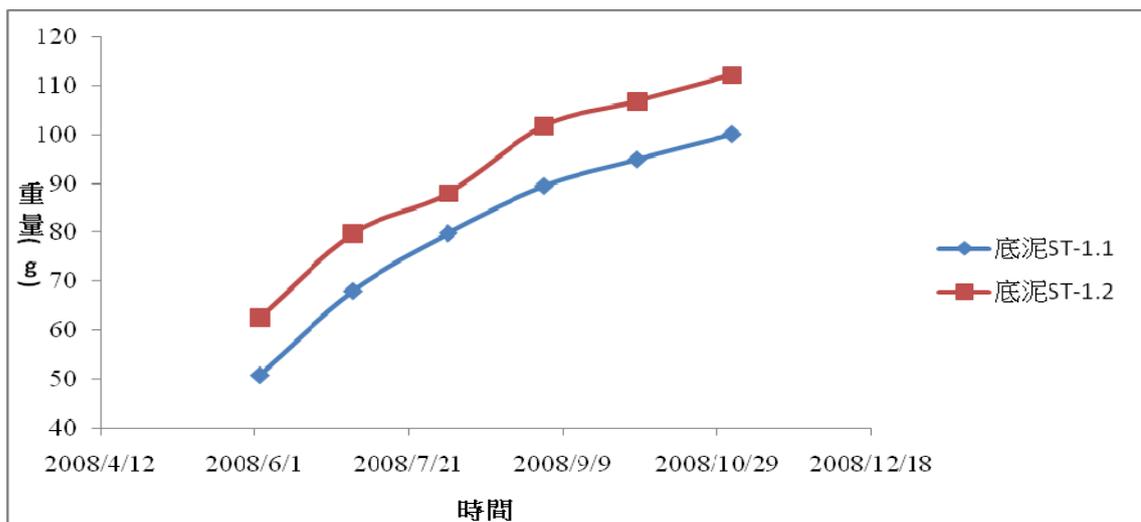


圖 6.3 底泥養殖成長圖

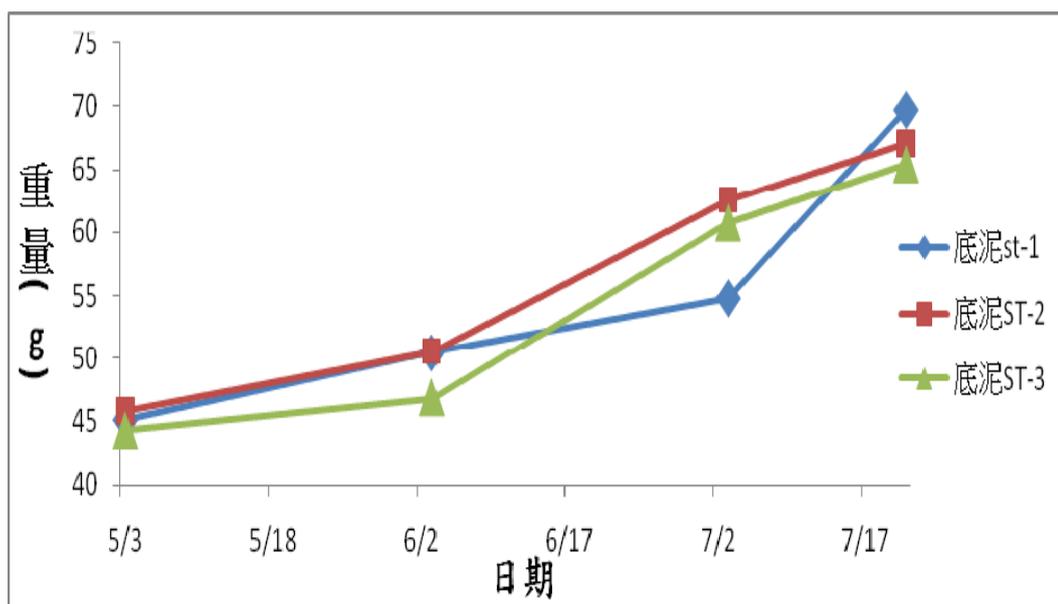


圖 6.4 底泥養殖成長圖

6-2 養殖方式與養殖水深討論

本節探討圓蚌養殖於相同埤塘中，不同水深環境裡的圓蚌重量變化。將圓蚌養殖在水深 0.3 公尺與水深 0.6 公尺及底泥中，如上圖 6.1，各測點起始重量相差無幾。

當實驗結束時，以放置底泥中的圓蚌(圖 6.5 中圓形標記)，其平均重量為三種水深中，重量成長最多的測點。實驗期間自 97/7/21 到 98/4/29 的平均成長速率為 0.216g/天，實驗全程圓蚌的平均重量成長率為 87.16%。在 97/7/21~98/4/29 的養殖期間，養殖在底泥中的 106 顆圓蚌，死亡數目為 7 顆，為三種水深中，死亡百分比(6.6%)最少的測點。

而吊養在 0.3 公尺的圓蚌(圖 6.5 中三角形標記)，在三種水深中，其圓蚌的成長率排行為第二，平均成長速率為 0.2g/天，實驗全程圓蚌的平均重量成長率為 86.32%。在 97/7/21~98/4/29 的養殖期間，吊養在 0.3 公尺的 81 顆圓蚌，死亡數目為 7 顆，為三種水深中，排名第二的死亡百分比(8.64%)。

吊養在 0.6 公尺的圓蚌(圖 6.5 中 正方形標記)，平均成長速率為 0.166g/天，實驗全程圓蚌的平均重量成長率為 69.58%且死亡百分比為 12.9%。將圓蚌的成長變化整理如表 6.1。

表 6.1 圓蚌的成長變化

養殖條件	數量	平均成長速率	平均重量成長率	死亡百分比
吊養於 0.3 公尺水深	81	0.2 g/天	86.32%	8.64%
吊養於 0.6 公尺水深	93	0.166 g/天	69.58%	12.9%
養殖底泥中	106	0.216 g/天	87.16%	6.6%

再將每次檢測的圓蚌重量成長百分比逐次累積，製作如圖 6.5。由圖 6.5 觀察圓蚌九個月的累積成長百分率，吊養於 0.3 公尺及置養於底泥中，兩種養殖方式的成長率變化差異不大。且吊養於 0.3 公尺及置養於底泥的兩種養殖方式，在養殖於現地五個月後，兩種養殖方式圓蚌的累積成長率也漸於平緩。由目前的數據評估，吊養於 0.3 公尺或養殖底泥中，對於圓蚌的成長差異不大。

而吊養在 0.6 公尺水深的圓蚌，其累積成長率最差(下圖 6.5 中正方形標記)。以及如表 6.1 中，吊養在 0.6 公尺的平均成長速率、平均重量成長率、平均重量成長率，都較其他兩種水深差。推測或許是該測點的圓蚌有發生疾病。或許是該測點的圓蚌體質較為虛弱。或許是 0.3 公尺水深較易接觸陽光的照射，讓藻類繁殖較快，令圓蚌有較多的食物。或許是圓蚌養殖於底泥中，有底泥覆蓋以保護圓蚌。使得吊養在 0.6 公尺水深的圓蚌，成長速率較緩慢。此仍有待後續研究加以確認。

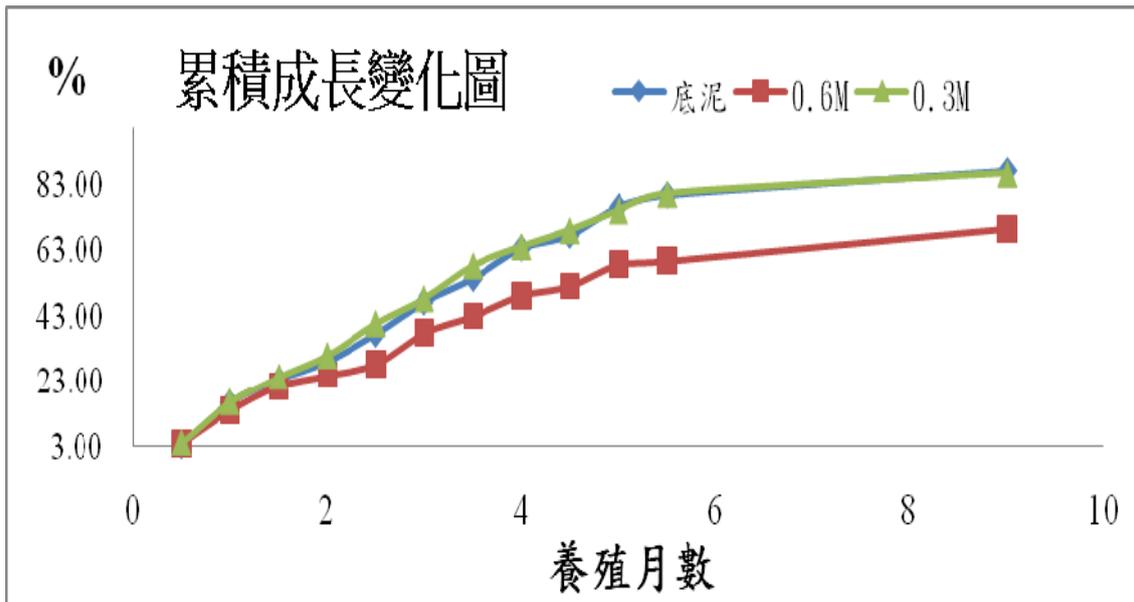


圖 6.5 圓蚌成長率百分比圖

6-3 室外實驗結果討論

本研究利用食物鏈移除水體污染，所以生物重量成長越多則代表移除水體中越多的物質。本文探討圓蚌養殖於埤塘的重量變化，推測以葉綠素 a 濃度為重量成長變化的主要因子。若以移除水體污染為前提，因重量差異不大時成長率也相差不多，建議可將圓蚌分大、中、小體型，且選用同體型較重的圓蚌，應可去除水中較多的污染。再因圓蚌育珠有經濟價值，經人力從水中移除圓蚌，間接的降低水中營養鹽類。

圓蚌一般生活於底泥中，但圓蚌養殖於底泥與吊養於 0.3M 水深，重量成長率差異僅 0.84%，兩者成長率差異不大。參考涂致道(2007)，微囊藻為藍綠藻的一種，細胞通常成球形、類橢圓型，細胞內含有氣囊 (gas vesicle)，因此能漂浮在水面，並藉此得以在水體中進行垂直升降 Roberts and Zohary(1987)，以在爭取陽光上獲得細胞(藻類)族群競爭優勢。

而養殖於底泥中的圓蚌，雖然也具有改善水色的效果，但圓蚌養殖於底泥中所濾食的藻種，可能不是與景觀美質偏好，呈現高度負相關的藍綠藻。建議在同一水體中，將圓蚌養殖於 0.3M 水深，可濾食易浮於上層水位的藍綠藻，對於水色及視覺感受滿意度，改善之效果較佳。

第七章 結論與建議

經由室內的實驗結果，可知圓蚌具有改善水色的功能，再由室外養殖圓蚌的成長變化數據，建議圓蚌的養殖水深。本實驗可歸納整合出以下幾點結論與建議。

1.由室內實驗觀察得知，圓蚌可使水中濁度降低，圓蚌可提高水體透明度，因此圓蚌可提升視覺滿意感受度。

2.由室內實驗得知，由圓蚌濾食的行為，可降低水中藻類濃度，減少水中矽藻、綠藻、藍綠藻、裸藻的濃度，可改善水色過濃現象。對於極小曲殼藻、遠距直鏈藻、顆粒直鏈藻、奇異棍形藻、梅尼小環藻、細菱形藻、集星藻、銅綠微囊藻，皆有良好去除效果。

3.由室內實驗得知，經由圓蚌所去除的藻種，可減少該藻種所引起的水色。如圓蚌去除水中銅綠微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)，使水色由深濃的黃綠色變為淡淡黃色，提升景觀美質偏好。

4.由室內實驗的底泥實驗中得知，雖然圓蚌可降低濁度與改善水色，但底泥的存在，水樣最後仍會具有淡淡的微黃色。

5.室外實驗可得知，水中葉綠素 a 濃度會影響圓蚌成長，水中有較高的葉綠素 a 濃度，可使圓蚌成長率較高。

6.在相同的環境中養殖圓蚌，儘管初始重量有所差異，但成長率卻差異不大，故大圓蚌的除污效果較好。

7.以目前養殖九個月的數據得知，圓蚌養殖於底泥與吊養於 0.3M 水深，重量成長率差異僅 0.84%，兩者成長率差異不大。建議在同一水體中，將圓蚌養殖於 0.3M 水深，可濾食易浮於上層水位的藍藻，對於水色及視覺感受滿意度，改善之效果較佳。

8.圓蚌養殖生產淡水珍珠具有經濟價值，但若養殖圓蚌的水體中，檢驗出微囊藻等具有毒性藻類存在，則仍待評估養殖的圓蚌之食用價值。

參考文獻

1. 中國農業網技術中心專欄：
<http://www.zgny.com.cn/TechHtml/5/5/0/50527.html>，水質的判斷技術與方法。
2. 王淳弘，2007，「前氧化劑對於藻體胞外物作用之影響」，國立成功大學環境工程所碩士論文。
3. 謝嘉峰、吳健銘、翁明祥、賴明芬、沈美慧，1997，海水中農藥檢測方法之研究與建立，行政院環境保護署環境檢驗所，台北。
4. 胡征宇、畢永紅，2005，水色及其藻類之關係，生態科學期刊01期，萬方數據網<http://scholar.ilib.cn/Abstract.aspx?A=stkx200501019>。
5. 任洪濤、張光勤，2007，淺談浮游植物與水質的關係，中國水產，10：73-74。
6. 賴雪端，2007，台灣本土性底棲藻類做為河川水質生物指標之研究，中興大學植物學研究所博士論文。
7. 邱仕彰，2007，養殖池水色成因與水色管理，台肥季刊01期。
8. 李彥德，2008，「利用使用者視覺與嗅覺觀點探討漁港水域水質評估之研究」，國立交通大學土木工程學系碩士論文。
9. 許博森，2008，「河川水色與景觀美質偏好研究」，中華大學景觀系碩士論文。
10. 吳俊宗、陳弘成、郭振泰、吳先琪等，2007，「以生物鏈淨化水庫水質試驗計畫」，國立台灣大學研究報告，行政院環境保護署委託計畫。
11. 柯清水，1999，養殖池中藻類過度生長之控制，養魚世界(p.35~40)。
12. Yamamuro, M.，1999，Eutrophication control through food web management in estuarine lagoons.，<http://staff.aist.go.jp/m-yamamuro>.
13. 楊東妹、陳宇煒、劉正文、吳慶龍，2008，背角無齒蚌濾食對營養鹽和浮游藻類結構影響的類比，*J. Lake Sci.*。

14. 劉富光，1983，河蚌養殖與其珍珠人工生成之研究，中國文化大學海洋研究所碩士論文。
15. 葉益良，2007，「水庫生物相調查與生物鏈方法處理水庫優養化現象之研究-以新山水庫為例」，國立臺灣大學生命科學學院漁業科學研究所碩士論文。
16. 涂致道，2007，銅綠微囊藻毒素釋放之研究，國立中央大學生命科學研究所碩士論文。
17. Robarts, R.D. and Zohary, T. , 1987 , Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration, and growth rates of bloom-forming cyanobacteria. , *J. Mar. Freshwater Res.*, 21, 391-399.

