

# 中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學科

**第二名**

030806

**搶救校園水池大作戰**

學校名稱：新北市立正德國民中學

作者：  國一 陳睿恩	指導老師：  王志銘  王騰葵
-------------------	-----------------------------

關鍵詞：水質、過濾、生態池

## 摘要

本研究主要目的為改善原本混濁不淨的校園水池的水質，在了解水池水質及外在環境後，依觀察結果執行水質改善計畫。首先觀察水池外觀、pH 值變化及水生植物水芙蓉在水池不同位置、環境中的生長情形。由水芙蓉實驗可知，過強的水流或過度優養化的水質會影響其生長。由此在上水池自行建置一套水流較慢的濾水與魚菜共生系統、種植布袋蓮，來執行改善水池水質的計畫並觀察魚菜共生系統蔬菜的生長情形。由實驗得知，適量過濾的有機營養池水對於植物的生長提供了較佳環境。而經過濾及蔬菜、布袋蓮吸收、淨化後的池水讓水池的水質有明顯改善，變得較透徹且乾淨，使校園水池能成為一個可做生態教學且衛生無虞的生態水池。

## 壹、研究動機

國小時，因班上有人參加科展，讓我對科學研究燃起了興趣，卻苦無機會。國中時，終於得到了機會可以對我喜好的科學，進行一個意義深遠的專題研究。學校裡有一個水池，給大家的第一印象就是髒、水混濁不清、偶有死魚漂浮其中，就算換水後也是不久就髒了，因此想應用生態池的概念來淨化校園水池，於是運用自製過濾系統及魚菜共生的概念，設計實驗來改善校園水池水質。希望藉由本次的專題研究來淨化、美化校園水池，提供大家一個優雅的學習環境。

## 貳、研究目的

- 一、觀察水芙蓉與魚菜共生蔬菜在校園水池不同環境下的生長情形，了解水流、水質對植物生長情形的影響。
- 二、利用自製濾水與魚菜共生系統，並且種植布袋蓮來改善校園水池的水質，提供給全體師生一個乾淨而健康的生態池。

## 參、研究設備及器材

表一、水芙蓉生長實驗器材

品名	單位	數量	品名	單位	數量
水桶	個	6	水芙蓉	朵	18
洗衣籃	個	12	數位相機	臺	1
電子天平	臺	1	青蛙裝	套	1

表二、魚菜共生系統器材

品名	單位	數量	品名	單位	數量
普力桶 120L	個	8	普力桶 140L	個	1
福山萵苣菜苗	株	42	蘿蔓菜苗	株	42
石英砂	公斤	15	礫石	公斤	15
10cmPVC 管 1.5 吋	支	15	5cmPVC 管 1.5 吋	支	7
PVC 彎管 1.5 吋	支	7	PVC 接頭 1.5 吋	個	23
100cmPVC 管 1.5 吋	支	1	70cmPVC 管 1.5 吋	支	2
50cmPVC 管 1.5 吋	支	1	T 字型 PVC 管 1.5 吋	支	1
排水筏	個	1	1 吋 PVC 管	支	1
1 吋 PVC 接頭	個	1	兩吋水耕盆	個	84

表三、水質檢測器材

品名	單位	數量	品名	單位	數量
pH 計	臺	1	恆溫箱	臺	1
電導計	臺	1	培養皿	個	15
濁度計	臺	1	BOD 瓶	個	30
微量天平	臺	1	定量瓶	個	6
45 $\mu$ m 玻璃纖維濾紙	片	60	錐形瓶	個	15
微量滴管	支	1	滴定管	支	1
大腸桿菌濾片	片	18	化學需氧量試劑	管	50
微量滴管頭	個	25	磷酸試劑	管	45
抽氣過濾設備	組	1	氨氮試劑	管	50
BOD 無菌稀釋水	公升	20	硫代硫酸鈉 0.025M	毫升	1000
硫酸亞錳	毫升	200	疊氮化鈉	毫升	200
濃硫酸	毫升	200	烘箱	臺	1

圖一、自製過濾桶

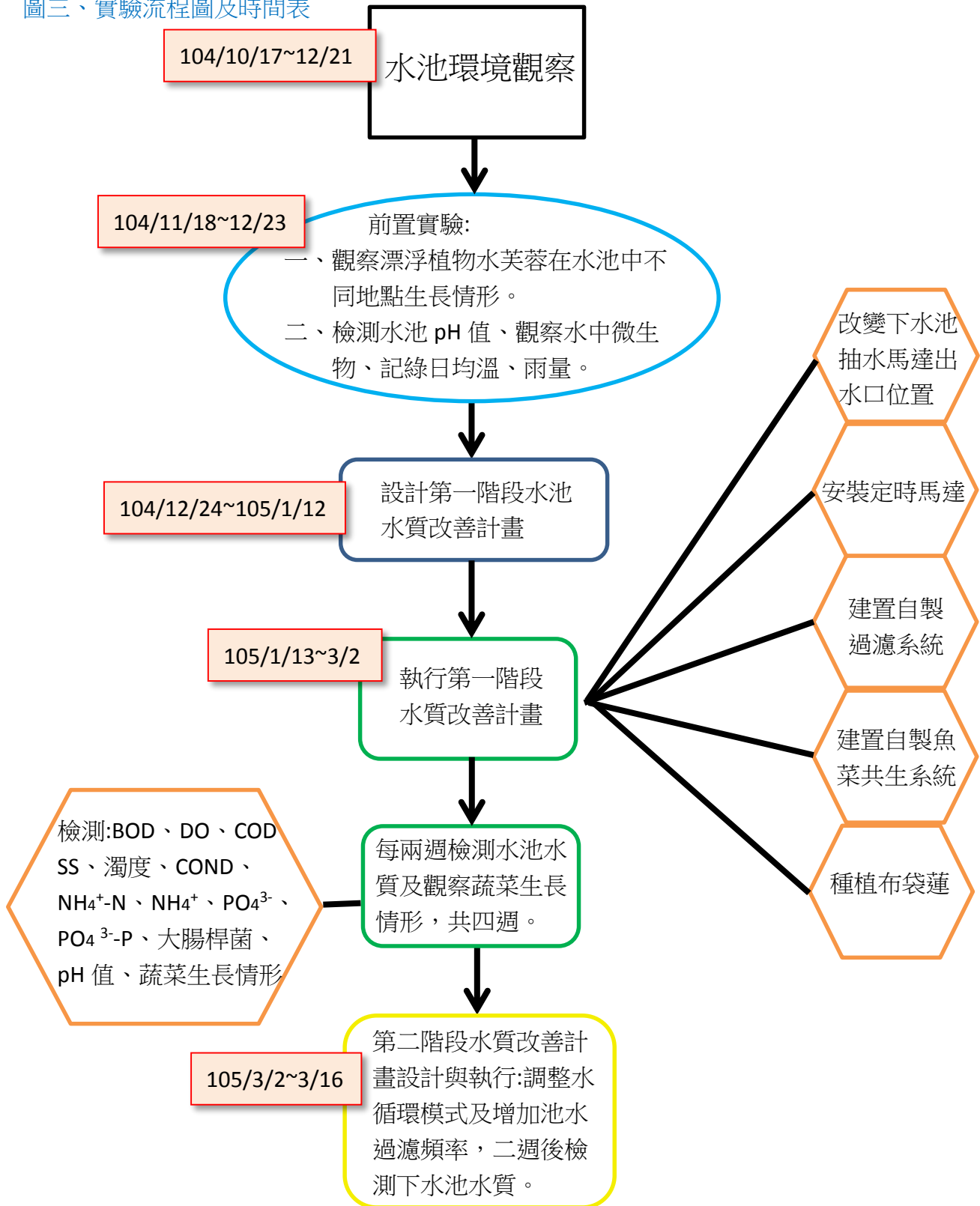


圖二、水質檢測器材



## 肆、研究過程或方法

圖三、實驗流程圖及時間表



一、水池外在環境調查:池水體積、抽水循環時間、池水來源、周邊設施、水生動物，檢測地下水、自來水與雨水之 pH 值，觀察池水外觀變化。

二、前置實驗:

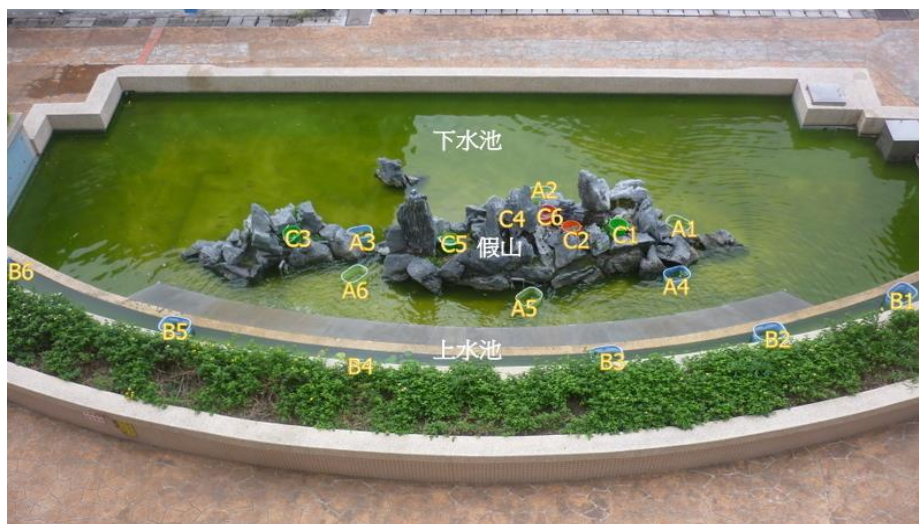
(一) 觀測在上、下水池及假山上的自來水桶中的水芙蓉生長情形:

- 1.將水芙蓉分為 A、B、C 三大組，每一組含有六盆。A 組水芙蓉放在下水池，B 組水芙蓉放於上水池，C 組水芙蓉則放置於假山中的自來水桶中，如圖五所示。
- 2.記錄水芙蓉放入水池前之重量、根部長度，再將水芙蓉放入洗衣籃並放入上、下水池中，及假山中的自來水桶內。
- 3.每隔一週撈起水芙蓉記錄重量、根部長度，共四週。

圖四、假山上自來水桶中的水芙蓉



圖五、水芙蓉放置於水池位置圖



(二)每隔 2 日於水池甲、乙、丙、丁、戊、己、庚等七水質檢測點取水檢測 pH 值，並記錄當日氣溫均溫、降雨量，及水樣微生物觀察，共檢測 15 次。

圖六、取水位置示意圖



表四、取水位置表

水樣編號	位置說明
甲	下水池外側。
乙	下水池內側。
丙	上水池靠近出水口處。
丁	上水池遠離出水口處。
戊	假山上 C6 水芙蓉的自來水桶。
己	假山上 C4 水芙蓉的自來水桶。
庚	假山上 C3 水芙蓉的自來水桶。

### 三、魚菜共生系統及濾水系統改善水池水質實驗:

(一)1.第一階段:如圖七所示將過濾箱、淨水箱、植菜箱接頭接齊，並將 1 個淨水箱及 7 個植菜箱放入上水池，植菜箱每箱種 11 株蔬菜(福山萵苣、蘿蔓)，放入水池中，以 PVC 管連通，將礫石、石英砂等濾材放入過濾箱，盆栽放入植菜箱中，並於上水池種植 2 平方公尺的布袋蓮。水循環模式由原先直接從下水池抽水至上水池，再溢流回下水池，更改為馬達抽水後直接從下水池上方噴入水中增加溶氧，並關閉上水池出水口。另外裝設一顆馬力較小的抽水馬達，以定時器設定每天 8:00，16:00，24:00 抽水每次 30 分鐘，以每分鐘 70 公升的速率將下水池的水抽至上水池的過濾箱，過濾後流至淨水箱再放流至 7 個植菜箱，再流至上水池布袋蓮區後溢流至下水池。重複本過濾共

生系統 28 日，每 14 日觀察並記錄水質改善情形。

2.第二階段:將抽水時間改為每天六次(4:00、8:00、12:00、16:00、20:00、24:00)，每次三十分鐘，為加快循環頻率及避免蚊蟲孳生，因此開啟下水池馬達抽部分水至上水池的出水口。14 日後檢測下水池水質的變化並記錄。

圖七、濾水、魚菜共生系統及 4 個取水點 A、B、C、D 位置示意圖



圖八、測量蘿蔓重量



(二)1.第一階段實驗，每隔兩週，共四週，分別於淨水箱(A)、第 7 植菜箱(B)、布袋蓮(C)、下水池中心處(D)4 監測點各取水樣 3000ml 檢測，以碘定量法檢測溶氧量；生化需氧量檢測方法檢測生化需氧量；利用 103~105 度乾燥法進行懸浮固體檢測；利用濾膜法進行大腸桿菌檢測；快篩試劑進行化學需氧量、氨氮(氨)、磷(磷酸)的檢測；用儀器檢測濁度、電導度、pH 值；計算 RPI 值；記錄水質檢測前五日均溫、雨量。



2.第二階段實驗兩週後，重覆前述步驟 1.實驗檢測下水池水質並記錄。

### (三)實驗操作說明:

#### 1.溶氧量檢測方法(碘定量法)：

- (1)採集 300ml 水樣盛裝於 BOD 瓶中加入硫酸亞錳、疊氮化鈉溶液各 1ml，並搖晃 BOD 瓶，待沉澱物完全沉澱，再加入 1ml 濃硫酸，然後搖晃至無固體沉澱物，再量取 201ml 水樣至錐形瓶中。
- (2)以硫代硫酸鈉滴定錐形瓶中水樣至淺黃色，加入澱粉液至藍黑色，再繼續滴定至透明後，計算硫代硫酸鈉用量。
- (3)依溶氧量計算公式計算溶氧。

$$\text{計算公式:溶氧量(mg/l)} = \frac{A \times N \times \frac{32}{4}}{\frac{V_1}{1000} \times \frac{V - V_2}{V}} = \frac{A \times N \times 8000}{V_1} \times \frac{V}{V - V_2}$$

A = 水樣消耗之硫代硫酸鈉滴定溶液體積 (ml)

N = 硫代硫酸鈉溶液當量濃度(N)=莫耳濃度 (M)

V<sub>1</sub>= 滴定用的水樣體積 (ml) =201ml

V = BOD 瓶之體積 (ml) =300ml

V<sub>2</sub>=2 ml:1 ml 硫酸亞錳溶液及 1 ml 疊氮化鈉溶液體積。

#### 2.生化需氧量檢測方法：

- (1)取 300ml 無菌稀釋水進行溶氧碘定量法，測出溶氧，如檢測值低於 8.0mg/l，則利用打氣設備將無菌稀釋水溶氧升高至 8.0mg/l 以上，再進行水樣檢測。
- (2)取 200ml 無菌稀釋水+100ml 水樣，調配成稀釋倍數為三倍的檢測水樣，依溶氧量碘定量法計算檢測水樣溶氧。
- (3)將檢測水樣以及無菌稀釋水依 1:2 比例裝入 BOD 瓶中，以水封的方式密封放入恆溫箱中維持於 20 度 C，五天後取出水樣進行溶氧碘定量法，測出溶氧。
- (4)將上述步驟(3)測得的溶氧減去首日溶氧，並乘以稀釋倍數，即得五日之生化需氧量。

3.懸浮固體檢測方法：

- (1)測量蒸發皿及玻璃纖維濾片原重，再取 100ml 水樣以玻璃纖維濾片進行過濾。
- (2)將步驟(1)的蒸發皿及水樣過濾後的玻璃纖維濾片，放入 103~105 度 C 烘箱中一個小時，取出後待蒸發皿及玻璃纖維濾片降至室溫，測量重量。
- (3)將步驟(2)所測得重量減去原重量並乘以 10，得每公升水樣所含懸浮固體重量。

4.大腸桿菌檢測方法：

- (1)取 100ml 水樣利用濾片過濾並放入培養皿中培養基，放入恆溫箱維持 35 度 C。
- (2)待 48 小時後，取培養皿計算菌落數，得每 100ml 水樣中所含大腸桿菌菌落數。

5.利用快篩試劑進行化學需氧量、氨氮(氨)、磷(磷酸)的檢測:利用快篩藥劑的塑膠管吸取定量的水樣，在達到反應時間後觀察藥劑溶液的顏色，比對色卡，判定結果。

圖九、氨氮(氨)快篩試劑



6.利用濁度計檢測濁度，水質檢測儀檢測電導度、pH 值。

7.河川汙染指標計算:

表五、河川汙染指標

監測項目 \ 汙染等級	未(稍)受汙染	輕度汙染	中度汙染	嚴重汙染
溶氧量(DO)mg/L	≥6.5	4.6~6.5	2.0~4.5	< 2.0
生化需氧量(BOD <sub>5</sub> )mg/L	≤3.0	3.0~4.9	5.0~15.0	> 15.0
懸浮固體(SS) mg/L	≤20.0	20.0~49.9	50.0~100	> 100
氨氮(NH <sub>3</sub> -N)mg/L	≤0.50	0.50~0.99	1.00~3.00	> 3.00
點數	1	3	6	10
汙染指數積分平均值(S)	≤2.0	2.1~3.0	3.1~6.0	> 6.0

## 伍、研究結果

### 一、水池環境調查

#### (一)水池環境調查

圖十、水池全景



表六、水池環境調查結果

觀察項目	結果	備註
水生動物	吳郭魚、烏龜、鯽魚、下口鮰(垃圾魚)、蟾蜍、青蛙。	
周邊設施	1:排水孔，水池的水過多時，可由此孔溢出水。 2:排水孔，當水過多時溢入3的涵箱之中。 3:排水用的馬達。 4:將水打至上水池之馬達，進行水循環。 5:出水孔，將4馬達抽的水排出。 6:進水孔，當水不足時可從此處進水，連接至雨撲滿。	
池水來源	1/2 地下水，1/2 自來水。 地下水 pH 值:7.9；自來水 pH 值:7.3；雨水 pH 值:5.1。	注滿水後，若無特殊情形，即不再注入新水，而是用雨水來補充。
原有下水池馬達抽水循環時間	7:30 8:30 9:30 10:45 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00	17:00 18:00 均打水 15 分鐘，其餘 30 分鐘。
水池池水體積	大約 7.47 立方公尺。	

(二)水池表面外觀觀察

圖十一、11/18 水池外觀



結果:水池經清洗後 3 日，水質清澈，可看見底部。

圖十二、11/25 水池外觀



結果: 水池經清洗 10 日後，水質開始變得混濁但還可看見底部。

圖十三、12/21 水池外觀

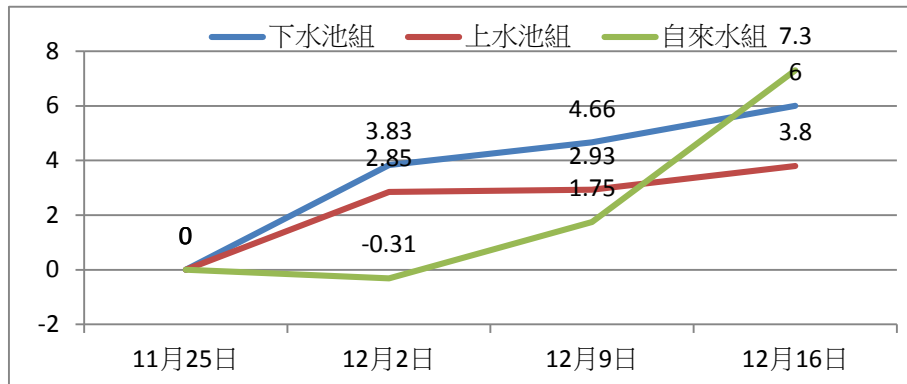


結果：水池經清洗 36 日後，水質混濁看不清底部。

## 二、前置實驗

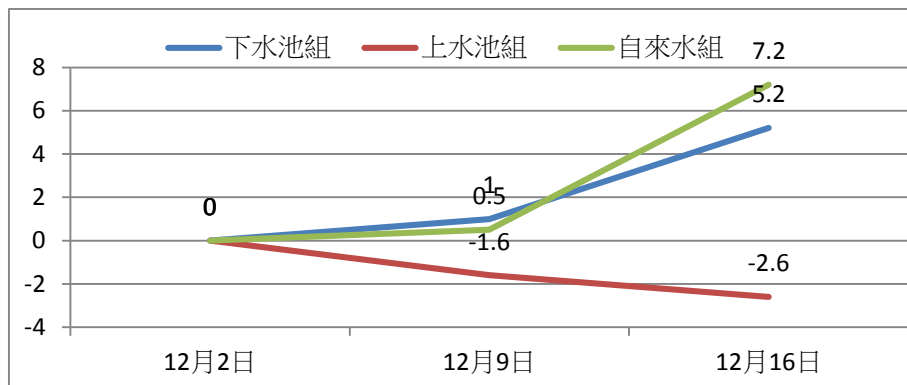
### (一)水芙蓉之成長記錄

圖十四、上、下水池及自來水組水芙蓉重量增加的平均值變化(gw)



結果:自來水組水芙蓉重量增加的平均值剛開始呈現負成長，但到了第三週(12/16)時超越上、下水池水芙蓉重量增加的平均值，且下水池水芙蓉比上水池水芙蓉長的好。

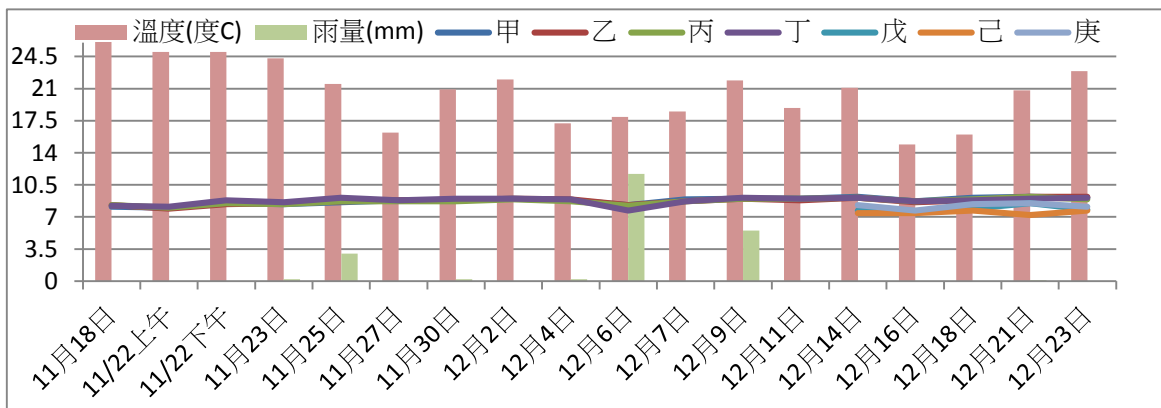
圖十五、上、下水池及自來水組水芙蓉根部長度增加的平均值變化(cm)



結果:自來水組水芙蓉根的平均增加長度較其餘兩組多，上水池的根卻逐步萎縮。

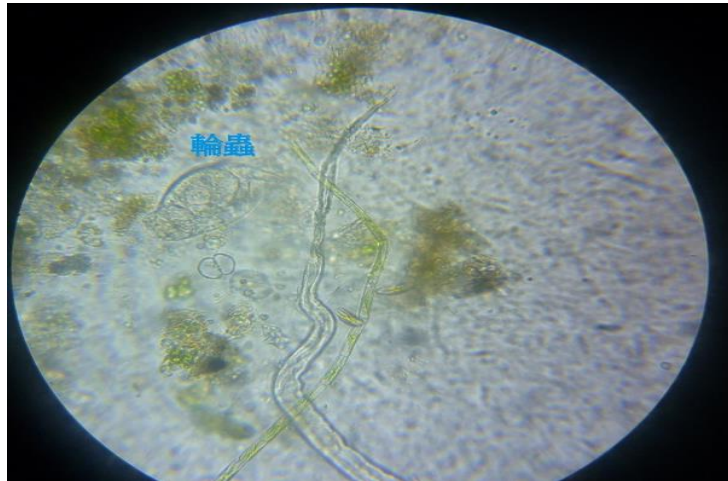
### (二)水池 pH 值、每日均溫、雨量、水中微生物觀察

圖十六、水池觀測日的雨量、均溫、七個觀測點(甲~庚)pH 值觀測結果



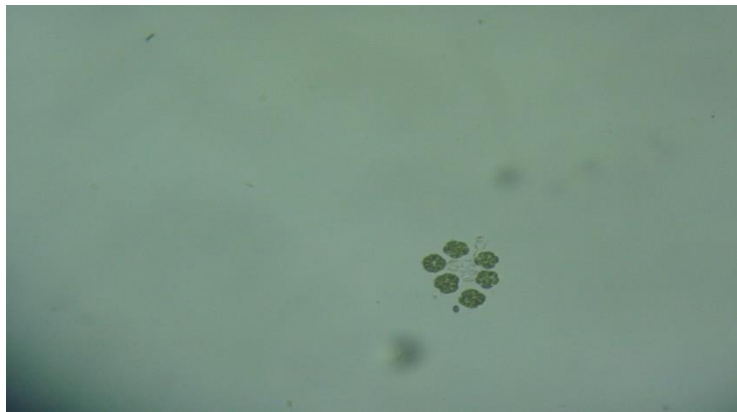
結果:由圖可知，校園水池 pH 值是屬於偏鹼性的，且下雨會影響 pH 值，使水池 pH 值降低。

圖十七、11/22 觀察上水池右側(D 點)水樣



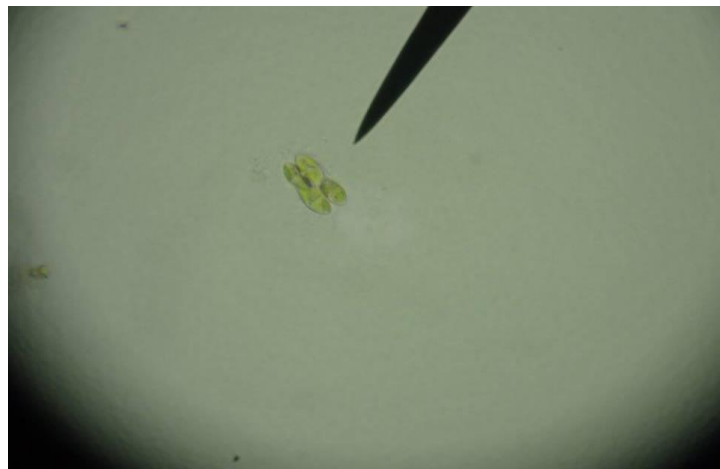
結果:發現會移動的輪蟲。

圖十八、12/11 觀察下水池內側(B 點)水樣



結果:水池中採集到的藻類。

圖十九、3/9 觀察下水池外側(A 點水樣)

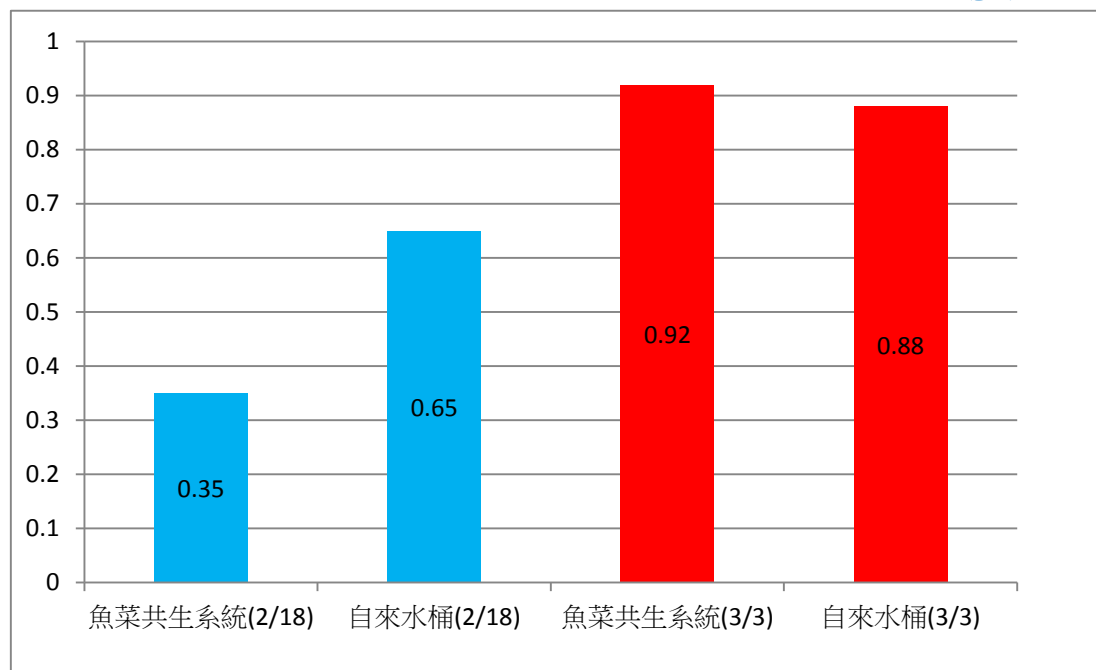


結果: 水池中採集到的藻類。

### 三、魚菜共生系統及濾水系統的實驗觀察

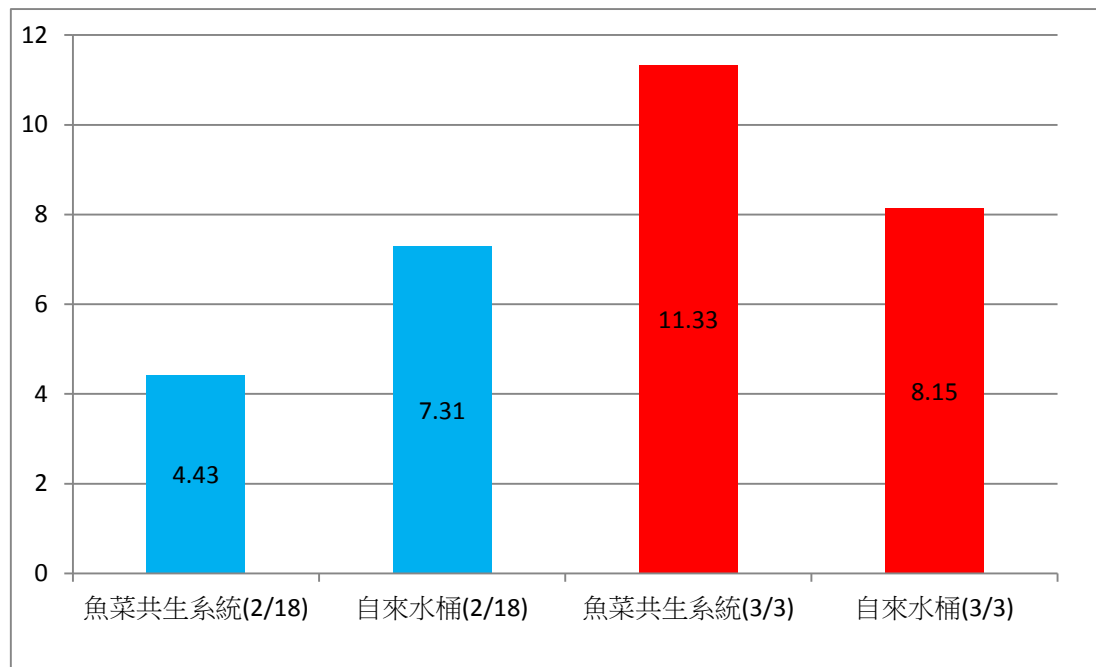
#### (一)魚菜共生系統蔬菜生長情形

圖二十、魚菜共生系統、自來水對照組蔬菜重量增加的平均值(gw)



結果:魚菜共生系統中蔬菜，經過四週(2/2~3/3)的生長重量增加的平均值較多。

圖二十一、魚菜共生系統蔬菜、自來水對照組蔬菜根部長度增加的平均值(cm)

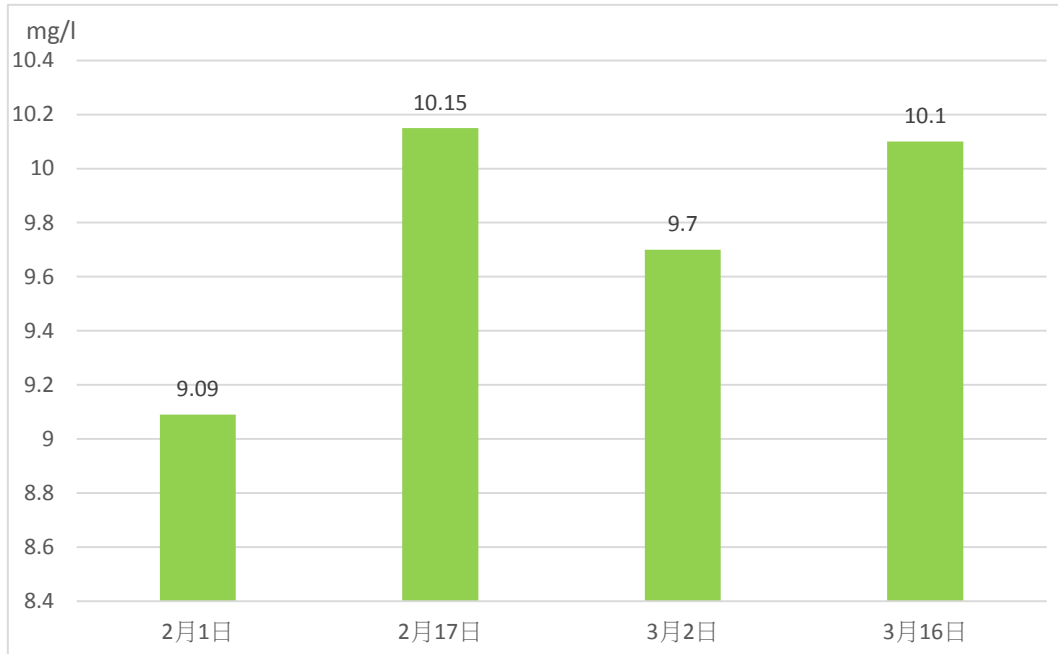


結果:魚菜共生系統蔬菜根部長度增加的平均值，經過四週(2/2~3/3)的成長，明顯比自來水對照組來的好。

## (二)水質分析

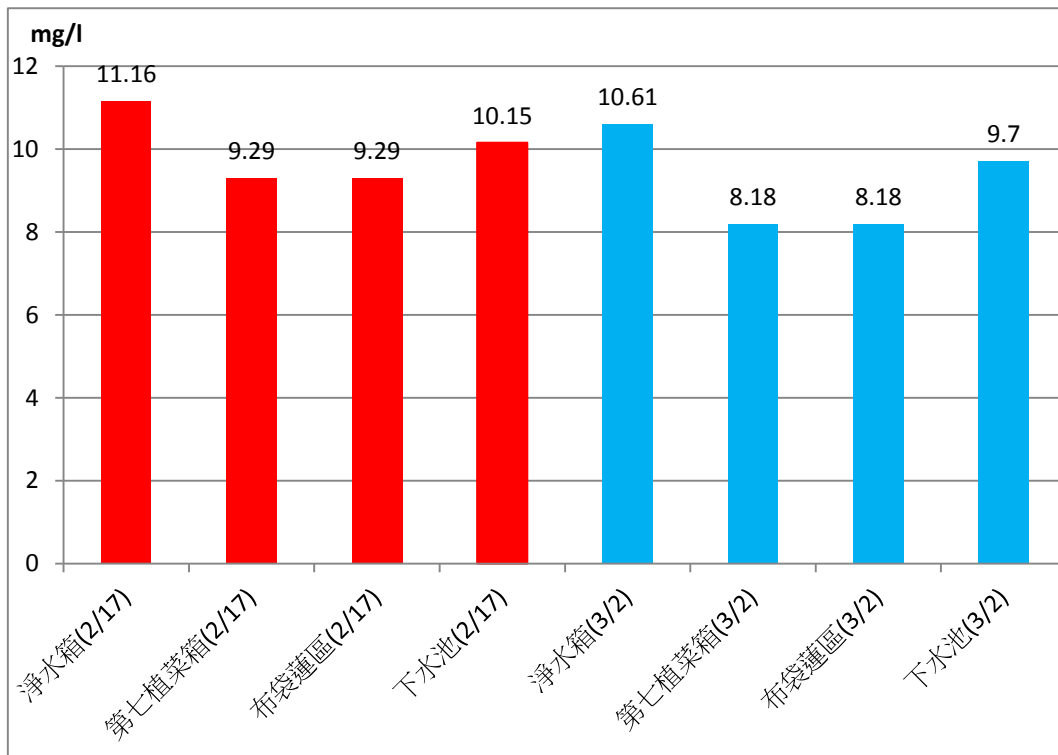
### 1.溶氧量檢測:

圖二十二、下水池溶氧量變化圖



結果:2/2 啓用魚菜共生、過濾系統實驗後下水池的溶氧增加，平均有 9.79%的溶氧增加量。

圖二十三、4 個水質監測點溶氧量比較

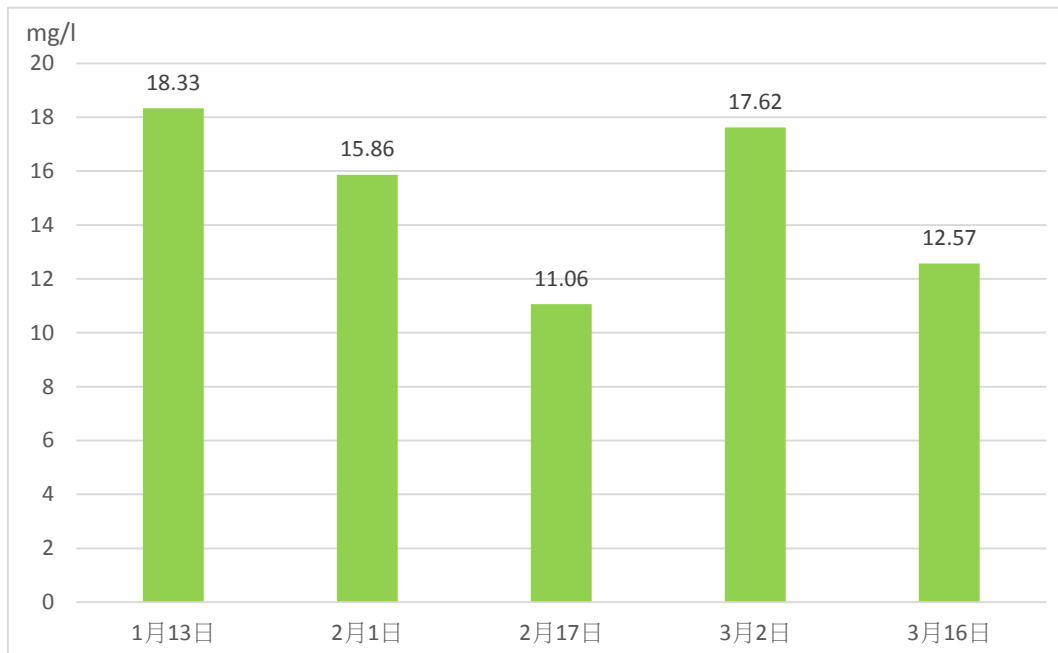


結果:淨水箱的溶氧量最高，下水池溶氧較第七植菜箱、布袋蓮區高。



## 2.生化需氧量檢測:

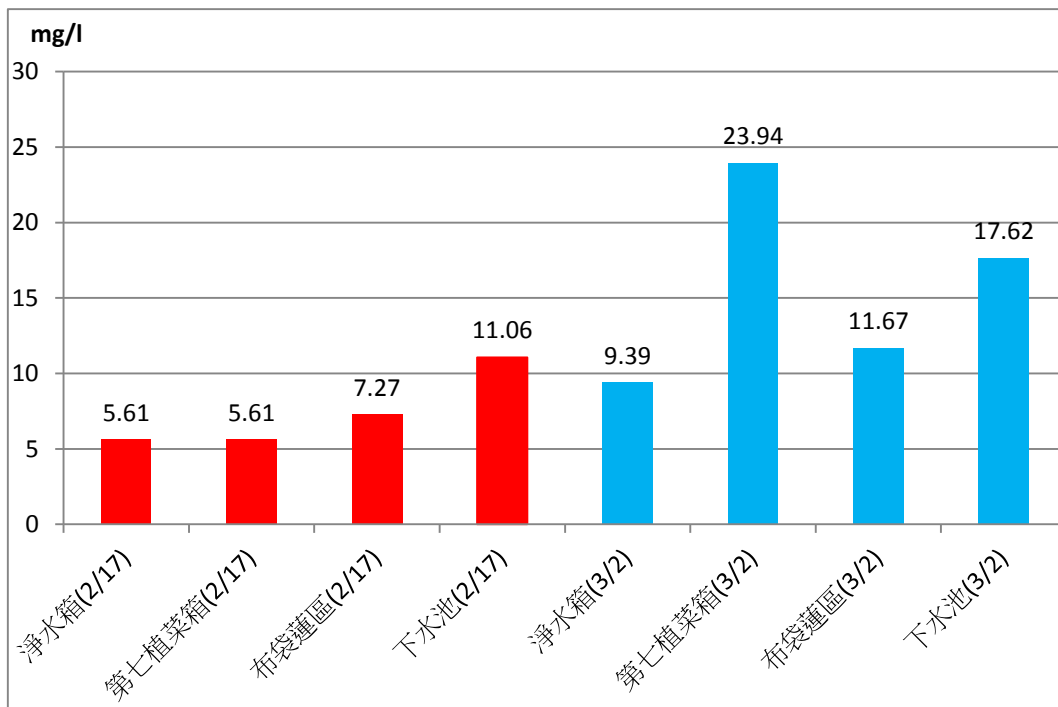
圖二十四、下水池生化需氧量變化圖



結果: 2/2 啓用魚菜共生及水池過濾系統後，水池的生化需氧量降低，但 3/2 有略微提升現象。

調整水循環模式、頻率後 3/16 生化需氧量再次下降，平均降低 19.57%的生化需氧量。

圖二十五、4 個水質監測點生化需氧量比較圖

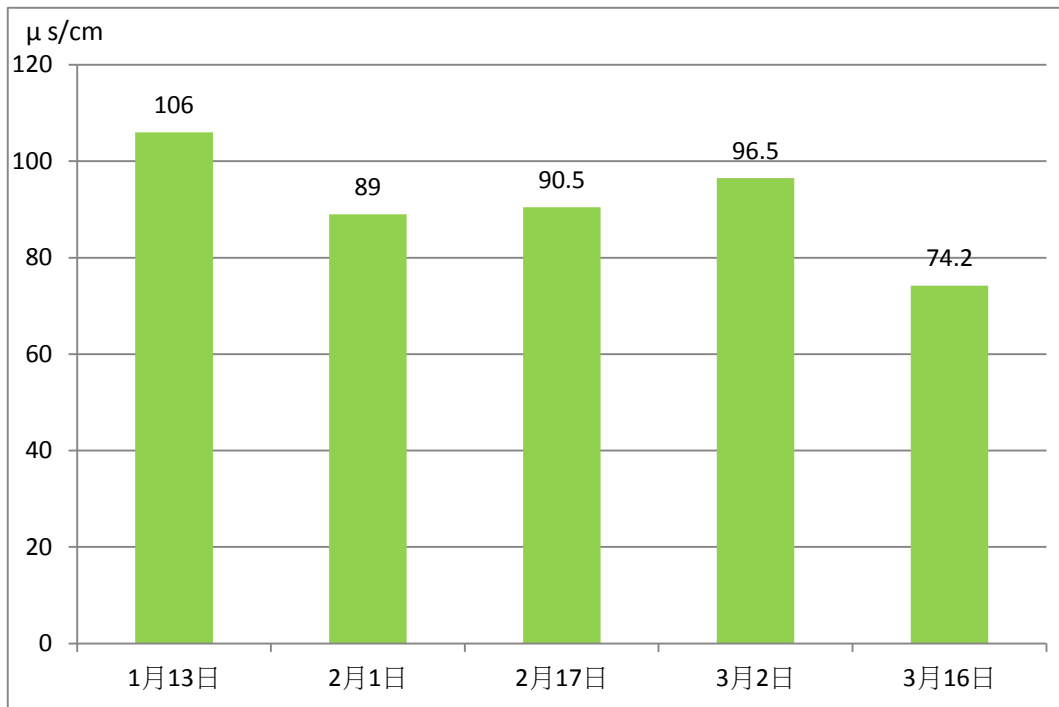


結果:在四週(2/2~3/2)觀測的結果中發現，淨水箱的生化需氧量最低，而植菜箱於 3/2 的檢測

中，飆升至最高，3/2 各點的檢測值均高於 2/17。

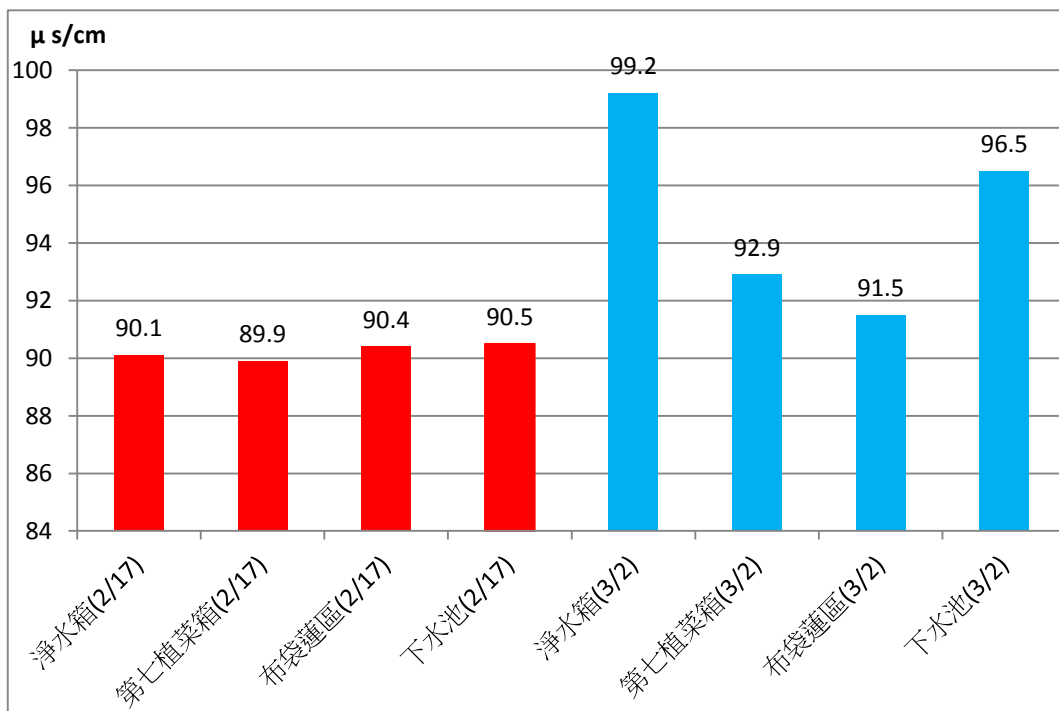
### 3.電導度檢測:

圖二十六、下水池電導度變化圖



結果: 2/2 開始啓用魚菜共生、過濾系統後下水池的電導度有些微下降，調整水循環模式、頻率後，3/16 的電導度最低。

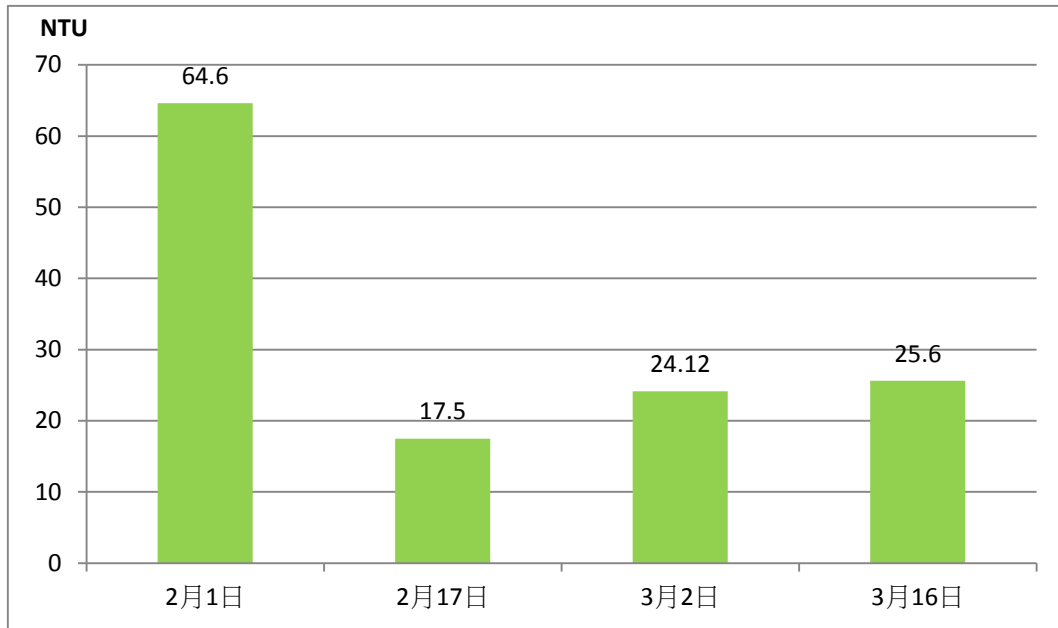
圖二十七、4 個水質監測點電導度比較圖



結果:各點電導度於 3/2(四週)後有些微上升，以淨水箱及下水池的導電度較高。

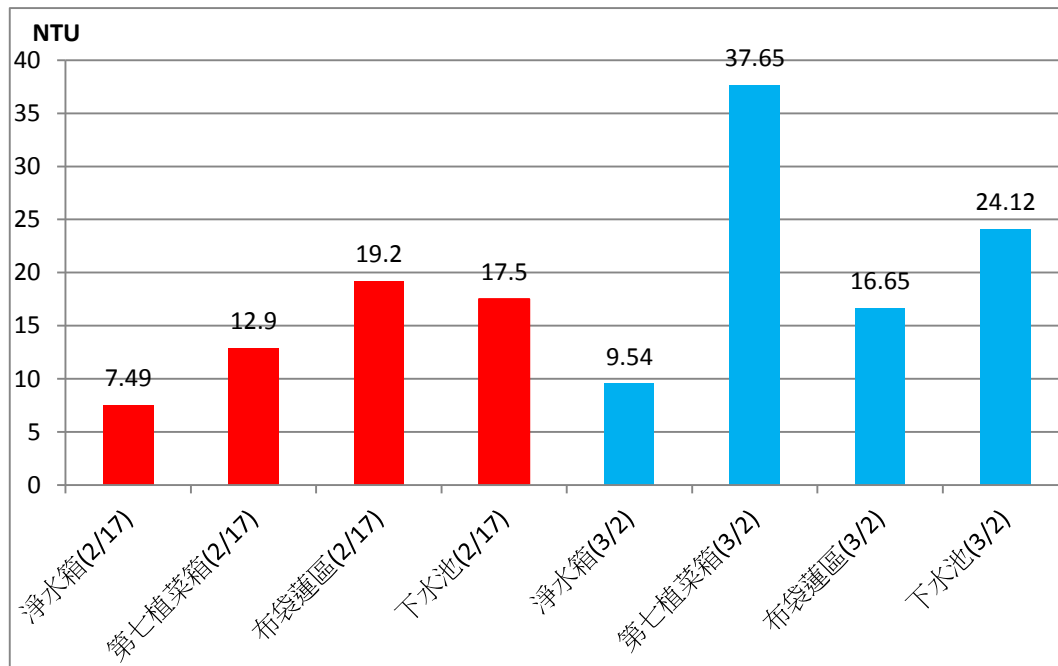
#### 4.濁度檢測:

圖二十八、下水池濁度變化圖



結果:在 2/2 啓用魚菜共生系統及過濾系統後，下水池的濁度有明顯下降，平均降低 65.31% 的濁度。

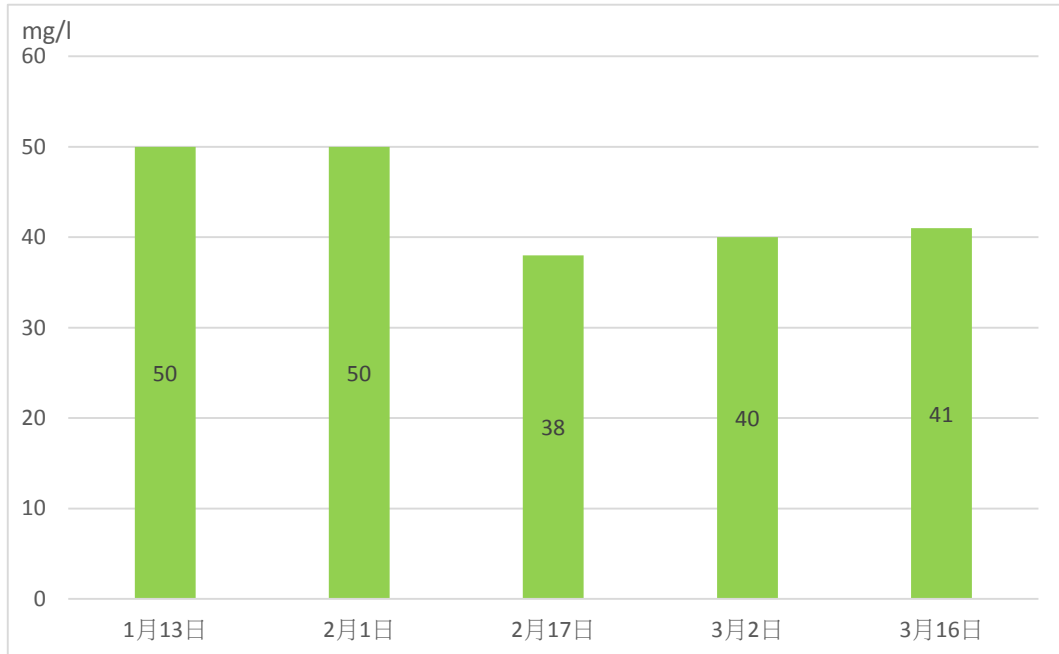
圖二十九、4 個水質觀測點濁度比較圖



結果: 2/2 啓用魚菜共生及過濾系統後，淨水箱的濁度最低，而四週後(3/2)植菜箱的濁度明顯升高，下水池濁度略為升高。

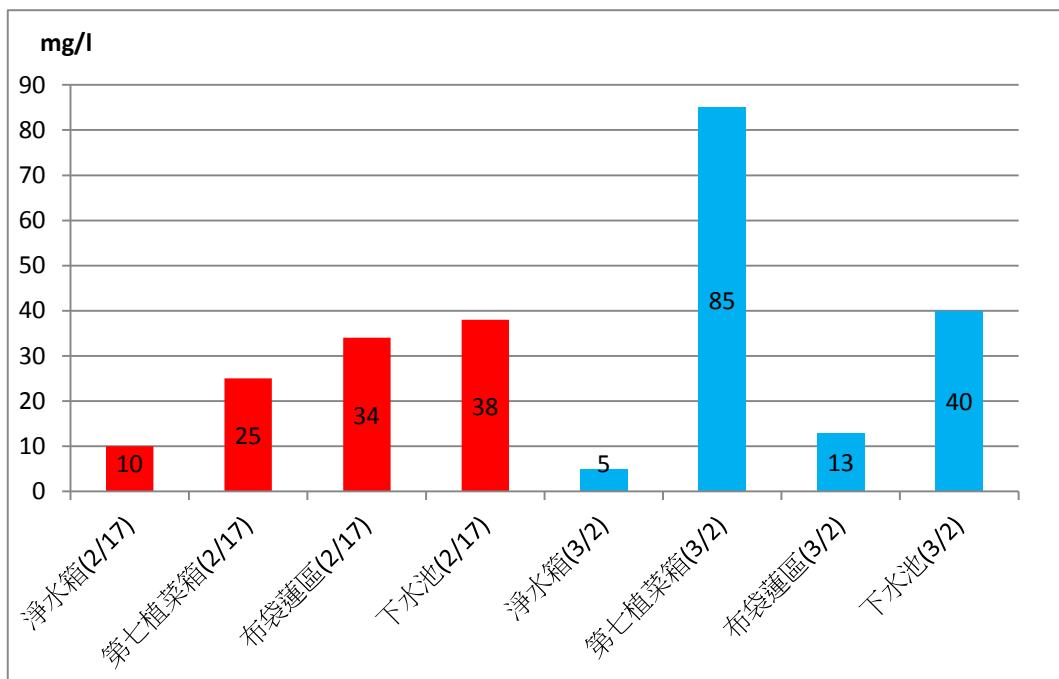
### 5.懸浮固體檢測:

圖三十、下水池懸浮固體變化圖



結果: 2/2 啟用魚菜共生、過濾系統後, 下水池懸浮固體含量明顯下降, 平均有 20.67% 的改善。

圖三十一、懸浮固體 4 個水質觀測點比較圖



結果: 濾水箱流出來的池水懸浮固體一直明顯較少, 而兩週後(3/2)淨水箱、布袋蓮區持續降低, 植菜箱卻逐漸升高, 而下水池沒有太大變動。

6.大腸桿菌檢測:

表七、大腸桿菌檢測結果

檢測水樣	大腸桿菌 CFU/100ml
自來水	2
地下水	0
下水池	3

結果: 經檢測後，得知水池每 100 毫升中僅含有 3CFU 大腸桿菌，含量極少。

7.化學需氧量檢測:

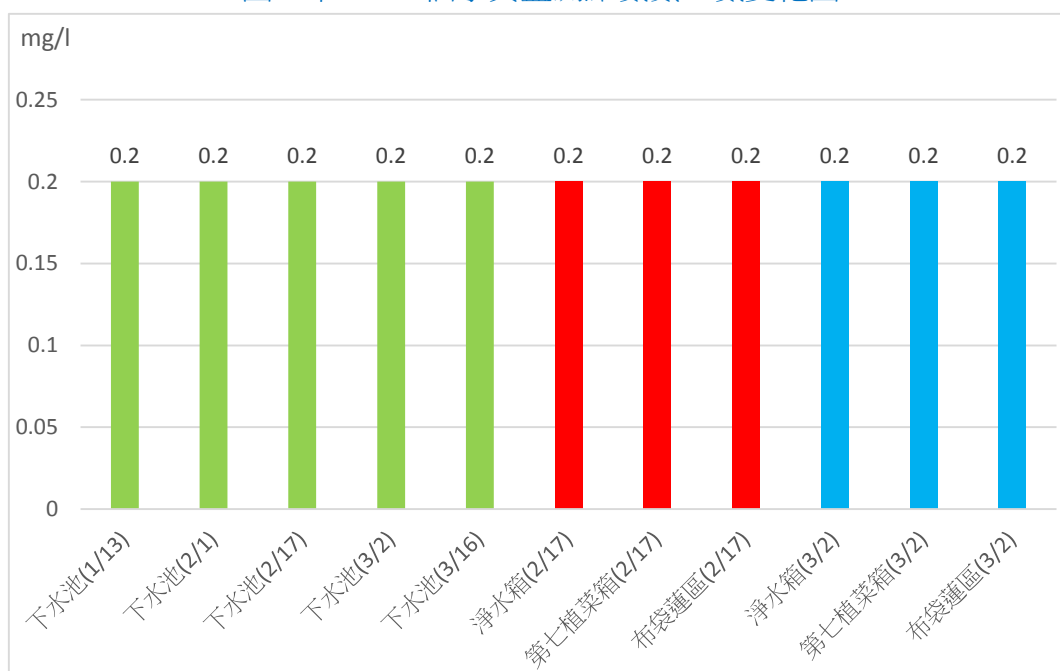
表八、4 個水質監測點化學需氧量變化(mg/l)

位置(日期)	下水池(1/13)	下水池(2/1)	下水池(2/17)	下水池(3/2)
化學需氧量	30~60	30~60	0~30	0~30
位置(日期)	下水池(3/16)	淨水箱(2/17)	第七植菜箱(2/17)	布袋蓮區(2/17)
化學需氧量	0~30	0~30	0~30	0~30
位置(日期)	淨水箱(3/2)	第七植菜箱(3/2)	布袋蓮區(3/2)	
化學需氧量	0~30	0~30	0~30	

結果: 2/2 啓用過濾、魚菜共生系統後，經由化學需氧量試藥呈色結果，由原先介於 30~60mg/l 降低至介於 0~30mg/l。

8.氨氮、氨檢測:

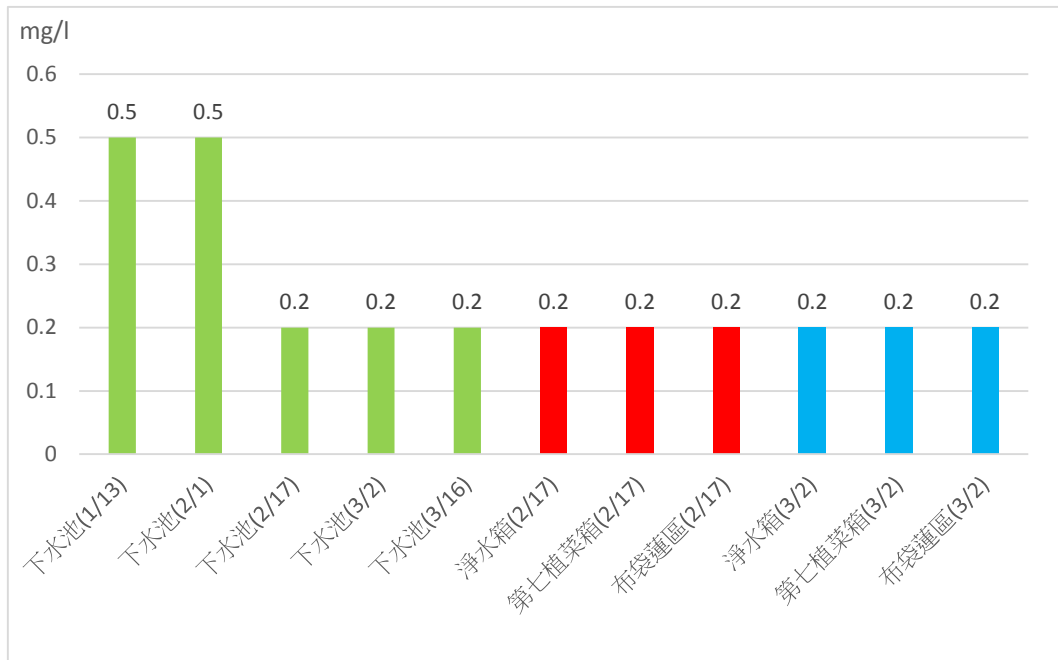
圖三十二、4 個水質監測點氨氮、氨變化圖



結果:實驗過程中氨氮、氨的變化不大，得知下水池中氨氮大約是 0.2mg/l。

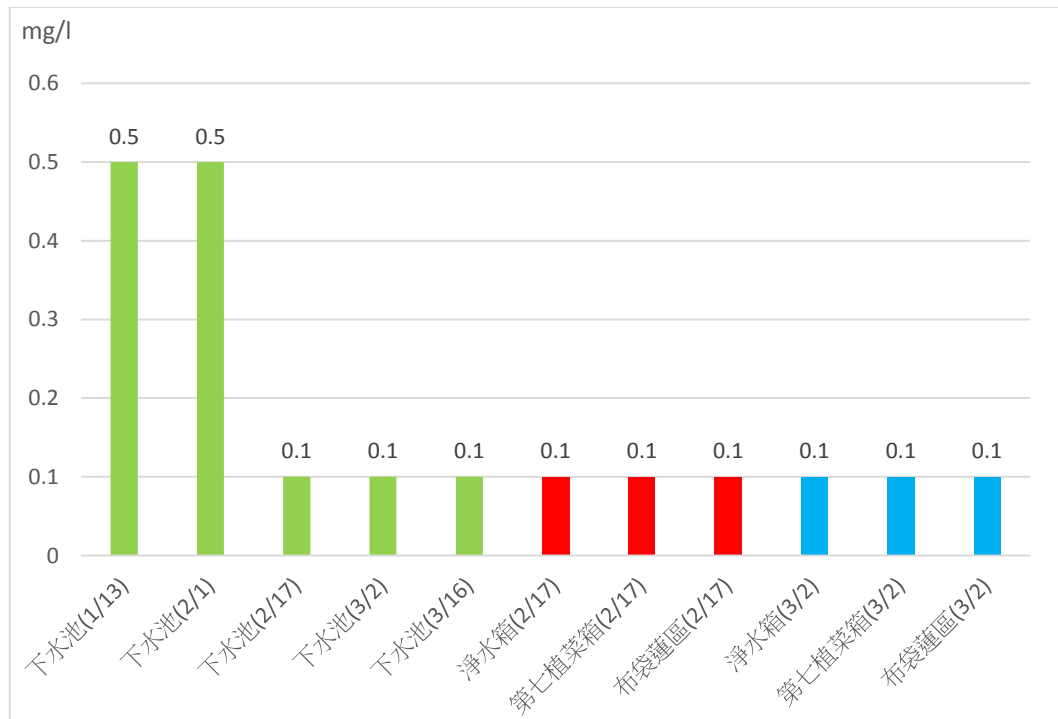
9.磷酸、磷檢測:

圖三十三、4 個水質監測點磷酸變化圖



結果: 2/2 啓用過濾、魚菜共生系統後，下水池中磷酸鹽類含量降低。

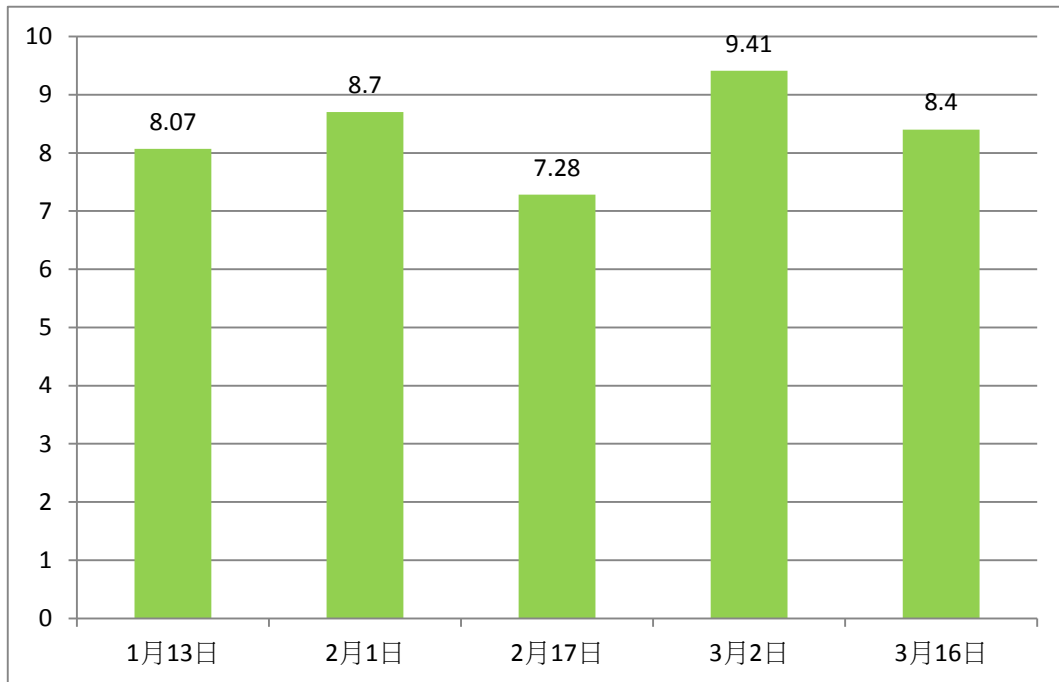
圖三十四、4 個水質監測點磷變化圖



結果: 2/2 啓用魚菜共生、過濾系統後，下水池中磷含量減少。

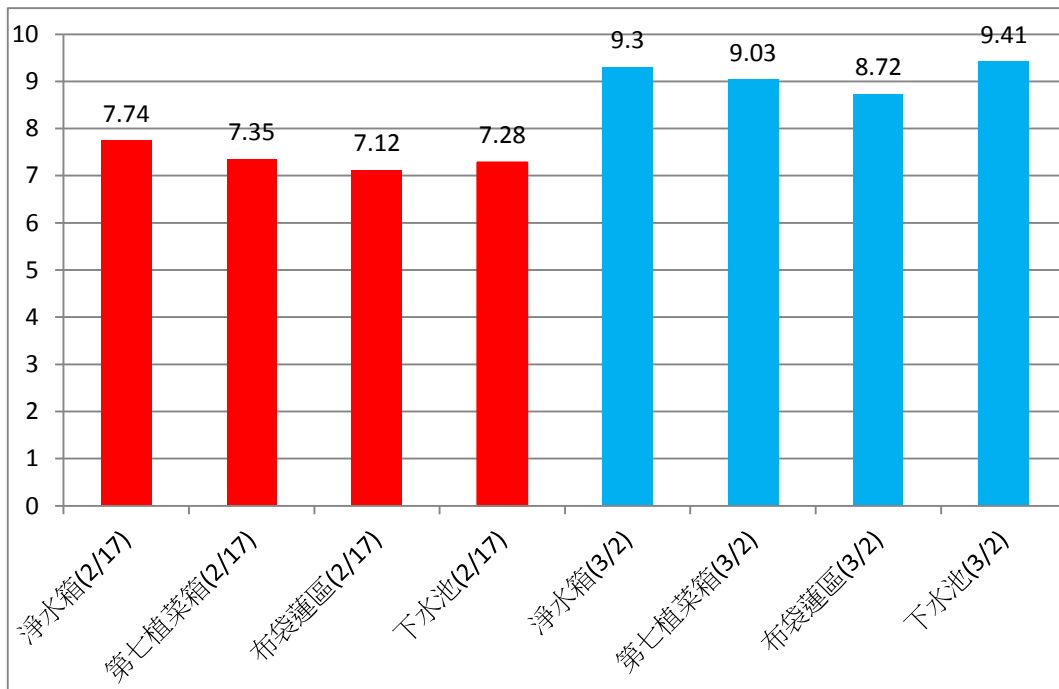
10.pH 值檢測:

圖三十五、下水池 pH 值變化圖



結果:下水池池水呈鹼性。

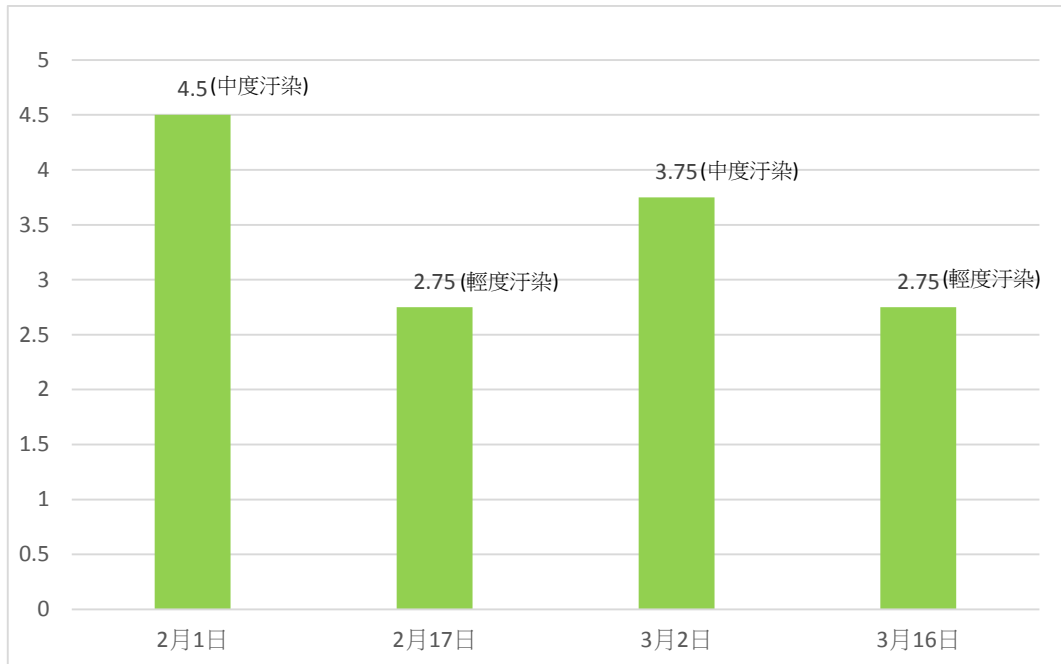
圖三十六、4 個水質觀測點 pH 值的比較



結果:各點 pH 值差異不大，唯布袋蓮區 pH 值較低一些，3/2 的檢測結果顯示，4 個水質觀測點的 pH 值略為偏高。

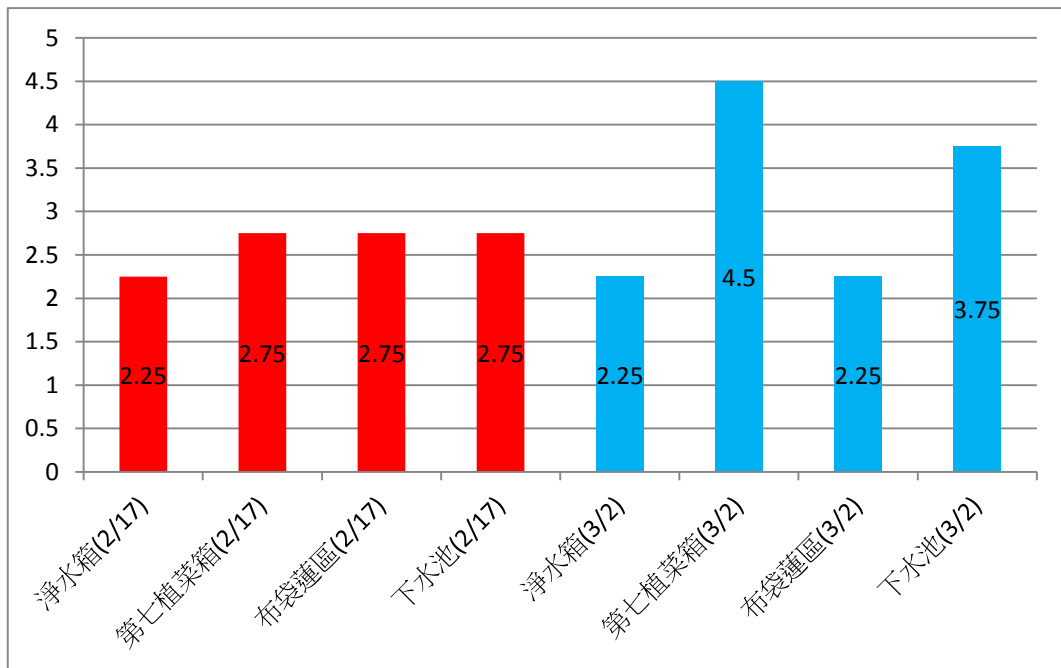
### 11.河川汙染指標:

圖三十七、下水池河川汙染指標變化圖



結果: 2/17(第二週)後河川汙染指標明顯下降，但 3/2 (第四週)又回升至中度汙染，但汙染積分數仍低於啓用魚菜共生、過濾系統前的積分，3/16(第六週)河川汙染指標降回輕度汙染。

圖三十八、4 個水質監測點河川汙染指標各點比較圖

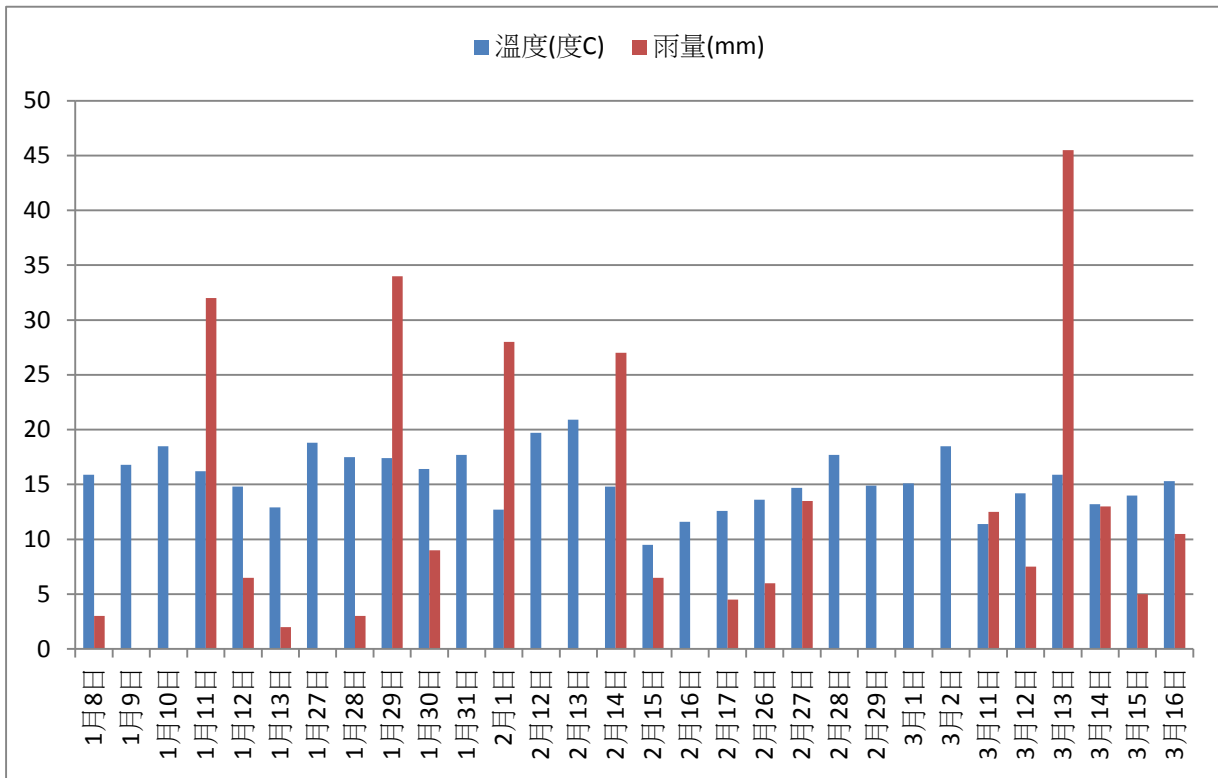


結果: 2/17 時各點河川汙染指標差異不大，均為輕度汙染，但到了 3/2 第七植菜箱和下水池，河川汙染指標明顯上升，其中又以植菜箱最高。



## 12.記錄水質檢測實驗前五日氣溫均溫、雨量

圖三十九、水質檢測前五日日均溫、雨量



結果:1/13 及 2/1 觀測前 5 日有較明顯降雨量，日均溫在 13~17 度 C 之間。2/17 觀測前五日有明顯雨量及均溫變化在 9~15 度 C 之間。3/2 觀測日前五日有些許雨量，日均溫約在 14~18 度 C。3/16 觀測日前五日降雨量多，日均溫在 12~16 度 C 之間。

## 陸、討論

- 一、在水池環境觀察實驗中，由圖十一到十三發現校園水池在清洗乾淨後，經過一週便混濁不清，原因是水中藻類數量變多，由於水池無遮蔽物，陽光充足，使藻類快速繁殖，再加上水中魚群的排泄物無過濾系統過濾及水生植物吸收，很容易造成水池的混濁與污染，並產生惡臭影響環境的衛生。校園水池沒有過濾系統，只有一個在下水池的馬達將水抽至上水池，再溢流至下水池以增加水池的曝氣量。
- 二、當初會使用水芙蓉這種植物來做為前置實驗觀察是因為它生長快速、容易生存，符合實驗需要，並且有淨化水質之功效；下水池和上水池雖然會定時進行水循環，但除此之外是不互通的，且上水池並沒有魚，因此自來水桶中 C 組水芙蓉則是對照組，作為與下(A)、上(B)水池兩組的比較；而在水池水質改善計畫中，上水池之所以種植布袋蓮，是因布袋蓮容易生存、繁殖力強，且具有良好水質過濾的效用。
- 三、本實驗魚菜共生的設計是將魚和蔬菜分開，於是將蔬菜種植於上水池，並且將布袋蓮也種植於上水池。而校園水池主要景觀、生態與衛生主要位於下水池，因此，整個實驗的設計著重於下水池的水質改善。
- 四、由圖十四及圖十五可得知:自來水桶中 C 組水芙蓉是各組中生長情形最好的，下水池中 A 組次之，上水池 B 組最差。C 組一開始重量不如其他組，但後來急起直追，經過 3 週後生長情形超越了其他兩組，可能原因是 C 組處於封閉的環境中沒有外在強勁水流的影響，因此生長情形較好；上水池 B 組因為在固定時間會受到強勁水流的衝擊，而影響了根部的生長使得整株水芙蓉的生長受到不小的影響；下水池 A 組的成長可能因水質過於優養化而影響水芙蓉的生長。由前置實驗結果，設計了水池水質改善實驗。由於強勁的水流會影響植物的生長，因此關閉原有馬達在上水池的出水口，改變出水口於下水池上方，將水直接噴入水中，增加曝氣量。並另外裝設一顆馬力較小的馬達，專門負責將下水池底的汙水抽至上水池，而為了減少過度優養化水質對植物產生的影響，自行設計一個過濾箱來過濾水中的雜質，並利用自製植菜箱及在上水池中種植布袋蓮，希望藉由過濾雜質及植物的生長吸收水中有機物質來達到以天然環保的方式淨化校園水質。

- 五、由於校園水池的水源一半是來自地下水，另一半是來自自來水，由實驗的檢測表六結果發現自來水的 pH 值約為 7.3，地下水的 pH 值約為 7.9，因此水池的水一開始呈弱鹼性，由於假山上自來水桶中裝的是自來水，自來水 pH 值約為 7.3，因此 pH 值維持與自來水接近的中性水質。在大腸桿菌的實驗結果，由表七發現自來水、地下水、校園水池的水含有的大腸桿菌菌落數稀少，對於水池衛生無太大影響，且實驗並無設計改善大腸桿菌的計畫，因此在測定水池大腸桿菌後，便無後續實驗與觀察。
- 六、如圖十七到十九，池水中有許多藻類生存，在整個過程中水池的 pH 值一直維持在弱鹼性的環境，原因可能為藻類大量繁殖，藻類行光合作用消耗二氧化碳，使 pH 值升高。
- 七、如圖二十、二十一顯示，魚菜共生系統植菜箱中的蔬菜生長的較自來水桶中蔬菜好。顯示經過適量過濾的有機營養池水對於植物的生長提供了較佳環境，太少有機營養質或過度優養化的池水，對植物的生長均是不利的，也可知魚菜共生的蔬菜要比純粹只加自來水與混和雨水的蔬菜，能獲得較多水中生物的排泄物有機質而有較好的生長情形。
- 八、本實驗選用溶氧量、生化需氧量、導電度、濁度、懸浮固體、化學需氧量、氨氮(氨)、磷酸(磷)、大腸桿菌、pH 值作為水質檢測項目，原因如下:溶氧量指溶解於水中的氧氣，為表示水質清淨狀況的指標之一，通常溶氧量越少的水體，生物的種類將日益減少。生化需氧量可表示水中生物可分解的有機物含量，也間接表示水體受有機物污染的程度。電導度可顯示水中總溶解固體的多寡。濁度是表示水樣的混濁程度，主要來自水中較粗大的懸浮物質，濁度高會影響光線的穿透，且會影響魚類呼吸作用，使其窒息而死亡。懸浮固體指會因攪動而懸浮的固體，會阻礙光線在水中的穿透。化學需氧量為水中所含可被化學氧化之有機物含量的指標。含氮有機物為重要的營養素，可使藻類大量繁殖，造成水體優養化現象，破壞生態和水質。天然水中之磷幾乎都以磷酸鹽的型式存在，當過量的磷進入水體，將造成藻類大量的繁殖、死亡，並因其腐敗分解大量耗氧，導致水中溶氧耗盡，造成水質優養化的現象。水中出現大腸桿菌群時，表示可能會有其他致病菌同時出現。pH 值是水中氫離子濃度多寡的指標，可檢測水體的酸鹼性。
- 九、如圖二十二、二十三所示下水池中溶氧量在調整原有馬達出水位置至下水池上方直接噴

水進入水面後，增加曝氣量，使得溶氧上升，也使得水池溶氧較植菜箱及布袋蓮區高。

十、實驗進行四週後，在 3 月 2 日生化需氧量的檢測結果顯示有略為提升的現象，此結果表示水中可供生物分解之有機物質含量提高。由圖三十九的檢測前五日日均溫記錄顯示，3/2 前五日日均溫較其餘檢測日高。所以生化需氧量的提升可能是因天氣回暖，水中生物活動較旺盛，產生較多代謝物質。在無法改變氣溫上升的趨勢下，設計了調整水循環模式及增加過濾頻率的第二階段水質改善計畫。首先改變了小馬達抽水的頻率，由每天 3 次增加為 6 次，並開啟下水池大馬達抽取部分的水至上水池，加速上水池布袋蓮區的池水更換，也加速了上、下水池水質過濾的頻率，提升水質改善的效果，並藉由經常性的流動池水，減少蚊蟲在水池孳生的機會，執行此模式二週後(3/16)下水池生化需氧量明顯降低，證明了調整水循環模式與頻率，確實對校園水池水質有更加優良的改善效果。

十一、由圖二十六可知，在四週的水質改善實驗中，電導度有些微下降，電導度下降表示水中總溶解固體減少。

十二、由圖二十八、二十九可知加裝過濾設備後，濁度明顯下降，從原先的 64.6NTU 下降至 2/17 的 17.5NTU，改善情況良好，池水也變得較澄清，在水池 4 個觀測點的觀察中發現 3/2 第七植菜箱濁度較高，可能因內含懸浮固體多，而懸浮固體是因池水在經過植菜箱時雜質沉澱，且水循環無法將雜質完全帶出，使植菜桶內水較其餘位置來的混濁。

十三、比較圖二十八、圖三十可以發現池水懸浮固體含量升高時，濁度也跟著上升。盛接過濾箱流出過濾的池水的淨水箱觀測點濁度、懸浮固體量均保持最低，符合實驗預期效果，更加證明實驗的準確性。在第二階段實驗兩週後的 3/16 檢測中可以發現懸浮固體及濁度沒有顯著下降，由圖三十九的雨量觀測中發現在 3/16 檢測日前五日有顯著降雨，而雨水帶來的落塵，與雨水沖刷假山以及周圍花圃中植物葉片、泥土等等的外來污染源導致了懸浮固體及濁度的上升。即使天候條件不利於水質的改善，但是第二階段調整水循環模式及增加過濾頻率後，沒有使懸浮固體及濁度繼續上升，而是維持與上一次檢測時相近的數值。顯示在第二階段實驗中，調整水循環模式及增加過濾頻率，使得水質的改善獲得更佳的效果，使水池較為衛生，不僅減少了蚊蟲孳生的狀況，控制

了懸浮固體及濁度的惡化，也降低了生化需氧量。

十四、因本次實驗使用之氨氮(氨)、磷(磷酸)、化學需氧量試藥只能測量一個範圍，所以無法做出精確的數值，只能得到一個大約的數值，由表八可知化學需氧量下降，而此結果表示在進行水質淨化實驗後水中有機物總量變少；由圖三十二可知，校園水池中氨氮含量極少，由於實驗快篩藥品靈敏度的限制，只得知氨氮含量大約為 0.2mg/l，由圖三十三可知在 2/1 裝設過濾系統後，磷酸鹽類減少至接近於 0.2 mg/l，整體而言在水質淨化的實驗中，減少了氨氮、磷等水中有機物的含量提升了水質的品質。

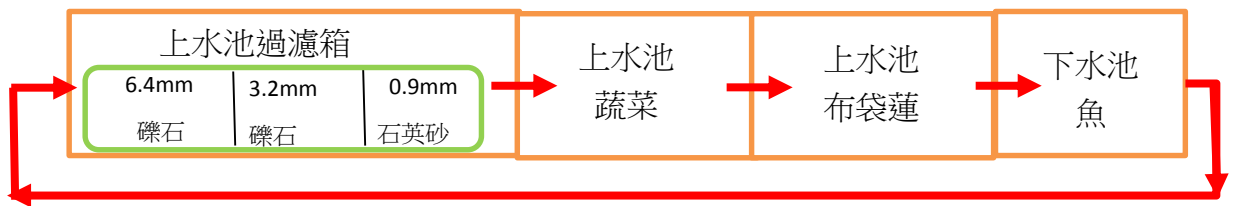
十五、河川汙染指標是以氨氮、懸浮固體、溶氧量、生化需氧量等 4 項水質參數值計算水體受到汙染的程度，因此選用河川汙染指標作為水質改善程度之參考。由圖三十七可知，下水池的河川汙染指標在 2/1 裝設過濾桶後由原先的 4.5 分(中度汙染)下降至 2.75 分(輕度汙染)，3/2 又回升至中度汙染，可能因溫度回暖，水中生物活動頻繁，使水中有機物增加，導致生化需氧量升高，使河川汙染指標項目指數上升，但 3.75 分的指數仍低於一開始水池未淨化前的 4.5 分，顯示第一階段的水質淨化系統有不錯功效，即使溫度提升了不利水質改善因素，但仍達到不錯的淨化效果。自 3/2 調整水循環模式及頻率後，3/16 河川汙染指標又降回 2.75 分的輕度汙染，顯示根據第一階段水質改善實驗結果所擬定的第二階段調整水循環及過濾頻率水質改善計畫，有更良好的改善效果。

十六、在實驗過程中每日記錄日均溫及雨量，測得雨水 pH 值約為 5.1。由圖三十九水質檢測前五日日均溫及降雨量變化，對照水質檢測結果得知:在溫度較低時，生化需氧量會較低，溫度高時，生化需氧量較高；在雨量豐沛時 pH 值較低，雨量較少時 pH 值較高，如圖三十六及表六所示，各水質觀測點於 2/17 的 pH 值約為 7.5，但到了 3/2，上升至約 9.0，原因可能為 2/17 前五日雨量豐沛，使原本鹼性的池水被酸雨中和，導致 pH 值下降，而 3/2 前五日的降雨量低於 2/17 的降雨量，少了酸雨的影響，使水池 pH 值升高。

十七、本實驗希望能夠應用生態池的想法來改善校園水池，於是運用了自行設計的魚菜共生、過濾系統的概念，來設計改善校園水池的水質，經過各項實驗的結果後，建構出一套『過「綠」吸管』的水質改善模式來改善校園水池。

## 柒、結論

- 一、校園水池池水的 pH 值偏鹼性，降雨會使得池水 pH 值下降。氣溫對於水質的改善有著非常重要的角色，溫度高時，水中生物活動較為頻繁，會使得池水水質變差。
- 二、魚菜共生蔬菜的生長情形優於利用自來水與下雨時混和雨水種出來的蔬菜，可知經過適量過濾的有機營養池水對於植物的生長提供了較佳環境。
- 三、自行設計與自製的魚菜共生、過濾系統及種植布袋蓮，並改變校園原有抽水馬達出水口的位置，從上水池移到下水池的上方直接噴水進入下水池，增加曝氣量，有效的改善了校園水池的水質，大幅降低了濁度、懸浮固體，提升了溶氧量，並使水中有機物質減少，也降低了生化需氧量、化學需氧量，增加水循環頻率，使得水池變得更為澄清且乾淨，朝向了一個可以做為生態教學且衛生無虞的生態水池。
- 四、校園水池淨化系統的建立:『過「綠」吸管:』



## 捌、參考資料

- 一、水芙蓉(漂浮植物) 取自 <http://www.sli.ks.edu.tw/tree/treesw3.htm>
- 二、蘇玲娜(1980年12月)・布袋蓮——一種水生的能源・  
取自 <http://lib.cysh.cy.edu.tw/science/content/1980/00120132/0013.htm>
- 三、吳俊宗(2002年7月) 014-020 臺灣藻類-藻類與環境\_1032.pdf  
取自 [www.ntsec.gov.tw/FileAtt.ashx?id=1783](http://www.ntsec.gov.tw/FileAtt.ashx?id=1783)
- 四、新北市立育林國民中學(2014年)・實察截彎取直後的基隆河～珍惜家鄉的生命之泉・  
取自 <http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/54/high.htm#a5>
- 五、徐貴新(2016)・水質分析實驗—技術士技能檢定參考用書(9版)・
- 六、中央氣象局全球資訊網・「氣候統計-一年觀測」[公告]  
取自 <http://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/index.jsp>
- 七、行政院環保署環境檢驗所・「水質檢測方法」[公告]取自 <http://www.niea.gov.tw/>

## 【評語】 030806

1. 本創作在校園環境改善及許多檢測設施使用上，創作人皆有深入理解，親自操作，熟練程序。
2. 本創作結合既有設施改善水資源環境，點子不錯也有具體落實。