

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

030311

「淨」觀其變—汙染水質的清淨方式及變化

學校名稱：屏東縣立中正國民中學

作者： 國三 黃柏睿	指導老師： 李天生 許哲愷
-------------------	-----------------------------

關鍵詞：水質改善、水生植物、自製濾水器

摘要

工業化與人口增長使各種汗水的排放量增加，已嚴重影響生態環境及我們的身體健康。本研究探討污染水質中自然因素對汗水之影響及其變因，討論深淺、照光等因素對汗水的改善影響。種植三種溪流中常見的水生植物，以及利用隨手可得的簡易材料自製過濾雜質的濾水器，期望以對環境友善的方法來改善水質污染。結果發現照光會增加污染程度，在殺蛇溪以表水層含有的污染物質最多；水面底下 20 公分則浮游生物數量及繁殖率高；水面底下 40 公分(近河床)含有最多水生植物能吸附的物質。三種水生植物均能有效淨化水質，且皆對底層有極佳的淨化能力；pH 值皆為升高，吸附物質多為酸性物質，而槐葉萍的清淨能力最佳。在濾水器淨化水質方面，僅濁度上有明顯改善。

壹、研究動機

生活在屏東這溫暖的城市中，生活的環境相當優異，但從小就有幾個問題讓我感到困惑。為何本該清澈的溪水經過時卻發出難聞的異味？夜深人靜時為何有動物排泄物的味道？長大後才了解可能有不肖業者會偷排放廢水，受到畜牧廢水、生活污水等影響，枯水期間污染嚴重，流入殺蛇溪亦造成水質惡化，影響中、下游民眾用水與生活品質。剛好在九年級上學期的地球科學也接觸到了水資源的議題，而不論這些廢水來自家庭還是工廠，罪魁禍首都是人類。而這些污染物已經間接或直接影響到我們的生活，甚至危害大自然生態。這讓我覺得必須有所行動，於是開始思考能否利用自然的力量，或著利用在八年級上學期自然課程中學到的分離混合物的方法來改善或過濾這些污染物。並探討出不同因素導致的變化及各實驗對污染物的清淨能力，期望透過水生植物在生長過程中逐漸的將自己的生態體系擴大，並且吸收水中營養鹽，達到預期淨化效能。

貳、研究目的

一、污染水質中自然因素導致之變因探討

(一)探討污染水質中不同深淺的 pH 值，電導度，溶氧量及濁度等各項水質檢測變化

(二)探討污染水質日照處理前後不同深淺的 pH 值，電導度，溶氧量及濁度等各項水質檢測變化

二、不同水生植物對污染物清淨水質能力之比較

(一)探討水生植物對上中下層『不同深淺』水樣的清淨水質能力之比較

(二)比較『不同水生植物』對污染物的清淨水質能力之比較

三、利用在野外即可取得之材料自製濾水器~探討使用濾水器對 pH 值，電導度，溶氧量及濁度等 4 項檢測水質改善變化

四、水生植物及自製濾水器整體水質績等總和評鑑比較之研究

參、研究設備及器材

			
pH 計	電導度計	溶氧量計	濁度計
			
細沙	小石子	樹葉	紗布
			
活性炭	活性炭粉	外科用口罩	寶特瓶
			
4000 毫升水桶	50 毫升燒杯	6000 毫升礦泉水桶	
實驗用水生植物特性簡介			
			
水芙蓉	布袋蓮	槐葉萍	
天南星科	雨久花科	槐葉蘋科	
<p>多年生浮水性草本，全株密佈細白毛。根系茂密，走莖性強，是水中微生物附着的好環境，常廣泛運用於水質淨化型人工溼地。</p>	<p>葉柄中有氣室，根系上附生的藻類與細菌，能夠削減水中的生化需氧量，根系上的纖毛並能吸附水中的懸浮固體並增加其沉降。</p>	<p>多年生漂浮草本，無根（葉子變態）。浮水葉卵狀長橢圓形排成兩列，葉子表面有無數小突起。</p>	

肆、研究過程及方法

一、個別實驗流程圖：



(一) 污染水質中自然因素導致之變因



在殺蛇溪流流域中段(如左圖)分別取水面(表水層)、水面底下 20 公分(中層)、40 公分(底層)之水質

取得水質樣本後 24 小時內檢測 pH，電導度，溶氧量，及濁度之數據

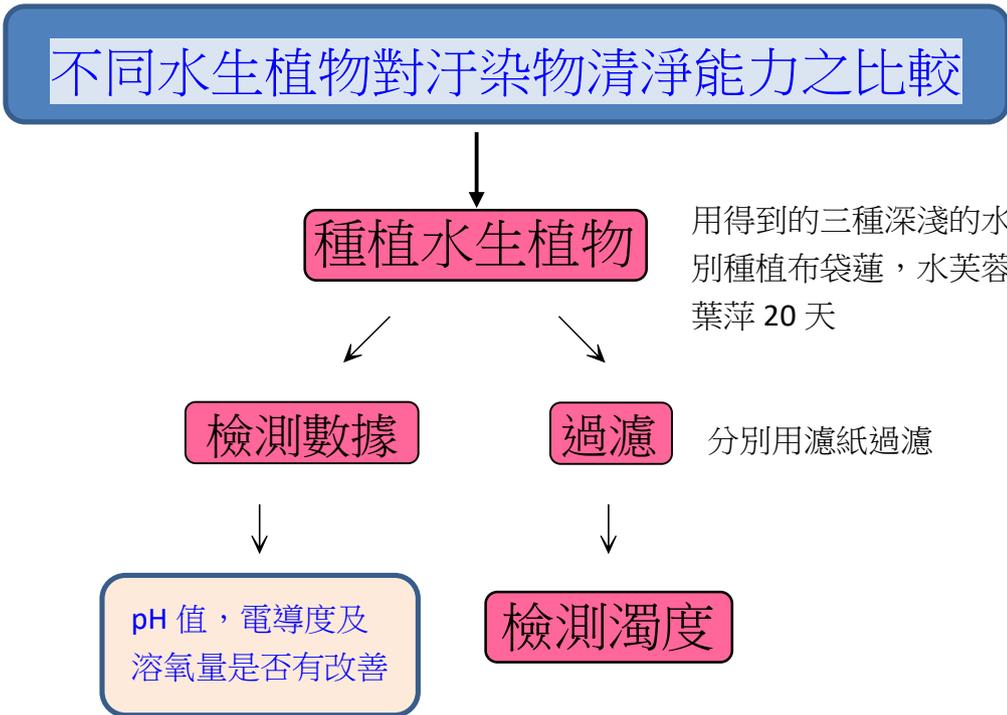
放在陽光充足處光照 20 天(保鮮膜蓋住→形成近密閉系統)

分別用濾紙過濾

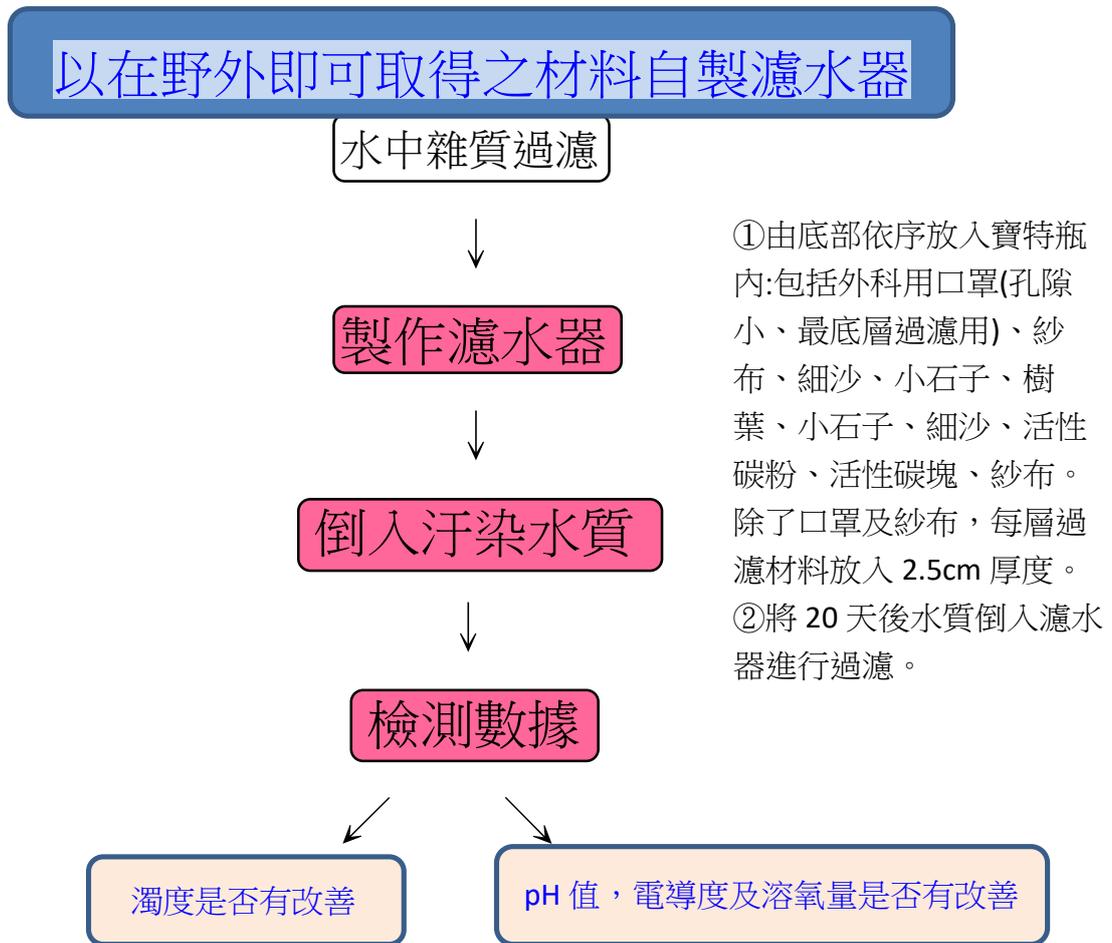
◎重要名詞解釋

- (1) **pH 值**：大於 7 為鹼性、小於 7 為酸性，大部分的水生動植物對水環境中的 pH 值相當敏感，大部分水生生物生活的 pH 值大約在 6~9 之間，過高或過低都不適合多數生物生長。
- (2) **溶氧(DO)**：指溶解於水中的氧量。水中溶氧來自大氣溶解、自然或人為曝氣及水生植物的光合作用等。水若受到有機物質污染，則水中微生物在分解有機物時會消耗水中的溶氧，造成水中溶氧降低。當 DO 大於 5mg/L 時大部分的動植物可以生長繁衍，當 DO 值降至 3-5mg/L 時，生物生長通常會受到壓迫，當 DO 值小於 2mg/L 時，會產生缺氧情況。
- (3) **濁度**：係因水中含有妨礙光線透過的懸浮固體所致，多由懸浮性有機物、無機物產生，對水生植物和魚類的生長、繁殖會有影響。
- (4) **電導度 (CON, EC)**：電導度是從化學工業到農業的應用上常用的參數。數是測量液體所有溶解的鹽類總量(指無機性的陽離子(如鈣、鎂、鈉、鉀)及陰離子(如碳酸根、硫酸根、氯離子等)，液體中的陰陽離子越多時，導電度會愈高，表示水中電解質含量較多。

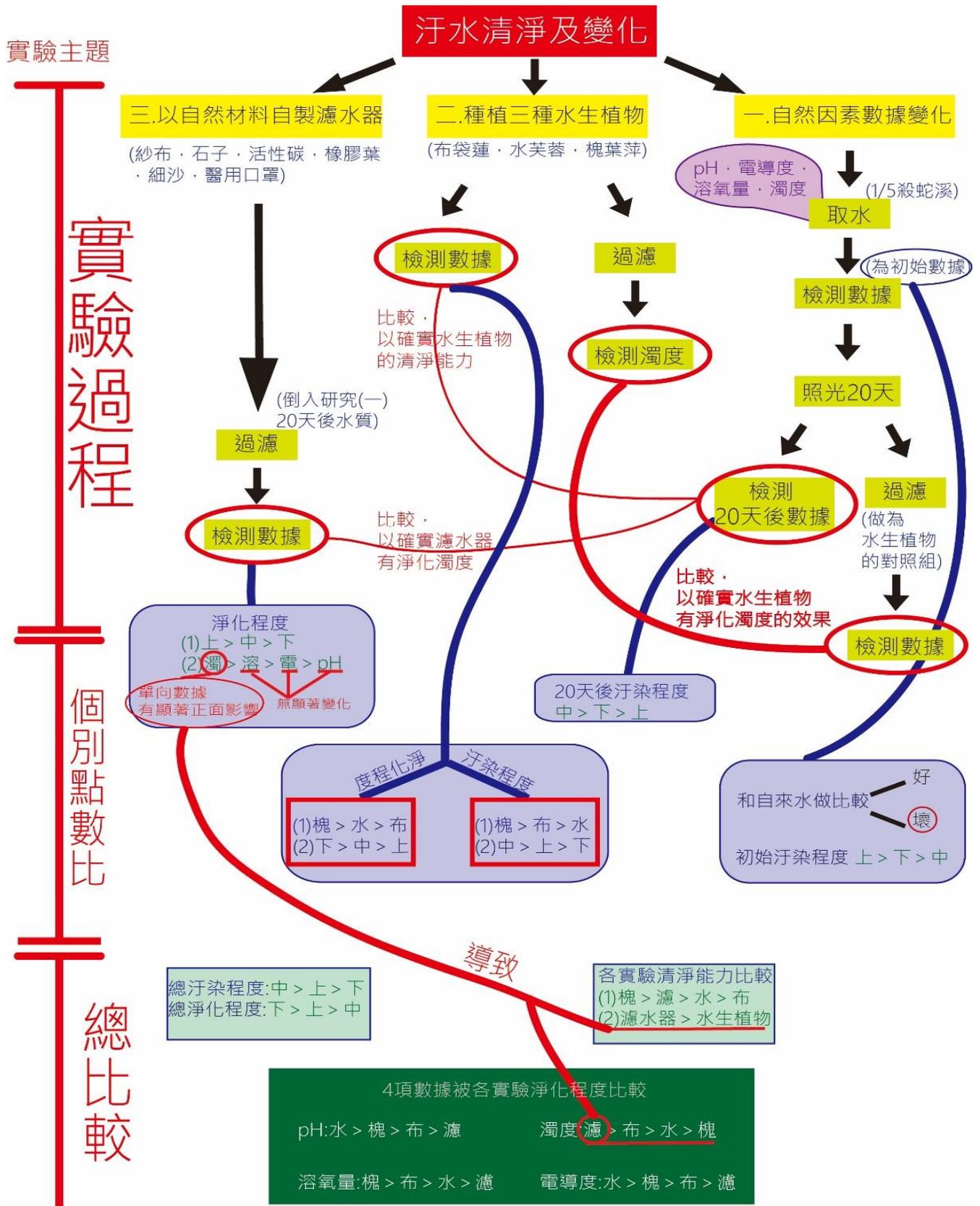
(二)不同水生植物對污染物能力比較



(三)以在野外即可取得之材料自製濾水器



二、總體實驗研究架構圖



(圖 1 總體實驗研究架構圖)

三、實驗設計說明：

◎研究一、汙染水質中自然因素導致之變因探討

(一)探討汙染水質中不同深淺的 pH，電導度，溶氧量及濁度等各項水質檢測變化

- 1.因水中汙染物質或微生物等可能因重量或其他因素的不同而影響在不同深度的數量，所以取表水層，中層，底層的水質來進行實驗，而殺蛇溪該段的深度為 40 公分屬性，故取水面(表水層)，水面下 20 公分(中層)及水面下 40 公分(底層)的水質來做實驗。(同時參考圖 2 行政院環境保護署「環境水質監測採樣作業」重點說明)。
- 2.本研究主要採計及評估水質汙染程度的四種數據來檢測，分別為 pH 值，電導度 ($\mu S/cm$)，濁度(NTU)，溶氧量(mg/L)，取水容器為 6000 毫升的礦泉水瓶。
- 3.只有此實驗同時測量自來水之數據，是為了和其他水質做最一開始的初步對照，而之後的實驗不對照則是因自來水較難因其他實驗而有數據上的改變。

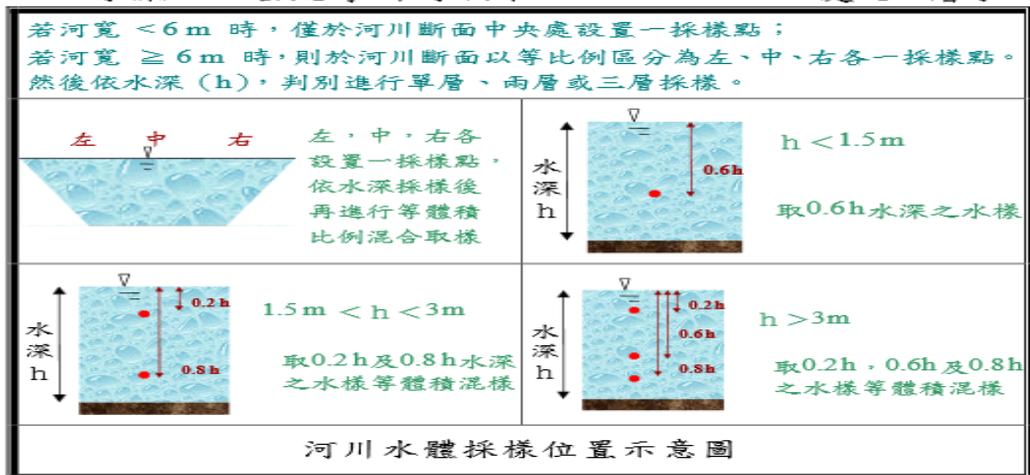
(圖 2 不同河水深度之採樣原則)

(2)不同河水深度之採樣原則 (如附圖)：

A. 水深 (h) < 1.5 公尺時，取水面下 $0.6h$ 處之單層水樣。

B. 水深 (h) 介於 1.5 ~ 3 公尺間時，分別取水面下 $0.2h$ 、 $0.8h$ 處之兩層水。

C. 水深 > 3 公尺時，取水面下 $0.2h$ 、 $0.6h$ 、 $0.8h$ 處之三層水。



(二)探討汙染水質日照處理前後不同深淺的 pH，電導度，溶氧量及濁度等各項水質檢測變化

- 1.推測若讓水質照到光可能會改變水中微生物或其他作用進而影響水質，所以將三種水質倒入 4000 毫升水桶包覆保鮮膜後放置於陽光充足處 20 天後檢測數據。用陽光而不用檯燈持續照光則是為了能讓光合作用或其他作用能正常運行，再各取樣 50ml 倒入燒杯中檢測數據。
- 2.因應實驗二的一項實驗結果另外將照光處理 20 天後的水質，採用濾紙法過濾後再檢測一次濁度值。

◎研究二、不同水生植物對污染物清淨能力之比較研究(共探討兩種不同操作變因)

(一)探討水生植物對『不同深淺水樣』的清淨水質能力→(操作變因：不同深度水質)。

(二)比較『不同水生植物』對水質污染物淨化能力之比較→(操作變因：不同水生植物)。

- 1.主要取水中生態及各文獻資料中最常出現的三種水生植物。分別是布袋蓮，水芙蓉以及槐葉萍，而且這些水生植物在高度污染的水質中也能照常生長，推測本身具有較好的吸附污染物或清淨水質能力。
- 2.每種水生植物種植在內裝 4000 毫升水樣之水桶內，因每株植物葉面積不盡相同，故採用重量均一為控制變因而非植株數量(因此類植物的葉子部分佔有主要重量)。而每桶的植物都確定蓋滿水面，是為不讓小型藻類或微生物直接照到光，而影響其生長，觀察 20 天后，取樣倒入燒杯中各 50ml 檢測數據。

◎研究三、以在野外即可取得之材料自製濾水器~探討使用濾水器對 pH 值，電導度，溶氧量及濁度等 4 項檢測水質改善變化

- 1.若身在野外無法直接取得乾淨水源，則可以用簡單的材料製作濾水器。細砂、石頭、樹葉、活性炭這些材料都是大自然中取得的材料，而紗布及外科用口罩可以用一些身上的布料來代替，寶特瓶則可用竹筒代替。
- 2.實驗中使用外科用口罩是因為透氣及濾水速率較不快，能過濾的物質因此較多。
- 3.倒入燒杯中各 50ml 檢測數據。

4.數據評比及評鑑公式說明:

- 1.實驗中測量的項目有 pH 值，電導度 ($\mu S/cm$)，濁度(NTU)，溶氧量(mg/L)。為了能夠整合項目並探討水質被污染或清淨之總觀，發現許多資料會使用公式或點數來分析比較(如經濟部 106 年度「高屏河流域河川水質採樣檢測分析」工作計畫)，但其公式過於繁複且嚴謹，不適於本實驗或其他一般學術民眾來使用。
- 2.近來河川相關水質議題備受重視，要了解河川的水質，環保署(局)主要以「河川污染指標, River Pollution Index」簡稱「RPI」，用來評估河川水質之綜合性指標。RPI 指數係以水中溶氧量 (DO)、生化需氧量 (BOD₅)、懸浮固體 (SS)、與氨氮(NH₃-N) 等四項水質參數。參考此作法，自製公式以 20 天照光前後的數據平均差來做恆定的基準後略做調整，並轉換為指數(四捨五入至小數點後 2 位)，作為『水質績等』評鑑指標公式(如圖 3)。

(圖 3 水質績等評鑑指標公式)

水質績等評鑑指標公式

$$\sqrt{[(20\text{天後平均}) - (\text{初始平均})] \times \frac{[(\text{初始平均}) + (20\text{天後平均}) - \text{自來水平均}]}{2}}$$

定義

3. pH 值正負 0.1 為一點。
4. 電導度值正負 350 為一點。
5. 濁度值正負 1.6 為一點。
6. 溶氧量正負 2.5 為一點。
7. 以下研究所使用的點數，皆以上述公式計算方式所得。(圖 5、10、20~25)、(表 7~16).
→將數據代入公式(如圖 21)後得到的點數『非絕對值』，也無絕對意義，用點數做整合的總計結果(總積分)比較，才具有互相評估優劣的作用。

伍、研究結果

◎研究一、汙染水質中自然因素導致之變因探討：

(一)取各層水質並倒入 4000 毫升水桶比較日照處理 20 天前、後檢測數據

		
殺蛇溪表水層水域(水面)	殺蛇溪中層水域(水面下 20cm)	殺蛇溪底層水域(水面下 40cm)
	左圖皆以保鮮膜覆蓋，但可能會因此影響數據，所以預留兩個孔洞供空氣流動(左圖紅色圓圈)。	
保鮮膜覆蓋減少水分散失		

1.日照處理前後數據表格(數據變化:(增/減))

表 1：殺蛇溪取樣不同深度 照光前後水質各項檢測結果比較

組別		水面	水面底下 20 公分	水面底下 40 公分	自來水
pH 值	照光前	7.3	7.2	6.9	7.0
	照光後	7.1	7.4	7.4	
	差值	-0.2	+0.2	+0.5	
電導度 (μ S/cm)	照光前	1084	951	865	361
	照光後	642	645	612	
	差值	-442	-306	-253	
濁度 (NTU)	照光前	2.12	2.24	4.01	1.23
	照光後	15.31	16.79	12.01	
	差值	+13.19	+14.55	+8.00	
溶氧量(mg/L)	照光前	7.4	4.6	3.9	7.9
	照光後	2.3	1.9	1.8	
	差值	-5.1	-2.7	-2.1	

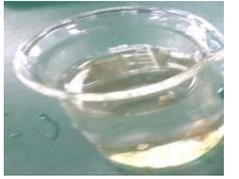
結果與分析：

由表 1 可知在三層水質中，pH 值有升有減，而因藻類滋生，鹽類被吸附，導致電導度降低。

同時藻類的數量增加使濁度上升，也因呼吸作用盛於光合作用，使水質溶氧量降低。

2.日照處理 20 天后之過濾前、後濁度(單位：NTU)比較：

表 2：殺蛇溪取樣不同深度 照光前後水質濁度結果比較：

組別	水面	水面底下 20 公分	水面底下 40 公分
過濾前照片			
過濾後照片			
濁度 (NTU)	15.31	16.79	12.01
過濾後濁度(NTU)	3.67	3.66	5.34

結果與分析：

由表 2 可知為配合不同水生植物對污染物清淨能力之比較之實驗中濁度探討而用濾紙過濾，而實驗(一)主要是探討過濾前的濁度，過濾後濁度是作為水生植物實驗的對照組，以證明水生植物的確有淨化濁度的功能。過濾前濁度表水層最高，底層最低，但濾紙過濾後濁度卻是表水層最低，底層最高，由此推測影響表水層濁度多為不溶於水的懸浮固體微粒物質，而影響底層濁度多為溶於水的物質。

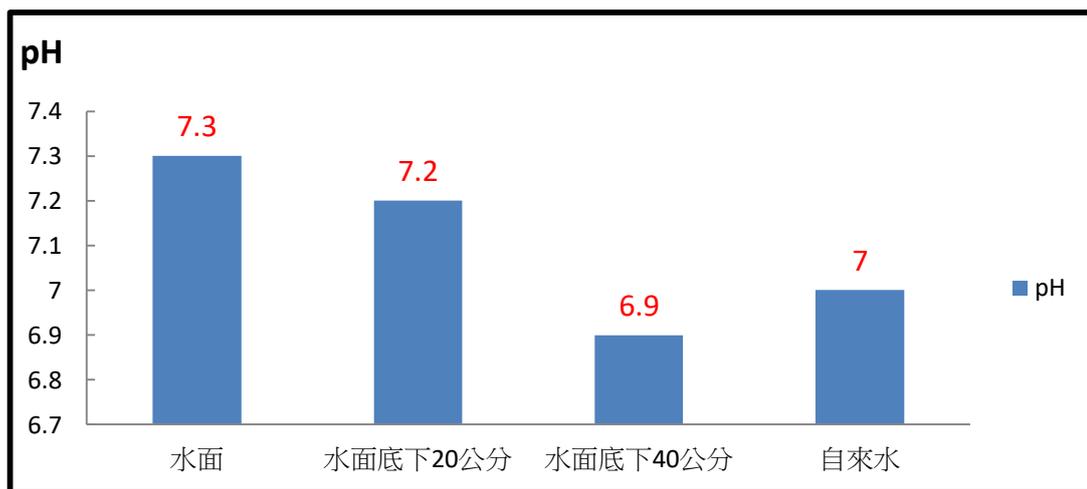


圖 4：殺蛇溪取樣不同深度 照光前水質 pH 值

圖 4 顯示殺蛇溪表水層、中層水域 pH 值大於自來水 pH 值，下層雖偏弱酸性(氫離子(H⁺)濃度增高)，卻最接近自來水，推測表水層、中層水域礦物鹽類物質(如 Ca²⁺、Mg²⁺)較多，而偏鹼性。

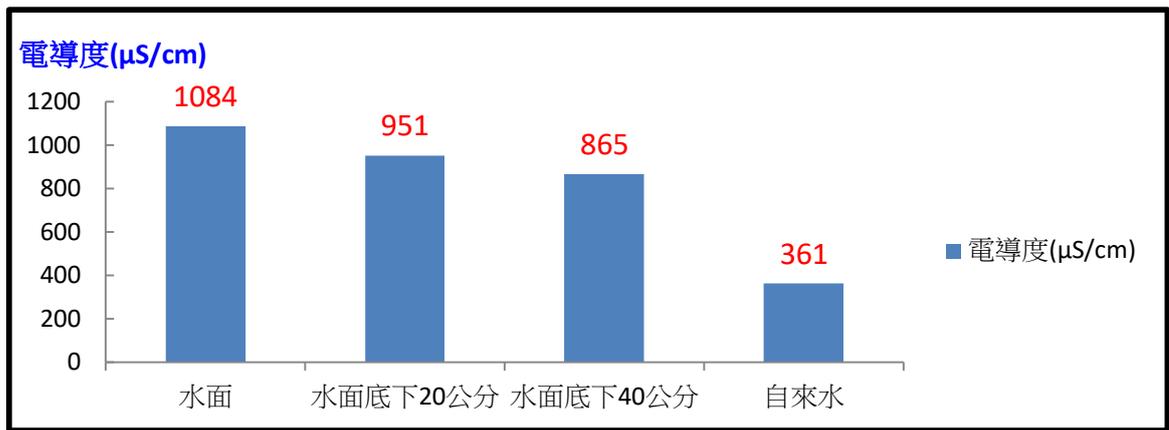


圖 5：殺蛇溪取樣不同深度 照光前水質 電導度值比較

圖 5 顯示殺蛇溪表水層、中層電導度高於底層，與圖 1 推測結果相符。底層電導度雖最低，仍高於自來水 400(μ S/cm)以上，三層水樣礦物鹽類含量皆較自來水高。

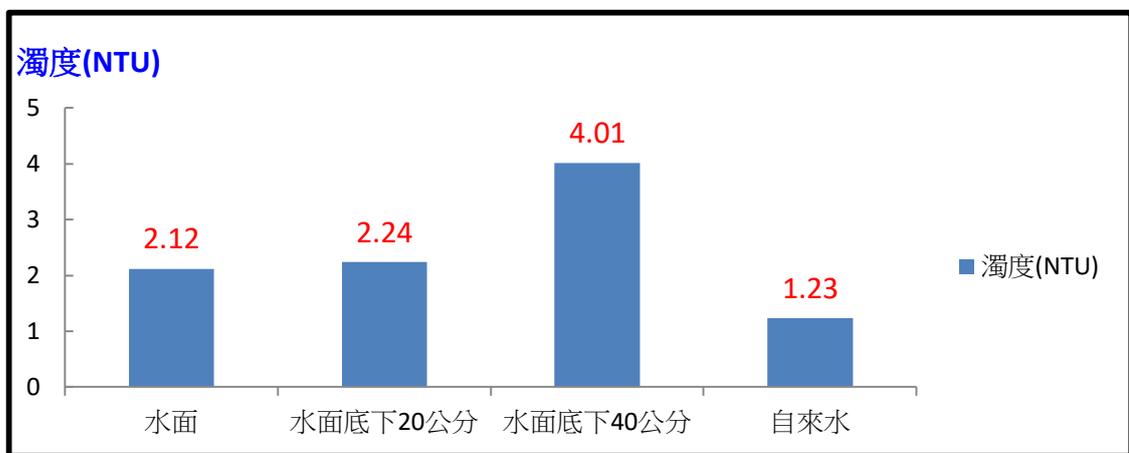


圖 6：殺蛇溪取樣不同深度 照光前水質 濁度值比較

圖 6 顯示殺蛇溪表水層、中層濁度較下層接近自來水，而底層濁度最高約各為表水層、中層 2 倍。

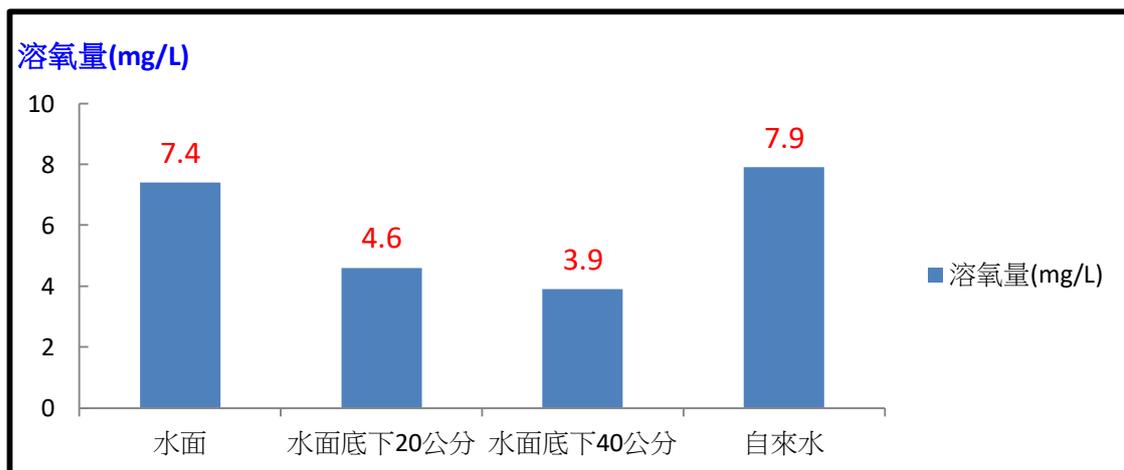


圖 7：殺蛇溪取樣不同深度 照光前水質 溶氧量值比較

圖 7 顯示殺蛇溪表水層溶氧量最高，也最接近自來水，中、底層差距較多，推測是因從水面溶入水中的氧氣，難以到達超過水面底下 20 公分(即中層及底層水域)。

3.不同水深水質初始污染程度比較(長條圖)

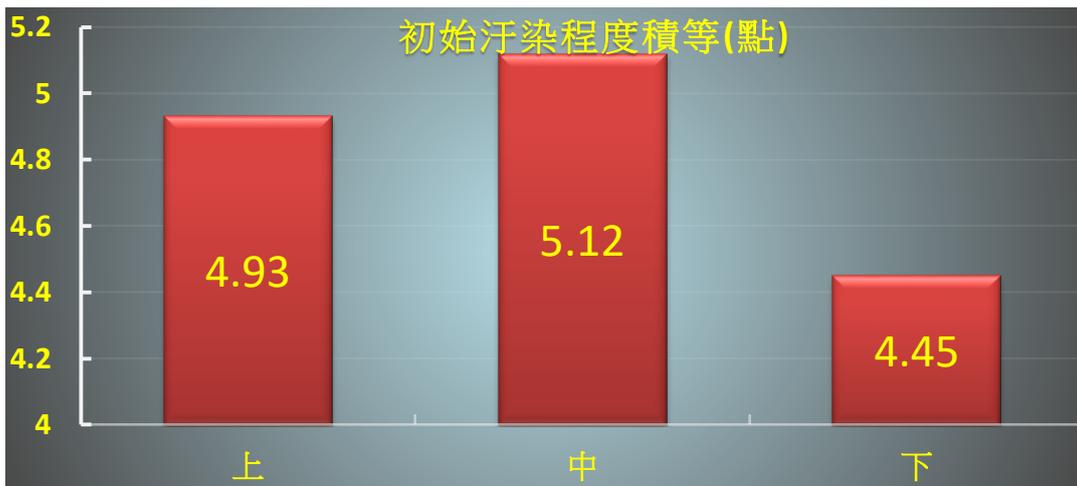


圖 8：殺蛇溪取樣不同深度 照光前水質初始污染程度積等指標值比較(以公式換算)

結果與分析：→實驗結果~初始污染程度:水面底下 40 公分>水面>水面底下 20 公分

圖 8 顯示殺蛇溪表水層及中層初始污染程度較為接近且較高，底層則為初始污染程度最輕，推測表水層、中層污染物質較多。以與「自來水」的差距，即表 7 積等總計，作為初始污染程度的依據。當統計試算後之積分點數(積等)越高時，表示污染程度越高。

(二)探討污染水質日照處理前、後不同深淺的 pH 值，電導度，溶氧量及濁度等水質檢測變化

1.日照處理 20 天後不同水深各項水質檢測數據比較圖

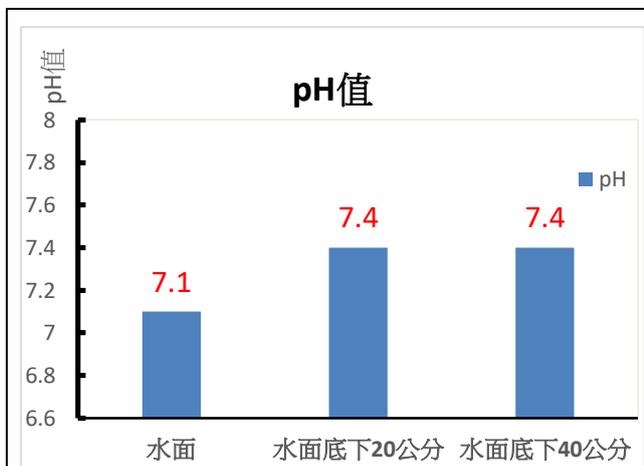


圖 9：取樣不同深度 照光後前水質 pH 值

由圖 9 中、底層 pH 值上升，且高於表水層 pH 值。根據前人研究推測在中、底層生長的藻類較多行光合作用時會造成水中酸鹼度值上升，能吸附較多酸性物質，表水層 pH 值下降，推測能吸附的物質多為營養鹽類。

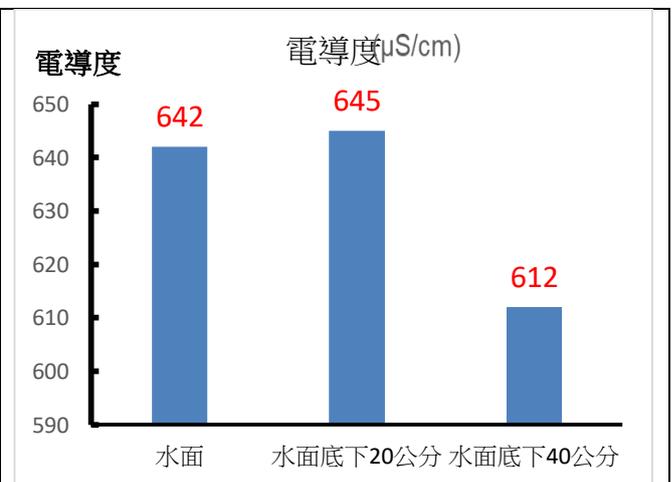
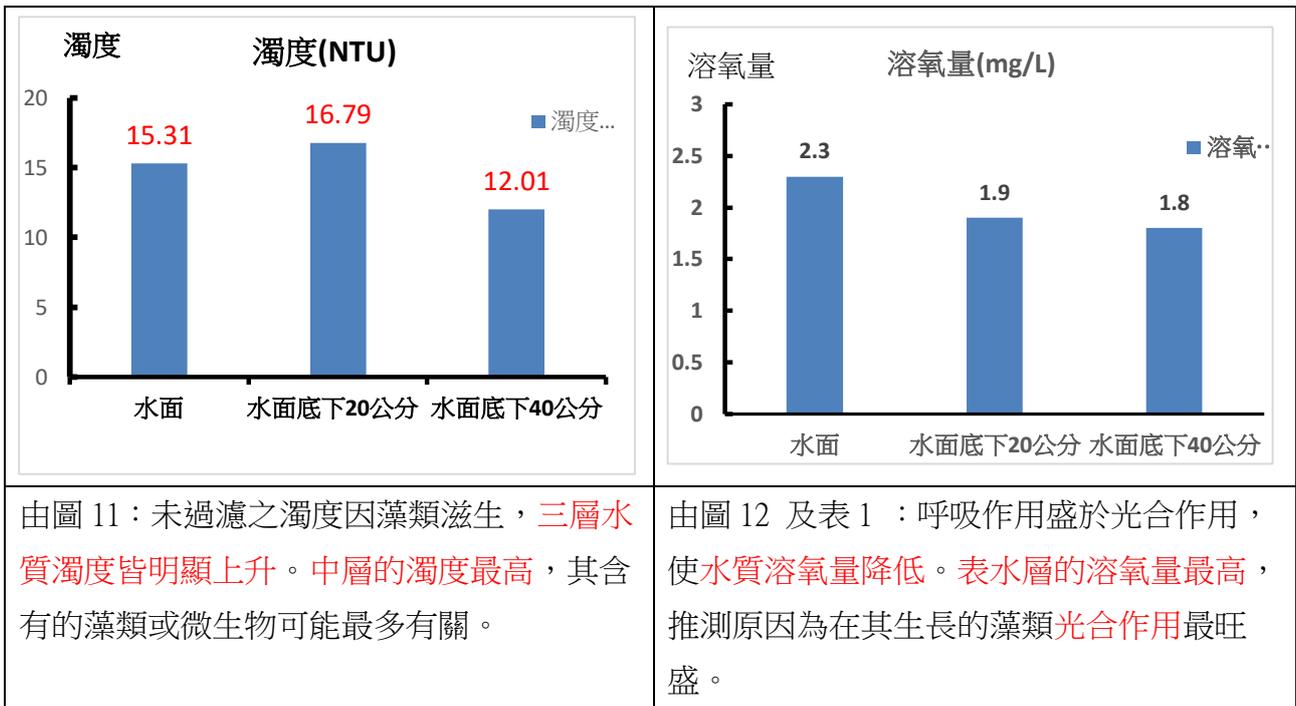


圖 10：取樣不同深度 照光後前水質電導度值

由圖 10 知底層電導度最低，但表水層是改善最多。由此知表水層藻類吸附的鹽類物質最多，結果與圖 9 表水層 pH 值下降相符。



2.不同水深水質光照 20 天後污染程度比較(長條圖)

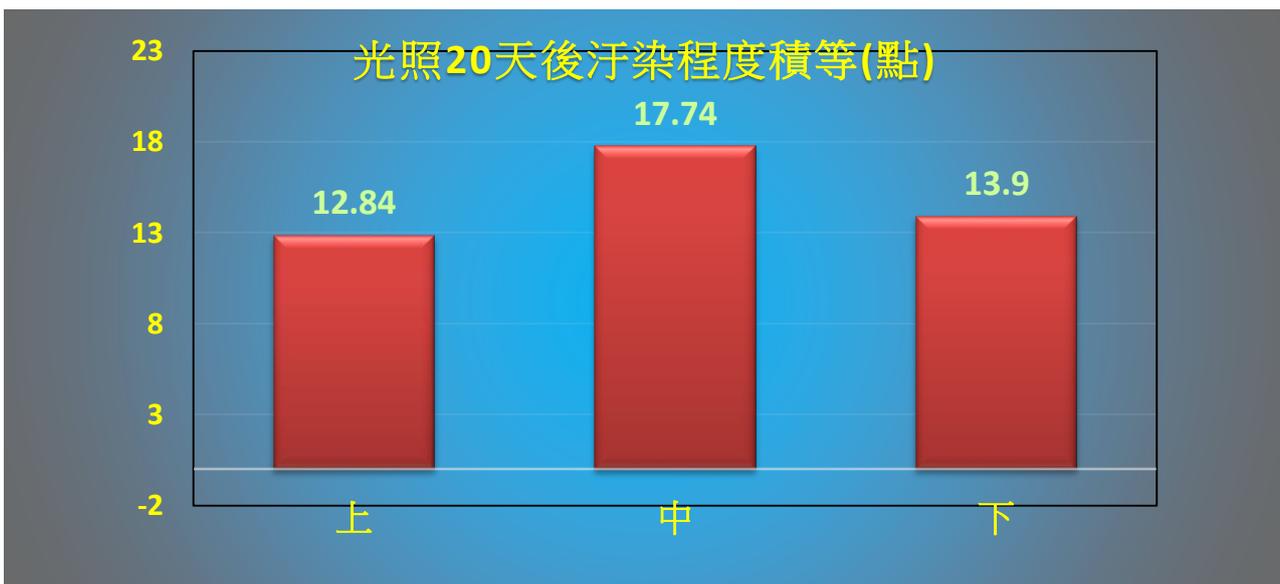


圖 13 光照 20 天後不同水深水質污染程度比較圖

結果與分析：

由圖 13：照光前後中層污染程度皆最高，推測是因中層本身污染物質最多，且最難被清淨。以「與自來水」的差距比較，如表 8 績等總計，作為污染程度的依據，點數越高，污染程度越高。

→照光 20 天後污染程度:水面底下 20 公分 > 水面底下 40 公分 > 水面(17.74 > 13.90 > 12.84)。

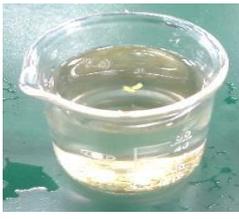
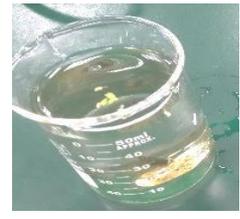
◎研究二、不同水生植物對污染物清淨水質能力之比較

(一)探討水生植物對『不同深淺水樣』的清淨水質能力之比較~

- 1.分別種植布袋蓮，水芙蓉以及槐葉萍在水桶內，每桶有 4000 毫升之水質，共 9 桶(水樣有表水層、中層、底層，每層各對應三種水生植物~進行三重複實驗)。
- 2.實驗 20 天後檢測各項水質數據。

(1)布袋蓮水生植物種植前後淨化水質能力數據探討

表 3 布袋蓮水生植物種植前後淨化水質能力統計表

組別		水面	水面底下 20 公分	水面底下 40 公分
種植 20 天後照片				
pH 值	20 天前	7.3	7.2	6.9
	種植後	8.1	7.6	8.4
	差值	+0.8	+0.4	+1.5
電導度(μ S/cm)	20 天前	1084	951	865
	種植後	523	512	560
	差值	-561	-439	-305
濁度 (NTU)	20 天前			
	種植後	18.63	17.88	7.33
	差值			
過濾後濁度 (NTU)	20 天前	2.12	2.24	4.01
	種植後	1.99	2.10	2.33
	差值	-0.13	-0.14	-1.68
溶氧量(mg/L)	20 天前	7.4	4.6	3.9
	種植後	6.2	5.8	6.4
	差值	-1.2	+1.2	+2.5

結果與分析：

由表 3 可知：在不同深度水質 pH 值皆上升，電導度及過濾後濁度皆降低。中、底層溶氧量升高，但表水層溶氧量降低，可能是因原本表水層的浮游生物數量及繁殖率高導致。底層過濾前濁度最低，過濾後濁度卻最高，可能是因不溶於水懸浮固體微粒物質的含量較表水層、中層少，分析結果同(表 4、表 5)。

(2)水芙蓉水生植物種植前後淨化水質能力數據探討

表 4：水芙蓉水生植物種植前後淨化水質能力統計表

組別		水面	水面底下 20 公分	水面底下 40 公分
種植 20 天後照片				
pH 值	20 天前	7.3	7.2	6.9
	種植後	7.5	7.6	7.9
	差值	+0.2	+0.4	+1.0
電導度 (μ S/cm)	20 天前	1084	951	865
	種植後	649	850	777
	差值	-435	-101	-88
濁度 (NTU)	20 天前			
	種植後	13.11	9.43	7.23
	差值			
過濾後濁度 (NTU)	20 天前	2.12	2.24	4.01
	種植後	1.69	2.16	3.14
	差值	-0.43	-0.08	-0.87
溶氧量 (mg/L)	20 天前	7.4	4.6	3.9
	種植後	6.1	5.8	6.4
	差值	-1.3	+1.2	+2.5

結果與分析：

由表 4 可知：芙蓉水生植物種植後，不同深度水質 pH 值皆上升，電導度及過濾後濁度皆降低。中、底層溶氧量升高，但表水層溶氧量降低，可能是因原本表水層的浮游生物數量及繁殖率高導致。另發現底層過濾前濁度最低，過濾後濁度卻最高，可能是底層因不溶於水懸浮固體微粒物質含量較表水層、中層少，分析結果同(表 3、表 5)。

(3) 槐葉萍水生植物種植前後淨化水質能力數據探討

表 5 槐葉萍水生植物種植前後淨化水質能力統計表

組別		水面	水面底下 20 公分	水面底下 40 公分
種植 20 天後照片				
pH 值	20 天前	7.3	7.2	6.9
	種植後	8.6	8.6	8.4
	差值	+1.3	+1.4	+1.5
電導度(μ S/cm)	20 天前	1084	951	865
	種植後	543	632	556
	差值	-541	-319	-309
濁度 (NTU)	20 天前			
	種植後	27.10	22.32	14.11
	差值			
過濾後濁度 (NTU)	20 天前	2.12	2.24	4.01
	種植後	1.98	2.23	3.34
	差值	-0.14	-0.01	-0.77
溶氧量(mg/L)	20 天前	7.4	4.6	3.9
	種植後	6.6	6.7	6.7
	差值	-0.8	+2.1	+2.8

結果與分析：

由表 5 可知：槐葉萍水生植物種植後，不同深度水質 pH 值皆上升，電導度及過濾後濁度皆降低。而中、底層溶氧量升高，但表水層溶氧量卻降低，可能是因原本表水層的浮游生物數量及繁殖率高導致。底層過濾前濁度最低，過濾後濁度卻最高，可能是因不溶於水懸浮固體微粒物質含量較表水層、中層少，分析結果同(表 3、表 4)。

(二)比較『不同水生植物』對污染物的清淨水質能力之比較

1. 在種植『不同水生植物』後之各項水質檢測結果比較

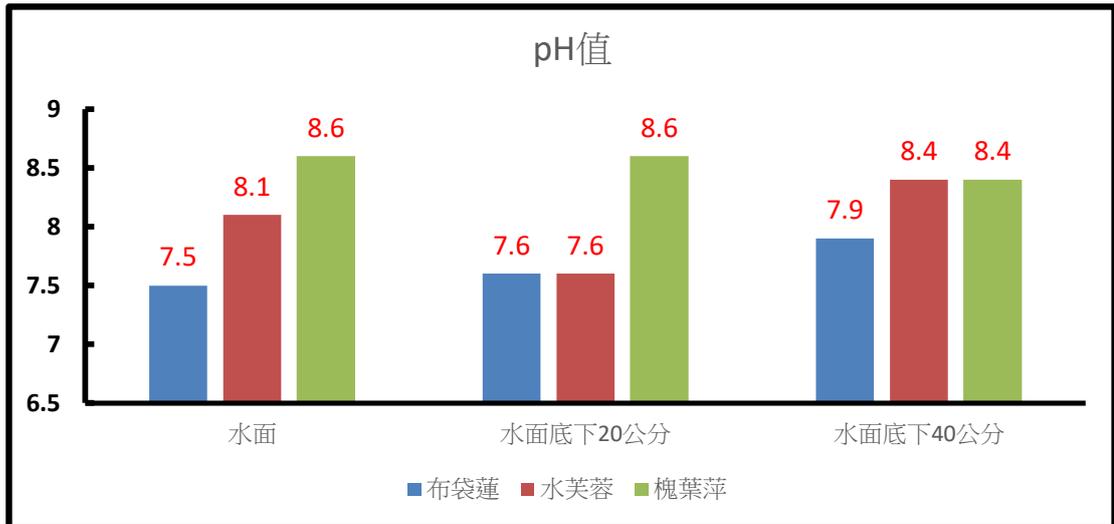


圖 14：種植『不同水生植物』後之水質 pH 值比較

結果與分析：

由圖 14 可知三層水質中發現相同重量水生植物下，pH 值皆以『槐葉萍』最高。推測槐葉萍吸附的酸性物質最多。布袋蓮及水芙蓉種植在底層水樣後 pH 值皆比表水層或中層高，推測底層含有最多布袋蓮及水芙蓉可吸附的酸性物質。此與(2013 呂立德、李祖賢、陳柔卉等)研究兩種水生植物（布袋蓮、水芙蓉）在太湖水庫的淨化能力中，顯示出水生植物對 $\text{NH}^3\text{-N}$ 、 $\text{NO}^3\text{-N}$ 、 $\text{NO}^2\text{-N}$ 具有相當大的去除效率，使 pH 值上升之研究發現類同。

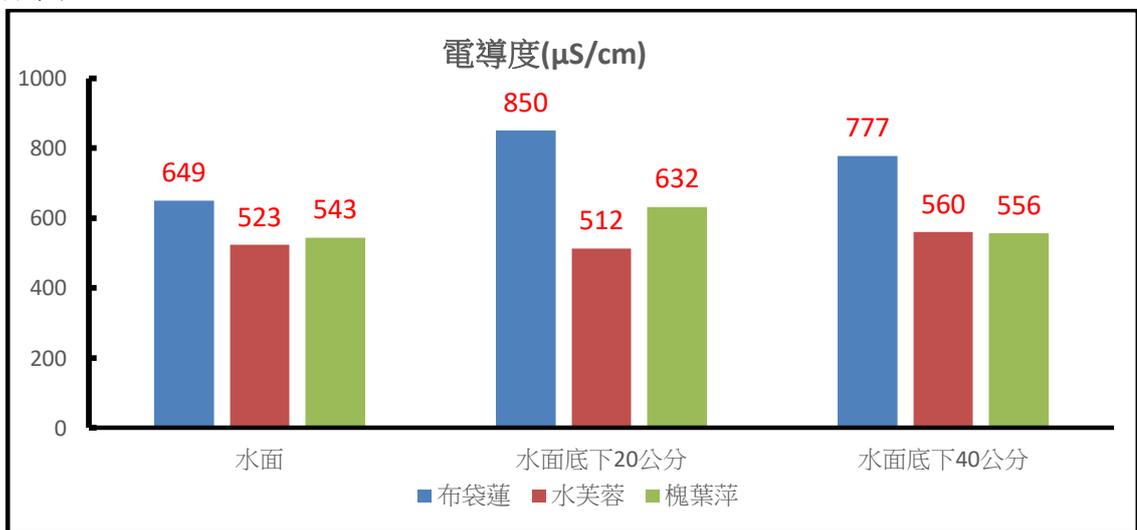


圖 15：種植『不同水生植物』後之水質電導度值比較

結果與分析：

由圖 15 可知三層水質中發現相同重量的水生植物下，電導度皆以『布袋蓮』最高，推測是因其吸附礦物鹽類效力最差。種植水芙蓉及槐葉萍的電導度相近，推測水質中水芙蓉及槐葉萍能吸附的礦物鹽類大多相同，此與前人研究有相似性。

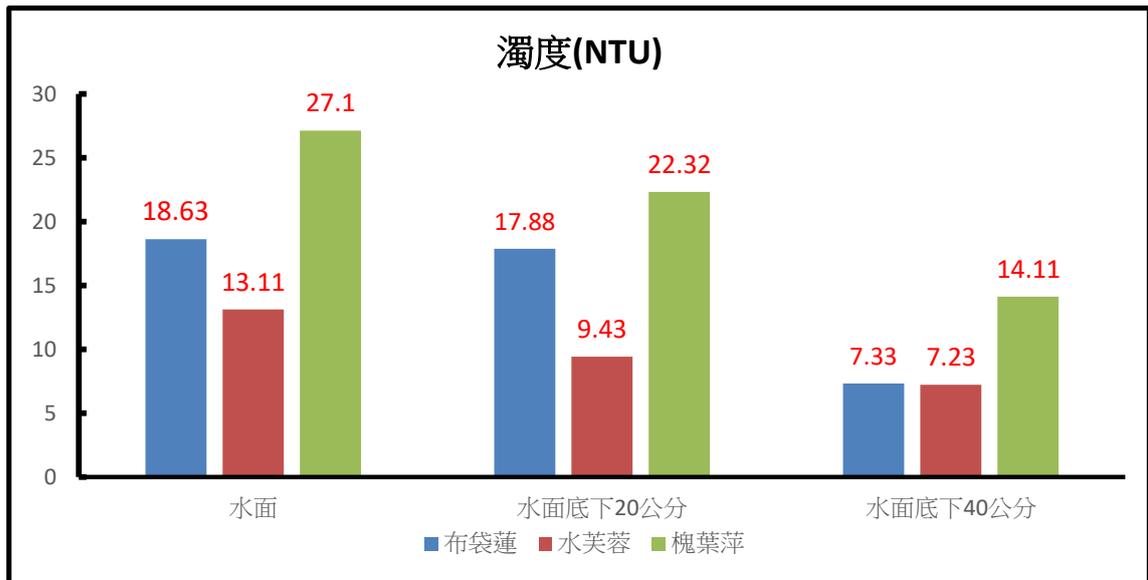


圖 16：種植『不同水生植物』後之水質濁度值比較

結果與分析：

由圖 16 可知三層水質中發現相同重量水生植物下，過濾前濁度表現上，皆以『槐葉萍』最高，推測是因其根部周圍滋生藻類或微生物最多；過濾前濁度皆以『水芙蓉』最低，推測是因其根部周圍滋生藻類或微生物最少。而底層的濁度較上及中層低，在水生植物根部周圍的藻類可能最少。

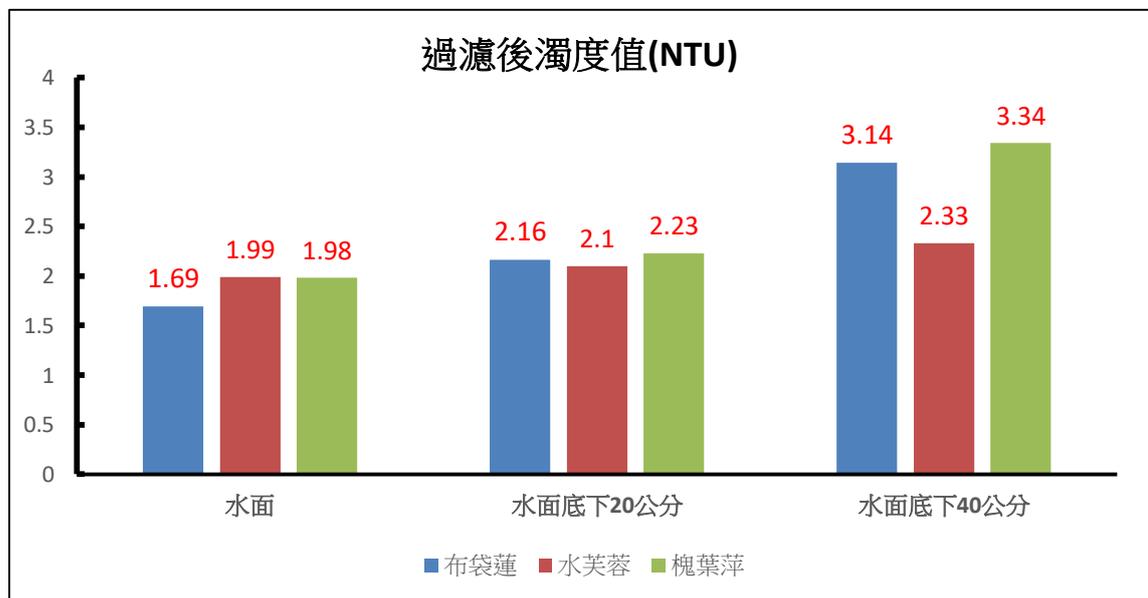


圖 17：種植『不同水生植物』後之過濾後水質濁度值比較

結果與分析：

由圖 17 可知三層水質中發現相同重量的水生植物條件下，三種水生植物在過濾後濁度值表現上差距不大，槐葉萍濁度最高，推測是因種植槐葉萍使根部周圍物質增加。表水層的濁度在過濾後由最高變為最低，其含有不溶於水的懸浮固體微粒物質可能最多。



圖 18：種植『不同水生植物』後之 20 天后『水質改善績等』比較

結果與分析：

由圖 18 可知三層水質中發現相同重量水生植物下，『槐葉萍』的水質改善績等指數最高，布袋蓮則為最低。由此推論殺蛇溪的水質中『槐葉萍』可吸附的物質最多，布袋蓮則最少，將對數據的正面影響減去負面影響作為改善依據，數據來自(表 13~表 15)，此與(陳，2005)研究水生植物根部附近成為好氧區，由根部表面或其附近所附生的微生物進行同化、異化、硝化、脫硝及磷的化學沉澱等作用，促使水中營養鹽物質的去除現類同。

→改善績等指數統計：

- (1)不同水生植物間水質改善比較：槐葉萍 > 水芙蓉 > 布袋蓮 (49.25 > 34.11 > 20.03)。
- (2)上、中、下不同深淺水質改善比較：表水層 > 中層 > 底層(49.67 > 27.16 > 26.56)。

研究三、利用在野外即可取得之材料自製濾水器實驗

(一)自製天然濾水器裝置構造圖及實驗方法

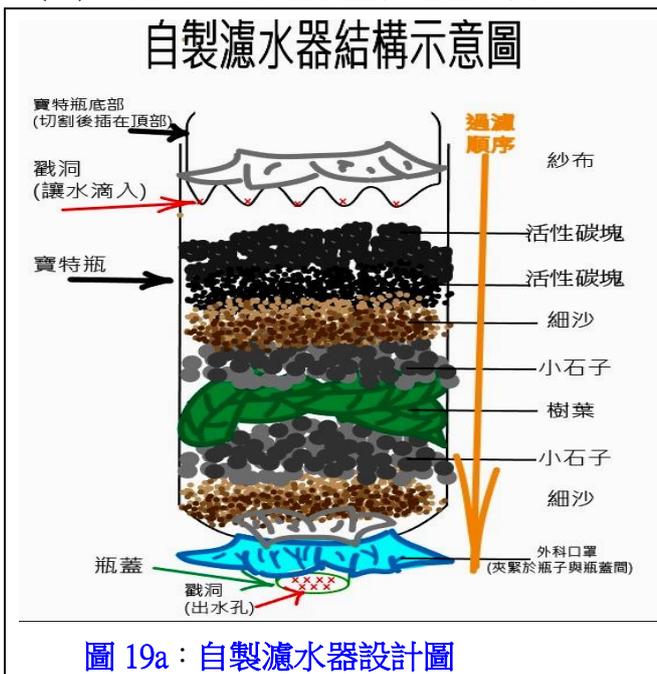


圖 19a：自製濾水器設計圖

←如圖 19(a、b)自製濾水器實驗方式：由底部依序放入口罩、紗布、細沙、小石子、樹葉、小石子、細沙、活性碳粉、活性碳塊、紗布。除了口罩及紗布，每層過濾材料放入 2.5cm 厚度。

→照光 20 天後水樣經濾水器過濾前、後各項水質檢測變化。



圖 19b：自製濾水器實驗裝置圖

(二)將照光 20 天後水樣經濾水器過濾前、後各項水質檢測結果

表 6：照光 20 天後水樣經濾水器過濾前、後各項水質檢測結果統計表

組別		水面	水面底下 20 公分	水面底下 40 公分
濾水器過濾後照片				
pH 值	過濾前	7.1	7.4	7.4
	過濾後	7.5	7.3	7.1
	差值	+0.4	-0.1	-0.3
電導度 (μ S/cm)	過濾前	642	645	612
	過濾後	641	643	611
	差值	-1	-2	-1
濁度(NTU)	過濾前	15.31	16.79	12.01
	過濾後	2.40	0.33	2.25
	差值	-12.91	-16.46	-9.76
溶氧量(mg/L)	過濾前	2.3	1.9	1.8
	過濾後	2.4	2.5	2.0
	差值	+0.1	+0.6	+0.2

結果與分析：

由表 6 可知 pH 值有升有減，電導度及溶氧量差值極小，濁度明顯降低。中層的濁度降為最低，推測能被過濾不溶於水的懸浮固體微粒物質最多。由此知濾水器主要影響的數據為濁度改善(如表 16 及圖 25)。

(三) 水樣經濾水器過濾前、後各項檢測數據比較之探討

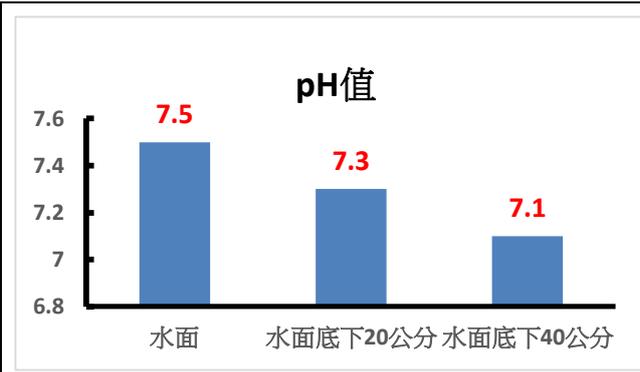


圖 20 自製濾水器過濾後 pH 值

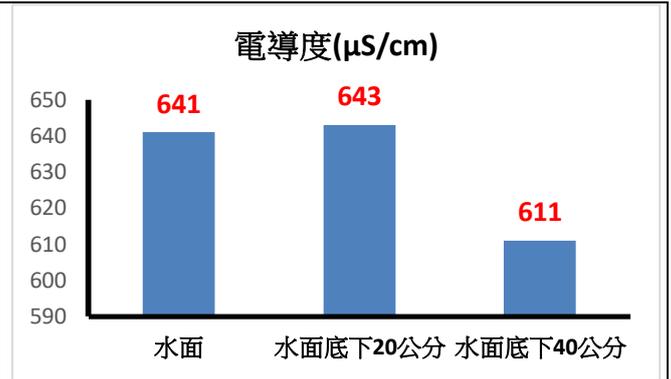


圖 21 自製濾水器過濾後 電導度值

分析：pH 值表水層為上升，中及底層為下降，但濾水器過濾的是較為單純且不溶於水的物質。因此僅能推測表水層過濾時殘留在濾水器的水中多含酸性物質；中及底層過濾時殘留在濾水器的水中多含鹼性物質。

分析：不同深淺水域電導度值過濾後和過濾前差值極小。

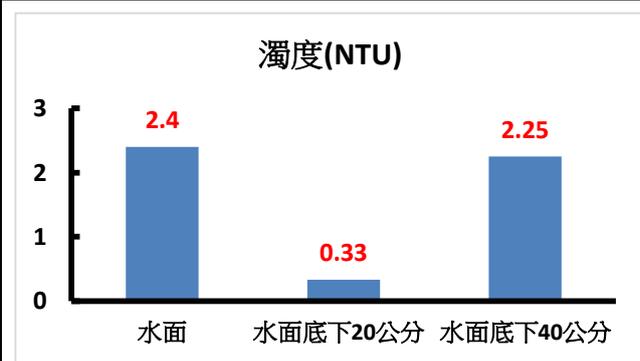


圖 22 自製濾水器過濾後 濁度值

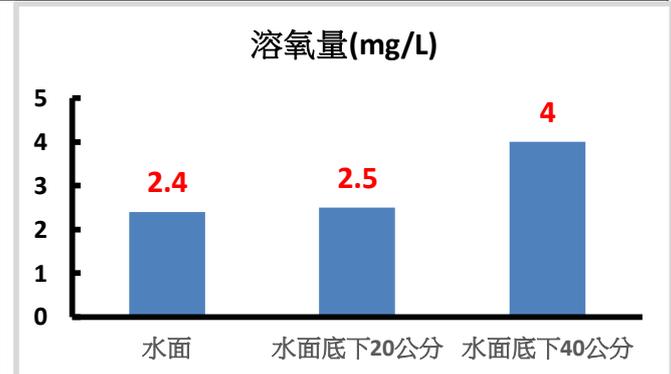


圖 23 自製濾水器過濾後 溶氧量值

分析：中層濁度被降為最低，可能因其不溶於水的懸浮固體微粒物質最多。

分析：溶氧量和過濾前差值極小。

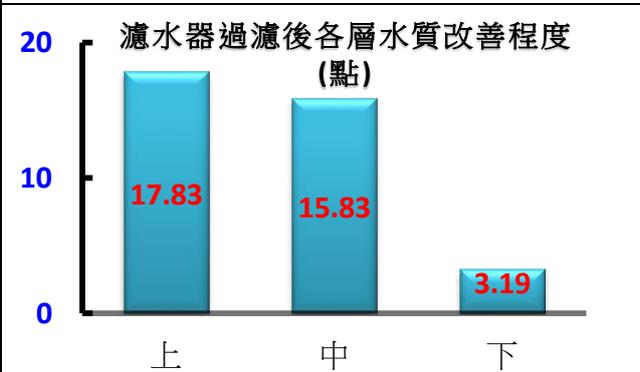


圖 24 自製濾水器過濾後各層改善績等

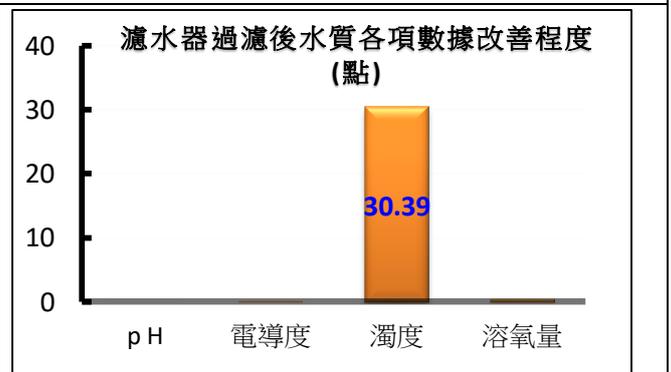


圖 25 自製濾水器過濾後水質各項改善績等

分析：底層被改善程度最低，可能是因影響其濁度多為溶於水的物質。將對數據的正面影響

分析：在 pH 值、電導度、溶氧量改善極少，而濁度最明顯改善，因濾水器過濾的是較為單純

<p>減負面影響作為改善依據，數據來自(表 16)。</p> <p>→濾水器過濾後清淨程度： 上(表水層)>中層>下(底層) (17.83>15.83>3.19)</p>	<p>且不溶於水的懸浮固體微粒物質。將對數據的正面影響減負面影響作為改善依據，數據來自(表 16)</p> <p>→濾水器過濾後清淨程度：濁度>溶氧量>電導度>pH 值 (30.39>0.33>0.03 >0)</p>
---	---

(四)水質績等評鑑指標(指數)計算

註 1.紅色為正於自來水之點數，綠色為負於自來水之指數

註 2.總計為該層水質之四項數據之數字總和(不論正負)

註 3.總計指數越低，越接近自來水指數

1.各層水質與自來水之各項水質績等指數差異比較

表 7 各層水質與自來水之各項水質績等 指數差異比較表

組別(點)	pH	電導度	濁度	溶氧量	總計
水面	3.00	1.39	0.34	0.2	4.93
水面底下 20 公分	2.00	1.37	0.43	1.32	5.12
水面底下 40 公分	1.00	1.23	0.72	1.5	4.45

結果與分析：由表 7 知中層水層與自來水的差值(初使汙染程度)最高，如圖 8 所示。

2.照光 20 天後各層水質與自來水之水質績等 指數差

表 8 照光 20 天後各層水質與自來水之各項水質績等 指數差異比較表

組別(點)	pH	電導度	濁度	溶氧量	總計
水面	1.00	0.80	8.80	2.24	12.84
水面底下 20 公分	4.00	0.81	9.73	3.20	17.74
水面底下 40 公分	4.00	0.72	6.74	2.44	13.90

結果與分析：由表 8 知中層水層與自來水的差值(汙染程度)最高，如(圖 13)所示，且三層水質汙染指數皆高於(表 7)汙染指數。

(四)水生植物種植後之不同深淺水層水質績等指數差異比較 (濁度以濾紙過濾後做為比較)

1. 表 9 種植布袋蓮水生植物後之不同深淺水層 水質績等指數差異比較表

組別(點)	pH	電導度	濁度	溶氧量	績等總計
水面	5.00	0.01	0.23	0.68	5.92
水面底下 20 公分	4.00	1.40	0.58	0.84	6.82
水面底下 40 公分	1.00	1.19	0.76	0.60	3.55

結果與分析：由表 9 知仍為中層水層與自來水(如表 1)兩相評鑑比較的差值(汙染程度)最高。

2. 表 10 種植水芙蓉水生植物後之不同深淺水層 水質績等指數差異比較表

組別(點)	pH	電導度	濁度	溶氧量	績等總計
水面	1.00	0.05	0.48	0.72	2.25
水面底下 20 公分	4.00	1.40	0.54	0.84	6.78
水面底下 40 公分	4.00	0.01	0.75	0.60	5.36

結果與分析：由表 10 知仍為中層水層與自來水(如表 1)相評鑑比較的差值(汙染程度)最高。

3. 表 11 種植槐葉萍水生植物後之不同深淺水層 水質績等指數差異比較表

組別(點)	pH	電導度	濁度	溶氧量	總計
水面	6.00	1.55	0.47	0.52	7.00
水面底下 20 公分	6.00	0.77	0.63	0.48	7.88
水面底下 40 公分	4.00	0.01	1.32	0.48	5.81

結果與分析：由表 11 知仍為中層與自來水(如表 1)兩相評鑑比較的差值(汙染程度)最高。

(五) 表 12 濾水器過濾後之各層水質與自來水之水質績等指數差異比較

組別(點)	pH	電導度	濁度	溶氧量	總計
水面	5.00	0.80	0.73	2.20	8.73
水面底下 20 公分	3.00	0.81	0.56	2.19	10.93
水面底下 40 公分	1.00	0.71	0.64	2.36	4.71

結果與分析：由表 12 知仍為中層與自來水的差值(汙染程度)最高。

(六)水生植物種植後之各層水質與種植前之水質績等指數差異(清淨能力)比較

註 1.種植後數據減種植前數據再乘以指數比。

註 2.指數越高 清淨能力越佳(皆在合理範圍內)。

註 3.橙色為正面影響，藍色為負面影響，總計為橙色減藍色。

1. 表 13：種植布袋蓮水生植物後之不同深淺水層 水質績等指數差異比較表

組別(點)	pH(+)	電導度(-)	濁度(-)	溶氧量(+)	總計
水面	2.00	1.24	0.27	0.48	3.03
水面底下 20 公分	4.00	0.29	0.05	0.48	4.82
水面底下 40 公分	10.00	0.01	1.17	1.00	12.18

結果與分析：由表 13 知表水層改善指數最低，底層改善指數最佳→其中變化量以 pH 值最多。

◎總結：種植布袋蓮後清淨程度:底層>中層>表水層:(12.18>4.82>3.03)。

2. 表 14：種植水芙蓉水生植物後之不同深淺水層 水質績等指數差異比較表

組別(點)	pH(+)	電導度(-)	濁度(-)	溶氧量(+)	總計
水面	8.00	1.60	0.08	0.52	9.16
水面底下 20 公分	4.00	1.63	0.09	0.48	6.20
水面底下 40 公分	15.00	1.50	1.05	1.00	18.75

結果與分析：由表 14 可知中層改善指數最低，底層改善指數最佳→其中變化量以 pH 值最多。

◎總結：種植水芙蓉後清淨程度:底層>表水層>中層:(18.75>9.16>6.20)。

3. 表 15：種植槐葉萍水生植物後之不同深淺水層 水質績等指數差異比較表

組別(點)	pH(+)	電導度(-)	濁度(-)	溶氧量(+)	總計
水面	13.00	1.60	0.09	0.32	14.37
水面底下 20 公分	14.00	1.29	0.01	0.84	16.14
水面底下 40 公分	15.00	1.50	1.12	1.12	18.74

結果與分析：由表 15 知表水層改善指數最低，底層改善指數最佳→其中變化量以 pH 值最多。

◎總結：種植槐葉萍後清淨程度: 底層>中層>表水層(18.74>16.14>14.37)。

(七) 表 16：濾水器過濾前後之各層水質績等指數差異(清淨能力)比較

組別(點)	pH(+)	電導度(-)	濁度(-)	溶氧量(+)	總計
水面	4.00	0.01	13.81	0.01	17.83
水面底下 20 公分	1.00	0.01	16.58	0.24	15.83
水面底下 40 公分	3.00	0.01	6.10	0.08	3.19

結果與分析：由表 16 可知底層改善指數最低，表水層改善指數最佳→其中變化量以濁度改善最多，pH 值、電導度、溶氧量變化極少。如(圖 24)

◎總結：濾水器過濾後清淨程度: 表水層>中層>底層(17.83>15.83>3.19)。

◎研究四、水生植物及自製濾水器整體水質績等總和評鑑比較之研究

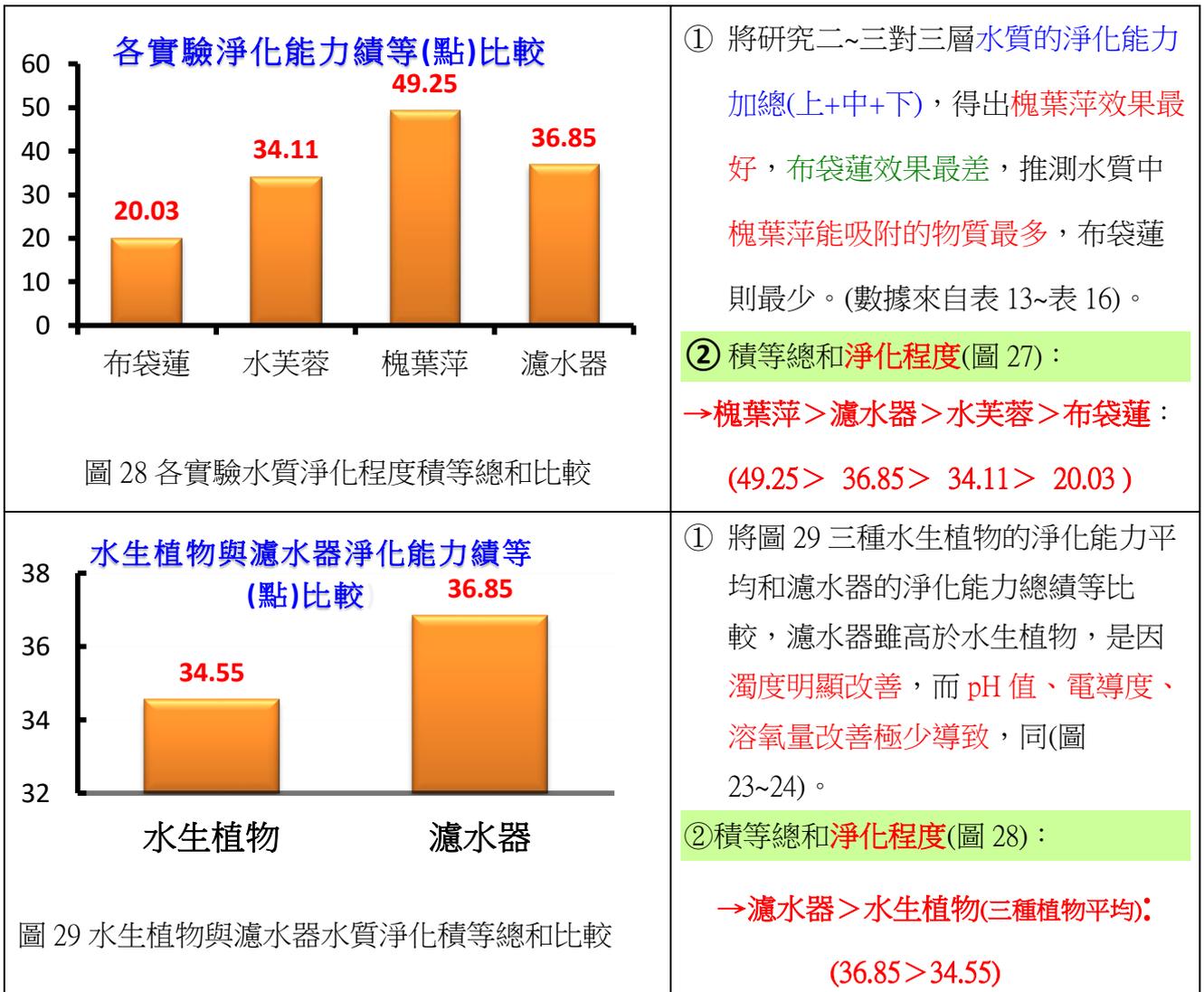
(一)各層水質污染度比較→將各實驗中『個別污染程度』(與自來水的差距)作積等總和評鑑



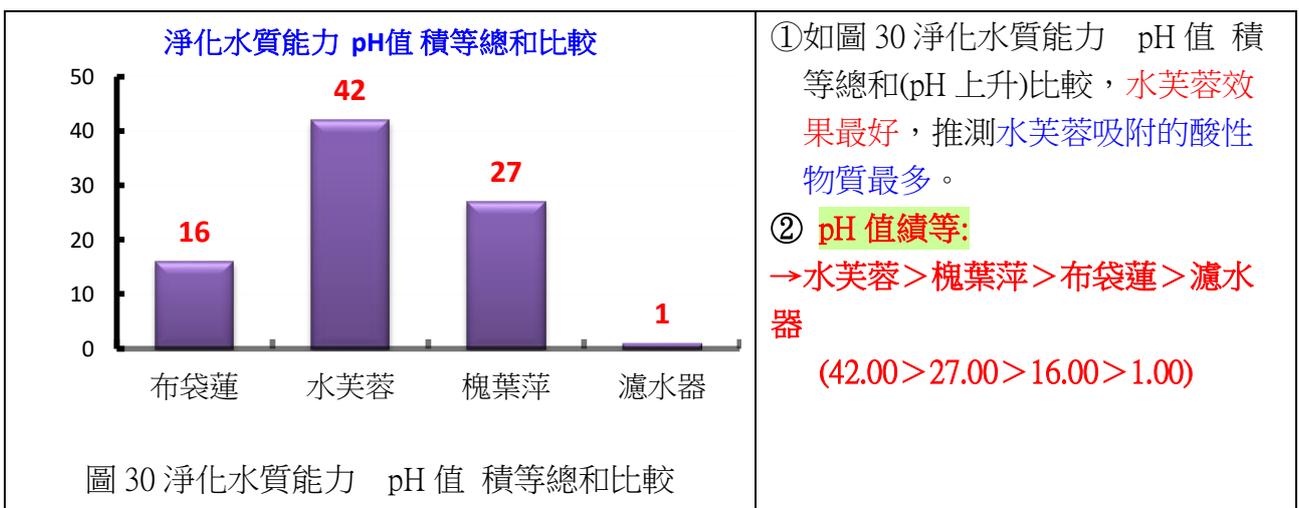
(二)各層水質被淨化能力比較→將各實驗中『個別淨化程度』作積等總和評鑑



(三)水生植物及自製濾水器各實驗淨化水質能力比較 (表水層、中層、底層三項加總)



(四)不同處理 4 項水質檢測淨化能力積等總和比較(上、中、下層三項加總)



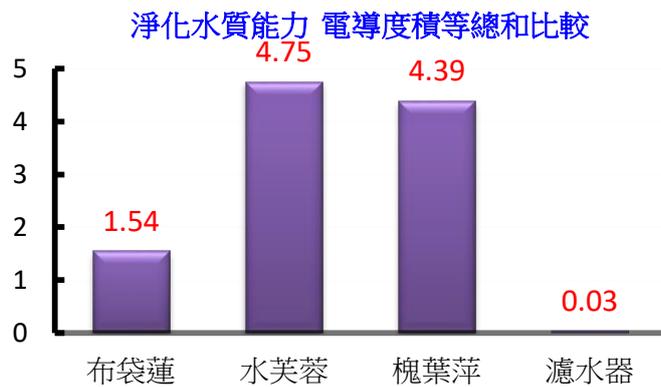


圖 31 淨化水質能力 電導度 積等總和比較

① 如圖 31 淨化水質能力 電導度(電導度下降) 積等總和比較中，水芙蓉效果最好，推測水芙蓉吸附的鹽類物質最多。

②電導度績等:

→水芙蓉>槐葉萍>布袋蓮>濾水器
(4.75 > 4.39 > 1.54 > 0.03)

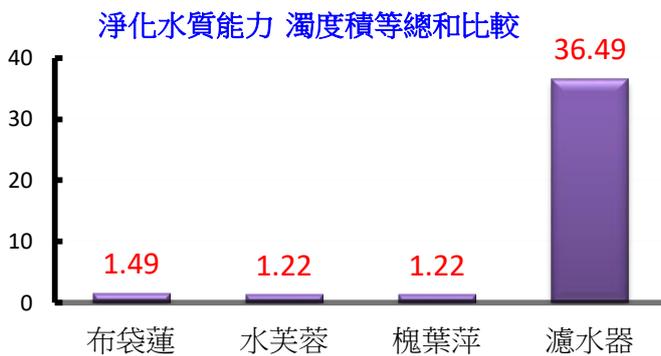


圖 32 淨化水質能力 濁度 積等總和比較

① 圖 32 淨化水質能力 濁度(濁度下降) 積等總和比較中，三種水生植物皆極低於濾水器，是因是濾水器濁度明顯改善，與(圖 21、22、25)結果相應。

②濁度績等:

→濾水器>布袋蓮>水芙蓉=槐葉萍
(36.49 > 1.49 > 1.22= 1.22)

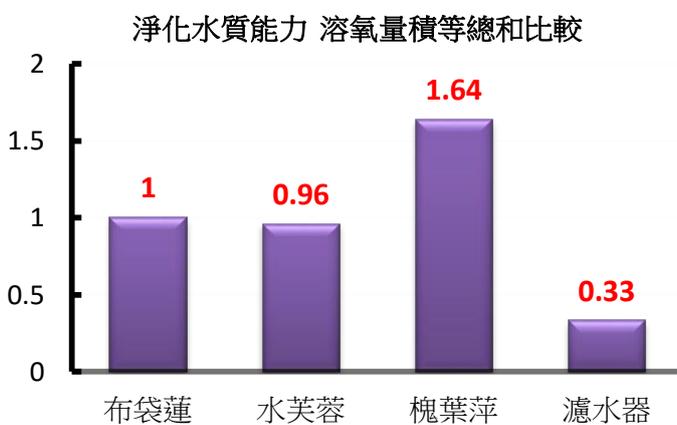


圖 33 淨化水質能力 溶氧量 積等總和比較

①圖 33 淨化水質能力 溶氧量(溶氧量上升) 積等總和比較，以槐葉萍效果最好，推測槐葉萍的光合作用效率最佳。

②溶氧量績等:

→槐葉萍>布袋蓮>水芙蓉>濾水器
(1.64 > 1.00 > 0.96 > 0.33)

陸、討論

一、本研究重要性討論

- (一)在 20 天後取水質來檢測數據時，因水生植物根部附近之藻類或其他微生物數量變多，但在檢測數據時若不攪勻水質，避開新生的藻類不檢測，可能使實驗產生極大誤差，攪勻檢測後濁度果然上升，而其他數據大多有較有利的變化，所以用濾紙過濾後再檢測濁度，同時也將實驗一之(3)(放置於陽光充足處 20 天)的水質用濾紙過濾後檢測濁度再將這兩項實驗的濁度進行比較(如表 3~5)來說明水生植物確實有實質的淨化能力。
- (二)雖然綜合結果濾水器的淨化能力高於水生植物(圖 29)，但是因濾水器的濁度清淨能力太好導致單項數據差距極大，僅有濁度有較明顯的改善(圖 32)，pH 值，電導度及溶氧量幾乎沒有差異，且清淨能力皆低於水生植物(圖 30、31、33)，也就是說自製濾水器材料因無法過濾重金屬，只能過濾顆粒較大的物質，讓濁度有卓越的淨化表現。如果身在野外缺乏水源的狀況是較少人為汙染的河或溪水有效的淨化並飲用，且具廢物利用及便利的特性。
- (三)從種植三種水生植物前後的數據比較中(表 3、4、5)有相同的分析結果: pH 值皆上升，電導度及過濾後濁度皆降低。中、底層溶氧量升高，但表水層溶氧量降低；底層過濾前濁度最低，過濾後濁度卻最高，推測是因不溶於水的懸浮微粒物質含量較表水層、中層低，且原本表水層的汙染程度高而導致(如圖 17)。
- (四)在水質檢測各項物理、化學性指標項目中：(如圖 34 分析)
1. pH 值必須控制在對微生物有利的範圍內。
 2. 電導度高代表水質中鹽類含量多。
 3. 濁度高的水，在外觀上即予人不潔淨的感覺，在給水工程(特別民生、工業用水)上亦容易發生淨水困難，因會使過濾過程及成本負荷增加。
 4. 溶氧含量在未受汙染區段通常很高，甚至可達飽和溶氧量，但在遭受有機物汙染時，水中微生物繁殖，分解作用會消耗氧氣(優養化現象)，溶氧值即降低。
 5. 鹽類含量高，電導度亦高，但 pH 值易受水中鹽類種類而上升或下降，另外水中鹽類含量亦會影響氧氣之溶解度，一般鹽類比例愈高，則溶氧量愈低。

6.因藻類及綠色植物等生產者光合作用效率變差，會導致製造氧氣(溶氧量)效率降低，二氧化碳濃度則略升，進而 pH 值下降(二氧化碳溶解於水中形成偏酸性的碳酸)。

二、科學探究：

受到水中汙染(特別是有機物)之分解者分解作用，會消耗水體溶氧影響，進而降低水中溶氧量；而溶氧高的原因，除自然曝氣作用外，尚包括水中生產者藻類行光合作用。清淨的水體一般不會超過 120%之溶氧飽和度。若溶氧太高、飽和度超過 130%時，可能是家庭或序幕、農業廢水造成水中營養鹽(碳、氮、磷化合物)豐富，水生植物過度生長、水中光合作用旺盛產生氧所造成，反而是水質惡化的警訊，因水中高濃度的氮和磷通常會造成優養化，使藻類大量增生覆蓋水面，有時將陽光全部遮蔽，使水中植物、魚、蝦死亡；而且動、植物屍體被分解時會大量消耗水中的氧氣，如果水流速度緩慢，更形成溪流中不斷缺氧的惡性循環。另當水中溶氧含量低時，微生物數量減少，有機汙染物在不易被迅速分解情況下，進而會影響水質濁度。

圖 34: 四種水質檢測指標項目關係圖

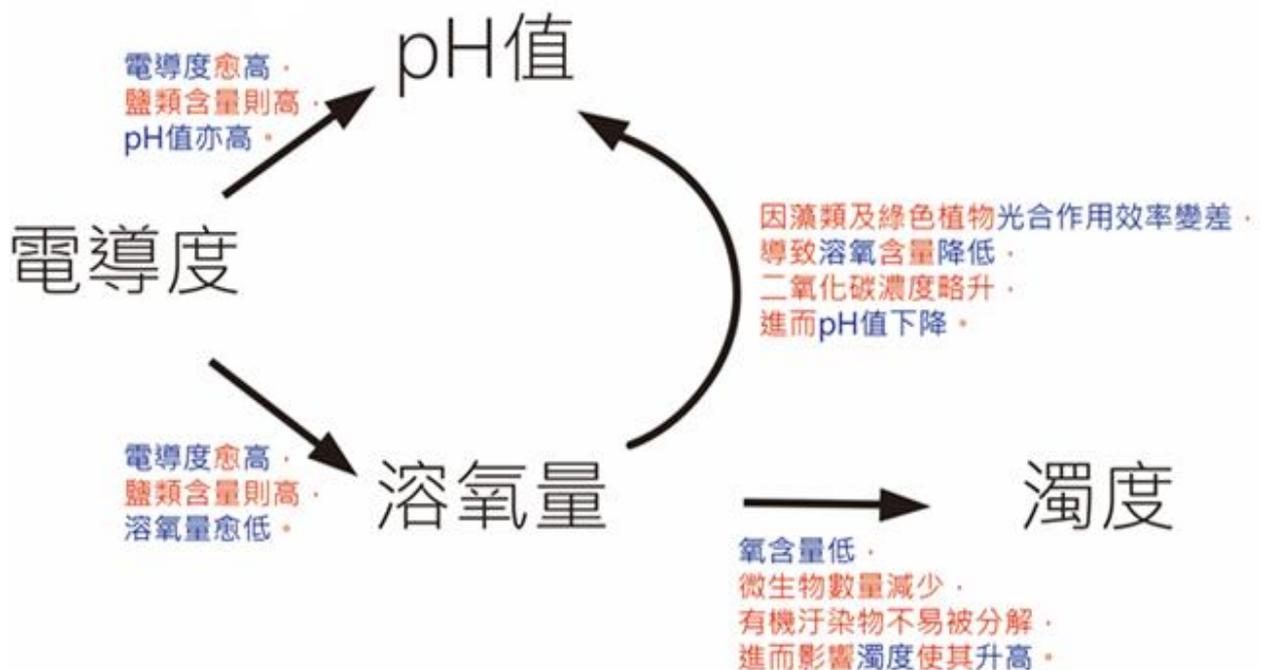


圖 34：主要參考相關文獻資料及本研究所探究之初步相互影響建立之關係圖

柒、結論

- 一、使水質能照光的狀況下，因藻類生長數量增加，pH 值及電導度略有改善，但濁度及溶氧量呈負面狀態，使水質有優養化的現象。而照光 20 天(圖 13)後水質汙染程度較初始(圖 8)汙染程度高，是使水質汙染的一種因素。
- 二、槐葉萍、布袋蓮及水芙蓉等三種水生植物皆能使 4 種水質項目改善，能有效淨化水質。
- 三、從同重量水生植物淨化水質能力綜合比較，槐葉萍淨化能力最佳，能力最低為布袋蓮。
- 四、在水生植物中，pH 值及電導度之改善能力最佳為水芙蓉，最低為布袋蓮，而溶氧量提升能力最佳為槐葉萍，最低為水芙蓉。
- 五、由圖 27 各層水質淨化程度積等總和比較得知，底層水質被改善程度最低，乃因影響其濁度多為溶於水懸浮微粒物質，若是懸浮固體量偏高，水就會呈現混濁的現象，所以懸浮固體數值越高，水質亦越差。
- 六、由表 3~5 及圖 26~27 得知，在殺蛇溪水面上的原含有的汙染物質最多；水面底下 20 公分浮游生物數量及繁殖率高；水面底下 40 公分(近河床)含有最多水生植物能吸附物質。
- 七、由表 13~15 得知，在不同深淺水域比較中，三種水生植物皆對底層水質有最佳的淨化能力，且 pH 值改變最多，皆為升高，吸附的物質推測可能多為酸性物質。

捌、研究限制與未來展望

本研究因人力、儀器、設備及時間所限，針對殺蛇溪水質取樣後進行生物性淨化能力探討，以 pH 值、溶氧量、濁度及電導度等各項水質檢測改善為研究目標。未來期望能進一步了解其他因素如餘氯、重金屬、TDS 總固體溶解濃度、懸浮微粒含量等檢測，並可分別在上、中、下游各取一適當河段，實地深入進行類似海豐崇蘭舊圳人工溼地之規劃(如圖 35)。

未來可模擬設置表面流式人工濕地(圖 36)，當水流經過土壤層、水層與植物的根、莖部接觸後，廢汙水透過植物根莖部攔阻水流後沉澱，且植物根莖部為生物膜分解有機物，達到水質淨化效果。以自然工法淨化殺蛇溪水質，將殺蛇河流域的汙染水源引流到人工濕地，最後以淨水型態回到殺蛇溪，相信此自然工法為低耗能、低成本、永續保水且無二次汙染的人工濕地，期待不僅降低優養化、減少汙染物質回溯，更同時滿足水中汙染物消滅為目的。



圖 35：人工溼地種植水生植物以自然工法淨化水質(參考中國時報臭水溝變溼地公園 慢活好去處)

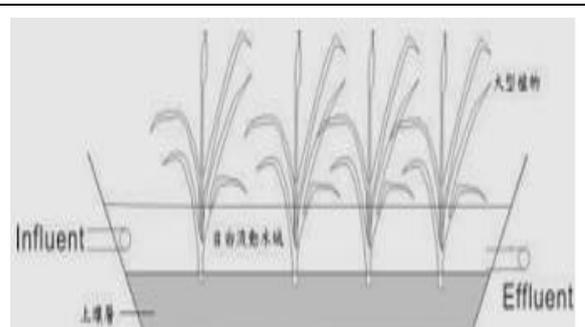


圖 36 表面流式人工濕地(柯登標, 2010)

玖、參考資料及其他

1.水處各淨水場原水水質(移動年平均值)

https://wq.epa.gov.tw/Code/Resource/LinkDoc/20100305025705_%E7%92%B0%E5%A2%83%E6%B0%B4%E8%B3%AA%E6%BA%B6%E6%B0%A7%E9%81%8E%E9%A3%BD%E5%92%8C%E7%8F%BE%E8%B1%A1%E8%AA%AA%E6%98%8E.pdf

2. 水庫優養化因應與探討 - 台灣自來水公司【第四區管理處】

<https://www4.water.gov.tw/files/98%E6%B0%B4%E5%BA%AB%E5%84%AA%E9%A4%8A%E5%8C%96%E5%9B%A0%E6%87%89%E8%88%87%E6%8E%A2%E8%A8%8E-%E8%94%A1%E6%9B%9C%E8%87%B3.pdf>

3.各淨水場水質採樣檢驗 <https://www.water.gov.taippei/cp.aspx?n=F046E45446707A64>

4.竹東鎮人工淨化池水生植物及其功能簡介

<https://sowhc.sow.org.tw/html/97hoto/chudon/970612/970612.htm>

5.行政院環境保護署「環境水質監測採樣作業」重點說明

http://wq.epa.gov.tw/code/Resource/LinkDoc/20100305025805_%E7%92%B0%E5%A2%83%E6%B0%B4%E8%B3%AA%E7%9B%A3%E6%B8%AC%E6%8E%A1%E6%A8%A3%E4%BD%9C%E6%A5%AD%E9%87%8D%E9%BB%9E%E8%AA%AA%E6%98%8E.pdf?fbclid=IwAR32N-kSNtPbzCh1vmbN0cqyaZPxiIMJsLv51fOitOMwTmDi6TSu9T1-0HI

6.何謂 pH 值？其自來水標準為多少？它與人體健康的關係為何？

https://www10.water.gov.tw/ch/05know/kno_01_1.asp?bull_id=2369

7.呂立德、李祖賢、陳柔卉，水生植物 ~有害處?有益處?中學生小論文，2013。

8.柯登耀(2010)。自然淨水系統藻類生長控制水質提昇研析。高雄大學土木與環境工程 學系：碩士論文。

9 陳有祺，濕地生態工程，蒼海書局，2005。

10.經濟部 106 年度「高屏河流域河川水質採樣 檢測分析」工作計畫

<http://www.kpriver.com.tw/media/20157/106%E5%B9%B4%E5%BA%A6-%E9%AB%98%E5%B1%8F%E6%BA%AA%E6%B5%81%E5%9F%9F%E6%B2%B3%E5%B7%9D%E6%B0%B4%E8%B3%AA%E6%8E%A1%E6%A8%A3%E6%AA%A2%E6%B8%AC%E5%88%86%E6%9E%90-%E5%B7%A5%E4%BD%9C%E8%A8%88%E7%95%ABpdf.pdf>

【評語】 030311

關懷水質污染問題，愛護環境並尋求解決之道，具有很好的科學研究動機。本研究透過分析污染河川水質的各種生化特性，並透過自制過濾器探討是否能以水生植物作為潔淨水質的一個工具。在實驗中種植三種不同水生植物之後，都達到提升污水 pH 值的效果，雖然學生推論是認為水生植物可吸附酸性物質，但仍須考慮水生植物新陳代謝以及光合作用下的影響，這些議題仍值得持續研究。研究主題有實用性，但結論有待確認。

建議：在檢測水生植物的淨水能力時，學生提到會先攪勻水質，以濾紙過濾後檢測。這樣的方式會產生極大誤差。由於濁度計應該不需用到大量體積的水量，應可採取吸管吸取的方式取得水樣進行檢測較佳。在照光後水質明顯變差的其中一個主因可能是微生物或是藻類繁殖，建議可用顯微鏡觀測是否藻類數量的增加。此外，研究結果發現槐葉萍的水質改善績等指數最高，布袋蓮則為最低，其中植物生長的環境因子可能也需要考慮。

壹、摘要

工業化與人口增長使各種污水的排放量增加，已經嚴重影響生態環境及我們的身體健康。本研究探討汙染水質中自然因素對污水之影響及其變因，討論深淺、照光等因素對污水的改善影響。種植三種溪流中常見的水生植物，以及利用隨手可得的簡易材料自製過濾雜質的濾水器，期望以對環境友善的方法來改善水質汙染。結果發現照光會增加汙染程度，在殺蛇溪以水面含有的汙染物質最多；水面底下20公分則浮游生物數量及繁殖率高；水面底下40公分(接近河床)含有最多水生植物能吸附的物質。三種水生植物能有效淨化水質，且皆對下層有極佳的清淨能力；pH值皆為升高，吸附物質多為酸性物質，而槐葉萍的清淨能力最佳。濾水器淨化水質方面，僅濁度上有明顯改善。

貳、研究動機

屏東環境相當優異，但為何本該清澈的溪水經過時卻發出難聞的異味？夜深人靜時為何有動物排泄物的味道？可能有不肖業者會偷排廢水，受到畜牧廢水、生活汙水等影響，枯水期間汙染嚴重，流入殺蛇溪亦造成水質惡化，影響中、下游民眾用水與生活品質。九年級上學期的地球科學也接觸到了水資源的議題，而這些汙染物已經間接或直接影響到我們的生活，甚至危害大自然生態。這讓我覺得必須有所行動，於是開始思考能否利用自然的力量，或著利用在八年級上學期自然課程中學到的分離混合物的方法來改善或過濾這些汙染物。並探討出不同因素導致的變化及各實驗對汙染物的清淨能力，期望透過水生植物在生長過程中逐漸的將自己的生態體系擴大，並且吸收水中營養鹽，達到預期淨化效能。

參、研究目的

- 汙染水質中自然因素導致之變因探討
 - 探討汙染水質中不同深淺的pH，電導度，溶氧量及濁度等各項水質檢測變化
 - 探討汙染水質日照處理前後不同深淺的pH，電導度，溶氧量及濁度等各項水質檢測變化
- 不同水生植物對汙染物清淨水質能力之比較
 - 探討水生植物對上中下層『不同深淺』水樣的清淨水質能力之比較
 - 比較『不同水生植物』對汙染物的清淨水質能力之比較
- 利用在野外即可取得之材料自製濾水器~探討使用濾水器對pH，電導度，溶氧量及濁度等4項檢測水質改善變化
- 水生植物及自製濾水器整體水質績等總和評鑑比較之研究

肆、研究器材

pH計	電導度計	溶氧量計	濁度計
細沙	小石子	樹葉	紗布
活性炭	活性炭粉	外科用口罩	寶特瓶
4000毫升水桶	50毫升燒杯	6000毫升礦泉水桶	4000毫升水桶

實驗用水生植物

水芙蓉	布袋蓮	槐葉萍
-----	-----	-----

伍、實驗方法

實驗流程示意圖

實驗主題 (橘色) 實驗過程 (綠色) 實驗結果 (藍色)

汙染水質中自然因素的數據變化



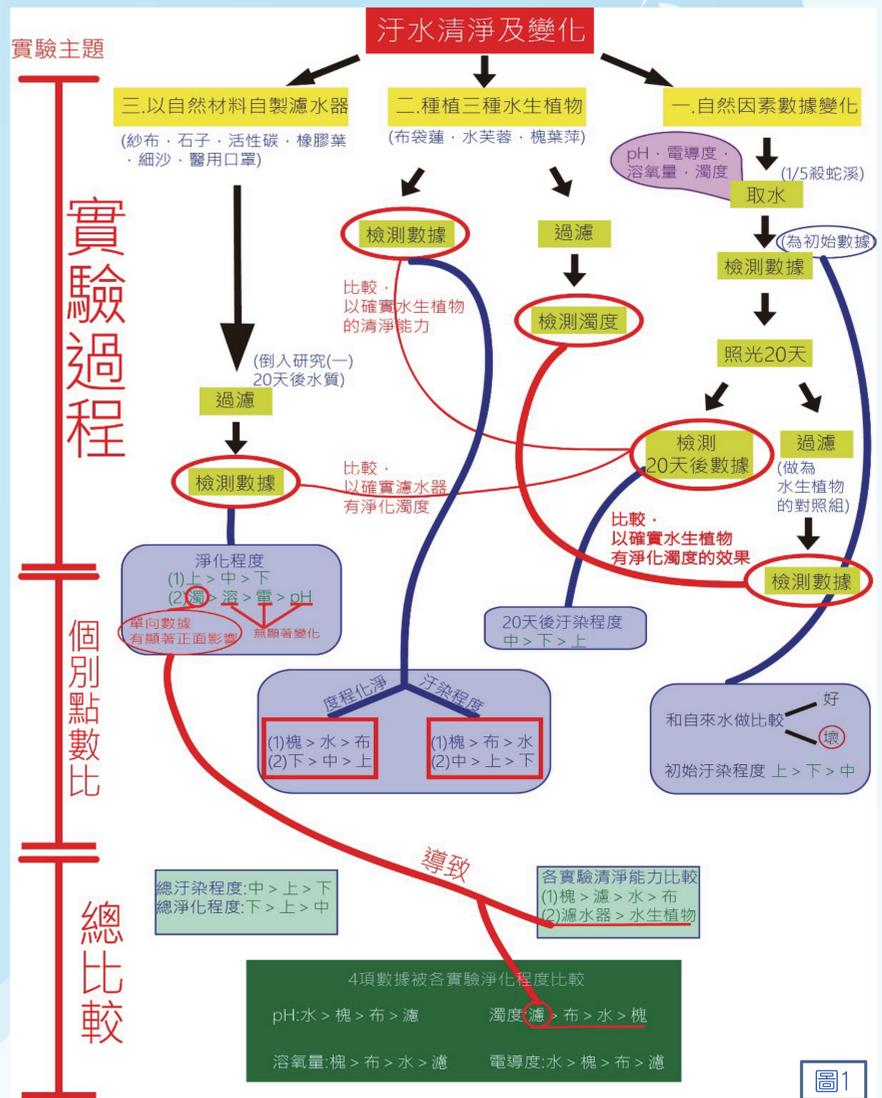
不同水生植物對汙染物清淨能力之比較



以在野外即可取得之材料自製濾水器



總體實驗研究架構圖



數據評比及評鑑公式

- 實驗中測量的項目有pH值，電導度 (μS/cm)，濁度 (NTU)，溶氧量 (mg/L)。為了能夠整合項目並探討水質被汙染或清淨之總觀，發現許多資料會使用公式或點數來分析比較(如經濟部106年度「高屏流域河川水質採樣檢測分析」工作計畫)，但其公式過於繁複且嚴謹，不適於本實驗或其他一般學術民眾來使用。
- 近來河川相關水質議題備受重視，要了解河川的水質，環保署(局)主要以「河川污染指標, River Pollution Index」簡稱「RPI」，用來評估河川水質之綜合性指標。RPI指數係以水中溶氧量(DO)、生化需氧量(BOD5)、懸浮固體(SS)、與氨氮(NH3-N)等四項水質參數。參考此作法，自製適用公式以20日照光前後的數據平均差來做衡定的基準並略做調整，並轉換為指數(四捨五入至小數點後2位)，作為『水質績等』評鑑指標公式(如圖3)。

$$[(20\text{天後中平均}) - (\text{初始中平均})] \times \left[\frac{(\text{初始平均}) + (20\text{天後平均}) - (\text{自來水平均})}{2} \right]$$

定義

- pH值正負0.1為一點。
- 電導度值正負350為一點。
- 濁度值正負1.6為一點。
- 溶氧量正負2.5為一點。
- 以下研究所使用的點數，皆以上述公式計算方式所得。(圖5、10、20~25)、(表7~16)
- 將數據代入公式(如圖21)後得到的點數『非絕對值』，也無絕對意義，用點數做整合的總計結果(總積分)比較，才具有互相評估優劣的作用。

個別實驗設計說明

◎研究一、汙染水質中自然因素導致之變因探討

(一) 探討汙染水質中不同深淺的pH，電導度，溶氧量及濁度等各項水質檢測變化

1. 因水中汙染物質或微生物等可能因重量或其他因素的不同而影響在不同深度的數量，所以取表水層，中層，底層的水質來進行實驗，而殺蛇溪該段的深度為40公分屬性，所以取水面(表水層)，水面下20公分(中層)及水面下40公分(底層)的水質來做實驗。(同時參考圖2行政院環境保護署「環境水質監測採樣作業」重點說明)。
2. 本研究主要採計及評估水質汙染程度的四種數據來檢測，分別為pH值，電導度(μS/cm)，濁度(NTU)，溶氧量(mg/L)，取水容器為6000毫升的礦泉水瓶。
3. 只有此實驗同時測量自來水之數據，是為了和其他水質做最一開始的初步對照，而之後的實驗不對照則是因自來水較難因其他實驗而有數據上的改變。

(2) 不同河水深度之採樣原則(如附圖)：

- A. 水深(h) < 1.5 公尺時，取水面下 0.6h 處之單層水樣。
- B. 水深(h) 介於 1.5 ~ 3 公尺間時，分別取水面下 0.2h、0.8h 處之兩層水。
- C. 水深 > 3 公尺時，取水面下 0.2h、0.6h、0.8h 處之三層水。

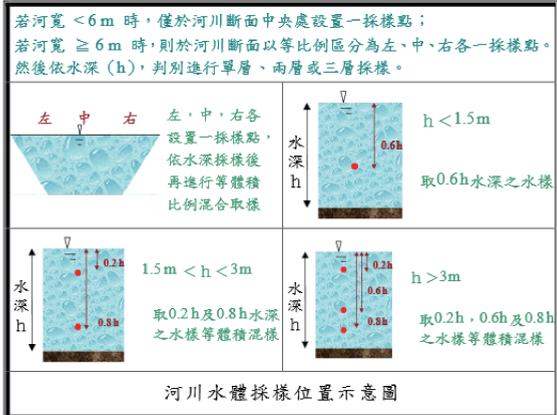


圖2不同河水深度之採樣原則
(參考環境檢驗所-河川、湖泊及水庫水質採樣通則)

(二) 探討汙染水質日照處理前後不同深淺的pH，電導度，溶氧量及濁度等各項水質檢測變化

1. 推測若讓水質照到光可能會改變水中微生物或其他作用進而影響水質，所以將三種水質倒入4000毫升水桶包覆保鮮膜後放置於陽光充足處20天後檢測數據。用陽光而不用檯燈持續照光則是為了能讓光合作用或其他作用能正常運行，再各取樣50ml倒入燒杯中檢測數據。
2. 因應實驗二的一項實驗結果另外將照光處理20天後的水質，採用濾紙法過濾後再檢測一次濁度值。

◎研究二、不同水生植物對汙染物清淨能力之比較研究(共探討兩種不同操作變因)

(一) 探討水生植物對『不同深淺水樣』的清淨水質能力

→(操作變因：不同深度水質)。

(二) 比較『不同水生植物』對水質汙染物淨化能力之比較

→(操作變因：不同水生植物)。

1. 主要取水中生態及文獻資料中最常出現的三種水生植物。分別是布袋蓮，水芙蓉以及槐葉萍，而且這些水生植物在高度汙染的水質中也能照常生長，推測本身具有較好的吸附汙染物或清淨水質能力。
2. 每種水生植物種植在內裝4000毫升水樣之水桶內，因每株植物葉面積不盡相同，故採用重量均一為控制變因而非植株數量(因此類植物的葉子部分佔有主要重量)。而每桶的植物都確定蓋滿水面，是不讓小型藻類或微生物直接照到光，而影響其生長，觀察20天后，取樣倒入燒杯中各50ml進行檢測數據。

◎研究三、以在野外即可取得之材料自製濾水器-探討使用濾水器對pH，電導度，溶氧量及濁度等4項檢測水質改善變化

1. 若身在野外無法直接取得乾淨水源，則可以用簡單的材料製作濾水器。細砂、石頭、樹葉、活性碳這些材料都是大自然中取得的材料，而紗布及外科用口罩可以用一些身上的布料來代替，寶特瓶則可用竹筒代替。
2. 實驗中使用外科用口罩是因為透氣及濾水速率較不快，能過濾的物質因此較多。
3. 倒入燒杯中各50ml進行檢測數據。

陸、研究結果

◎研究一、汙染水質中自然因素導致之變因探討：

(一) 取各層水質並倒入4000毫升水桶比較日照處理20天前、後檢測數據

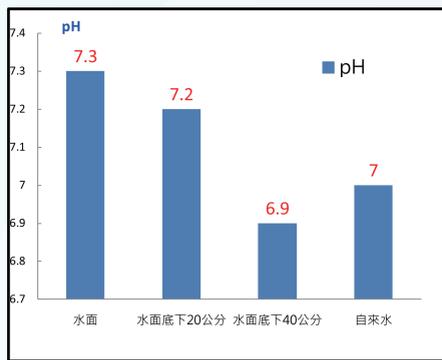


圖4：殺蛇溪取樣不同深度 照光前水質pH值

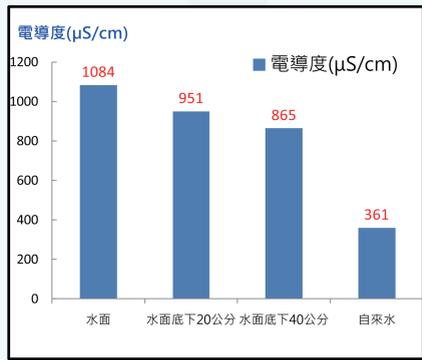


圖5：殺蛇溪取樣不同深度 照光前水質電導度值比較

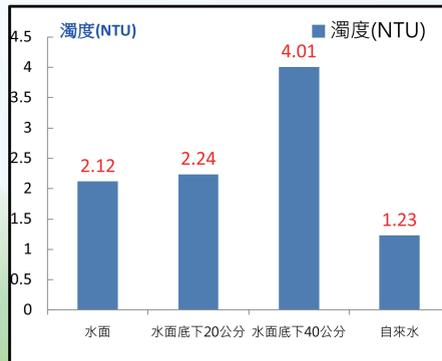


圖6：殺蛇溪取樣不同深度 照光前水質濁度值比較

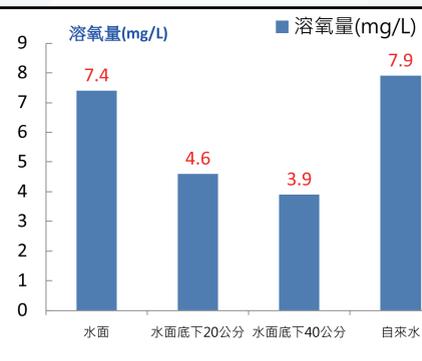


圖7：殺蛇溪取樣不同深度 照光前水質溶氧量值比較

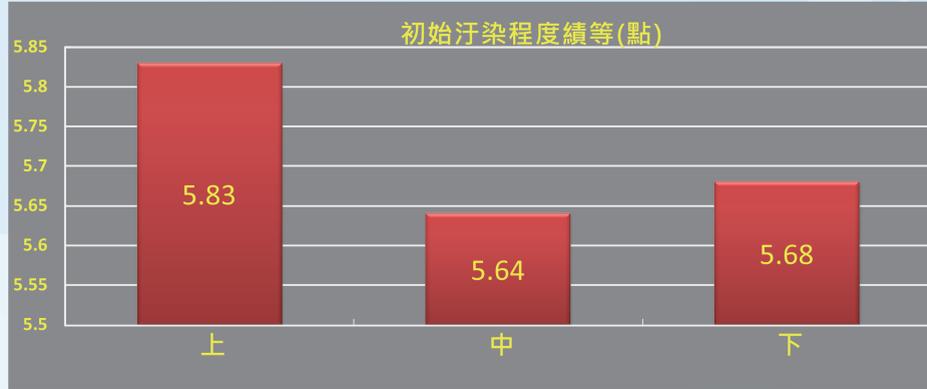


圖8：殺蛇溪取樣不同深度 照光前水質初始汙染程度績等指標值比較(以公式換算)
結果與分析：→實驗結果~初始汙染程度：水面 > 水面底下40公分 > 水面底下20公分

圖8顯示殺蛇溪上層及下層初始汙染程度較為接近且較高，中層則為初始汙染程度最輕，推測上、下層汙染物質較多。以與「自來水」的差距，即表7績等總計，作為初始汙染程度的依據。當統計計算後之積分點數(績等)越高時，表示汙染程度越高。

(二) 探討汙染水質日照處理前、後不同深淺的pH，電導度，溶氧量及濁度等各項水質檢測變化



圖13光照20天後不同水深水質汙染程度比較圖

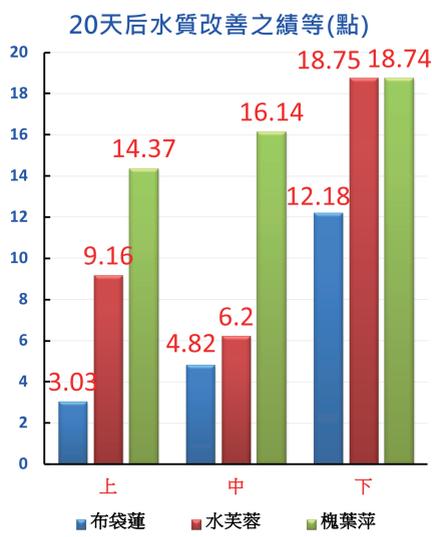
結果與分析：

由圖13：照光前後中層汙染程度皆最高，推測是因中層本身汙染物質最多，且最難被清淨。以「與自來水」的差距比較，如表8績等總計，作為汙染程度的依據，點數越高，汙染程度越高。

→光照20天後汙染程度：水面底下20公分 > 水面底下40公分 > 水面(17.74 > 13.90 > 12.84)。

◎研究二、不同水生植物對汙染物清淨水質能力之比較

(一) 取各層水質並倒入4000毫升水桶比較日照處理20天前、後檢測數據



結果與分析：

由圖17可知三層水質中發現相同重量水生植物下，『槐葉萍』的水質改善績等指數最高，布袋蓮則為最低。由此推論殺蛇溪的水質中『槐葉萍』可吸附的物質最多，布袋蓮則最少，將對數據的正面影響減去負面影響作為改善依據，數據來自(表13~表15)，此與(陳，2005)研究水生植物根部附近成為好氧區，由根部表面或其附近所附生的微生物進行同化、異化、硝化、脫硝及磷的化學沉澱等作用，促使水中營養鹽物質的去處發現類同。

→改善績等指數統計：

- (1) 不同水生植物間水質改善比較：槐葉萍 > 水芙蓉 > 布袋蓮 (49.25 > 34.11 > 20.03)。
- (2) 上中下不同深淺水質改善比較：下層 > 中層 > 上層 (49.67 > 27.16 > 26.56)。

圖17：種植『不同水生植物』後之20天后『水質改善績等』比較

研究三、利用在野外即可取得之材料自製濾水器實驗

自製濾水器結構示意圖

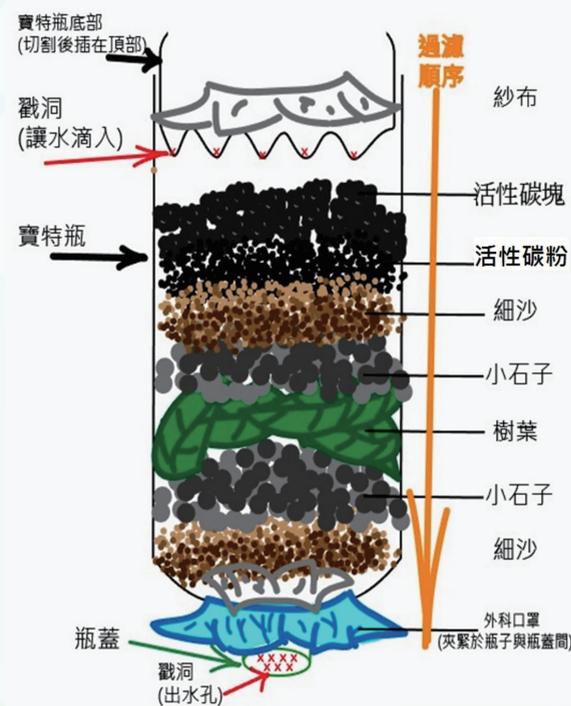


圖18a：自製濾水器設計圖

如圖18(a、b)自製濾水器實驗方式：由底部依序放入口罩、紗布、細沙、小石子、樹葉、小石子、細沙、活性碳粉、活性碳塊、紗布。除了口罩及紗布，每層過濾材料放入2.5cm厚度。→照光20天水樣經濾水器過濾前、後各項水質進行檢測變化。



圖18b：自製濾水器實驗裝置圖

