

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 地球科學科

探究精神獎

030510

水磨力—水生植物與水流之相關探討

學校名稱：新北市立文山國民中學

作者： 國二 林昱辰 國一 曾子容 國一 徐緯庭	指導老師： 張又元 周瑞玲
---	-----------------------------

關鍵詞：水生植物、流速、沉積

摘要

本研究旨在探討草本水生植物的生長狀況和水流流速以及水流搬運作用之關聯性。在室內水流模擬實驗當中，我們選用了矮莎草(*Cyperus pygmaeus*)和美洲苦草(*Vallisneria americana*)作為挺水性和沉水性植物的代表，針對水生植物生長的位置、水生植物的密度和排列方式、以及不同的水位高度的狀況下進行關於水流流速的計算和比較。

從實驗中我們得知，當水生植物前後多層次緊密排列時，對於流速會造成較大的影響，而美洲苦草對水流的影響較隨排列和水位不同而變異；除探討流速之外，我們亦嘗試直接進行植物與水流沉積作用的模擬實驗，在有植物存在的狀況下，會使水中搬運的沙土更容易沉積，而這結果在溪沙方面更加明顯。

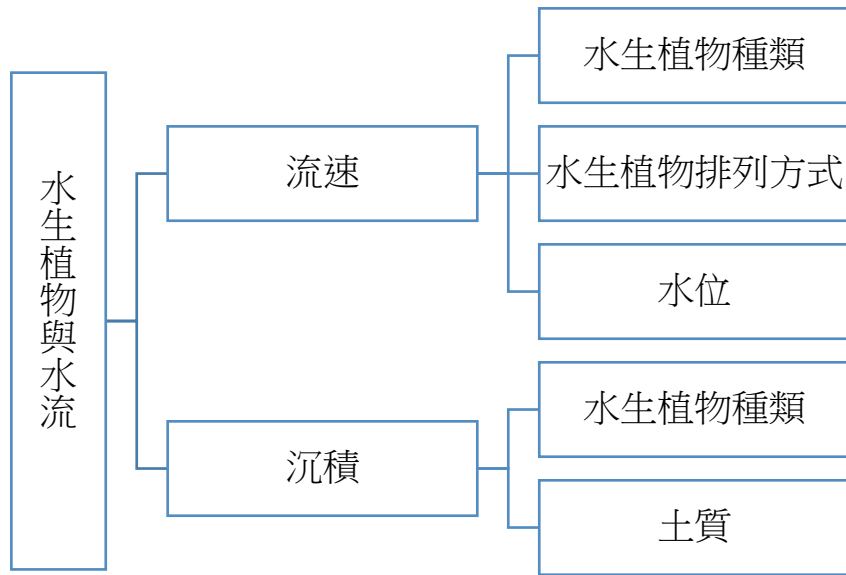
壹、研究動機

曾騎車在附近的排水溝渠，發現大部分都為水泥製成，少有生物生存於此，但在早期，這裡應該是一片水生植物，曾聽過若使用生態工法，選用適當的水生植物取代之，能增加水生動物的棲息空間，形成小型生態系，也可發揮觀賞功能；但不知道使水生植物回歸河岸的同時，會對這裡的排水造成什麼影響？如：改變流速，或對溝渠的淤積造成何種結果？而我們嘗試先從課本中找答案，發現有提到河川的各種作用，這激起了我們對這個議題的興趣，決定探討水生植物與水流之間的關係。

貳、研究目的

- 一、 水生植物對流速的影響
 - (一) 水生植物排列方式對於流速的影響。
 - (二) 水生植物種類對於流速的影響。
 - (三) 在不同水位之下，水生植物影響水流之效果比較。
 - (四) 水生植物生長位置與流速之關係。
- 二、 水生植物對於沉積之實測
 - (一) 水生植物與土壤顆粒之沉積。
 - (二) 水生植物與較大顆粒砂石之沉積。

參、研究架構



肆、設備及器材

一、 器材

保麗龍球	乒乓球	亮片
鐵絲	保鮮膜	亮粉
直尺	防水膠帶	攝影機腳架
塑膠安全圍籬網 (孔徑 4.8cm)	牛筋網 (16 目)	尼龍防蟲網 (20 目)
陽明山紅土	河砂	花盆
		
美洲苦草 (<i>Vallisneria americana</i>)	矮莎草 (<i>Cyperus pygmaeus</i>)	PET 圓罐
		

水管 (5 分)	水箱 (70 公升、90 公升)	抽水馬達 (Narex-A PTC-100)
		
鐵架	多用途光電控制計時計數器	紅外光電傳感器
		
擋光板	自製整流板	烤箱
		
自製試驗渠道	Arduino UNO 板+ 濁度檢測模組	自製沙奇盤
		

二、 軟體

- (一) GSP (幾何繪圖軟體)
- (二) Microsoft Excel 2016 (試算表軟體)
- (三) Microsoft PowerPoint 2016 (簡報軟體)
- (四) XYZmaker (3D 列印建模軟體)
- (五) extra.Movie2Gif (影像編輯軟體)
- (六) Arduino (配合相關硬體與濁度感測計)

伍、研究過程或方法

一、水生植物實際探勘

在進行研究之前，我們先到了水生植物多樣性較高的地點進行探勘，觀察當地的水生植物種類和型態。

探勘地點：我們以板橋新海二期人工溼地、新店溪碧潭及內湖內溝溪三處為對象。
(區域路線約如下圖紅線部分)



圖一：新海二期人工溼地探勘路線



圖二：內湖內溝溪探勘路線



圖三：碧潭(新店溪)探勘路線

二、模擬實驗渠道設計

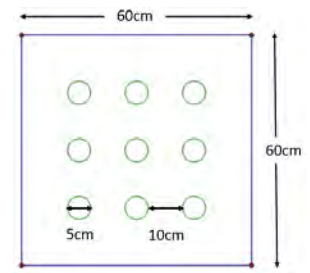
- (一) 初步設計：利用 3D 列印建模軟體—XYZmaker 初步規畫水道架構。
- (二) 自行設計架構：試驗渠道為長 180cm、寬 60cm、深 60cm 之透明循環式水流壓克力水槽，可由各角度觀測水流情形，向上開口處則放置三個 U 型鐵架，用以固定水箱框架邊緣，以免壓克力板因水壓變形，包含導流段、試驗段、出水端及蓄水箱四大部分，採循環式給水。



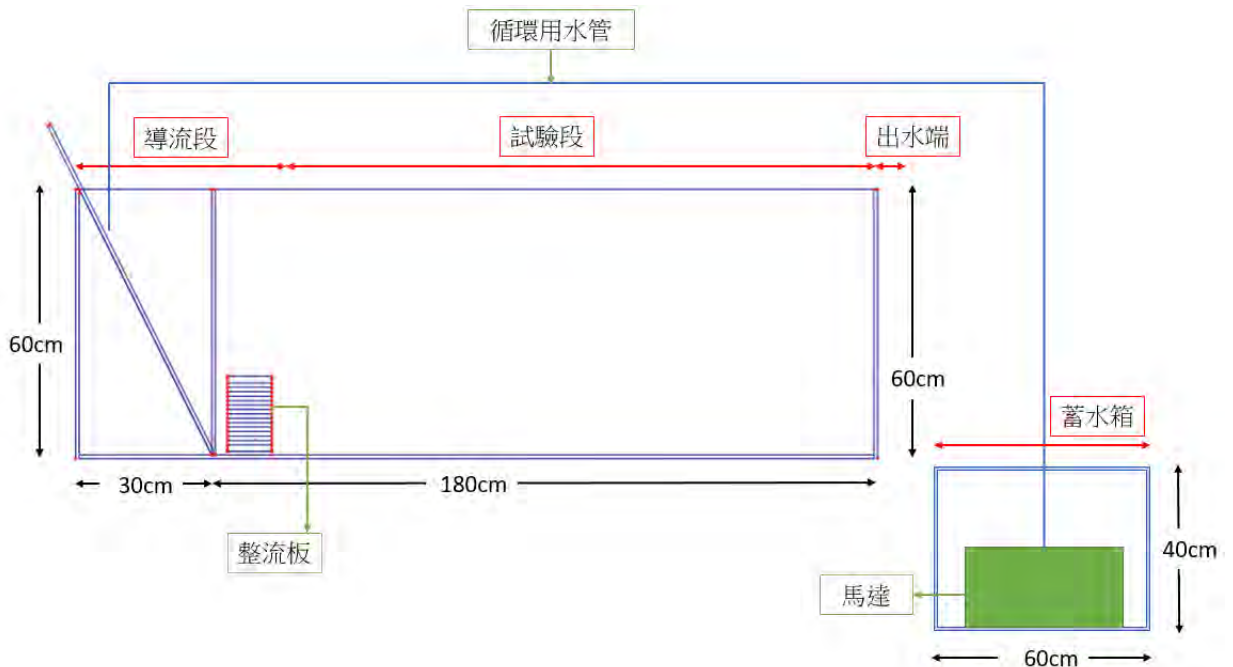
圖四：試驗渠道 3D 列印模型



圖五：試驗渠道
模型實體圖



圖六：試驗渠道後端
(出水端) 示意圖



圖七：試驗渠道示意圖 (側視)

(三) 分段介紹

渠道分段	作法	圖片
導流段	在試驗渠道的前端置入由吸管製成的整流板，讓水從整流板流過，以減少紊流及水面波動。	
試驗段	在長和寬的地方，每 5cm 黏一個長 5cm 的藍色防水膠帶，以標示距離；土鋪於底部，並放入植物。	
出水端	試驗渠道末端設有九個直徑 5cm 的洞口，彼此上下、左右直線間隔為 10cm，可用橡皮塞封住，以調整水位高低，水流通過洞口後，以自由跌水方式注入蓄水箱內。	
蓄水箱	蓄水箱為一個長 60cm、寬 37.5cm、高 40cm 的長方形桶，除能儲水外，也具有出水的功能，將馬達放入其中，把儲水以水管導回試驗渠道前端（導水段前方），完成用水循環，減少水資源的浪費。	

三、植物選擇



雖然一般而言，水生植物可以根據型態分成挺水性植物、沉水性植物、浮葉性植物和漂浮性植物，然而根據我們實地探勘的結果，在野外環境當中，只有在流速極慢的湖泊或沼澤，才能夠看到大量漂浮性植物的出現，在穩定流動的溪水流域則幾乎無法看到；另外，浮葉性植物也並不多見，幾乎可以說在人造的靜止或緩慢流動水域當中才有。



而探查開放流動水域的結果，所見大部分為挺水性植物，如蘆葦(*Phragmites australis*)、五節芒(*Miscanthus floridulus*)即分布於沿岸區域或沙洲之上；另外在水流較淺的部分，可以觀察到沉水性的植物，如苦草(*Vallisneria spiralis*)、水車前(*Ottelia alismoidwa*)等，因此我們將實驗對象鎖定於此二類型的植物之間的比較。

在我們所查閱的文獻當中，已經確認些許因素能夠對水流狀況造成影響，例如挺水性植物的抗拉力，或是在水中的倒伏高度等等。因此我們基於取得的方式和代表性，選用了矮莎草(*Cyperus pygmaeus*)作為挺水性植物的代表，另外，以美洲苦草(*Vallisneria americana*)作為沉水性植物的代表，藉此探討兩類型植物的差異性。

我們將植物種植在能良好曝曬陽光的環境，並定期觀察、補充水分，並挑出扁螺等有害動物，進行實驗時，我們將植物移動至水道，並重新埋於水道中的底泥，抑或直接固定於小盆當中。

表一：植物實驗對象比較表

實驗對象	矮莎草 (<i>Cyperus pygmaeus</i>)	美洲苦草 (<i>Vallisneria americana</i>)
全株照片		

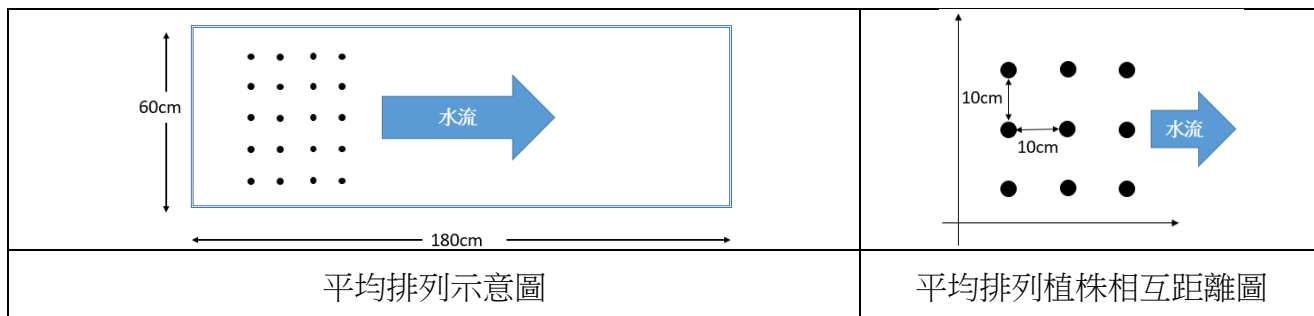
實際栽植照片		
分類階層	植物界—被子植物門—單子葉植物綱—禾本目—莎草科—莎草屬	植物界—被子植物門—單子葉植物綱—澤瀉目—水荳科—苦草屬
生長特性	挺水性	沉水性
莖對水的抗力	莖挺立，其傾斜程度會隨水流的速度變化	較弱，雖有根系，但植物葉片在水中自由飄動
水中的部分型態	具鬚根系，水中具有挺立的莖桿，而莖桿成三稜形且呈叢生狀	具鬚根系和地下莖，水中為葉片
水面上的植物總體積	莖上部挺出水面，挺出水面部分約自 20 公分至 30 公分不等	全株沉於水，較大的葉片會飄於水面
是否叢生	常見叢生情況	視乎其繁殖狀況
葉之型態	葉寬 2-2.5mm，向外平張，上部邊緣及背面中肋有小刺	葉叢生呈線形，長 20~60cm 或以上，寬則 1~1.5cm，基部鞘狀且邊緣膜質
生長季	一年生草本，10 到 11 月為花期	多年生草本，全年生長

四、植株排列方式

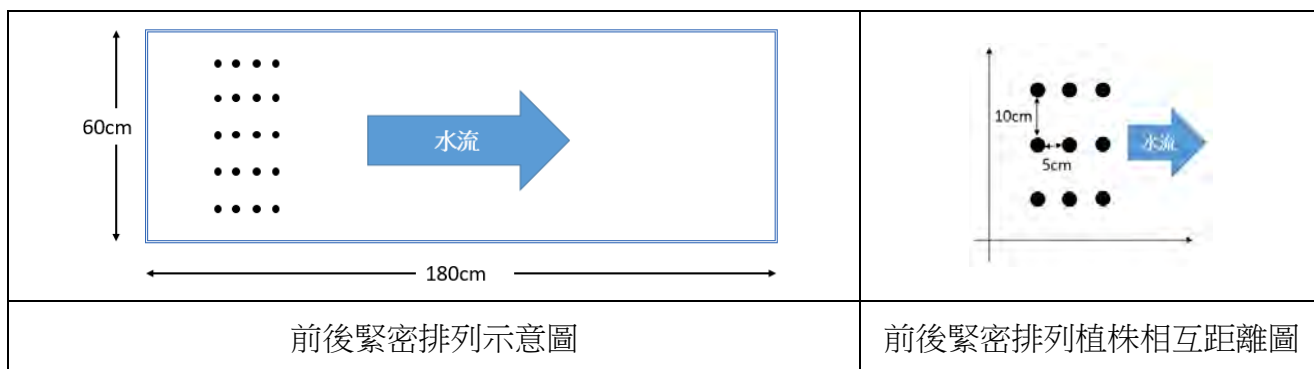
在野外所觀察到的狀況，植物大多叢生排列，然而排列的方式牽涉其自然生長，並不統一，因此若是直接將植物依原生長方式置於水道當中，我們將無法確認影響流速的變因為何，基於我們希望在模擬實驗當中，能夠分析比較密度與排列方式帶來的影響，我們設定了固定尺度的排列方法，先將植株依設定好的排列方式種植，期望能夠得到不同排列方式之間的差異。

依據自行設計的實驗水道，植株數量固定 20 株，與水道兩側的距離經測量後，各控制為 4 公分，而因植物本身具有體積，因此以盡可能排列在中央為主，避免兩側空隙不一，而排列方式可分為三種：

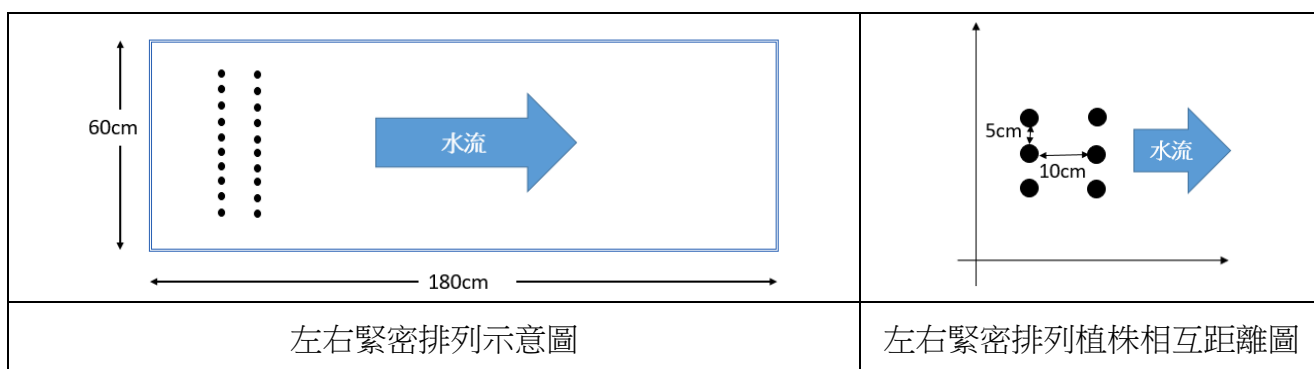
(一) 平均排列：植株之間前後左右間距皆為 10 公分，縱向 4 排，每一排 5 株。



(二) 前後緊密排列：植株之間前後間距縮為 5 公分，而左右距離仍維持 10 公分，仍為縱向 4 排，每一排 5 株。

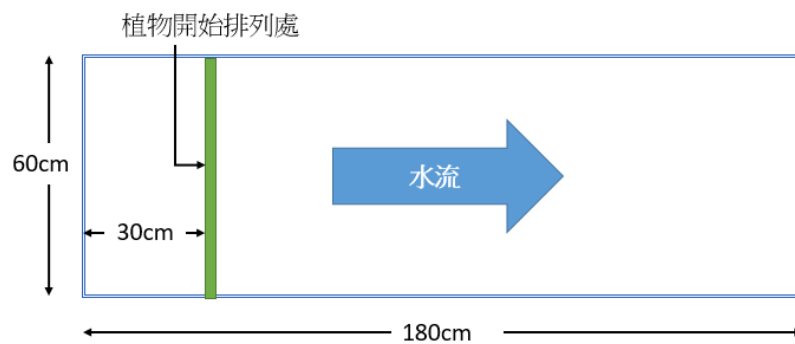


(三) 左右緊密排列：植株之間前後間距維持 10 公分，而左右間距縮為 5 公分，縱向 2 排，每一排 10 株。

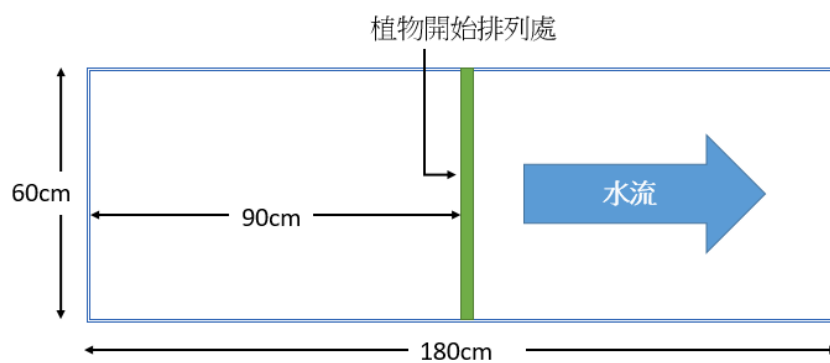


而我們的探討包含植物之前的水流和植物之後的水流，因此我們設置不同的狀況：

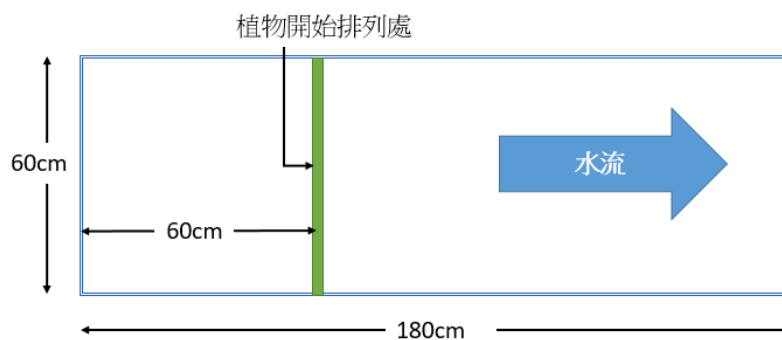
(一) 植物之後：將植物由水道的起點 30 公分處開始排列。



(二) 植物之前：將植物由水道的起點 90 公分處開始排列。



(三) 水道之中：將植物由水道的起點 60 公分處開始排列 (濁度測試用)



五、流速比較方法

(一) 基本裝置架設

1. 將水道架起，使其稍離地面。
2. 利用陽明山紅土，將水道模型底部鋪設 5 公分深的河床底土。



圖八：水道鋪設底土



圖九：挑選植株

3. 依據實驗設計，選擇適當的水生植物。
4. 將水生植物依照指定排列方式，埋於水道。



圖十：以吸管標示預計位置



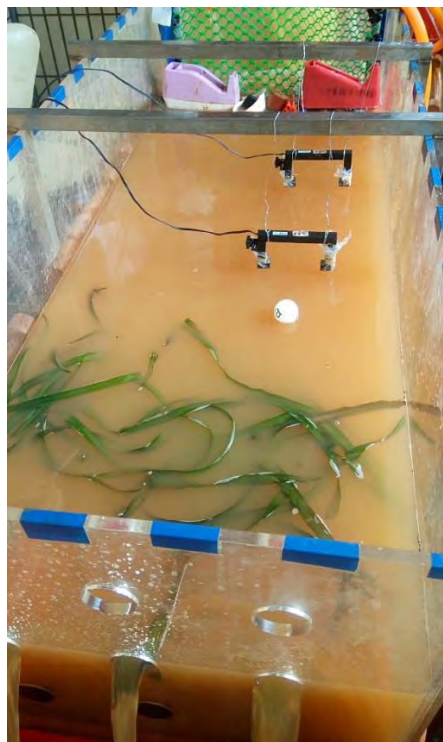
圖十一：將植物埋入水道

5. 利用抽水馬達於水道入口注水，所使用抽水馬達速度固定為每分鐘 70 公升，因此可以形成定速水流。
6. 在水道之後的地面上擺設儲水用水箱以回收流過的水。
7. 在水道上方放置鐵架兩個，相距 40 公分。
 - (1) 將植物設定於水道前段時，則在水道 90 公分處放置第一個鐵架，而水道 130 公分處放置第二個鐵架。
 - (2) 將植物設定於水道後段時，因水道前方尚有 20 公分設置整流器，因此在水道 30 公分處設置第一個鐵架，而 70 公分處設置第二個鐵架。

(二) 測量流速

1. 方法一：光電計時器

- (1) 在兩個鐵架上安置光電計時器感應器；使感應方向與水流方向相同，以鐵絲懸吊，並調整高度直至感應器距離水面 1 公分左右，並確保感應器可以在固定高度的情況下調整位置，以及感應器本身不浸泡至水中。
- (2) 將光電計時器開啟光電偵測功能，並確保在環境光照狀況下可以正常運作。
- (3) 與感應器前之水面穩定放下標的物（白色桌球），使標的物順水流依序經過兩個感應器，至此可由光電計時器上得到通過兩感應器之間所花費的時間。
- (4) 若是標的物偏移，則廢棄該次試驗。
- (5) 紀錄每次通過的時間，並進行 30 次之重複。



圖十二：光電計時器測量流速

2. 方法二：影片剪輯

- (1) 於水道上方架設攝影器材，使之垂直拍攝整個水道。
- (2) 於水面上放置標的物，使標的物自由隨水流漂動。
- (3) 以攝影器材拍攝標的物的移動。
- (4) 利用影片計算標的物通過兩個鐵架所需要的時間。
- (5) 將影片轉為每秒 5 張的連續圖檔，以增加準確度。
- (6) 進行 30 次的重複。

六、濁度變化與泥沙沉積測試

除了從流速變化來推測之外，我們希望可以直接對水生植物和水流的沉積作用進行簡單的實測，因此我們在濁度變化和泥沙沉積的實驗當中，直接讓充滿泥沙的水流過具有水生植物的水域，並記錄其後方的濁度變化。

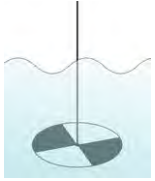
我們的泥沙來源為新店河流域所採的溪沙，以及陽明山紅土。有鑑於台北市宣布限水的標準為原水濁度達到 6000 NTU，意即每 1 公升的原水當中含有 6000 毫克的二氧化矽的混濁程度，因此我們希望實驗中最混濁的水體能接近這個尺度，依據我們所使用的水道的容積（約為 43.2 公升），而每次實驗的水流約為 90 公升，我們最後決定每種砂土分別進行 50 克、100 克、250 克、以及 500 克的投入量。

針對其結果，我們利用兩種方式進行濁度變化的測試：

- (一) 針對植物後方進行水樣採樣，再利用 Arduino 濁度感測器進行濁度測試。
- (二) 收集流過植物之水，利用沙奇盤法進行檢測。

表二：測量濁度方式比較

方式	原理	圖片
濁度感測器	利用光學原理，通過液體溶液中的透光率和散射率來綜合判斷濁度情況，傳感器內部是一個紅外線對管，當光線穿過一定量的水時，光線的透過量取決於該水的污濁程度，水越污濁，透過的光就越少。光接收端把透過的光強度轉換為對應的電流大小，透過的光多，電流大，反之透過的光少，電流小，再通過電阻將流過的電流轉換為電壓信號。我們所使用的濁度計為配合 Arduino 系統，可以直接使用並連接於電腦，方便數據的取得。	 圖十三：濁度計使用
沙奇盤法	為一較簡單的溪流透明度測量裝置。將一黑白分明之圖樣貼於金屬盤上，之後將此盤沉入水	

	<p>中，當沉降到一定深度時，圖樣將因水體阻隔而無法清晰辨認，由觀測者記錄此時沙奇盤沉降的深度。</p>	 <p>圖十四：沙奇盤使用</p>
--	--	--

綜合比較兩者，在水體越清澈時，濁度感測計的電壓指數應該較高(在純水中應該接近 5 伏特，也就是其供電的電壓)，而沙奇盤所能達到的深度應該也較深。

濁度變化與泥沙沉積測試實驗步驟如下：

1. 將沉積實驗用水道架起，使其稍離地面（方便收集流過水道的水）。
2. 將水道當中注水置 15 公分高。
3. 依據實驗設計，挑選實驗目標植物，將其固定在塑膠小盆當中。
4. 將植物依照指定排列，置於水道中央（水道 60 公分處）。



圖十五：將植物置於水道中央

5. 準備指定質量之砂土。
6. 利用抽水馬達自水道入水端注水，使其呈現穩定水流，並自入水端倒入砂土，以形成充滿懸浮固體之水流。
7. 在水道起點 90 公分處，以塑膠小罐進行取樣。
8. 以配合 Arduino 系統之濁度感測計對取樣進行濁度測量。
 - (1) 確認濁度感測器狀況。
 - (2) 均勻攪拌所採水樣。
 - (3) 以濁度感測器投入水中 10 秒。
 - (4) 配合 Arduino 監控視窗，直接得到投入水中時，感測器的電壓信號強度變化。
 - (5) 將電壓信號整理，計算 10 秒內樣水中濁度的平均值。
9. 以大型水桶(所能達到的最大水深為 25 公分)收集水道出水端所出之濁水，並以

沙奇盤方式檢測之；將沙奇盤懸吊並沉入水中，觀察並紀錄盤上圖像無法辨認之深度。

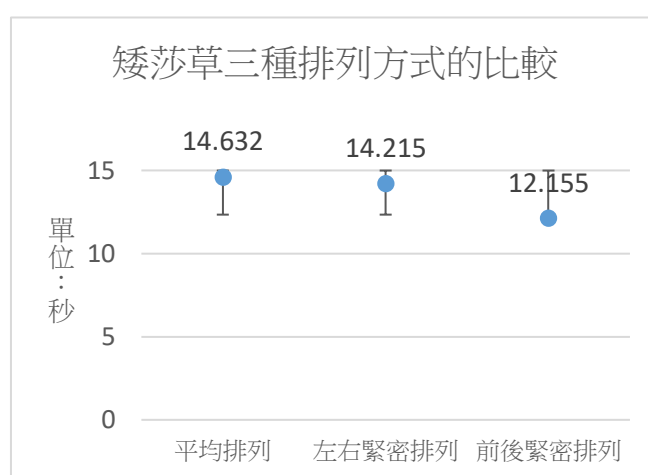
10. 將植物取出清洗，水道清空並清洗乾淨，預備進行下一次實驗。

陸、研究結果

一、水生植物對流速的影響

(一) 水生植物排列方式對於流速的影響

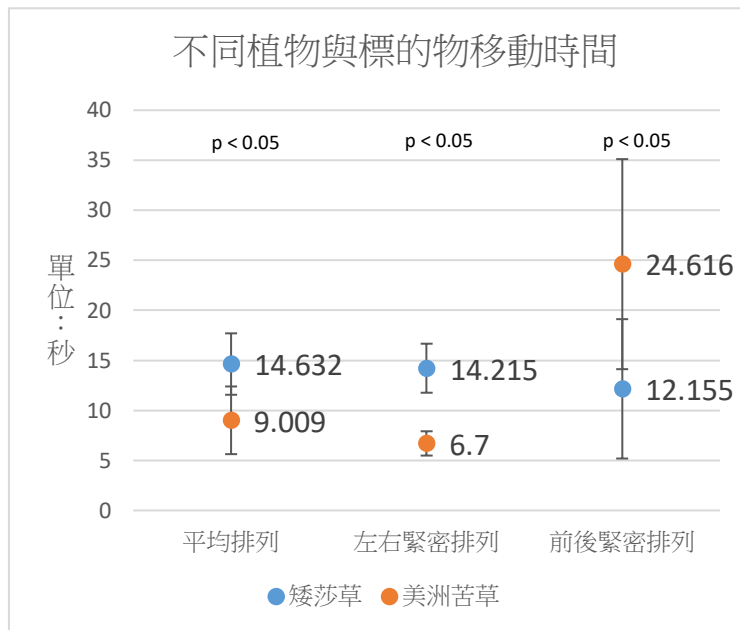
我們將莎草進行三種不同排列的結果，進行平均值的比較，並利用變異數分析檢驗其差異性是否顯著，其結果如下圖所示：



在我們的實驗當中，我們發現莎草的三種排列方式，其後方水流的流速應該差距不大，根據結果所進行的變異數分析，其組間的 p 值為 $0.0899(p>0.05)$ ，並未達到顯著差異，可以說以我們的實驗設計來看，矮莎草不同的排列狀況對於流速的影響差別不大。

(二) 水生植物種類對於流速的影響

在我們的實驗當中，我們將矮莎草與美洲苦草都做出三種排列，以相同距離下標的物移動時間的平均值比較，並利用 **student's t test** 統計檢定。其結果平均值的數據可如下圖表呈現：

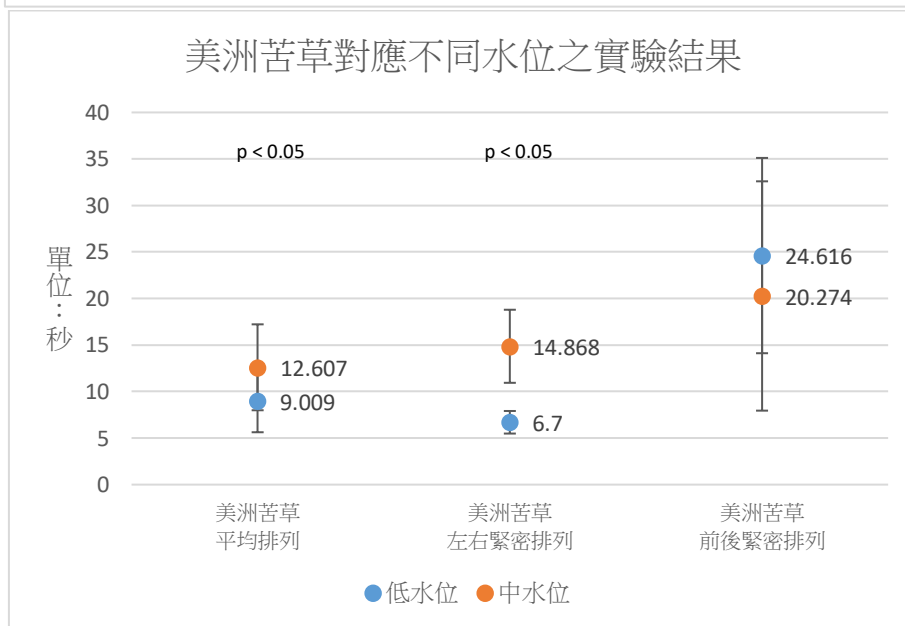
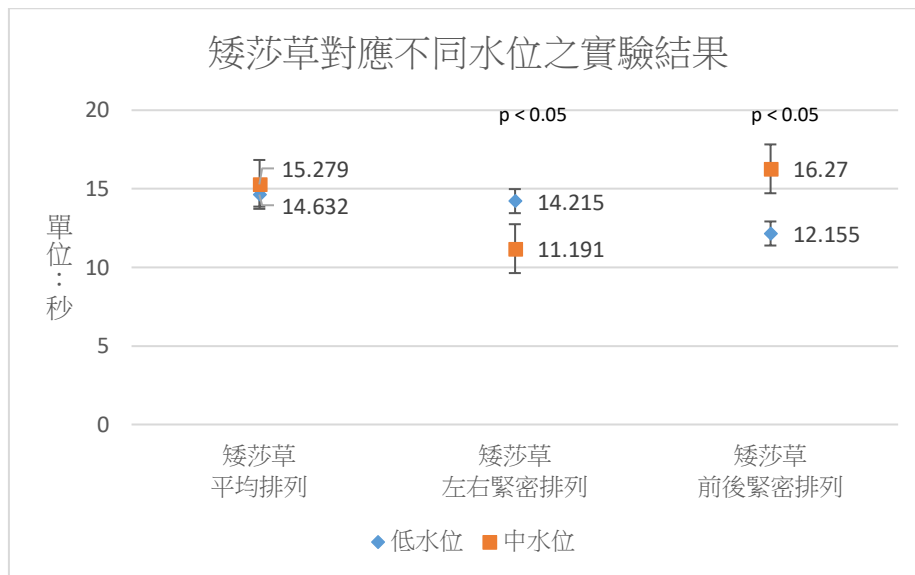


三種排列方式當中，平均排列以及左右緊密排列狀況下，裝置美洲苦草的水道其流速皆較快，在 t test 當中皆達到顯著差異。然而在美洲苦草以前後緊密排列的狀況下，其水流流速則較為緩慢，此差異亦在 t-test 當中達到顯著。

因為美洲苦草的實驗結果有較大的變異性，我們也進行變異數分析，其結果顯示三組的極為顯著($p < 0.05$)，因此可以確認不同的排列方式之下美洲苦草對流速的影響有顯著的不同。

(三) 不同水位之下，水生植物影響水流之效果比較

在這個部分的實驗當中，我們重複進行如前述分組之實驗，但在水道當中我們將水位高度調整到 30 公分作為中水位代表，所得結果與較低水位時進行比較，其結果如下圖所示：



不同水位狀況下，其對水流的速度變化隨排列方法而略有不同。以莎草而言，在左右緊密排列的狀況下，較高水位時，流速是變快的，然而在其他兩種狀況下，都是水位較高時水流流速較慢。而美洲苦草的部分，平均排列和左右緊密排列的狀況下，提高水位後流速都是較慢的，並且達到顯著的差異，然而，流速的變慢並不發生在前後緊密排列的狀況，甚至以平均值上來看流速反而是變快的，雖然並沒有達到顯著的差異。

此外，綜合前述實驗結果，我們發現不同水位時，排列方式對於植物的流速影響的趨勢亦不禁相同，因此針對水位和排列方式所產生的效果，我們以雙因子變異數分析進行檢定，其結果如下表格：

矮莎草之雙因子變異數分析結果：

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
水位變化	15.10322	1	15.10322	0.638844	0.42522	3.895458
排列方式	158.1227	2	79.06137	3.344178	0.037572	3.047906
交互作用	382.3062	2	191.1531	8.085491	0.000439**	3.047906
組內	4113.621	174	23.6415			

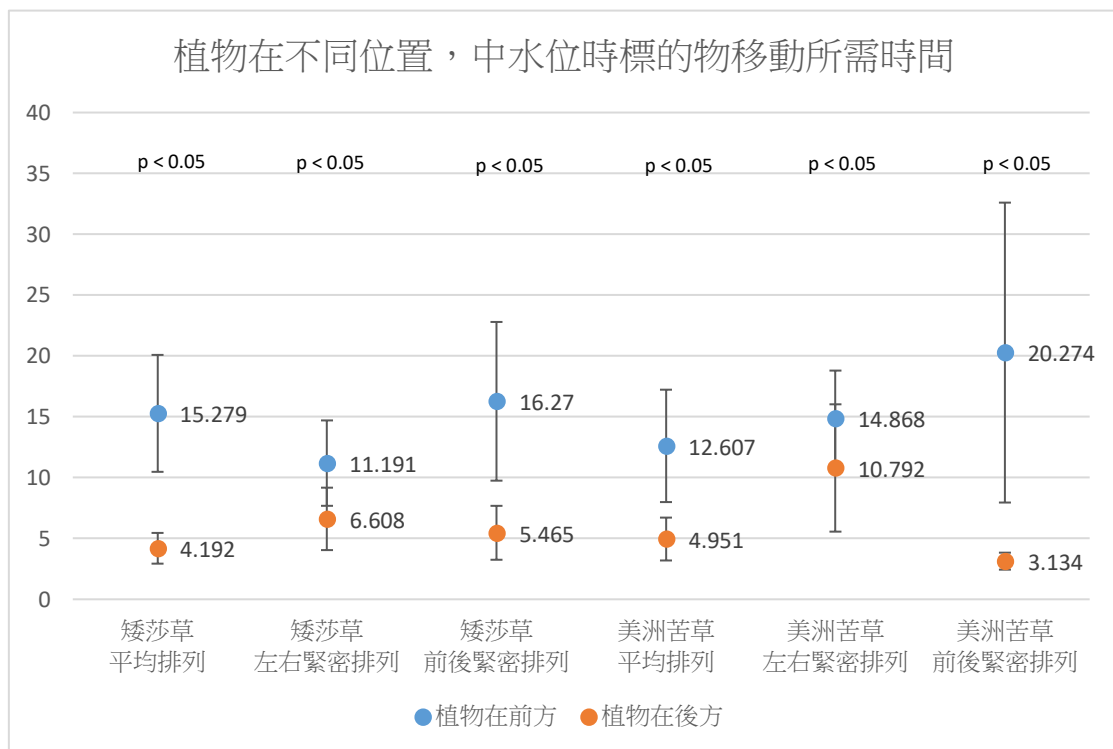
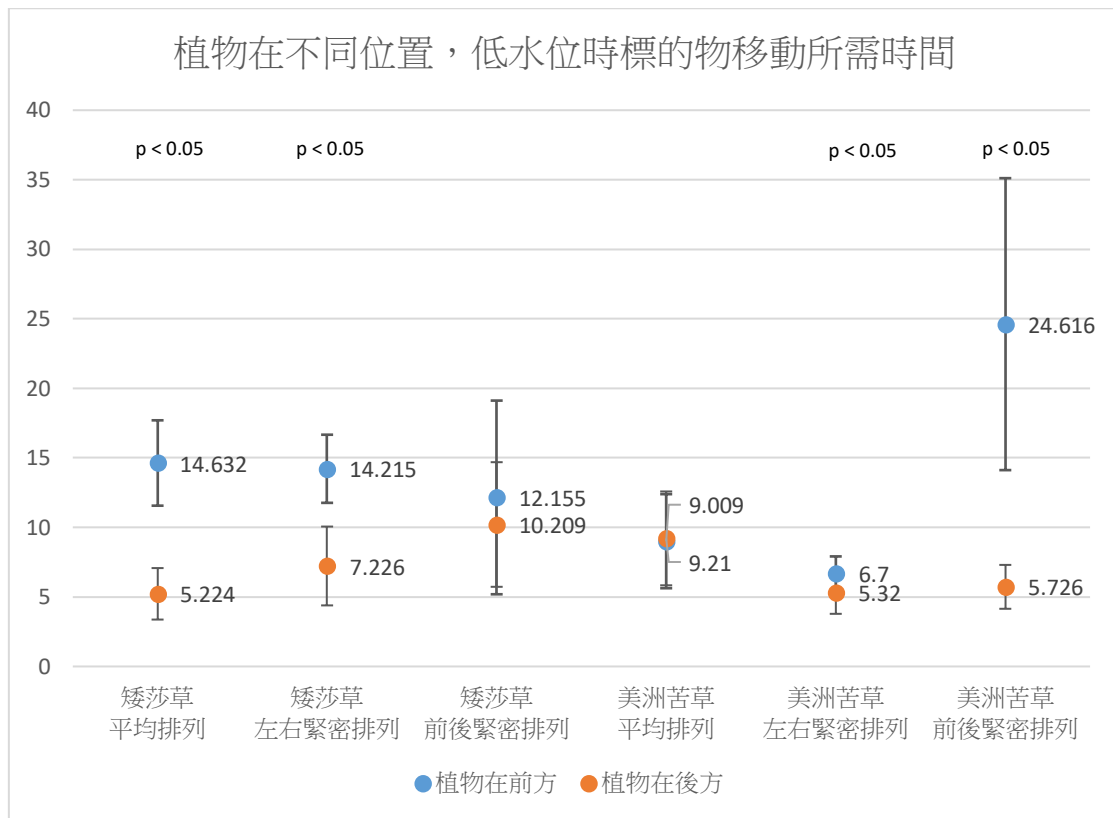
美洲苦草之雙因子變異數分析結果：

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
水位變化	275.3809	1	275.3809	5.300955	0.022498	3.895458
排列方式	5427.517	2	2713.759	52.23859	1.7E-18	3.047906
交互作用	1201.437	2	600.7187	11.56356	1.93E-05**	3.047906
組內	9039.18	174	51.94931			

無論是矮莎草抑或美洲苦草，其交互作用之 p 值均達到非常顯著之水準，因此可見這兩種變因之間存在明顯的交互作用；不同水位時，植物的排列方式對於水流的影響方式和程度是不同的。

(四) 水生植物生長位置與流速之關係

根據前面的實驗，我們得到了不同植物在水道前方，我們將植物位置定義為水道前方和後方，並針對流速進行比較。相關流速數據整理可以整理成如以下長條圖表：

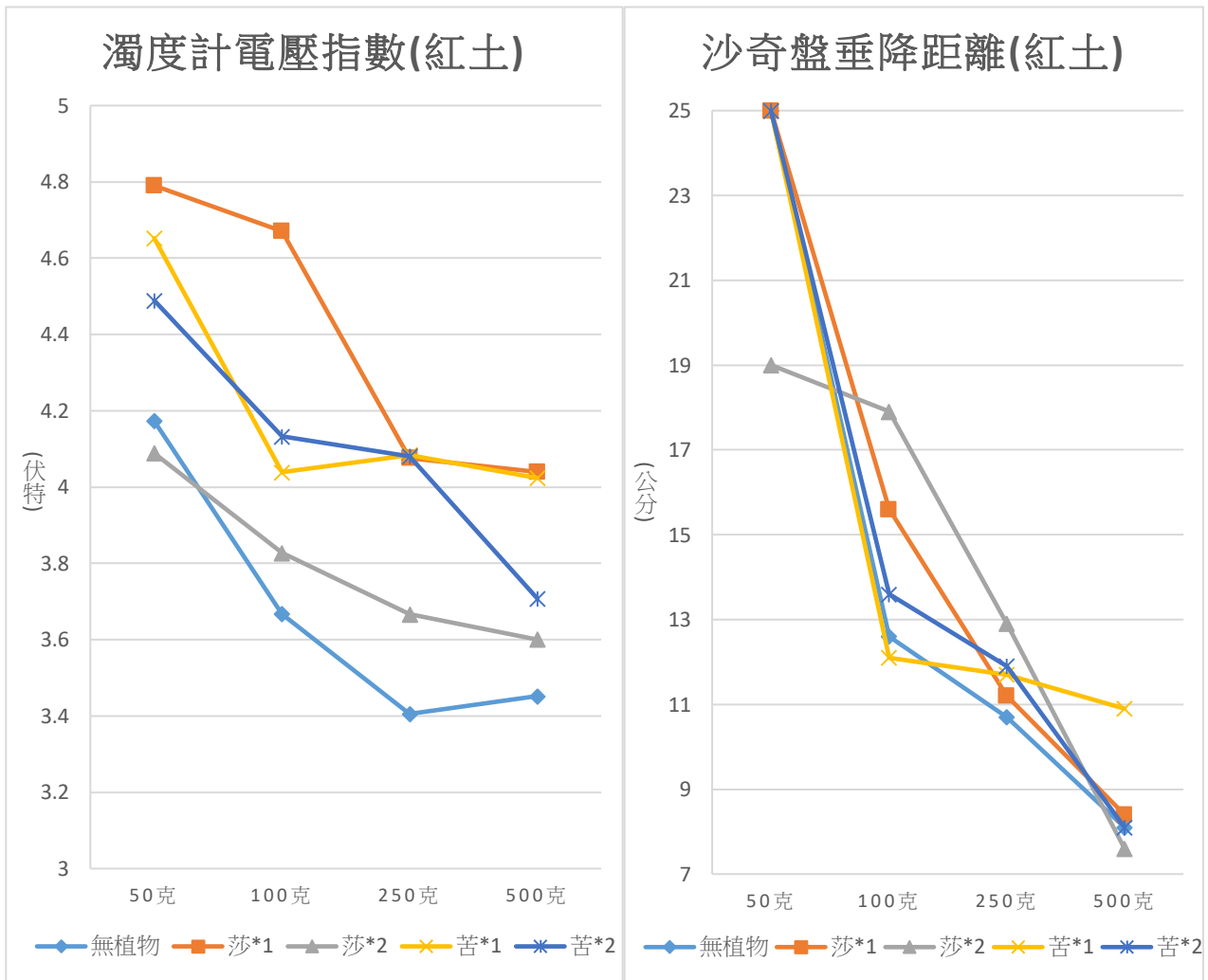


在我們的實驗當中，可以發現兩相比較之下，當植物位於水道前端時，其後方的流速普遍會較慢，t test 檢驗部分在相當多組比較當中都達到顯著的水準；另外，當植物位在後方時，對應不同植物的排列趨勢都不太相同，可能意味著對於植物位置在前方或後方而言，對於固定範圍水流產生的影響存在不同的機制或要素。

二、水生植物對於沉積之實測

(一) 水生植物與高細料含量土壤之沉積

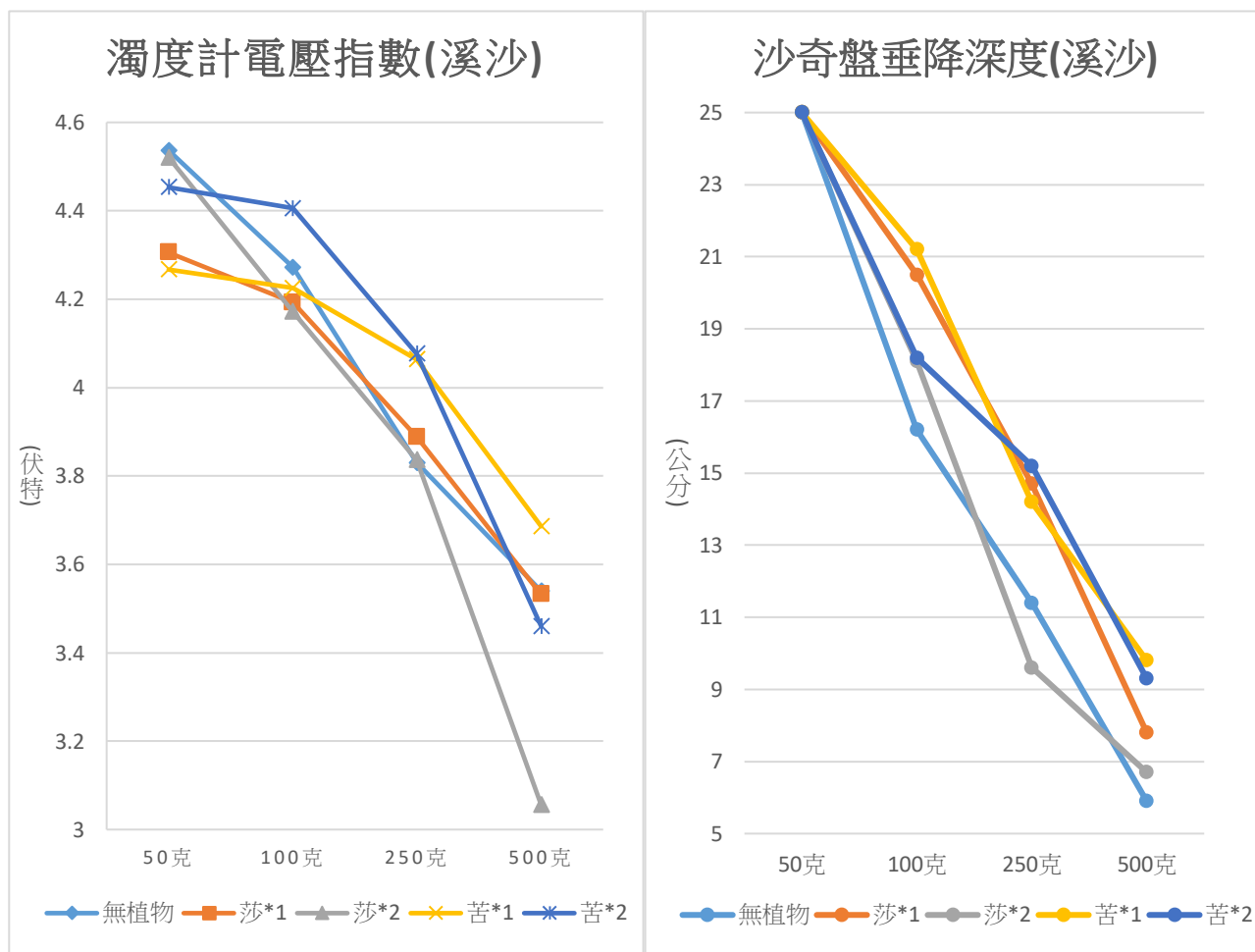
我們利用紅土作為高細料含量土壤之代表，在 90 公升流動的水中加入不同量的紅土(500 克、250 克、100 克、50 克)，並進行沙奇盤和濁度感測器的測量，紅土的沉積實驗之結果如下圖所示：



在使用紅土的狀況之下，以濁度計的狀況來說，有植物的狀況和無植物的狀況相較，都能使濁度計達到較高的電壓值，因此可以認為有植物存在的狀況之下，水體的濁度可以因為流過水生植物而稍微降低，變得較為透明，然而，在有植物的狀況下，縱向排列兩排的效果卻不見得比僅有一列來得好。

(二) 水生植物與較大顆粒砂石之沉積

我們以新店溪碧潭一帶之溪沙作為實驗目標，其粒徑大約皆在 0.5mm 左右，且黏土質含量應較低，因此我們判斷其可能足以代表和紅土不同的狀況，我們進行了相同的實驗，將在 90 公升的水當中加入定量的乾燥溪沙(500 克、250 克、100 克、50 克)，並使其流過放置了水生植物的水道，其濁度計和沙奇盤的實驗結果如下圖呈現之：



使用溪沙得到的結果和紅土略有不同，在沙奇盤測得的結果當中，有植物的狀況下得到的水體透明都大體而言都較高，但一排植物或兩排植物的表現仍相當接近，沒有明顯的差距，特別的是 100 克時一排植物的淨水效果反而都高於兩排植物，另外在 500 克時，則和紅土的結果一樣，反而是僅有一排植物時出水透明度較高。以沙奇盤的結果來看，美洲苦草使懸浮物沉降的能力似乎較使用紅土實驗時提升，與無擺放植物狀況之間差距較為明顯。

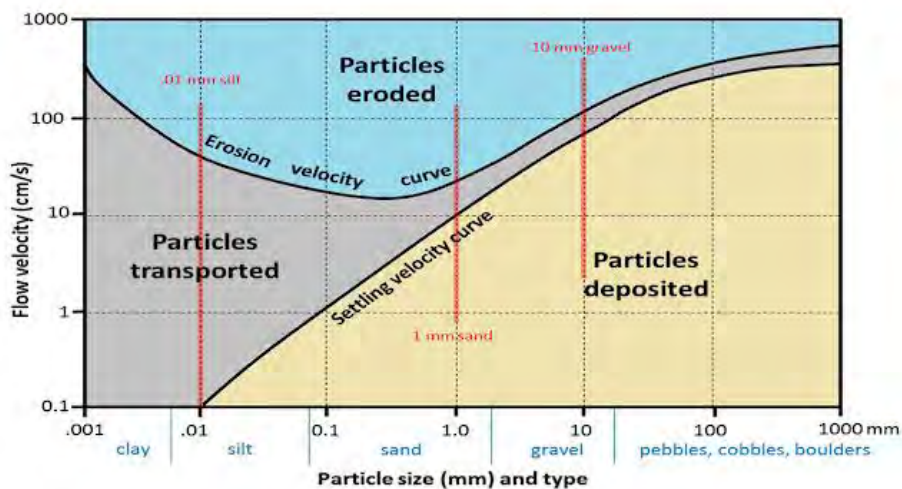
柒、討論

一、水生植物植株對流體的影響與實際應用

本研究旨在探討溪畔淺灘水生植物與水流之關係，進而推論對於溪流底部沉積之影響。一般對於植物與水土保持之影響，通常優先考慮植物的根系，並以根系對應不同土質的穩固能力，因此得出關於水土保持的相關結論。然而本篇研究的探討方向則稍微不同；本研究以溪畔水生草本植物為主要探討對象，雖然作為草本植物，其根系較為淺而疏散，然而其植株本身有一定體積浸泡於水中，對於水流可以說形成阻礙，而一旦水流速度產生變化，對於植物本身和環境皆可能產生不同的影響；例如可能影響淺灘和農田、廢田的排水狀況，造成蓄水量變化抑或溢出氾濫。

又，水流本身對於河道有侵蝕、搬運、沉積等等作用，而這些作用受到水流速度的影響。水流速度降低時，可能便由侵蝕轉為沉積，甚至所搬運的土石本身受植物體的阻擋或吸附。因此對於流過的溪水或灌溉水而言，水生植物的存在是否會干擾其流場，甚至導致水流對於河床的影響改變，即是本篇研究的主要出發點。

而水生植物的存在，改變了淺灘的糙度以及本身可能阻擋水體，因此可能對於改變河床侵蝕或是泥沙沉積發生的速度。而除了自然環境之外，人工產生的田地，其水流或積水狀況也可能受到進水水質和速度的影響，因此其蓄水或排水能力，可能也和水生植物的存在會存在關聯，甚至因為它們通常較淺且水量較少，受到的影響可能更顯著。



圖十六、溪流相關地質作用與流速、粒徑大小之關係

(1935年、Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyris)

除直接探討對流速的影響之外，前人之研究中，靜置水生植物與水質淨化的相關功效已有些許探討，當中也做了懸浮微粒相關的探討，然而主要都是關於靜置水域水質淨化的實測。對於水流本身的變化探討較小，或是多以塑膠片等模型取代水生植物，以水生植物實體進行的研究較少。

因此，雖然利用水生植物進行淨水的概念，已經被廣泛的應用在許多淨水設施和親水區域當中，在溼地的保育方面，水質淨化也是相當被凸顯的亮點，然而目前僅能以自然狀況下觀察到的現象確認：當流經水生植物叢生的區域時，其後方的水流將較前方澄明，至於要種何種水生植物，水生植物應該有如何的排列，何時應該修剪或限制其生長已達到淨水效率最佳化，抑或應該任其無節制的生長等等問題，卻無法詳加探討。因此在我們的研究當中，另一項嘗試就是初步確認植物種類和排列方式，對於淨水效果的影響。

我們在河川整治方面，常常應用各種不同的人造物來達到控制水流和水質的效果。例如整流器，各種跌水設計，消能池等等，而其中許多部件其存在為了調節水流的流速以及衝擊力，而在另一方面，我們也已經知道水生植物對於水流可能存在影響，因此，若是我們能夠將水生植物的影響數據化甚至建立更完善模型，應該可以在更多地方用水生植物種植的方式來取代水泥建物或純石塊的蛇籠，達到人工建物最小化的目的。

而我們的研究除了應用在人工水土保持規劃方面，另外一種層面的應用即是用以和自然環境進行比較，雖然在自然環境之下，植物的生長較為自由，但我們從條件嚴格的狀況下得到的結果，來自於較單純的變因，應該具有更好的預測性，因此對於野外環境的狀況，應該可以加以預測並應用於監控，讓我們對於淺灘或農田等溼地環境的掌握可以更加的規格化。

二、植物可能影響水流的物理因素

根據我們觀察到的現象和所參考的文獻，我們歸納出前人認為可能影響水流狀況的植株的物理性質。

- (一) 直立莖本身的抗力：例如挺水性植物的莖是挺立的，雖然會受到水流的影響而稍微傾斜，但是其本身挺立的性質亦可能帶給水流反方向的抗力。

- (二) 植物本身在液面下的體積/總面積：水體攜帶的顆粒，可能因為水流速度變化而沉降或是本身被植物體阻擋甚至吸附。
- (三) 植物體在液面上所佔據的截面積：一般穩定的水流應該是一體成形，然後有中央快於邊緣的趨勢，然而水流可能因為植物在液面上有佔據面積，而造成表面水流被切割，進而影響整個流動水流的完整(一般水流可能為上快下慢，但上方速度減弱，導致水體本身上下解體)，導致流速和搬運作用的減弱。
- (四) 植株高度：誠如前述，在前人的研究中曾提到，挺立的植物可能產生抗力，而這抗力的大小和莖的高度有關，例如假設植株高度不夠，又因水流傾斜以至於整株都在水中，此狀況稱為「倒伏」，那麼對水流的抗力可能會較弱。因此，植株高度和植株與水位高度的相對關係，可能也影響植株的抗流力。可能兩種植物同樣是有挺立的莖，莖的抗力也相似，這時若是其中一種比較矮小，在洪水來臨時可能常常被洪水淹過而倒伏，那麼它對於水的阻擋力就較低了。
- (五) 植株密度：如同橋墩和其他水中建物，水生植物也可能切割水體，那麼不同的排列方式和密度，對於水體的分割和水流控制應該也會有不同的效果。事實上，我們曾到位於板橋的新海二期人工溼地參觀，而當地的人工溼地設計當中就有懸浮固體淨水區域，是利用密集種植的五節芒來達到更好的懸浮微粒沉降效果，我們想知道如果是在速度較高的流動水體當中，是否也和人工濕地極慢的靜置水體一樣可以藉由水生植物影響沉降。

三、流速實驗結果的綜合討論

綜上所述，我們在實驗設計時選擇了兩種植物作為代表，挺水性的矮莎草以及沉水性的美洲苦草，而美洲苦草本身具備地下莖，在水中的部分大多為狹長的葉片，因此也可以作為液面下面積較大的代表，可以說和莎草科(莖挺立)的矮莎草形成對比。

在我們規劃的水道內，我們先以兩種植物做了三種不同的排列比較，其中，較為固定的矮莎草，三種排列方式效果相去不遠，然而美洲苦草的部分則呈現比較大差異，美洲苦草在前後緊密排列的時候，對水流的流速造成了比較大的減緩，而且不管是較低抑或較高的水位都能有此種功效，相反，的我們的實驗當中美洲苦草平均排列抑或是左右緊密排列時，水流速度都是比同樣排列的莎草快的，並且在統計上也有達到顯著的差異。

我們推測在美洲苦草較緊密排列時，才能形成比較大的「障礙」，但是若是前後間距大到一定程度，而僅有一兩片葉片的單薄狀況之下，水流可以輕易的與柔軟的葉片擦身而過，但若是許多葉片前後交疊，則能發揮擾亂水流的效果。

水位提升之後，水生植物對於流速的影響略有不同，矮莎草的部分左右緊密排列的部分流速變快了，但前後緊密排列的狀況則變得較為慢，矮莎草本身稍微叢生，這些叢生的矮莎草，離河床越近，排列本身就是越緊密，因此水位變高時，個體之間的空隙變大了，雖然我們將其左右較緊密種植，但是每一叢矮莎草本身仍有較大的空隙，可能因此水流有較多的空隙可以通過，反而不及許多層緊密排列，因為在緊密前後排列時，前後叢生的莎草反而容易互相補起空隙，流過去的水流反而受到比較多的切割。美洲苦草的部分，水位變高之後，平均排列和左右緊密排列的流速都變慢，可能是因為葉片完全的舒展(造成在水中的面積更大)，雖然前後排列緊密的組合平均數上流速變慢了，但並沒有達到顯著的差異。

對於一個淺灘沼澤抑或是廢棄農田，應該不是整片水流穩定通過，而是有入水口和出水口，因此我們將植物種植在水道的前方和後方，來模擬代表水域的進水口和出水口。其結果，當植物是位於出水口時，對於前方的水流速度普遍變得較小，和種植在水道前方時不同。可以從這個現象得到推論，水生植物後方的水流速度可有受到比較大的影響，而在出水口(水流在植物前方)的狀況，因為我們的實驗當中水流速度較湖泊沼澤為快，因此水流在接近出水口時以達到穩定且維持一個較快的速度，我們所排列的水生植物在水道末端並不會造成阻礙出水口的現象。

四、沉積實驗的結果討論

我們選用了兩種不同的沙土來進行實驗，其結果，能夠確定的是在有植物的狀況下，之後的水體透明度是會上升的，足見有水生植物存在，能夠使流動水體更偏向發生沉積作用。以濁度計的狀況來看，以紅土進行實驗時，美洲苦草設置一排或兩排似乎沒有太大的差別，矮莎草則是一排時效果優於兩排，這點可能是因為我們在進行實驗時，植物本身無法達到完全洗淨所致，另外，使用紅土作為實驗材料時，在投入量 100 克和 250 克時，會有較明顯的淨水效果。

在使用溪沙作為實驗材料時，美洲苦草的表現似乎較為好，雖然我們前面知道美洲苦草對於流速的影響是較小的，不過美洲苦草有另外一項特點，那便是它的較大葉片面積，當顆粒較大的溪沙碰到葉片時，較為可能發生沉降，因此矮莎草的部分淨水效果則相去不遠，然而紅土顆粒並沒有這種現象，可能是因為紅土顆粒較細較輕，即使碰撞導致失去速度下降，也能在之後的水流中繼續接受搬運。

溪沙易沉澱的特質也影響到了我們的觀測，在溪沙的實驗當中，濁度計所呈現的差異性較低，因為濁度計所能進入水中的深度較為有限，因此在測量溪砂時，沙奇盤的效果反而優於濁度感應器，可以呈現較為明顯的關係。

捌、結論

- 一、 水生植物在水中的結構和密度對於水流流速有確實的影響。
- 二、 美洲苦草等柔軟的沉水性植物，若是生長成前後多層排列，並且較為密集時，能夠有效阻擋水流，減慢水流的流速
- 三、 對於矮莎草而言，左右緊密排列實際上對於減緩水流流速的效果並不突出。
- 四、 不同水位時，水生植物對於水流的影響呈現不同的趨勢。
- 五、 水生植物對於其後方的水流的流速影響較大，當水生植物位於出水端時，它們對於前方水流的流速影響其實較小。
- 六、 在水生植物的物理性淨水效果方面，美洲苦草等沉水性植物，對於較大顆粒的溪沙有較確實的阻擋效果並造成沉積，推測是因為顆粒與植物葉面接觸後移動速度下降所致。

玖、未來展望

- 一、 彎道等不同方向的水流狀況與水生植物的關係。
- 二、 結合探討沙洲沉積與水生植物的關係。
- 三、 持續進行研究並增加探討的尺度。
- 四、 改進水道設計，整流板與循環系統規格化。
- 五、 將自然環境中的水生植物以量化方式分析其生長與排列狀況

壹拾、 參考文獻

- 一、 地表作用與岩石。2017。國中自然與生活科技。翰林出版社。
- 二、 冲冲冲！石頭石頭我不怕～探討水的力量對大自然的災害及其防治之道。中華民國第 51 屆中小學科學展覽，國中組地球科學科作品。
- 三、 謝平城、楊山慶(2007)。植生渠道之水理實驗。水土保持學報 39(4), 371-385。
- 四、 陳湘媛(2009)。簇群植生之抗流機制研究。私立中華大學景觀建築學系碩士論文，新竹市。
- 五、 詹又寧(2007)。草溝阻滯係數之推估。國立台北科技大學土木與防災研究所碩士論文，台北市。
- 六、 台北科技大學水環境研究中心(2009)。水庫集水區生態水工結構物設計參數之建立(3/3)。經濟部水利署委托。台北市：經濟部水利署。
- 七、 林春吉(2002)。台灣水生植物（二）。台北市：田野影像出版社。
- 八、 李松柏(2005)。台灣水生植物地圖。台北市：晨星出版有限公司。
- 九、 水體透明度測定方法（民 102 年 8 月 26 日）。

【評語】 030510

1. 本組作者們有著追根究底的精神，探討兩種水中植物對於水流、水中雜質的過濾效應。
2. 作者們利用兩植物特性，討論對於水雜質的過濾能力，並且進一步探討植物排列對於過濾能力的影響。
3. 實驗結果利用專業的統計分析，作者群能夠使用統計顯著性探討植物種類、排列對過濾能力的影響，並且能秉持紮實研究的態度完成此一專題。

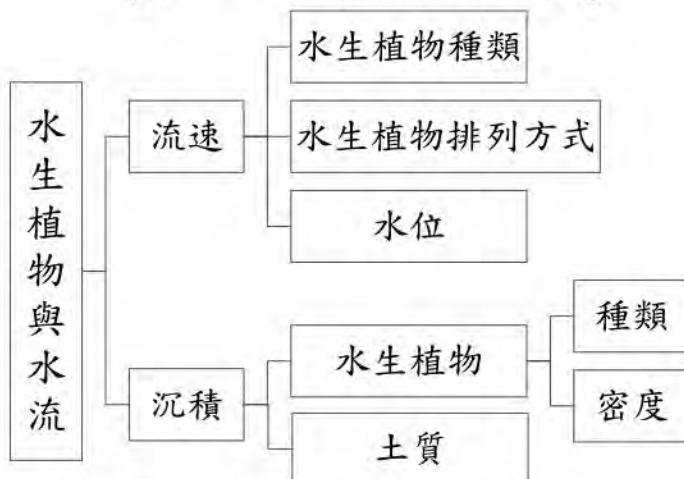
壹、摘要

本研究旨在探討草本水生植物的生長狀況和水流流速、水流搬運作用之關聯性。實驗對象選用矮莎草(*Cyperus pygmaeus*)和美洲苦草(*Vallisneria americana*)；從實驗可知，當水生植物前後多層緊密排列時，對於流速會造成較大的影響，而其影響也隨水位有不同變化；此外，亦進行實驗證實在有水生植物存在的狀況下，水中搬運的沙土更易沉積。

貳、研究目的

- 一、水生植物對流速的影響
 - (一) 水生植物排列方式對於流速的影響
 - (二) 水生植物種類對於流速的影響
 - (三) 在不同水位之下，水生植物影響水流之效果比較
 - (四) 水生植物生長位置與流速之關係
- 二、水生植物對於沉積之實測
 - (一) 水生植物與土壤顆粒之沉積
 - (二) 水生植物與較大顆粒砂石之沉積

參、研究架構



肆、研究過程與方法

一、水生植物實際探勘

在進行研究之前，我們到了水生植物多樣性較高的開放流動水域，及人工濕地自然水質淨化處理系統進行探勘，觀察當地的水生植物種類和型態。



二、植物選擇

探查之後，所見多為挺水性植物，水深較淺處，則可觀察到沉水性植物；基於代表性、模擬適用性及取得方便，將實驗對象鎖定下列兩個類型的植物。

實驗對象	矮莎草 (<i>Cyperus pygmaeus</i>)	美洲苦草 (<i>Vallisneria americana</i>)
照片		
特性	1. 挺水性植物。 2. 莖挺出水面20cm~30cm不等，常為叢生。	1. 沉水性植物。 2. 全株沉於水，較大的葉片在水中自由飄動，常為叢生。

三、模擬實驗渠道設計

利用3D列印初步規畫水道架構。試驗渠道為長180cm、寬60cm、深60cm之透明壓克力水槽，此水道共包含導流段、試驗段、出水端及蓄水箱四大部分，採循環式給水。



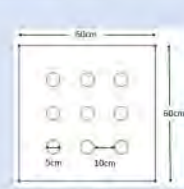
導流段：渠道前端置入由吸管制成的整流板，以減少紊流及水面波動。



試驗段：在長和寬處每5cm黏藍色膠帶以標示距離；土鋪於底部，並放入植物。



出水端：洞口可用橡皮塞封住，以調整水位高低，水流以自由跌水方式注入蓄水箱。



試驗渠道後端（出水端）示意圖



試驗渠道 3D 列印模型



蓄水箱：將馬達放入後，能把儲水以水管導回試驗渠道前端完成用水循環，減少水資源浪費。



試驗渠道

四、植株排列方式

植株固定20株，盡可能排列在中央，而排列方式分為三種；而實驗包含植物之前的水流和植物之後的水流，因此設置不同的水道狀況。

平均排列

前後間距：10cm
左右間距：10cm



左右緊密排列

前後間距：10cm
左右間距：5cm



前後緊密排列

前後間距：5cm
左右間距：10cm



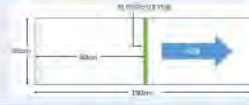
植物在前

水道起點30cm處開始排列



植物在後

水道起點90cm處開始排列



水道之中

(濁度測試用)
水道起點60cm處開始排列



伍、水生植物對流速的影響

一、流速實驗方法

- (一)將水道架起，將植物及土鋪上。
- (二)利用抽水馬達於水道入口注水，形成定速水流。
- (三)在水道後的地面上擺設儲水用水箱以回收流過的水。
- (四)水道上方放置兩個相距40公分的鐵架，以固定單位。
- (五)將光電感測器固定在鐵架上，而當標的物經過第一個光電感測器，計時開始。而當經過第二個感測器，計時便停止。拍下計時器上數字，以記錄時間。

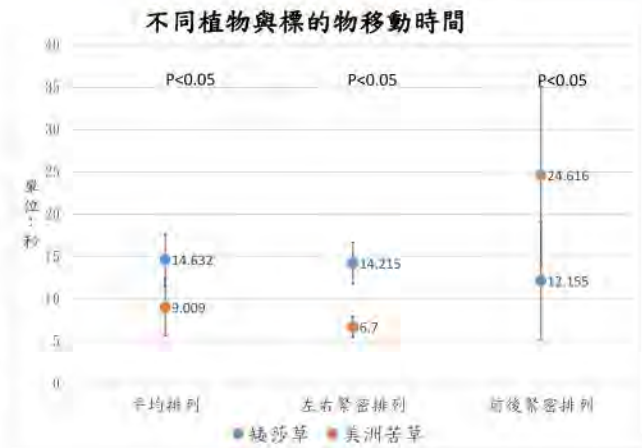


二、實驗結果

(一)兩種植物之比較

將矮莎草與美洲苦草以三種方式排列，發現：

1. 矮莎草：三組水流流速差距為p值為0.0899(>0.05)，統計上不具顯著差異。
2. 美洲苦草：三組流速數據為左右緊密排列比平均排列快，前後平均排列最慢，且以t-test檢測皆達到顯著差異。
3. 綜合比較：裝置美洲苦草的水道在平均和左右緊密排列時流速皆較矮莎草組快。但在美洲苦草以前後緊密排列的狀況下，其水流流速則較為緩慢，此二差異皆在t-test當中達到顯著。



(二) 不同水位之比較

將水位之高低與矮莎草和美洲苦草的排列方式對於流速之影響做相互比較，發現：

1. 矮莎草：除了以矮莎草平均排列之外，在左右、前後排列緊密之時，二種水位對皆會使中水位時水流流速較慢，此影響達到顯著差異。
2. 美洲苦草：除了以美洲苦草左右緊密排列排列之外，在平均排列、以及前後排列緊密之時，二種水位對皆會使中水位時水流流速較慢。此影響達到顯著差異。
3. 綜合比較：水位變化與排列方式呈現非常顯著的交互作用。

矮莎草對應不同水位之實驗結果



美洲苦草對應不同水位之實驗結果

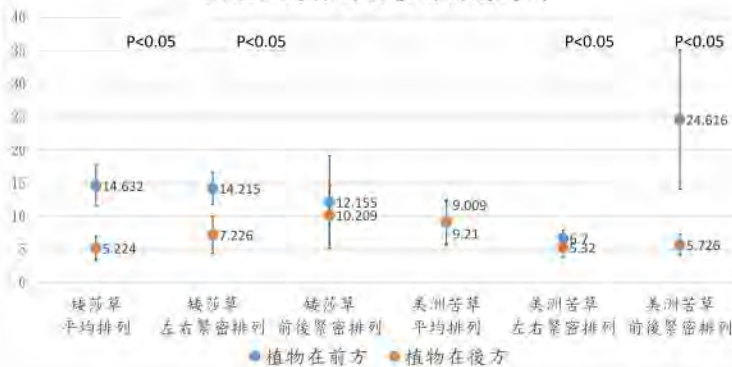


(三) 同水位之所有之變因之比較

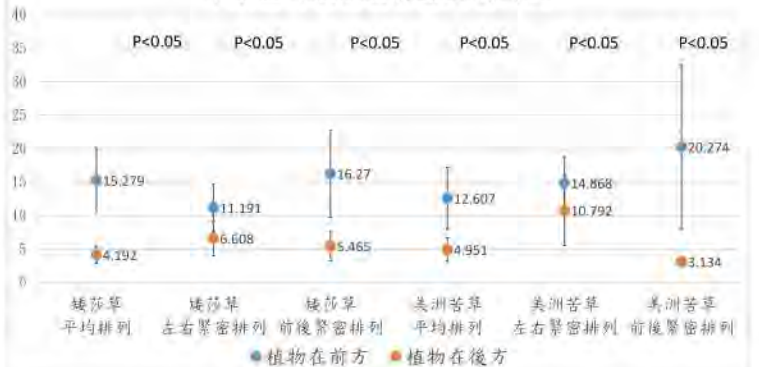
以植物種植位置為新操作變因，有在水道前方及後方，發現：

1. 當植物位於水道前端時：其後方的流速普遍會較慢，t-test檢驗部分在多組個別比較當中皆達到顯著的水準。
2. 當植物位在水道後方時：對應不同植物的排列趨勢都不太相同，可能代表對於固定範圍水流產生的影響存在不同的機制或要素。

低水位時標的物移動所需時間



中水位時標的物移動所需時間





陸、濁度變化與泥沙沉積測試

在濁度變化和泥沙沉積的實驗中，直接讓有泥沙的水流過有水生植物的水域，並記錄其後方的濁度變化。泥沙來源為新店河流域所採的溪沙，以及陽明山紅土。

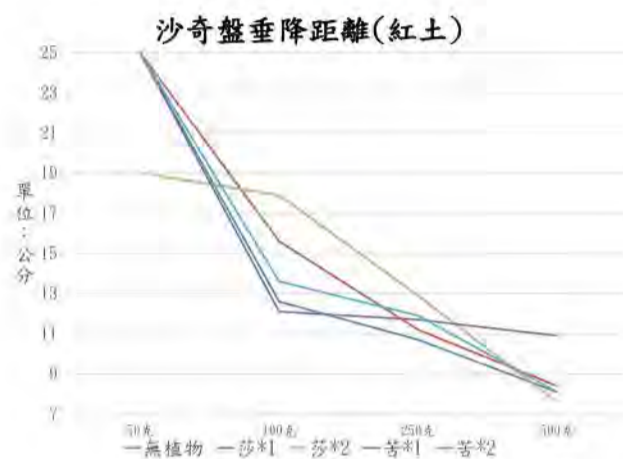
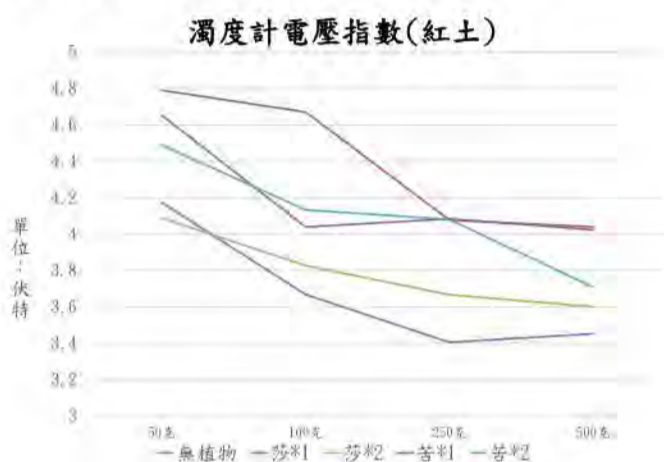
一、實驗步驟

1. 將實驗用水道架起。
2. 依據實驗設計，將目標植物依照指定排列，置於水道中央60公分處。
3. 利用抽水馬達自水道入水端注水，使其呈現穩定水流，並自入水端倒入指定質量之砂土，以形成充滿懸浮固體之水流。
4. 在水道起點90公分處，以塑膠小罐進行取樣。

二、濁度測量之方法

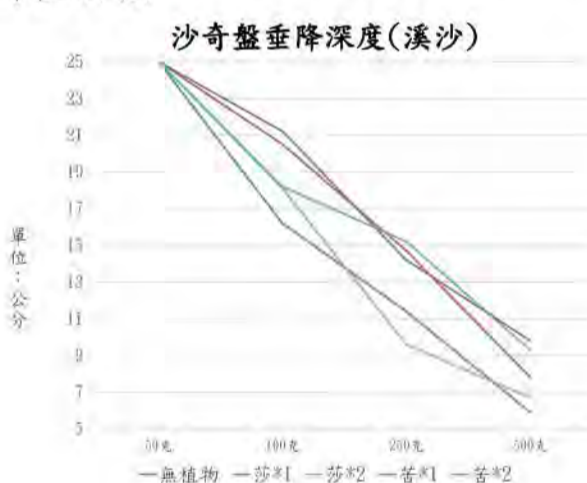
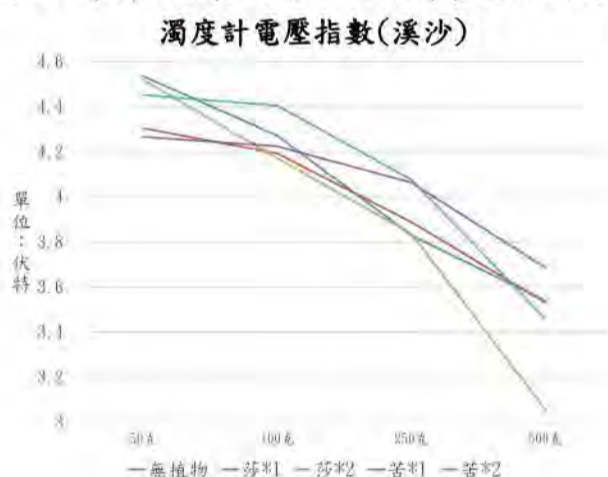
名稱	Arduino濁度計	沙奇盤
方法	均勻攪拌所採水樣，將Arduino濁度計投入水中10秒，將電壓信號整理，計算10秒內水中濁度的平均值。	將沙奇盤垂直放入收集流過的水的桶子中(高25公分)，紀錄看不清楚沙奇盤時之深度。
圖片		

三、濁度與沉積實驗結果



在使用紅土時，我們發現：

1. 有植物存在時，水體的濁度因為流過水生植物而稍微降低，變得較為透明。
2. 以淨水效果而言，兩排植物並沒有比一排植物強。



使用溪沙時，我們發現：

1. 以淨水效果而言，兩排植物並沒有比一排植物強。
2. 苦草使溪沙懸浮物沉降的能力較紅土時提昇。

柒、結論

1. 水生植物在水中的結構和密度對於水流流速有確實的影響。
2. 美洲苦草等柔軟的沉水性植物，若是生長成前後多層排列，並且較為密集時，能夠有效阻擋水流，減慢水流的流速。
3. 對於矮莎草而言，左右緊密排列實際上對於減緩水流流速的效果並不突出。
4. 不同水位時，水生植物對於水流的影響呈現不同的趨勢。
5. 水生植物對於其後方的水流的流速影響較大，當水生植物位於出水端時，它們對於前方水流的流速影響其實較小。
6. 水生植物淨水效果上，美洲苦草等沉水性植物，對於較大顆粒的溪沙有較確實的阻擋效果並造成沉積，推測是因為顆粒與植物葉面接觸後移動速度下降所致。

捌、參考文獻

- 一、台北科技大學水環境研究中心(2009)。水庫集水區生態水工結構物設計參數之建立(3/3)。經濟部水利署委託。台北市：經濟部水利署。
- 二、詹又寧(2007)。草溝阻滯係數之推估。國立台北科技大學土木與防災研究所碩士論文，台北市。