

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學(三)科

第一名

083002

探討大窠坑溪與城市排水道的塑膠微粒情形

學校名稱： 新北市新莊區中港國民小學

作者： 小四 吳欣陽 小五 趙若瑜 小六 李以茜	指導老師： 羅玉慧 洪偉翔
---------------------------------------	-------------------------

關鍵詞： 大窠坑溪、城市排水道、塑膠微粒

得獎感言

科學探究之旅，像極了柯南偵探的破案過程

從線上頒獎典禮，聽到我們第一名的消息，我興奮地大叫，也有人喜極而泣！覺得這一切是這麼的不可思議。回想這一年的研究，有許多辛苦的地方，也有許多收穫。

我們在實驗過程遇到許多困難，像是在取水的時候，遇到高牆無法取水，我們就想到要用釣竿來設計取水工具。而當我們實驗發現，溪水下游塑膠微粒很多時，我覺得很驚訝，但是不知道汙染原因。我們那時候就像偵探一樣一直在尋找線索，像柯南一樣抽絲剝繭地要找出真相。我們必須依著科學根據去證明我們的推論，最後鎖定目標，找到汙染來源。並且提出解決問題的方法，希望可以為環境帶來一些改變。

科展這個比賽讓我學到了很多，像是要有耐心地做實驗，要不然實驗順序就會容易出錯。也學到課堂上不會講到的知識，也還有小學不會接觸到的事物。讓我在國中學習的時候，比較不會那麼的複雜，也讓我提前知道了，如何使用顯微鏡。從怎麼去查詢文獻一個研究的先後順序，了解如何去設計一個完整的研究。除了知識方面，其實也還有很多是國中不會教到的事物，我的口條變得清晰、講話變得流暢，更敢在臺上完整的講出我們的報告，並且回答問題。我發現我不僅思考變快了、記憶力也變好了。

也要感謝老師的指導，在我們因為第一次接觸而聽不懂的時候，有耐心的一次一次講解，讓我們有時間去熟悉。為了想要讓我們講得更好，請別的老師幫我們口試。我們為了想要讓這篇報告的重點更完整，不斷的修正報告。也要謝謝一起做科展的同學和自己，我們在彼此有困難的時候都幫助對方，不管是教導還是想辦法解決問題。也要謝謝自己不放棄不斷的努力，也利用自己的時間去研究去練習。



市賽頒獎典禮



總統接見「中華民國第64屆中小學科學展覽會」第一名作者師生



探討大窠坑溪與城市排水道的塑膠微粒情形

摘要

研究探討溪水塑膠微粒污染來源並提出解決方法。研究發現大窠坑溪上游的塑膠微粒數量低於下游，可能與人口密度有關。且在下游城市排水道口，溪水的塑膠微粒暴增，顯示排水道是溪水污染來源。雨季時溪水的塑膠濃度較低，雨量可能稀釋溪水中塑膠濃度。城市排水道流經塭仔底濕地塑膠數量降低，植物淨化效能以布袋蓮最佳，而污水未接管區數量暴增，顯示污水接管的重要性。

污水接管的水會送至污水廠處理，塑膠微粒清除率達73%，以沉沙除油池清除效果佳，刮除上層廢油時一併去除塑膠；RBC生物薄膜，活性污泥能吸附塑膠清除率佳。我們改良污水廠的沉澱池設計，刮除上層塑膠達96%清除率。因此，建議污水管理及生態淨化，以減少溪水的塑膠微粒污染。

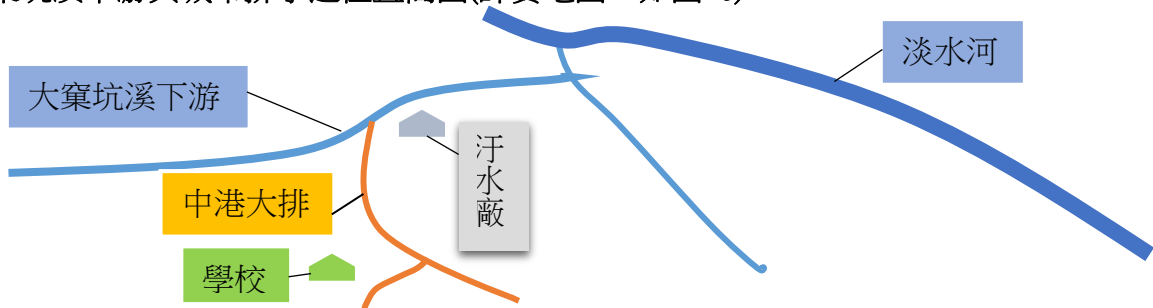
壹、前言

一、研究動機

吃飯時看到新聞說，在都會區的河川已經被塑膠微粒污染！台大團隊在二〇二一年在淡水河進行塑膠微粒調查，發現經過大台北都會區的河川已經受到塑膠微粒污染，這些污染很有可能是從雨水下水道進入。城市的人口較多，讓周邊的溪水有更多污染風險。我們位於淡水河上游，附近有五股工業區，而我們家附近的中港大排，前段的水明明很乾淨，但是走到後面卻發出陣陣臭味。這些污水到底從那裡來呢？我們好奇的開始進行研究。

所以，我們從家裡附近的大窠坑溪取溪水檢測塑膠微粒污染。在大窠溪下游溪水取樣的時候，溪水傳來陣陣惡臭，這些污染會從那裡來呢？我們發現附近的城市排水道(中港大排)以及新北產業污水廠的水，也會排到溪流(圖1)，我們覺得溪水的污染可能是城市排水道或污水處理廠排放的關係。如果能夠了解塑膠微粒的來源和情形，就可以進一步找出減少塑膠污染的方式，希望可以保護溪水環境。

圖1 大窠坑溪下游與城市排水道位置簡圖(詳實地圖，如圖 6)



(註:圖片為作者繪製)

二、研究目的

研究想透過尼羅紅染塑膠微粒的檢驗方法，了解學校及住家附近大窠坑溪的塑膠微粒污染情形，從城市排水道和污水廠水質檢驗找出污染來源。並從生態廊道區及污水處理廠淨化後的改變情形，提出改進方案，提出研究目的如下：

(一)大窠坑溪與城市排水系統的塑膠微粒情形

- 1.大窠坑溪水中的塑膠微粒情形(上中下游、生態廊道、不同季節的塑膠微粒情形)
- 2.城市排水道中港大排的塑膠微粒情形(污水接管區、流經塭仔底濕地、比較接管區與未接管區的塑膠微粒情形)
- 3.探討工業與民生污水處理廠的塑膠微粒清除效能(工業污水廠、民生污水廠、比較工業與民生污水廠的塑膠微粒清除效能)
- 4.探討各類家庭生活污水的塑膠微粒情形

(二)提升塑膠微粒清除效能

- 1.探討漂浮植物對塑膠微粒清除效能(植物在靜態池、流動水、植物在流動水箱的塑膠微粒清除效果)
- 2.改良污水場的沉澱池設計

三、文獻回顧

陳芋仔等(2021)研究提到，萬年溪已遭塑膠微粒污染，且溪水流經住宅區的塑膠微粒高於商業區，可能與民生污水有關。新聞提到淡水河受到塑膠微粒污染 (陳嘉怡，2023)。而大窠坑溪位於上游，污染來源從哪個城市排水系統進入溪水的呢？如：排水道、污水處理廠、滲流水..等。

我們覺得可能與城市排水道和污水處理廠排放有關。城市排水道是城市污水和雨水的集中排放的系統。由於城市中的人類活動，包括生產、生活和交通，往往會導致塑膠微粒進入城市排水道。

城市的污水處理廠負責處理城市污水，廢水經由污水處理廠處理後，放流水會排放回溪水中。污水廠放流水的排放標準，以去除重金屬、氮、磷..等為主。(全國法規資料庫，2019)。塑膠微粒不在污水廠去除的項目。沉澱池的目是藉著沉降去除污泥，但是有一些污泥會上浮，因此會有浮渣收集斗設計。收集斗只能去除少部分懸浮物，對於去除塑膠微粒的效能過低。這些微粒通常會與處理後的水一起排放到河流、湖泊或海洋中。污水處理廠的淨化方法對於塑膠微粒去除的效能如何？是否有更有效的去除方法，值得我們進一

步探討。

我們建立檢測塑膠微粒的儀器，首先確定螢光顯微鏡的激發光源，由連芮暄等(2021)研究可以知道，尼羅紅染劑吸收的光波長，激發光495~570nm(綠光)，發出的光為橘紅光。所以我們研究的螢光顯微鏡以綠光作為激發光，再以紅色濾片過濾綠光。

表1 歷屆文獻研究摘要與缺乏資料

作者	科展	研究摘要	缺乏資料
陳芋仔 等 (2021)	61屆	研究都市河流對塑膠微粒分佈的影響：萬年溪流經商業區、生態公園和住宅區，以傅立葉轉換紅外線光譜儀調查。住宅區的塑膠微粒含量高於商業區。可能與民生排放的汗水有關。	1. 提到與民生汗水有關，但未進一步檢視來源 2. 提到生態整治工法有助於減少塑膠微粒。
連芮暄 等 (2021)	61屆	研究發現塑膠經尼羅紅染劑，再以藍光激發輔以黃色濾光鏡，其辨視度不高，然而在綠光495~570nm 激發下，輔以橘紅色濾光片，可使經尼羅紅染色的塑膠微粒較能清楚辨視出來。	經尼羅紅染色物體，以綠光激發下，輔以橘紅色濾光片，辨識度高

貳、研究設備及器材

我們為了檢驗塑膠微粒，首先使用改裝的學校螢光顯微鏡，塑膠微粒經尼羅紅染色，以負壓過濾器通過濾網(45µm)過濾。在檢驗植物清除塑膠微粒效果實驗中，用光譜儀來檢驗塑膠濃度。

表 2 實驗器材

				
螢光顯微鏡	尼羅紅	負壓過濾器	沉澱池	光譜儀

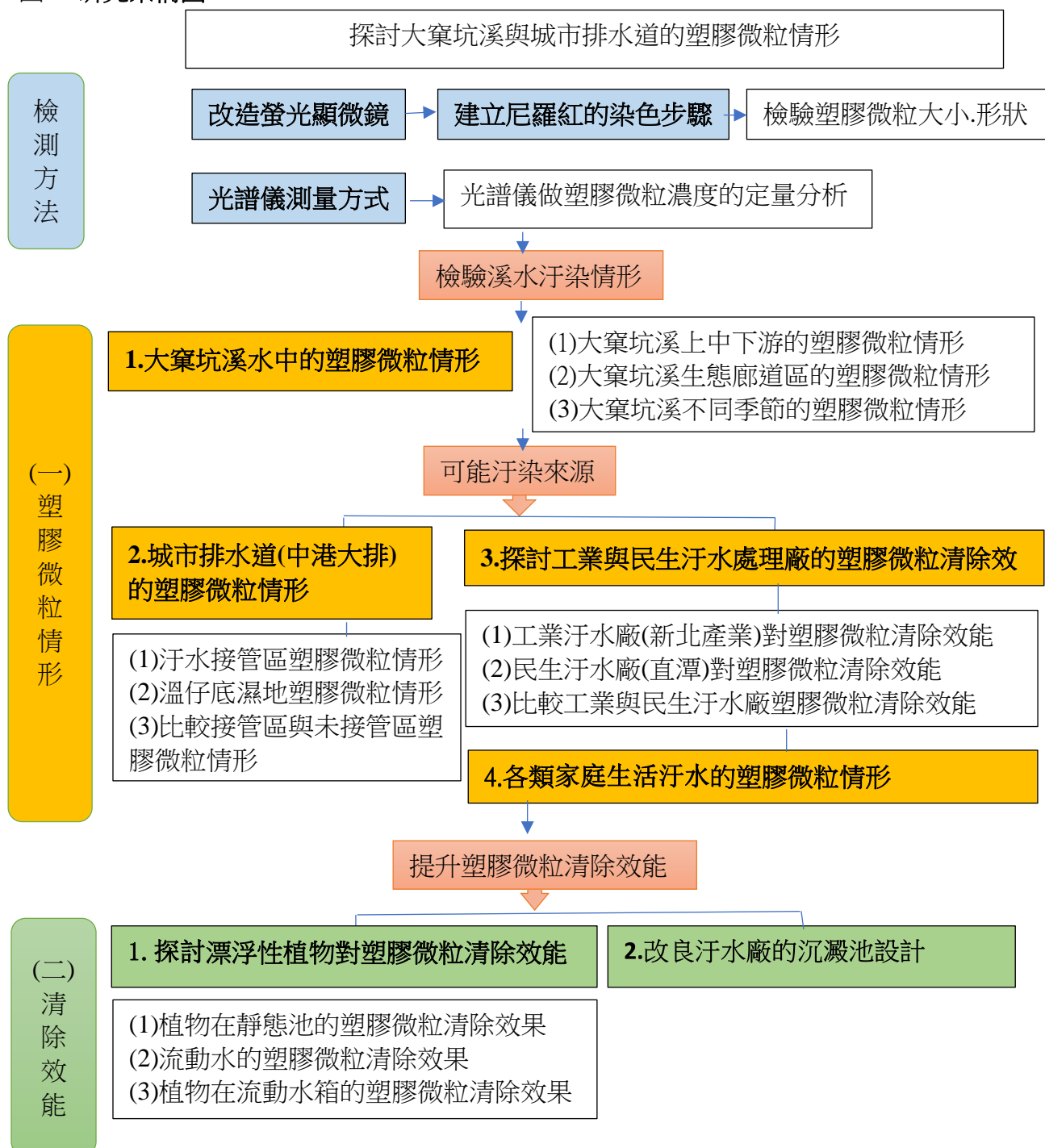
(註:照片由作者拍攝)

參、研究方法與過程

一、研究架構

我們檢驗居住地附近的大窠坑溪，想了解塑膠微粒的污染情形，因此針對下游可能排入污水的中港大排與污水廠進行檢驗，以找出污染來源。並提出以植物淨化和沉澱池改良提升塑膠微粒清除效能。

圖2 研究架構圖



二、研究方法與過程

研究分成三大部分，第一，我們沿用學姊馬順恩(2021)把學校顯微鏡改造成螢光顯微鏡當作觀測工具，並測試尼羅紅染塑膠微粒的步驟。第二，為了檢驗植物淨化塑膠微粒的效果，我們用光譜儀進行定量分析。第三，確定大窠坑溪與中港大排的取樣地圖。

(一)改裝螢光顯微鏡作為觀察工具

研究工具沿用學姊馬順恩(2021)改裝學校的螢光顯微鏡。學校改裝的顯微鏡，以綠光擴束筆激發並以攝影鏡頭來進行觀察。透過放紅色濾片來過濾綠光，提高了光源的強度，可以更清楚的觀察塑膠微粒的螢光。

表3 改裝的學校螢光顯微鏡

改裝的學校螢光顯微鏡									
設計	改裝的學校顯微鏡，改成雙孔觀測頭，一邊接上綠光擴束筆，一邊可以照相鏡頭攝影，並放紅色濾片過濾綠光。								
修正	<table border="1"> <thead> <tr> <th>問題</th> <th>修正</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.綠光筆和鏡頭都須在上方。</td> <td>將單孔改成雙孔接頭觀測，可以一邊接綠光筆，另一頭接照相鏡頭。</td> </tr> <tr> <td>2.綠光點過小，照射面積小。</td> <td>改成綠光擴束筆，照樣品的範圍較大。</td> </tr> <tr> <td>3.塑膠微粒需要計算大小</td> <td>安裝照相機程式計算塑膠微粒大小</td> </tr> </tbody> </table>	問題	修正	1.綠光筆和鏡頭都須在上方。	將單孔改成雙孔接頭觀測，可以一邊接綠光筆，另一頭接照相鏡頭。	2.綠光點過小，照射面積小。	改成綠光擴束筆，照樣品的範圍較大。	3.塑膠微粒需要計算大小	安裝照相機程式計算塑膠微粒大小
	問題	修正							
	1.綠光筆和鏡頭都須在上方。	將單孔改成雙孔接頭觀測，可以一邊接綠光筆，另一頭接照相鏡頭。							
2.綠光點過小，照射面積小。	改成綠光擴束筆，照樣品的範圍較大。								
3.塑膠微粒需要計算大小	安裝照相機程式計算塑膠微粒大小								
設計圖	<table border="1"> <thead> <tr> <th>螢光顯微鏡設計圖</th> <th>螢光顯微鏡</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	螢光顯微鏡設計圖	螢光顯微鏡						
螢光顯微鏡設計圖	螢光顯微鏡								

(註:照片引自馬順恩，2021)

(二)建立檢驗塑膠微粒的步驟

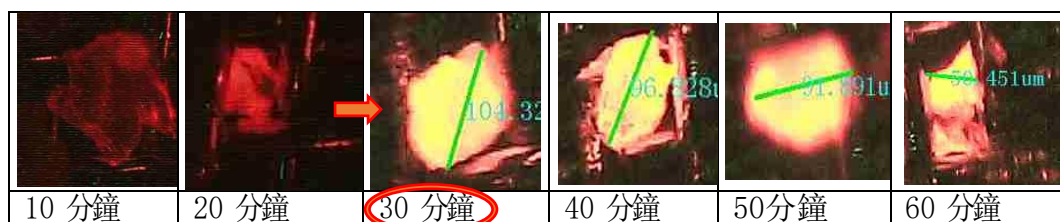
1.尼羅紅染塑膠的原理

尼羅紅 (Nile Red) 染劑可以跟塑膠或生物體中的脂質結合。尼羅紅的性質穩定，著色清楚，並在綠光照射發出螢光，但不能跟水結合。以尼羅紅為親油性的特質加入有機溶劑製作成尼羅紅螢光染劑，因為塑膠也有親油性，所以尼羅紅可以將塑膠染色，使用濾網過濾後，以綠光雷射筆激發，紅色濾片過濾後觀測，找出塑膠微粒。

2.測試塑膠染尼羅紅的時間

(1)實驗步驟: 以1PPm尼羅紅染塑膠微粒。經過10、20、30、40、50、60分鐘觀察。

表4 不同時間尼羅紅將塑膠染色情形



(註:照片為作者拍攝)

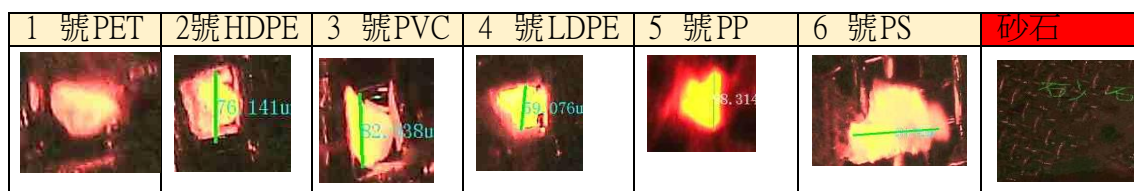
(2)結果: 30分鐘後塑膠均已發螢光。因此確定實驗染色時間為30分鐘。

3.檢驗螢光顯微鏡下塑膠和非塑膠差異

(1)實驗步驟: 將六類塑膠染色後以螢光顯微鏡觀察，與對照組砂石作比較。(六類塑膠名稱1.聚乙烯對苯二甲酸酯2.高密度聚乙烯3.聚氯乙烯4.低密度聚乙烯5.聚丙烯6.聚苯乙烯)

(2)結果:六類塑膠均能在染色後發螢光，而砂石不發光，表示檢驗方式可以區分砂石和塑膠。

表5 六大類塑膠和砂石染尼羅紅發光情形








(註:照片為作者拍攝)

4. 建立檢驗塑膠微粒步驟

檢驗步驟是將1ppm的尼羅紅染加入取樣水中(400mL)。靜置30分鐘後，以不鏽鋼材質(孔徑45 μ m)濾片過濾，並以過濾水400mL清洗。再以螢光顯微鏡進行檢驗。每次重複上述步驟實驗3次。


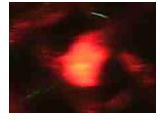
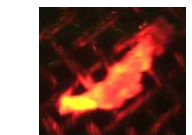
表6 將水中塑膠染色實驗步驟 (註:照片由作者拍攝)

				
取樣400mL	將樣品添加1ppm 的尼羅紅	以濾片過濾	以濾片過濾	螢光顯微鏡檢測

5. 測量塑膠微粒的大小與形狀

顯微鏡上安裝的攝影相機，內建安裝計算程式，程式畫記塑膠微粒長度後，可以計算長度長短(圖 3)。塑膠形狀的分類是依據 Hyemi Lee et al. (2019)研究，分成細絲、顆粒、碎片(表 7)。

表7 塑膠微粒的3種形狀

		
細絲	顆粒	碎片

(註:照片為作者拍攝)

圖 3 攝影機內建程式計算膠微粒大小



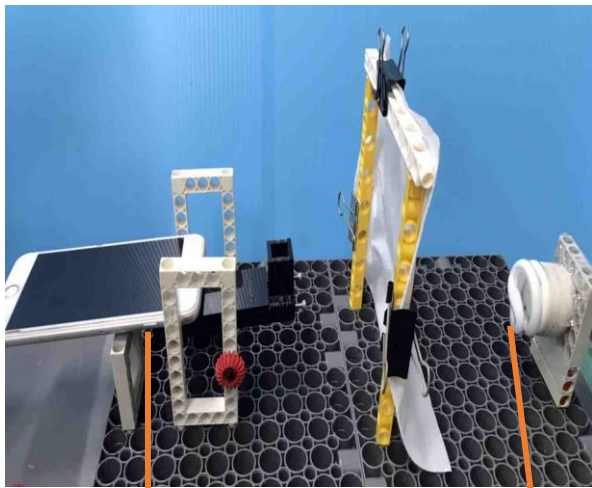
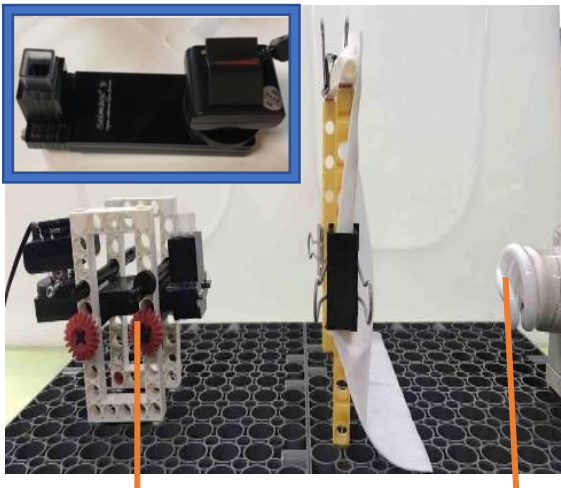
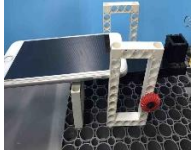
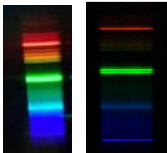


(註:照片為作者拍攝)

(三)光譜儀測量水中塑膠微粒濃度

1.光譜儀測量

我們用光譜儀檢測塑膠微粒的濃度，測量植物過濾塑膠的清除率。由科學 maker 網站提供光譜儀。第一版以手機讀取光譜數值，使用積木固定光譜儀的位置、調整黏土和製作箱子以避免環境光源的干擾，以解決光學測量中可能遇到的位移、過曝和漏光等問題。但是，還是發現每次測量差異很大，光譜儀波長546nm 的光的強度數值落於130~100之間，後來發現手機會自動調整光圈。因此，第二版光譜儀更換手機為 Webcam 攝影鏡頭，以確保固定的光圈和曝光值，進一步提高了測量的準確性。(感謝光譜儀由科學 maker 提供)

表8 光譜儀第一版和第二版比較表

	手機光譜儀第一版			Webcam 光譜儀第二版
放置	以手機讀取光譜儀照片(左)，中間放置衛生紙，使光源不要過度集中 (中)，燈源放置右方(右)。			以 Webcam 觀測光譜儀照片(左)，中間放置衛生紙，使光源不要過度集中 (中)，燈源放置右方(右)
光譜儀照片				
問題	1光譜移動	2光譜過曝	3光譜漏光	Webcam 會晃動，焦距跑掉
修正	以積木固定	調整光源距離	箱子避免環境光源干擾	以螺絲固定 webcam 鏡頭與光譜儀
	 積木固定位置	 (左) (右) 過曝 正常	 黏土黏鏡頭	

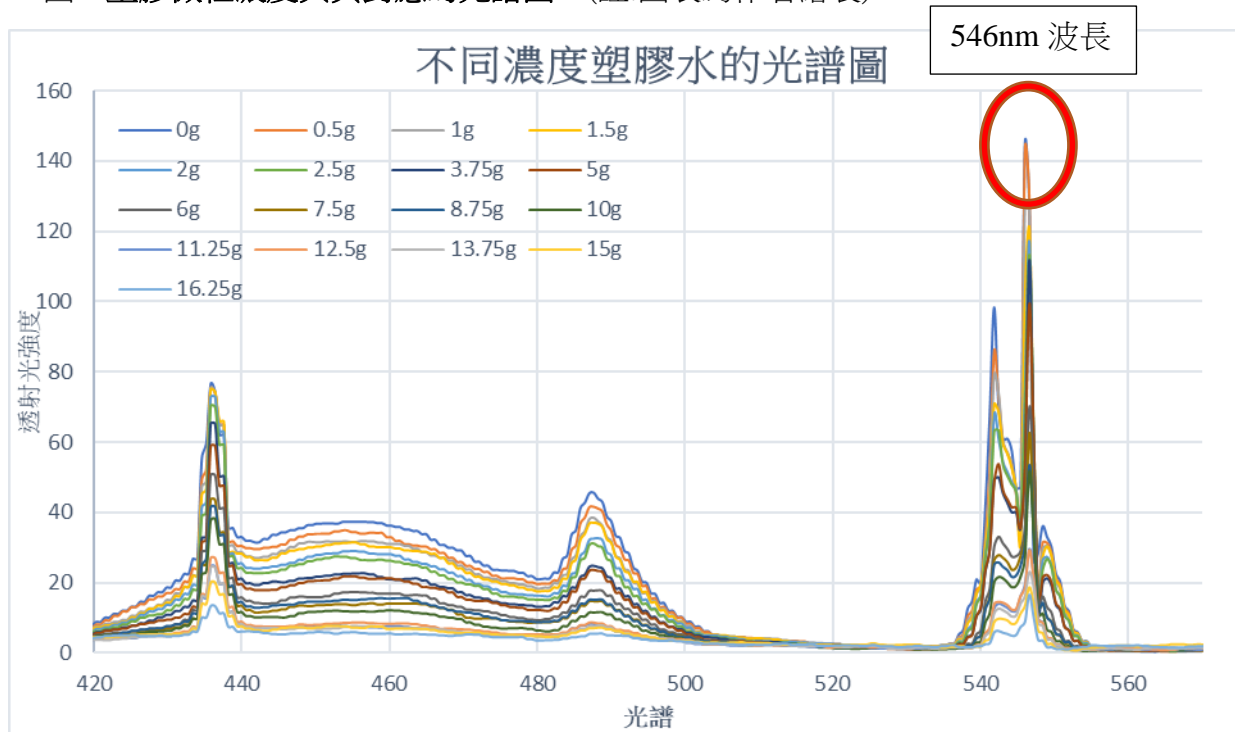
(註:以上照片由作者拍攝)

2.光譜計算

研究以光譜儀進行定量分析，測量塑膠微粒水的濃度。使用比爾定律，由通過塑膠微粒水的透射光強度，以及原本的人射光強度，算出塑膠微粒水的吸光度(比爾定律 $A=\log I_0/I$ ， I_0 ：入射光的強度， I ：透射光的強度， A ：吸光度)。

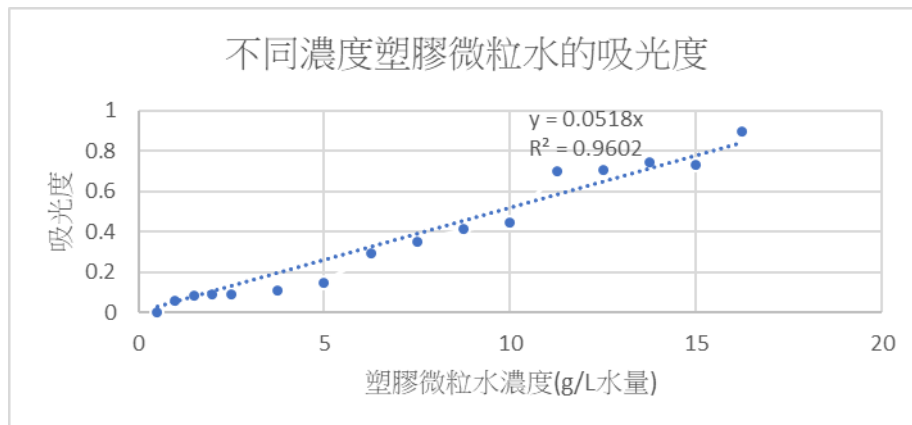
首先，以光譜儀測量546nm 波長計算光強度，因為這個波長的光譜差異比較明顯，再算出16個塑膠微粒濃度的光譜圖(圖4)。

圖4 塑膠微粒濃度與其對應的光譜圖 (註:圖表為作者繪製)



接著，我們算出16個塑膠微粒濃度與吸光度，製作檢量線(例如: $Y=0.0518X$)，以檢量線的推論公式去計算不知道塑膠濃度的樣品。**塑膠微粒濃度與光強度相關度為0.9602之間，為高相關。**(圖5)。

圖5 不同塑膠微粒濃度與吸光度的檢量線(註:圖表為作者繪製)




3.運用光譜儀計算塑膠微粒清除率

- (1) 以光譜儀檢驗清水，以 image J 分析546nm 波長光強度。
- (2) 以光譜儀檢驗清除後的塑膠微粒水，以 image J 分析546nm 波長光強度。
- (3) 以比爾定律計算出吸光度，並依檢量線，推論出清除後塑膠微粒濃度。

$$(4) \text{計算清除率} = \frac{(\text{原始塑膠濃度} - \text{清除後塑膠濃度})}{\text{原始塑膠濃度}} \times 100\%$$

表9 光譜儀計算塑膠微粒濃度步驟

		
測量清水 Blank 光譜	測量未知塑膠微粒水光譜	計算出吸光度，並以公式推論塑膠微粒濃度，求出清除率

(註:照片由作者拍攝)

4.水生植物的塑膠微粒清除效果實驗設計

我們選取3種漂浮性植物，包括布袋蓮、大萍、浮萍，將植物放置塑膠池中，檢驗植物的清除效果。

第一個實驗為靜態池，測量植物靜態池中的清除效果。第二個實驗是流動水的清除效果，流動水流經裝滿塑膠的水箱，測量5小時的沉降效果。第三個實驗，是植物在流動水箱中的清除效果。實驗步驟如下：

(1)植物在靜態池、在流動水箱的塑膠清除效果

- ①製做塑膠水並測量原始濃度。將50克塑膠微粒倒入160公升水箱中，以淺盤(25cmX15cm)取表層水(1公分)200mL。
- ②將植物放入水箱(靜態池或流動水箱)，裝滿水箱面積(77cmX56cm)。靜置1、5小時後(表10)。以光譜儀計算清除率，與上述實驗方式相同(表9)。

表10 植物靜態池、動態池的塑膠清除效果實驗步驟





			
製作塑膠水	取表層水測量	以光譜儀測量塑膠濃度	將植物放置水箱經過一段時間，再測塑膠濃度

(註:照片由作者拍攝)

(2)流動水的清除效果

①製做塑膠水並測量原始濃度。將50克塑膠微粒倒入160公升水箱中，水箱經由水流動後1、5小時(表11)。以光譜儀計算清除率，與上述實驗方式相同(表9)。

表11 流動水的塑膠清除效果實驗步驟

			
製作塑膠水	取表層水測量	以光譜儀測量塑膠濃度	水箱進行水的流動，經過1、5小時後，再測塑膠濃度

(註:照片由作者拍攝)

5.改良沉澱池設計之塑膠清除率計算方式

我們取上層塑膠水進行測量，並計算清除效果。製做塑膠水並測量原始濃度。將7克塑膠微粒倒入30公升水桶中，以圓形淺盤(半徑3cm)取表層水(1公分)50mL(表12)。以光譜儀計算清除率，與上述實驗方式相同(表9)。

表12 改良版沉澱池的塑膠清除效果實驗步驟

		
製作塑膠水， 取表層水測量	以光譜儀測量塑膠濃度	清除後，再測量塑膠濃度

(註:照片由作者拍攝)

(四)大窠坑溪與中港大排區域圖

1.大窠坑溪與中港大排地圖(圖6)，大窠坑溪的憲訓路為生態廊道區，大窠坑溪下游處，有中港大排和汗水廠的水會排入。取水點以數字1-8表示。

圖6 大窠坑溪與中港大排地圖



#註: 編號1-8為取水點，地理經緯度位置如表所示(表13)。圖表為作者繪製。

2.大窠坑溪上中下游的取樣點

上、中、下游共8個取樣點(表13)，距離約100公尺，取溪水表層20公分，取樣400mL 三次。

表13 大窠坑溪上、中、下游取水點 (註:照片由作者拍攝)

	上游	中游	下游
取水點	 ①國道警察旁 25°03'46.5"N 121°24'59.2"E	 ③黎明公園- 25°03'47.8"N 121°25'11.8"E	 ⑥楓江路 25°03'58.0"N 121°26'14.7"E

		
<p>②國道旁民宅 25°03'46.5"N 121°24'57.2"E</p>	<p>④山腳溪橋 25°03'49.3"N 121°25'17.1"E</p>	<p>⑦新竹物流 25°03'57.6"N 121°26'12.7"E</p>
	 <p>⑤大麥蔬果行 25°03'41.1"N 121°25'02.6"E</p>	 <p>⑧中港東抽水站 25°04'11.0"N 121°26'43.8"E</p>

3.中港大排地圖

中港大排從自立街開始為污水接管區，一直到新北大道為未接管區，中間以閘門隔開，最後由中港東抽水口，將水截流到污水管或是流入大窠坑溪。接管區的後段，有與塹仔底相通的閘門，如果下大雨時，會流進塹仔底濕地治洪池。

圖7 中港大排接管與未接管區地圖



註:圖表為作者繪製

4.人口密度的計算

大窠坑溪上中下游地區的人口密度計算，以 GPS(全球定位系統)取得8個取水點經緯度，再使用「新北市門牌加值應用系統」取得每個取水點附近0.1平方公里內居住人數。

肆、研究結果與討論

一、大窠坑溪與城市排水系統的塑膠微粒情形

(一)大窠坑溪水中的塑膠微粒情形

我們檢驗大窠坑上、中、下游塑膠微粒情形，探討是否與人口密度有關。也分析雨季和旱季對塑膠微粒的影響。大窠坑溪生態廊道區，位在流經憲訓路到明志路段採樣，我們想了解生態工法對塑膠微粒的影響。

1.大窠坑溪上、中、下游的塑膠微粒情形

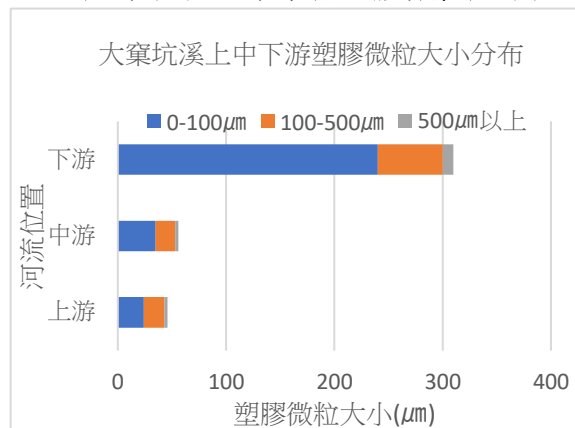
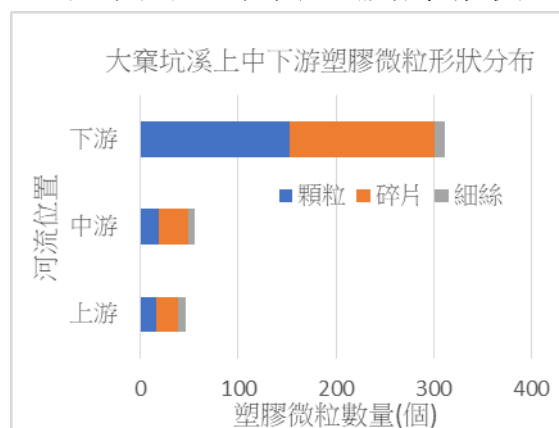
(1)實驗結果

表14 大窠坑溪上、中、下游的塑膠微粒分布

大窠坑	塑膠總數(個)	地點	塑膠微粒形狀(個)			塑膠微粒大小			總數(個)
			顆粒	碎片	細絲	0-100 μm	100-500 μm	500 μm 以上	
上游	45	國道警察局	15	27	8	23	24	3	50
		國道旁民宅	16	18	6	24	13	3	40
中游	56	黎明公園	17	28	18	22	33	8	63
		大腳溪橋	24	25	1	40	10	0	50
		大麥蔬果行	17	35	2	43	10	1	54
下游	311	楓江路	43	42	12	73	17	7	97
		新竹物流	39	64	5	72	35	1	108
		中港東抽水站	376	338	14	576	129	23	728



圖8 大窠坑溪上中下游塑膠微粒形狀分布 圖9 大窠坑溪上中下游塑膠微粒大小分布



註:圖表為作者繪製

表15 大窠坑溪上中下游的人口密度

人口密度	上中下游	
	上游	中、下游
居住人數	188 人	2164 人

註:資料來源自「新北市門牌加值應用系統」。

(2)討論

①大窠坑溪上游的塑膠微粒數量最少(45個)，其次是中游(56個)，下游塑膠微粒數量最多(311個)。中下游人口密度為上游10倍，上游地區人口稀少，而中下游地區位於泰山區，有住宅區和五股工業區，人口密度較高(表15)，塑膠微粒污染相對較高。

②下游的中港東抽水口數量暴增(表14)，可能為中港大排汙水排入。下游的三個取水點，其中兩個取水點約90個塑膠微粒。但是在中港東抽水口，塑膠微粒暴增728個。中港東抽水站口是將中港大排的水排入，推論中港大排汙染溪水。

2.大窠坑溪生態廊道區的塑膠微粒情形

研究想了解生態廊道區經過生態工法以及植物淨化，是否影響溪水中的塑膠微粒。

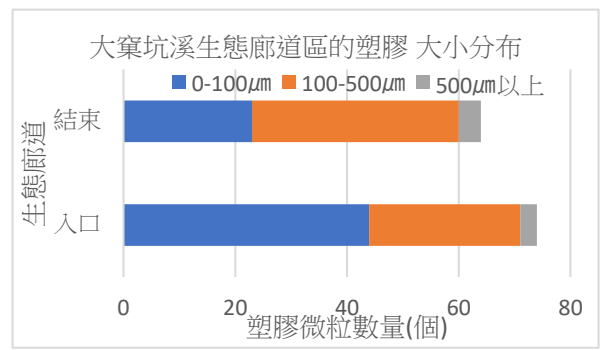
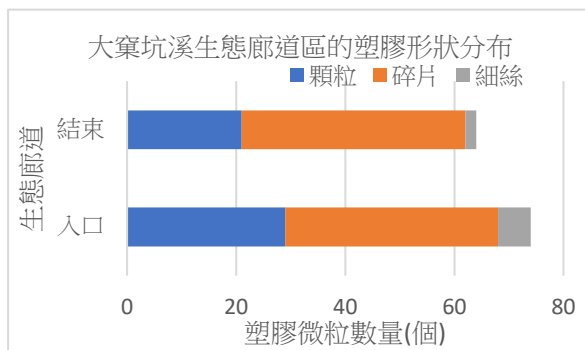
(1)實驗結果

表16 大窠坑溪生態廊道區塑膠微粒分布 (註:照片由作者拍攝) 圖10 生態廊道區

變項	大窠坑溪	總數 (個)	形狀(個)			微粒大小 (個)		
			顆粒	碎片	細絲	0-100 μm	100-500 μm	500μm以上
生態廊道	生態廊道(入口)	74	29	39	6	44	27	3
	生態廊道(結束)	64	21	41	2	23	37	4



圖11 大窠坑溪生態廊道區的塑膠形狀分布 圖12大窠坑溪生態廊道區塑膠大小分布



註:圖表為作者繪製

(2)討論生態廊道區的塑膠微粒數量差異不明顯。生態廊道後段塑膠微粒略降，塑膠微粒

從74個下降至64個(表16)，可能與生態工程和植物淨化水質有關係。生態廊道區汙水已接管，因此生活廢水不會在這段排放。而三角丁壩可使泥沙掛淤，石籠使水流曝氣增加溶氧量淨化水質，使植物有生長空間，生態工程使水流速變慢，塑膠微粒下沉至底泥。

3.大窠坑溪不同季節的塑膠微粒情形

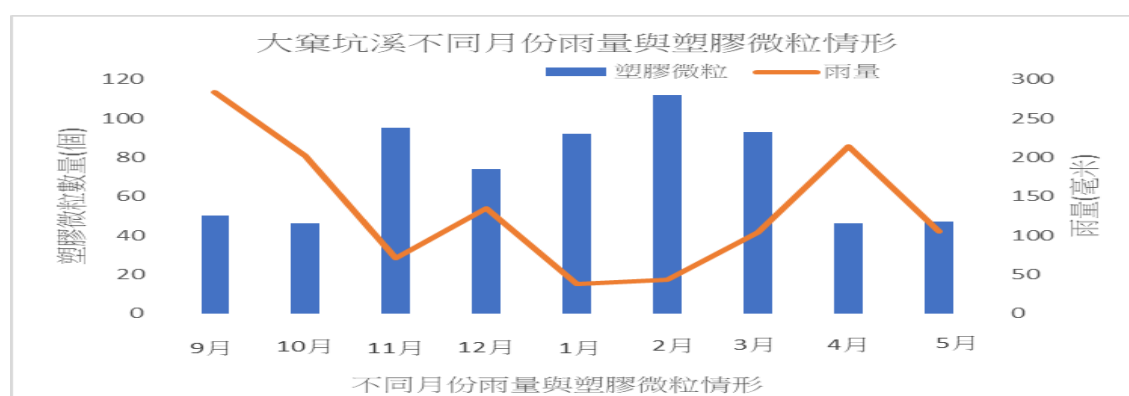
我們在112.9月-113.5月取溪水進行測量，想要了解溪水不同季節，在雨季和乾季是否會影響塑膠微粒數量。

(1)實驗結果

表17 大窠坑溪不同月份溪水中的塑膠微粒情形

變項		月份								
		9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月
塑膠微粒	形狀(個)									
	顆粒	15	16	29	40	47	33	45	27	9
	細絲	27	24	29	27	34	61	33	17	34
	碎片	8	6	37	7	11	18	15	2	4
微粒大小(個)	0-100 μm	22	22	39	44	71	60	53	35	21
	100-500 μm	25	19	32	28	15	48	22	10	23
	500 μm 以上	3	5	24	2	6	4	18	1	3
總數(個)		50	46	95	74	92	112	93	46	47
雨量(mm)		284	202	70.5	135	43.5	43	104	214	104

圖13不同月份雨量與塑膠數量(註:圖表為作者繪製)



(2)討論

①雨季時，塑膠微粒數量少；旱季時，塑膠微粒數量多，雨季可能稀釋溪水中塑膠微粒濃度。9-10、4月雨量高，塑膠數量少，溪水水量多，可能使塑膠微粒濃度稀釋，因此塑膠微粒數量較少；11、1、2月旱季時，塑膠數量多溪水水量較低，可能使塑膠微粒濃度提高。不同月份塑膠微粒型態分布，多以500 μm 以下顆粒和碎片為主，細絲最少。

(二)城市排水道(中港大排)的塑膠微粒情形

由大窠坑溪水中的檢驗中發現，下游的中港東取水點塑膠微粒數量暴增。而中港東抽水站口是中港大排排入的地方，所以我們進一步檢驗中港大排的塑膠微粒情形。中港大排的污水接管區，為親水廊道水質清澈。接管區流經塭仔底濕地，作為洩洪池，在下大雨時會將中港大排放流排入。未接管區是經過新北大道以後路段，水質明顯惡化，民生污水直接排入。

1.中港大排污水接管區的塑膠微粒情形

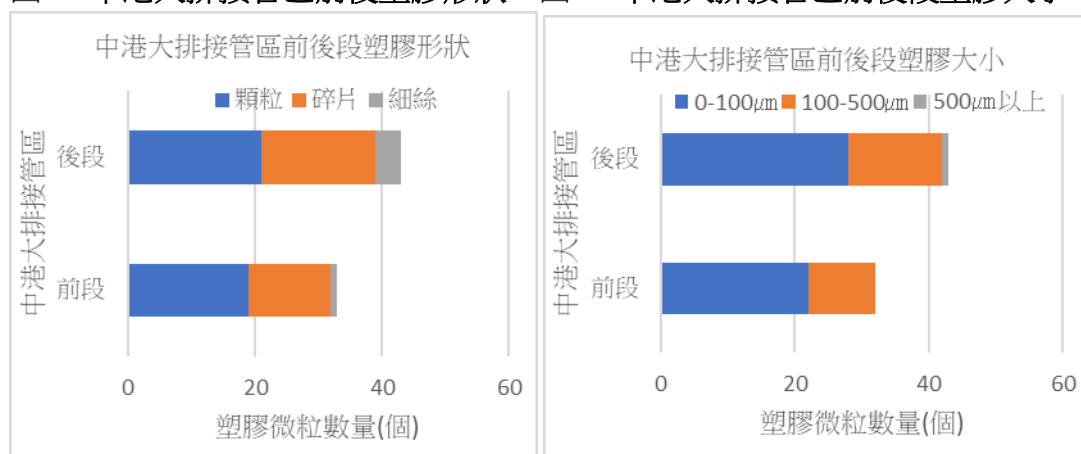
中港大排從自立街至新北大道為污水接管區。我們檢驗接管區前後段塑膠微粒情形。

(1)實驗結果

表 18 中港大排污水接管區的前後段塑膠微粒分布

中港大排	總數 (個)	形狀(個)			微粒大小 (個)		
		顆粒	碎片	細絲	0-100 μm	100-500 μm	500 μm 以上
前段	33	19	13	1	22	11	0
後段	42	21	17	4	27	14	1

圖 14 中港大排接管區前後段塑膠形狀 圖 15 中港大排接管區前後段塑膠大小



(註:圖表為作者繪製)

(2)討論

污水接管區前段和後段數量差異不大(表 18)，塑膠數量介於 33-42 個之間，後段略增可能為水溝水排入或是遊客丟入垃圾。中港大排整治區生活廢水已接管，河道為水資源中心處理過的放流水，所以塑膠微粒污染低。

2.中港大排流經塭仔底濕地的塑膠微粒情形

中港大排接管區，其中流經塭仔底濕地。我們檢驗塭仔底濕地塑膠微粒情形是否受到植物淨化而有差異。

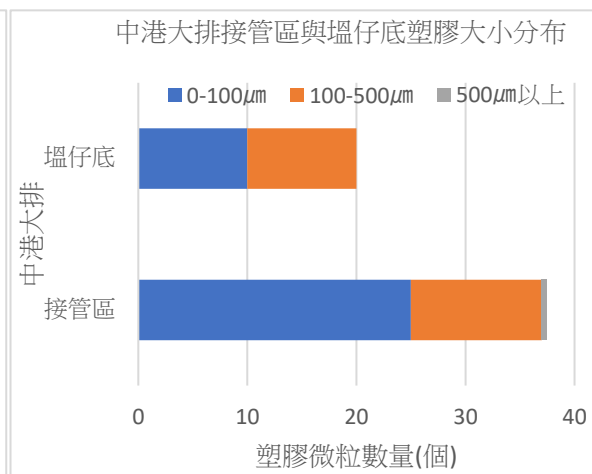
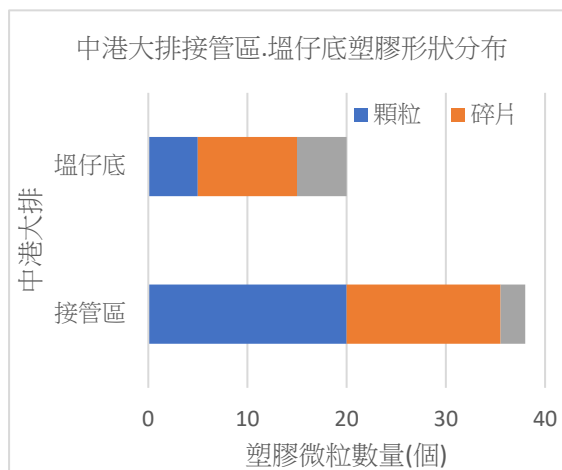
(1)實驗結果

表19 中港大排接管區與塭仔底濕地的塑膠微粒情形

中港大排 總數(個)	形狀(個)			微粒大小 (個)		
	顆粒	碎片	細絲	0-100 μm	100-500 μm	500 μm 以上
塭仔底 20	5	10	5	10	10	0
接管區 38	20	15	3	25	12	1

圖16 接管區與塭仔底塑膠形狀分布

圖17 接管區與塭仔底塑膠大小分布



(註:圖表為作者繪製)

(2)討論

中港大排整段塑膠微粒前後段數量 33-42 個，流經塭仔底濕地的塑膠微粒數量最低 20 個(表 19)，可能與濕地植物淨化水質有關係。塭仔底為洩洪池，若遇到大雨中港大排水位高漲時會排入。水利局在塭仔底濕地，種植了濕地植物，進行水的淨化。溼地植物可能有淨化水質的功能，需進一步做實驗證實。

3.中港大排污水接管區與未接管區的塑膠微粒情形

中港大排從自立街到新北大道為污水接管區，比較新北大道後污水未接管區的塑膠微粒差異。

(1)實驗結果

表20 中港大排污水接管區與未接管區的塑膠微粒分布

中港大排	總數 (個)	形狀(個)			微粒大小 (個)		
		顆粒	碎片	細絲	0-100 μm	100-500 μm	500 μm 以上
污水未接管區	896	540	198	158	659	148	89
塭仔底	20	5	10	5	10	10	0
污水接管區	38	20	15	3	25	12	1

圖18中港大排接管與未管區塑膠微粒分布

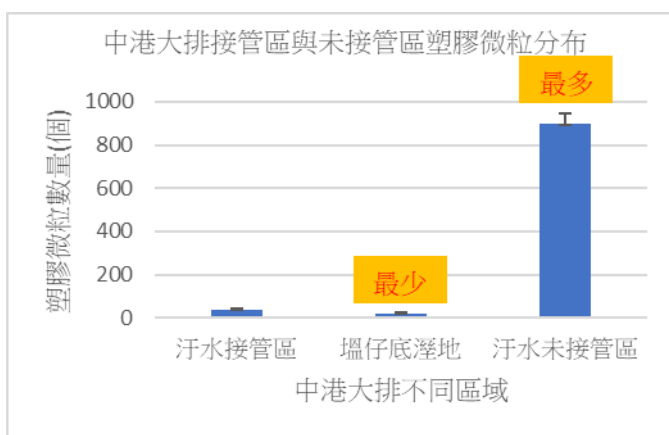
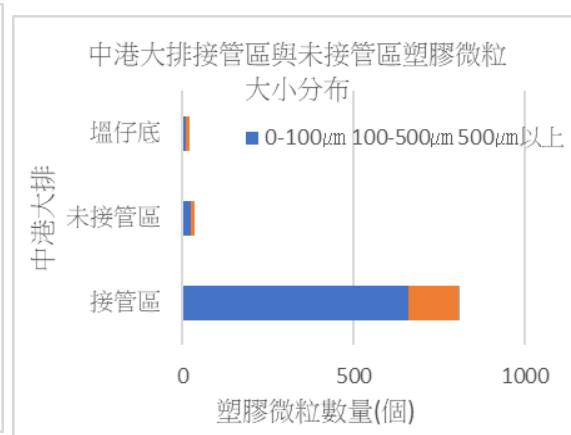


圖19中港大排接管與未接區塑膠大小分布



(註:圖表為作者繪製)

(2)討論①中港大排接管區平均 38 個，未接管區為 896 個，污水排放使塑膠微粒數量暴增(表 20)。中港大排後段新北大道後，生活廢水排放至箱涵，在這裡排放。

②由地理位置可以推測，中港大排未接管區的水，可能排入溪水中汙染溪水。這與我們測量到大窠坑溪中港東抽水站，為 728 個塑膠微粒。和中港大排末端數量接近(896 個)。鄰近新北產業園區污水廠塑膠微粒 91 個，推論非污水廠排放。

圖20 中港大排接管區(左)、污水未接管區(中)、塭仔底溼地(右) (照片由作者拍攝)







(三) 探討工業與民生汙水處理廠的塑膠微粒清除效能

由於大窠坑溪末端，中港東抽水站取水點的塑膠微粒數量暴增，鄰近新北產業園區汙水處理廠，汙水廠的放流水會排放至溪流。所以我們進一步探討工業汙水廠處理塑膠微粒效能，並比較民生汙水廠(直潭)處理效能。

1.工業汙水廠(新北產業園區) 對塑膠微粒清除效能

工業汙水廠有四個處理步驟，包括汙水池、初沉池、RBC 生物處理池、放流池(表 21)。研究取樣四個水池數據進行分析。第一步驟，從進流站取樣汙水。第二步驟初沉池取水，初沉池利用齒輪帶動刮板，上層刮板刮除浮渣，下層刮板集中底部汙泥，導入集泥坑；上層液則排入生物旋轉圓盤後續處理。第三步驟 RBC 生物處理池，利用附著於圓盤的微生物群，圓盤轉出水面吸收空氣中的氧氣與轉入水中吸收汙水的有機物質進行生物分解，去除汙水中的有機汙染物質。RBC 的汙泥沉降後抽出汙泥池處理，上層液排入放流池。第四步驟取放流池的放流水。

表 21 新北產業園區汙水廠處理步驟

步驟	汙水池	初沉池	RBC 生物處理池	放流池
處理	汙水	沉降	薄膜去除有機物	沉澱後乾淨水溢流
照片				

(註:照片由作者拍攝)

(1)實驗結果

表 22 新北產業園區汙水廠塑膠微粒分布及清除率

步驟	形狀(個)			微粒大小 (個)			總數 (個)	標 準 差	清除率 (%)
	顆粒	碎片	細絲	0-100 μm	100-500 μm	500 μm 以上			
汙水	105	213	21	278	57	4	339	31	0
初沉池	143	178	1	240	81	1	322	38	5%
RBC	54	82	6	88	52	2	142	2	58%
放流	22	56	13	50	35	6	91	8	73%

圖 21 新北產業污水廠塑膠微粒形狀分布

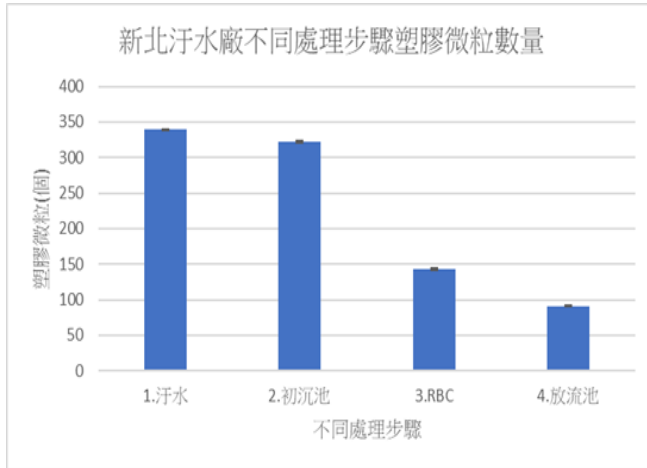
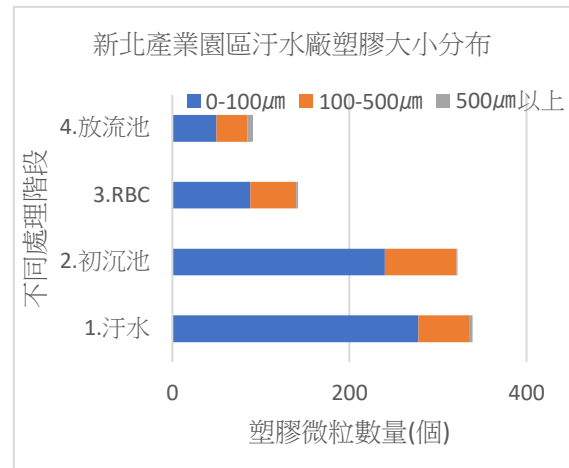


圖 22 新北產業污水廠塑膠微粒大小分布



(註:圖表為作者繪製)

$$\text{塑膠清除率} = \frac{(\text{原始塑膠數量} - \text{清除後塑膠數量})}{\text{原始塑膠數量}} \times 100\% = \frac{(339 - 91)}{339} \times 100\% = 73\%$$

(2) 討論

- ① 汗水廠處理效果佳，處理前後達 73% 清除率(表 22)。塑膠微粒型態多為 100 µm 以下顆粒或是碎片，細絲數量很少。
- ② 第二步驟初沉池，清除率 5%(表 22)，較無清除效果。沉澱池加入助凝劑多元氯化鋁，主要使汗水中的污泥和乾淨水分離，而非使塑膠懸浮微粒可以沉澱。
- ③ 第三步驟 RBC 生物處理池，清除效果 53% 最高(表 22)。有生物薄膜濾材在水池中，使微生物附著，以分解有機物。濾材的生物處理法由於是利用活性污泥對水質淨化，其中活性污泥能將水中雜質吸附，其中亦包含塑膠微粒，因此對塑膠微粒的清除有極高貢獻，達 53% 清除塑膠微粒效果。清除掉的塑膠微粒型態，以 100 µm 以下顆粒或是碎片為主。
- ④ 第四步驟，放流水池最後進行沉澱，放流水以溢流方式流出。塑膠微粒因此沉降而有 15% 清除率。



2. 民生污水廠(直潭)對塑膠微粒清除效能

工業與民生污水廠的處理方式差異很大，我們比較民生污水廠不同的處理步驟，是否影響塑膠微粒的去除。

直潭污水廠處理民生廢水，由於民生廢水會有廢油，所以民生污水廠會有刮除浮油的步驟。汗水廠的處理如下(表 23)，第一步驟，汗水進流站，經攔污柵處理(5mm)，可

去除較大懸浮固體。接著第二步驟沉沙除油池，會有機器刮除上層浮油，底層有抽砂棒去除底泥。處理後的水再進入曝氣池。第三步驟，曝氣池汙水於好氧槽中曝氣，池中有氣流增加氧氣，以及生物濾材，提供微生物分解水中有機物質。第四步驟放流池，經過沉澱之後，再將上方水溢流放流。

表23 直潭汙水廠處理步驟 (註:照片由作者拍攝)

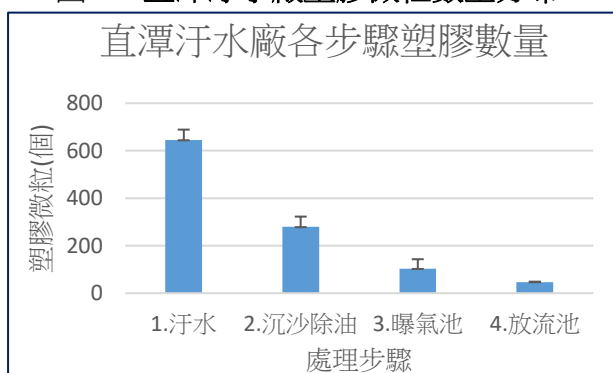
步驟	第二步驟 沉沙除油池	第三步驟 曝氣池	第四步驟 放流池
處理	刮除上層浮油，下層抽底泥	生物濾材，使微生物分解有機物	沉澱後，乾淨水溢流
照片			

(1)實驗結果

表 24 直潭汙水廠塑膠微粒分布與清除率

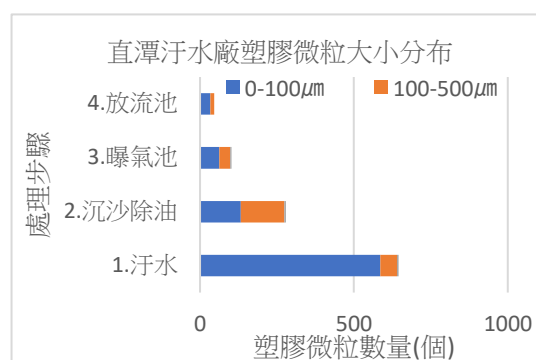
	總數 (個)	標準 差	形狀(個)			微粒大小 (個)			清除率 (%)
			顆粒	碎片	細絲	0-100 μm	100-500 μm	500μm 以上	
步驟1汙水	645	44	469	161	15	586	54	5	0
步驟2沉沙除油	279	43	64	176	39	132	142	5	57%
步驟3曝氣池	103	40	31	65	7	64	35	4	84%
步驟4放流水	47	1.5	21	22	4	35	12	0	93%

圖 23 直潭汙水廠塑膠微粒數量分布



(註:圖表為作者繪製)

圖 24 直潭汙水廠塑膠微粒大小分布



$$\text{直潭汙水廠塑膠清除率} = \frac{(\text{原始塑膠數量} - \text{清除後塑膠數量})}{\text{原始塑膠數量}} \times 100\% = \frac{(645 - 47)}{645} \times 100\% = 93\%$$

(2)討論

- ①民生污水廠處理效果極佳，達 93%清除率(表 24)。塑膠微粒型態分布多是 100 μm 以下的顆粒形狀。
- ②第二步驟沉沙除油池，清除效果最佳，刮除上層廢油，清除了 57%的塑膠微粒(表 24)。因為塑膠具有親油性，且塑膠微粒輕與浮油一起浮在表面，刮板一併刮除塑膠微粒。此步驟清除掉的塑膠微粒，多是 100 μm 以下的顆粒形狀。
- ③第三步驟曝氣池，清除效果次之，曝氣池有生物濾材在水池中，使微生物附著，以分解有機物。濾材也會使塑膠微粒卡住，而有 27%清除塑膠微粒效果(表 24)。第四步驟放流池，沉澱的步驟可能是懸浮塑膠微粒沉降，而有 9%清除率。
- ④污水廠的處理，使放流水的塑膠微粒污染，降至 47 個，放流水處理得很乾淨，與溪水中的塑膠微粒塑膠差異不大。

3.比較民生與工業污水廠的清除效能

進一步比較民生和工業污水廠的處理效能，民生污水廠會有廢油，污水廠處理時會有刮除上層浮油步驟，工業污水廠的生物處理池，有 RBC 生物旋轉輪盤。

(1)實驗結果

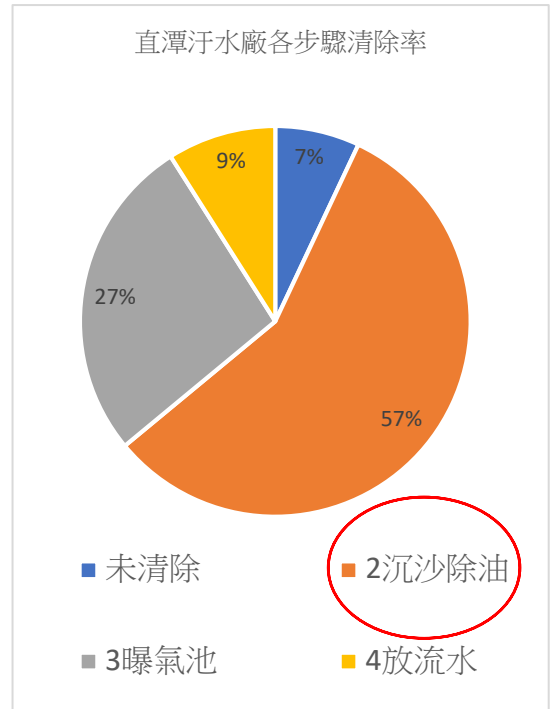
表 25 工業與民生污水廠塑膠清除率比較表

新北產業園區污水廠(工業)				直潭污水廠(民生)			
步驟	總數(個)	各步驟清除率(%)	總清除率(%)	步驟	總數(個)	各步驟清除率(%)	總清除率(%)
1 污水	339	0	0	1 污水	645	0	0
2.初沉池	322	5%	5%	2 沉沙除油	279	57%	57%
3.RBC 生物處理池	142	53%	58%	3 曝氣池	103	27%	84%
4.放流水	91	15%	73%	4 放流水	47	9%	93%

圖25 新北產業園區污水廠各步驟清除率



圖26 直潭污水廠各步驟清除率



(註:圖表為作者繪製)

(2)討論

- ①民生污水廠塑膠微粒較多(645 個)，工業污水廠的塑膠微粒較少(339 個)(表 25)。新北產業園區塑膠工廠多為加工，而非塑膠原料製造，所以較無大量塑膠污染。直潭民生污水，來自烏來地區，包括溫泉區廢水、商家排放廢水。
- ②民生污水廠的去除率較高 93%(表 25)，民生廢水要去除廢油，在沉沙除油池的效果最好。刮除廢油也一併去除塑膠微粒。而工業污水廠的清除效果 73%(表 25)，以生物處理池清除效果最佳，濾材的生物處理法由於是利用活性污泥對水質淨化，其中活性污泥能將水中塑膠微粒吸附。
- ③污水廠的沉澱池處理效能過低，放流水約 10-15%清除率，塑膠微粒沉降至底泥。可以進一步進行改良沉澱池效能。
- ④塑膠形狀和大小分布，工業污水廠塑膠形狀以碎片最多，民生污水廠以顆粒形狀最多，兩者都是細絲最少。塑膠微粒大小，最多是 100(μm)以下，而 500(μm)以上數量較少。民生污水來源可能是洗衣、洗碗..等廢水，由後續實驗檢測得知洗衣廢水為民生廢水主要污染源。

(四)探討各類家庭生活汙水的塑膠微粒情形

汙水廠檢驗出民生的塑膠微粒數量較工業汙水廠高。進一步分析各類家庭生活汙水的塑膠微粒情形，檢驗家庭生活活動對環境的影響。

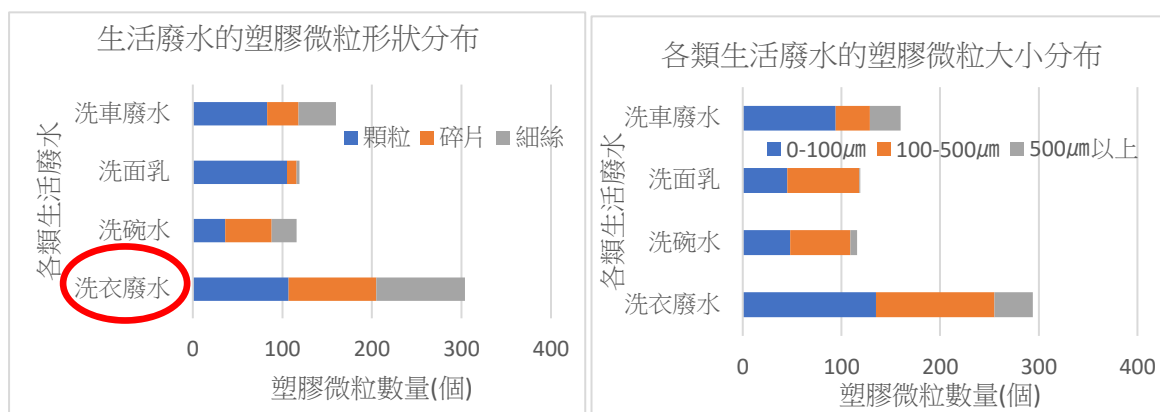
1.實驗結果

表 26 家庭各類生活汙水的塑膠微粒情形

	形狀(個)			微粒大小(個)			總數 (個)
	顆粒	碎片	細絲	0-100 μm	100-500 μm	500 μm 以上	
洗衣廢水	97	98	99	135	120	39	294
洗碗水	36	52	28	48	61	7	116
洗面乳水	105	11	3	45	73	1	119
洗車廢水	83	35	42	94	35	31	160

圖 27 各類生活廢水的塑膠微粒型狀分布

圖 28 各類生活廢水的塑膠微粒大小分布



(註:圖表為作者繪製)

2.討論

(1)家庭生活汙水以**洗衣廢水塑膠微粒數量最多**，有**294**個(表 26)，其次是洗車廢水。洗衣汙染來自人工衣物纖維，依據數據，洗一次衣物會釋放 10 萬根塑膠微粒。洗車來自輪胎的塑膠粒，洗碗水則是人工菜瓜布的塑膠粒，洗面乳是來自添加的柔珠顆粒。建議洗碗以天然菜瓜布清洗，洗面乳選擇沒有柔珠的產品，以減少塑膠汙染。

(2)民生廢水以**顆粒最多**(圖 27)，分析各類塑膠微粒的型態多為顆粒或碎片。微粒的大小，洗車廢水多為 100 μm 以下，其他生活廢水則是多數在 500 μm 以下。

二、提升塑膠微粒清除效能

(一)、探討漂浮植物對塑膠微粒清除效能

之前研究結果發現塩仔底的塑膠數量最低，我們進一步探討植物對塑膠微粒清除效能。由於塑膠微粒會浮在表面，所以我們選取漂浮性植物作為實驗植物。第一個實驗為靜態池，測量植物靜態池中的清除效果。第二個實驗是流動水的清除效果，流動水流經裝滿塑膠的水箱，測量 1、5 小時沉降效果。第三個實驗，植物在流動水箱清除效果。

1.實驗結果

表 27 植物的塑膠微粒清除效果

小時	植物	植物靜態池清除率			水流清除率	植物在流動水箱清除率		
		布袋蓮	浮萍	大萍	無植物	布袋蓮	大萍	浮萍
1		40.7%	0.3%	17.8%	29%	87%	36%	22%
5		86.2%	0.5%	60%	43%	88%	85%	68%

圖29 植物在靜態池的塑膠微粒清除率

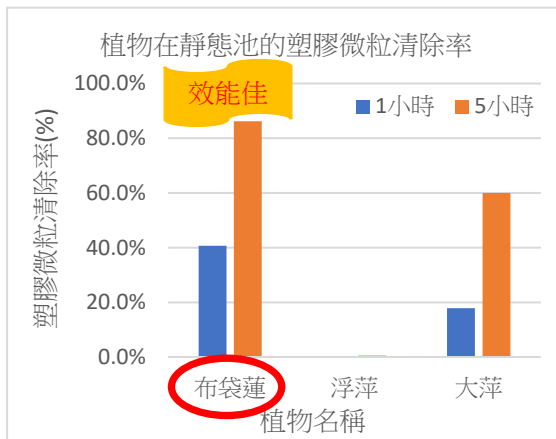


圖30 植物在流動水箱中的塑膠微粒清除率

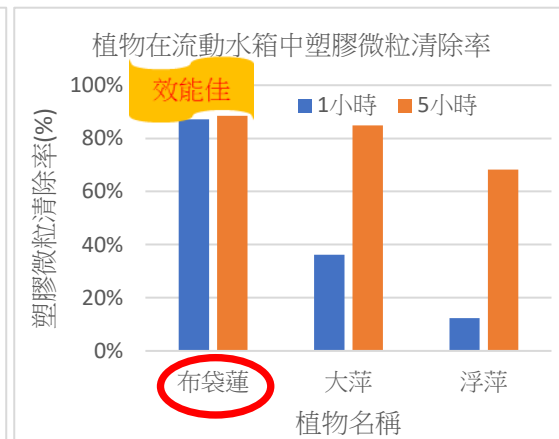
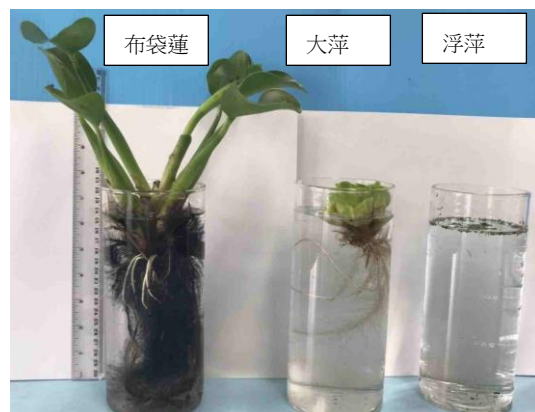
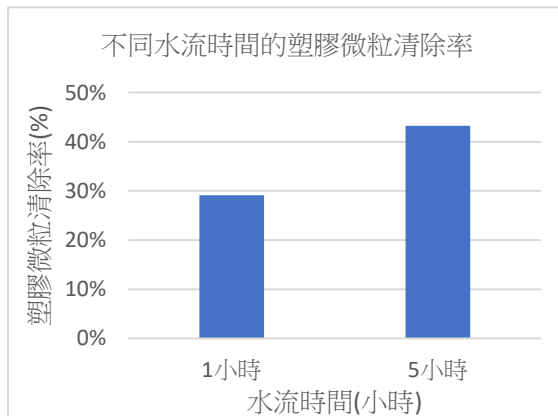


圖31不同水流時間的塑膠微粒清除率 圖32植物的根長度(註:圖.照片由作者拍攝繪製)



2.討論

(1)植物靜態池的塑膠微粒清除效果

①植物在靜態水池中的塑膠清除效果，以**布袋蓮最佳(圖29)**，在1小時可以有40%的清除率，布袋蓮的根生長密集且長(約30公分)；而浮萍在經過5小時後，幾乎沒有什麼清除效果，浮萍的根稀疏且短(約1公分)，上面較難卡住塑膠微粒。

(2)流動水的塑膠微粒清除效果

①水箱經由水的流動經過5小時有43%的清除率(圖31)。水流擾動使塑膠沉降留在滯留池中，使乾淨水從水箱溢流，達到淨化作用。這與污水場初沉池原理相似，經過水流的擾動使大顆懸浮物沉降至底泥，達到乾淨的水由上層溢流出去。



(3)植物在流動水箱的塑膠微粒清除效果

①植物經由水流的擾動後卡住更多塑膠，推論水流可以增加與塑膠微粒的碰撞。布袋蓮在1小時可以有87%的清除率(圖30)。

(二)改良污水場的沉澱池設計

研究發現污水廠沉澱池的處理效能低，塑膠微粒清除效果約9~15%(圖33)。本研究重點在於清除上層所有塑膠微粒，因此設計改良版沉澱池，將刮板設計成圓池的半徑長，並設計溝渠引流廢水，上層塑膠微粒水多掉入溝渠，**達96%清除率(圖32)**。

表28 新北污水場沉澱池與改良版沉澱池設計比較(註:照片由作者拍攝)

	新北污水廠的沉澱池設計	我們設計的沉澱池改良板
圖 片		

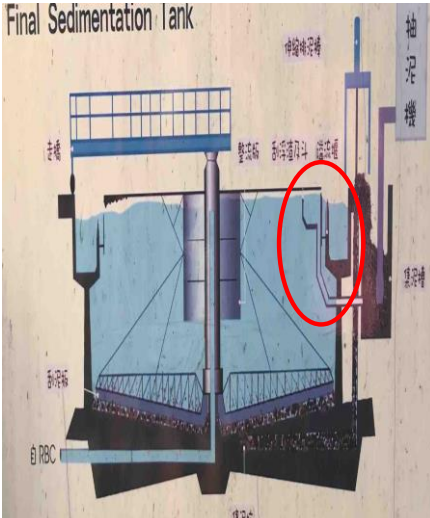
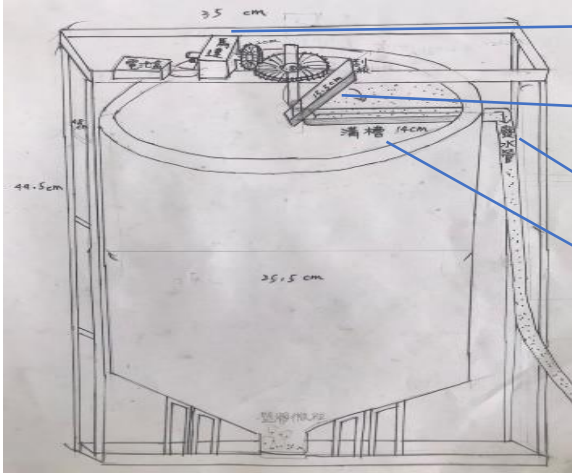
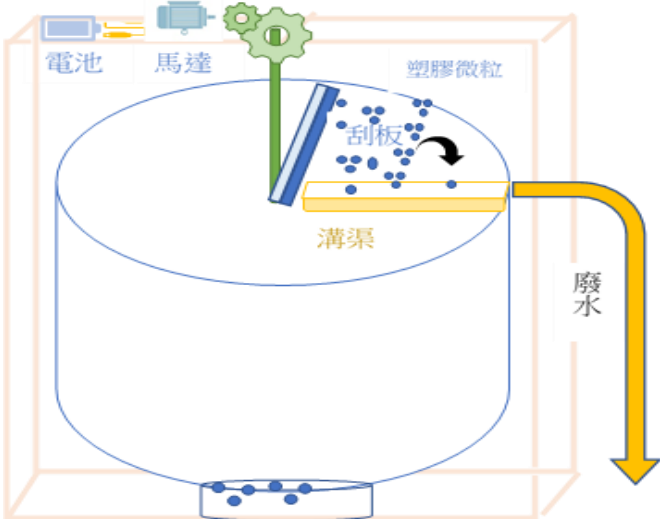
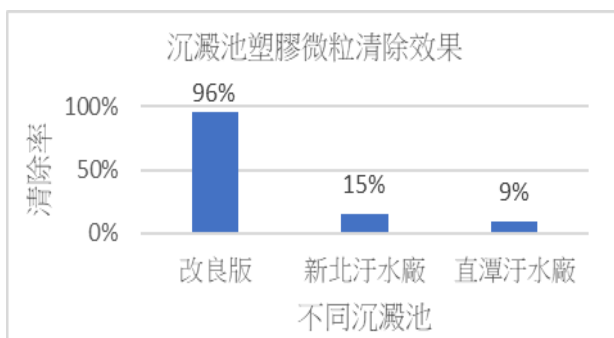
設計	 <p>(照片由新北產業園區汙水處理廠提供)</p>	 
說明	<p>刮板只在側邊，引流缺口約為水池1/10，因此落葉都從旁流走</p>	<p>刮板為圓半徑長，能將上層懸浮微粒，刮除至溝渠流出，達 96%清除率。</p>

表29 改良版沉澱池刮除上層塑膠效果(註:照片由作者拍攝)



圖 33 沉澱池塑膠微粒清除率



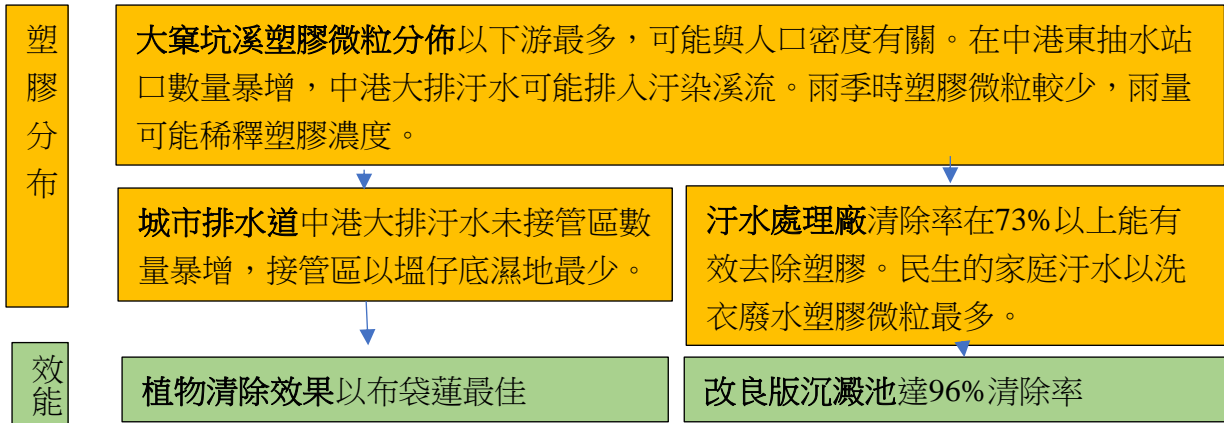
(註:圖表為作者繪製)

改良版沉澱池塑膠清除率

$$= \frac{(\text{原始塑膠濃度} - \text{清除後塑膠濃度})}{\text{原始塑膠濃度}} \times 100\%$$

$$= \frac{(3.19 - 0.11)}{3.19} \times 100\% = 96\%$$

伍、結論



大窠坑溪下游塑膠微粒污染高，主要是城市排水道排入，建議污水接管。而污水接管後經過污水廠處理，清除效能佳。污水廠原沉澱池不是用來處理塑膠微粒，經改良後達96%清除率。且經由植物淨化也可以改善水質，建議以生態工法以及沉澱池改良，提升塑膠清除率。

一、大窠坑溪與城市排水系統的塑膠微粒情形

(一)大窠坑溪上游塑膠微粒最少，下游最多塑膠微粒，可能與人口密度有關，下游人口較多，污染也較高。在中港東抽水站口數量暴增，中港大排污水排入會污染溪流。生態廊道區的人口處與末端塑膠微粒降低，可能與生態工程和植物淨化水質有關係。雨季時塑膠微粒數量較少，雨量可能稀釋溪水中塑膠微粒濃度。

(二)中港大排以塭仔底濕地最乾淨，可能是植物淨化效果。接管區前後差異不大(36個)，生活廢水已接管，而污水未接管區數量暴增(896個)，城市建設污水接管，有效改善水質。

(三)污水接管的水會流經污水廠處理，污水廠能有效去除塑膠微粒，清除率在73%-93%。以沉沙除油池清除塑膠微粒效果最好，刮除上層廢油時，因塑膠輕且有親油性，可能一起刮除。RBC 生物旋轉輪盤清除效果佳，生物薄膜上的活性污泥吸附塑膠微粒，能有效清除塑膠微粒。民生的家庭生活廢水，以洗衣廢水塑膠微粒最多。

二、提升塑膠微粒清除效能

(一)塭仔底濕地的水最乾淨，進一步實驗漂浮性植物塑膠微粒清除效果，以布袋蓮最佳，植物的根越密集越長，能夠卡住更多塑膠，水流會增加植物根碰撞卡住塑膠，建議滯留池要有水的流動，可以幫助塑膠微粒沉降底部。

(二)原本污水廠的沉澱池設計並不是來去除塑膠微粒，清除效能太低(15%)，我們改良沉澱池設計，上層刮板能有效刮除塑膠微粒，達96%清除率。

陸、參考文獻

- 一、陳芊仔、陳耕庠、莊右靖(2021)。「塑」人之亂-探討萬年溪塑膠微粒及人口數的關係。第 61 屆全國中小學科展作品。
- 二、連芮暄、林佑宸、葉茗維 (2021)。見『微』知『塑』。第61屆全國中小學科展作品。
- 三、陳嘉怡(2023)。國內研究首證！塑膠微粒污染淡水河、烏溪／中研院學者研判雨水下水道為可能途徑 研究成果登國際期刊。自由時報。
<https://today.line.me/tw/v2/article/PGXD1M8>
- 四、馬順恩、張舒涵、張沁軒(2021)。精鹽變驚鹽-食鹽中的塑膠微粒檢驗及清除機制。第61屆全國中小學科展作品。
- 五、全國法規資料庫(2019)。放流水標準。
<https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=O0040004>
- 六、Hyemi Lee, Alexander Kunz, Won Joon Shim, Bruno A. Walther. (2019). Microplastic contamination of table salts from Taiwan, including a global review. Scientific Reports volume9.
- 七、新北產業汙水廠。<https://www.bip.gov.tw/iphw/wuku/index.do?id=06>。

【評語】 083002

本件作品所探討的題材是學校所在地附近的環境問題，研究重點有兩項，一是測量溪流和排水系統的塑膠微粒污染情形，二是探討清除的方法和效能。作者針對塑膠微粒的研究進行回顧分析，並以前人研究(61 屆)作為本次研究的依據，實驗設計與脈絡清楚。其中，將顯微鏡改造成螢光顯微鏡當作觀測工具，測試尼羅紅染塑膠微粒的步驟。製作過程具創意。建議可注意取樣的誤差並進行重複實驗，讓實驗結果更具代表性。

作品簡報

探討大窠坑溪與城市排水道的塑膠微粒情形

摘要

研究探討溪水塑膠微粒污染來源並提出解決方法。研究發現大窠坑溪上游的塑膠微粒數量低於下游，可能與人口密度有關。且在下游城市排水道口，溪水的塑膠微粒暴增，顯示排水道是溪水汙染來源。雨季時溪水的塑膠濃度較低，雨量可能稀釋溪水中塑膠濃度。城市排水道流經塭仔底濕地塑膠數量降低，植物淨化效能以布袋蓮最佳，而汙水未接管區數量暴增，顯示汙水接管的重要性。

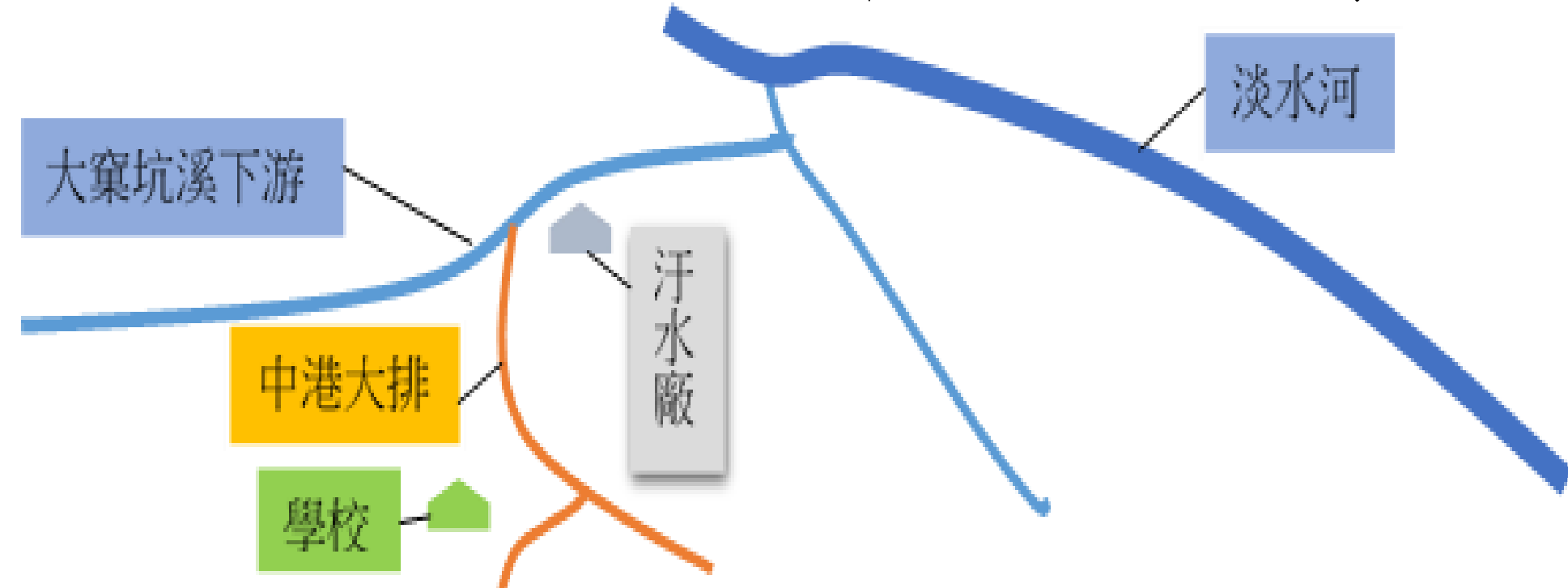
汙水接管的水會送至污水廠處理，塑膠微粒清除率達73%，以沉沙除油池清除效果佳，刮除上層廢油時一併去除塑膠；RBC生物薄膜，活性污泥能吸附塑膠清除率佳。我們改良汙水廠的沉澱池設計，刮除上層塑膠達96%清除率。因此，建議污水管理及生態淨化，以減少溪水的塑膠微粒污染。

壹、前言

一、動機

新聞提到台大團隊發現淡水河已經受到塑膠微粒污染。我們位於淡水河上游，而住家附近的中港大排，前段的水明明很乾淨，但是後面卻發出陣陣臭味。這些汙水到底從那裡來呢？如果能夠了解塑膠微粒的來源，就可以找出減少塑膠污染的方式。

圖1 大窠坑溪下游與城市排水道位置簡圖



註：圖片由作者繪製

二、研究目的

(一)大窠坑溪與城市排水系統的塑膠微粒情形

1. 大窠坑溪水中的塑膠微粒情形
2. 城市排水道中港大排的塑膠微粒情形
3. 探討工業與民生汙水處理廠的塑膠微粒清除效能

4. 探討各類家庭生活汙水的塑膠微粒情形

(二) 提升塑膠微粒清除效能

1. 探討漂浮植物對塑膠微粒清除效能
2. 改良汙水場的沉澱池設計

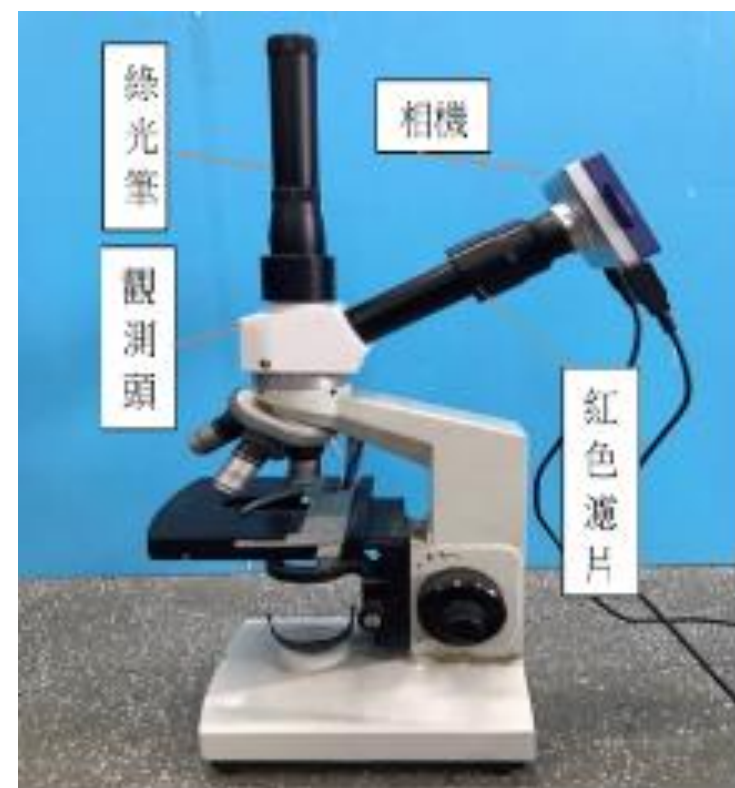
三、文獻回顧

表1 歷屆文獻研究摘要與缺乏資料

科展	研究內容	缺乏
陳芊仔 (2021) 第61屆	萬年溪流經商業區、生態公園和住宅區，住宅區的塑膠微粒含量高於商業區。可能與民生排放的汙水有關。	1. 提到與民生汙水有關，但未進一步檢視來源 2. 提到生態整治工法有助於減少塑膠微粒。

註：表由作者繪製

貳、研究設備與器材



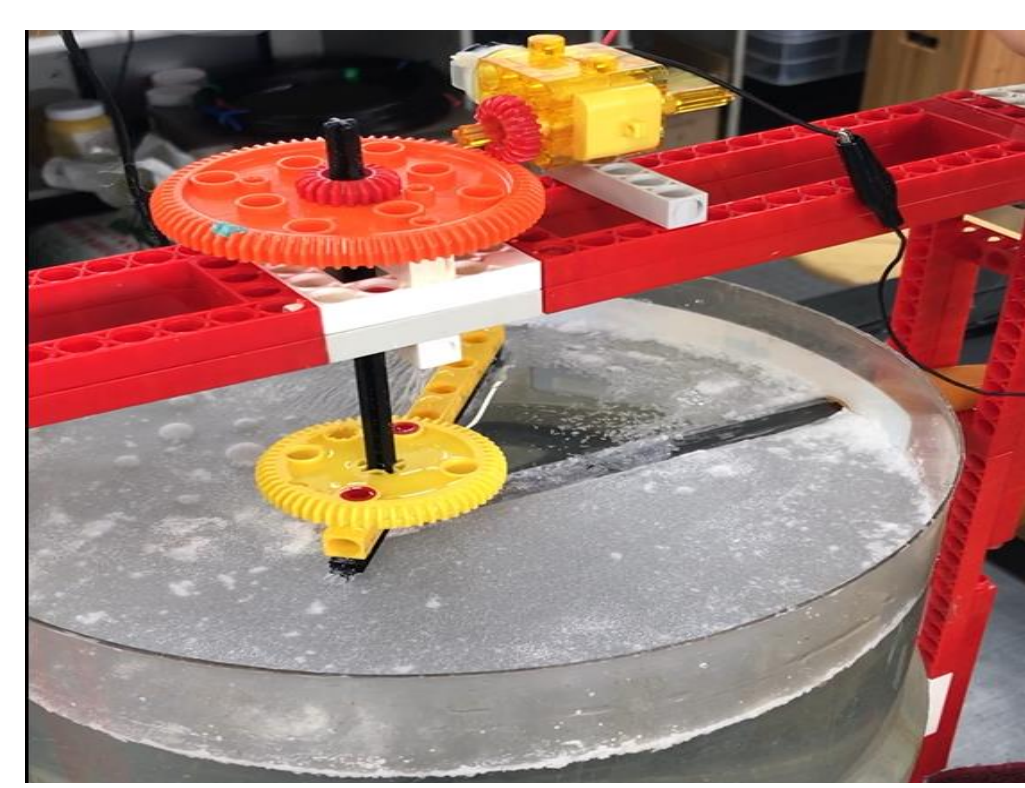
螢光顯微鏡



尼羅紅



負壓過濾器



改良版沉澱池

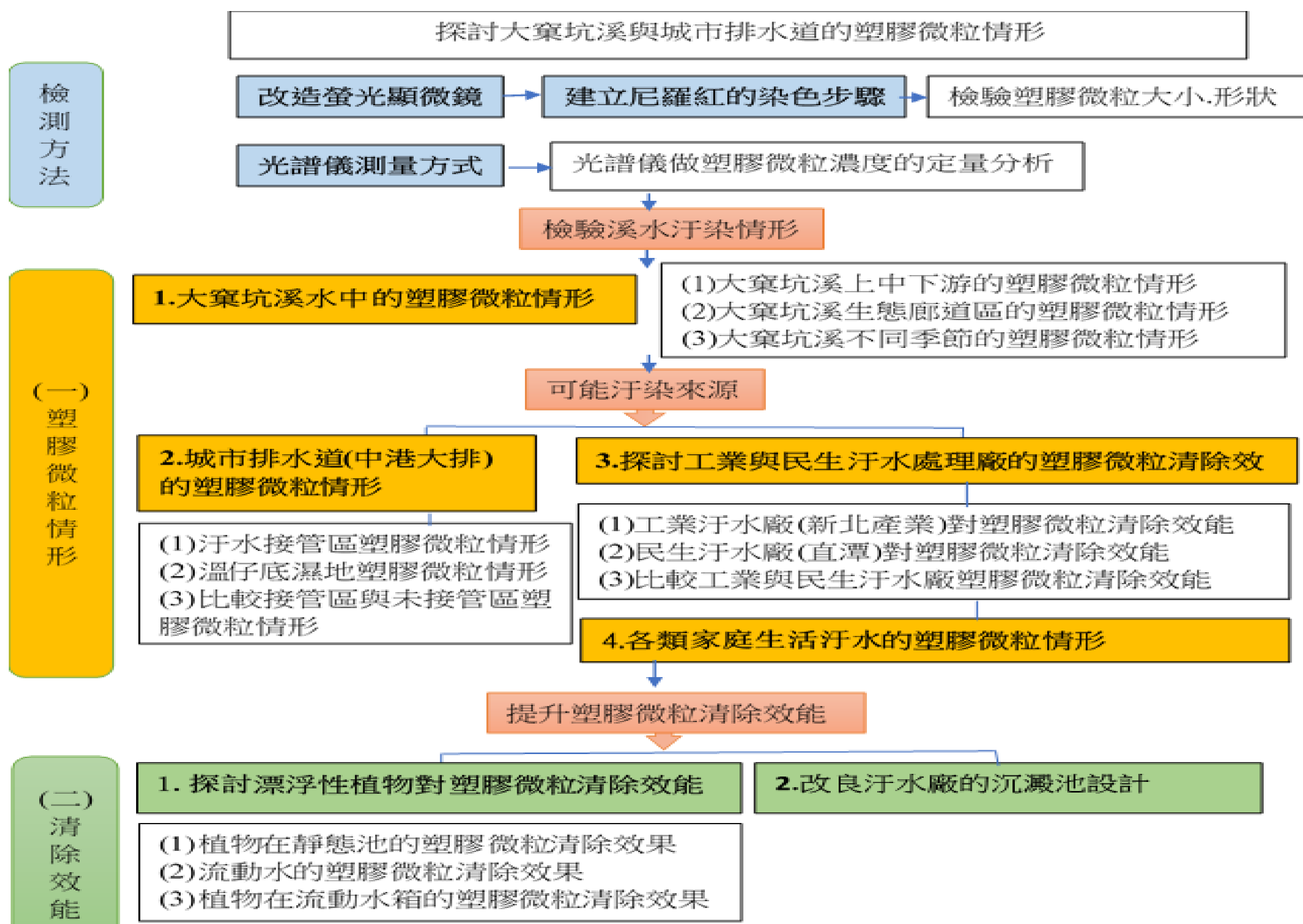


光譜儀 (註：照片由作者拍攝)

參、研究方法與過程

一、研究架構

圖2 研究架構圖



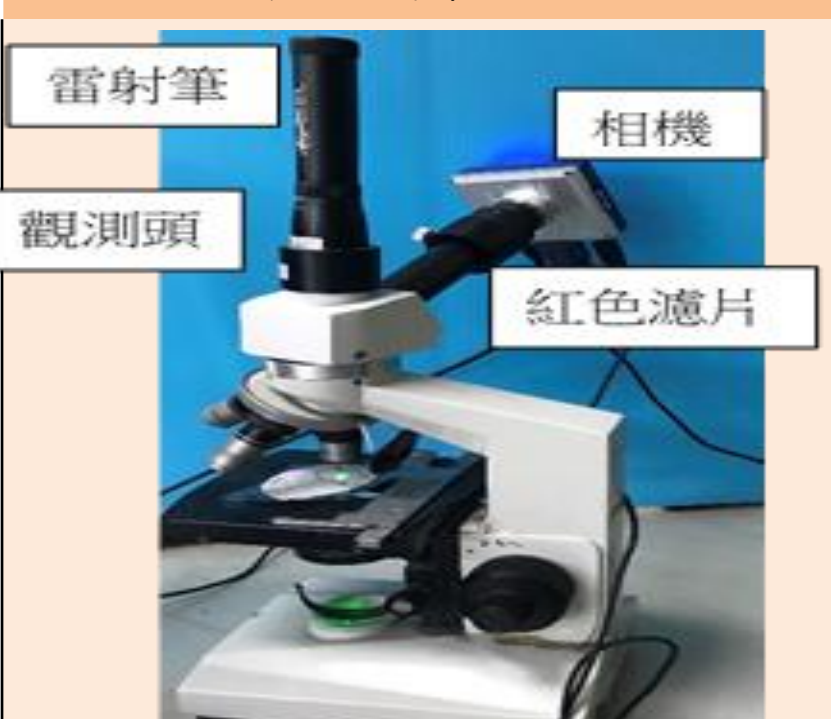
註：圖片由作者繪製

二、研究方法

(一) 改裝的螢光顯微鏡

我們沿用學姊馬順恩(2021)改裝的學校顯微鏡，顯微鏡使用綠光筆激發並以攝影鏡頭來進行觀察，提高了光源的強度，有助於更清晰地觀察塑膠微粒的螢光。

表3 改裝的螢光顯微鏡



(註：照片為作者拍攝)

(二) 建立檢驗塑膠微粒步驟

將1ppm的尼羅紅染劑加入取樣水中，靜置30分鐘後，以濾片過濾，再以螢光顯微鏡進行檢驗。

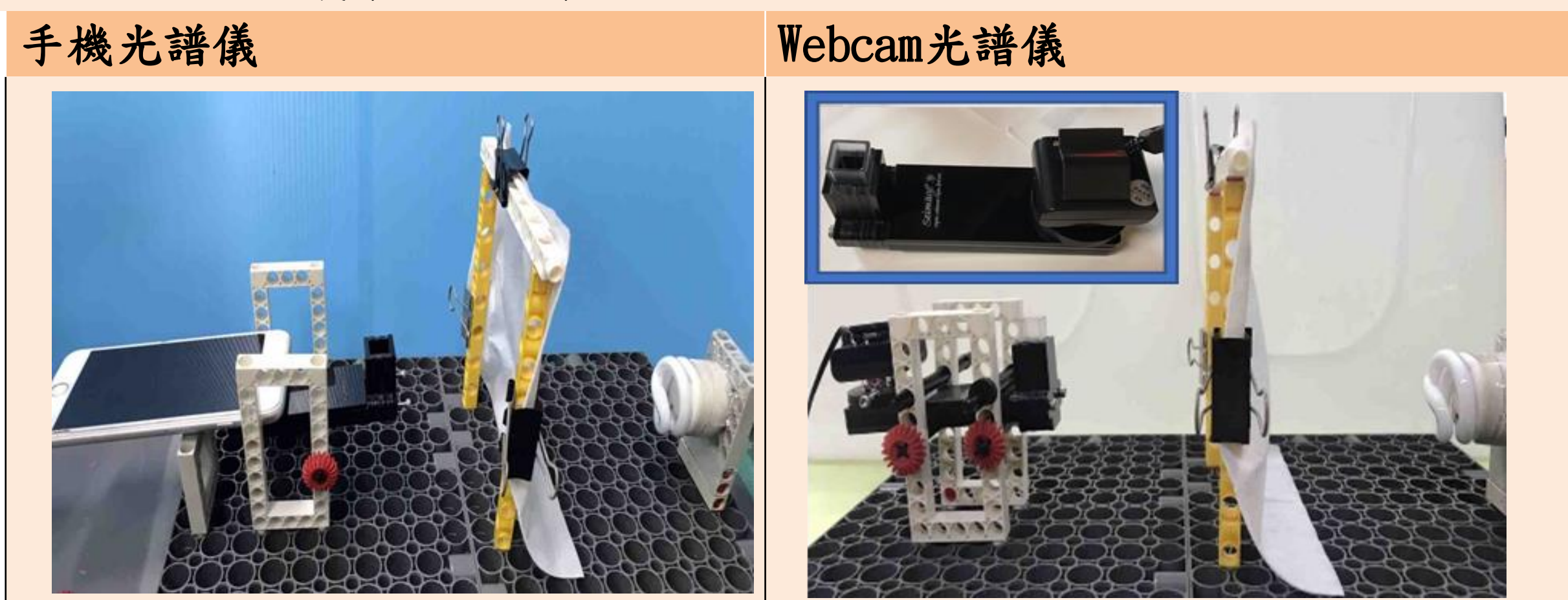
表6 將水中塑膠染色實驗步驟 (註：照片由作者拍攝)

取樣400mL	尼羅紅與乙醇混合，將樣品添加1ppm的尼羅紅染劑。	以濾片過濾	螢光顯微鏡檢測。

5. 光譜儀測量

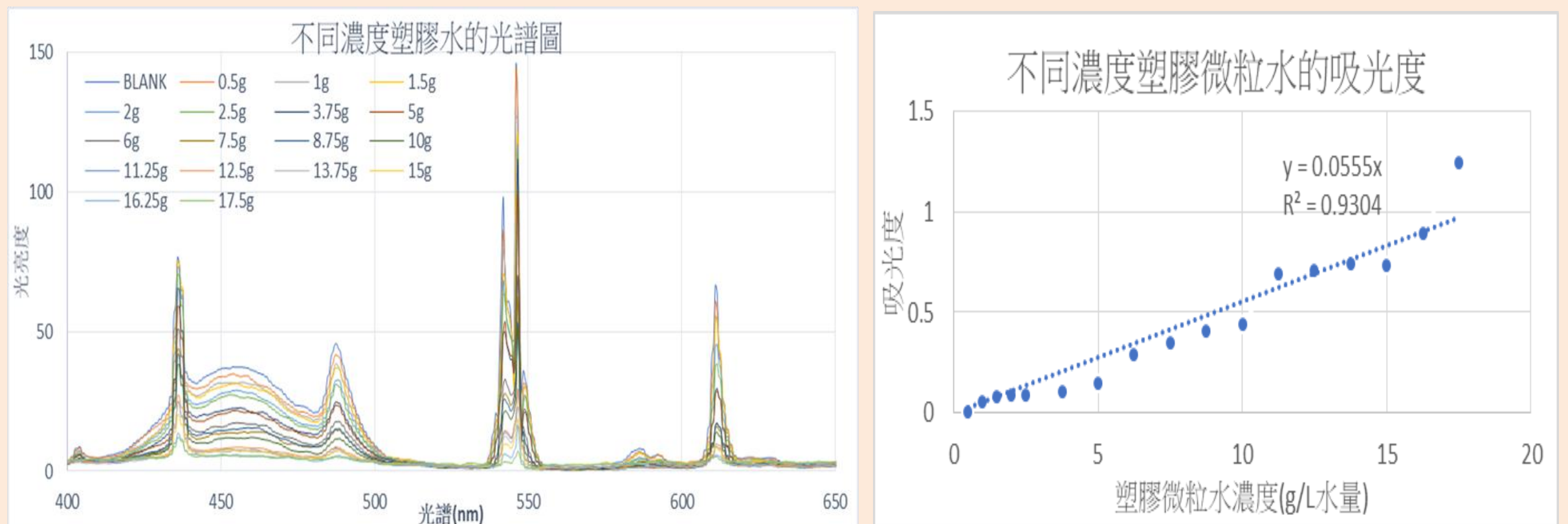
(1)原本以手機讀取光譜數值，更換以Webcam鏡頭，可以確保固定的光圈和曝光值，提升測量的準確性。(感謝光譜儀由科學maker網站提供)

表6 光譜儀第一版和第二版比較



(2)已知17個塑膠微粒濃度，以光譜儀測量吸光度，並建立塑膠濃度推論公式($Y=0.0555X$)

圖1 塑膠微粒濃度與其對應的光譜圖 圖2 塑膠微粒濃度與吸光度



(3) 塑膠微粒清除效果實驗設計

※水生植物清除效果:植物放入塑膠微粒水箱中，靜置1、5小時後，計算清除率

$$\text{塑膠清除率} = \frac{(\text{原始塑膠濃度} - \text{清除後塑膠濃度})}{\text{原始塑膠濃度}} \times 100\%$$

表7 植物塑膠清除效果實驗步驟



表8 改良版沉澱池塑膠清除效果實驗步驟



6. 大窠坑溪與中港大排地圖

(1)大窠坑溪。大窠坑溪，中游有生態廊道區，下游有中港大排和汙水廠的水會排入。
(2)中港大排從自立街開始為汙水接管區，一直到新北大道是未接管區。接管區的後段有與塹仔底相通的閘門。

圖3 大窠坑溪與中港大排地圖



陸、研究結果與討論

一、探討大窠坑溪水中的塑膠微粒情形

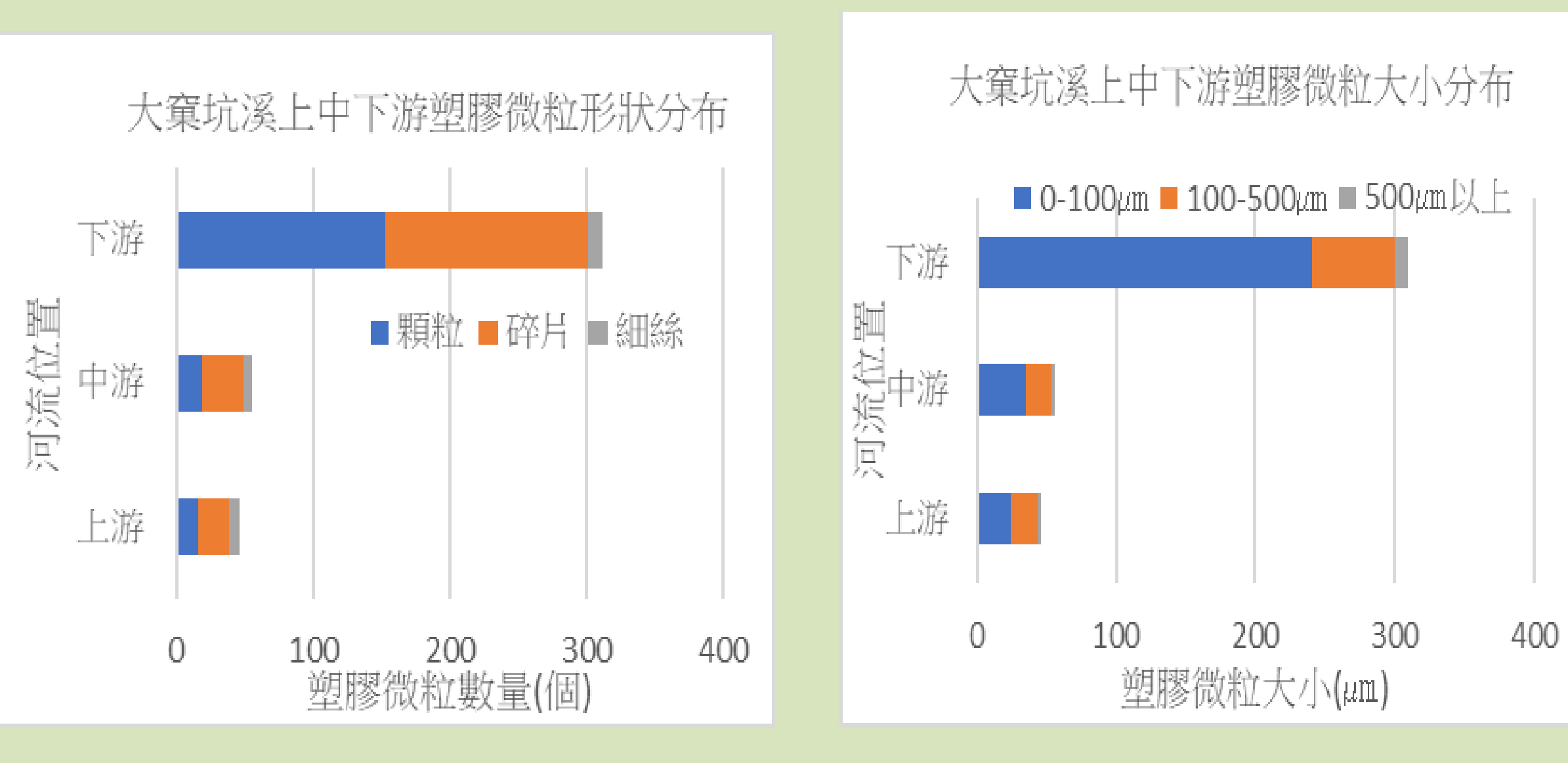
(一)大窠坑溪上、中、下游的塑膠微粒情形

上游塑膠微粒數量最低，下游最高，可能與人口密度有關。下游中港東抽水站數量暴增(728個)，可能為中港大排汙水排入。

表9 大窠坑溪上、中、下游的塑膠微粒分布

大窠坑溪上、中、下游								
流域	上游		中游			下游		
地點	國道警察	國道民宅	黎明公園	大腳溪	大麥蔬果	楓江橋	新竹物流	中港東抽水站
塑膠數量	50	40	63	50	54	97	108	728
平均	平均45		平均56			平均311		

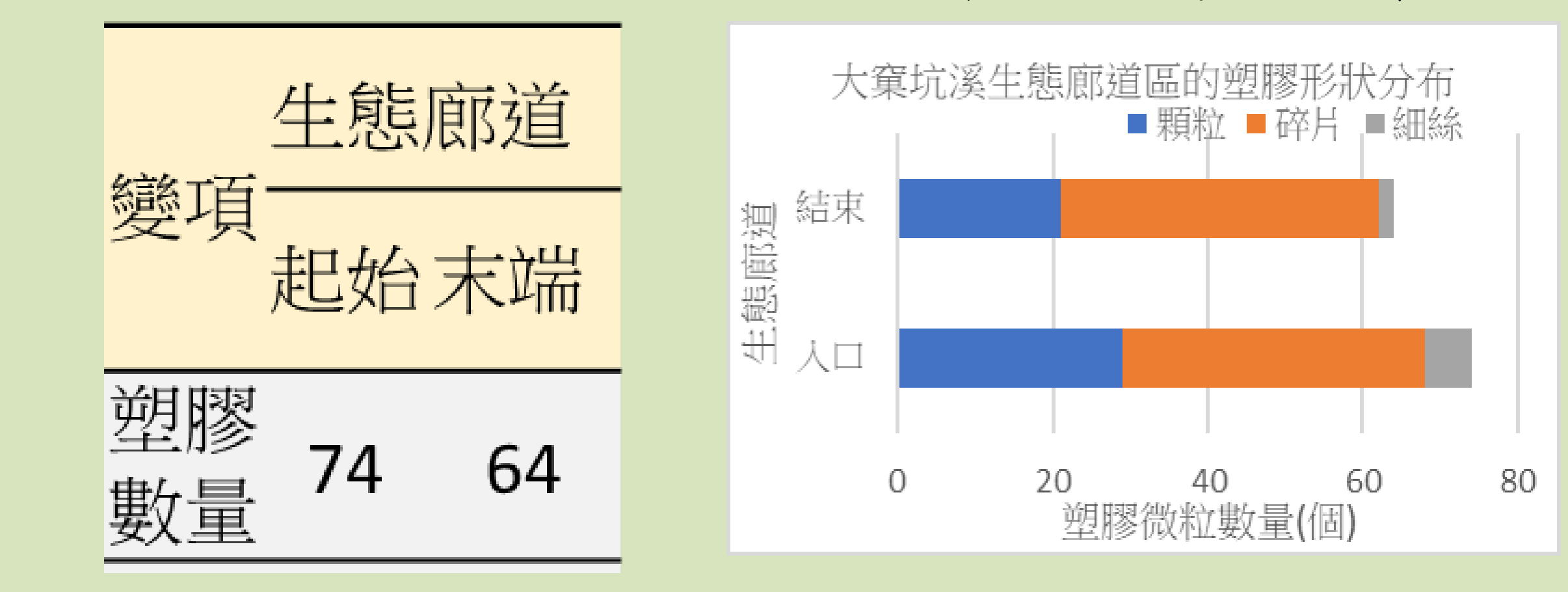
圖4 大窠坑溪上中下游塑膠形狀分布 圖5 大窠坑溪上中下游塑膠大小



(二)大窠坑溪生態廊道的塑膠微粒情形

經過生態廊道區的塑膠略降，塑膠微粒從74下降至64個，可能與植物淨化有關。

表10 生態廊道區的塑膠微粒情形 圖6 生態廊道區的塑膠形狀分布



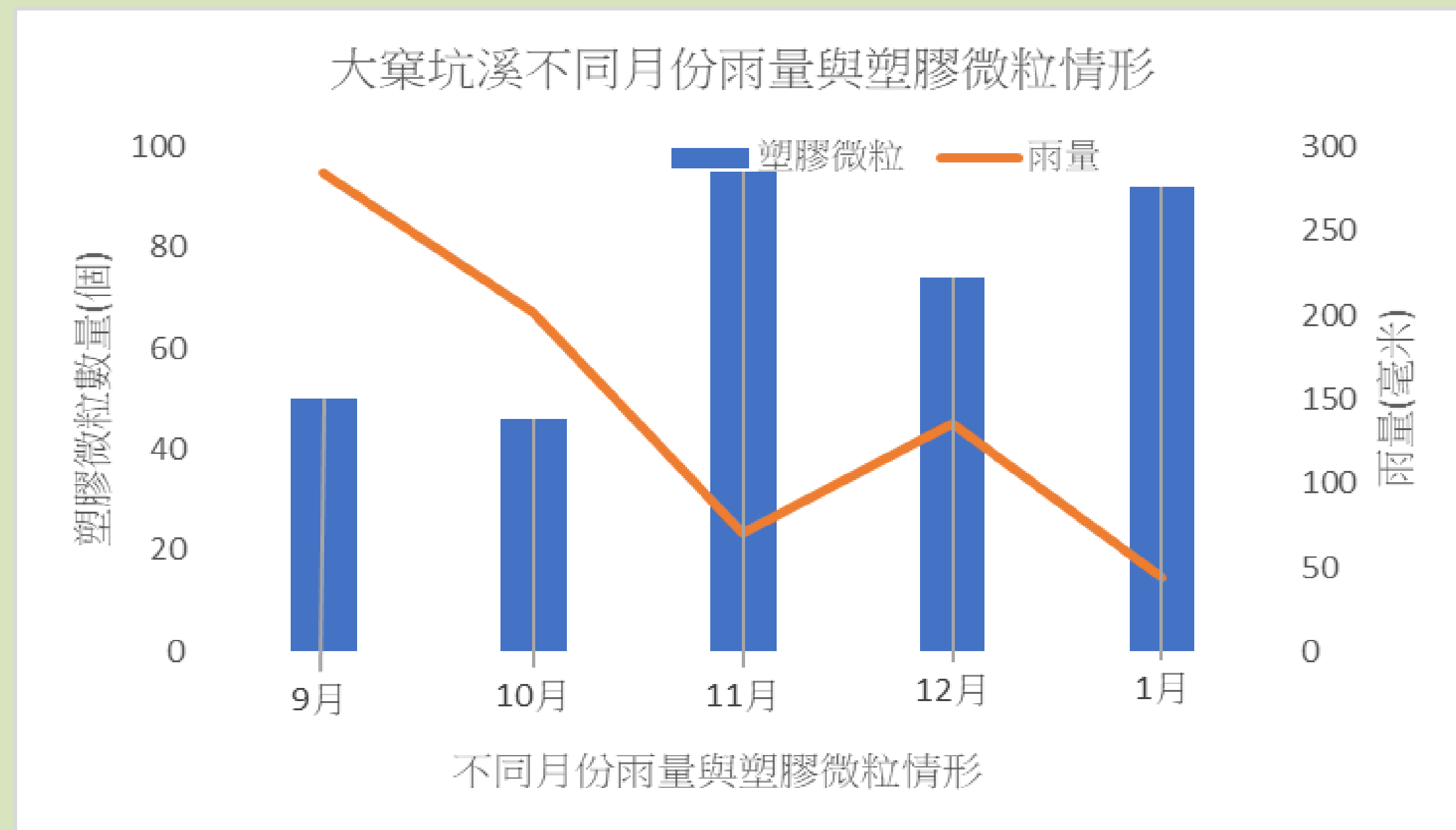
(三)大窠坑溪不同月份的塑膠微粒情形

雨季時，塑膠微粒數量少；旱季時，塑膠微粒數量多，雨季可能稀釋溪水中塑膠微粒濃度。

表11 大窠坑溪不同月份溪水中的塑膠微粒情形

季節	9月	10月	11月	12月	1月
塑膠數量	50	46	95	74	92
雨量	284mm	202mm	70mm	135mm	43mm

圖7 大窠坑溪不同月份溪水中的塑膠微粒情形



二、探討排水道(中港大排)塑膠微粒情形

- 中港大排接管區前後段差異不大，接管區前段和後段數量差異不大，塑膠數量介於33-42之間，中港大排整治區生活廢水已接管，所以塑膠微粒汙染低。
- 塹仔底濕地塑膠微粒數量最低(20個)，可能為植物淨化作用。
- 中港大排汙水未接管區未接管區的塑膠微粒暴增為896個數量暴增。中港大排後段生活廢水排放至箱涵的水，會在這裡排放。

表12 中港大排的塑膠微粒情形

變項	中港大排			
	接管區前後段		塹仔底溼地	汙水未接管區
	前段	後段		
塑膠數量	33	42	20	896
平均	平均38			

圖8 中港大排的塑膠微粒情形

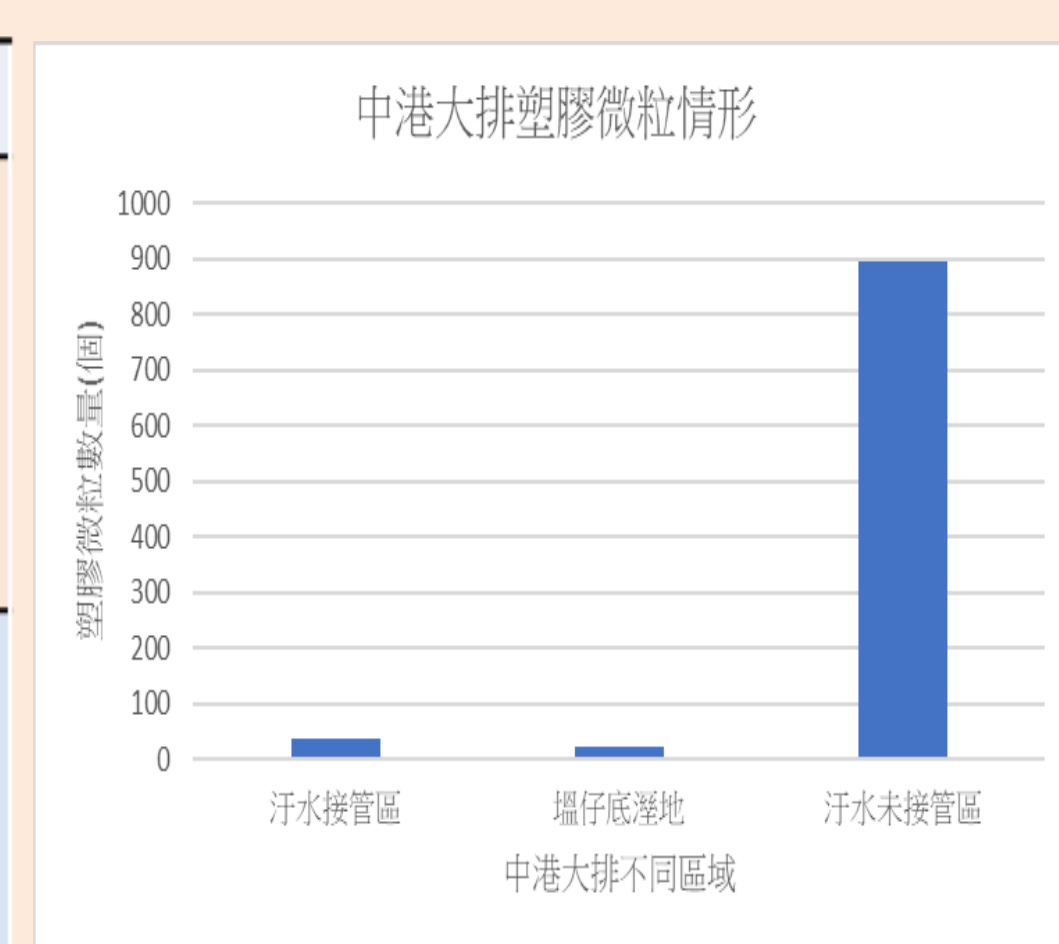


圖20 汗水接管區、汗水未接管區、塭仔底溼

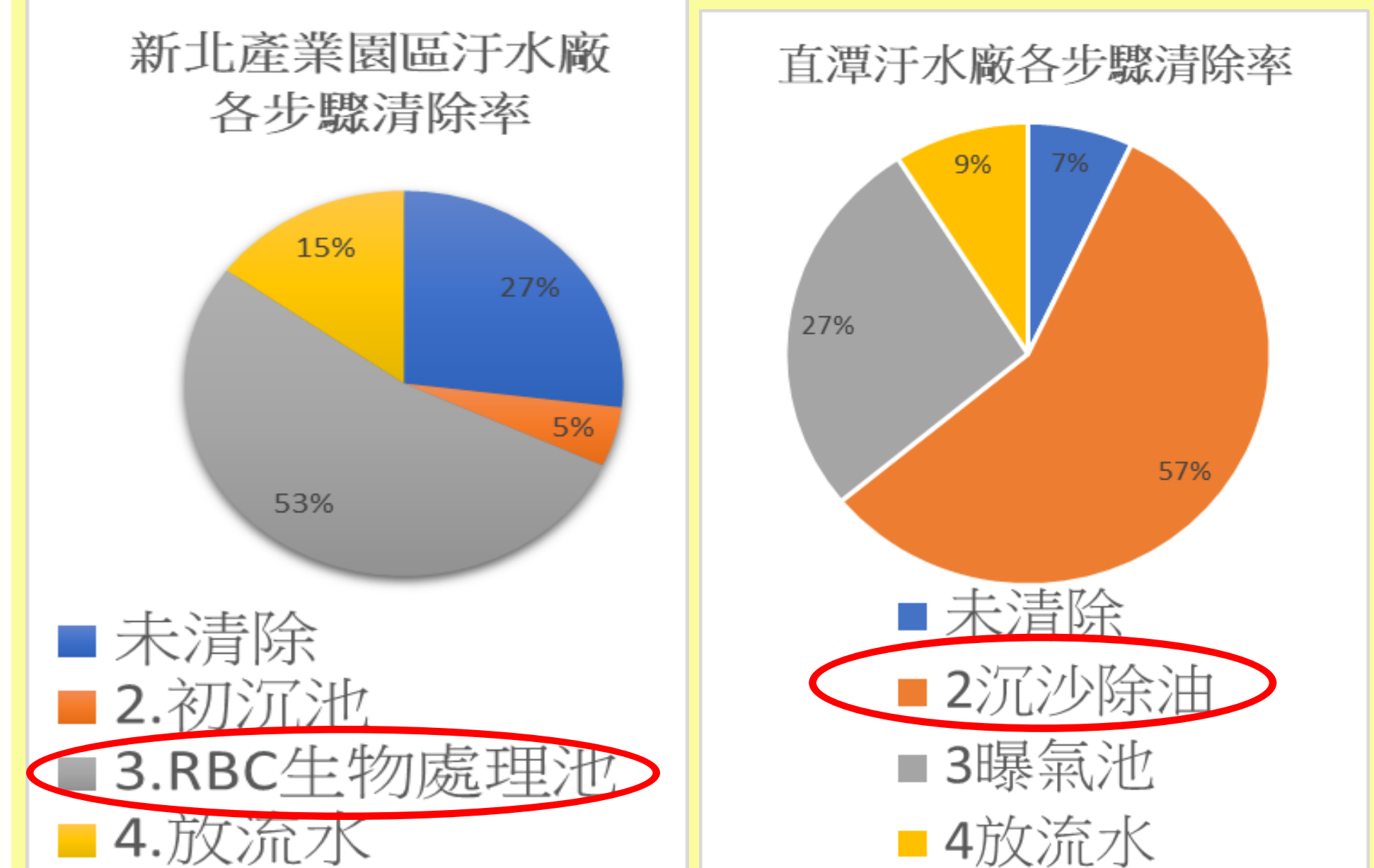


(註:照片為作者拍攝)

(三)探討汗水處理廠對塑膠微粒清除效能

1. 新北產業汗水廠能有效去除塑膠微粒，其中以RBC生物薄膜濾材步驟，活性污泥能吸附懸浮物包括塑膠微粒，清除效果最佳。
2. 直潭汗水廠的沉沙除油池清除率最高，刮除浮在上層廢油時，能夠一併去除塑膠微粒。

圖25新北產業汗水廠塑膠清除率圖26直潭汗水廠塑膠清除



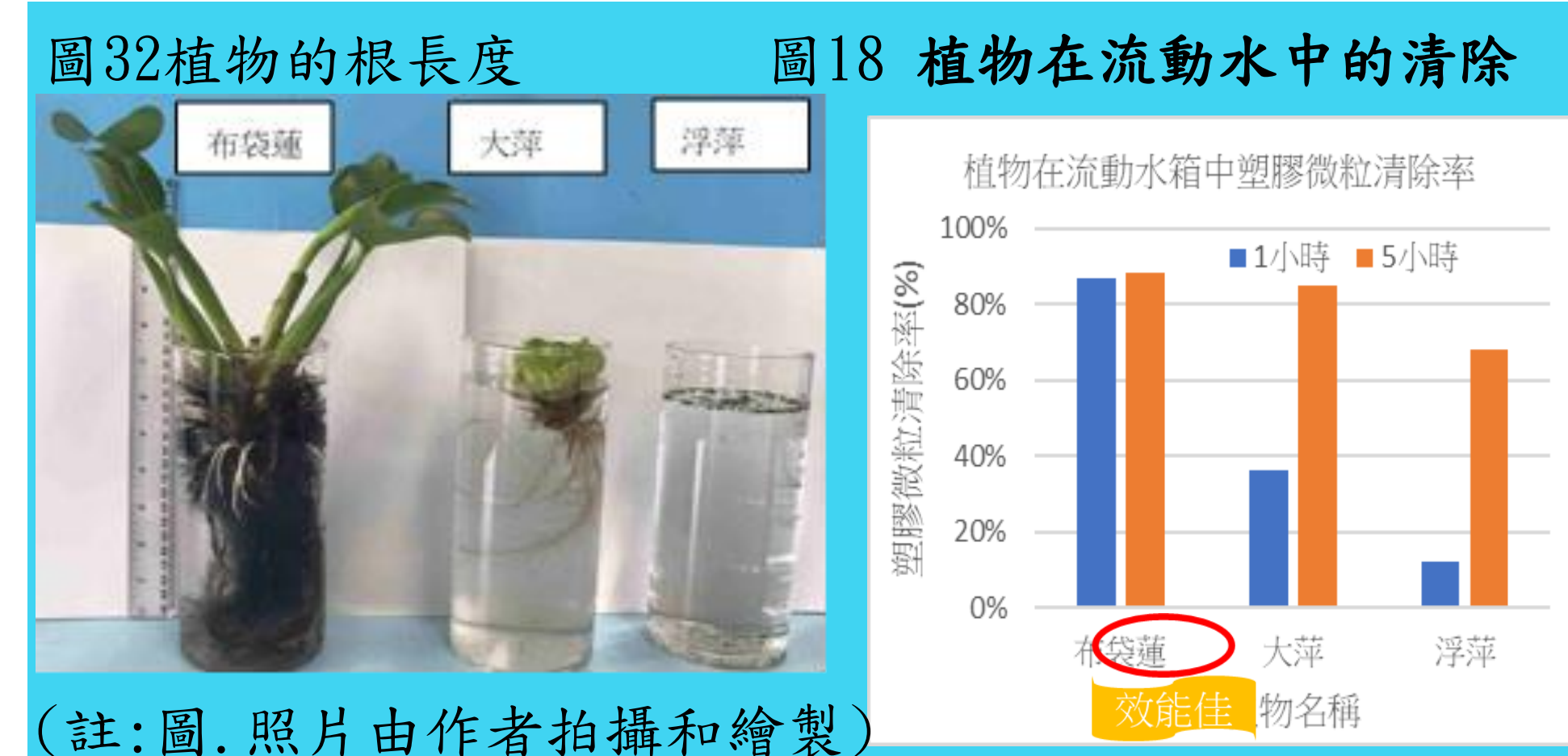
(註:圖與照片為作者繪製與拍攝)

(四)家庭生活汗水以洗衣塑膠微粒最多

二、提升塑膠微粒清除效能

(一)漂浮性水生植物去除塑膠微粒的情形

植物以布袋蓮根生長密集，卡住許多塑膠微粒。水流可以增加與塑膠微粒的碰撞。



(註:圖.照片由作者拍攝和繪製)

(二)改良汗水場的沉澱池設計

汗水廠沉澱池的處理效能低，塑膠微粒清除效果約9~15%。我們設計沉澱池改良版，刮板設計成圓池的半徑長，並設計溝渠引流廢水，上層塑膠微粒水多掉入溝渠，達96%清除率。

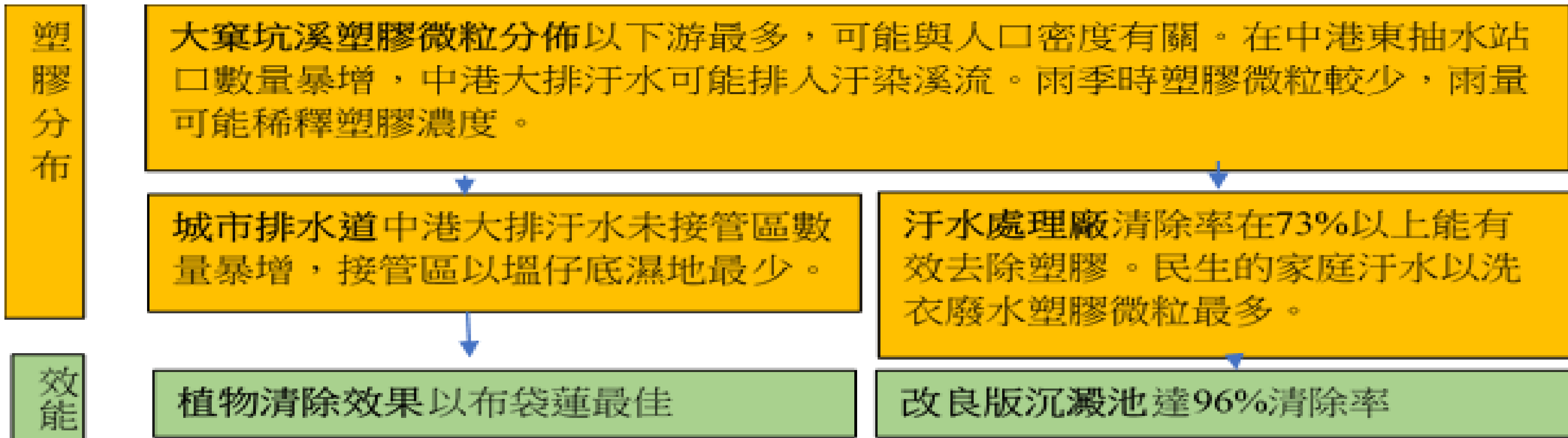
表28 新北汗水場沉澱池與改良版沉澱池設計比較

	新北汗水廠的沉澱池設計	我們設計的沉澱池改良版
圖片		
設計		
說明	刮板只在側邊，引流缺口約為水池1/3，因此落葉都從旁流走。	刮板為圓半徑長，能將上層懸浮微粒，刮除至溝渠流出，達96%清除率。

表29 改良版沉澱池清除效果



伍、研究結論



(註:圖由作者繪製)

一、大窠坑溪與城市排水系統的塑膠微粒情形

(一)大窠坑溪下游最多塑膠微粒，人口密度高，污染也較高。生態廊道塑膠微粒略降，可能與生態工程有關。抽水站口塑膠微粒暴增，顯示中港大排汗水污染溪流。雨季時塑膠微粒數量較少，雨量可能稀釋溪水中塑膠微粒濃度。

(二)中港大排以塭仔底濕地最乾淨，可能是植物淨化效果。汗水未接管區塑膠微粒暴增，汗水接管能改善水質。

(三)汗水廠以沉沙除油池清除塑膠微粒效果最好，刮除上層廢油時，因塑膠輕且有親油性，可能一起刮除。RBC生物旋轉輪盤清除效果佳，生物薄膜上的活性污泥吸附塑膠微粒，能有效清除塑膠微粒。

二、提升塑膠微粒清除效能

(一)漂浮性植物塑膠微粒清除效果，以布袋蓮最佳，植物的根越密集越長，能夠卡住更多塑膠，水流會增加植物根碰撞卡住塑膠，建議滯留池要有水的流動，可以幫助塑膠微粒沉底部。

(二)原本汗水廠的沉澱池設計並不是來去除塑膠微粒，清除效能太低(15%)，我們改良沉澱池設計，上層刮板能有效刮除塑膠微粒，達96%清除率。

陸、參考文獻

- 一、陳芊仔、陳耕率、莊右靖(2021)。「塑」人之亂-探討萬年溪塑膠微粒及人口數的關係。第61屆全國中小學科展作品。
- 二、連芮暄、林佑宸、葉茗維(2021)。見『微』知『塑』。第61屆全國中小學科展作品。
- 三、陳嘉怡(2023)。國內研究首證！塑膠微粒污染淡水河、烏溪／中研院學者研判雨水下水道為可能途徑 研究成果登國際期刊。自由時報。
<https://today.line.me/tw/v2/article/PGXD1M8>
- 四、新北產業汗水廠。<https://www.bip.gov.tw/iphw/wuku/index.do?id=06>。
- 五、馬順恩、張舒涵、張沁軒(2021)。精鹽變驚鹽-食鹽中的塑膠微粒檢驗及清除機制。第61屆全國中小學科展作品。
- 六、全國法規資料庫(2019)。放流水標準。
<https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=00040004>
- 七、Hyemi Lee, Alexander Kunz, Won Joon Shim, Bruno A. Walther. (2019). Microplastic contamination of table salts from Taiwan, including a global review. Scientific Reports volume 9.