

新竹市第四十二屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：生活與應用科技（三）化工與環科

組 別：國中組

作品名稱：「盈盈一水間，『唯』『粒』不『留戀』。」

—探討塑膠微粒自水域環境的分離方法

關 鍵 詞：海廢快篩、塑膠微粒、螢光染色法

編 號：113JB-A002

摘要

本研究主要探討塑膠微粒（microplastic 指小於 0.5 公分的塑膠碎片）自水域分離方法。我們透過自己設計的簡易尼羅紅螢光染色法觀察儀器，觀察塑膠微粒在不同水域以不同變因分離的效果。在正式進行實驗前，我們先以海廢快篩占比前三名之塑膠種類進行實驗以確定實驗效果。接著從校園環境採樣共三處進行各項變因的實驗分離。最後發現界面活性劑（洗碗精）與油的組合分離塑膠微粒效果最佳（清除率 97%）。另外我們還發現不同水域的初始塑膠微粒數不同，期待未來能探討塑膠微粒含量與水域水質及其生物的關係。

壹、前言

一、研究動機

近年來海洋汙染問題日益嚴重，根據社團法人中華民國荒野保護協會的海廢快篩調查結果顯示海岸線廢棄物平均每一百公尺約有 53 公斤，56%海洋廢棄物集中在台灣 10%海岸線上，從數據得知人類使用塑膠不僅對自己有害，對環境的影響更是甚大。

我們在看到塑膠對人類和環境的影響後，面對如何改善環境產生好奇。我們想起過去有聽聞有以微生物分解、化學降解、光照降解塑膠微粒等，但由於技術及設備不足及時間限制的考量下，決定利用塑膠的物理特性設計我們能力範圍內能自行操作的分離方法。我們將從校園環境著手，設計實驗找出將塑膠微粒從水域分離的方法。

二、研究目的

- (一) 了解塑膠微粒與海廢快篩的定義
 - 1. 認識塑膠微粒的定義與形成因素
 - 2. 認識海廢快篩的調查方式與結果
- (二) 探討塑膠微粒在校園水域的含量
 - 1. 設計簡易尼羅紅染色法觀察儀器以取代昂貴螢光顯微鏡
 - 2. 以尼羅紅染色法觀察不同海廢塑膠之塑膠類別
 - 3. 以尼羅紅染色法觀察不同水域的塑膠微粒含量
 - 4. 比較不同校園水域環境的塑膠微粒含量差異性

(三) 探討塑膠微粒與水源分離的方法

1. 探討靜電對於塑膠微粒分離的影響
2. 探討界面活性劑對於塑膠微粒分離的影響
3. 探討塑膠之親油性對於塑膠微粒分離的影響
4. 比較與分析不同變因對於塑膠微粒分離的影響之差異性

(四) 探討綜合各項變因對於塑膠微粒分離的影響

1. 探討靜電與親油性組合對於塑膠微粒分離的影響
2. 探討界面活性劑與親油性組合對於塑膠微粒分離的影響

三、文獻探討

(一) 塑膠微粒

1. 塑膠微粒的定義

據美國國家海洋暨大氣總署 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 塑膠微粒指小於 0.5 公分的塑膠碎片依材質分為六種：一號聚對苯二甲酸乙二酯 (PET)；二號高密度聚乙烯 (HDPE)；三號聚乙烯 (PVC)；四號低密度聚乙烯 (LDPE)；五號聚丙烯 (PP)；六號聚苯乙烯 (PS)。

2. 塑膠微粒的產生方式

分為三種來源，第一種是工業製造塑膠原料的塑膠碎片，第二種是塑膠經風吹日曬雨淋，脆化分解的小顆粒，第三種為纖維，石油提煉產生的塑膠化合物。

3. 塑膠微粒與人類的關係

在 2024 年 3 月 7 日，一項最新的研究報導指出，頸動脈組織中的塑膠微粒與心臟病、中風、過早死亡存在關聯性，是第一個將塑膠微粒和人類疾病繫起來的研究，雖然需進一步探討，但已可推測聚合物碎片對人類健康存在潛在風險。塑膠微粒可透過消化道及肺部組織侵入個體細胞及器官，干擾細胞生成過程及產生潛在環境內分泌干擾化學物質沉澱。此研究在懷孕小鼠的大腦、心臟、肝臟、腎臟和肺部等器官中檢測到塑膠化學物質。因此，即便塑膠對人體功能的影響目前沒有科學共識，但也應作出對防範措施，減少塑膠暴露的方法。

4. 日常生活中接觸塑膠微粒的方法

(1) 飲食攝入：根據食品消耗量估計，每人一年攝入的塑膠微粒量約為 39000 至 52000 顆。這是人類最常接觸塑膠微粒的方式。人類食用海鮮，如含有塑膠微粒的

魚、蝦、貝類等，或飲用受塑膠微粒污染的水源攝入塑膠微粒。而這些塑膠微粒攝入後從黏膜間隙到達胃腸道系統，可能引起發炎反應。

(2) 呼吸吸入：塑膠微粒來自合成紡織品、材料摩擦、懸浮在空氣中。每天，人們可能會吸入 26 至 130 個塑膠微粒，這是一個相當驚人的數字。

(3) 皮膚接觸：塑膠微粒用於沐浴乳、牙膏等，推測 100nm 的塑膠微粒可進入人體，然而尚未有研究證實穿過皮膚屏障的塑膠微粒是否會對人體造成影響。

(二) 海廢快篩

2018 年台灣首次進行海洋廢棄物快篩調查（簡稱：海廢快篩），紀錄海廢在四季中，隨著地形、季風、洋流等的聚集量影響。台灣四面環海，海岸線全長 1210 公里，以 10 公里為單位設置 121 個調查站點，紀錄海岸線的地理環境，且以 90 公升的塑膠袋估算每個測點的汙染程度及海廢類型。

(三) 尼羅紅染色法

據 Thomas Maes 等人的研究論文(A rapid-screening approach to detect and quantify microplastics based on fluorescent tagging with Nile Red)，尼羅紅(Nile Red)為一種親脂性塑膠染色劑。其溫度須維持於攝氏-20 度且不耐光需鋁箔紙包覆遮光。尼羅紅溶液：溶質尼羅紅粉末與溶劑 95%變性乙醇(Denatured alcohol)調至恰飽和，與含有塑膠的實驗樣本混合後可對塑膠進行染色。其結果在螢光顯微鏡(Fluorescence microscope)下能讓染色的塑膠呈螢光色清楚辨識塑膠及其他物質。

(四) 三種塑膠纖維檢測技術作法比較

	熱觸法	螢光染色法	拉曼光譜法
說明	將抽濾後的濾紙置於解剖顯微鏡下，以燒熱細針碰觸濾紙上可見之塑膠微粒進行觀察。	尼羅紅具有親油性溶於乙醇，可將塑膠染色，在波長(495-570nm)下，能被激發至特定光波段。	將激發至特定光波段之螢光進行分析，測定塑膠之定性。
作法	顯微鏡下以高溫的針尖處碰觸樣品，碰觸塑膠，則產生融化或捲曲之現象。	樣品以尼羅紅染劑色後，經過震盪混合，置於螢光顯微鏡下進行觀察。	以顯微拉曼光譜分析儀進行塑膠定性之分析。
優點	簡易	快速，適合大規模篩測	可鑑定塑膠成分
缺點	耗時，塑膠必須肉眼可見才能操作。	部分塑膠材質無法進行篩測，無法鑑定塑膠成分。	過細纖維因雷射光斑打在濾紙上造成光譜干擾。

(五) 靜電原理 (摩擦起電)

兩物相互摩擦，其中一物體的部分電子受到力的作用轉移另一物上，失去電子的物體便帶正電，獲得電子的物體則帶負電。摩擦起電不會創造額外電荷，只會有電荷轉移，造成相互摩擦的兩物電性相反、電量相等、較適用於絕緣體。

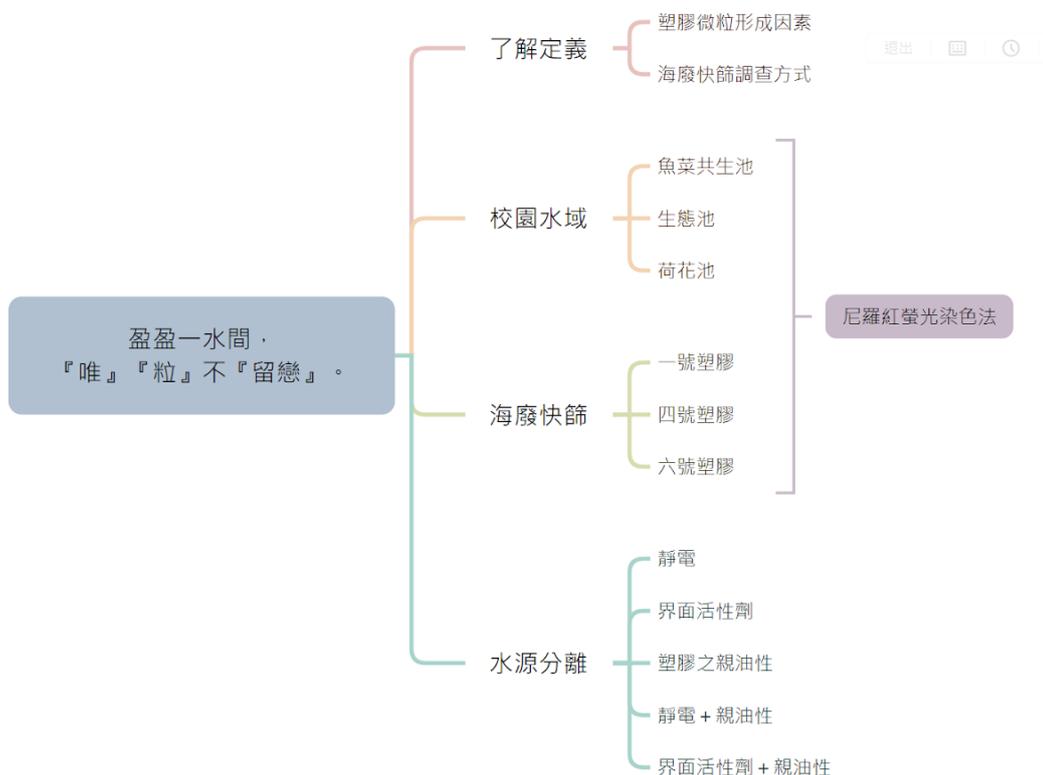
貳、研究設備與器材

一、研究設備與器材表

實驗樣本	校園生態池、校園荷花池、校園魚菜共生池，1 號聚對苯二甲酸乙二酯、4 號低密度聚乙烯、6 號聚苯乙烯
調配與保存尼羅紅溶液	微量電子秤、滴管、玻璃棒、95% 變性乙醇(Denatured alcohol)、Sigma 尼羅紅粉末(Nile Red)、鋁箔、冷凍庫
實驗觀察器材	電子顯微鏡目鏡、筆記型電腦、複式顯微鏡、載玻片、蓋玻片、鑷子、培養皿
設計簡易實驗觀察儀器器材	彩色 LED 燈、黑色資料夾、三色玻璃紙、顯微鏡光源
塑膠微粒分離實驗的器材	電動研磨機、密封飼養箱、橄欖油、大臉盆、氣球、聚酯纖維布料、超細纖維布料、PVC 管、界面活性劑

參、研究過程與方法

一、研究架構圖



二、了解塑膠微粒與海廢快篩的定義

(一) 認識塑膠微粒的定義與形成因素

1. 利用網際網路查詢相關資料並做整理。

(二) 認識海廢快篩的調查方式與結果

1. 利用網際網路查詢相關資料並做整理。
2. 結合實驗設計，將海廢快篩檢測結果之塑膠體積佔比前三名作為實驗使用之塑膠樣本，並自日常生活中取材。

三、探討塑膠微粒在校園水域的含量

(一) 設計簡易尼羅紅染色法觀察儀器以取代昂貴螢光顯微鏡

1. 思考：由於設備不足，且螢光顯微鏡的金額昂貴，決定利用改變光源的方式搭配複式顯微鏡，設計簡易版的尼羅紅染色法觀察儀器。
2. 將光源改變之實驗分為五項變因
 - (1)顯微鏡光源：以複式顯微鏡光源觀察並以電子顯微鏡連接電腦拍照記錄。
 - (2)LED 彩色光源：利用 LED 彩色燈條圍繞複式顯微鏡光源並以電子顯微鏡目鏡連接電腦拍照記錄。
 - (3)手遮光：利用掌心將光圈範圍遮蔽並以電子顯微鏡目鏡連接電腦拍照記錄。
 - (4)無光：將顯微鏡光源關閉並以電子顯微鏡目鏡連接電腦拍照記錄。
 - (5)黑色資料夾遮光：以黑色資料夾遮蔽光圈以電子顯微鏡連接電腦拍照記錄。
3. 比較五項變因的實驗結果優劣並選出效果最佳者進行後續實驗。

(二) 以尼羅紅染色法觀察不同海廢塑膠之塑膠類別

1. 尼羅紅染色法之材料：尼羅紅酒精溶液
 - (1)調配尼羅紅酒精溶液：尼羅紅粉末與 95%變性乙醇以 1:1000 之比例均勻混合
 - (2)尼羅紅酒精溶液使用：實驗樣本與尼羅紅酒精溶液以 100:1 之比例均勻混合
2. 實驗使用之塑膠
 - (1)依據海廢快篩結果，塑膠體積前三名與本實驗所採之各類塑膠代表為：
 - (a)塑膠瓶蓋（一號塑膠）：以電動研磨機研磨後的寶特瓶微粒
 - (b)廢棄漁具（四號塑膠）：以剪刀剪碎硬質塑膠袋
 - (c)發泡塑膠（六號塑膠）：以電動研磨機研磨後的保麗龍微粒

(三) 以尼羅紅染色法觀察不同水域的塑膠微粒含量

1. 魚菜共生池水源

(1)採集水域樣本後加入尼羅紅酒精溶液以 100:1 之比例均勻混合

(2)加入尼羅酒精紅溶液的水域樣本放置於無光且溫度低於攝氏-20 度的環境一週

(3)以滴管吸取部分樣本置於簡易尼羅紅染色法觀察儀器下並觀察塑膠微粒分佈

(4)以 Image J 系統分析塑膠微粒分布的面積及顆粒數目

2. 分別對生態池水源、荷花池水源重複以上(1)~(4)步驟

(四) 比較不同校園水域環境的塑膠微粒含量差異性

1. 將 Image J 系統分析的塑膠微粒面積及顆粒數目統整為表格及圖表

四、探討塑膠微粒與水源分離的方法

(一) 探討靜電對於塑膠微粒分離的影響

1. 採集水域樣本後加入尼羅紅酒精溶液以 100:1 之比例均勻混合

2. 加入尼羅紅酒精溶液的水域樣本放置於無光且溫度低於攝氏-20 度的環境一週

3. 將靜電實驗分為兩項變因

(1)氣球：與聚酯纖維布料摩擦 50 或 100 下後置於實驗樣本上方 10 秒並觀察是否有塑膠微粒附著

(2)PVC 管：與超細纖維乾布料摩擦 50 或 100 下後置於實驗樣本上方 10 秒並觀察是否有塑膠微粒附著

4. 比較靜電反應前後實驗樣本的差異

(二) 探討界面活性劑對於塑膠微粒分離的影響

1. 採集水域樣本後加入尼羅紅酒精溶液以 100:1 之比例均勻混合

2. 在水域樣本中加入尼羅酒精紅溶液

3. 將界面活性劑實驗分為兩項變因放置於無光且溫度低於攝氏-20 度的環境一週

(1)洗髮精：加入實驗樣本中以 15:1 之比例均勻混合觀察塑膠微粒是否聚集

(2)洗碗精：加入實驗樣本中以 15:1 之比例均勻混合觀察塑膠微粒是否聚集

4. 比較界面活性劑反應前後實驗樣本的差異

(三) 探討塑膠之親油性對於塑膠微粒分離的影響

1. 採集水域樣本後加入尼羅紅酒精溶液以 100:1 之比例均勻混合
2. 在水域樣本中 (15 毫升) 中加入橄欖油 (5 滴)、尼羅酒精紅溶液
3. 放置於無光且溫度低於攝氏-20 度的環境一週觀察塑膠微粒是否聚集
4. 比較塑膠之親油性反應前後實驗樣本的差異

(四) 比較與分析不同變因對於塑膠微粒分離的影響之差異性

1. 將觀察結果繪製成表格及圖表做比較

五、探討綜合各項變因對於塑膠微粒分離的影響

(一) 探討靜電與親油性組合對於塑膠微粒分離的影響

1. 採集水域樣本後加入尼羅紅酒精溶液以 100:1 之比例均勻混合
2. 在水域樣本 (15 毫升) 中加入橄欖油 (5 滴)、尼羅酒精紅溶液
3. 將實驗樣本放置於無光且溫度低於攝氏-20 度的環境一週
4. 氣球、PVC 管分別與聚酯纖維布料、超細纖維布料摩擦 100 下產生靜電後，將靜電物置於水中觀察塑膠微粒是否聚集
5. 比較塑膠之靜電與親油性組合反應前後實驗樣本的差異

(二) 探討界面活性劑與親油性組合對於塑膠微粒分離的影響

1. 採集水域樣本後加入尼羅紅酒精溶液以 100:1 之比例均勻混合
2. 在水域樣本 (15 毫升) 中加入橄欖油 (5 滴)、尼羅酒精紅溶液
3. 將實驗樣本放置於無光且溫度低於攝氏-20 度的環境一週
4. 在樣本中以 15:1 之比例加入界面活性劑 (洗髮精、洗碗精) 觀察塑膠微粒是否聚集
5. 比較塑膠之界面活性劑與親油性組合反應前後實驗樣本的差異

肆、研究結果

一、了解塑膠微粒與海廢快篩的定義

(一) 認識塑膠微粒的定義與形成因素

1. 定義：根據美國國家海洋暨大氣總署（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）的定義，塑膠微粒（microplastic）指的是小於 0.5 公分（5mm）的塑膠碎片。
2. 形成：可分為兩種，初級塑膠（primary microplastics）及次級塑膠（secondary microplastics）。前者屬於製造時就小於 5mm 的塑膠碎片或纖維；後者則屬於用完丟棄的塑膠製品經過太陽、風、海浪等大自然力量分解形成的塑膠碎片。衣服中所含有的尼龍、合成纖維等，在經過洗濯後產生的細絲也屬於次級塑膠。這一類塑膠微粒常見型態有顆粒、碎片、薄片及纖維狀等。

(二) 認識海廢快篩的調查方式與結果

1. 海廢快篩之調查方式

海廢快篩調查目的為記錄並了解四季的海洋廢棄物隨著地形、季風、洋流的影響聚集於那些地形海岸分布。臺灣位於環太平洋西側，且四面環海，海岸線總長約 1210 公里，海廢快篩調查點位以 10 公里為單位劃設 121 個點位。每個測點皆會記錄海岸地理環境，並以 90 公升之垃圾袋估算每個調查點位的汙染程度、海廢類型。藉由連續年份的紀錄調查數據結果，可以了解海洋廢棄物聚集於海岸的情形，並以此作為經費分配的依據，增加海廢減少的效率。海廢快篩後可進行熱點複查，檢視海洋廢棄物的數量與類型變化，作為是否需要重新全面普查的依據。

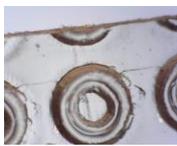
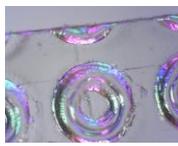
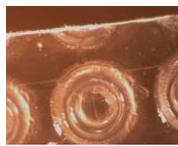
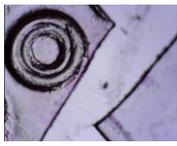
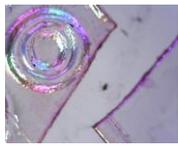
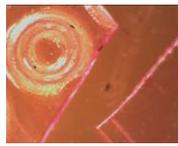
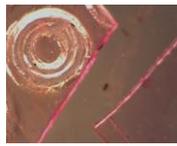
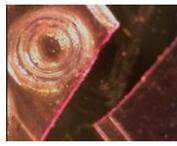
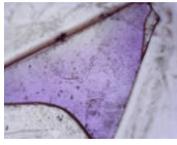
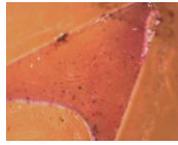
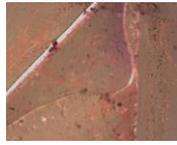
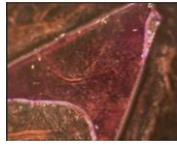
2. 海廢調查結果分析

- (1)廢棄物總重量：646 公噸
- (2)廢棄物總體積：12272000 公升的廢棄物
- (3)廢棄物總袋數：158300 袋（換算為 90 公升大垃圾袋）
- (4)廢棄物平均袋數：每一百公尺上約有 13 袋黑色大垃圾袋（約 53 公斤）
- (5)最髒縣市：新北（東北角）、彰化、嘉義
- (6)垃圾體積前三名：塑膠瓶蓋（一號塑膠）、廢棄漁具（四號塑膠）、發泡塑膠（六號塑膠）
- (7)調查數據顯示：56%海廢集中在 10%海岸線上

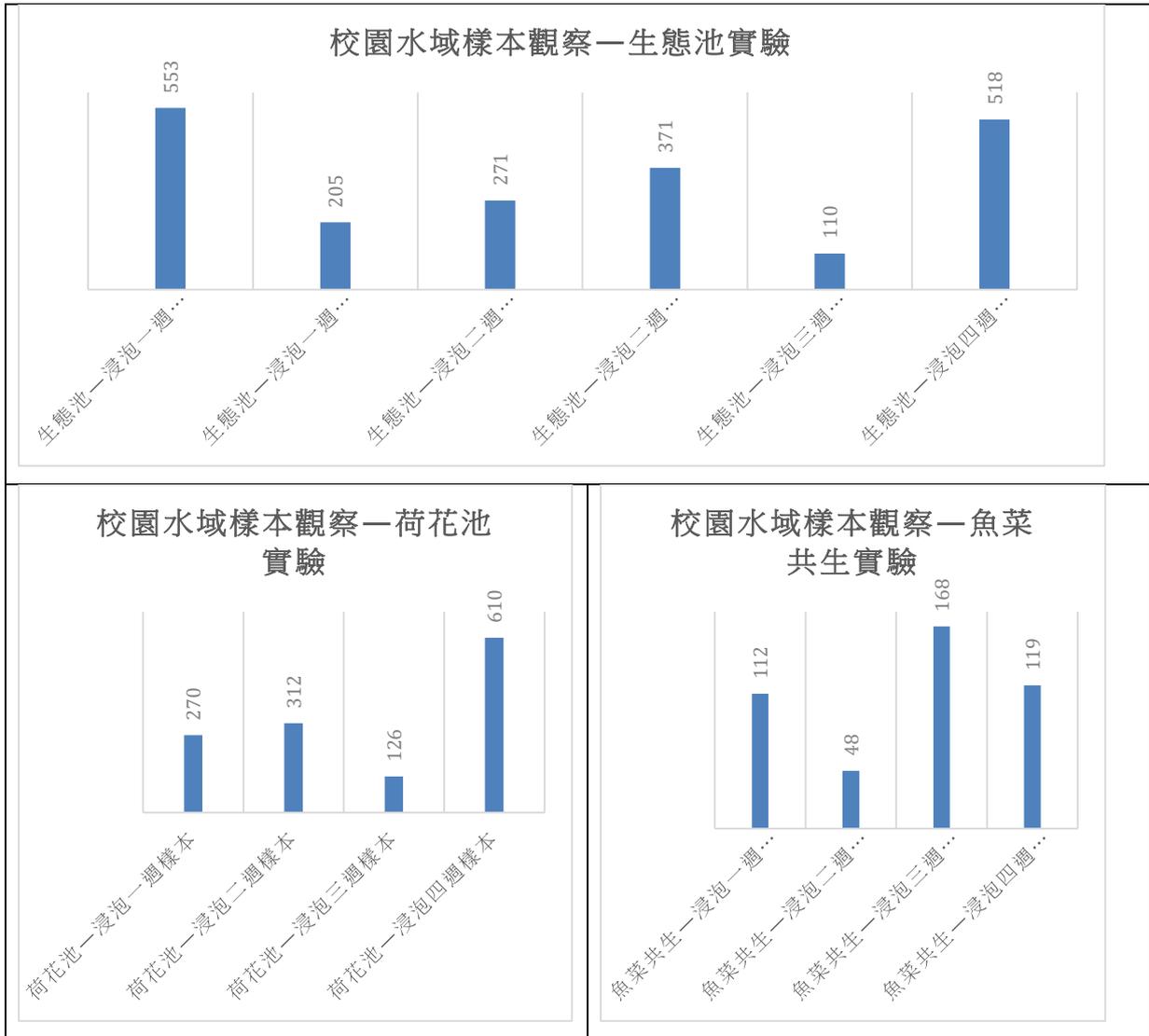
二、探討塑膠微粒在校園水域的含量

(一) 設計簡易尼羅紅染色法觀察儀器以取代昂貴螢光顯微鏡

1. 不同光源對於螢光染色法觀察的影響比較表格：

	顯微鏡光源	LED 彩色燈	手遮光	無光	黑資夾遮光
四號塑膠 未染色					
四號塑膠 浸泡一周					
一號塑膠 浸泡二周					
六號塑膠 浸泡一周					
比較說明	塑膠出現淡紫色的底色，但是輪廓依舊是黑色	塑膠較厚處顏色受 LED 彩色燈影響無法準確判斷是否為尼羅紅染色	膚色的顏色與尼羅紅染色的邊緣相近，不易觀察	底色為灰色可看見尼羅紅染色處，但是尼羅紅酒精溶液則不易觀察	底色為黑色，尼羅紅染色處明顯，容易觀察

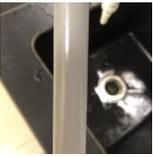
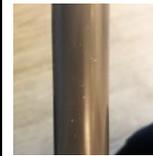
(二) 比較不同校園水域環境的塑膠微粒含量差異性



三、探討塑膠微粒與水源分離的方法

(一) 探討靜電對於塑膠微粒分離的影響

1. 操縱變因：材質（氣球與聚酯纖維布料、PVC 管與超細纖維布料）；摩擦次數（50 下、100 下）；水源（自來水與三類研磨塑膠微粒、魚菜共生池、生態池、荷花池）
控制變因：乾燥的實驗器具與環境、培養皿內水量（15 毫升）

變因一		氣球與聚酯纖維布料			PVC 管與超細纖維布料		
組別		對照組	實驗組		對照組	實驗組	
變因二		初始水域	摩擦 50 下	摩擦 100 下	初始水域	摩擦 50 下	摩擦 100 下
結果： 自來水與三類研磨之塑膠微粒	一號塑膠						
	說明	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果較初始水域佳，僅有少量塑膠微粒被吸起	吸附效果較摩擦 50 下佳，吸起更多塑膠微粒	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果較初始水域佳，僅有少量塑膠微粒被吸起	吸附效果較摩擦 50 下佳，吸起更多塑膠微粒
	四號塑膠						
	說明	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起
	六號塑膠						
	說明	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果較初始水域佳僅少量塑膠微粒被吸起	吸附效果較摩擦 50 下佳，吸起更多塑膠微粒	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果較初始水域佳僅少量塑膠微粒被吸起	吸附效果較摩擦 50 下佳，吸起更多塑膠微粒

結果： 魚菜共生池水	魚菜共生						
	說明	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果較初始水域佳僅少量塑膠微粒被吸起	吸附效果較摩擦 50 下佳，吸起更多塑膠微粒	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果較初始水域佳僅少量塑膠微粒被吸起	吸附效果較摩擦 50 下佳，吸起更多塑膠微粒
結果： 生態池水	生態池水						
	說明	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果較初始水域佳僅少量塑膠微粒被吸起	吸附效果較摩擦 50 下佳，吸起更多塑膠微粒	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果較初始水域佳近一半塑膠微粒被吸起	吸附效果較摩擦 50 下佳，吸起更多塑膠微粒
結果： 荷花池水	荷花池水						
	說明	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果較初始水域佳僅少量塑膠微粒被吸起	吸附效果較摩擦 50 下佳，吸起更多塑膠微粒	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果較初始水域佳近一半塑膠微粒被吸起	吸附效果較摩擦 50 下佳，吸起更多塑膠微粒

2. 總結：自來水與三類研磨之塑膠微粒

- (1)一號塑膠和六號塑膠時，摩擦 100 下比摩擦 50 下的吸附效果更佳。
- (2)靜電對於四號塑膠的吸附效果不明顯，肉眼無法觀察到有吸附現象。
- (3)大部分殘留在水面上的塑膠微粒雖未被吸附，卻因塑膠與氣球、PVC 管靜電，故跟隨其移動方向，亦可聚集塑膠微粒。
- (4)自來水與三類研磨之塑膠微粒的靜電實驗中，觀察的對象為靜電物而非水域的水，因為研磨的塑膠微粒顆粒較大，在顯微鏡中的觀察範圍過小，無法呈現其分佈情形，加上其直徑為肉眼可觀察之大小，因此直接以肉眼觀察實驗結果會比以顯微鏡觀察來的準確。

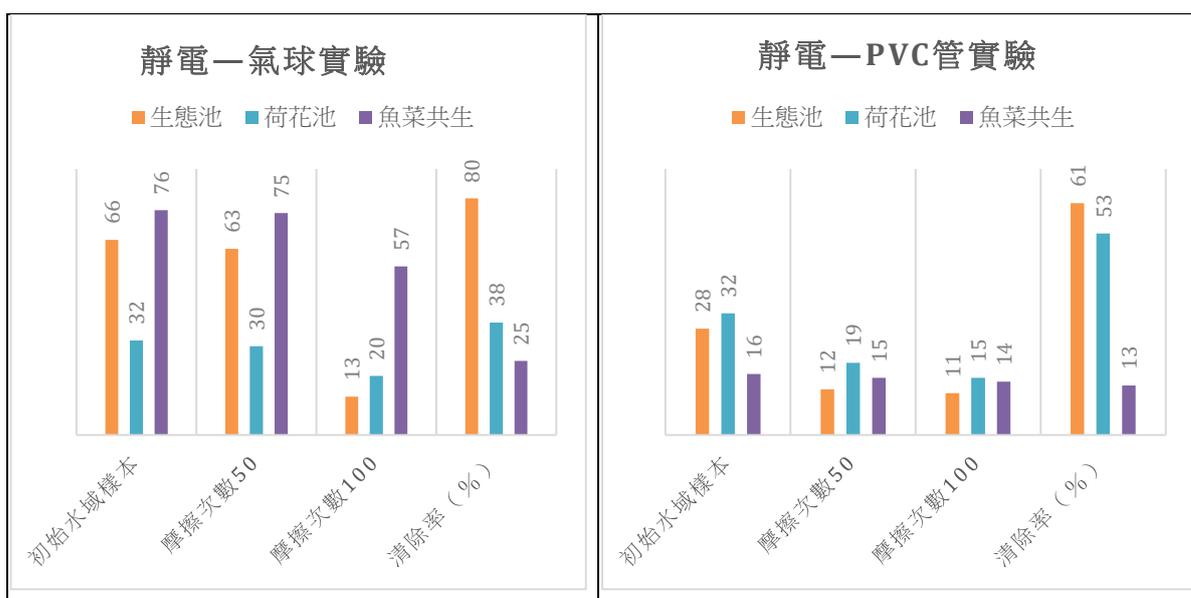
3. 總結：校園水域

(1)魚菜共生池水、生態池水、荷花池水在氣球靜電實驗時，摩擦 100 下相較於摩擦 50 下有較明顯的效果。

(2)生態池水、荷花池水在 PVC 管靜電實驗時，摩擦 50 下相較於摩擦 100 下有較明顯的效果；魚菜共生池水則在摩擦次數增加時，塑膠微粒量穩定遞減。

(3)校園水域之靜電的實驗中，觀察的對象為水域的水而非靜電物，因為校園水域中的塑膠微粒是肉眼無法看到的，因此從水域樣本中觀察塑膠微粒的數量變化。其中，為避免因觀察位置不同而造成的塑膠微粒數量計算誤差，校園水域的靜電皆進行在載玻片上，藉此縮小觀察位置範圍及提高實驗數據之準確性。

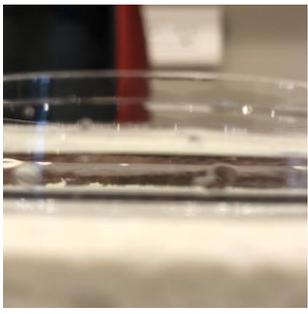
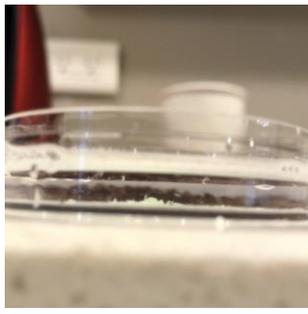
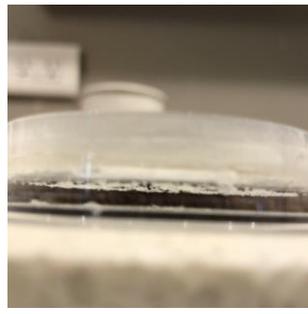
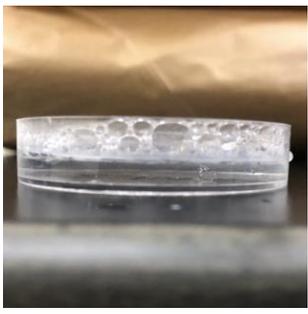
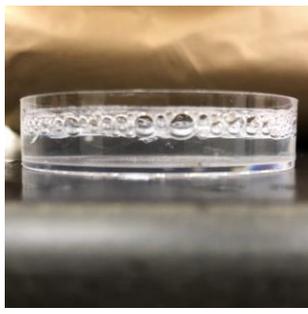
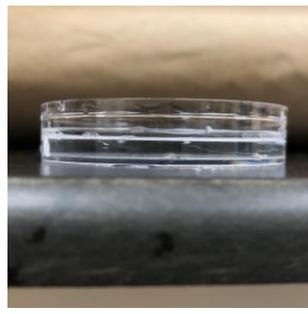
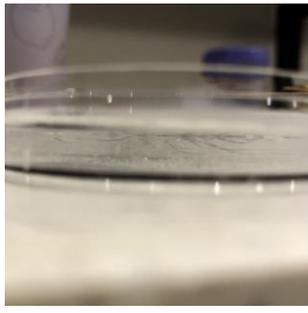
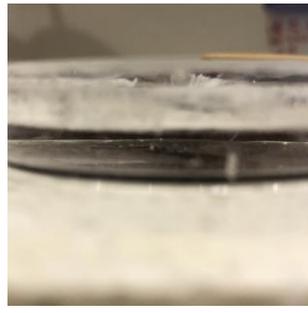
4. 圖表比較

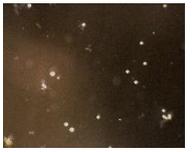
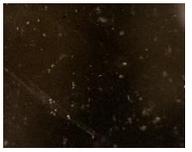


(二) 探討界面活性劑對於塑膠微粒分離的影響

1. 操縱變因：水源（自來水與三類研磨之塑膠微粒、魚菜共生池水、生態池水、荷花池水）；界面活性劑（洗髮精、洗碗精、無添加）

控制變因：培養皿內水量（15 毫升）

組別		實驗組		對照組
界面活性劑		洗髮精	洗碗精	無
結果： 自來水與三類研磨之塑膠微粒	一號塑膠			
	說明	全部塑膠微粒下沉	全部塑膠微粒下沉	少部分塑膠微粒下沉且無聚集
	四號塑膠			
	說明	塑膠微粒聚集培養皿邊緣、少許微粒被未溶於水的洗髮精聚集	塑膠微粒聚集在培養皿中水的邊緣	無塑膠微粒下沉且無聚集
	六號塑膠			
	說明	部分塑膠微粒聚集在培養皿中水的邊緣、部分下沉	部分塑膠微粒聚集在培養皿中水的邊緣、部分下沉	無塑膠微粒下沉且無聚集

組別		實驗組				對照組
界面活性劑		洗髮精		洗碗精		無
觀察位置		水面	水底	水面	水底	無區分
結果： 魚菜共生	魚菜共生池水					
	說明	塑膠微粒含量水底 > 水面，差異甚大		塑膠微粒含量水底 > 水面，差異不明顯		塑膠微粒數量較多
結果： 生態池水	生態池水					
	說明	塑膠微粒含量水底 > 水面，差異不明顯		塑膠微粒含量水底 > 水面，差異甚大		塑膠微粒數量較多
結果： 荷花池水	荷花池水					
	說明	塑膠微粒含量水底 > 水面，差異甚大		塑膠微粒含量水底 > 水面，差異甚大		塑膠微粒數量較多

2. 總結：自來水與三類研磨之塑膠微粒

- (1)一號塑膠密度較自來水大，在界面活性劑降低實驗樣本的表面張力、與塑膠微粒相吸附後會下沉至水底，形成聚集。
- (2)四號塑膠密度較自來水小，不易下沉至水底，但界面活性劑會吸附在塑膠微粒上，使塑膠微粒聚集在培養皿中水的邊緣。
- (3)六號塑膠發泡後密度較自來水小，不易下沉至水底，但界面活性劑會吸附在塑膠微粒上，使部分塑膠微粒聚集在培養皿中水的邊緣、部分下沉。
- (4)未溶解於水中的稠狀洗髮精能暫時聚集塑膠微粒

3. 總結：校園水域

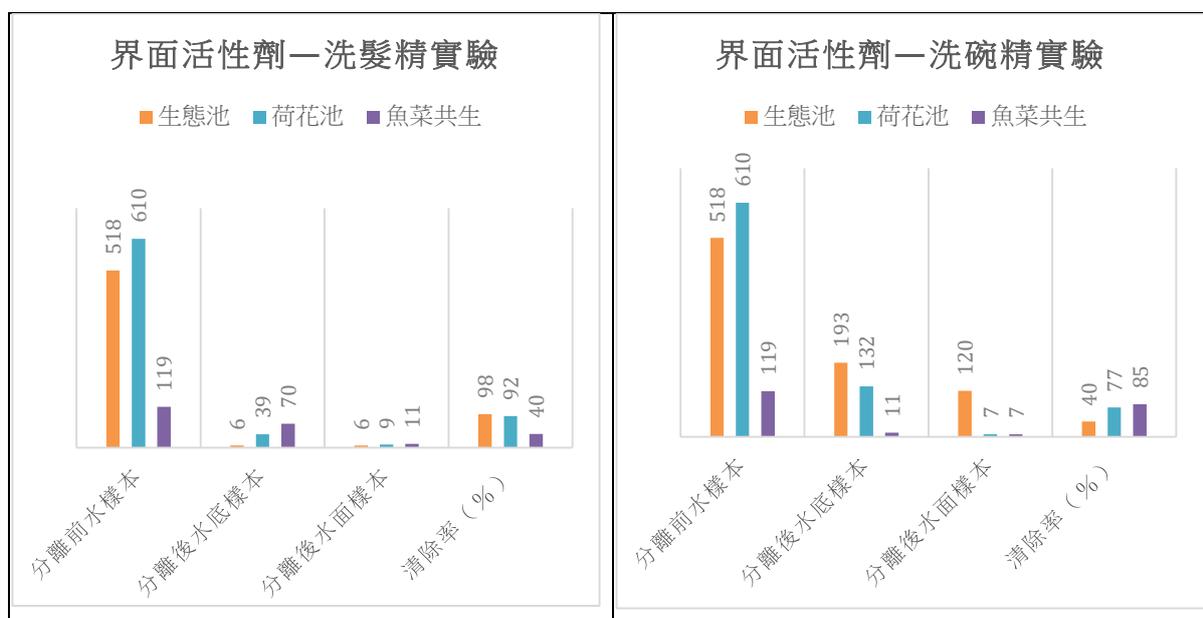
(1)因自來水與三類研磨之塑膠微粒實驗中，塑膠微粒聚集於水底或水面邊緣，因此校園水域的觀察做了水底與水面之比較，發現塑膠微粒含量：水底 > 水面。

(2)魚菜共生池水：在使用洗髮精作為界面活性劑時，水底的塑膠微粒聚集量明顯比水面來得多；而使用洗碗精作為界面活性劑時，大多塑膠微粒可能聚集於培養皿中水的邊緣。

(3)生態池水：使用洗髮精作為界面活性劑時，大多塑膠微粒聚集於培養皿邊緣；而使用洗碗精作為界面活性劑時，水底的塑膠微粒聚集量明顯比水面多。

(4)荷花池水：使用洗髮精作為界面活性劑時，大多塑膠微粒聚集於培養皿邊緣；而使用洗碗精作為界面活性劑時，水底的塑膠微粒聚集量明顯比水面多。

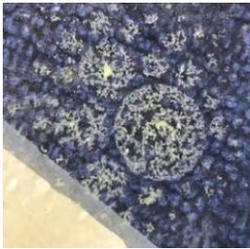
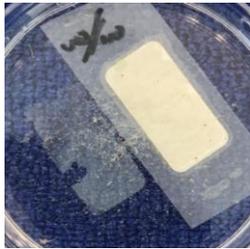
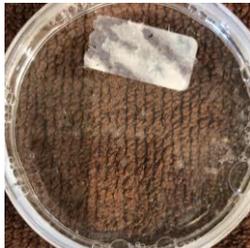
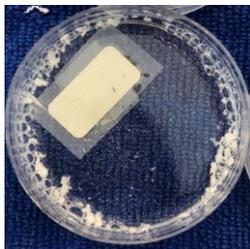
4. 圖表比較

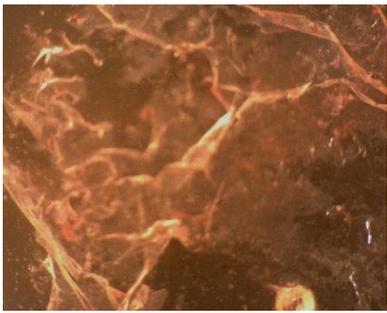
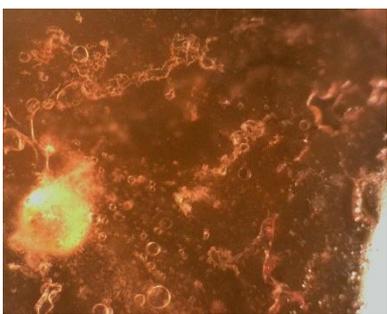


(三) 探討塑膠之親油性對於塑膠微粒分離的影響

1. 操縱變因：水源（自來水與三類研磨之塑膠微粒、魚菜共生池水、生態池水、荷花池水）；橄欖油量（5滴、無）

控制變因：培養皿內水量

組別		實驗組（5滴）		對照組（無油）
觀察對象		油	水	水
結果： 自來水與 三類 研磨之 塑膠微粒	一號塑膠			
	說明	聚集效果佳，多數塑膠微粒被聚集，能有效分離塑膠微粒與自來水		無聚集，塑膠微粒分散於水中
	四號塑膠			
	說明	聚集效果佳，多數塑膠微粒被聚集，能有效分離塑膠微粒與自來水		無聚集，塑膠微粒分散於水中
	六號塑膠			
	說明	聚集效果佳，多數塑膠微粒被聚集，能有效分離塑膠微粒與自來水		無聚集，塑膠微粒分散於水中

組別		實驗組（5 滴）	對照組（無油）
結果： 魚菜共生池水	魚菜共生池水		
	說明	水中塑膠微粒量明顯減少	塑膠微粒數量較實驗組多
結果： 生態池水	生態池水		
	說明	水中塑膠微粒量明顯減少	塑膠微粒數量較實驗組多
結果： 荷花池水	荷花池水		
	說明	水中塑膠微粒量明顯減少	塑膠微粒數量較實驗組多

2. 總結：自來水與三類研磨之塑膠微粒

- (1)利用塑膠之親油性及橄欖油密度較水小，凡是接觸到油的塑膠微粒都能被集中至水面、有效分離塑膠微粒，且相較無加入橄欖油的對照組效果差益甚大。
- (2)一號塑膠密度較自來水大，部分塑膠微粒會沉在水底無法接觸橄欖油而聚集。
- (3)自來水與三類研磨之塑膠微粒的實驗組將觀察對象分為油與水，藉此比較水中塑膠微粒數量的變化，及橄欖油的塑膠含量。

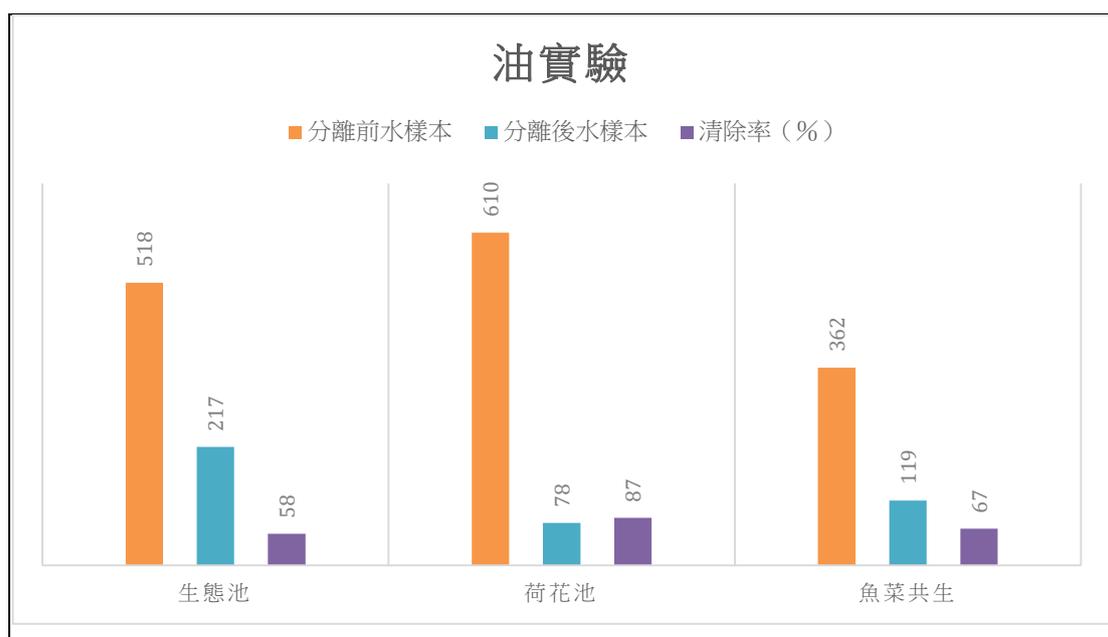
3. 總結：校園水域

- (1)利用塑膠之親油性及橄欖油密度較水小，凡是接觸到油的塑膠微粒都能被集中、有效分離塑膠微粒，且相較無加入橄欖油的對照組效果差益甚大。

(2)校園水域的實驗組沒有將觀察對象分為油與水，因為油在簡易尼羅紅染色法觀察儀器下無法觀察得很清楚，因此藉由觀察實驗組與對照組水樣本的塑膠微粒分佈即可得知橄欖油對於校園水域塑膠微粒的聚集效果。

(3)橄欖油皆能將多數塑膠微粒聚集，在實驗樣本加入橄欖油後，觀察各水域水樣本可發現：魚菜共生池水的塑膠微粒量僅剩原先的約三分之一、生態池水的塑膠微粒量僅剩原先的約二分之一、荷花池水的塑膠微粒量僅剩原先的約六分之一，其中以荷花池聚集效果最為明顯。

4. 圖表比較

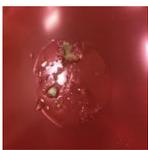
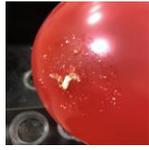


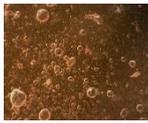
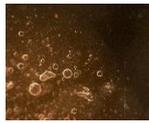
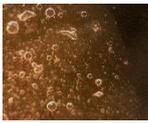
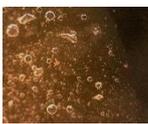
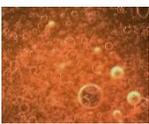
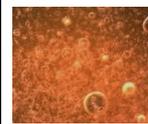
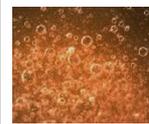
四、探討綜合各項變因對於塑膠微粒分離的影響

(一) 探討靜電與親油性組合對於塑膠微粒分離的影響

1. 操縱變因：材質（無、氣球與聚酯纖維布料、PVC 管與超細纖維布料）；水源（自來水與三類研磨之塑膠微粒、魚菜共生池水、生態池水、荷花池水）

控制變因：乾燥的實驗器具與環境、培養皿內水量、橄欖油量（5 滴）

變因一	氣球與聚酯纖維布料			PVC 管與超細纖維布料			
組別	對照組	實驗組		對照組	實驗組		
變因二	初始水域	摩擦 50 下	摩擦 100 下	初始水域	摩擦 50 下	摩擦 100 下	
結果：自來水與三類研磨之塑膠微粒	一號塑膠						
	說明	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果較初始水域佳，少數塑膠微粒被吸起	吸附效果較摩擦 50 下佳，多數塑膠微粒被吸起	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果較初始水域佳，少數塑膠微粒被吸起	吸附效果較摩擦 50 下佳，多數塑膠微粒被吸起
	四號塑膠						
	說明	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果較初始水域佳，少數塑膠微粒被吸起	吸附效果較摩擦 50 下佳，多數塑膠微粒被吸起	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果較初始水域佳，少數塑膠微粒被吸起	吸附效果較摩擦 50 下佳，多數塑膠微粒被吸起
六號塑膠							
	說明	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果較初始水域佳，少數塑膠微粒被吸起	吸附效果較摩擦 50 下佳，吸起全部塑膠微粒	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果較初始水域佳，少數塑膠微粒被吸起	吸附效果較摩擦 50 下佳，多數塑膠微粒被吸起

結果： 魚菜共生池水	魚菜共生池水						
	說明	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果較初始水域佳，僅少量塑膠微粒被吸起	吸附效果較摩擦 50 下佳，吸起更多塑膠微粒	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果較初始水域佳，僅少量塑膠微粒被吸起	吸附效果較摩擦 50 下佳，吸起更多塑膠微粒
結果： 生態池水	生態池水						
	說明	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果較初始水域佳，僅少量塑膠微粒被吸起	吸附效果較摩擦 50 下佳，吸起更多塑膠微粒	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果較初始水域佳，僅少量塑膠微粒被吸起	吸附效果較摩擦 50 下佳，吸起更多塑膠微粒
結果： 荷花池水	荷花池水						
	說明	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果較初始水域佳，僅少量塑膠微粒被吸起	吸附效果較摩擦 50 下佳，吸起更多塑膠微粒	吸附效果不佳，無塑膠微粒被吸起	吸附效果較初始水域佳，部分塑膠微粒被吸起	吸附效果較摩擦 50 下佳，吸起更多塑膠微粒

2. 總結：自來水與三類研磨之塑膠微粒

- (1) 靜電與親油性組合應相較於單純親油性或單純靜電的實驗有較好的吸附效果，但由於實驗方式的不同導致清除率下降，其中以六號塑膠吸附效果最佳。
- (2) 摩擦產生靜電相較於初始水域有較好的吸附效果。
- (3) 氣球比 PVC 管更適合吸附沉在水底的塑膠微粒，因接觸面積較 PVC 管底部大。
- (4) 自來水與三類研磨之塑膠微粒的靜電與親油性組合實驗中，觀察的對象為靜電物而非水域的水，因為研磨的塑膠微粒顆粒較大，在顯微鏡中的觀察範圍過小，無法呈現其分佈情形，加上其直徑為肉眼可觀察之大小，因此直接以肉眼觀察實驗結果會比以顯微鏡觀察來的準確。

3. 總結：校園水域

(1)魚菜共生池：氣球與 PVC 管皆能吸附少許塑膠微粒。

(2)生態池：氣球與 PVC 管皆能吸附少許塑膠微粒。

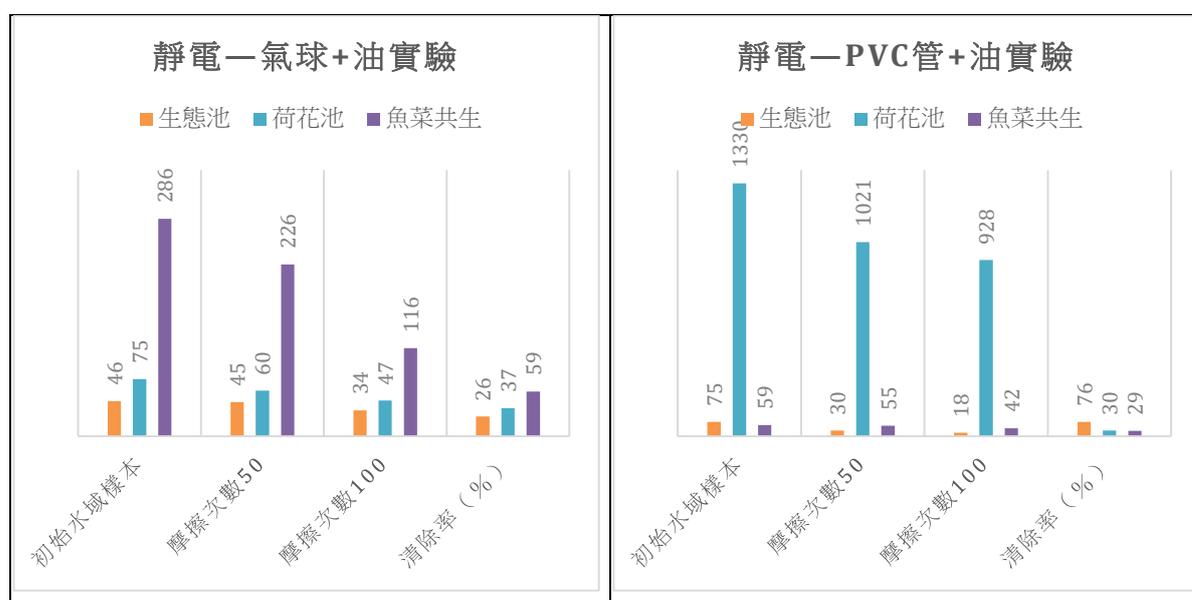
(3)荷花池：PVC 管效果明顯好於氣球，但氣球依然能吸附少許塑膠微粒。

(4)校園水域之靜電與親油性組合的實驗中，觀察對象為水域而非靜電物，因為校園水域中的塑膠微粒是肉眼無法看到的，因此從水域樣本中觀察塑膠微粒的數量變化。為避免因觀察位置不同而造成的塑膠微粒數量計算誤差，校園水域的靜電皆進行在載玻片上，藉此縮小觀察位置的範圍及提高實驗數據之準確性。

4. 靜電吸起塑膠的原理：藉由靜電產生的吸力，如此一來就能將塑膠微粒吸起。

5. 利用塑膠特性：親油性，能有效的將水域中含有的塑膠微粒匯聚。

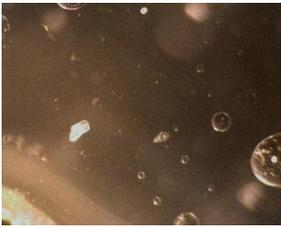
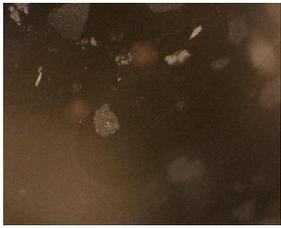
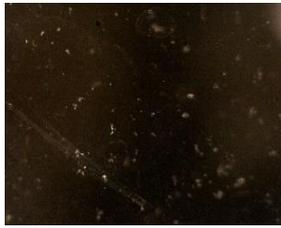
6. 圖表比較



(二) 探討界面活性劑與親油性組合對於塑膠微粒分離的影響

1. 操縱變因：界面活性劑（無、洗碗精、洗髮精）；水源（魚菜共生池水、生態池水、荷花池水）

控制變因：培養皿內水量、橄欖油量（5 滴）

組別		實驗組		對照組
界面活性劑		洗髮精	洗碗精	無
結果： 魚菜共生池水	魚菜共生池水			
	說明	少數塑膠微粒無聚集	聚集效果佳，塑膠微粒被包成很多塊	水中塑膠微粒散布、僅少數聚集
結果： 生態池水	生態池水			
	說明	少數塑膠微粒無聚集	聚集效果佳，塑膠微粒被包成很多塊	水中塑膠微粒散布、僅少數聚集
結果： 荷花池水	荷花池水			
	說明	少數塑膠微粒無聚集	聚集效果佳，塑膠微粒被包成很多塊	水中塑膠微粒散布、僅少數聚集

2. 總結：校園水域

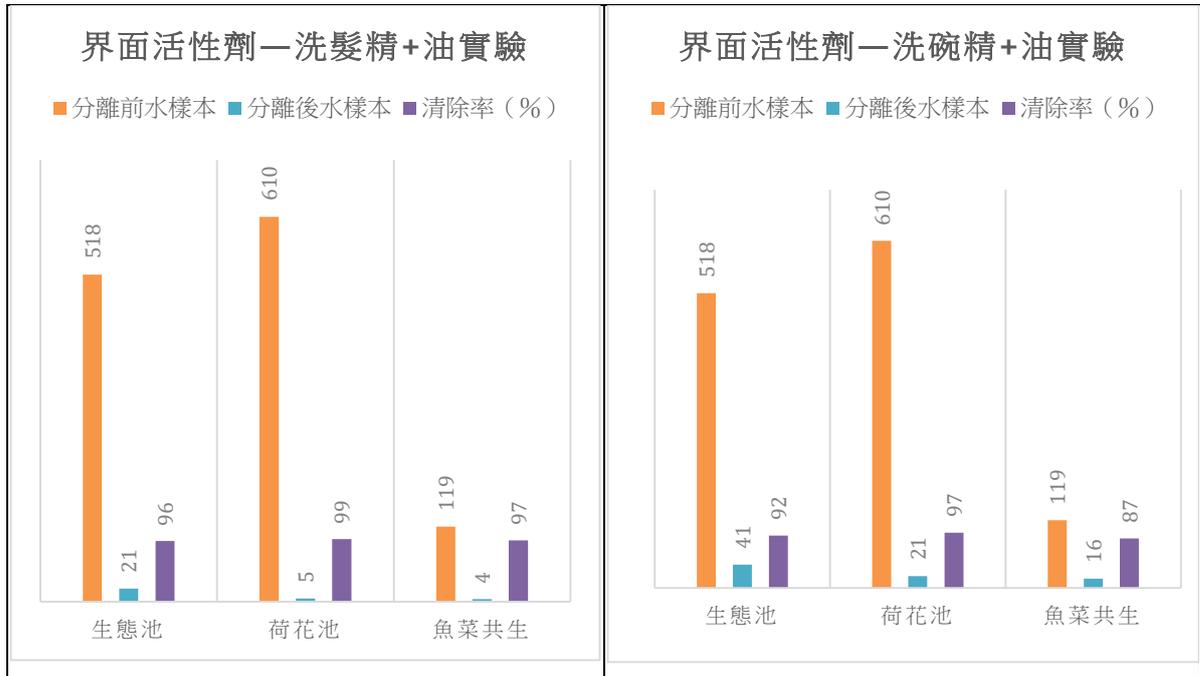
(1) 塑膠微粒具有親油性且界面活性劑具有一端親水，一端親油的分子。塑膠微粒接觸橄欖油及界面活性劑時，界面活性劑的親油端會聚集接觸油的塑膠微粒。

(2) 洗碗精的聚集塑膠微粒效果較洗髮精的佳。

3. 總結：洗髮精與洗碗精之界面活性劑比較

界面活性劑能在油與水之介面聚集並降低其表面張力，改變其介面結構和性質，有能吸附固體表面，使塑膠微粒與油一起被吸附。

4. 圖表比較



伍、討論

一、了解塑膠微粒與海廢快篩的定義

(一) 認識塑膠微粒的定義與形成因素

1. 定義：塑膠微粒的定義為小於 0.5 公分 (5mm) 的塑膠碎片。
2. 形成因素：形成的方式有三種，第一種是塑膠原料，在工業製造時通常以小塑膠顆粒或碎片出現；第二種是大型塑膠物品經過風吹、日曬、雨淋後分解成的小顆粒；第三種則是來自石油提煉產品的塑膠微粒化合物所形成的纖維。不過，第三種類型目前超出我們的研究範圍，尚無法進行深入研究。

(二) 認識海廢快篩的調查方式與結果

1. 困難點：時間時環境限制，導致無法依照正規海廢快篩調查方式進行校園水域環境塑膠量之統計及觀察其趨勢。

解決方案：取水域樣本後以尼羅紅溶液染色並浸泡數週觀察塑膠微粒含量。

二、探討塑膠微粒在校園水域的含量

(一) 設計簡易尼羅紅染色法觀察儀器以取代昂貴螢光顯微鏡

1. 困難點：無螢光顯微鏡，且一般複式顯微鏡無法觀察螢光染色法之結果。

解決方案：自日常生活中取材，嘗試不同遮光、能取代顯微鏡光源的材料，最後以黑色資料夾遮複式顯微鏡的光源效果最佳。

(二) 以尼羅紅染色法觀察不同海廢塑膠之塑膠類別

1. 困難點：每週社團時間約一小時內無法使塑膠完全染色。

解決方案：將染色時間延長為七天，並在每週一次的社團課中觀察。

(三) 以尼羅紅染色法觀察不同水域的塑膠微粒含量

1. 困難點：尼羅紅酒精溶液與不同水域水源的凝固點不同，故將實驗樣本置於溫度低於攝氏-20度的環境時，水凝固成冰，不易觀察。

解決方案：在觀察前先將實驗樣本隔水退冰，再用玻棒攪拌即可置於簡易尼羅紅染色法觀察儀器下觀察塑膠微粒分佈。

(四) 比較不同校園水域環境的塑膠微粒含量差異性

三、探討塑膠微粒與水源分離的方法

(一) 探討靜電對於塑膠微粒分離的影響

1. 困難點：讓氣球、PVC 管各自摩擦 50 下後置於含有塑膠微粒的水面上方，發現靜電時常不久且吸附效果不佳。

解決方案：新增摩擦次數 100 下，增加吸附效果及靜電時間。

2. 困難點：氣球、PVC 管與布料摩擦後並無法完全吸附水中的塑膠微粒。

解決方案：(1)大部分殘留在水面上的塑膠微粒雖未被吸附，卻因塑膠與氣球、PVC 管靜電，故跟隨其移動方向，亦可聚集塑膠微粒。

(2)運用親油性及靜電，先用橄欖油將塑膠微粒聚集後，再將氣球、PVC 管各自放入水中使聚集得塑膠微粒及橄欖油吸附在靜電物上。

3. 困難點：校園水域之靜電的實驗中，無法像自來水與三類研磨之塑膠微粒實驗中從靜電物觀察塑膠微粒分佈。

解決方案：以簡易尼羅紅染色法觀察儀器觀察塑膠微粒的數量變化，並進行靜電於載玻片上，藉此縮小觀察位置的範圍及提高實驗數據之準確性。

(二) 探討界面活性劑對於塑膠微粒分離的影響

1. 困難點：塑膠微粒聚集的位置不同，部分在水底、部分在水面邊緣。

解決方案：在進行校園水域實驗時，塑膠微粒都是肉眼無法看見的，因此我們分成水面、水底觀察塑膠微粒分佈，並進行比較分析。

(三) 探討塑膠之親油性對於塑膠微粒分離的影響

1. 困難點：水底的塑膠微粒無法與水面上的橄欖油接觸。

解決方案：(1)均勻搖晃瓶身，即可使塑膠微粒與橄欖油接觸。

(2)運用親油性及靜電組合，先讓氣球表面接觸水面上的橄欖油，再將氣球深入水底以讓氣球表面聚集塑膠微粒。

2. 困難點：水面上的橄欖油難以與水分離。

解決方案：將培養皿置於使橄欖油結晶的溫度，凝固的橄欖油更易與水分離。

3. 困難點：在校園水域實驗中，若將觀察對象分為油與水，則油在簡易尼羅紅染色法觀察儀器下無法觀察得很清楚。

解決方案：觀察實驗組與對照組水樣本的塑膠微粒分佈即可得知橄欖油對於校園水域塑膠微粒的聚集效果。

(四) 比較與分析不同變因對於塑膠微粒分離的影響之差異性

1. 困難點：樣本所含塑膠微粒不同及顯微鏡觀察誤差，可能造成結果不準確。

解決方案：利用人工模擬肉眼可見之塑膠微粒來驗證實驗結果，也希望未來能夠針對此漏失進行實驗設計改良。

四、探討綜合各項變因對於塑膠微粒分離的影響

(一) 探討靜電與親油性組合對於塑膠微粒分離的影響

1. 困難點：氣球無法接觸到在小瓶口容器水底的塑膠微粒。

解決方案：容器改為瓶口較大的臉盆，使氣球能接觸水底塑膠微粒。

2. 困難點：校園水域之靜電與親油性組合的實驗中，無法像自來水與三類研磨之塑膠微粒實驗中從靜電物觀察塑膠微粒分佈。

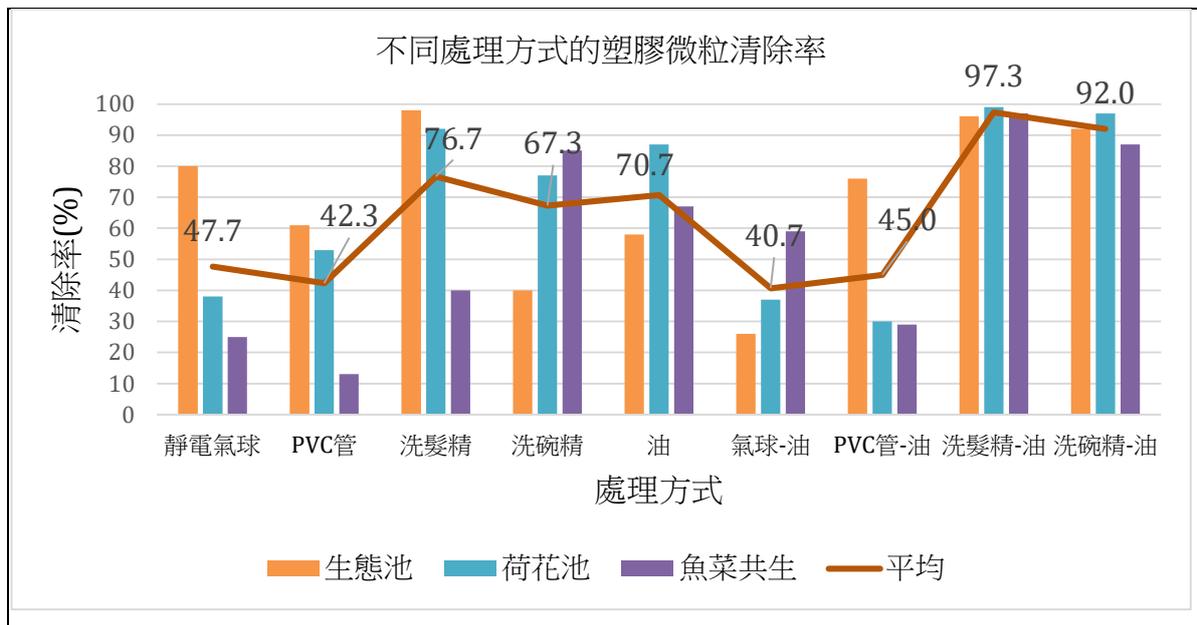
解決方案：以簡易尼羅紅染色法觀察儀器觀察塑膠微粒的數量變化，並進行靜電於載玻片上，藉此縮小觀察位置的範圍及提高實驗數據之準確性。

(二) 探討界面活性劑與親油性組合對於塑膠微粒分離的影響

1. 困難點：界面活性劑加入含有橄欖油的水域樣本時，兩者相互排斥。

解決方案：隨著界面活性劑在水中的時間增加，其親油端會集中在邊緣並與油接觸，即可吸附橄欖油與界面活性劑。

五、不同處理方式的塑膠微粒清除率，界面活性劑（洗碗精）與油的組合分離塑膠微粒效果最佳（清除率 97%）。



六、未來展望

(一) 探討塑膠微粒在校園水域的含量

1. 嘗試使用不同倍率觀察塑膠微粒，找到最能清晰呈現實驗結果者。
2. 自日常生活中，找到能在簡易觀察儀器中和黑色資料夾功能相同或更佳的材料。
3. 將研究範圍自海廢快篩結果擴大，了解一號至七號塑膠的特性，依據其特性設計對於各類塑膠最佳且對環境無害的分離法，或設計能同時分離一號至七號塑膠微粒的方法

(二) 探討塑膠微粒與水源分離的方法

1. 自日常生活中，找到更多能以靜電分離水中塑膠微粒的更佳材料。
2. 增加靜電摩擦次數，比較摩擦次數與其效果的關連性。
3. 探究不同校園水域對於不同靜電物成效之關聯性。
4. 界面活性劑能降低表面張力，使塑膠微粒聚集在水面邊緣或水底，若能製作特殊容器，將聚集的塑膠微粒取出，就能分離塑膠微粒。
5. 找出界面活性劑無法聚集塑膠微粒的原因，並改良界面活性劑與水的比例或實驗方法
6. 在界面活性劑實驗樣本中，比對吸取水面中央及水面邊緣之塑膠微粒數量差異。
7. 嘗試使用不同種類的油進行塑膠微粒之分離，並找到效果最佳者。
8. 嘗試使用不同比例的油與水進行塑膠微粒之分離，並找到效果最佳者。

(三) 探討綜合各項變因對於塑膠微粒分離的影響

1. 根據本次實驗結果之各類塑膠在校園水域的分佈，運用塑膠靜電、界面活性劑、親油性等特性，依據各水域製作過濾塑膠微粒循環系統。
2. 結合多項實驗變因並嘗試不同變因的時間、次數分配，找到聚集塑膠微粒效果最佳者

陸、結論

一、了解塑膠微粒與海廢快篩的定義

(一) 認識塑膠微粒的定義與形成因素

1. 塑膠微粒 (microplastic) 指的是小於 0.5 公分 (5mm) 的塑膠碎片。可分為初級及次級。前者屬於製造時就小於 5mm 的塑膠碎片或纖維；後者則屬於用完丟棄的塑膠製品經過太陽、風、海浪等大自然力量分解形成的塑膠碎片。

(二) 認識海廢快篩的調查方式與結果

1. 海廢快篩調查目的為記錄並了解四季海洋廢棄物隨地形、季風、洋流影響聚集於那些地形海岸分布。藉由連續年份的紀錄調查數據結果，可以了解海洋廢棄物聚集於海岸的情形，並以此作為經費分配的依據，增加海廢減少的效率。

二、探討塑膠微粒在校園水域的含量

(一) 設計簡易尼羅紅染色法觀察儀器以取代昂貴螢光顯微鏡

1. 相較於顯微鏡光源、LED 彩色燈、手遮顯微鏡光、無光，使用黑色資料夾遮顯微鏡光能讓尼羅紅染色處最明顯，且顏色與尼羅紅顏色不相似，不易搞混。
2. 研磨塑膠微粒適合肉眼觀察，校園水域之塑膠微粒則適合以簡易觀察儀器觀察。

(二) 以尼羅紅染色法觀察不同海廢塑膠之塑膠類別

1. 尼羅紅粉末與 95% 變性乙醇以 1:1000 調配為最佳比例。
2. 實驗樣本與尼羅紅酒精溶液以 100:1 調配為最佳比例。

(三) 以尼羅紅染色法觀察不同水域的塑膠微粒含量

1. 校園水域環境塑膠微粒含量：荷花池 > 生態池 > 魚菜共生

三、探討塑膠微粒與水源分離的方法

(一) 探討靜電對於塑膠微粒分離的影響

1. 靜電次數與其聚集塑膠微粒效果之比較：摩擦 100 下 > 摩擦 50 下 > 初始水域樣本
2. 塑膠種類對於靜電吸附效果之比較：六號塑膠 > 一號塑膠 > 四號塑膠
3. 靜電沒有強到能克服水的表面張力，只能吸附少數在水面上的塑膠微粒，但卻能讓水面上的塑膠微粒跟隨靜電物移動
4. 以摩擦 100 下為標準，適合使用氣球靜電的水域：魚菜共生池、生態池；適合使用 PVC 管靜電的水域：荷花池

(二) 探討界面活性劑對於塑膠微粒分離的影響

1. 界面活性劑能降低實驗樣本表面張力，並與塑膠微粒相吸附，使塑膠微粒聚集

2. 一號塑膠聚集於水底；四號塑膠聚集於水面邊緣；六號塑膠部分聚集於水面邊緣、部分聚集於水底
3. 未溶解於水中的稠狀洗髮精能暫時聚集塑膠微粒，但其溶解後則無法
4. 校園水域之界面活性劑實驗中，塑膠微粒含量水底 > 水面，能使塑膠微粒聚集
5. 洗髮精較能使生態池、荷花池水的塑膠微粒聚集於水的邊緣；洗碗精則使魚菜共生池中部分的塑膠微粒下沉

(三) 探討塑膠之親油性對於塑膠微粒分離的影響

1. 塑膠種類對於親油性聚集效果之必較：一號塑膠 > 六號塑膠 > 四號塑膠
2. 不同校園水域對於親油性聚集效果之必較：荷花池水 > 魚菜共生池 > 生態池
3. 橄欖油能將所有實驗樣本多數的塑膠微粒聚集，效果佳

四、探討綜合各項變因對於塑膠微粒分離的影響

(一) 探討靜電與親油性組合對於塑膠微粒分離的影響

1. 在使用不同塑膠種類作為實驗對象時，靜電與親油性組合相較於單純親油性的實驗，有更好的吸附效果，故塑膠微粒聚集之成效比較為：
界面活性劑與油組合 > 親油性 > 界面活性劑 > 靜電 > 靜電與油組合
2. 塑膠種類對於靜電與親油性組合聚集效果：六號塑膠 > 一號塑膠 > 四號塑膠
3. 氣球底部接觸面積較 PVC 管底部大，故氣球更適合吸附沉在水底的塑膠微粒
4. 魚菜共生池、生態池中，氣球與 PVC 管皆能吸附少許塑膠微粒；荷花池中 PVC 管的效果明顯好於氣球，但氣球依然能吸附少許塑膠微粒。

(二) 探討界面活性劑與親油性組合對於塑膠微粒分離的影響

1. 界面活性劑的親油端會將接觸油的塑膠微粒吸起，形成聚集
2. 塑膠微粒聚集效果：洗碗精 > 洗髮精

柒、參考文獻資料

1. 認識生活中一絲半「塑」的汙染 - 塑膠微粒，取自：
https://epaper.ntuh.gov.tw/health/202005/project_1.html
2. 食品安全資訊網 - 無所不在的塑膠微粒 您瞭解了嗎，取自：
<https://www.ey.gov.tw/ofs/15881103EFD02C4/caa300f5-7036-4a94-99c2-68cc778189b6>
3. 與心臟病、中風和過早死亡有關 研究首次揭曉微塑膠對人體的可能危害，取自：
<https://health.udn.com/health/amp/story/6008/7825084>

4. 塑膠微粒：對人體健康可能的危害，取自：<https://oddinno.com/塑膠微粒：對人體健康可能的危害/>
5. 塑膠微粒，您不可忽視的小粒子：<https://msn.sgs.com/Knowledge/FOOD/2553>
6. 荒野保護協會（2021 年）2021 海廢快篩：<https://www.sow.org.tw/node/42260>
7. Thomas Maes, Rebecca Jessop, Nikolaus Wellner, Karsten Haupt & Andrew G. Mayes（2017 年 3 月 16 日）A rapid-screening approach to detect and quantify microplastics based on fluorescent tagging with Nile Red，Scientific Reports，取自：
<https://www.nature.com/articles/srep44501>
8. 陳芊仔、黃歆芸、蕭德芙（2020 年）水吃不吃「塑」？－探討水中塑膠微粒的含量，中華民國第 60 屆中小學科展說明書，取自：<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/60/pdf/NPHSF2020-030504.pdf?335>
9. 邱緯婷、徐易琳、廖儷雯、楊芷姍、鄭筑元、陳律（2005 年）靜觀奇電－探討靜電的影響，中華民國第四十五屆中小學科展說明書，取自：
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/45/elementary/0815/081515.pdf>
10. 聚鴻塑膠股份有限公司，塑膠材質：密度 & 比重，Q&A，取自：<https://www.ji-horng.com.tw/plastic-material-density-specific-gravity>
11. 國立成功大學化學工程學系，第 11 章 有趣的界面現象，取自：
<https://www.che.ncku.edu.tw/FacultyWeb/MaaJR/Nature/ch11.htm>
12. 精志科技，界面活性劑與表面張力 surfactant and surface tension，取自：
https://www.amtech.com.tw/custom_124412.html
13. 中時新聞網，用洗碗精比洗髮精更控油？醫驚吐下場：後果讓人想不到，取自：
<https://www.chinatimes.com/realtimenews/20230424002990-260418?chdtv>
14. 維基百科，界面活性劑，取自：
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%A1%A8%E9%9D%A2%E6%B4%BB%E6%80%A7%E5%89%82>