

2025 年「科學探究競賽-這樣教我就懂」延續性作品說明書

本屆參展作品為延續已發表過之研究內容再進行延伸研究者，須檢附此說明書

【須一併檢附最近一次已參展研究作品說明書或海報】。

參加組別：普高組

學生姓名：劉書翡、劉芸安

就讀學校：臺北市立中崙高中、臺北市立中山女子高級中學

作品名稱：用頭髮清微塑膠，真的有效嗎？——從廢棄物找出淨水新解方

之前研究作品參賽年(屆)次／作品名稱／參展名稱／獲獎紀錄（相關參展紀錄請逐一列出）

列表範例

參賽年(屆)次：113 年度

參展名稱：高級中等學校綠色化學創意競賽

作品名稱：從沙龍廢料到環保工具：使用頭髮清除水中的微塑膠

獲獎紀錄：佳作

參賽年(屆)次：

參展名稱：

作品名稱：

獲獎紀錄：

參賽年(屆)次：

參展名稱：

作品名稱：

獲獎紀錄：

參賽年(屆)次：

參展名稱：

作品名稱：

獲獎紀錄：

備註：1.校內競賽不需填寫。

2.當屆地方、分區科學展覽會競賽紀錄不需填寫。

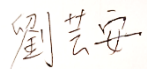
請依下列各項，列出此次參展之作品內容，與先前已完成之研究作品不同之處。

更新項目確認 (請勾選)	項 目	本屆參展作品之更新要點 (有勾選之項目需於此欄說明)
V	題目名稱	更改為：用頭髮清微塑膠，真的有效嗎？——從廢棄物找出淨水新解方 以探究而非只有報告實驗結果的方式，介紹頭髮清微塑膠的可行性
	探究題目與動機	
V	探究目的與假設	加入探究歷程中的實驗假設，並經由實驗假設訂定目的。
V	探究方法與驗證步驟	增加實驗定量方法的探究歷程 增加不同 pH 值溶液的實驗結果
V	結論與生活應用	增加不同 pH 值溶液的實驗結果 提出更多可能應用
	參考資料	
	其他更新	

附件：

■最近一次已參展研究作品說明書及海報(2025 年)

作者本人及指導教師皆確認據實填寫上述各項內容，並僅將未參展或發表過的後續研究內容發表於作品說明書或展示海報上，以前年度之研究內容已據實列為參考資料，並明顯標示。

■學生簽名  劉書翥

■指導教師簽名  日期：2025/04/10

填寫完後請掃描本文件，並 mail 至 sciexplore.tw@gmail.com

113年度高級中等學校綠色化學創意競賽

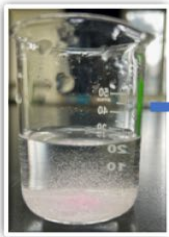
成果報告書

組別（編號）：普通型高級中等學校組（H044）

作品名稱：從沙龍廢料到環保工具：使用頭髮清除水中的微塑膠

關鍵詞：頭髮、微塑膠

含微塑膠水體
650 NTU



以沾附食用油的頭髮過濾



水質澄清
21 NTU



以頭髮直接過濾



水體仍含有微塑膠
256 NTU

目錄

摘要.....	1
壹、 研究動機.....	2
貳、 研究目的.....	3
參、 參考文獻（研究背景介紹）	5
一、 微塑膠的產生.....	5
二、 微塑膠的污染.....	5
三、 微塑膠的清除方式	6
四、 本實驗的想法.....	7
肆、 研究設備及器材.....	8
伍、 研究過程或方法.....	9
一、 頭髮清除微塑膠的機制與可行性探討	9
二、 探討頭髮清除微塑膠的最佳條件.....	9
三、 測試頭髮對不同種類微塑膠的清除效率.....	10
四、 探討溶液鹽度，對頭髮清除微塑膠效率的影響	11
陸、 研究結果.....	12
一、 頭髮清除微塑膠的可行性探討	12
二、 探討頭髮清除微塑膠的最佳條件.....	13
三、 測試頭髮對不同種類微塑膠的清除效率.....	17
四、 探討不同NaCl濃度下，頭髮清除微塑膠效率的變化.....	18
柒、 討論	20
一、 頭髮清除微塑膠的機制.....	20
二、 測試頭髮對不同種類微塑膠的清除效率.....	20
三、 探討溶液鹽度，對頭髮清除微塑膠效率的影響	21
四、 以頭髮清除微塑膠的實際裝置設計與探討.....	22
捌、 結論	23
三、 溶液鹽度對頭髮清除微塑膠效率的影響： 在溶液鹽度在0.67%~5.07%時影響不大，清除效果皆大於90%。	23
玖、 參考資料及其他.....	24

圖目錄

圖 一、實驗架構圖	4
圖 二、 Fe_2O_3 清除油污示意圖 資料來源：(Zhu et al., 2010)	7
圖 三、在微塑膠污染的水體中加入頭髮和油的效果說明	12
圖 四、不同油量和不同頭髮量時，含PVC水體的濁度值	13
圖 五、不同油量和不同頭髮量時，含ABS水體的濁度值	14
圖 六、含PVC水體經過震盪後的俯視圖、側視圖和搖晃後的狀態	15
圖 七、含PVC水體經過震盪後的俯視圖、側視圖和搖晃後的狀態	15
圖 八、不同種類微塑膠加入0.7克的頭髮和0.8毫升的油，清除微塑膠前後的水體濁度值	17
圖 九 不同微塑膠在實驗前後的外觀差異	17
圖 十、PVC在不同濃度的NaCl溶液加入0.8mL油和0.7克頭髮後的濁度值變化	18
圖 十一、ABS在不同濃度的NaCl溶液加入0.8mL油和0.7克頭髮後的濁度值變化	18
圖 十二、不同塑膠種類的清除比例	21
圖 十三、PVC和ABS在不同NaCl濃度下的清除比例	21
圖 十四、清除微塑膠的裝置與清除效果	22

表目錄

表一、不同油量和不同頭髮量時，含PVC水體的濁度值	13
表二、不同油量和不同頭髮量時，含ABS水體的濁度值	14
表三、PVC和ABS的對照組實驗	16
表四、不同種類微塑膠加入 0.7 克的頭髮和 0.8 毫升的油清除微塑膠前後的水體濁度值	17
表五、PVC和ABS在不同濃度的NaCl溶液加入 0.8 mL油和 0.7 克頭髮後的濁度值變化.....	19

摘要

微塑膠為粒徑小於5毫米的塑膠微粒，廣泛存在於水體、土壤及生物體內。其可被海洋生物攝入並透過食物鏈累積，影響生理機能與繁殖能力。微塑膠亦吸附環境污染物，進入人體後可能干擾內分泌並引發炎症反應。目前微塑膠的清除有許多方法，其中2019 Google 全球科學展的冠軍 Fionn Ferreira，在含有微塑膠的水中加入油和鐵磁流體，以清除海水中的微塑膠，但因為鐵磁流體不易回收，所以會有造成二次污染的問題。

我們發現頭髮與鐵磁流體類似，能吸附油脂，因此嘗試以頭髮取代可能造成二次污染的鐵磁流體來回收微塑膠。初步研究結果顯示此方法可行後，我們以PVC與ABS為例，探索微塑膠清除的最佳條件。接著，我們使用0.8 mL食用油與0.7克頭髮，評估該方法在不同種類的微塑膠與不同成分水體中的清除效果。結果顯示，微塑膠的殘留量均很低，其中PVC的清除率最高（97%），PET最低（69%）；此外，溶液中的氯化鈉濃度對清除效果影響不大。

最後，我們設計了第一版微塑膠清除裝置，將沾食用油的頭髮放在少量頭髮上，製成過濾裝置。當含微塑膠的水流經裝置後，濁度由650 NTU降至21 NTU，微塑膠清除率達97%，顯示該裝置能有效去除水中的微塑膠。

壹、研究動機

當今社會，塑膠佔據了我們的生活，從我們吃飯喝水時所使用的塑膠餐盒、寶特瓶，到洗澡時使用的洗面乳、清潔劑也有廠商會加入塑膠來提升清潔效果。這些產品被使用過後，會隨著水流進入下水道、又因為體積小，目前的淨水場並沒有處理微塑膠的設備，所以無法被淨水廠移除，最終不可避免地進入河川、大海。海洋生物誤食微塑膠後，會出現生長和繁殖的問題，再經由食物鏈進入人體或其他動物體中，就會讓問題更加嚴重。

我們在蒐集清除微塑膠方法的資料時發現，Google 全球科學展2019 的冠軍 Fionn Ferreira (Fleming, 2020)，在含有微塑膠的水中加入油和鐵磁流體，以清除海水中的微塑膠。2022 年臺灣國際科學展覽優勝作品則發現可能原因是微塑膠和沙拉油可以互相吸附，而鐵磁流體吸附油汙，兩者結合後，就可以有效清除微塑膠(王柏翎 & 鄭伊芸, 2022)。以鐵磁流體吸附微塑膠雖然有效，但因為使用過後的鐵磁流體，不易與微塑膠分離回收，所以若使用鐵磁流體去清理微塑膠汙染時，可能會造成二次汙染和浪費。

這時我們想到鐵磁流體的主要目的在於吸附油，而頭髮同樣具有親油性，在許多報導中也提到頭髮可以清除油汙(王柏文, 2021)，是否可以拿頭髮取代鐵磁流體呢？所以我們就開始了這段探究之路，希望可以達到綠色化學原則中，使用的化學藥品能兼顧效能及環安，以及能降解成無害物質的「保安」和「可解」兩項原則。

貳、研究目的

基於我們的資料蒐集與整理後得到的結論，設定了以下的研究目的，第一步是先確定頭髮是否真的可以清除微塑膠？並確定微塑膠的定量方式；第二步則是因為微塑膠會存在各種不同的地點，所以想要改變溶液組成，了解頭髮清除微塑膠效率最好的情況和條件，並比較頭髮清除不同微塑膠的效果；最後，是希望可以做出一個以頭髮清除微塑膠的實際裝置，了解這個方法的可行性。研究目的如下：

一、頭髮清除微塑膠的機制與可行性探討

二、探討頭髮清除微塑膠的最佳條件

(一) 頭髮重量對清除微塑膠效率的影響

(二) 加入的食用油用量對清除微塑膠效率的影響

三、測試頭髮對不同種類微塑膠的清除效率

(一) 聚氯乙烯(PVC)

(二) 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS)

(三) 聚乙烯(PE)

(四) 聚丙烯(PP)

(五) 聚苯乙烯(PS)

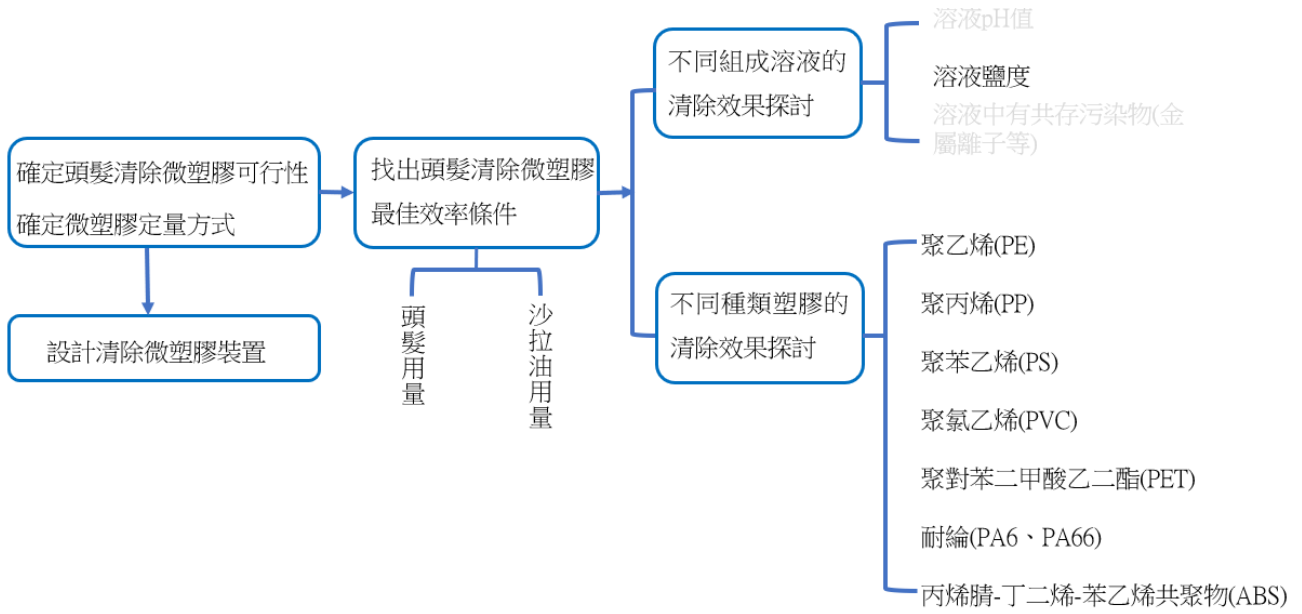
(六) 聚對苯二甲酸乙二酯(PET)

(七) 耐綸(PA6、PA66)

四、探討溶液鹽度，對頭髮清除微塑膠效率的影響

五、以頭髮清除微塑膠的實際裝置設計與探討

圖一、實驗架構圖



**灰色字體為未完成的部分

參、參考文獻（研究背景介紹）

以下研究背景將根據微塑膠的產生、危害和現有的清除方式，逐一說明：

一、微塑膠的產生

微塑膠根據產生的方式，可分為兩個主要來源，包括初級微塑膠和次級微塑膠兩類(Yu & Singh, 2023; Ziani et al., 2023)

- (一) 初級微塑膠: 這類微塑膠是被製造出來、直徑小於 5 毫米的微小顆粒，常見於化妝品、清潔劑、人工草皮和漁網等產品中。車輛輪胎、道路標線漆、塑膠樹脂和合成纖維服飾，也可能在無意間產生原生微塑膠，並排放到環境中。例如，車輛輪胎與路面的摩擦，會造成輪胎磨損，釋放出輪胎中的微塑膠。這些微塑膠進入環境後，會隨著雨水進入淨水系統，但因為現有的淨水系統設計，並未考量這類微小顆粒，因此無法有效攔截微塑膠，最終微塑膠會被排放到水中或進入人體。
- (二) 次級微塑膠: 這些微塑膠是由較大的塑膠製品分解而來，例如塑膠袋、寶特瓶、漁網等。這些塑膠製品在環境中經過陽光照射、風力、海浪拍打等作用，逐漸分解成微小的碎片，形成次級微塑膠。
而目前海洋廢棄物中塑膠材質約佔 60% 到 80%，漂浮在海面上的垃圾則約有 90% 是塑膠廢棄物，這些塑膠廢棄物會分解成微塑膠顆粒，懸浮在水體中或沉積在底泥中，進而隨著洋流和空氣傳播到世界各地，甚至出現在極地地區的冰雪中。所以目前微塑膠的污染不僅限於海洋，在淡水水體中也日益嚴重，即使在都市地區，也能從自來水、瓶裝水、食鹽和蜂蜜等產品中檢測出微塑膠(Ziani et al., 2023)。

二、微塑膠的污染

這些微塑膠的污染已經對環境和生物造成嚴重的威脅，包括：

- (一) 對海洋生態的影響：海洋廢棄塑膠從在海洋中難以分解，許多研究指出貽貝、牡蠣、螃蟹、蝦和魚類等許多可食用的水生物種體內，都發現了微塑膠，被誤食的微塑膠，可能會阻塞消化道，進而影響生長。此外，微塑膠也可能會釋放出有毒物質，例如雙酚A、鄰苯二甲酸酯等，干擾內分泌系統，影響生物繁殖能力；而微塑膠也會吸附環境中的污染物，例如重金屬、多氯聯苯等，成為污染物的載體，當這些微塑膠被生物攝入後，吸附在其表面的有毒物質可能會釋放到生物體內，造成毒性效應，影響生物健康。

(二) 影響食物鏈和人類健康：人類接觸微塑膠的主要途徑是透過食物，例如飲用水、海鹽和蜂蜜等攝入微塑膠，其中魚類和甲殼類動物中，似乎是人類接觸微塑膠的主要來源(Ziani et al., 2023)。微塑膠在海洋中的樣態與海洋浮游生物相似，所以容易被濾食性物種當作食物吃掉，再逐漸經過食物鏈累積到大型魚類中，最後被人類食用。此外，包裝食品的塑膠製品和吸入含有微塑膠的空氣和灰塵，也可能是污染來源。雖然目前還沒有明確的證據證明微塑膠對人類健康的直接影響，但微塑膠的毒性效應和所吸附有毒物質造成的危害，已讓人類暴露在微塑膠的威脅之下。

三、微塑膠的清除方式

基於以上的資料，我們可以發現進行微塑膠的處理至關重要，但現有的廢水處理系統對於微塑膠的去除效率有限。因此，需要研發更有效的處理技術，以去除環境中的微塑膠。經搜尋資料，找到以下幾個方式：

- (一) 混凝/絮凝法 (Coagulation/Flocculation)：此方法利用化學混凝劑（例如鐵鹽或鋁鹽）或是天然凝聚劑(例如稻殼灰、香蕉皮和海藻等)，將水中微塑膠凝聚成較大的絮體，再透過沉澱或過濾去除(Reza et al., 2024)。雖然這個方法是傳統淨水處理常用技術，成本相對較低，但是單獨使用混凝程序去除微塑膠的效率可能不高，需搭配其他技術如添加聚丙烯醯胺 (PAM) 或使用超濾膜過濾，才能有效提升去除率(Ma et al., 2019)。而且化學凝聚劑可能造成二次污染並有安全疑慮，例如鋁可能與阿茲海默症有關。
- (二) 超濾膜過濾 (Ultrafiltration)：利用孔徑極小的薄膜，將水分子和其他小分子物質通過，同時攔截住微塑膠等較大顆粒(Acarer, 2023)。這個方法的優點是可有效去除微塑膠，去除率可高達 99.4%。但缺點是膜容易被微塑膠堵塞，使過濾效能下降，需要定期清洗或更換膜組件，增加營運成本。
- (三) 泡沫浮選法 (froth flotation)：藉由添加界面活性劑，降低水的表面張力，並將空氣注入水中產生微小氣泡，使微塑膠附著於氣泡上，並藉由氣泡的浮力將其帶至水面，形成泡沫層，再將泡沫層收集去除(Wu et al., 2023)。這個方法可以有效去除水中微塑膠，但需添加界面活性劑才能產生穩定微氣泡，也可能會造成二次污染。
- (四) 磁性分離法 (Magnetic Separation)是利用磁性材料或含磁性物質的混合物吸附微塑膠，然後利用外加磁場將吸附了微塑膠的磁性材料從混合物中分離出來。例如將奈米級的鐵磁流體和沙拉油加入水中，這些物質會吸附微塑膠，

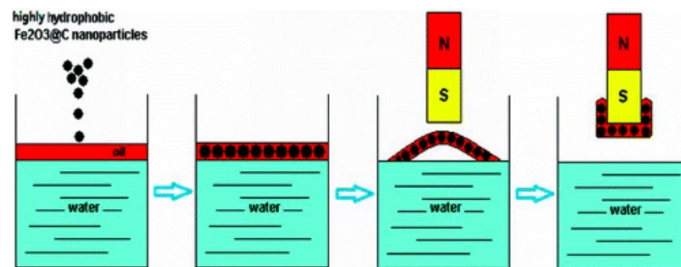
再利用磁鐵將吸附了微塑膠的鐵磁性物質從水中分離(Fleming, 2020)；或是利用磁性碳奈米管，也可以有效吸附並分離水溶液中的微塑膠(Li et al., 2024)。這個方法可以大量處理微塑膠分離回收，但因為需要添加奈米鐵磁性物質成本較高，且奈米材料難以和塑膠分離回收，也可能會造成二次污染問題。

上述方法中，有些方法需要加入其他化學物質，例如：界面活性劑和鋁鹽，有造成二次污染的疑慮；有些方法加入的物質難以與微塑膠分離，例如：奈米鐵磁性物質，不能循環利用，有浪費資源的疑慮；有些方法因為成本太高，例如使用過濾膜，而不符合經濟效益。

四、本實驗的想法

之前的研究(王柏翎 & 鄭伊芸, 2022)已經發現，含微塑膠的水體加入沙拉油和鐵磁流體，就可以用磁性物質將互相吸附的「微塑膠－油－鐵磁流體」吸住，並與水體分離，達到清除微塑膠的目的。其原理可能和微塑膠可以吸附油，油又可以和鐵磁流體互相吸附有關，2010年有研究提到，利用 Fe_2O_3 可以和油互相吸附的原理，可以清理海面上的油汙。

圖二、 Fe_2O_3 清除油污示意圖 資料來源：(Zhu et al., 2010)



但利用鐵磁流體清除微塑膠的方法，後續並沒有看到更多的研究，可能和鐵磁流體成本以及無法回收有關。所以我們開始尋找什麼東西是既方便我們取得，又友善環境，最好還可以降低成本的？當我們上網搜尋之後發現一則報導：A lake is filled with oil. Thousands donated their hair to help soak it up. 這篇報導描述了委內瑞拉馬拉開波湖，因為開採石油而造成水面上漂滿油汙的慘況，當地人為了自救，開始募集各式各樣的生物毛髮除油。實驗發現約2磅的生物毛髮最終能吸收17磅的油。透過這個新聞，我們開始思考既然頭髮能吸附油，而使用鐵磁流體的原因可能是因為可以吸油，且有研究發現頭髮確實具備吸附油品的能力(Ifelebuegu et al., 2015)，所以使用頭髮取代鐵磁流體應該是可行的想法。而且頭髮本身就是一種廢棄物，比鐵磁流體更容易取得，在吸附完沾有油的微塑膠後，頭髮可以焚化，可以避免鐵磁流體或其他清除方式，造成二次污染的問題。

肆、研究設備及器材

一、器材：



食鹽



竹籤



超音波震盪器



電子秤



食用油



移液管

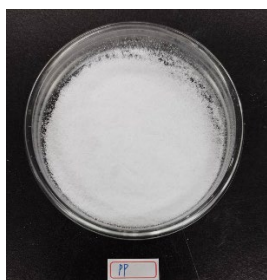


濁度計



頭髮

二、微塑膠：顆粒大小均為100目(0.150mm)



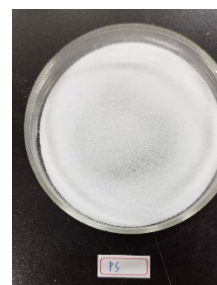
PP



PA66



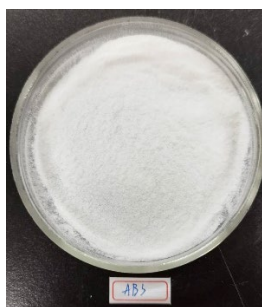
PA6



PS



PET



ABS



PVC



PET

伍、研究過程或方法

一、頭髮清除微塑膠的機制與可行性探討

- (一) 取0.1克以砂紙自己磨製的微塑膠，加入3 mL尼羅紅染色，並放置陰乾；等乾燥後再加入一次尼羅紅，重複上述步驟三次。
- (二) 將以尼羅紅染色的微塑膠放入烘箱烘乾，直至完全乾燥。
- (三) 將烘乾的微塑膠放入裝有200 mL蒸餾水的500mL燒杯中，以攪拌子旋轉10分鐘以分離雜質，然後把上層的微塑膠撈起後，再放入烘箱烘乾。
- (四) 取A、B、C和D四個50 mL燒杯，分別加入0.02克染色後烘乾的微塑膠，並攪拌均勻，再加入以下物質：

A：無； B：1 mL 沙拉油； C：0.1 克 頭髮；

D：1 mL 沙拉油+0.1克 頭髮； E：1 mL 沙拉油+0.5克 頭髮

二、探討頭髮清除微塑膠的最佳條件

微塑膠的材質為聚氯乙烯(PVC)

- (一) 取7個100 mL燒杯，分別加入0.1克的PVC及14.9克的水
- (二) 將裝有PVC的燒杯以及純水，放入超音波震動儀震盪 20 分鐘，已讓塑膠分散在水中(Meyers et al., 2022)。
- (三) 將其取出，根據下列表格分別加入0.3 mL的食用油和不同重量的頭髮：

	A	B	C	D	E	F	G	H
PVC塑膠(g)	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
油(mL)	0	0.3	0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
頭髮(g)	0	0	0.5	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9

- (四) 將上述溶液以竹籤充分攪拌，接著以滴管吸取溶液，並分裝到濁度計的樣品瓶中。
- (五) 校正濁度計，然後將裝好溶液的樣品瓶放入濁度計中，搖晃均勻並測量濁度。讀取及記錄數據，重複五次取平均，
- (六) 重複以上步驟，直至取得八杯溶液的數據
- (七) 重複步驟(一)到(六)，但將食用油的用量改為 0.5 mL和 0.8 mL。

微塑膠的材質為丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS)

(一)取7個100 mL燒杯，各自加入0.1克的ABS及14.9克的水

(二)將裝有ABS的燒杯以及純水，放入超音波震動儀震盪 20 分鐘，已讓塑膠分散在水中

(三)將其取出，根據下列表格分別加入0.3 mL的食用油和不同重量的頭髮：

	A	B	C	D	E	F	G	H
ABS塑膠(g)	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
油(mL)	0	0.3	0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
頭髮(g)	0	0	0.5	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9

(四)將上述溶液以竹籤充分攪拌，接著以滴管吸取溶液，並分裝到濁度計的樣品瓶中。

(五)校正濁度計，然後將裝好溶液的樣品瓶放入濁度計中，搖晃均勻並測量濁度。讀取及記錄數據，重複五次取平均。

(六)重複以上步驟，直至取得八杯溶液的數據

(七)重複步驟(一)到(六)，但將食用油的用量改為0.5 mL和0.8 mL。

三、測試頭髮對不同種類微塑膠的清除效率

以上述實驗中，微塑膠清除效果較佳的比例(0.8 mL的食用油與0.7克的頭髮)，測試對不同種類微塑膠的清除效果

(一)取8個100 mL燒杯，各自14.9克的水。

(二)分別加入聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚苯乙烯(PS)、聚對苯二甲酸乙二酯(PET)、耐綸6(PA6)和耐綸66(PA66) 0.1 克。

(三)加入0.8 mL的食用油和0.7 克頭髮，並以竹籤攪拌均勻，接著以滴管吸取溶液，並分裝到濁度計的樣品瓶中。

(四)校正濁度計，然後將裝好溶液的樣品瓶放入濁度計中，搖晃均勻並測量濁度。讀取及記錄數據，重複五次取平均。

(五)重複以上步驟，直至取得八杯溶液的數據

四、探討溶液鹽度，對頭髮清除微塑膠效率的影響

以上述實驗中，微塑膠清除效果較佳的比例(0.8 mL食用油與0.7克頭髮)，以下實驗要以氯化鈉溶液模擬海水，測試不同鹽度的水體對清除微塑膠效果的影響。

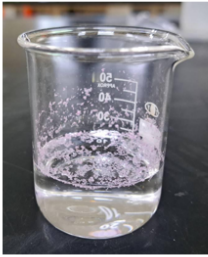
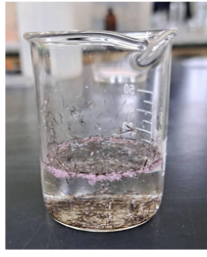
1. 分別調配0.67%、1.97%、3.24%、4.49%、5.70%克的 NaCl溶液15克
2. 將上述燒杯加入0.1克PVC，放入超音波震動儀震盪 20 分鐘
3. 將其取出，接著分別0.8mL的油以及0.7克的頭髮
4. 將上述溶液以竹籤充分攪拌，接著拿滴管吸取溶液，並分裝到濁度計的樣品瓶中。
5. 校正濁度計，然後將裝好溶液的樣品瓶放入濁度計中，搖晃均勻並測量濁度。讀取及記錄數據，重複五次取平均。
6. 重複以上步驟，直至取得五杯溶液的數據
7. 重複步驟(一)到(六)，但將PVC換成ABS。

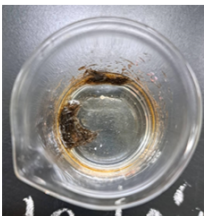
陸、研究結果

一、頭髮清除微塑膠的可行性探討

以砂紙研磨的自製微塑膠，以尼羅紅染色方便觀察後，加入油和頭髮後，得到的初步結果如下圖：

圖三、在微塑膠污染的水體中加入頭髮和油的效果說明

組別	A：微塑膠	B：微塑膠+油	C：微塑膠+ 0.1克頭髮
照片			
說明	- 多數微塑膠漂浮在水面 - 水中還是有許多微塑膠懸浮微粒，水溶液呈混濁狀。	- 部分微塑膠和油會黏在一起 - 仍有許多微塑膠漂浮在水面，或是懸浮在水中，水溶液呈混濁狀。	- 部分頭髮和微塑膠浮在水面 - 部分頭髮沉到水面下，也有極少部分微塑膠被頭髮吸引。 - 溶液中有微塑膠懸浮，呈混濁狀。

組別	D：微塑膠+油+ 0.1克頭髮	E：微塑膠+油+ 0.4克頭髮
照片	 	 
說明	- 頭髮會明顯和沙拉油結合，並將微塑膠吸附在頭髮和油汙上。 - 水溶液中仍有殘留的微塑膠與油滴，呈混濁狀。	- 頭髮會明顯和沙拉油結合，並將微塑膠吸附在頭髮和油汙上。 - 水溶液中幾乎沒有肉眼可見的微塑膠，溶液澄清。 - 液面上有少量的油滴殘留。

由實驗結果的觀察確實可以發現，0.4克頭髮加上1 mL沙拉油後，微塑膠真的可以從水中清除，所以用頭髮清除微塑膠的方法確定可行，也有繼續研究的價值，但遇到的困難為微塑膠難以製備，故後續則至微塑膠製造廠商處直接購買100目(粒徑 0.15 mm)的微塑膠，以進行後續實驗。

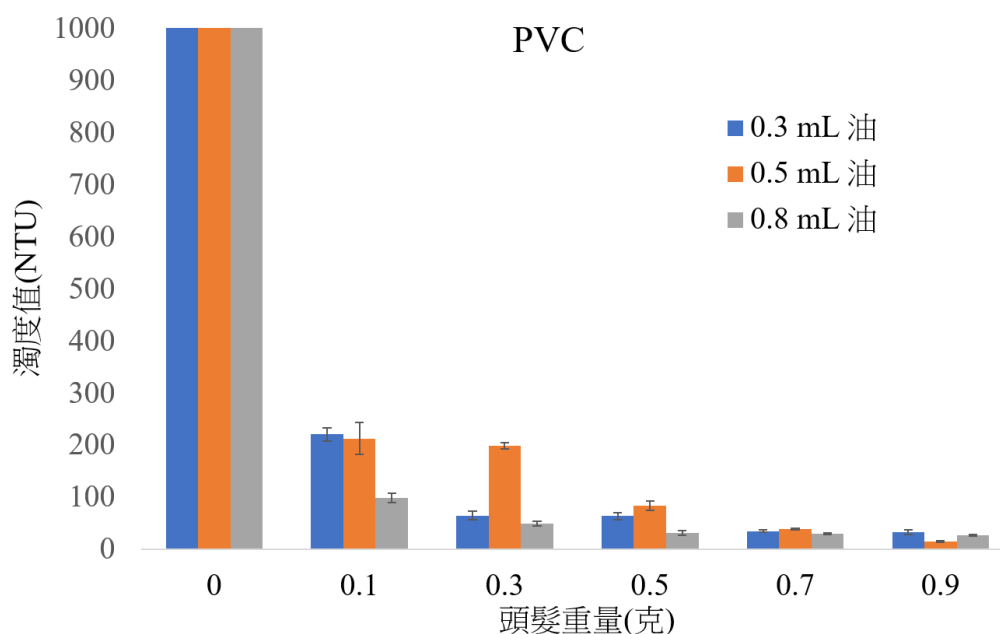
二、探討頭髮清除微塑膠的最佳條件

(一) 聚氯乙烯(PVC)

在PVC中加入不同體積的油與不同重量頭髮時，水的濁度值變化如下表1和圖4。結果顯示：

1. 經由表1和圖4我們可以發現，頭髮量確實會影響微塑膠的殘留量。隨著頭髮量增加，水的濁度值有下降的趨勢，表示微塑膠殘留量降低，且以加入0.9克的頭髮效果最好，但頭髮量大於0.7克後，下降量並不明顯。
2. 隨著油量增加，水的濁度值(微塑膠殘留量)也相對較低，但變好的趨勢並不明顯。

圖四、不同油量和不同頭髮量時，含PVC水體的濁度值



表一、不同油量和不同頭髮量時，含PVC水體的濁度值

頭髮重量	0.3 mL 油		0.5 mL 油		0.8 mL 油	
	平均濁度值	標準差	平均濁度值	標準差	平均濁度值	標準差
0	H1		H1		H1	
0.1	220.2	12.73	211.9	30.55	98.16	8.74
0.3	64.1	8.25	198.3	5.58	48.82	4.44
0.5	63	6.54	83.2	9.40	31.26	4.62
0.7	33.86	2.22	38.66	1.60	28.82	1.52
0.9	32.12	4.59	14.394	1.24	26.22	1.76

*H1：PVC在水中濁度超過濁度計的偵測極限1000 NTU，故作圖時以1000表示。

(二) 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS)

在ABS中加入不同體積的油與不同重量頭髮時，水的濁度值變化如下圖4。結果顯示：

1. 經由表1和圖4我們可以發現，加入頭髮後，水的濁度快速下降，表示微塑膠殘留量快速降低，但頭髮的重量增加，濁度下降量並不明顯。
2. 使用0.3 mL的油，就可以得到不錯的清除ABS微塑膠效果，且隨著油量增加，水的濁度值(微塑膠殘留量)雖然也稍微降低，但變好的趨勢並不明顯，實驗數據顯示加入油量0.8 mL時，效果略好。

圖 五、不同油量和不同頭髮量時，含ABS水體的濁度值

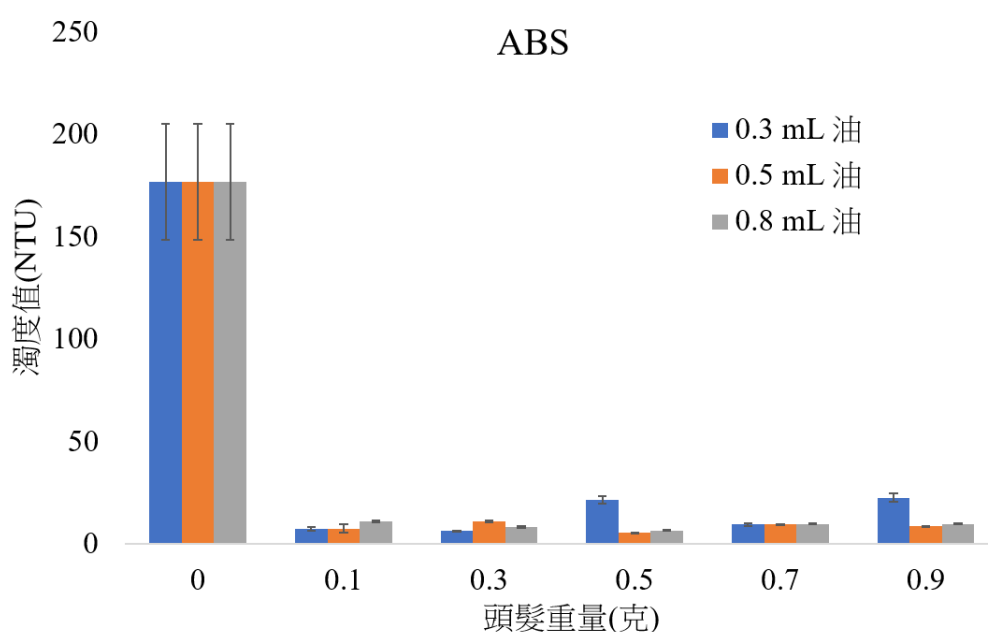


表 二、不同油量和不同頭髮量時，含ABS水體的濁度值

頭髮重量	0.3 mL 油		0.5 mL 油		0.8 mL 油	
	平均濁度值	標準差	平均濁度值	標準差	平均濁度值	標準差
0	176.58	28.22	176.58	28.22	176.58	28.22
0.1	7.182	1.04	7.292	1.85	10.666	0.37
0.3	6.048	0.31	10.784	0.45	8.076	0.34
0.5	21.172	1.95	5.196	0.29	6.274	0.17
0.7	9.164	0.52	9.158	0.23	9.48	0.18
0.9	22.27	2.10	8.336	0.13	9.506	0.24

(三) 聚氯乙烯(PVC)和丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS) 的比較

1. 含PVC或ABS微塑膠水體外觀

PVC和ABS因為密度比水小，所以容易浮在水面上，經過超音波震盪後，兩種塑膠會出現不同的狀態：

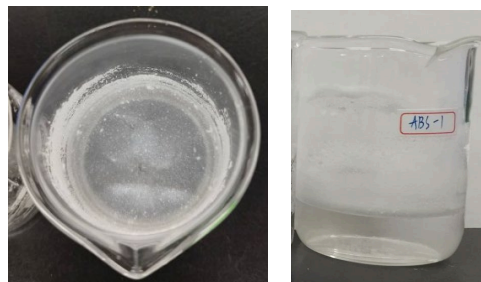
PVC：部分微塑膠會沉到水中，部分分散在水中，搖晃並測濁度時，水的濁度會超過濁度計的偵測極限(1000 NTU)。含PVC水體經過震盪後的俯視圖、側視圖和搖晃後的狀態，如圖6所示。

ABS：和PVC不同，多數微塑膠會浮在水面上而非沉在底部，部分分散在水中，搖晃並測濁度時，上層的ABS塑膠並不會讓水的濁度上升，故濁度值較低。含ABS水體經過震盪後的俯視圖和側視圖如圖6所示。

圖 六、含PVC水體經過震盪後的俯視圖、側視圖和搖晃後的狀態



圖 七、含PVC水體經過震盪後的俯視圖、側視圖和搖晃後的狀態



2. 加入頭髮與油後的水體外觀

加入頭髮與油後再吸取清除微塑膠後的水體可以發現：

- (1) 雖然加入的頭髮量增加，不會明顯降低水體的濁度值，但頭髮量太少時，清除微塑膠後的水體會會有油滴懸浮；而當頭髮重量大於0.5克後，水中的油滴量會明顯變少。
- (2) 油量上升時，也不會明顯降低水體的濁度值，但有趣的是，如果只加入油時，卻也有明顯清除微塑膠，降低水體的濁度值的效果，實驗數據如下表3所示。
- (3) 根據上面的實驗結果，後續測量油和頭髮清除不同微塑膠的效果時，為了降低水中殘留的油滴量，且也希望加入的油量可以確保對不同塑膠的清除效果，所以後續實驗，會統一以**0.7克的頭髮和0.8毫升的油**進行。

表 三、PVC和ABS的對照組實驗

	加入油的體積(mL)	加入頭髮重量(克)	平均濁度值	標準差
PVC	0	0	H1	
	0	0.5	904.4	59.49
	0.5	0	323.4	30.34
ABS	0	0	176.58	28.22
	0	0.5	278	11.22
	0.5	0	49.38	3.53

三、測試頭髮對不同種類微塑膠的清除效率

經由實驗，我們觀察到在含微塑膠的水體中加入0.8毫升的油和0.7克的頭髮實驗之後，微塑膠殘留量最低的是ABS，濁度值僅剩下9.48 NTU；而微塑膠殘留量最高的則是PA66，但在實驗之後，水的濁度值也只剩下35.16 NTU，看起來也相當清澈，如圖九所示。整體而言，對於不同種類的微塑膠清除效果都相當良好，在實驗之後水的濁度值都約在35 NTU以下。

圖 八、不同種類微塑膠加入0.7克的頭髮和0.8毫升的油，清除微塑膠前後的水體濁度值

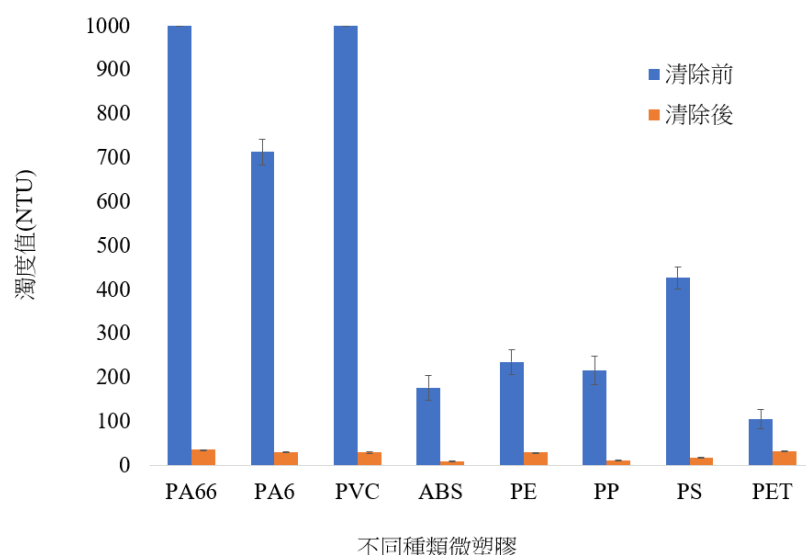


圖 九 不同微塑膠在實驗前後的外觀差異

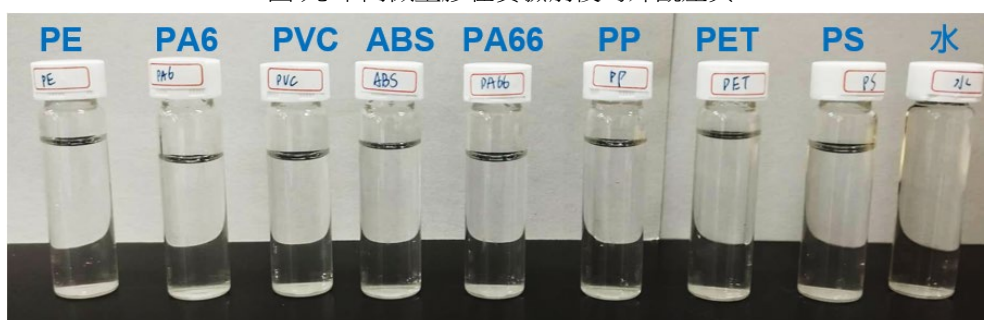


表 四、不同種類微塑膠加入 0.7 克的頭髮和 0.8 毫升的油清除微塑膠前後的水體濁度值

塑膠	清除前平均濁度值	標準差	清除後平均濁度值	標準差
PA66	H1		35.16	0.51
PA6	712.8	29.58	29.74	0.47
PVC	1000	0.00	28.82	1.52
ABS	176.58	28.22	9.48	0.18
PE	234.8	28.24	29.24	0.35
PP	215.78	31.67	11.63	0.21
PS	426.2	24.47	17.62	0.41
PET	104.98	21.24	32.36	0.56

*H1：PA66 在水中濁度超過濁度計的偵測極限1000 NTU，故作圖時以1000表示。

四、探討不同NaCl濃度下，頭髮清除微塑膠效率的變化

經由實驗數據我們可以發現：

PVC：與原本的在純水中的微塑膠殘留量相比，在含有氯化鈉鹽水中的微塑膠微塑膠殘留量似乎都略為增加，但差異並不大。

ABS：和PVC類似，和在純水中的微塑膠殘留量相比，在含有氯化鈉鹽水中的微塑膠微塑膠殘留量似乎都略為增加，但也都差異不大，NaCl溶液濃度為5.07%時，微塑膠殘留量甚至於略低。

結果顯示，鹽類濃度可能對微塑膠的清除效果影響不大，且和純水中的結果一致，ABS的殘留量低於PVC的殘留量。

圖 十、PVC在不同濃度的NaCl溶液加入0.8 mL油和0.7克頭髮後的濁度值變化

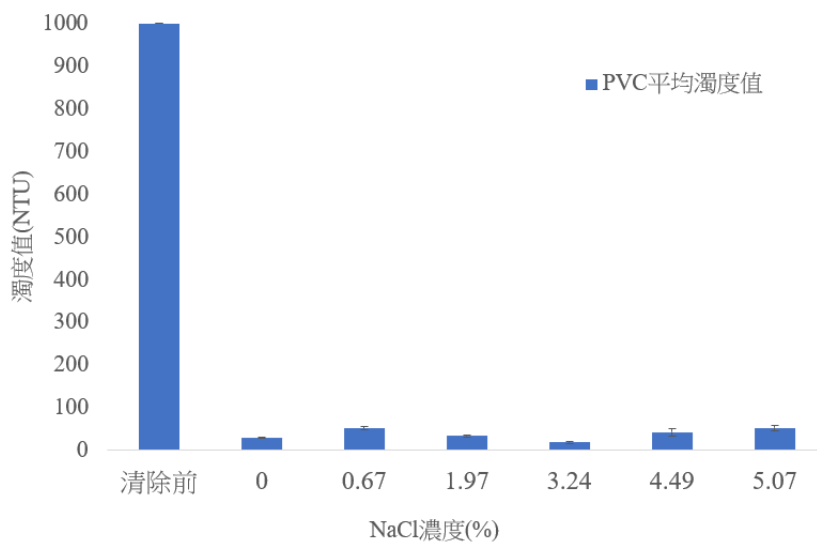


圖 十一、ABS在不同濃度的NaCl溶液加入0.8 mL油和0.7克頭髮後的濁度值變化

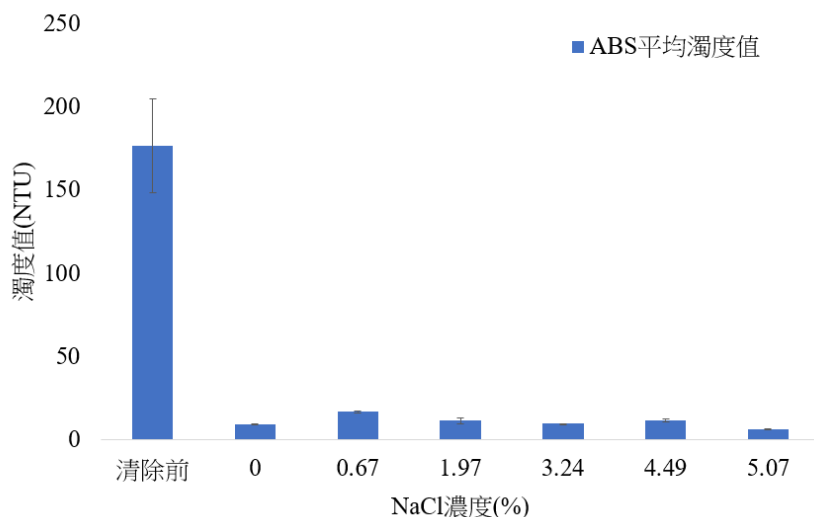


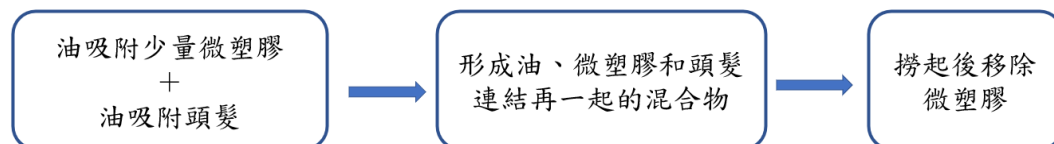
表 五、PVC和ABS在不同濃度的NaCl溶液加入 0.8 mL油和 0.7 克頭髮後的濁度值變化

NaCl(%)	PVC平均濁度值	標準差	ABS平均濁度值	標準差
0(清除微塑膠前)	1000	0.00	176.58	28.22
0	28.82	1.52	9.48	0.18
0.67	51.78	4.16	16.66	0.86
1.97	34.06	2.36	11.34	1.91
3.24	18.33	2.29	9.62	0.17
4.49	42.22	8.60	11.67	0.74
5.07	52.2	6.02	6.06	0.27

柒、討論

一、頭髮清除微塑膠的機制

經由之前鐵磁流體清除微塑膠的機制探討(王柏翎 & 鄭伊芸, 2022)，結合此次實驗的結果確定，頭髮清除微塑膠的可能機制如下所示，因為微塑膠會和油結合，而頭髮又會吸收油，所以就可把微塑膠、頭髮和油結合在一起並移除了。



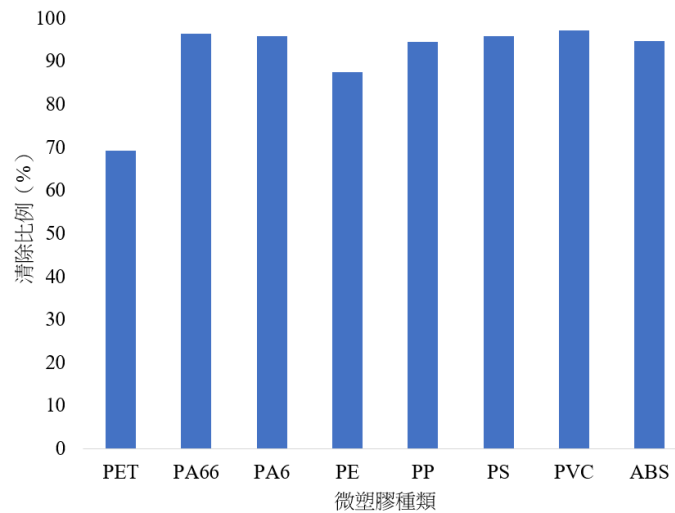
如果 Fe_2O_3 可以清除油污一樣(Zhu et al., 2010)，我們進一步思考有什麼東西可以取代頭髮，經過搜尋發現有許多天然廢棄物都被用來研究處理海上的溢油，例如：甘蔗渣(Hussein et al., 2008)、椰子殼(Raj & Joy, 2015)、稻殼灰(Angelova et al., 2011)、木屑(Nurliyana Che Mohamed Hussein et al., 2019)和羽毛(Ayad et al., 2024)等。此外，因為油吸附塑膠的特性，單獨只有油也可以減少水中的微塑膠，所以油扮演了重要的角色，但卻會有少量殘留的問題，或許也可用無毒、易揮發的有機溶劑替代，例如：乙酸乙酯等，進一步降低可能出現的油滴污染。這將是後續進一步探討的目標。

二、測試頭髮對不同種類微塑膠的清除效率

上面的結果顯示，水中殘餘的微塑膠量已ABS最低，PA66則偏高。但若比較清除比例，我們可以發現PVC的清除效果最好，達到了97%，平均濁度值由1000 NTU下降至 28.82 NTU，除了PET以外，清除比例皆高於87%，可以證明用頭髮和油清除水中的微塑膠是可行的。

但效果最差的PET，清除比例僅69%，且由實驗觀察到的現象發現，PET為聚酯類物質，可能因為本身具有極性的關係，所以即使超音波震盪後，也會有聚集並較難分散現象，所以在水中起始濁度就比較低(104.98)，清除後雖然水中殘留量並不高(32.36)，但清除比例計算後則相對較低。

圖 十二、不同塑膠種類的清除比例

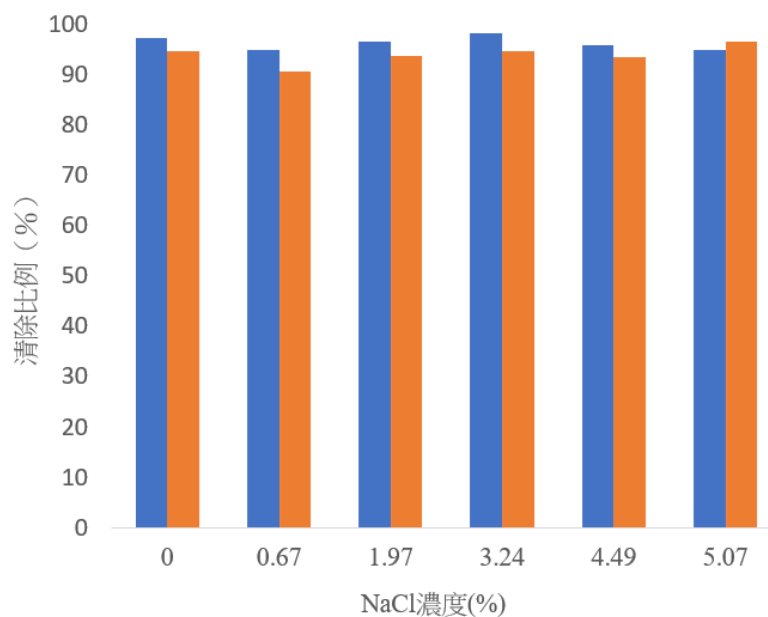


三、探討溶液鹽度，對頭髮清除微塑膠效率的影響

氯化鈉濃度改變對於清除效果整體來說影響不大，清除效果皆大於90%，可能是因為海水的氯化鈉濃度約為3.5%，所以模擬所用的氯化鈉濃度介於0.67%~5.07%，濃度範圍很小，所以差異並不明顯。

後續將會使用不同的微塑膠與不同的鹽類離子進行實驗，以了解微塑膠結構和溶液的離子強度，和微塑膠清除效果的關係。

圖 十三、PVC和ABS在不同NaCl濃度下的清除比例



四、以頭髮清除微塑膠的實際裝置設計與探討

經由實驗觀察結果顯示，加入頭髮的量如果太少，油量太多可能會有多餘的浮油產生，造成反效果；但如同前面提到，油本身也可以聚集微塑膠，所以推測油量也不能太少，以免清除效果太差。總結來說，頭髮清除微塑膠的最佳條件應該是頭髮的量足以吸附所有加入的油，且當加入的量越多，可能清除越多的微塑膠，所以基於上述說明，設計去除微塑膠方式時，決定在底部放入頭髮，上方則放上沾了足夠食用油的頭髮來吸附微塑膠。裝置如下圖十四所示。

圖 十四、清除微塑膠的裝置與清除效果



利用漏斗與錐形瓶嘗試創造可行裝置，在漏斗底部放入少量頭髮，和極少量的棉花以避免頭髮掉落水中，上方再鋪上吸附足量油的頭髮，接著將裝有微塑膠的溶液從漏斗上方倒入，流入下方錐形瓶。未過濾前的溶液微塑膠水體的濁度為650 NTU，過濾後的濾液濁度值則為21 NTU，得到的水相當清澈，清除比例可高達97%；而使用相同裝置但頭髮未吸附油的裝置過濾，也可濾掉部分微塑膠，水體的濁度值變為256 NTU。

經以上述數據發現，利用以沾取足量油的頭髮過濾並去除微塑膠是可行的，這種作法不僅可以避免過多油所造成的問題，也可避免油量不足造成的清除效果不如預期。後續將以此原型裝置進一步改良，裝在含有微塑膠廢水的排水口，例如洗衣機等，以達到清除微塑膠源頭的效果。

捌、結論

一、頭髮清除微塑膠的機制：

頭髮清除微塑膠的機制是微塑膠會和油結合，而頭髮又會和油結合，從而讓微塑膠、頭髮和油結合在一起，使微塑膠被移除。

二、頭髮對不同種類微塑膠的清除效率：

在我們的實驗中發現，以頭髮和油清除微塑膠時，PVC的清除比例最高(97%)，PET的清除比例最差(69%)；但過濾後水體都很清澈，微塑膠殘留量最低的是ABS(濁度值 9.48 NTU)，而微塑膠殘留量最高的則是PA66(濁度值 35.16 NTU)，足以證明用頭髮和油清除水中微塑膠的可行性。

三、溶液鹽度對頭髮清除微塑膠效率的影響：

在溶液鹽度在0.67%~5.07%時影響不大，清除效果皆大於90%。

四、以頭髮清除微塑膠的實際裝置設計：

可將含有微塑膠的水體，通過沾取足量油的頭髮，過濾並去除微塑膠是可行的，過濾後的水相當清澈，微塑膠清除比例可高達97%。

玖、參考資料及其他

- Acarer, S. (2023). A review of microplastic removal from water and wastewater by membrane technologies. *Water Science and Technology*, 88(1), 199-219. <https://doi.org/10.2166/wst.2023.186>
- Angelova, D., Uzunov, I., Uzunova, S., Gigova, A., & Minchev, L. (2011). Kinetics of oil and oil products adsorption by carbonized rice husks. *Chemical Engineering Journal*, 172(1), 306-311. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.05.114>
- Ayad, M. A., Aboul-Fetouh, M., Mohamed, S., Abdallah, R., & Aboul-Fetouh, T. (2024). ECO-FRIENDLY CHICKEN FEATHERS AS A SORBENT MATERIAL FOR OIL SPILLS POLLUTING SEAWATER. *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector*, 19, 226-240. <https://doi.org/10.21608/aej.2024.254250.1523>
- Fleming, S. (2020). Meet the teen science star using magnetic liquid to remove microplastics from water. <https://url.cc/KIDQjR>
- Hussein, M., Amer, A. A., & Sawzan, I. I. (2008). Oil spill sorption using carbonized pith bagasse: 1. Preparation and characterization of carbonized pith bagasse. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 82(2), 205-211. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2008.03.010>
- Ifelebuegu, A. O., Anh Nguyen, T. V., Ukotije-Ikwut, P., & Momoh, Z. (2015). Liquid-phase sorption characteristics of human hair as a natural oil spill sorbent. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(2), 938-943. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.02.015>
- Li, Y., Chen, P., Tang, Y., Yang, Y., Zhou, C., Bu, J., & Zhong, S. (2024). Microplastics in Water: A Review of Characterization and Removal Methods. *Sustainability*, 16(10), 4033. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/10/4033>
- Ma, B., Xue, W., Ding, Y., Hu, C., Liu, H., & Qu, J. (2019). Removal characteristics of microplastics by Fe-based coagulants during drinking water treatment. *Journal of Environmental Sciences*, 78, 267-275. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.10.006>
- Meyers, N., Catarino, A. I., Declercq, A. M., Brenan, A., Devriese, L., Vandegheuchte, M., De Witte, B., Janssen, C., & Everaert, G. (2022). Microplastic detection and identification by Nile red staining: Towards a semi-automated, cost- and time-effective technique. *Science of The Total Environment*, 823, 153441. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153441>
- Nurliyana Che Mohamed Hussein, S., Hidayati Othman, N., Dollah, A., Nazihah Che Abdul Rahim, A., Shuhadah Japperi, N., & Syamimi Mohd Asymawi Ramakrishnan, N. (2019). Study of Acid Treated Mixed Sawdust as Natural Oil Sorbent for Oil Spill. *Materials Today: Proceedings*, 19, 1382-1389. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.156>

- Raj, K. G., & Joy, P. A. (2015). Coconut shell based activated carbon – iron oxide magnetic nanocomposite for fast and efficient removal of oil spills. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(3), 2068-2075. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.04.028>
- Reza, T., Mohamad Riza, Z. H., Sheikh Abdullah, S. R., Abu Hasan, H., Ismail, N. I., & Othman, A. R. (2024). Microplastic Removal in Wastewater Treatment Plants (WWTPs) by Natural Coagulation: A Literature Review. *Toxics*, 12(1), 12. <https://www.mdpi.com/2305-6304/12/1/12>
- Wu, H., Hou, J., & Wang, X. (2023). A review of microplastic pollution in aquaculture: Sources, effects, removal strategies and prospects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 252, 114567. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114567>
- Yu, R.-S., & Singh, S. (2023). Microplastic Pollution: Threats and Impacts on Global Marine Ecosystems. *Sustainability*, 15(17), 13252. <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/17/13252>
- Zhu, Q., Tao, F., & Pan, Q. (2010). Fast and selective removal of oils from water surface via highly hydrophobic core-shell Fe₂O₃@C nanoparticles under magnetic field. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2(11), 3141-3146. <https://doi.org/10.1021/am1006194>
- Ziani, K., Ioniță-Mîndrican, C. B., Mititelu, M., Neacșu, S. M., Negrei, C., Moroșan, E., Drăgănescu, D., & Preda, O. T. (2023). Microplastics: A Real Global Threat for Environment and Food Safety: A State of the Art Review. *Nutrients*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/nu15030617>
- 王柏文. (2021). 英國美髮業者發起環保行動 蒐集廢棄頭髮清除油污. <https://news.pts.org.tw/article/538610>
- 王柏翎, & 鄭伊芸. (2022). 以磁性Fe₃O₄分離微塑膠的成效與機制探討.